NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

Poročilo za leto 2024

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija

Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvaška

Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija

Zavod za varstvo pri delu, Ljubljana, Slovenija

MEIS storitve za okolje, Mali Vrh pri Šmarju, Slovenija

V S E B I N A

Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15011

Izvajalci meritev P-3 / P-84

Letno poročilo P-4 / P-84

Uvod in upravne podlage P-5 / P-84

Izvleček P-9 / P-84

Summary P-41 / P-84

Neodvisni nadzor pooblaščenih izvajalcev P-75 / P-84

POGLAVJE	AVTORJI
Poročilo	mag. Denis Glavič – Cindro dr. Helena Fajfar doc. dr. Benjamin Zorko
Povzetek	doc. dr. Tomaž Žagar doc. dr. Benjamin Zorko
Izvleček in angleški prevod izvlečka	doc. dr. Benjamin Zorko
Neodvisni nadzor pooblaščenih izvajalcev	mag. Denis Glavič – Cindro dr. Helena Fajfar

Evalvacija učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh

ISBN 978-961-264-315-7

Odgovorni za izdajo: doc. dr. Benjamin Zorko

Uredniki: doc. dr. Benjamin Zorko, mag. Denis Glavič – Cindro in dr. Helena Fajfar

Recenzija: prof. dr. Alojz Kodre, mag. Matjaž Koželj, Daniel Novak, prof. fiz.

Lektoriral: prof. dr. Alojz Kodre
Monografija je lektorirana po mednarodnem standardu ISO 80000.

POGLAVJE	AVTORJI
Radioaktivnost v reki Savi	Matija Škrlep, mag. prof. fiz., ZVD
Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi	dr. Jasmina Kožar Logar, IJS
Radioaktivnost v usedih	dr. Toni Petrovič, IJS
Zrak	dr. Marko Giacomelli, ZVD
Zunanje sevanje	Klara Poiškruh, mag. med. fiz., IJS
Radionuklidi v hrani	prof. dr. Katarina Vogel Mikuš, BF

Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010

Imisijske meritve (meritve v okolju jedrske elektrarne)

Obratovalni nadzor radioaktivnosti v okolici NEK
Tabele merskih rezultatov M-1 / M-132
Obratovalni nadzor radioaktivnosti v okolici NEK zaradi HE Brežice
Tabele merskih rezultatov M-89 / M-132

Tabele interkomparacijskih rezultatov
Mednarodne primerjalne meritve izvajalcev M-101 / M-132

Poročilo *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010* je na priloženi zgoščenki.

Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti

Redna letna obhoda okolice NEK v letu 2024 sta bila izvedena 3. 6.–5. 6. 2024 in 9. 9.–11. 9. 2024.

Poročilo o obhodu mobilnih enot, LMSAR-48/2024-MŠ, 30. 7. 2024

ROMENEK 2/24, Mobilni radiološki laboratorij, Poročilo o meritvah po programu vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka v NEK, IJS-DP-14813, oktober 2024

Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti v NEK, Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15008, februar 2025

Vsa poročila o vzdrževanju pripravljenosti za primer izrednega dogodka so na priloženem USB ključku.

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

Poročilo za leto 2024

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija
Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvaška
Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija
Zavod za varstvo pri delu, Ljubljana, Slovenija
MEIS storitve za okolje, Mali Vrh pri Šmarju, Slovenija

IJS delovno poročilo
IJS-DP-15011
april 2025

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO
Poročilo za leto 2024

Odgovorni za izdajo poročila: doc. dr. Benjamin Zorko

Koordinator za IJS: doc. dr. Benjamin Zorko

Koordinator za NEK: Daniel Novak, prof. fiz., mag. Borut Breznik

Skrbnik za NEK: Aleš Volčanšek, univ. dipl. kem.

Izvajalci meritev in drugi sodelujoči
so navedeni na 3. strani v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010,* ki je na priloženi zgoščenki.

Urednici: mag. Denis Glavič – Cindro in dr. Helena Fajfar

Lektoriral: prof. dr. Alojz Kodre;
poročilo (razen angleškega prevoda izvlečka) je lektorirano po mednarodnem standardu ISO 80000

Stavčni in računalniški prelom: mag. Denis Glavič - Cindro

Likovno in grafično uredili: mag. Denis Glavič – Cindro in dr. Helena Fajfar

Fotografije: doc. dr. Benjamin Zorko, arhiv NEK

Oprema in vezava: ABO grafika in Institut "Jožef Stefan"

Založil: Institut "Jožef Stefan"

Prva izdaja: april 2025

Naročnik: NE Krško, Vrbina 12, SI-8270 Krško

Pogodba št.: Pogodba IJS št. 3212111 in ZVD št.3212112 (Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK) z dne 20. 1. 2022

Št. delovnega poročila: IJS-DP-15011

Vse pravice pridržane. Noben del poročila *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15011* ter obeh prilog k poročilu: *Evalvacija učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh* in *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010* ne sme biti reproduciran, shranjen ali prepisan v kateri koli obliki oziroma na kateri koli način, bodisi elektronsko, mehansko, s fotokopiranjem, snemanjem ali kako drugače, brez predhodnega privoljenja Nuklearne elektrarne Krško ©. Avtorska dela so intelektualna last Instituta "Jožef Stefan".

Naklada: 50 izvodov

NASLOV: IJS-DP-15011
Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško april 2025

KLJUČNE BESEDE:
poročanje o rezultatih meritev, radioaktivno onesnaženje okolja, zračni in tekočinski radioaktivni izpusti, umetni in naravni radionuklidi, vsebnost radionuklidov, specifična aktivnost radionuklidov, površinske vode, podtalnica, vodovod, deževnica, talni in suhi used, zrak, aerosoli, zemlja, hrana, doze zunanjega sevanja, ocena efektivnih doz, razredčitveni faktor, referenčna oseba – posameznik iz prebivalstva, primerjalne meritve

KRATEK POVZETEK:
Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v različnih nadzorovanih medijih in ekspozicijskih prenosnih poteh so podani z ocenami efektivnih doz. Konzervativni oceni efektivne doze zaradi emisij jedrske elektrarne za posameznika iz prebivalstva (odrasla referenčna oseba) dajeta v letu 2024 za atmosferske emisije *efektivno dozo* 6,5 E–5 mSv na leto, kar velja za ograjo NEK in okvirno tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja, ter 1,0 E–5 mSv na leto za tekočinske emisije. V letu 2024 so bili tako vsi sevalni učinki NEK na posameznika iz prebivalstva v okolici ocenjeni na manj kot 7,5 E–5 mSv na leto, kar je 0,15 % avtorizirane mejne letne doze na robu izključitvenega območja in dalje (0,05 mSv; vsota prispevkov po vseh prenosnih poteh). Iz meritev so bile ocenjene tudi izpostavitve naravnemu sevanju in prispevki zaradi splošne radioaktivne onesnaženosti okolja, ki so jo povzročile poskusne jedrske eksplozije in černobilska nesreča. ***Ocenjena vrednost sevalnih učinkov (letne efektivne doze) NEK na referenčno osebo – posameznika iz prebivalstva ob ograji NEK je približno 0,0015 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja v okolici NEK. Ocena velja okvirno tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja.***

TITLE: IJS-DP-15011
Off-site radiological monitoring of the Krško Nuclear Power Plant April 2025

KEYWORDS:
reporting measurement results, radioactive contamination of the environment, airborne and liquid radioactive effluents, man-made and natural occuring radionuclides, specific activities, surface waters, underground water, tap water, rainwater, dry and ground deposition, airborne radionuclides, soil, foodstuffs, external radiation doses, effective dose assessments, dilution factor, representative person, intercomparison measurements

SHORT ABSTRACT:
Summarised results of radioactivity measurements of antropogenic and naturally occuring radionuclides are presented due to different contamination media and exposure pathways in the form of assessed effective doses. Conservatively estimated effective dose received by the adult representative person as the result of Krško NPP emissions in the year 2024 gives a value of the *effective dose* of 6.5 E–5 mSv per year for atmospheric discharges at the Krško NPP fence (applicable approximately also at a distance of 500 m from the axis of the reactor) and 1.0 E–5 mSv per year for liquid discharges. Thus, in 2024, the radiation effects of the Krško NPP on the representative person in the immediate surroundings were estimated at less than 7.5 E–5 mSv per year, representing 0.15 % of the authorized dose limit at the border of the Krško NPP exclusion area, set at 0,05 mSv; the sum of the contributions from all exposure pathways. From the measurements the exposure to natural radiation and general radioactive contamination due to nuclear test explosions and Chornobyl accident were assessed. ***The estimated sum of all radiation contributions (annual effective doses) from the Krško NPP to the representative person at the Krško NPP fence is 0.0015 % of the characteristic unavoidable natural background radiation in the vicinity of the Krško NPP. The estimate is valid approximately also at the distance of 500 m from the axis of the reactor.***

AVTORJI IN RECENZENTI POROČILA

	Ime in priimek	Datum in podpis
Povzetek in izvleček	doc. dr. Tomaž Žagar doc. dr. Benjamin Zorko	
Neodvisni nadzor pooblaščenih izvajalcev	mag. Denis Glavič – Cindro dr. Helena Fajfar	
Radioaktivnost v reki Savi	Matija Škrlep, mag. prof. fiz.	
Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi	dr. Jasmina Kožar Logar	
Radioaktivnost v usedih	dr. Toni Petrovič	
Zrak	dr. Marko Giacomelli	
Zunanje sevanje	Klara Poiškruh, mag. med. fiz.	
Radionuklidi v hrani	prof. dr. Katarina Vogel Mikuš	
Recenzija	prof. dr. Alojz Kodre	
	mag. Matjaž Koželj	

IZVAJALCI MERITEV

INSTITUT "JOŽEF STEFAN" (IJS), LJUBLJANA

Koordinator projekta za IJS: doc. dr. Benjamin Zorko

Izvajalci na IJS:
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (Odsek F-2)
M. Centrih, dipl. inž. fiz., B. Črnič, mag. med. fiz., mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. J. Kožar Logar, dr. R. Krištof, dr. M. Nečemer, P. Prem, prof. biol., dr. T. Petrovič, K. Poiškruh, mag. med. fiz., R. Roš Opaškar, mag. B. Vodenik, doc. dr. B. Zorko

Odsek za znanosti o okolju (Odsek O2)
dr. L. Rovan Stiplošek, B. Svetek, inž. kem. tehnol., doc. dr. M. Štrok

ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU (ZVD), LJUBLJANA

Koordinator projekta za ZVD: dr. Gregor Omahen

Izvajalci na ZVD:
A. M. Črešnar mag. kem. teh., dr. M. Giacomelli, A. Ivanc, P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda, M. Levstek, dr. G. Omahen, L. Peršin, M. Podvratnik, univ. dipl. fiz., mag. med. fiz., M. Škrlep, mag. prof. fiz., J. Žnidaršič, dr. A. Žohar, mag. jed. teh.

INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ (IRB), ZAGREB

Koordinator projekta za IRB - ZIMO: dr. Željko Grahek

Izvajalci na IRB – Zavod za istraživanje mora i okoliša, Laboratorij za radioekologiju (IRB–ZIMO–LRE):
I. Balinović, dr. I. Coha, dr. Ž. Grahek, M. Ivković, mag. kem., G. Karanović, dipl. inž., dr. K. Magdić Košićek, dr. I. Tucaković, D. Žilić

Izvajalci na IRB – Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivosti – Zavod za eksperimentalnu fiziku:
dr J. Barešić, mag. D. Borković, dr. I. Lovrenčić Mikelić, A. Rajtarić, dr. A. Sironić

Izvajalci na IRB – Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju –Zavod za kemiju materijala:
dr. Ž. Knežević, dr. M. Majer, dr. M. Nodilo, V. Trputec

IZVAJALCI EMISIJSKIH MERITEV ZNOTRAJ OGRAJE NE KRŠKO NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO (NEK), KRŠKO

Nosilec projekta za NE Krško: Daniel Novak, prof. fiz.

Izvajalci v NEK:
D. Mešiček, M. Pavlin, dipl. str., M. Simončič, univ. dipl. kem., M. Urbanč, B. Vene, kem. tehnik, A. Volčanšek, univ. dipl. kem., J. Žnideršič, dipl. kem.

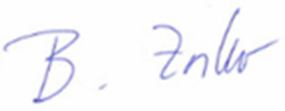
IZVAJALCI IZRAČUNOV RAZREDČITVENIH IN DEPOZICIJSKIH KOEFICIENTOV SEVANJA IZ OBLAKA PO LAGRANGEEVEM MODELU, MEIS STORITVE ZA OKOLJE (MEIS), MALI VRH PRI ŠMARJU

Izvajalci v MEIS:
dr. B. Grašič, dr. P. Mlakar, dr. M. Z. Božnar

L E T N O P O R O Č I L O

Po pogodbah IJS št. 3240052 in ZVD št. 3240174 z dne 24. 1. 2024 ter IRB št. 3211884 z dne 13. 12. 2021 (Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK) z Nuklearno elektrarno Krško, Vrbina 12, SI-8270 Krško, obravnavamo v poročilu radiološko sliko v okolici NEK in širše. V ta namen v uvodu povzemamo ovrednotenja po posameznih sklopih, kot to zahteva *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti* (Ur. l. RS 27/2018, 5. 5. 2018) [8]. Uvod je povzetek prispevkov iz drugega dela poročila - monografije *Evalvacija učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh,* kjer so ocene doz in drugi parametri obravnavani podrobno. Za potrebe poročila pa v strnjeni obliki podajamo ugotovitve za leto 2024.

Odgovorni za izdajo:



doc. dr. Benjamin Zorko

UVOD IN PRAVNE PODLAGE

Namen ovrednotenja je celovit in neodvisen izračun doz direktnega in indirektnega učinka majhnih količin radioaktivnih snovi, ki jih v zrak in vodo med obratovanjem izpušča jedrska elektrarna Krško. Osnova za izvajanje obratovalnega nadzora je *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti* (Ur. l. RS 27/18) [8]. Program obsega meritve v okolju jedrske elektrarne (priloga 4, preglednica 3 iz pravilnika o moniotoringu radioaktivnosti). Podroben program meritev je določen *v Tehnični specifikaciji za obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) v Republiki Sloveniji za leta 2024–2028*, NEK, TS št. TO.RZ, 2/2023, Revizija 0, in dodatno v *Radiological Effluent Technical Specifications (RETS) with Offsite Dose Calculation Manual (ODCM) and Process Control Program (PCP)*, NEK-RETS, Rev. 14, poglavje 3.12.

Da bi zajeli vse učinke radioaktivnosti na prebivalstvo, meritve v okolici elektrarne obsegajo zunanje sevanje (sevanje radionuklidov v zraku, iz tal, kozmično sevanje ter sevanje neposredno iz elektrarne) in koncentracije aktivnosti oziroma specifične aktivnosti radioaktivnih snovi v zraku, hrani, vodi in zemlji. Te snovi z vnosom v telo povzročijo notranje obsevanje. Koncentracije aktivnosti oziroma specifične aktivnosti radionuklidov v zraku, hrani in vodi se merijo v odvzetih vzorcih v laboratorijih zunaj vpliva na okolje, ki ga povzroča elektrarna. Za izračun doz so avtorji uporabili znanstveno potrjene modele in postopke. Ovrednotenje se nanaša na imisijske meritve v okolju ter povzetek programa emisijskih meritev. Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba, ki predstavlja posameznika iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze, pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami. Za evalvacijo merskih podatkov in oceno doznih obremenitev so bili kot dopolnilni ali vzporedni podatki uporabljeni tudi:

- letno in mesečna poročila NEK o tekočinskih in zračnih emisijah v letu 2024;
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih faktorjev Agencije Republike Slovenije za okolje za okolico NEK v letu 2024;
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih in depozicijskih faktorjev ter koeficientov sevanja iz oblaka MEIS storitve za okolje, d. o. o., za okolico NEK v letu 2024;
- nekateri merski podatki iz *Programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju Republike Slovenije* in posebnih meritev IJS.

Učinek objektov, ki v okolje spuščajo radioaktivne snovi, nadziramo na dva načina. Na samem viru izpustov merimo emisije, to je sestavo radionuklidov in izpuščeno aktivnost, ter z modelom transporta snovi v okolju ocenjujemo dozne obremenitve posameznika iz prebivalstva (referenčna oseba) v okolici objektov. Po drugi strani pa z neposrednimi meritvami ugotavljamo prisotnost radioaktivnih snovi v okolju, kar omogoča neposredno oceno izpostavljenosti posameznika iz prebivalstva. Slednje meritve omogočajo tudi oceno izpostavljenosti posameznika iz prebivalstva naravnemu sevanju in vplivom širšega okolja, kot so bile jedrske eksplozije in černobilska nesreča.

Zunanje sevanje se meri z elektronskimi merilniki hitrosti doze, ki se uporabljajo pri sprotnem spremljanju zunanjega sevanja (Envinet MIRA, AMES/MFM, Atomtex/MFM in Gihmm), in s pasivnimi termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD). Radioaktivnost v zraku se določa iz vzorcev, dobljenih s črpanjem zraka skozi aerosolne filtre in filtre, ki zadržijo jod iz zraka, ter iz vzorcev deževnice in suhega useda. Radioaktivnost v reki Savi, kamor se iztekajo tekočinski izpusti, se določa iz meritev vzorcev vode, sedimentov in rib, radioaktivnost podzemnih vod pa iz vzorcev podtalnice in vzorcev vodovodne vode iz zajetij in črpališč. Vzorci hrane, ki so pridelani v okolici elektrarne in v katerih se meri vsebnost radionuklidov, so izbrani tako, da se lahko oceni celotni prispevek radioaktivnosti hrane k dozi. Poleg tega se določa še vsebnost radionuklidov v zemlji.

Izvajalci meritev so bili Institut "Jožef Stefan" (IJS) in Zavod za varstvo pri delu (ZVD) iz Ljubljane ter Institut Ruđer Bošković (IRB) iz Zagreba, Republika Hrvaška. Emisijske meritve znotraj ograje Nuklearne elektrarne Krško so izvedli sodelavci NEK.

Institut "Jožef Stefan" (IJS) in Zavod za varsto pri delu (ZVD) sta pooblaščena za izvajanje merilnega nadzora radioaktivnosti na podlagi 139. in 159. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1, Ur. I. RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-1O) ter 8. in 10. člena Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur. l. RS, št. 27/18) s pooblastiloma 35400-4/2024/3 z dne 14. 6. 2024 (IJS) in 35400-1/2024/2 z dne 5. 3. 2024 (ZVD), ki ju je izdala Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV) v soglasju z Upravo RS za varstvo pred sevanji (URSVS).

Institut "Ruđer Bošković" (IRB) je pooblaščen za izvajanje merilnega nadzora radioaktivnosti na podlagi 139. in 159. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1, Ur. l. RS, št. 76/17 in 26/19) ter 8. in 10. člena Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur. l. RS, št. 27/18) s pooblastilom 35400-2/2021/3 z dne 29. 7. 2021, ki ga je izdala URSJV v soglasju z URSVS.

Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (Ur. l. RS, št. 47/18 z dne 21. 7. 2018) [12] zahteva, da morajo poročilo o ocenah doz za posamezne značilne in referenčne osebe izdelati pooblaščeni izvedenci varstva pred sevanji.

Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji je pooblastila za dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih glede izdelave ocen varstva izpostavljenih delavcev pred sevanji, delovnih razmer izpostavljenih delavcev, dalje o obsegu izvajanja ukrepov varstva pred sevanji na opazovanih in nadzorovanih območjih, preverjanju učinkovitosti teh ukrepov, rednem umerjanju merilne opreme ter preverjanju uporabnosti zaščitne opreme na področju izpostavljenosti prebivalcev zaradi izvajanja sevalnih dejavnosti, naslednje sodelavce Instituta "Jožef Stefan" in Zavoda za varstvo pri delu:

- dr. Marka Giacomellija z odločbo 1864-22/2024-3 z dne 26. 2. 2025;
- mag. Denis Glavič - Cindro z odločbo 1864-15/2022-3 z dne 14. 10. 2022;
- mag. Matjaža Koželja z odločbo 1864-4/2023-3 z dne 14. 4. 2023;
- doc. dr. Mihe Mihoviloviča z odločbo 1864-13/2023-3 z dne 30. 10. 2023
- dr. Tonija Petroviča z odločbo 1864-16/2023-2717-5 z dne 10. 4. 2024
- dr. Gregorja Omahna z odločbo 1864-6/2021-4 z dne 19. 7. 2021;
- mag. Matjaža Stepišnika z odločbo 1864-11/2022-3 z dne 28. 7. 2022 ter
- doc. dr. Benjamina Zorka z odločbo 1864-5/2024-2717-3 z dne 19. 8. 2024.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je z odločbo Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS) št. 1864-5/2022-4 z dne 29. 3. 2022 na podlagi 46. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19 in 172/21) in 3. člena Pravilnika o pooblaščanju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajočih sevanj (Uradni list RS, st. 39/18) pooblaščen kot izvajalec dozimetrije za ugotavljanje izpostavljenosti zunanjemu obsevanju in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih na podlagi termoluminiscenčne dozimetrije sevanja gama in rentgenske svetlobe ter za ugotavljanje izpostavljenosti notranjemu obsevanju pri delu z odprtimi viri in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih na podlagi meritev specifične aktivnosti v bioloških vzorcih ali zraku oziroma specifične površinske aktivnosti kontaminiranih površin. Z odločbo Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS) št. 1864-17/2022-4 z dne 11. 11. 2022 je pooblastilo razširjeno še na ugotavljanje izpostavljenosti zaradi radona in torona ter dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah oziroma izračunih.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je s pooblastilom št. 1864-20/2022-4 z dne 31. 1. 2023, ki ga je izdala Uprava RS za varstvo pred sevanji (URSVS) na podlagi 42. in 43. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19 in 172/21) in 5. člena Pravilnika o pooblaščanju izvedencev varstva pred sevanji (Uradni list RS, št. 47/18), pooblaščen kot izvedenec varstva pred sevanji za svetovanje glede izvajanja sevalnih dejavnosti, izdelavo ocen varstva pred sevanji in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih ter za izvajanje nadzornih meritev na nadzorovanih in opazovanih območjih, pregledov virov sevanja in osebne varovalne opreme.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je s pooblastilom št. 3571-1/2022/2 z dne 11. 3. 2022, ki ga je izdala Uprava RS za jedrsko varnost (URSJV) na podlagi 2. in 3. odstavka 88. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, st. 76/17, 26/19 in 172/21) ter 4. člena Pravilnika o pooblaščenih izvedencih za sevalno in jedrsko varnost (Uradni list RS, st. 50/16 in 76/17 - ZVISJV-1) pooblaščen za izvajanje del pooblaščenega izvedenca za sevalno in jedrsko varnost za vse dejavnosti, ki so določene v tabeli v pooblastilu.

Institut "Jožef Stefan" ima izdelan sistem vodenja kakovosti. Sistem vodenja kakovosti Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2), v okviru katerega delujejo Laboratorij za meritve radioaktivnosti, Laboratorij za dozimetrijo, Ekološki laboratorij z mobilno enoto in Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo, je opisan v *Poslovniku kakovosti Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F2-PK)*. Vsa dela, povezana z meritvami radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško v okviru *Programa nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško*, potekajo v skladu z institutskim in odsečnim poslovnikom in po postopkih, na katere se odsečni poslovnik sklicuje. Laboratorij za meritve radioaktivnosti opravlja meritve sevalcev gama v trdnih in tekočih vzorcih, Laboratorij za dozimetrijo meritve doz s termoluminiscenčnimi dozimetri za uporabo v osebni in okoljski dozimetriji ter Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME) merjenje hitrosti doze s prenosnimi merilniki ionizirajočega sevanja, za neposredne meritve površinske kontaminacije s sevalci alfa, beta in z nizkoenergijskimi sevalci gama in za visokoločljivostno spektrometrijo gama v mobilnem radiološkem laboratoriju. Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo opravlja meritve tritija v vzorcih vode po direktni metodi in po metodi z elektrolitsko obogatitvijo, meritve skupne aktivnosti sevalcev alfa in beta v vodnih vzorcih ter določanje aktivnosti C-14 v tekočih, plinastih in trdnih vzorcih. Institut "Jožef Stefan", Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (Odsek F-2), je akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025). Odsek za znanosti v okolju (O-2), v okviru katerega deluje Laboratorij za radiokemijo, ima ravno tako izdelan sistem vodenja. Opravljajo meritve za določanje vsebnosti stroncija, tritija in C-14 v vzorcih iz okolja. Institut "Jožef Stefan", Odsek za znanosti o okolju (Odsek O-2), je akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-090 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025).

Laboratorij za radioekologijo na Institutu Ruđer Bošković ima akreditacijo Hrvatske akreditacijske agencije (HAA) v skladu s standardom HRN EN ISO/IEC 17025:2017 pod zaporedno številko 1162 za določanje vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama in vsebnosti Sr-89/Sr-90 po radiokemijski metodi v vzorcih iz okolja in proizvodih, vključno s hrano in pitno vodo, ter za določanje tritija, skupne aktivnosti sevalcev alfa in beta ter Fe-55 v vodnih vzorcih. Od julija 2021 je Laboratorij za meritve nizkih radioaktivnosti na Institutu Ruđer Bošković akreditiran pri HAA pod zaporedno številko 1667 za določanje specifične aktivnosti C-14 s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo v organskih in anorganskih materialih.

Zavod za varstvo pri delu ima delujoč sistem vodenja kakovosti, v katerega so vključene vse dejavnosti, povezane z meritvami v okviru *Programa nadzora radioaktivnosti v okolice NE Krško*. Opravljajo visokoločljivostno spektrometrijo gama v vzorcih aerosolov, padavin, zemlje, sedimentov in živil ter določanjo vsebnosti Sr-89 in Sr-90 v vzorcih iz okolja in živil. Zavod za varstvo pri delu d.o.o., Laboratorij za meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov, je akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-032 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025).

I Z V L E Č E K

Poročilo podaja rezultate rednih letnih meritev naravnih in umetnih radioaktivnih snovi ter ostalih virov ionizirajočega sevanja v okolici jedrske elektrarne Krško (Nuklearna elektrarna Krško, krajše NEK), skupaj z izračunom prejete količine ionizirajočega sevanja, ki jih iz teh virov prejmejo prebivalci v okolici jedrske elektrarne NEK.

V letu 2024 so meritve in izračune po zakonsko predpisani in mednarodno priznani metodologiji (ICRP in IAEA) opravile tri pooblaščene organizacije iz dveh držav (Institut "Jožef Stefan", Zavod za varstvo pri delu, Institut Ruđer Bošković), MEIS d.o.o ter NEK kot zavezanec. Rezultati meritev in izračunov kažejo, da je bil skupni učinek NEK iz vseh virov in vseh prenosnih poti na prebivalstvo v vseh primerih manj kot en procent avtorizirane meje, kar pomeni, da objekti NEK minimalno vplivajo na sevalno obremenitev prebivalcev v okolici.

Tako kot vsi prebivalci, tudi prebivalci v okolici NEK prejmejo določeno količino naravnega ionizirajočega sevanja. Izpostavljenost naravnemu ionizirajočemu sevanju v okolici NEK lahko določimo zelo natančno prav na podlagi meritev, ki jih pooblaščene organizacije izvajajo v okviru zakonsko določenega nadzora NEK, saj občutljive naprave zaznavajo vse, tudi številne naravne radionuklide v okolju. Na podlagi meritev, predstavljenih v tem poročilu in opravljenih s strani pooblaščenih organizacij in analiz Uprave RS za varstvo pred sevanji, je bila za leto 2024 določena vrednost prejete doze naravnega ionizirajočega sevanja v okolici NEK 4,98 mSv na leto.

Tabela A: Zbirna tabela letnih izpostavitev prebivalstva v okolici NEK za leto 2024 je povzetek podatkov, ki so obširneje predstavljeni v tabeli F.

Vir	Prenosna pot	Letna efektivna doza (mSv)
naravno sevanje	– zunanje sevanje gama in neposredno kozmično sevanje (vključno z nevtronsko komponento)*	0,58
	– zaužitje naravnih radionuklidov (K, U, Th)**	0,31
	– vdihavanje naravnih radionuklidov in potomcev**	4,09
	Skupaj naravno sevanje v okolici NEK	**4,98**
NEK	– sevanje gama in neposredno sevanje iz objektov NEK	0,000000
	– kumulativni prispevek atmosferskih izpustov	0,000065
	– kumulativni prispevek tekočinskih izpustov	0,000010
	Skupaj učinki NEK* **	**0,000075**
ostalo	– černobilska nesreča, vojaški jedrski poskusi, …	0,035
	Skupaj globalno onesnaženje v okolici NEK	**0,035**

* Ocena efektivne doze zunanjega sevanja iz okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ z upoštevanjem pretvorbenega faktorja $E/H^*(10) = 0{,}84$ za fotone 600 keV [85]. Pretvorbeni faktorji v območju od 100 keV do 6 MeV so v območju med 0,84 in 0,89. Upoštevali smo, da se odrasla oseba (referenčna oseba) zadržuje 20 % časa na prostem, da je faktor ščitenja sevanja iz zemlje pri zadrževanju v zgradbah 0,1, faktor ščitenja stavb za kozmično sevanje, 0,8 ter prispevek efektivne doze zunanjega sevanja gradbenih materialov, 0,2 mSv. Predpostavili smo še, da je prispevek ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja k celotnemu doznemu ekvivalentu, ki smo ga izmerili s TLD, 1/3, sevanje iz zemlje pa pripseva 2/3 (Tabela 5.2, poglavje Zunanje sevanje). Okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$, ki je bil ocenjen v poglavju *Zunanje sevanje* v prilogi tega poročila, dodatno pomnožimo s faktorjem 0,84 ([25], [40]).

** Povzeto po poročilu [14].

*** Skupna vsota prispevkov NEK je informativna in konzervativno ocenjena navzgor, saj v celoti seštevamo vse različne prispevke za različne referenčne osebe, ki se v realnem primeru ne seštevajo v celoti.

Prispevek vseh sevalnih učinkov NEK na prebivalce v njegovi neposredni okolici je bil v letu 2024 manjši kot 0,000075 mSv. Ta prispevek je več kot petdesettisočkrat manjši od prispevka naravnega ozadja, zato lahko zaključimo, da prebivalci, ki živijo na krško-brežiškem polju, v naseljih v celotnem okrožju v okolici NEK in na robu izključitvenega območja, niso zaradi NEK nič bolj izpostavljeni ionizirajočemu sevanju. Prebivalci v okolici NEK, tako kot prebivalci drugod po Sloveniji, prejemajo vsako leto dozo ionizirajočega sevanja naravnega ozadja. Zaradi naravnih vplivov, geografije in geološke sestave tal pa je doza sevanja naravnega ozadja v okolici NEK (4,98 mSv) celo nižja od povprečja v Republiki Sloveniji, ki je 5,98 mSv na leto. Prispevek sevalnih učinkov NEK na prebivalce predstavlja 0,1 % avtorizirane mejne letne doze. Avtorizirana letna doza za prebivalce je določena na 0,05 mSv na leto, kar je 5 % mejne efektivne doze (1 mSv) za posameznika iz prebivalstva v Sloveniji.

Prejete doze prebivalstva v okolici NEK so zbirno predstavljene v tabeli A. Ta vsebuje konzervativno zaokrožen in poenostavljen prikaz merskih in računskih podatkov, ki so v celoti predstavljeni v tabeli F in bolj podrobno v preostalem delu tega izvlečka in celotnega poročila.

Vsi sevalni učinki NEK na prebivalstvo v okolici so zelo majhni, manj kot en promil avtorizirane mejne letne doze na robu izključitvenega območja in naprej v zunanjosti. Nizke vrednosti lahko pripišemo majhnim nadzorovanim izpustom iz NEK. Zasluge za tako nizke učinke jedrske elektrarne gredo tudi zaposlenim v NEK, ki zgledno skrbijo za nadzor in omejevanje izpustov.

Pri tem je treba poudariti, da se za izračun ali oceno sevalne obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta uporablja tako imenovana referenčna oseba. To je za posamezno prenosno pot teoretični predstavnik prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišjo dozo pri posameznem načinu prenosa radioaktivnih snovi v okolje, pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami.

Tako je na primer referenčna oseba za izračun prispevka atmosferskih izpustov zaradi C-14 oseba, ki živi neposredno v okolici NEK (blizu roba izključitvenega območja) in dva meseca v letu uživa samo hrano, ki je bila pridelana na enakem mestu (blizu roba izključitvenega območja), ostalih 10 mesecev pa hrano od drugod iz Posavja (Dobova). Referenčna oseba za izračun prispevka tekočinskih izpustov v reko Savo je ribič ob reki Savi, ki se zadržuje 350 m nizvodno od jezu NEK in uživa tam ujete ribe. V skupni oceni vpliva te različne referenčne osebe seštejemo. Ker pa gre za prispevke različnih referenčnih oseb, je seštevek učinkov zračnih in tekočinskih izpustov iz NEK konservativna zgornja ocena letne efektivne doze. Celo taka konzervativna ocena izpostavljenosti hipotetične referenčne osebe, ki prejme vse mogoče dozne obremenitve iz NEK, predstavlja praktično zanemarljivo vrednost v primerjavi z vrednostmi značilnega neizogibnega naravnega ozadja v Republiki Sloveniji.

Tako lahko sklenemo, da NEK proizvaja čisto, učinkovito in nizkoogljično energijo, ki je bistvena za zadovoljevanje trenutnih in prihodnjih energetskih potreb Republike Slovenije in reševanje globalnih podnebnih sprememb.

UVOD

Tako kot povsod po svetu smo tudi prebivalci Slovenije izpostavljeni naravnim in antropogenim virom ionizirajočega sevanja. Čeprav med antropogenimi viri največji delež prispeva uporaba ionizirajočega sevanja v medicini, ki v tem poročilu ni obravnavana, ostajajo prisotni tudi učinki preostale kontaminacije iz Černobila ter atmosferskih jedrskih poskusov, vendar ti praviloma predstavljajo manj kot odstotek naravnega ozadja.

Lokalno prebivalstvo v okolici Nuklearne elektrarne Krško (NEK) je lahko izpostavljeno še atmosferskim in tekočinskim izpustom radioaktivnih snovi iz NEK ter neposrednega sevanja iz objektov znotraj njene ograje. Pri njih mora NEK upoštevati *avtorizirano dozno mejo*[1] 0,05 mSv na leto za odraslo osebo po vseh prenosnih poteh in druge mejne vrednosti, ki se nanašajo na izpuste ter druge sevalne učinke na okolje in prebivalstvo. Izpolnjevanje zahtev dokazuje NEK z *obratovalnim monitoringom radioaktivnosti*, katerega obseg in način izvajanja določa *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti*[2] [8]. Poleg NEK, ki meri emisije, sodelujejo pri izvedbi nadzora radioaktivnosti tudi *neodvisni pooblaščeni izvajalci nadzora*.

V tem poročilu ocenjujemo sevalni učinek NEK zaradi tekočinskih izpustov z uporabo veljavnega enodimenzionalnega modela iz leta 2009. Ta model temelji na podatkih o tekočinskih izpustih in povprečnem letnem pretoku reke Save ter upošteva značilnosti referenčne osebe. To oceno nato primerjamo z rezultati, pridobljenimi z uporabo novega modela [33]. Novi model se nanaša na območje pretočne akumulacije HE Brežice in temelji na teoretični napovedi mešanja ter redčenja z uporabo tridimenzionalnega hidrodinamičnega transportnega modela PCFLOW3D ([30], [31], [32], [36]). V okviru projektne naloge je bila izdelana tudi spletna platforma DOSENEK [33], v kateri vnašamo merske in druge podatke in z računskimi postopki izračunamo efektivne doze za referenčne osebe v treh različnih starostnih skupinah. Pod jezom HE Brežice se efektivna doza za referenčno osebo[3] oceni iz rezultatov analiz okoljskih vzorcev.

ZNAČILNOSTI VZORČENJA IN MERITEV VZORCEV IZ OKOLJA

Vzorčenje in meritve so v letu 2024 potekale v enakem obsegu in na enak način kot v preteklih letih, kar omogoča primerjavo rezultatov nadzora z rezultati iz preteklih let in določitev možnih usmeritev. Pred leti je bil po izgradnji HE Brežice dodan radiološki merilni nadzor v območju pretočne akumulacije HE Brežice. Značilnosti vzorčenja in meritev so:

1) Reka Sava

a) neprekinjeno vzorčenje na štirih lokacijah (Krško – 3,2 km vzvodno, nad jezom HE Brežice – 7,2 km nizvodno, Brežice – 8,2 km nizvodno in Jesenice na Dolenjskem – 17,5 km nizvodno) za dolgožive radionuklide; posamično vzorčenje nefiltrirane vode v Krškem, na levem in desnem bregu pretočne akumulacije HE Brežice, v razlivnem območju Save na levem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice (t.i. "nadomestni habitat"), nad jezom HE Brežice, v Brežicah, Jesenicah na Dolenjskem in Podsusedu pri Zagrebu (Republika Hrvaška (HR), okrog 30 km nizvodno od NEK) za kratkožive radionuklide;

---

[1] Omejitev dodatne izpostavitve prebivalstva je bila določena že v lokacijski dokumentaciji NEK leta 1974, kjer je navedena zahteva, da celotna letna efektivna doza prispevkov vseh prenosnih poti na posameznika iz prebivalstva na robu izključitvenega območja (500 m od osi reaktorja) in navzven ne sme presegati 0,05 mSv na leto. Ta omejitev je bila po začetku obratovanja dopolnjena še z omejitvijo letne efektivne doze *zunanjega sevanja* objektov na ograji (0,2 mSv na leto) ter z omejitvijo aktivnosti radionuklidov v tekočih in plinastih efluentih.

[2] Obratovalni nadzor radioaktivnosti obsega meritve *emisij* na samem objektu, meritve *imisij* v okolici, meritve zunanjega sevanja v okolju, ovrednotenje merskih rezultatov in oceno doz. Pravilnik določa tudi zahteve, ki jih morajo izpolnjevati izvajalci nadzora radioaktivnosti, tehnične zahteve za merilno in analizno opremo ter načine in poti izpostavljenosti, ki jih je treba upoštevati pri ocenjevanju doz.

[3] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].

b) posamični četrtletni vzorci reke Save v Krškem in Brežicah;

c) sestavljeni četrtletni vzorci na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera za ugotavljanje koncentracije aktivnosti C-14 v Savi;

č) vzorčenje sedimentov na desetih lokacijah (Krško vzvodno, pod jezom NEK, Pesje, na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice, nad jezom HE Brežice, Brežice, Jesenice na Dolenjskem, Podsused - HR nizvodno);

d) vzorci rib: Krško, akumulacijsko jezero Brežice, Brežice, Jesenice na Dolenjskem, Podsused (HR) in Otok (HR). Prav tako sta bila odvzeta vzorca rib v pretočni akumulaciji HE Brežice za ugotavljanje vsebnosti C-14.

Meritve vzorcev vključujejo določanje koncentracije aktivnosti in specifične aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG), določanje koncentracije aktivnosti tritija (H-3) s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo in določanje Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko separacijo in štetjem s proporcionalnim števcem. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Vsebnost C-14 v savski vodi in ribah je bila določena z masno spektrometrijo s pospeševalnikom (AMS).

2) Vodovodi in črpališča

a) posamični letni vzorci vode iz vodovoda v Ljubljani (Osrednjeslovenska statistična regija, referenčna lokacija);

b) posamični četrtletni vzorci vode iz vodovodov v Krškem in Brežicah;

c) mesečni sestavljeni vzorci črpališč na Bregah, v Rorah in Brežicah ter vodovodov Spodnji Stari Grad in Brežice; mesečni sestavljeni vzorci črpališča Petruševec v Zagrebu, Hrvaška;

č) vzorčenje podtalnice v neposredni okolici elektrarne (četrtletni posamični vzorci iz vrtine E1 znotraj ograje NEK in mesečni posamični vzorci iz vrtine VOP-4, Vrbina) ter na dveh lokacijah na Hrvaškem (vrtini Medsave in Šibice);

d) mesečni vzorci vrtin VOP-1/06, V-7/77 in V-12/77.

Meritve vzorcev vključujejo določanje koncentracije aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG), določanje koncentracije aktivnosti tritija (H-3) s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo in določanje koncentracije aktivnosti Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko separacijo in štetjem s proporcionalnim števcem. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama.

3) Padavinski in suhi usedi

a) mesečni sestavljeni vzorci iz zbiralnikov padavin na Bregah, v Krškem in na referenčni lokaciji v Dobovi ter v Ljubljani (kontrolna lokacija; v okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji);

b) mesečna menjava vazelinskih zbiralnikov suhega useda na osmih lokacijah v ožji in širši okolici NEK ter v Ljubljani (referenčna lokacija).

Pri vzorcih padavin so bile opravljene meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama, določena je bila še koncentracija aktivnosti tritija (H-3) s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo in koncentracija aktivnosti Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko analizo. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Na vazelinskih vzorcih so bile opravljene meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama.

4) Zrak

a) vzorčenje aerosolov se opravlja z neprekinjenim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre, ki se menjajo vsakih 15 dni; črpalke so postavljene na osmih lokacijah v okolici NEK (Spodnji Stari Grad, Krško – Stara vas, Leskovec, Brege, Vihre, Gornji Lenart, Spodnja Libna in referenčna lokacija Dobova) ter na kontrolni lokaciji v Ljubljani (nadzor radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji);

b) vzorčenje joda I-131 se opravlja s posebnimi črpalkami in filtri na istih lokacijah, kjer poteka

vzorčenje aerosolov (razen v Dobovi);

c) vzorčenje za specifično meritev Sr-90/Sr-89 je v Stari vasi;

č) meritve emisij se opravijo na glavnem ventilacijskem izpustu NEK, pri čemer se odvzemajo vzorci za meritev joda, tritija (H-3), ogljika (C-14) in aerosolov ter opravljajo meritve žlahtnih plinov;

d) zbiranje vzorcev zračnega ogljika C-14 v CO_2 je neprekinjeno potekalo na dveh mestih na ograji NEK, ki je v izključitvenem območju, v letu 2024 je bilo skupno zbranih štirinajst vzorcev. Kontrolne meritve so potekale v Zagrebu, Republika Hrvaška.

Meritve filtrov za aerosole in posebnih filtrov za I-131 se opravljajo z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifična meritev Sr-90/Sr-89 pa se opravlja na proporcionalnem števcu beta. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Merjenje specifične aktivnosti C-14 v atmosferskem CO_2 poteka z uporabo tekočinskoscintilacijskega števca po pretvorbi CO_2 v benzen.

5) Zunanja izpostavljenost sevanju

Zemlja

a) vzorce zemlje zbiramo na treh lokacijah neobdelane zemlje nizvodno od NEK na poplavnih območjih (kraj Amerika – 3,5 km vzhodno od NEK, Gmajnice – 2,5 km od NEK in Kusova Vrbina-Trnje – 8,5 km od NEK); vzorčenje poteka dvakrat letno, in sicer ločeno po globinah do 30 cm.

Meritve sevalcev gama se opravljajo z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifična aktivnost Sr-90/Sr-89 pa se določa z radiokemijsko analizo, ki se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama.

Zunanje sevanje

a) doza zunanjega sevanja (sevanje gama in ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja izražena v okoljskem doznem ekvivalentu $H^*(10)$) se meri s 57 termoluminiscenčnimi dozimetri (TL-dozimetri) v okolici NEK (nameščeni so krožno okoli NEK na razdaljah do 10 km) in devetimi TL-dozimetri na ograji NEK; dozimetri se odčitavajo v polletnih presledkih; referenčni dozimeter za vse meritve doze zunanjega sevanja je v Ljubljani; dodatnih 10 TL-dozimetrov je postavljenih na Hrvaškem;

b) doza zunanjega sevanja se meri tudi s sedmimi TL-dozimetri na zahodni ograji NEKv bližini stavbe za suho skladiščenje izrabljenega goriva;

c) vzporedno potekajo meritve s TL-dozimetri na 50 lokacijah po državi [18], [19];

d) v sklopu mreže zgodnjega obveščanja je v okolici NEK postavljenih 14 merilnikov hitrosti doze, ki delujejo neprekinjeno; poleg teh je v mrežo zgodnjega obveščanja v Sloveniji vključenih še dodatnih 59 merilnikov (Envinet MIRA, AMES/MFM, Atomtex/MFM in Gihmm).

Za merjenje okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ IJS uporablja dozimetre tipa TLD-IJS-05 (CaF_2:Mn). Meritve H*(10) na 10 lokacijah na Hrvaškem so opravljene s termoluminiscenčnimi (LiF:Mg,Cu,P, MCP-N, CaF_2:Mn), OSL Al_20_3:C in radiofotoluminescenčnimi (RPL) dozimetri. Podatke iz merilnikov mreže zgodnjega obveščanja zbira in posreduje URSJV.

6) Hrana

a) odvzemna mesta vzorcev hrane v letu 2024, ki so označena na priloženem zemljevidu na koncu poročila, so bila: sadovnjak ob NEK (sadje), Pesje (mleko, zelenjava, sadje), Brege (mleko, zelenjava), Vihre (zelenjava), Vrbina (žito, sadje), Spodnji Stari Grad (meso, jajca), Žadovinek (zelenjava, žito), Trnje (zelenjava, žito), Leskovec (meso, sadje), Mrtvice (mleko, meso, zelenjava), Dolenja vas (zelenjava), Gornji Lenart (jajca), Sevnica[4] (meso); v letu 2024 je bilo v okolici NEK vzorčenih 29 vrst živil, skupno 71 vzorcev (mleko: 36, zelenjava: 20, meso: 7, sadje: 8);

[4] Vzorci svinjskega mesa in govedine smo vzorčili v KZ Sevnica. Meso so prevzeli od rejcev v Kalce-Naklo, Malem Podlogu in Mrtvicah

b) pogostost vzorčenja je odvisna od vrste živila: mleko mesečno oziroma trimesečno za specifično meritev Sr-90/Sr-89, meso, jajca in žito enkrat letno, povrtnine, poljščine in sadje sezonsko;

c) vzorčenje rastlinstva, poljščin in sadja za določanje specifične aktivnosti C-14 je potekalo v letu 2024 dvakrat (julij in september) na 16 lokacijah v okolici NEK in v Dobovi (referenčna lokacija); skupaj je bilo analiziranih 36 vzorcev.

Specifične aktivnosti sevalcev gama so bile izmerjene z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 pa z radiokemijsko metodo, ki se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Aktivnost C-14 se določa z meritvijo absorbiranega CO_2 s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo.

REZULTATI MERITEV

Za izračun letne doze uporabljamo aritmetično sredino periodičnih merskih rezultatov [58]. Negotovost izračunane letne doze je apriorna negotovost aritmetičnega povprečja, ki upošteva negotovosti periodičnih merskih rezultatov. Negotovost aritmetičnega povprečja lahko ocenimo tudi s predpostavko, da so periodični merski rezultati porazdeljeni po normalni verjetnostni porazdelitvi. Standardno deviacijo takšne porazdelitve imenujemo razsutje. Če jo delimo s korenom števila meritev, pridemo do aposteriorne negotovosti aritmetičnega povprečja. Definicije teh izrazov so v delovnem poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS DP 15010*. Tako definirane cenilke so združljive s frekventističnim pristopom [59], le da se namesto aposteriorne negotovosti tam uporablja izraz raztresenost povprečja.

Kadar so merski rezultati pod mejo detekcije in se poroča meja detekcije (največkrat pri Pb-210, H-3, Sr-90, itd.), se na podlagi priporočila Evropske komisije (*European Commission recommendation on standardized information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation*, Euratom Off. J. Eur. Union. 2004; str. L2:32; odstavka 6 in 7 [60]) v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Teh vrednosti ne podajamo s pripadajočo negotovostjo in so v tabelah označene z znakom "†". Zaradi tega tudi negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajamo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo (tj. upoštevamo razsustje vrednosti). Takšni zapisi so v tabelah označeni z "x".

Spodnje meje aktivnosti drugih nedetektiranih radionuklidov nismo pisali v tabele. Pri izračunih mesečnih povprečij se prazna polja upoštevajo kot ničle.

Pri ovrednotenju merskih rezultatov z visokoločljivostno spektrometrijo gama, opravljenih na IJS, smo uporabili neposredne merske rezultate iz poročila *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010,* enako kot v zadnjih treh letih. Merski podatki so predstavljeni v obliki $(y \pm u(y))$, kjer je y izmerjena specifična aktivnost in $u(y)$ združena standardna negotovost izmerka. Če je pri detektirani prisotnosti radionuklida negotovost aktivnosti večja od 80 % vrednosti izmerka, poročamo neposredni merski rezultat, ki ga označimo z znakom "‡", pod tabelo pa dopišemo, da gre za merski rezultat pod mejo kvantifikacije.

Označba Sr-90/Sr-89 pomeni, da ni bila narejena analiza na Y-90. Ločitev za Y-90 se izvede samo v primerih, ko iz ponovitev meritev Sr-90/Sr-89 ugotovimo, da je izmerjena hitrost štetja res manjša od predhodno določene in je ta razlika hitrosti štetja posledica radioaktivnega razpada Sr-89. Poročane specifične aktivnosti Sr-89/Sr-90 se tako nanašajo le na koncentracije aktivnosti ali specifične aktivnosti Sr-90, saj kratkoživi Sr-89 ni prisoten v okolju.

1) Reka Sava *(Izvleček poglavja Radioaktivnost v reki Savi)*

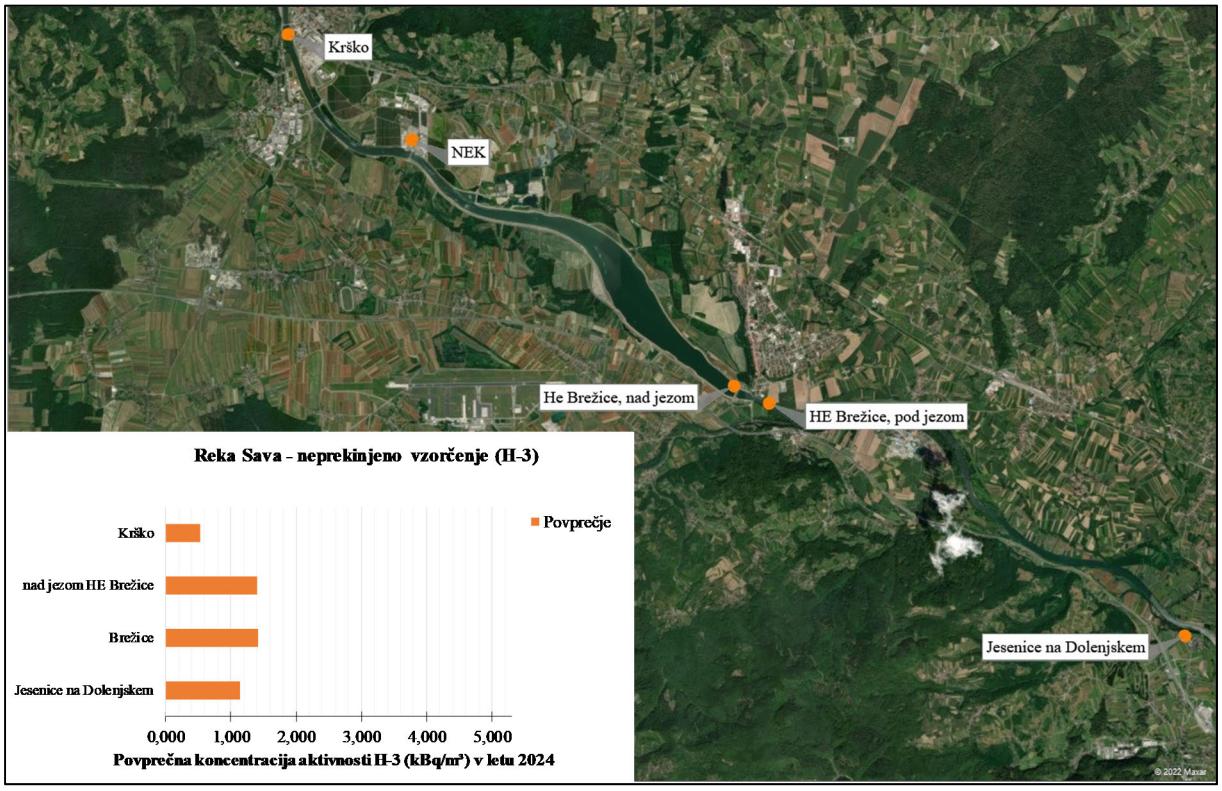
Tritij (H-3) je naraven kozmogeni radionuklid. Ker nastaja v zgornjih plasteh atmosfere, je prisoten v deževnici in vodotokih. Naravna koncentracija aktivnosti tritija v deževnici v letu 2024 je od 0,3 kBq/m^3 do 1,2 kBq/m^3. Povprečje koncentracij aktivnosti tritija (ozadje) v reki Savi nad Krškim je 0,5 kBq/m^3, v razponu 0,3–0,7 kBq/m^3. Tritij je tudi redno prisoten v tekočinskih izpustih NEK in ga zato zaznamo v reki Savi. Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti tritija v reki Savi na postajah z neprekinjenim vzorčenjem (filtrirana voda) vzvodno in nizvodno od jezu NEK v letu 2024 je prikazan na sliki I1. Večletno povprečje koncentracij aktivnosti H-3 (od 2017 do konca leta 2023) v Brežicah je

3,2 kBq/m^3, na vzorčevalni postaji nad jezom HE Brežice pa 3,1 kBq/m^3. Zaradi pritokov Krke in Sotle, se Sava dodatno razredči, zato pričakujemo dodatno redčenje nizvodno. Večmesečno povprečje tritija v Jesenicah na Dolenjskem je 2,9 kBq/m^3, kar je v okviru razsutja vrednosti v Brežicah in pred jezom HE Brežice, enako.

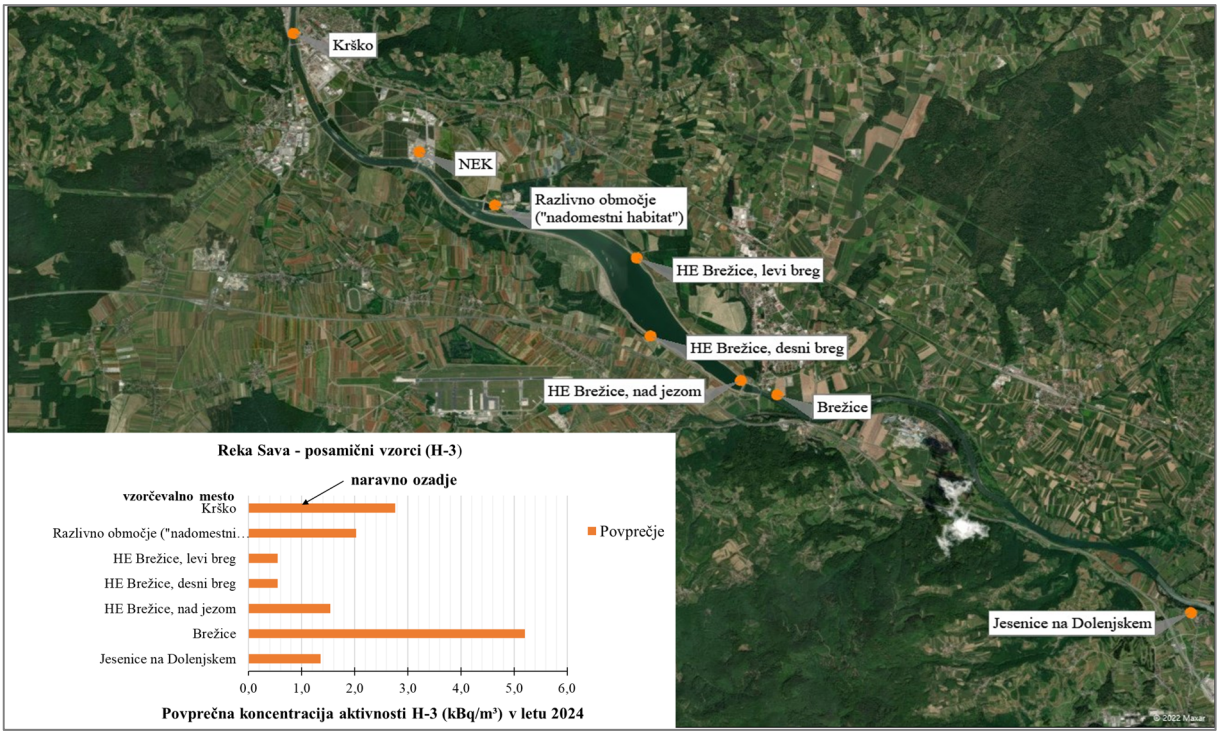
Zaradi prisotnosti pretočne akumulacije HE Brežice časovni potek koncentracij aktivnosti H-3 na vzorčevalnih mestih (levi breg, desni breg, nad jezom HE Brežice) ne sledi časovnemu poteku mesečnih izpustov H-3 iz NEK. Pojavljajo se občasna ujemanja z dnevnimi izpusti, pri čemer upoštevamo dvo- do tridnevni zamik med datumoma izpusta in vzorčenja. Enako je bilo tudi v letu 2024. Opazimo, da so koncentracije aktivnosti H-3 v reki Savi, vzorčene na desni in levi strani najširšega dela akumulacije v letu 2024 enake, 0,6 kBq/m^3, kar je drugače kot prejšnja leta, ko je bila koncentracija aktivnosti H-3 na desnem bregu višja kot na levem bregu. Izmerjene koncentracije aktivnosti H-3 v akumulaciji HE Brežice so bile presentljivo nizke, na ravni ozadja. Le pred jezom NEK je bilo povprečje 1,4 kBq/m^3.

Da so bile v letu 2024 hidrodinamične lastnosti v akumulaciji HE Brežice drugačne, lahko sklepamo tudi iz dolgoletnih povprečij, ki sta za levo stran 3,6 kBq/m^3, za desno pa 4,8 kBq/m^3. Dosedaj smo domnevali, da je tok počasnejši, a izrazitejši po desni strani akumulacije do najširšega dela akumulacije, nato pa sledi matici reke do jezu HE Brežice. To smo sklepali tudi iz batimetričnih meritev globine reke Save, ki so bile opravljene v zajezitvi nad jezom HE Brežice [28]. Možen je tudi povraten tok v bazenu akumulacije, kar lahko poveča ali zniža redčenje v akumulaciji. Na sliki I2 so prikazane povprečne koncentracije aktivnosti H-3 na lokacijah vzvodno in nizvodno od jezu NEK, kjer se vzorčujejo posamični vzorci (nefiltrirana voda).

V letu 2024 je bil vzorčen radioaktivni ogljik (C-14) v izpustih iz odpadnih merilnih rezervoarjev NEK. Prispevek C-14 smo ocenili iz meritev v četrtletnih vzorcih WMT, ki jih je opravil IRB. Najmanjša četrtletna aktivnost C-14 je bila 0,04 GBq v tretjem in zadnjem četrtletju, največja pa 0,08 GBq v drugem četrtletju. Četrtletni vzorci so sestavljeni iz posamičnih izpustov. Skupno letno izpuščeno aktivnost C-14 0,2 GBq smo izračunali kot vsoto četrtletnih vrednosti. Izpusti so za velikostni red nižji, kot je dolgoletno povprečje (1,4 GBq) od leta 2013 do 2023.



Slika I1: Na grafu je pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v reki Savi na postajah z neprekinjenim vzorčenjem vzvodno in nizvodno od jezu NEK v letu 2024.



Slika I2: Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v letu 2024 v reki Savi na lokacijah vzvodno in nizvodno od jezu NEK, kjer se vzorčujejo posamični (mesečni ali četrtletni) vzorci. Naravno ozadje H-3 v Savi je v razponu 0,3 do 0,7 kBq/m^3.

C-14 je bil merjen tudi v savski vodi in v ribah [22]. Na lokacijah na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice so bili odvzeti sestavljeni četrtletni vzorci. Povprečje izmerjenih koncentracij aktivnosti na levem bregu v pretočni akumulaciji je bilo 9,7 Bq/m^3 (188 Bq na kilogram ogljika), in prav tako na desnem 9,7 Bq/m^3. Četrtletne izmerjene vrednosti se v okviru razsutja podatkov ne odmikajo od povprečij. Zato ne moremo sklepati na učinek delovanja NEK. Povprečne koncentracije aktivnosti so sicer nižje od trenutnih atmosferskih aktivnosti (trenutna splošna atmosferska aktivnost C-14 brez učinkov NEK je 231 Bq na kilogram ogljika). V primerjavi s prejšnjimi leti so specifične aktivnosti C-14 v ribah v letu 2024 nižje kot pred leti. Specifična aktivnost C-14 v ribah je blizu trenutne atmosferske aktivnosti C-14.

Radioaktivni jod (I-131), ki se uporablja tudi v medicini, je redno prisoten na vseh nadzornih mestih reke Save, tako vzvodno od elektrarne kot nizvodno v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem. V tekočinskih izpustih iz NEK I-131 v letu 2024 ni bil zaznan.

V letu 2024 je koncentracija aktivnosti I-131 na vseh vzorčevalnih mestih, enako kot prejšnja leta, zelo nihala in je včasih bila tudi nad mejo detekcije. V posamičnih vzorcih na različnih mestih vzorčenja reke Save v Posavju je bila tako od 0 Bq/m^3 do 5,4 Bq/m^3. Najvišje povprečje v Posavju je bilo v letu 2024 v pretočni akumulaciji nad jezom HE Brežice, in sicer 2,3 Bq/m^3. Prisotnost radioaktivnega joda v rekah izvira iz tekočinskih izpustov iz bolnišnic po Sloveniji in Avstriji.

Prisotnost I-131 v rekah po Sloveniji ugotavljamo z meritvami v ločenem nadzoru v življenjskem okolju v RS [19]. Najvišja izmerjena koncentracija aktivnosti I-131 v letu 2024 je bila (11,2 ± 1,1) Bq/m^3 v Savi v Lazah pri Ljubljani v decembru 2024. Najvišje povprečje dveh analiz 5,3 Bq/m^3 je bilo izračunano za vzorca reke Savinje za čistilno napravo v Laškem. V primerjavi s prejšnjimi leti so bile izmerjene koncentracije I-131 v rekah v letu 2024 nižje. V Savi v Lazah pri Ljubljani je bila vsebnost joda 1,5-krat nižja kot je dolgoletno povprečje.

V vzorcih rib in talnega sedimenta na vseh vzorčevalnih mestih vzvodno in nizvodno od jezu NEK ni bila zaznana prisotnost I-131, kar je enako kot v preteklih letih.

Letni tekočinski izpust Cs-137 iz NEK v reko Savo je bil 1,4 MBq, kar je v okviru razsutja podatkov primerljivo z izpusti v preteklih letih (2016–2023) in nižje kot dolgoletno povprečje 14 MBq od leta 2000. Izmerjene vsebnosti Cs-137 v reki Savi zato pripisujemo globalni kontaminaciji, saj je izračunani prirastek koncentracije aktivnosti Cs-137 350 m nizvodno od jezu NEK, ob upoštevanju letnih tekočinskih izpustov in povprečnega pretoka Save ter privzetku razredčitvenega razmerja na levem bregu v Brežicah, enak 5,6 E–4 Bq/m^3, v Brežicah pa 2,6 E–4 Bq/m^3. Teh ocenjenih vrednosti ni mogoče ločiti od nehomogeno porazdeljene globalne kontaminacije.

Povprečje izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti Cs-137 v filtrirani vodi reke Save je bilo na referenčnem mestu v Krškem 0,3 Bq/m^3, v Brežicah 0,63 Bq/m^3, nad jezom HE Brežice 0,48 Bq/m^3 in v Jesenicah na Dolenjskem 0,04 Bq/m^3. Na levem bregu največje razširitve pretočne akumulacije je bilo povprečje v nefiltrirani vodi 0,5 Bq/m^3, nad jezom HE Brežice pa 0,44 Bq/m^3. V nefiltrirani vodi v Krškem je bilo povprečje vsebnosti Cs-137 0,69 Bq/m^3. Na drugih vzorčevalnih mestih Cs-137 v vodi ni bil zaznan.

Izmerjena koncentracija aktivnosti Cs-137 v rekah po Sloveniji variira glede na lokacijo vzorčenja. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v letu 2024 je bila od 0,1 Bq/m^3 v Krki do 0,99 Bq/m^3 v Muri. V Soči in Kolpi Cs-137 v letu 2024 ni bil detektiran. V preostalih rekah je bil radioaktivni cezij, ki je posledica splošne kontaminacije, detektiran vsaj v enem vzorcu. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v vseh obravnavanih rekah v letu 2024 je pretežno nižja od povprečja od leta 2008 do 2023 za posamezno reko. [19].

Radioaktivni stroncij (Sr-90) je redno izmerjen v tekočinskih izpustih NEK. V letu 2024 je bila skupna izpuščena aktivnost v reko Savo 0,19 MBq, kar je podobno večletnemu povprečju 0,14 MBq. Mesečni vzorci so sestavljeni iz posamičnih izpustov. Tudi vsebnost Sr-90 v reki Savi pripisujemo globalni kontaminaciji, saj je izračunani prirastek koncentracije aktivnosti Sr-90 350 m nizvodno od jezu NEK, ob upoštevanju letnih tekočinskih izpustov in povprečnega pretoka Save ter privzetku razredčitvenega razmerja na levem bregu v Brežicah, enak 7,4 E–5 Bq/m^3, v Brežicah pa je enak 3,5 E–5 Bq/m^3. Teh prispevkov ni mogoče ločiti od nehomogeno porazdeljene globalne kontaminacije.

Povprečna koncentracija aktivnosti Sr-90 v filtrirani vodi na referenčnem mestu Krško je bila 0,43 Bq/m^3, nad jezom HE Brežice 1,2 Bq/m^3, v Brežicah 0,92 Bq/m^3 in v Jesenicah na Dolenjskem 2,0 Bq/m^3. Najvišja posamična koncentracija aktivnosti je bila 2,5 Bq/m^3 v Jesenicah na Dolenjskem. V okviru razsutja podatkov so vrednosti primerljive med seboj, pri tem pa je potrebno upoštevati, da gre za merske izide različnih izvajalcev meritev. Koncentracije aktivnosti Sr-90 v posamičnih vzorcih nefiltrirane vode so v okviru negotovosti enake kot v neprekinjeno vzorčenih vzorcih filtrirane vode. Na vseh lokacijah so četrtletna povprečja od 1,3 Bq/m^3 do 3,1 Bq/m^3. Najvišja posamična izmerjena vrednost je bila v Krškem 8,5 Bq/m^3.

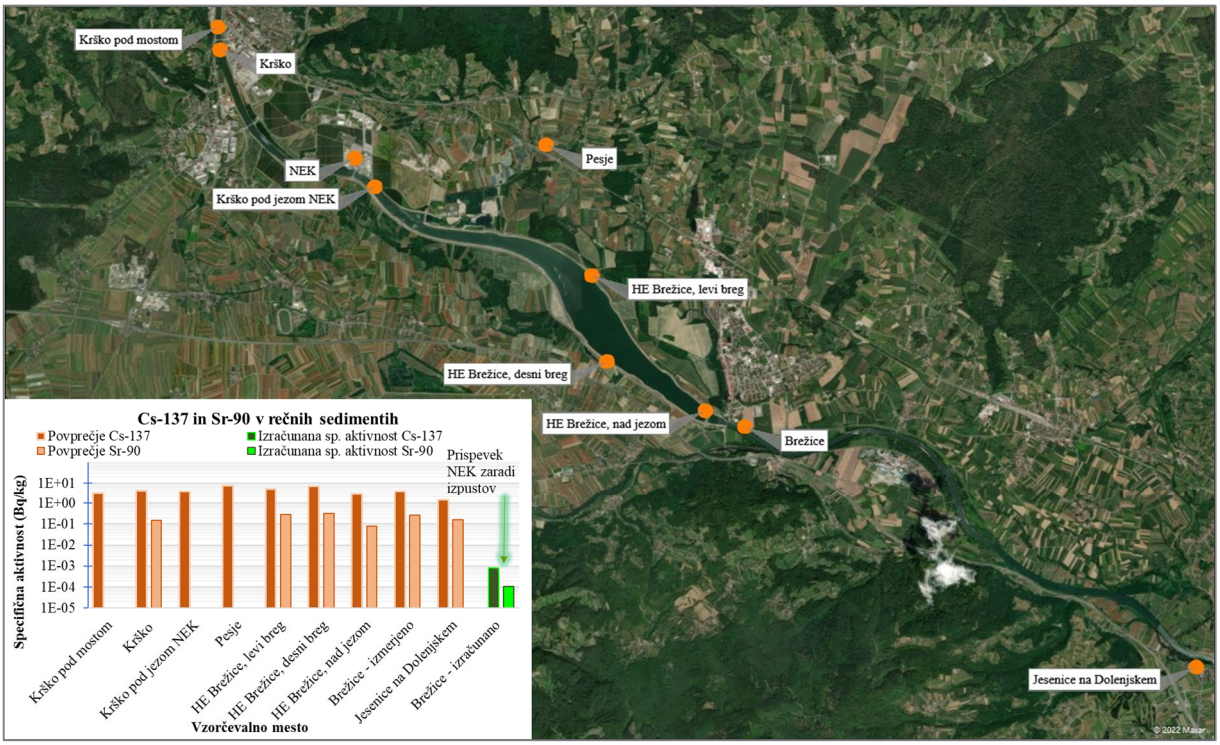
Meritve izotopa stroncija (Sr-90) v ostalih rekah po Sloveniji so bile opravljene le na vzorcih vode, vzorčenih v Dravi nizvodno od Dravograda, Muri in Savi (Laze pri Ljubljani). Povprečna letna koncentracija aktivnosti Sr-90 v reki Muri od leta 2008 do 2023 je 2,4 Bq/m^3, v reki Dravi 1,7 Bq/m^3 in v Savi v Lazah pri Ljubljani 2,5 Bq/m^3. Izmerjene koncentracije aktivnosti Sr-90 v rekah v Sloveniji so v letu 2024 nižje kot v prejšnjih 14-ih letih [19]. Enake koncentracije aktivnosti stroncija, v okvirih razsutja podatkov, v vseh slovenskih rekah potrjujejo domnevo, da so izmerjene koncentracije stroncija predvsem posledica globalne kontaminacije in niso posledica izpustov NEK.

Na sliki I3 prikazujemo povprečne specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v obrežnih sedimentih vzvodno in nizvodno od jezu NEK. Vsebnosti obeh radionuklidov v sedimentih pripisujemo globalni kontaminaciji, saj tekočinski izpusti iz NEK prispevajo specifični aktivnosti 1,1 E–3 Bq/kg za Cs-137 in 1,5 E–4 Bq/kg za Sr-90 v talnih sedimentih 350 m nizvodno od jezu NEK ter 5,3 E–4 Bq/kg za Cs-137 in 6,9 E–5 Bq/kg za Sr-90 v Brežicah. Ocenjene vrednosti so zanemarljive v primerjavi s povprečnima specifičnima aktivnostima 4,1 Bq/kg za Cs-137 in 0,3 Bq/kg za Sr-90 v letu 2024 v Brežicah.

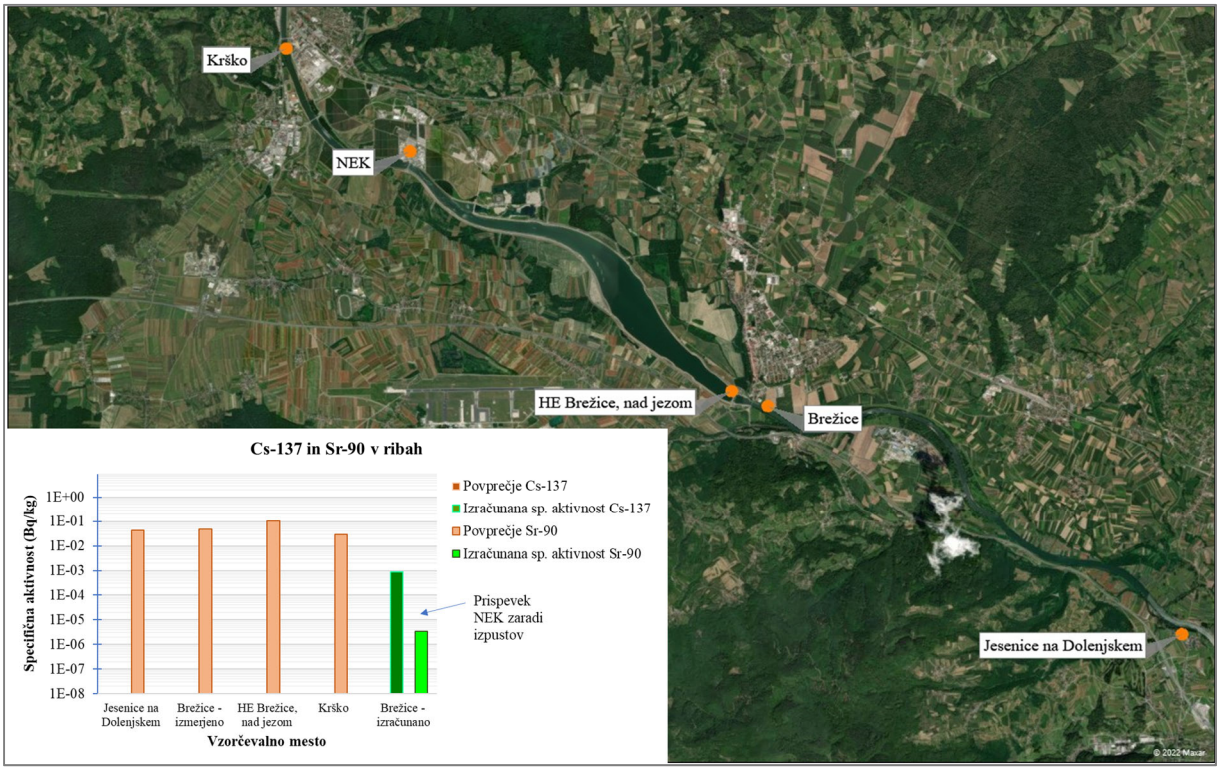
Na sliki I4 prikazujemo povprečne specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v ribah vzvodno in nizvodno od jezu NEK. Aktivnosti pripisujemo globalni kontaminaciji, saj sta prispevka radionuklidov zaradi tekočinskih izpustov iz NEK, 5,4 E-4 Bq/kg za Cs-137 in 2,1 E–6 Bq/kg za Sr-90 zelo majhna. Cs-137 v ribah ni bil detektiran, povprečje Sr-90 v ribah v Brežicah je bilo 0,5 Bq/kg, kar je sedem velikostnih redov nižje od prispevka NEK. Tudi v akumulaciji Cs-137 ni bil detektiran, Sr-90 v ribah pa je bil 0,15 Bq/kg.

Drugi cepitveni in aktivacijski produkti (Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Zn-65, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Sb-125) se v sledeh redno pojavljajo v tekočinskih izpustih NEK. Skupna aktivnost teh radionuklidov v letu 2024 je bila vsaj pet velikostnih redov nižja od tritijeve. Cs-134 je bil v tekočinskih izpustih nazadnje izmerjen leta 2016. V zadnjih nekaj letih ni bil zaznan v okolju noben od naštetih radionuklidov. Nazadnje je bil detektiran Co-60 v letih 2003 in 2006 v vodi in sedimentu, Cs-134 pa v sedimentih leta 2002.

Naravni radionuklidi uranove (U-238, Ra-226 in Pb-210) in torijeve (Ra-228 in Th-228) razpadne vrste so bili redno zaznani v vseh vzorcih vode. V filtrirani savski vodi so bile na vseh odvzemnih mestih povprečne koncentracije aktivnosti U-238 od 0,7 Bq/m^3 do 6,3 Bq/m^3, Ra-226 od 0,6 Bq/m^3 do 2,8 Bq/m^3, Pb-210 od 5,4 Bq/m^3 do 13,9 Bq/m^3, Ra-228 od 0,6 Bq/m^3 do 2,0 Bq/m^3, Th-228 od 0,5 Bq/m^3 do 2,6 Bq/m^3 in Be-7 od 16 Bq/m^3 do 43,5 Bq/m^3. Koncentracije aktivnosti K-40 so od 10,8 Bq/m^3 do 76,0 Bq/m^3. V tekočinskih izpustih NEK naravni radionuklidi niso prisotni, zato ne ocenjujemo njihovega prispevka k obremenitvi okolja.



Slika I3: Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v sedimentih v letu 2024. Povprečje Sr-90 v Krškem je bilo pod mejo detekcije. Skala je logaritemska.



Slika I4: Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v ribah v letu 2024. Vrednosti Cs-137 so bile pod mejo detekcije. Skala je logaritemska.

Podobna so tudi povprečja koncentracij aktivnosti naravnih radionuklidov v nefiltrirani vodi: U-238: 0,7–6,3 Bq/m^3, Ra-226: 0,6–2,8 Bq/m^3, Pb-210: 5,4–13,9 Bq/m^3, Ra-228: 0,6–2,0 Bq/m^3, Th-228: 0,5–2,6 Bq/m^3, Be-7: 15,9–43,5 Bq/m^3 in K-40: 25,8–50,0 Bq/m^3.

Koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov v vodi vzvodno in nizvodno od NEK so podobne izmerjenim v rekah po Sloveniji [19].

V sedimentih so bile na vseh odvzemnih mestih povprečne specifične aktivnosti U-238 od 19 Bq/kg do 30 Bq/kg, Ra-226 od 22 Bq/kg do 31 Bq/kg, Pb-210 od 30 Bq/kg do 113 Bq/kg, Ra-228 od 20 Bq/kg do 32 Bq/kg in Th-228 od 19 Bq/kg do 29 Bq/kg. Povprečne specifične aktivnosti K-40 so bile od 248 Bq/kg do 417 Bq/kg. V sedimentu je bil občasno zaznan Be-7 z razponom povprečij od 0 Bq/kg do 106 Bq/kg na vseh lokacijah. V tekočinskih izpustih NEK naravni radionuklidi niso prisotni, zato ne ocenjujemo njihovega prispevka k obremenitvi okolja..

2) Vodovodi in črpališča *(Izvleček poglavja Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi)*

Med vsemi vzorčenimi mesti v Sloveniji so izmerjene vsebnosti tritija najvišje na Bregah, kar je nedvomno posledica učinka NEK, vendar tudi najvišje vrednosti še vedno dosegajo manj kot 2 % parametrične vrednosti[5] direktive Evropske komisije za pitne vode. Poleg rednih mesečnih odvzemov vode na črpališčih in vodovodih v občinah Krško in Brežice je bila tudi v letu 2024 analizirana voda s posamičnimi odvzemi na bencinskih servisih Petrol v Krškem in v Brežicah. Vrednosti za vodo iz brežiškega vodovoda so nizke. V vzorcih krškega vodovoda je bilo povprečje primerljivo s

[5] Parametrična vrednost je vrednost radioaktivnih snovi v pitni vodi, nad katero organ, pristojen za varstvo pred sevanji, preveri, ali prisotnost radioaktivnih snovi v pitni vodi predstavlja tveganje za zdravje ljudi, na katero se je treba odzvati, ter po potrebi sprejme sanacijske ukrepe za izboljšanje kakovosti vode do take stopnje, da bodo izpolnjene zahteve za varovanje zdravja ljudi z vidika varstva pred sevanjem [9].

koncentracijo aktivnosti v ljubljanskem vodovodu. Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v pitni vodi iz črpališč in vodovodov v krški in brežiški občini je na sliki I5. V legendi je za primerjavo dodana še koncentracija aktivnosti H-3 v vodovodu Ljubljana [20]. Koncentracija aktivnosti tritija v pitni vodi v okolici NEK je istega velikostnega reda kot drugod po Sloveniji.

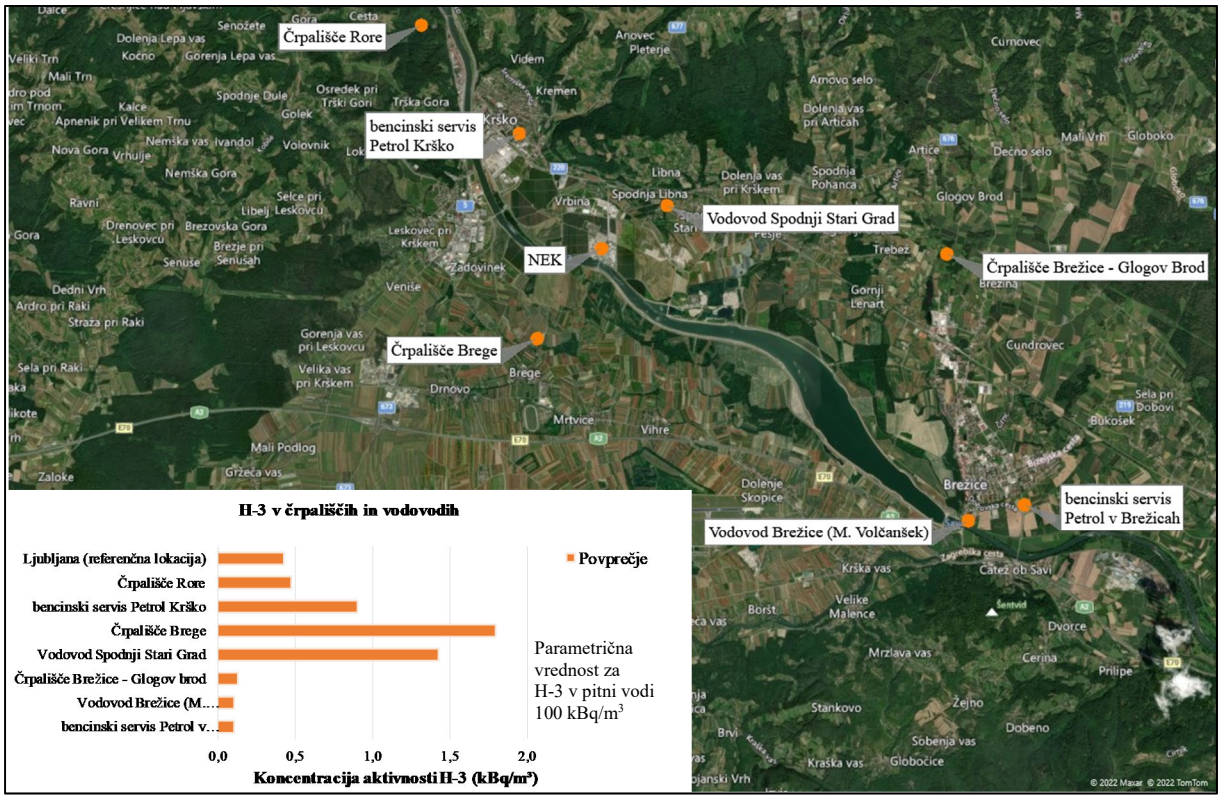
Zaradi nadzora izmenjave vode med Savo in podzemno vodo na krško-brežiškem polju se že od začetka obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK preverja stanje tritija v vrtinah. Voda iz vrtin se ne uporablja niti kot pitna voda niti kot tehnološka voda, ampak le za sledenje izpustov iz NEK. Pregled koncentracij aktivnosti H-3 v vrtinah je na sliki I6.

Koncentracije aktivnosti H-3 na Bregah so najvišje v Sloveniji in podobne kot v vrtinah in so nedvomno posledica učinka delovanja NEK. Tritijeve vsebnosti za vodovod Spodnji Stari Grad so bile v letu 2024 spremenljive, saj se je ta vodovod delno napajal iz istega vodonosnika kot črpališče Brege, delno pa iz vodonosnika, ki napaja tudi črpališče Rore, kjer ne zaznamo učinkov NEK.

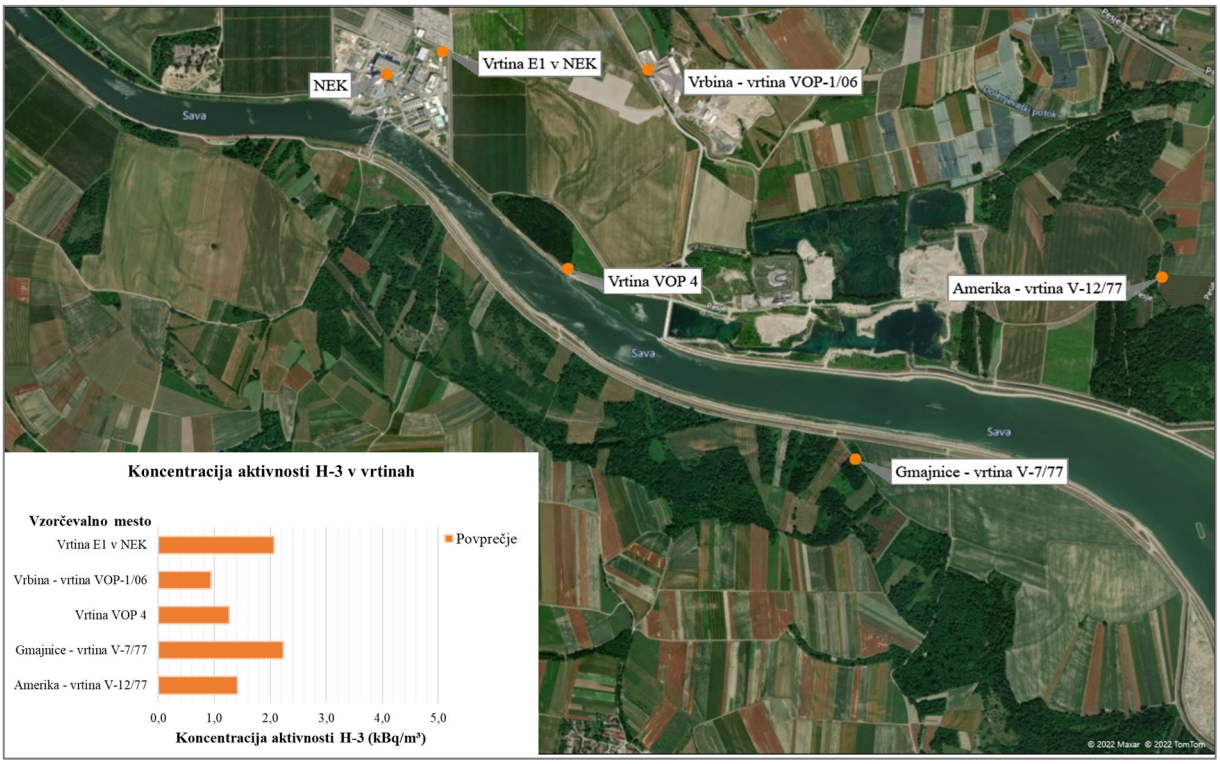
Radionuklida Cs-137 in Sr-90 sta nehomogeno razširjena na naših tleh. V majhnih količinah se pojavljata tudi v izpustih NEK, vendar je njun učinek na podtalnico zanemarljiv in neločljiv od globalne kontaminacije.

V mesečnih ali četrtletnih vzorcih pitne vode na vseh vzorčevalnih mestih v Krškem in Brežicah ter tudi na Hrvaškem I-131 ni bil zaznan.

Koncentracije aktivnosti naravnega radionuklida K-40 so bile izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih. Na Bregah je bilo povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti 55 Bq/m^3, v vodovodu Spodnji Stari Grad 43 Bq/m^3. Na drugih črpališčih in vodovodih je bila povprečna koncentracija aktivnosti K-40 23 Bq/m^3, kar je v okviru statističnega razsutja podatkov enako kot v zadnjih petih letih. Domnevamo, da se na krško-brežiškem polju spreminja režim gnojenja kmetijskih površin nad območji vodonosnikov [47] in da gre za neposredni učinek padavinskega useda in višjih vodostajev Save.



Slika I5: Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v pitni vodi iz črpališč in vodovodov v krški in brežiški občini na lokacijah z neprekinjenim ali četrtletnim vzorčenjem v letu 2024. Za primerjavo prikazujemo tudi koncentracijo aktivnosti na referenčni lokaciji (Ljubljana).



Slika I6: Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v vodi iz vrtin v okolici NEK v letu 2024. Voda iz vrtin se ne uporablja niti kot pitna voda niti kot tehnološka voda, uporablja se le za sledenje izpustov iz NEK.

Za vsa vzorčevalna mesta krškega in brežiškega vodovoda velja, da so povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti naravnega U-238 nizka, najvišje povprečje mesečnih vrednosti je bilo izmerjeno v vodovodu Spodnji Stari Grad, in sicer 3,4 Bq/m^3. Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Ra-226 se giblje od 0,9 Bq/m^3 (vodovod Brežice) do 2,0 Bq/m^3 (črpališče Brege). Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Pb-210 je bilo od 1,8 Bq/m^3 v vodi iz vodovoda Brežice do 6,4 Bq/m^3 v vodi iz črpališča Brežice. V Ljubljani je bila koncentracija aktivnosti Pb-210 3,7 Bq/m^3. Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Ra-228 v vodovodu Brežice je bilo od 0,4 Bq/m^3 v vodovodu Brežice do 0,9 Bq/m^3 v vodovodu Spodnji Stari Grad. Povprečja mesečnih koncentracij Th-228 se gibljejo med 0,3 Bq/m^3 (vodovod Spodnji Stari Grad) in 0,4 Bq/m^3 (črpališče Brežice). Be-7 je bil občasno detektiran v vseh črpališčih in vodovodih v Krškem in Brežicah. Povprečje mesečnih koncentracij Be-7 je bilo 0,5 Bq/m^3 v vodovodu Brežice, najvišje povprečje pa je bilo v črpališču Brege in sicer 1,6 Bq/m^3.

V zračnih in tekočinskih izpustih NEK naravni radionuklidi niso prisotni, zato ne ocenjujemo njihovega prispevka k obremenitvi okolja.

3) Padavinski in suhi usedi *(Izvleček poglavja Radioaktivnost v usedih)*

V letu 2024 je bila letna količina padavin v Ljubljani 1 553 mm, v Krškem 1 123 mm, na Bregah 1 170 mm in v Dobovi 1 049 mm. Letna količina padavin v okolici NEK je bila v letu 2024 28 % nižja kot v Ljubljani. Količine padavin po lokacijah so v okvirih razsutja podatkov primerljive z zadnjimi leti. Razsutje letne količine padavin je ±68 mm v Ljubljani, v okolici NEK pa ±45 mm. Variacija padavin po mesecih je še izrazitejša. Sušni meseci se pojavljajo praktično vsako leto, vendar ne vedno v istem letnem času.

Koncentracija aktivnosti tritija v padavinah močno variira in le koncentracije aktivnosti nad 2 kBq/m^3 bi lahko pripisali izpustom iz NEK [53]. V letu 2024 je bila koncentracija aktivnosti tritija v padavinah štirikrat višja od 2 kBq/m^3, in sicer na Bregah. Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti H-3 v padavinah so na sliki I7.

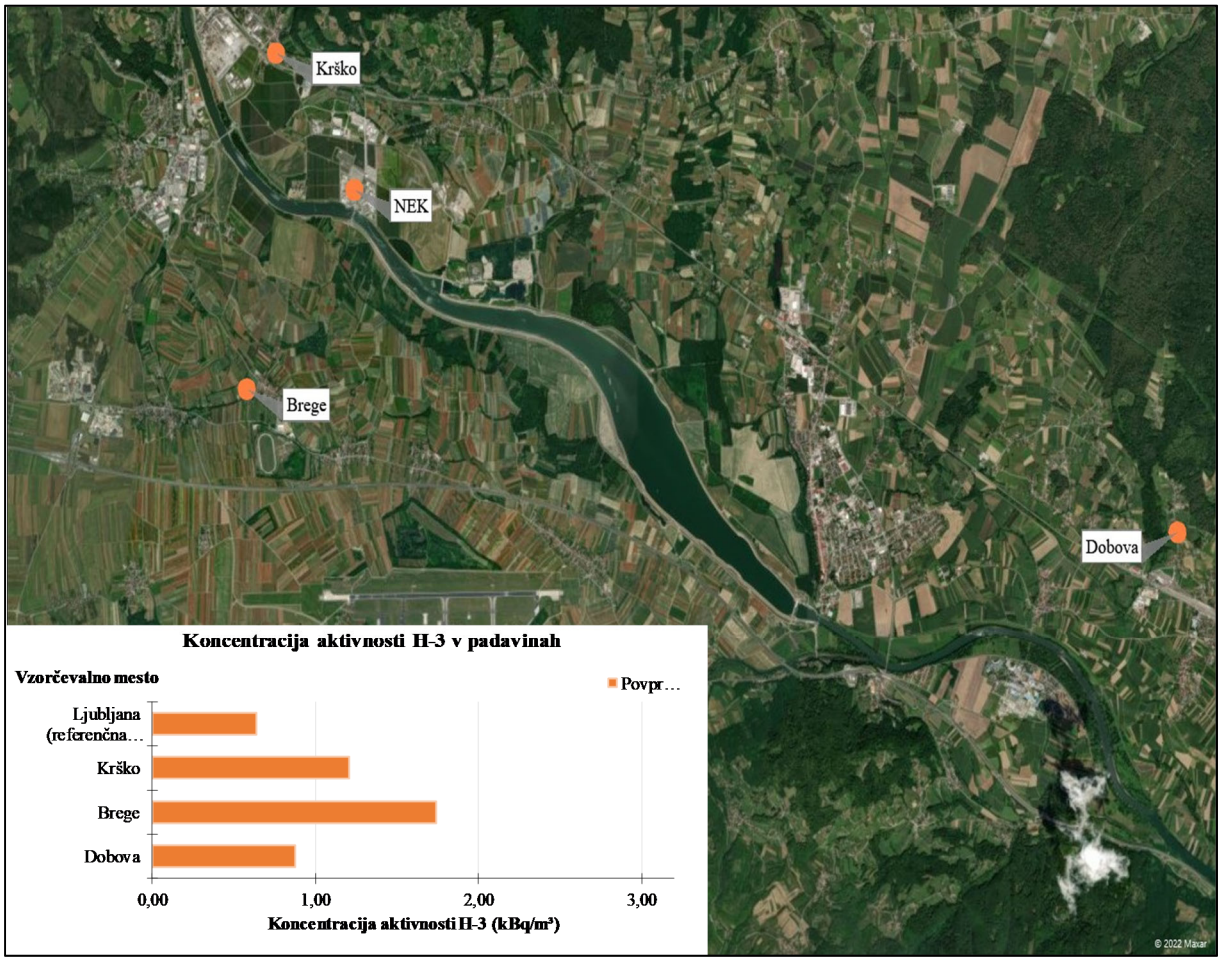
Učinek NEK na koncentracije aktivnosti tritija v padavinah v neposredni bližini elektrarne je opazen, če pogledamo letna povprečja, ki so na Bregah in v Krškem (Stara Vas) vsako leto višja kot v Dobovi in Ljubljani. Koncentracije aktivnosti tritija na Bregah so bile spomladi in jeseni višje od povprečne vrednosti, kar se sklada z zračnimi izpusti, ki so bili takrat najvišji v letu. Povezanost med zračnimi izpusti in izmerjeno koncentracijo aktivnosti H-3 je letos zaznana na Bregah, medtem ko je bila povezanost majhna oziroma neznatna v Stari Vasi, Ljubljani in na Dobovi.

Najvišji mesečni padavinski used H-3 je bil izmerjen na Bregah 0,29 kBq/m^2 v mesecu aprilu. Vrednosti in časovni poteki usedov za Ljubljano, Dobovo, Krško in Brege so v okviru razsutja vrednosti primerljivi, vrhovi se skladajo z meseci, ko je bilo padavin več.

Najvišje izmerjene vrednosti padavinskega useda za Cs-137 so bile v Ljubljani 0,022 Bq/m^2 aprila, na Bregah 0,14 Bq/m^2 januarja, v Krškem 0,014 Bq/m^2 novembra in na Dobovi 0,046 Bq/m^2 marca, v vseh primerih pri majhni količini padavin. V takšnih primerih povišanje pripisujemo resuspenziji s tal, v zimskih mesecih pa še kurjenju s trdimi gorivi. Used Cs-137 je na vseh lokacijah primerljiv z vrednostmi iz predčernobilskega obdobja med letoma 1982 in 1985.

V letu 2024 so bile koncentracije aktivnosti Sr-90 večinoma pod mejo detekcije, z izjemo poletja in nekaterih jesenskih vzorcev, kjer je bil Sr-90 zaznan v sledeh. Nizki zračni izpusti Sr-90 iz NEK kažejo, da je prisotnost tega radionuklida posledica vetrovne resuspenzije delcev iz zemlje. Prisotnost Cs-137 skupaj s Sr-90 v večini vzorcev dodatno potrjuje, da oba izvirata iz splošne kontaminacije tal.

V padavinah in suhem usedu sta bila redno izmerjena Be-7 in Pb-210, ki sta globalnega izvora in nista posledica izpustov iz NEK.



Slika I7: Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v padavinah v okolici NEK in Ljubljani v letu 2024

4) Zrak *(Izvleček poglavja Zrak)*

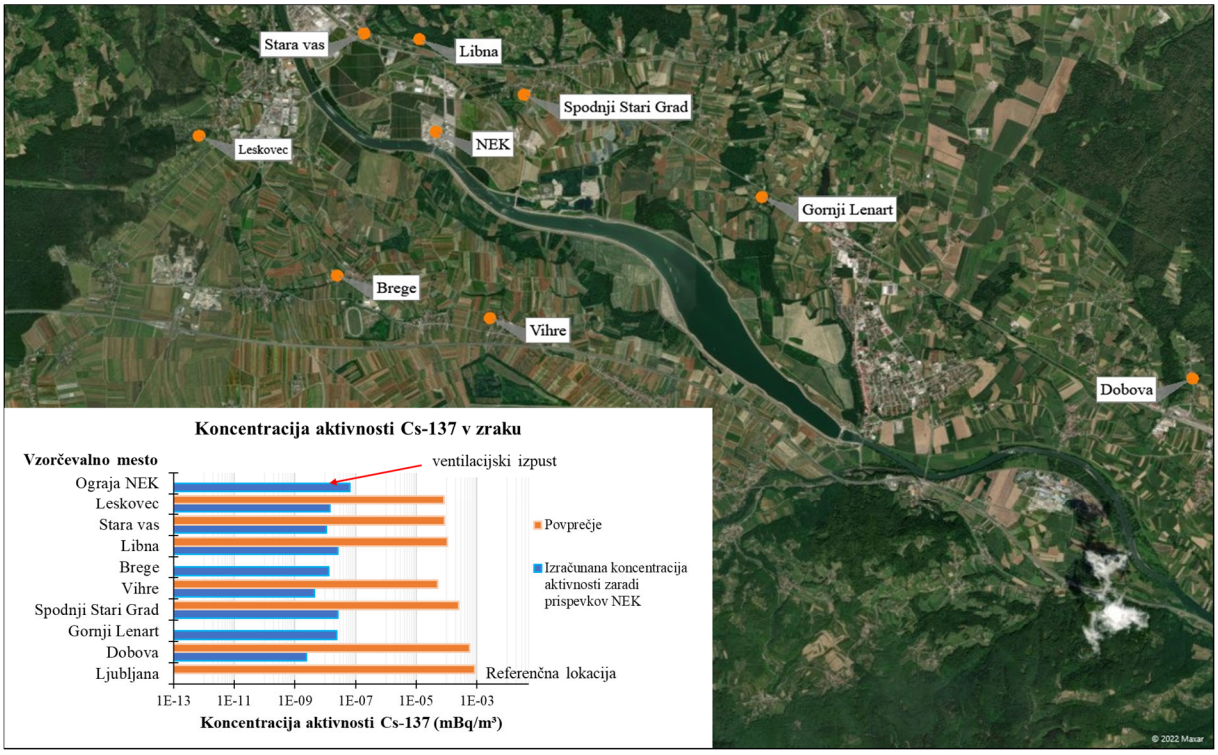
V zračnih izpustih iz NEK je največ tritija H-3 (9 TBq) in C-14 (0,04 TBq). Količino izpusta merimo na izviru. Njuno prisotnost v okolju ocenjujemo z uporabo matematičnega modela razširjanja snovi po zraku na podlagi meritev na izviru.

Med obratovanjem so bili v zračnih izpustih NEK v letu 2024 zaznani tudi izpusti I-131, I-132, I-133, Co-58, Co-60, Se-75, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Te-127m, Cs-137 in Sr-90, vendar ti radionuklidi z izjemo zadnjih dveh niso bili detektirani na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK in v Ljubljani. Izračunane koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 so na vzorčevalnih postajah najmanj tri rede velikosti nižje od izmerjenih vrednosti. Cs-137 in Sr-90 sta v okolju tako pretežno posledica splošne kontaminacije.

Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v letu 2024 so nižje kot drugod po Sloveniji. Domnevamo, da je prisotnost Cs-137 v Sloveniji v zraku predvsem posledica uporabe trdih goriv (drva, briketi, peleti). Na sliki I8 je pregled koncentracij aktivnosti Cs-137 (izmerjenih in izračunanih) na lokacijah v okolici NEK. Za primerjavo je dodana še vrednost za Ljubljano.

Meritve stroncija (Sr-90) v okolju se izvajajo v trimesečnih sestavljenih vzorcih v Stari vasi. Povprečna koncentracija aktivnosti v letu 2024 je bila 6,1 E–5 mBq/m^3. Vse meritve so bile pod mejo detekcije. Radionuklid Sr-89 v letu 2024 v zračnih izpustih NEK ni bil zaznan.

Radionuklid I-131 v letu 2024 ni bil detektiran na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK, kjer so postavljene kombinirane črpalke (aerosolni in ogleni filtri). Tudi zmogljivejše aerosolne črpalke na mestih v Dobovi (nadzor radioaktivnosti v okolju v okolici NEK) in Ljubljani (nadzor radioaktivnosti v okolju v RS) niso pokazale prisotnosti I-131 v zraku.



Slika I8: Pregled povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti Cs-137 v zraku v okolici NEK in Ljubljani v letu 2024 in izračunanih prispevkov zaradi izpustov NEK. Skala je logaritemska.

Meritve naravnih radionuklidov v aerosolih v vzorcih iz okolice NEK kažejo prisotnost radionuklidov, ki jih merimo v okviru nadzornih meritev tudi na drugih mestih v Sloveniji. Pri tem velja, da sta povprečni koncentraciji aktivnosti Be-7 in Pb-210 v letu 2024 v Ljubljani višji od povprečja merilnih mestih v okolici NEK. Povprečna koncentracija aktivnosti Be-7 v letu 2024 v okolici NEK je bila 2,3 mBq/m^3, Pb-210 pa 0,5 mBq/m^3. V Ljubljani sta bili povprečni koncentraciji 3,4 mBq/m^3 in 0,8 mBq/m^3. Za kozmogeni Be-7 ugotavljamo, da je bila v okviru negotovosti povprečij na vseh vzorčevalnih mestih v okolici NEK, Murski Soboti in v Ljubljani izmerjena primerljiva vrednost, izjema je lokacija Predmeja, kjer so vrednosti za velikostni red višje, kar je najverjetneje lastnost dobro prevetrene lokacije in posledično višjih koncentracij v zraku. Podobno velja tudi za Pb-210. Taka ugotovitev je pričakovana predvsem za lokacije s podobnim padavinskim režimom in ustrezno podobnim izpiranjem aerosolov iz ozračja ter prehajanjem zračnih mas iz višjih plasti atmosfere v nižje.

Pri drugih naravnih radionuklidih (izotopi uranove in torijeve razpadne verige ter K-40) so bile razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK večje. Neujemanje lahko pripišemo različni sestavi tal, bližini obdelovalnih polj ter neupoštevanju izhajanja radona iz vzorca pri meritvah Ra-226 za vzorce iz Predmeje in Murske Sobote. Meritve koncentracije aktivnosti radionuklidov v aerosolih v Ljubljani se zaradi najbolj zmogljive črpalke v primerjavah uporabljajo kot referenčne.

NEK pri svojem delovanju v zrak in reko Savo ne izpušča naravnih radionuklidov, zato ne ocenjujemo njihovega prispevka k obremenitvi okolja.

5) Zunanja izpostavljenost sevanju *(Izvleček poglavja Zunanje sevanje)*

Zunanje sevanje

Zunanje sevanje, ki mu je izpostavljeno prebivalstvo v okolici NEK, vključuje kozmično sevanje, sevanje naravnih radionuklidov v ozračju (predvsem razpadnih produktov radona), sevanje iz radioaktivnega oblaka ob izpustu radioaktivnih snovi iz NEK v okolje in zunanje sevanje zaradi useda, ki se odloži po prehodu oblaka, ter zunanje sevanje zaradi naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji. Mreža TLD meri skupno dozo sevanja gama naravnih radionuklidov v okolju (zemlja, gradbeni materiali), direktne ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja ter prispevka globalne kontaminacije s Cs-137. Ker okoljski TLD ne merijo doze nevtronske komponente kozmičnega sevanja, smo jo izračunali z uporabo programa EXPACS ([73], [74], [75]). Program omogoča izračun doze, ki je posledica posameznih komponent kozmičnega sevanja, vključno z nevtronsko komponento za poljubno geografsko dolžino in širino.

Na sliki I9 prikazujemo povprečne letne okoljske dozne ekvivalente $H^*(10)$, izmerjene v okolici NEK, na referenčni lokaciji v Ljubljani in povprečne ekvivalente, izmerjene na Hrvaškem v okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici NEK ter povprečne ekvivalente, izmerjene v okviru meritev radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji. Izmerjeni letni okoljski dozni ekvivalenti se v okviru razsutja vrednosti ne odmikajo od večletnega povprečja na posameznih lokacijah. Najnižji letni $H^*(10)$ je ob ograji NEK, saj so tam prodnata tla z odstranjeno plastjo zemlje. Zunanje sevanje iz zemljišča dodatno slabijo še asfaltirane površine in zgradbe znotraj ograje NEK. Tudi dodatni dozimetri ob zahodni ograji NEK, kjer je suho skladišče izrabljenega goriva, so pokazali povprečen letni dozni ekvivalent $(0{,}60 \pm 0{,}02)$ mSv, kar je v okviru stresanja podatkov primerljivo z letnim doznim ekvivalentom, ki smo ga izmerili s TLD na ograji NEK, $(0{,}56 \pm 0{,}05)$ mSv. To kaže, da je prispevek NEK k dozni obremenitvi v okolici zaradi sevanja iz objektov NEK zanemarljiv in nemerljiv.

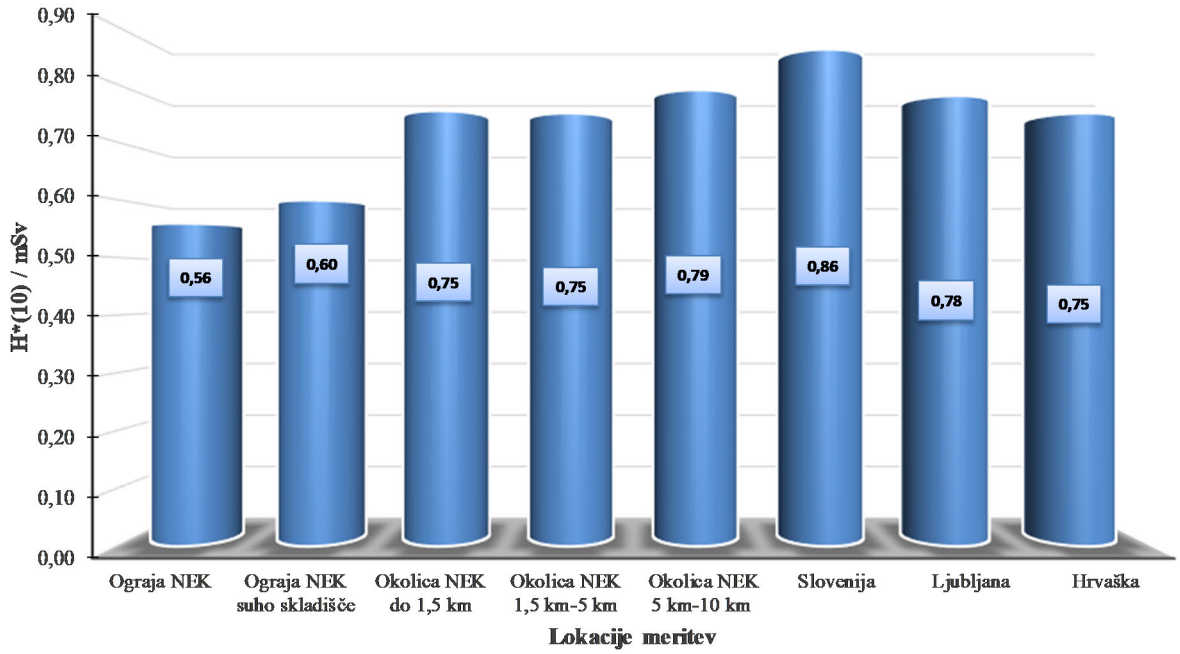
Meritve v Sloveniji kažejo, da je povprečni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK sistematično nekoliko nižji kot v povprečnem življenjskem okolju v Sloveniji. To pripisujemo raznolikosti slovenske pokrajine, orografiji, sestavi tal, debelini snežne odeje, neenakomernemu usedu Cs-137 po nesreči v jedrskem reaktorju v Černobilu ter drugim pojavom in pogojem v okolju, kar vpliva na dozo zunanjega sevanja. Tudi v krajih v okolici NEK so določene raznolikosti pokrajine, dodatno pa k nihanjem efektivnih doz izmerjenih s TLD na bližnjih lokacijah prispevajo še lokalne posebnosti pri postavitvi dozimetrov v okolju (travnik, polje, gozd, asfaltirane površine, bližine zgradb, temperatura tal itd.). Na

sliki I10 prikazujemo izodoze[6] $H^*(10)$ na zemljevidu Slovenije. Povečano je prikazano območje v okolici NEK.

Neprekinjene meritve $H^*(10)$ s 14 merilniki hitrosti doze v okolici NEK so v letu 2024 dale povprečno vrednost (0,77 ± 0,11) mSv na leto (v razponu od 0,57 mSv do 0,96 mSv), kar je v okviru razsutja merskih vrednosti enako kot letni dozni ekvivalent, dobljen s TL-dozimetri (0,77 ± 0,05) mSv.

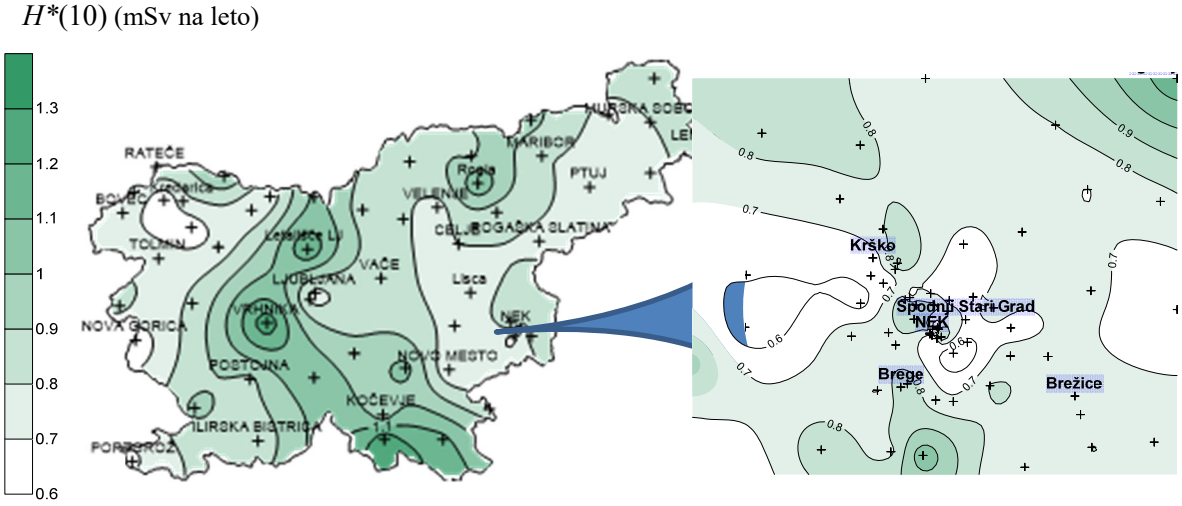
Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent pri 56 merilnikih po Sloveniji, ki so pod nadzorom URSJV, je bil v letu 2024 (0,75 ± 0,16) mSv v razponu od 0,46 mSv do 1,20 mSv. V okviru razsutja merskih vrednosti je primerljiv s tem, kot ga kažejo meritve s TLD na območju Slovenije (0,86 ± 0,15) mSv. V primerjavi s prejšnjimi leti ne opazimo statistično značilnih odmikov.

Za meritve zunanjega sevanja v Sloveniji je v vseh primerih značilno zmanjševanje letnega okoljskega doznega ekvivalenta H*(10) s časom. Zmanjševanje je bilo hitro predvsem v prvih letih po černobilski nesreči, to je po letu 1986. Vzrok je razpad usedlih kratkoživih sevalcev gama, ki so v začetnem obdobju največ prispevali k zunanjemu sevanju, in premikanju Cs-137 v globlje plasti zemlje. Letni okoljski dozni ekvivalenti zaradi globalne kontaminacije s Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v letu 2024, ocenjeni pri predpostavki realne globinske porazdelitve Cs-137, so v območju med 0,005 mSv in 0,036 mSv. To je primerljivo z vrednostmi na lokacijah, kjer se zemlja vzorčuje v okviru nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji. Tam so ocenjene letne doze $H^*(10)$ v območju od 0,018 mSv do 0,050 mSv. Usedi v letu 2024 v okolici NEK in po Sloveniji so primerljivi s prejšnjimi leti v okviru razsutja podatkov.



Slika I9: Prikaz povprečnih letnih okoljskih doznih ekvivalentov $H^*(10)$, izmerjenih v okolici NEK, na referenčni lokaciji v Ljubljani, na Hrvaškem v okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici NEK, ter povprečnih doznih ekvivalentov, izmerjenih v okviru meritev radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto 2024.

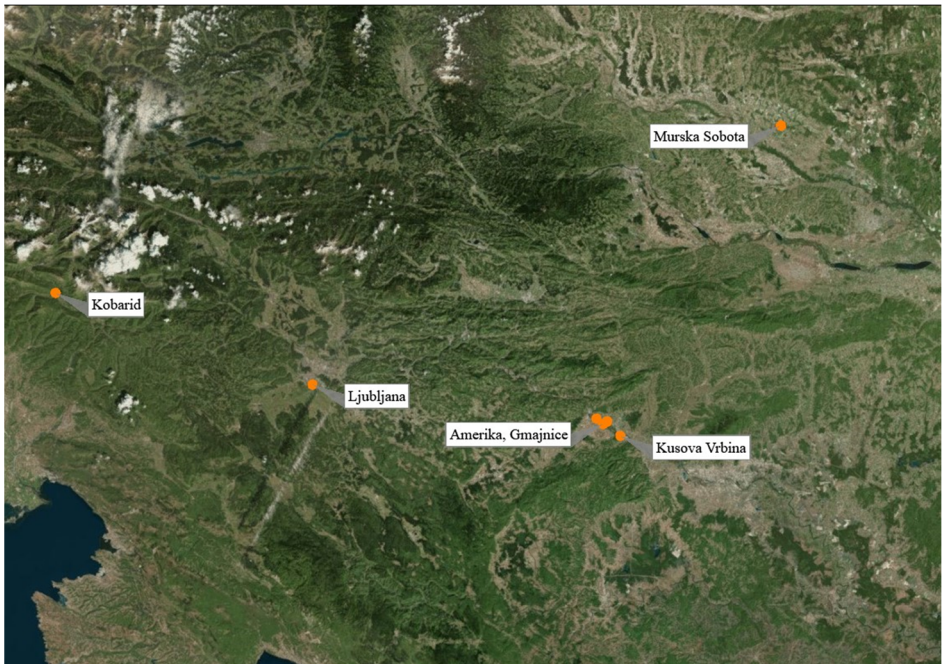
[6] Izodoze so krivulje, ki povezujejo področja z enako letno efektivno dozo $H^*(10)$.



Slika I10: Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ po Sloveniji in v okolici NEK v letu 2024

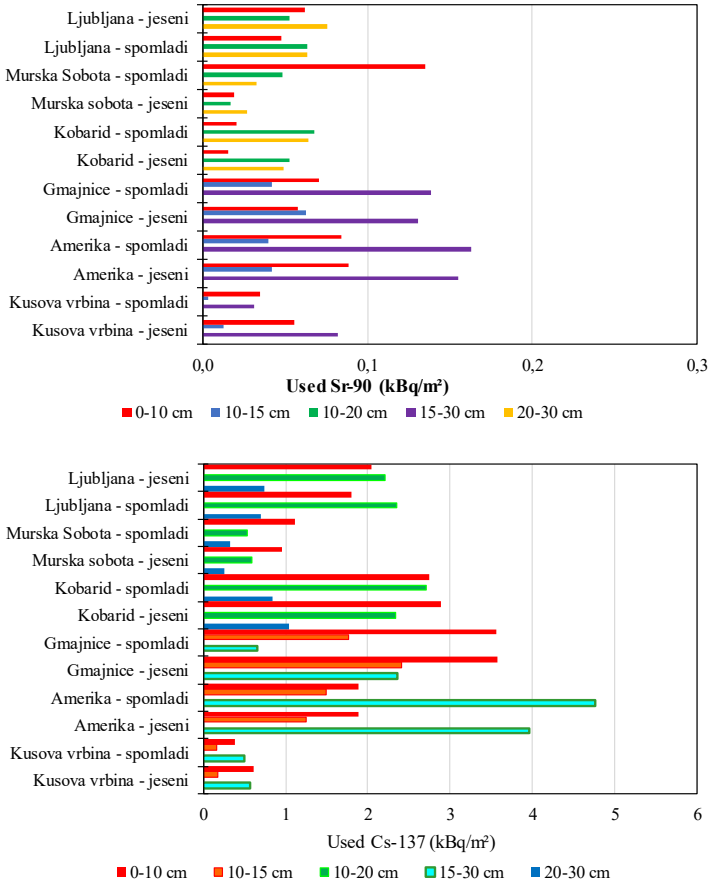
Zemlja

Vzorčenje zemlje poteka na poplavnih področjih, kjer sta usedanje iz zraka in poplavljanje prenosni poti, po katerih lahko izpusti NEK dosežejo mesto vzorčenja.



Slika I11: Lokacije vzorčenja zemlje v okolici NEK (Gmajnice, Amerika, Kusova Vrbina) in po Sloveniji (Ljubljana, Murska Sobota, Kobarid) v letu 2024

Specifične aktivnosti Cs-137 v zemlji so bile v letu 2024 od 3,1 Bq/kg v globinah 15–30 cm do 39,5 Bq/kg v globini 10–15 cm v Gmajnicah, od 14,4 Bq/kg v globinah 0–5 cm do 20,4 Bq/kg v globini 15–30 cm v Ameriki in od 2,4 Bq/kg v globinah 10–15 cm do 7,6 Bq/kg v globini 5–10 cm v Kusovi Vrbini. Specifične aktivnosti Cs-137 so statistično najvišje v Gmajnicah, najnižje pa v Kusovi Vrbini.



Slika I12: Usedi Sr-90 in Cs-137 po Sloveniji in v okolici NEK v letu 2024

Iz rezultatov meritev je razvidno, da gre za precejšnje razsutje specifičnih aktivnosti Cs-137 na mikrolokaciji v posameznih letih. Nihanja vrednosti lahko pripišemo nehomogenosti svežega nanosa po černobilski nesreči in prerazporeditvi useda na mikrolokaciji. Prerazporeditev je posledica hidrogeoloških procesov, ki vplivajo na prodiranje Cs-137 v zemljino. To ugotovitev lahko podkrepimo z ugotovljenim premikanjem težišča nanosa v globino na lokaciji Kusova Vrbina. Dva izrazita skoka v letu 1998 in 2009 v globini težišča sta vsekakor posledica poplav, ki so povzročile dodaten nanos sveže mivke. To je tudi razlog, da je prodiranje Cs-137 v zemljino navidezno hitrejše kot na drugih dveh lokacijah. Začetna globina težišča nanosa na lokaciji Kusova Vrbina, upoštevajoč podatke od leta 1992, je ustrezno večja. Dodatno lahko ugotovimo, da se šele v 10-letnem drsečem povprečju izpovpreči lokalna nehomogenost useda in vpliv hidrogeoloških procesov v zgornjih plasteh. Na slikah I11 in I12 prikazujemo lokacije in usede Cs-137 in Sr-90 po globinah za lokacije v okolici NEK, za primerjavo pa so dodani še usedi po Sloveniji. Opazimo lahko, da so usedi v okolici NEK v okviru razsutja primerljivi s podatki po Sloveniji.

V ventilacijskem izpuhu NEK so se poleg kratkoživih radionuklidov v letu 2024 pojavili tudi C-14, Co-58, Co-60, Nb-95, Se-75, Zr-95, Sr-90, in Cs-137. V tekočinskih izpustih so bili Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Fe-55, Zn-65, Nb-95, Zr-95, Ag-110m, Sb-125, Sr-90 in Cs-137. Noben od omenjenih radionuklidov ni bil izmerjen v vzorcih zemlje. Izjemi sta Sr-90 in Cs-137, pri katerih pa izmerjene specifične aktivnosti na lokacijah okrog NEK v primerjavi z vrednostmi na referenčni lokaciji v Ljubljani in drugod po Sloveniji kažejo, da nista posledici izpustov iz NEK, temveč zgolj globalne kontaminacije.

Naravni radionuklidi, potomci uranove in torijeve razpadne verige ter K-40 so v zemlji porazdeljeni enakomerno, razen Pb-210, ki se useda iz zraka kot potomec Rn-222. Potomca iz torijevega razpadnega niza Ra-228 in Th-228 sta v ravnovesju v vseh globinah in na vseh lokacijah. U-238 in Ra-226 nista v ravnovesju, ker je uran v vodi topnejši od radija in se zato bolje izpira. Rezultati meritev kažejo, da so

specifične aktivnosti potomcev uranove in radijeve razpadne vrste ter K-40 na lokacijah, ki so izpostavljene rednim poplavam, nižje. Tako je bilo uteženo povprečje specifičnih aktivnosti K-40 do globine 30 cm v Kusovi Vrbini 350 Bq/kg, v Gmajnicah 364 Bq/kg, v Ameriki pa 397 Bq/kg. Utežena povprečja U-238 za vzorčevalne lokacije so od 23,5 Bq/kg do 32,3 Bq/kg, za Ra-226 od 36,9 Bq/kg do 43,9 Bq/kg, Ra-228 in Th-228 pa od 27 Bq/kg v Kusovi Vrbini do 32,5 Bq/kg v Ameriki. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov v zemlji (K-40, U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228) so primerljivi v okviru razsutja podatkov s povprečnimi specifičnimi aktivnostmi, 420 Bq/kg za K-40, 33 Bq/kg za U-238 in 45 Bq/kg za Th-232, ki jih za države južne Evrope navaja UNSCEAR [40].

V zračnih in tekočinskih izpustih jedrske elektrarne Krško naravni radionuklidi niso prisotni, zato njihovega prispevka k obremenitvi okolja ne ocenjujemo.

6) Hrana ***(Izvleček poglavja Radionuklidi v hrani)***

V hrani smo zaznali naravne radionuklide ter C-14, Cs-137 in Sr-90, ki so pretežno posledica globalne kontaminacije in kozmogenega izvora, bili pa so tudi v izpustih iz NEK. Meritve specifičnih aktivnosti H-3 v hrani niso v programu nadzora radioaktivnosti v okolici NEK.

C-14 se v rastline vgrajuje v procesu fotosinteze, v živalski in človeški organizem pa prehaja predvsem z zaužitjem rastlinske hrane. Specifična aktivnost C-14 je bila v bližnji okolici NEK v letu 2024 izmerjena v koruzi, oljni repici, jabolkih, travi in hruškah, in sicer v juliju in septembru. Med povprečnimi vsebnostmi C-14 v hrani in rastlinju, merjenih v juniju in septembru na istih lokacijah, ni statistično značilnih razlik (povprečni kvocient specifičnih aktivnosti C-14 je 1,01). Najvišja izmerjena specifična aktivnost C-14, (275 ± 8) Bq na kilogram ogljika, je bila izmerjena v jabolkah (lokacija C, ob vzhodni ograji NEK) v juliju [21]. Izmerjena specifična aktivnost C-14 v hrani v neposredni bližini NEK je pričakovano rahlo nad povprečjem. Sicer so aktivnosti C-14 v hrani, ki je pridelana ob ograji NEK približno za dva odstotka višje kot drugod.

Izračunane specifične aktivnosti radionuklidov, ki so v okolje prišli po zračnih izpustih iz NEK, so vsaj štiri rede velikosti nižje od izmerjenih specifičnih aktivnosti v hrani. S tem razložimo, da vsebnosti Cs-137 in Sr-90 v hrani pripisujemo globalni onesnaženosti. Specifične aktivnosti radionuklidov v hrani v okolici NEK in po Sloveniji močno variirajo, kar je posledica neenakomerne globalne onesnaženosti, orografije, sestave tal in drugih značilnosti površja Republike Slovenije. V okviru negotovosti povprečij po skupinah hranil so specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90, vzorčene v okolici NEK in Sloveniji, primerljive.

Med naravnimi radionuklidi je v hrani najbolj zastopan K-40, ki je vnesen po različnih prenosnih poteh iz zemlje, umetnih gnojil in vode, prisotni pa so tudi radionuklidi iz razpadnih vrst U-238 in Th-232.

V letu 2024 je bila specifična aktivnost K-40 v hrani, pridelani na krško-brežiškem polju, od 30 Bq/kg (jagode) do 337 Bq/kg (divjačina), v hrani, vzorčeni drugod po Sloveniji, pa od 26 Bq/kg (borovnice) do 140 Bq/kg (zelje). V okolici NEK v skupino z večjo specifično aktivnostjo K-40 spada listna zelenjava in žito, med živila z manjšo aktivnostjo K-40 pa mleko in sadje. Enaka ugotovitev velja tudi za hrano vzorčeno po Sloveniji.

OCENA UČINKOV

Ob delovanju jedrske elektrarne v Krškem so koncentracije aktivnosti izpuščenih radionuklidov, razen H-3, v okolju znatno pod detekcijskimi mejami in je njihov morebitni prispevek težko ločiti od splošnega ozadja (C-14, Cs-137). Zato njihov učinek na človeka in okolje posredno ovrednotimo iz podatkov o izpustih v ozračje in tekočinskih izpustih. Z uporabo matematičnih modelov, ki opisujejo razširjanje radionuklidov po raznih prenosnih poteh v okolju, pa ocenimo izpostavljenost prebivalstva.

Za oceno učinkov ionizirajočega sevanja na prebivalstvo, ki bi lahko nastali kot posledica izpustov iz jedrskega objekta, se uporablja koncept referenčne osebe. Referenčna oseba je teoretični predstavnik prebivalstva, ki zaradi načina življenja in prehranjevanja prejme ali bi lahko prejel najvišje doze sevanja, ki izvirajo iz posamezne prenosne poti radionuklidov v okolju, pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami.

Tekočinski izpusti (Tabele B1, B2 in B3)

Učinek na okolje po savski prenosni poti ocenjujemo iz primerjave rezultatov emisijskih meritev (meritev vzorcev iz odpadnih merilnih rezervoarjev – WMT in kalužuparjalnikov – SGBD), ki jih izvaja NEK, in rezultatov meritev vzorcev reke Save. V letu 2003 sta bila izdelana metodologija in model za oceno doz pri izpostavitvi prebivalcev [26], revidirana v letu 2009 (*Izpostavitve referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo – Nova referenčna lokacija* [27]). V metodologiji so prepoznane glavne prenosne poti, načini izpostavitve in referenčne osebe za Slovenijo in Hrvaško.

V tabelah B1 in B2 je prikazano ovrednotenje tekočinskih emisij z modelnim izračunom za leto 2024, ki temelji na tekočinskih izpustih in podatkih o letnem pretoku reke Save, upoštevajoč značilnosti referenčne osebe (to so ribiči, ki lovijo po akumulacijskem jezeru do 350 m nizvodno od jeza NEK in pod merilno postajo za neprekinjeno vzorčenje v Brežicah, preživijo znaten čas na obrežju in uživajo savske ribe). Iz tabel B1 in B2 lahko ugotovimo, da savski prispevki predstavljajo v celotni letni efektivni dozi za odraslega prebivalca 350 m nizvodno od jezu NEK približno eno petino vseh sevalnih učinkov NEK za referenčno osebo, podobno pa ta prispevek v Brežicah predstavlja eno šestino vseh sevalnih učinkov NEK za referenčno osebo.

Zaradi gradnje HE Brežice in nastanka akumulacijskega jezera je prišlo do sprememb pri načinih in poteh izpostavitve prebivalstva. V okviru projektne naloge *Vpliv HE Brežice na NEK in Poročilo o vplivih na okolje za podaljšanje obratovalne dobe NEK* [33] in v skladu s tehnično specifikacijo *Dose calculation and dilution modelling of run-of-river Brezice Hydro Plant Accumulation* št. TO.RZ-5/2020 je bila predlagana nova metodologija ocenjevanja učinkov delovanja jedrske elektrarne na prebivalstvo in okolje v njeni okolici zaradi tekočinskih izpustov v reko Savo.

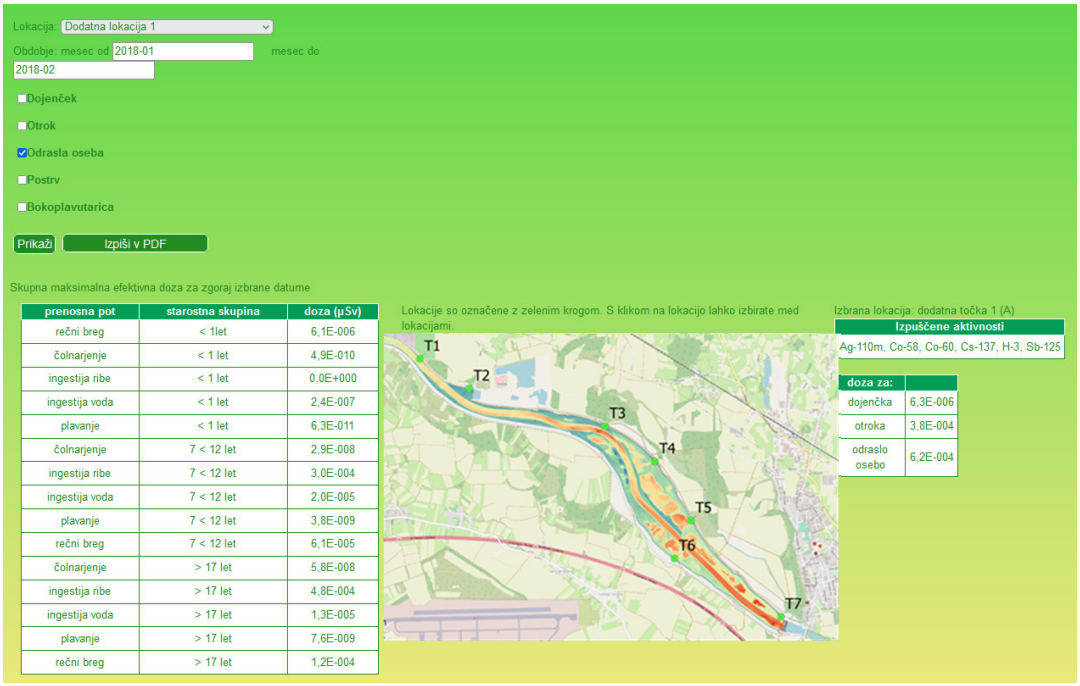
Tabela B1: Ocenjena efektivna letna doza posameznika iz prebivalstva na lokaciji 350 m pod jezom NEK

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	sevanje iz useda (obrežni sediment)	Co-58, Co-60	2,0E–6
notranja obsevanost	zaužitje ribe	H-3, C-14	8,1E–6

Tabela B2: Ocenjena efektivna letna doza posameznika iz prebivalstva v Brežicah

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	sevanje iz useda (obrežni sediment)	Co-58, Co-60	9,2E–7
notranja obsevanost	zaužitje ribe	H-3, C-14	3,8E–6

Za teoretično napoved mešanja in redčenja je bil uporabljen tridimenzionalni hidrodinamični transportni model PCFLOW3D ([30], [31], [32], [36]), ki so ga razvili na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) v sodelovanju s sodelavci projektantskega podjetja IBE (IBE d.d., svetovanje, projektiranje in inženiring). Modelna ocena obremenitve se opira na realne prenosne poti in se izračuna za referenčne osebe po starostnih skupinah na sedmih lokacijah nizvodno od jezu NEK do jezu HE Brežice. V okviru projektne naloge je bil izdelan Program za računanje efektivnih doz (DOSENEK), ki je napisan v integriranem razvojnem okolju Microsoft Visual Studio (slika I13). V našem primeru gre za spletno aplikacijo, ki omogoča vnos vhodnih podatkov v bazo Microsoft SQL, izračun efektivnih doz glede na vnesene vhodne podatke in prikaz različnih izračunanih doz glede na izbrana obdobja.



Slika I13: Prikaz primera izračunanih efektivnih doz v programu DOSENEK [33].

Z večkrat preverjenim numeričnim modelom PCFLOW3D so bile opravljene simulacije toka reke Save v pretočni akumulaciji HE Brežice. Na podlagi simulacij za različne scenarije oziroma pretoke reke Save so bili ocenjeni razredčitveni koeficienti v površinskem sloju (0 m do 1 m) in v sloju toka reke od 1 m do 2 m ter v globini 10 m na lokaciji vzorčevalne košare nad jezom HE Brežice. Prikazane rezultate lahko obravnavamo kot razmeroma točne za predvidene vhodne podatke. Parametri v predvidenih scenarijih so namreč določeni na podlagi časovno povprečenih podatkov. Pri oceni mesečnih koncentracij smo predpostavili:

- vzorčenje savske vode poteka neprekinjeno;
- konstanten pretok reke Save v pretočni akumulaciji HE Brežice v času posameznega izpusta;
- ni povratnega vala v bazenu NEK;
- učinek izpusta brezpogojno pripišemo mesecu, v katerem se izpust začne;
- negotovost modelskih vrednosti je velika (lahko tudi red velikosti).

Ker za posamezni izpust ne moremo predvideti mase zaužitih rib ali popite vode v izbranem času ter ju primerjati s časom izpostavitve sevanju na bregu v enakem izbranem času, v programu DOSENEK podajamo le mesečne in letne doze, ki jih za posamezno pot izpostavitve tudi obravnavamo.

Prispevek posameznega izpusta k povprečni mesečni koncentraciji aktivnosti radionuklida v Savi smo določili tako, da smo ocenili delež efektivnega časa zadrževanja največje koncentracije onesnažila na izbrani lokaciji v mesecu. Efektivni čas zadrževanja ni odvisen od začetne koncentracije izpusta in volumna izpusta, pač pa zgolj od pretoka reke Save in izbrane lokacije ob Savi. Ocenjena mesečna koncentracija aktivnosti H-3 je uteženo povprečje koncentracij aktivnosti v reki Savi po izpustih iz NEK v danem mesecu.

Razredčitveni koeficienti so bili izračunani pri različnih pretokih Save pri sedmih različnih točkah nizvodno od jezu NEK (slika I13):

- T1: 350 m nizvodno od jezu NEK, levi breg
- T2: razlivno območje – nadomestni habitat
- T3: dodatna lokacija 1
- T4: levi breg pretočne akumulacije HE Brežice
- T5: dodatna lokacija 2
- T6: desni breg pretočne akumulacije HE Brežice
- T7: nad jezom HE Brežice

Za izračun efektivnih doz za referenčno osebo na posamični lokaciji za različne starostne skupine prebivalstva v programu DOSENEK moramo med drugim vnesti podatke o izpustih:

- datum ter čas začetka in konca izpusta – trajanje izpusta (h)
- izpuščeni radionuklid in njegova aktivnost (Bq)
- prostornina izpuščenih odpadnih vod (m^3)
- pretok reke Save na dan izpusta (m^3/s)

Iz teh podatkov lahko ocenimo efektivne doze na referenčne osebe in živali. V programu DOSENEK so tri starostne skupine referenčnih oseb: dojenček (< 1 leto), otrok (med 7 in 12 let) in odrasla oseba (> 17 let). Za navedene osebe so bile prepoznane naslednje možne prenosne poti: zadrževanje na rečnem bregu, plavanje v reki, čolnarjenje, uživanje rib in pitje vode. Za vsako referenčno osebo so za posamezne točke T1–T7 nizvodno od jezu NEK v pretočni akumulaciji HE Brežice določene značilnosti, oziroma tipični parametri vedenja, ki vplivajo na prejeto efektivno dozo: čas zadrževanja na bregu, čas plavanja v reki, čas čolnarjenja v reki, količina zaužitih rib in količina (nenamerno) popite vode ob plavanju v reki. Lastnosti referenčnih oseb za posamezne točke T1–T7 so predstavljene v tabeli 1.8 v poglavju *Radioaktivnost v reki Savi*.

Oceno sevalnih učinkov delovanja NEK na prebivalstvo izvajamo pri točki T1 (tabela B3), ker se ta ujema z lokacijo, za katero se efektivna doza izračuna z uporabo veljavnega modela. Pri točkah T1 (350 m od NEK) in T2 ne upoštevamo aktivnosti, kot so zadrževanje na rečnem bregu, zaužitje vode in plavanje, kar pomeni, da upoštevamo le dve prenosni poti (zaužitje ribe in čplnarjenje). Pri točki T7 upoštevamo samo eno prenosno pot, saj tam ni niti čolnarjenja. Pri točki T3 pa je zajetih vseh pet prenosnih poti, zato je za to točko v poglavju *Radioaktivnost v reki Savi* opravljena analiza vseh prispevkov po posameznih prenosnih poteh in različnih radionuklidov k skupni efektivni dozi.

Tabela B3: Povprečne koncentracije aktivnosti radionuklidov (Bq/m^3) in letne prejete efektivne doze (μSv) za odraslo osebo po vseh petih prenosnih poteh na točki T1 v pretočni akumulaciji HE Brežice. Najvišje doze pri vsaki prenosni poti so zapisane krepko.

Radionuklid	**Povprečna koncentracija aktivnosti v letu**	**Rečni breg**	**Zaužitje ribe**	**Zaužitje vode**	**Plavanje**	**Čolnarjenje**	**Skupna doza (radionuklid)**
	(Bq/m^3)	**(μSv)**	**(μSv)**	**(μSv)**	**(μSv)**	**(μSv)**	**(μSv)**
H-3	**7,8E+03**	–	9,3E–04	–	–	0,0E+00	9,3E–04
C-14	2,4E–01	–	**2,0E–03**	–	–	0,0E+00	**2,0E–03**
Mn-54	1,9E–04	–	1,0E–07	–	–	5,8E–09	1,1E–07
Fe-55	5,6E–01	–	1,6E–04	–	–	0,0E+00	1,6E–04
Co-58	5,9E–03	–	4,3E–06	–	–	2,1E–07	4,5E–06
Co-60	4,2E–03	–	1,4E–05	–	–	3,7E–07	1,5E–05
Zn-65	1,2E–03	–	3,0E–05	–	–	2,5E–08	3,0E–05
Sr-90	3,1E–02	–	3,1E–04	–	–	0,0E+00	3,1E–04
Nb-95	1,4E–03	–	1,6E–06	–	–	3,9E–08	1,6E–06
Zr-95	1,8E–03	–	8,4E–07	–	–	4,8E–08	8,9E–07
Ag-110m	3,0E–02	–	1,3E–06	–	–	**2,9E–06**	4,2E–06
Sb-125	1,2E–03	–	8,3E–07	–	–	1,9E–08	8,5E–07
Cs-137	2,5E–03	–	3,8E–04	–	–	5,1E–08	3,8E–04
Skupna doza (prenosna pot)		–	3,8E–03	–	–	3,7E–06	3,8E–03

Atmosferski izpusti (Tabeli C1 in C2)

V ovrednotenju učinka atmosferskih izpustov vključimo naslednje skupine radionuklidov:

- **žlahtni plini**, ki prispevajo izključno k zunanji izpostavitvi ob prehodu oblaka;
- **čisti sevalci beta,** kot sta H-3 in C-14, ki sta biološko pomembna le v primeru vnosa v organizem z inhalacijo (H-3, C-14) in zaužitjem (C-14);
- **sevalci beta/gama** v aerosolih (radionuklidi Co, Cs, Sr) s prenosnimi potmi: inhalacija, zunanje sevanje iz useda, zaužitje rastlin z usedlimi radionuklidi in resuspenzija;
- **izotopi joda** v raznih fizikalnih in kemijskih oblikah, s prispevkom pri inhalaciji ob prehodu oblaka in pri vnosu v telo z mlekom.

V tabelah C1 in C2 je prikazano ovrednotenje zračnih emisij z modelnim izračunom razredčitvenih koeficientov v ozračju za leto 2024 in za posamezne skupine radionuklidov po najpomembnejših prenosnih poteh za odrasle prebivalce v naselju Spodnji Stari Grad, ki je najbližje naselje zunaj izključitvenega območja (tabela C1), in ob ograji NEK. Ocene okvirno veljajo tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja (tabela C2). Velja omejitev dodatne izpostavitve prebivalstva na robu izključitvenega območja (500 m od osi reaktorja) in navzven: celotna letna efektivna doza prispevkov vseh prenosnih poti na posameznika iz prebivalstva ne sme preseči 0,050 mSv. Iz tabel C1 in C2 lahko ugotovimo, da so prispevki zračnih izpustov k letni efektivni dozi za odraslega posameznika iz prebivalstva ob ograji NEK ter okvirno tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja, 86,4 % od vseh sevalnih učinkov NEK v letu 2024, prispevek v Spodnjem Starem Gradu pa le 18,4 %.

Razredčitvene faktorje za zunanje sevanje iz oblaka in inhalacijo od leta 2007 ocenjujemo z Lagrangeevim modelom, ki vključuje značilnosti terena v okolici NEK in večji nabor meteoroloških spremenljivk. Model uporablja vse merjene podatke iz ekološkega informacijskega sistema EIS, ki ga upravlja NEK. Model potrebuje še hitrost izpustnih plinov ter presek ventilacijskega izpusta (pretok plinov skozi glavni izpuh). Po posvetovanju z NEK je bila za temperaturo dimnih plinov izbrana temperatura 25 ºC. Prispevek sevanja iz useda je bil do leta 2010 ocenjen še z Gaussovim modelom z upoštevanjem talnega izpusta [3]. Ocena za zračno imerzijo v letu 2024 je v okviru razsutja podatkov primerljiva z ocenami za prejšnja leta.

Meritve C-14 so bile v letu 2024 izvedene na vzorcih v koruzi, oljni repici, jabolkih, travi in hruškah na Institutu Ruđer Bošković iz Zagreba v juliju in septembru. Rezultati meritev kažejo pričakovano rahlo povišanje specifične aktivnosti C-14 v vzorcih na razdalji do 1 km od osi reaktorja glede na vzorce, vzete na referenčni točki v Dobovi. Ocenjena letna efektivna doza zaradi zaužitja C-14 je tako v okolici NEK (do 1 km) za 4 E–5 mSv višja kot na kontrolni točki v Dobovi. Pri izračunu doze, prejete zaradi C-14 v okolici NEK, smo konzervativno privzeli, da posamezniki iz prebivalstva uživajo hrano iz neposredne bližine NEK (blizu roba izključitvenega območja) dva meseca v letu, drugih 10 mesecev pa hrano od drugod (Dobova). Iz tega izhaja, da je tudi v računu doze zaradi C-14 upoštevano, da posamezniki iz prebivalstva uživajo hrano, pridelano na krško-brežiškem področju (od ograje NEK do Dobove).

Razlika med računanjem efektivne doze zaradi C-14 in efektivne doze zaradi vnosa drugih radionuklidov v hrano je v tem, da se za C-14 upošteva uteženo povprečje specifične aktivnosti C-14 glede na lokacijo vzorčenja, za druge radionuklide pa to ni mogoče zaradi različnih načinov vzorčenja. Doza C-14 se nanaša na hrano in ne na posamezno vrsto hrane, saj se specifične aktivnosti C-14 (v Bq na kilogram ogljika) v raznih vrstah živil ne razlikujejo. Razmerje med izotopoma C-14 in C-12 je namreč v vseh organizmih konstantno in izraža razmerje med izotopoma v atmosferi. V primeru umetnih izpustov C-14 pa se razmerje med izotopi C-14 in C-12 tako v atmosferi kot v organizmih lahko spremeni, saj izotopi C-14 zamenjujejo izotope C-12 v organskih molekulah.

Tabela C1: Izpostavitve sevanju referenčne osebe odraslega posameznika iz prebivalstva v naselju Spodnji Stari Grad zaradi atmosferskih izpustov iz NEK v letu 2024

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	– imerzija (oblak) – sevanje iz useda	– žlahtni plini (Ar-41, izotopi Xe) – aerosoli (izotopi joda in kobalta ter C-14)	6,7 E–7 2,3 E–12
notranja obsevanost	inhalacija (oblak)	H-3, C-14	1,3 E–5
	zaužitje rastlinske hrane	C-14	0*

* Rezultat je manjši od negotovosti meritve.

Tabela C2: Izpostavitve sevanju referenčne osebe odraslega posameznika iz prebivalstva ob ograji NEK zaradi atmosferskih izpustov iz NEK v letu 2024. Ocene okvirno veljajo tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja.

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	– imerzija (oblak) – sevanje iz useda	– žlahtni plini (Ar-41, izotopi Xe) – aerosoli (izotopi joda in kobalta ter C-14)	1,5 E–6 3,2 E–11
notranja obsevanost	inhalacija (oblak)	H-3, C-14	2,3 E–5
	zaužitje rastlinske hrane	C-14	4 E–5

Ugotavljamo, da so bili vsi načini izpostavitev prebivalstva (različne referenčne osebe) zanemarljivi v primerjavi z naravnim sevanjem, doznimi omejitvami in avtoriziranimi mejami.

Naravno sevanje (Tabela D) – okolica NEK

Meritve zunanjega sevanja v okolici NEK so tudi v letu 2024 potrdile ugotovitve iz preteklosti, da gre za značilno naravno okolje, kot ga najdemo tudi drugje v Sloveniji in v svetu. Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ sevanja gama in direktne ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja v okolici NEK je na prostem v povprečju 0,77 mSv, kar je v okviru razsutja podatkov primerljivo s prejšnjimi leti. K temu je treba dodati še prispevek $H^*(10)$ nevtronskega kozmičnega sevanja, ki je za območje NEK 0,06 mSv na leto. Tako je bila skupna doza naravnega zunanjega sevanja $H^*(10)$ v letu 2024 v okolici NEK 0,83 mSv na leto. Ustrezna letna efektivna doza (ob upoštevanju pretvorbenih faktorjev iz publikacije Radiation Protection 106 [85]) je 0,70 mSv na leto, kar je nižje od podatka za svetovno povprečje (0,87 mSv na leto). Ob upoštevanju deleža časa zadrževanja na prostem 0,2, faktorja ščitenja stavb 0,1 za sevanje iz zemlje in faktorja ščitenja stavb za kozmično sevanje, 0,8 ter prispevka efektivne doze zunanjega sevanja gradbenih materialov, 0,2 mSv, je efektivna doza 0,53 mSv. Predpostavili smo še, da je prispevek ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja k celotnemu doznemu ekvivalentu, ki smo ga izmerili s TLD, 1/3, sevanje iz zemlje pa prispeva 2/3 (Tabela 5.2, poglavje *Zunanje sevanje*). V okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto 2024 [19], kjer efektivno dozo zunanjega sevanja merimo s 50 dozimetri, postavljenimi po Sloveniji (glej poglavje *Zunanje sevanje*), smo letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ sevanja gama ocenili na 0,86 mSv, oziroma ustrezno letno efektivno dozo 0,72 mSv.

V študiji, ki jo je v letu 2023 opravil ZVD [14], so ocenili prispevke zaradi zunanjega sevanja iz gradbenih materialov, ki je 0,21 mSv, efektivno dozo zaradi zaužitja hrane in vode ter vdihavanja, ki je 0,31 mSv, ter značilni prispevek kratkoživih radonovih potomcev k efektivni dozi 4,09 mSv. Posamezni prispevki k dozi

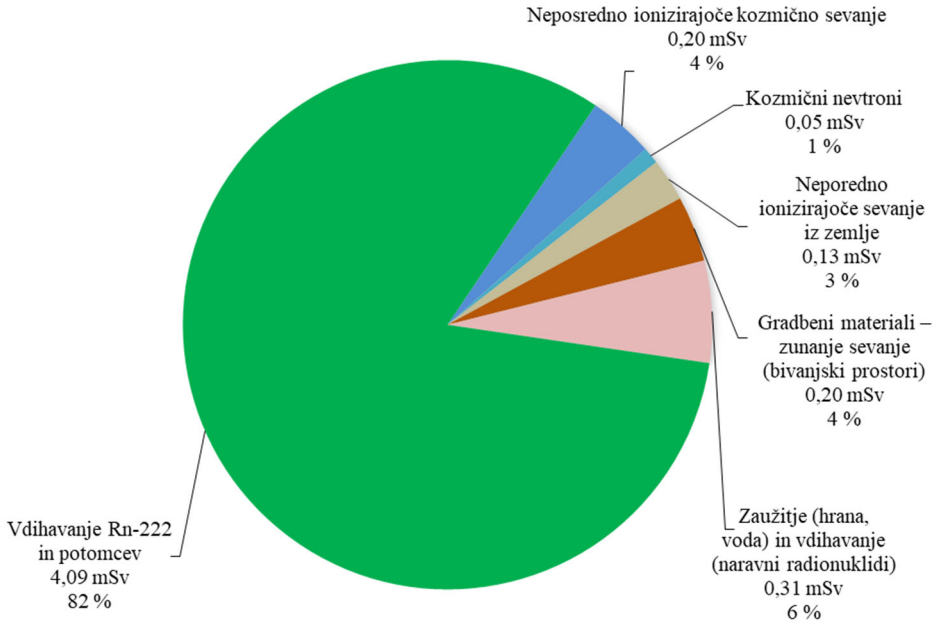
naravnega sevanja so zbrani v tabeli D in na sliki I14. Skupna letna efektivna doza je ocenjena na 4,98 mSv, kar je znatno višje od ocene, ki je veljala v preteklih letih (2,35 mSv) in svetovnega povprečja, ki je 2,4 mSv na leto [40]. Prav tako je ocena višja, kot je značilna efektivna doza v Evropi [25].

Tabela D: Efektivne doze *E* zaradi naravnih virov sevanja v okolici NEK v letu 2024

Vir	**Letna efektivna doza *E* (mSv)**
— Neposredno ionizirajoče kozmično sevanje# — Kozmični nevtroni [40] — Neposredno ionizirajoče sevanj tal#	0,20 0,05 0,13
Gradbeni materiali – zunanje sevanje (bivanjski prostori)## – ocena velja za Krško	0,20
Zaužitje (hrana, voda) in vdihavanje (naravni radionuklidi)## – ocena velja za Krško	0,31
Vdihavanje kratkoživi potomci Rn-222, efektivna doza)## – ocena velja za Krško	4,09
Skupaj naravno sevanje	**4,98**

Opomba: # Ocena efektivne doze zunanjega sevanja iz okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ z upoštevanjem pretvorbenega faktorja $E/H^*(10) = 0{,}84$ za fotone 600 keV [85]. Pretvorbeni faktorji v območju od 100 keV do 6 MeV so v območju med 0,84 in 0,89. Upoštevali smo, da se odrasla oseba (referenčna oseba) zadržuje 20 % časa na prostem, da je faktor ščitenja sevanja iz zemlje pri zadrževanju v zgradbah 0,1, faktor ščitenja stavb za kozmično sevanje, 0,8 ter prispevek efektivne doze zunanjega sevanja gradbenih materialov, 0,2 mSv. Predpostavili smo še, da je prispevek ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja k celotnemu doznemu ekvivalentu, ki smo ga izmerili s TLD, 1/3, sevanje iz zemlje pa prispeva 2/3 (Tabela 5.2, poglavje Zunanje sevanje). Okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$, ki je bil ocenjen v poglavju *Zunanje sevanje* tega, ki je priloga tega poročila, dodatno pomnožimo s faktorjem 0,84 ([25], [40]).

Povzeto po poročilu [14].



Slika I14: Deleži letnih efektivnih doz zaradi naravnega ionizirajočega sevanja. Podatki so povzeti po študiji [14], razen za prispevka direktnega ionizirajočega sevanja in nevtronsko doze (Poglavje *Zunanje sevanje)*.

Naravni radionuklidi

Izmerjene aktivnosti naravnih radionuklidov (uranova in torijeva veriga, K-40, Be-7) se ne razlikujejo bistveno od vrednosti, izmerjenih v drugih krajih Slovenije, in vrednosti, ki jih podaja literatura. To velja tako za reko Savo, podtalnice, vodovode in usede, kot za zrak in hrano. Prav tako velja, da so vrednosti primerljive z vrednostmi iz preteklih let. Dodatne podrobnosti so v [14].

Černobilska kontaminacija, poskusne vojaške jedrske eksplozije, nesreča v Fukušimi (Tabela E)

V letu 2024 sta bila, podobno kot v preteklih letih, od antropogenih radionuklidov v zemlji merljiva še Cs-137 in Sr-90, ki izvirata iz černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij (tabela E). V letu 2024 učinka radionuklidov, ki so ušli v ozračje po nesreči v japonski jedrski elektrarni v Fukušimi leta 2011, ni bilo zaznati.

Tabela E: Efektivne doze *E* zaradi globalne kontaminacije v okolici NEK v letu 2024

Vir	**Letna efektivna doza *E* (mSv)**
Zunanje sevanje (Cs-137 v zemlji)	2,0 E–2
Vdihavanje (Sr-90 in Cs-137 v zraku)	5,0 E–8
Zaužitje (Sr-90 in Cs-137 v hrani)	3,0 E–4
Zaužitje (Sr-90 v ribah)	3,6 E–5
Zaužitje (C-14 v hrani)	1,43 E–2*
Skupaj globalno onesnaženje v okolici NEK	3,47 E–2

* Prispevek iz izpustov NEK je dva reda velikosti manjši, glej tabelo F.

Prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju je bil ocenjen na manj kot 0,01 mSv na leto, kar je 1,2 % povprečne letne zunanje doze zaradi naravnega sevanja v okolici NEK. Ocena je v okviru razsutja podatkov primerljiva s preteklimi leti.

Predvidena efektivna doza zaradi vdihavanja radionuklidov, ki so posledica splošne kontaminacije (Cs-137 in Sr-90), je za odraslega posameznika iz prebivalstva ocenjena na 5,0 E–8 mSv na leto.

Cs-137 in Sr-90 iz jedrskih poskusov in černobilske nesreče sta bila izmerjena v sledeh v posameznih vrstah hrane. Efektivna doza zaradi zaužitja te hrane je bila za leto 2024 ocenjena na 7,5 E-5 mSv na leto za Cs-137 in 2,5 E–4 mSv na leto za Sr-90, kar je skupaj 0,26 % letne efektivne doze zaradi naravnih radionuklidov (brez K-40) v hrani. Ocenjena doza je primerljiva s tistimi iz prejšnjih let.

K letni efektivni dozi v hrani največ prispeva C-14, ki je v prehransko verigo prišel po naravni poti in zaradi nadzemnih jedrskih poskusov v 60. letih prejšnjega stoletja.

Tabela F: Povzetek letnih izpostavitev prebivalstva v okolici NEK za leto 2024

Vir	Prenosna pot	Letna efektivna doza (mSv)
naravno sevanje	– sevanje gama in neposredno ionizirajoče kozmično sevanje – kozmični nevtroni – sevanje iz zemlje	** 0,22 0,05 0,13
	– zaužitje, pitje in vdihavanje (K, U, Th)	*** 0,31
	– vdihavanje (kratkoživi potomci Rn-222)	4,09***
	– gradbeni materiali – zunanje sevanje	0,20***
	Skupaj naravno sevanje v okolici NEK#	**4,98**
NEK – neposredno sevanje ob ograji NEK	– neposredno sevanje iz objektov NEK	nedoločljivo
NEK atmosferski izpusti (na ograji NEK****)	– zunanje sevanje iz oblaka – zunanje sevanje iz useda (Co-60, Cs-137) – vdihavanje iz oblaka (H-3, C-14) – zaužitje (C-14)	1,5 E–6 3,2 E–11 2,3 E–5 4,0 E–5
NEK tekočinski izpusti (Sava)	Odrasla referenčna oseba – pretočna akumulacija HE Brežice (350 m nizvodno od jezu NEK)	1,0 E–5
	Skupaj učinki NEK*	**7,45 E–5**
černobilska kontaminacija, jedrski poskusi	– zunanje sevanje (Cs-137)** – zaužitje rastlinske in živalske hrane (brez C-14)***** – zaužitje rastlinske hrane (C-14)****** – zaužitje rib (Sr-90)	2,0 E–2 3,0 E–4 1,43 E–2 3,6 E–5
	Skupaj globalno onesnaženje v okolici NEK	**3,47 E–2**

* Skupna vsota prispevkov NEK je informativna, saj seštevamo prispevke za različne referenčne osebe. Pri skupni vsoti se pri prispevku tekočinskih izpustov upošteva le ocena letne efektivne doze za referenčno osebo – ribiče, ki lovijo 350 m nizvodno od jezu NEK.

** Ocena efektivne doze zunanjega sevanja iz okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ z upoštevanjem pretvorbenega faktorja $E/H^*(10) = 0{,}84$ za fotone 600 keV [85]. Pretvorbeni faktorji v območju od 100 keV do 6 MeV so v območju med 0,84 in 0,89. Upoštevali smo, da se odrasla oseba (referenčna oseba) zadržuje 20 % časa na prostem, da je faktor ščitenja sevanja iz zemlje pri zadrževanju v zgradbah 0,1, faktor ščitenja stavb za kozmično sevanje, 0,8 ter prispevek efektivne doze zunanjega sevanja gradbenih materialov, 0,2 mSv. Predpostavili smo še, da je prispevek ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja k celotnemu doznemu ekvivalentu, ki smo ga izmerili s TLD, 1/3, sevanje iz zemlje pa prispeva 2/3 (Tabela 5.2, poglavje Zunanje sevanje). Okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$, ki je bil ocenjen v poglavju *Zunanje sevanje*, ki je priloga tega poročila, dodatno pomnožimo s faktorjem 0,84 ([25], [40]).

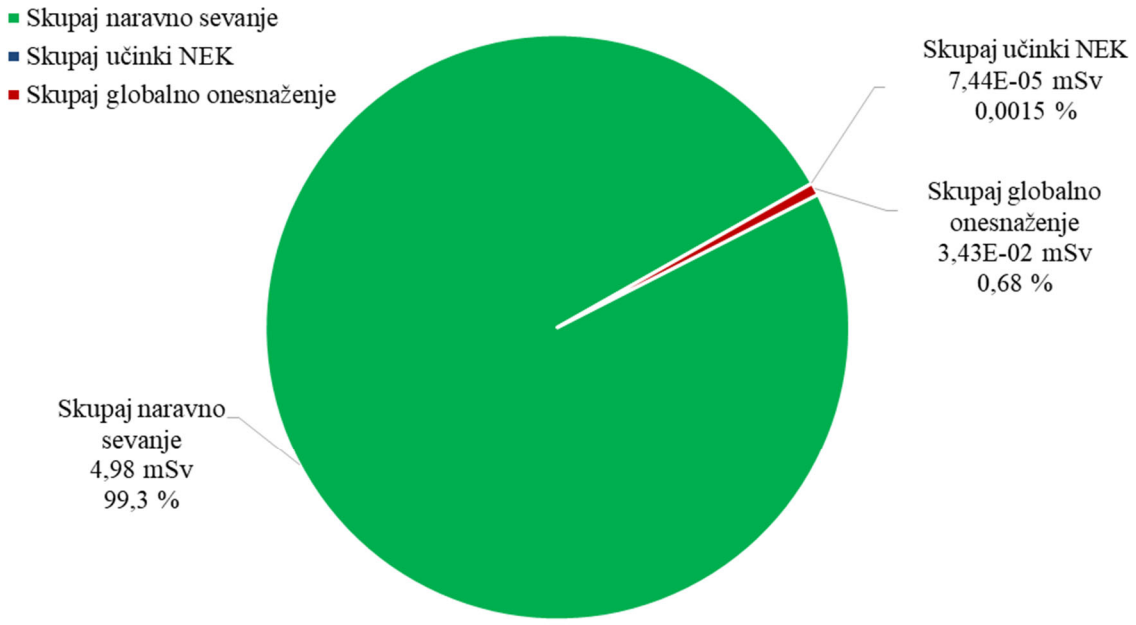
*** Povzeto po poročilu [14].

**** Ocena okvirno velja tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja.

***** Del pripada kontaminaciji zaradi nadzemnih jedrskih poskusov, del pa kozmogenemu izvoru, saj C-14 nastaja v ozračju ob jedrskih reakcijah molekul dušika s hitrimi (kozmičnimi) protoni.

****** Povprečje za lokacije od 1 km od osi reaktorja in Dobovo. Prispevek iz izpustov NEK je dva reda velikosti manjši

\# Povzeto po tabeli D.



Slika I15: Deleži ocenjenih letnih efektivnih doz posameznih referenčnih skupin zaradi emisij NEK v letu 2024, globalnega onesnaženja in naravnega sevanja

Povzetek letnih izpostavitev prebivalstva v okolici NEK za leto 2024 (Tabela F)

V tabeli F in na sliki I15 so predstavljeni posamezni prispevki k letni efektivni dozi zaradi emisij NEK v letu 2024 za odraslo osebo ob ograji NEK. Ocene okvirno veljajo tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja. Izjema je doza zaradi zunanjega sevanja, ki jo merijo TLD. Ob ograji NEK so med gradnjo objekta odstranili vrhnjo plast zemlje in nasuli prod, zaradi česar je povprečni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK za 30 % višji od tistega na ograji NEK. Zaradi tega tu podajamo povprečni okoljski dozni ekvivalent za okolico NEK.

Ko seštejemo vrednosti za atmosferske in tekočinske izpuste, ugotovimo, da je učinek nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo znatno pod avtorizirano mejo. Pri tem je treba poudariti, da gre za različne referenčne osebe (posameznike iz prebivalstva) in je zato seštevek samo konzervativna zgornja ocena letne efektivne doze.

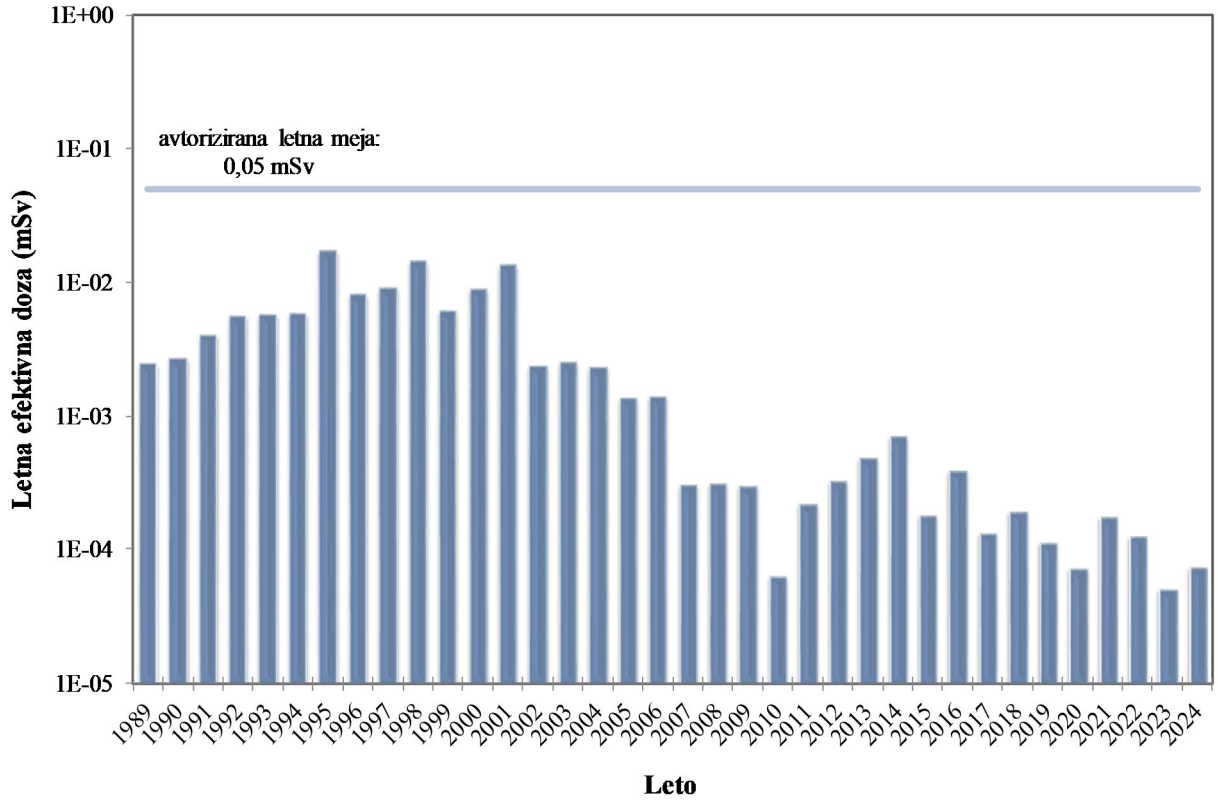
Primerjava s preteklimi leti

V okolju v okolici NEK so bili izmerjeni tudi drugi radionuklidi, ki so pretežno del globalne kontaminacije (C-14, Sr-90, Cs-137), uporabe v medicini (I-131) ali kozmogenega izvora (H-3, C-14). Prispevki k letni efektivni dozi po posameznih prenosnih poteh in s tem povezanih medijih za vse umetne radionuklide, ki jo prejme prebivalstvo (odrasli) iz najbližjih naselij oziroma referenčnih lokacij, so zbrani v tabeli G, dodana je primerjava s prejšnjimi leti. V letu 2024 je bil največji prispevek zunanjega sevanja – posledica prisotnosti Cs-137 v zemlji (globalno onesnaženje). Drugi največji prispevek je od C-14 v hrani. Ugotovimo lahko še, da se vsota prispevkov v okviru razsutja podatkov v zadnjih petih letih ne spreminja.

Tabela G: Pregled ocenjenih letnih efektivnih doz za **vse umetne radionuklide** po nadzorovanih medijih izpostavitve za odraslo referenčno osebo v okolici NEK (upoštevane so lokacije z najvišjimi efektivnimi dozami za posamezno prenosno pot) od leta 2020 do leta 2024 iz merskih rezultatov. Zaznani umetni radionuklidi so pretežno ali del globalne kontaminacije (C-14, Sr-90, Cs-137) ali kozmogenega izvora (H-3, C-14) ali izredne kontaminacije (Ru-106) v letu 2017 ali uporabe v medicini (I-131). Vsi sevalni učinki NEK na prebivalstvo v okolici so zanemarljivo majhni v primerjavi z globalnim onesnaženjem (tabela E) in so ocenjeni na manj kot 0,15 % avtorizirane mejne letne doze na robu izključitvenega območja in navzven.

Nadzorovani medij	**Letna efektivna doza umetnih radionuklidov *E* (mSv)**					**Lokacija**	**Opombe**
	2020	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**		
Reka Sava	7 E–5 1,3 E–6 1,9 E–4	1,1 E–4 1,1 E–6 9,2 E–5	1,4 E–4 1,5 E–6 8,7 E–5	9,0 E–5 1,4 E–6 3,1 E–4	4,5 E–5 1,0 E–6 3,6 E–5	Brežice Brežice Brežice	pitje (Sr-90) kopanje (Cs-137) zaužitje rib (Sr-90)
Črpališča in vodovodi	3,2 E–5	3,1 E–5	1,4 E–5	3,4 E–5	3,6 E–5	Brege	pitje vode (H-3)
Padavine in suhi used	1,8 E–5	1,9 E–5	1,2 E–5	2,0 E–5	1,7 E–5	Brege	zaužitje rastlinja (H-3)
Zrak	2,7 E–7	2,1 E–7	9,7 E–8	2,7 E–7	5,0 E–8	Povprečje po lokacijah	inhalacija in imerzija (Cs-137)
Zunanje sevanje**	0,017	0,014	0,016	0,014	0,02	Vse lokacije	(Cs-137)
Hrana	0,0151 0,0016	0,0157 5,0 E–4	0,0168 3,5 E–4	0,0146 4,0 E–4	0,0143 3,0 E–4	Na ograji NEK*** vse lokacije in na ograji NEK***	zaužitje (C-14*) (Sr-90, Cs-137)
Skupaj	**0,034**	**0,030**	**0,033**	**0,029**	**0,035**		

* Del pripada kontaminaciji zaradi nadzemnih jedrskih poskusov, del pa kozmogenemu izvoru, saj C-14 nastaja v ozračju ob jedrskih reakcijah molekul dušika s hitrimi (kozmičnimi) protoni.
** Upoštevan je okoljski dozni ekvivalent H*(10).
*** Ocene okvirno veljajo tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja.



Slika I16: Seštevek ocenjenih letnih efektivnih doz posameznih referenčnih skupin zaradi emisij NEK od leta 2004 do leta 2024. Označena je tudi avtorizirana letna meja (0,05 mSv). Skala je logaritemska.

Na sliki I16 je predstavljen seštevek ocenjenih letnih efektivnih doz posameznih referenčnih oseb zaradi emisij NEK od leta 1989 do leta 2024. Posebej je označena avtorizirana letna meja 0,05 mSv. Posamezni prispevki se nanašajo na različne referenčne osebe iz prebivalstva in je zato seštevek samo groba ocena letne efektivne doze. Od leta 2001 do 2011 se seštevek znižuje, v letih od 2012 je bila letna efektivna doza na prebivalca pri ograji NEK (ocene okvirno veljajo tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja), nekoliko višja zaradi učinka C-14 na prehrambno verigo med vegetacijo, vendar še vedno dva velikostna reda pod avtorizirano mejo. Tudi v letih 2013 in 2014 lahko opazimo povišanje letne efektivne doze, lahko ga pripišemo izključno prispevku C-14 v tekočinskih izpustih, ki ga v prejšnjih letih nismo upoštevali.

V letu 2024 daje seštevek v okviru razsutja podatkov primerljivo vrednost s prejšnjimi leti. Pri tem je treba upoštevati, da so bili učinki zaradi tekočinskih izpustov iz NEK ocenjeni z veljavnim modelom [32]. Pri primerjanju prispevkov v posameznih letih je treba upoštevati, da se pri izračunu zunanjega sevanja iz oblaka in inhalacije iz oblaka od leta 2007 uporablja Lagrangeev model, ki daje natančnejše vrednosti izpostavitve, ter da so bile vrednosti prispevka k dozi zaradi zaužitja C-14 (iz atmosferskih izpustov) do leta 2006 ocenjene na osnovi izpustov in podatkov iz podobnih elektrarn.

Tako lahko ugotovimo, da so sevalni učinki NEK za več redov velikosti nižji od učinkov globalnega onesnaženja in učinkov uporabe radionuklidov v medicini. Ocenjena vrednost sevalnih učinkov (letne efektivne doze) NEK na prebivalstvo ob ograji NEK (in okvirno 500 m od osi reaktorja) pa je zgolj 0,0015 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja.

SKLEPI

Povzetek izpostavitve prebivalstva v okolici NEK za leto 2024 je v tabeli F, kjer so navedeni prispevki naravnega sevanja, učinki NEK ob ograji NEK in preostali učinki černobilske kontaminacije in poskusnih vojaških jedrskih eksplozij v atmosferi:

- v letu 2024 so bili vsi sevalni učinki NEK ob ograji NEK (ocena okvirno velja tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja) ter 350 m nizvodno od jezu NEK na prebivalstvo v okolici ocenjeni na manj kot 7,5 E–5 mSv na leto; Ocena učinkov delovanja NEK zaradi tekočinskih izpustov v tem poročilu temelji na modelu, ki je bil izdelan v letu 2003 in revidiran v letu 2009.
- ocenjena vrednost sevalnih učinkov NEK ob ograji NEK je približno 0,0015 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja (ocena okvirno velja tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja);
- ocenjena vrednost sevalnih učinkov NEK je tudi zelo majhna v primerjavi z avtorizirano mejno dozo za prebivalstvo v okolici NEK (avtorizirana efektivna mejna doza 0,05 mSv na leto na razdalji 500 m in navzven za prispevke po vseh prenosnih poteh);
- k celotni efektivni dozi zaradi izpustov iz NEK največ prispeva zaužitje hrane (rastlinje, meso, sadje, ribe) (65 %). Tu ima največji delež vnos C-14, 54 %, zaradi zaužitja hrane (rastlinja);
- efektivna doza zaradi izpustov iz NEK zaradi vdihavanja prispeva k celotni efektivni dozi sevalnih učinkov NEK 31 %; med radionuklidi največ prispeva H-3;
- efektivna doza zaradi izpustov iz NEK zaradi zunanjega sevanja k celotni efektivni dozi sevalnih učinkov NEK prispeva 2,6 %; med radionuklidi največ prispeva Co-58;
- vsota prispevkov efektivnih doz zaradi umetnih radionuklidov, ki jih izračunamo iz meritev vzorcev iz okolja, se z leti znižuje, k čemur največ prispeva zmanjšano sevanje zaradi Cs-137 iz zemlje; to je ostanek zračnega in padavinskega useda po nesreči v jedrskem reaktorju leta 1986 v Černobilu.

SUMMARY

The report presents the results of regular annual measurements of natural and artificial radioactive substances and other sources of ionising radiation in the vicinity of the Krško Nuclear Power Plant (NPP), along with a calculation of the amount of ionising radiation received from these sources by the population in the vicinity of the NPP.

In 2024, measurements and calculations according to the statutory and internationally recognised methodology (ICRP and IAEA) were carried out by three authorised organisations from two countries (the Jožef Stefan Institute, the Institute for Occupational Safety, the Ruđer Bošković Institute), and MEIS d.o.o and the Krško NPP as the obligated party. The results of the measurements and calculations show that the total radiation effects from the Krško NPP from all sources and all exposure pathways on the population were in all cases less than one per cent of the authorised limit, meaning that the Krško NPP facility has minimal impact to the annual effective dose to the population in its vicinity.

Like all population, the residents living in the vicinity of the Krško NPP receive a a typical dose of natural ionising radiation. Exposure to natural ionising radiation in the vicinity of the Krško NPP can be determined precisely on the basis of measurements carried out by authorised organisations as part of the operational off-site radiological monitoring of the Krško NPP, since sensitive devices detect all radiation, including many natural radionuclides in the environment. Based on the measurements conducted by authorised organisations and on the analyses of the Slovenian Radiation Protection Administration, the received dose of natural ionising radiation in the vicinity of the Krško NPP has been thoroughly revised in 2024 and, using new dose conversion factors due to inhalation of radon and its progeny, a value of 4.98 mSv per year has been estimated.

The contribution of the total radiation effects of the Krško NPP on the population in the vicinity is under 0.000075 mSv per year. This contribution is fifty thousand times smaller than the natural background dose, and it can therefore be concluded that the population living in the Krško-Brežice plain, in settlements throughout the area around the Krško NPP and at the border of the exclusion area (500 m from the reactor axis) and beyond is not more extensively exposed to ionising radiation than the population elsewhere in Slovenia. Residents in the vicinity of the Krško NPP, like all residents of Slovenia, receive a certain dose of natural background ionizing radiation. Due to local geographical and geological conditions, the annual natural background radiation dose around the Krško NPP (4.98 mSv) is even lower than Slovenia's national average of 5.98 mSv per year. The contribution of the radiation effects of the Krško NPP on the population is 0.1 % of the authorised annual dose limit. The authorised annual dose to the population is set at 0.05 mSv per year, which is 5 % of the annual dose limit for the total population, or less than 0.0012 % of the natural background in Slovenia.

The doses received by the population in the vicinity of the Krško NPP are summarised in Table A. The table contains a conservatively rounded and simplified presentation of the measurement and calculation data, which are presented in full in Table F and in more detail in the remainder of this extract and the full report.

The total radiation effects of the Krško NPP on the surrounding population are very small, less than one thousandth of the authorised annual dose limit at the edge of the exclusion zone and outwards. The low values can be attributed to the small controlled discharges from the NPP. The credit for such low NPP radiation effects also goes to the NPP staff, who have been exemplary in their monitoring and limitation of discharges.

It should be noted here that a so-called representative person is used to calculate or estimate the effective dose to the population due to discharges from a nuclear installation. The representative person for a particular exposure pathway is a hypothetical representative of the population receiving or likely to receive the highest effective dose from a particular exposure pathway, where persons with extreme and rare habits are not taken into account.

Table A: A summary of annual exposures of the population in the vicinity of the NPP for 2024 from the data presented in more detail in Table E.

Origin	Exposure pathway	Annual effective dose (mSv)
Natural background	– Gamma-ray and direct cosmic radiation (including neutron component)*	0.58
	– Ingestion (food, water) and inhalation**	0.31
	– Inhalation of Rn-222 and its progeny**	4.09
	Total natural background radiation (Krško NPP area)	**4.98**
Krško NPP	– Gama-ray and direct radiation from the buildings at the Krško NPP yard	0.000000
	– Cumulative contribution of atmospheric discharges	0.000065
	– Cumulative contribution of liquid discharges	0.000010
	Total radiation effects of the Krško NPP*	**0.000075**
Global contamination	– Accident in Chornobyl NPP, nuclear weapon tests …	0.035
	Total global contamination	**0.035**

* The estimate of the effective dose from external radiation is derived from the environmental dose equivalent H*(10), considering the conversion factor E/H*(10) = 0.84 for 600 keV photons. Conversion factors in the range of 100 keV to 6 MeV lie between 0.84 and 0.89. It has been taken into account that an adult representative person spends 20% of their time outdoors, that shielding factor of radiation from the ground when indoors is 0.1, the shielding factor of cosmic rays within buildings is 0.8, and that the contribution of the external radiation dose from building materials is 0.2 mSv. We have further assumed that the contribution of the ionising component of cosmic radiation to the total dose equivalent measured by the TLDs is 1/3, and that radiation from the ground contributes 2/3 (Table 5.2, *section Zunanje sevanje*). The environmental dose equivalent H*(10), which was estimated in the section *Zunanje sevanje* of this report, is further multiplied by a factor of 0.84 ([25], [40]).

** From [14].

*** The total sum of contributions from the Krško NPP discharges is informative and conservatively estimated upwards, as all the different contributions for different representative persons are added, which is not the case in reality.

For example, the representative person for the calculation of the contribution of atmospheric releases of C-14 is a person who lives directly in the vicinity of the NPP (close to the edge of the exclusion zone) and, for two months of the year, consumes only food grown at the same place (close to the edge of the exclusion zone), and for the other ten months consumes food from elsewhere in Posavje (Dobova). However, the representative person for calculating the contribution of liquid discharges to the Sava river is a fisherman along the Sava river, who spends his time at the river bank 350 m downstream of the NPP dam and consumes fish caught there. Exposures to these different representative persons are added together in the total radiological impact assessment. However, as these are contributions from different representative persons, the sum of the radiation effects of atmospheric and liquid discharges from the Krško NPP is only a conservative upper estimate of the annual effective dose. Yet even such very conservative estimate of the exposure of a hypothetical representative person receiving all possible effective dose from the Krško NPP is practically negligible compared to the values of the typical unavoidable natural background in the Republic of Slovenia.

Thus, the Krško NPP produces clean, efficient and low-carbon energy, essential for meeting the present and future energy needs of the Republic of Slovenia addresses global climate change.

INTRODUCTION

As elsewhere in the world, residents of Slovenia are also exposed to natural and anthropogenic sources of ionizing radiation. Although among anthropogenic sources the greatest contribution comes from the use of ionizing radiation in medicine—which is not discussed in this report—effects from residual contamination originating from Chornobyl and atmospheric nuclear tests also remain present. However, these typically represent less than one percent of the natural background radiation.

Local residents in the vicinity of the Krško Nuclear Power Plant (NEK) may additionally be exposed to atmospheric and liquid discharges of radioactive effluents from the NPP, as well as direct radiation from facilities within its premises. The Krško NPP must adhere to an *authorized dose limit*[7] of 0.05 mSv per year for adults, considering all exposure pathways, as well as other *regulatory limits* related to discharges and radiation effects on the environment and population. Compliance with these requirements is demonstrated by the Krško NPP through operational radiological monitoring, the scope and methodology of which are defined by the Rules on Radioactivity Monitoring[8] [8]. Besides the NPP itself, which measures emissions, independent authorized monitoring providers also participate in carrying out radiological monitoring.

This Report presents the results of radioactivity monitoring that was performed in 2024 by the Krško NPP – as the entity liable for monitoring, and by the authorised radioactivity monitoring providers. Summarised results of radioactivity measurements of antropogenic and naturally occurring radionuclides are presented by different contamination media and exposure pathways in the form of assessed effective doses[9], which are presented in Chapter *"DOSE ESTIMATE" (Table F)*. The dose assessment is based on the methodology of ICRP and IAEA [37] [38] [39].

CHARACTERISTICS OF SAMPLING AND MEASUREMENTS

In 2024, the scope and methods of sampling and measurements remained the same as in previous years, enabling a comparison of the monitoring results with the results from previous years as well as determination of trends. Because of the construction of the Brežice hydroelectric power plant (Brežice HPP) dam, additional sampling locations were introduced in the reservoir. The characteristics of the sampling and measurements are as follows:

1) Sava river

a) continuous sampling at four locations: (Krško – 3.2 km upstream, in front of Brežice HPP dam – 7.2 km downstream, Brežice – 8.2 km downstream, and Jesenice na Dolenjskem – 17.5 km downstream) for long-lived radionuclides; single samples of unfiltered water at Krško, left and right riverbanks in the reservoir, the replacement habitat, above the Brežice HPP dam, Brežice, Jesenice na Dolenjskem and Podsused near Zagreb (Croatia, around 30 km downstream from the Krško NPP) for short-lived radionuclides;

---

[7] The constraints on additional exposure of the population (representative person) was laid down already in the site plan documentation for the Krško NPP in 1974, which required the total annual effective dose from all exposure pathways to the representative person at the border of the exclusion area (500 m from the reactor axis) and beyond not to exceed 0.05 mSv. After the commissioning and start of the Krško NPP operation, this limit was supplemented with the requirement that the annual effective dose from external radiation from the site buildings at the border of the Krško NPP exclusion area shall not exceed 0.2 mSv per year.

[8] Operational radioactivity monitoring includes measurements of emissions on the premises, measurements of imissions in the surroundings, measurements of external radiation in the environment, evaluation of measurement results and dose estimation. The scope of monitoring is defined in Annex 4 of the above Rules (Design of the operational radioactivity monitoring programme for the nuclear power plant). The Rules also define requirements that must be met by the providers of radioactivity monitoring, minimal technical requirements for measurement and analysis equipment as well as the methods and exposure pathways that must be considered in dose evaluation.

[9] In the purpose of protection of the public, it is necessary to characterise an individual receiving a dose that is representative of the more highly exposed individuals in the population. This individual is defined as the 'representative person', where persons with extreme and rare habits are not taken into account [38].

b) quarterly single water samples from Sava at Krško and Brežice;

c) composite quarterly samples on the left and right banks of the accumulation lake to determine the activity concentration of C-14 in the Sava river;

d) sediment sampling at ten locations (Krško upstream, below the Krško NPP dam, Pesje, left and right riverbanks in the reservoir, in front of Brežice HPP dam, Brežice, Jesenice na Dolenjskem and Podsused in Croatia – all downstream of the Krško NPP dam);

e) fish samples: Krško, reservoir HPP Brežice, Brežice, Jesenice na Dolenjskem, Podsused (Croatia) and Otok. Fish samples were also taken in the accumulation lake of the Brežice HPP to determine the C-14 content.

Sample measurements involved determination of the activity concentration and specific activity of gamma emitters using high resolution gamma-ray spectrometry (HRGS), the activity concentration and specific activity determination of tritium (H-3) with liquid scintillation beta spectrometry, and the determination of Sr-90/Sr-89 using radiochemical separation and counting with proportional counter. The C-14 content in Sava river water and fish was determined by accelerator mass spectrometry (AMS).

2) Waterworks and pumping stations

a) single water sample from Ljubljana water system (reference location);

b) quarterly water samples from the waterworks in Krško, Brežice;

c) monthly continuous samples from the pumping stations in Brege, Rore, Brežice (Glogov Brod) and the waterworks in Spodnji Stari Grad and Brežice; monthly continuous samples from the Petruševec pumping station in Zagreb, Croatia;

d) sampling of groundwater in the immediate vicinity of the Krško NPP (quarterly samples from the E1 borehole inside the Krško NPP perimeter fence and monthly samples from the VOP-4 borehole and two locations in Croatia (Medsave and Šibice boreholes);

e) monthly single samples from boreholes VOP-1/06, V-7/77 in V-12/77.

The measurements were performed using the same methodology as for the Sava river samples.

3) Precipitation and dry fallout

a) monthly composite samples from precipitation collectors in Brege, Krško and the reference locations in Dobova and Ljubljana (control location);

b) monthly replacement of vaseline collecting plates for dry fallout at eight locations in the immediate and wider surroundings of the Krško NPP, and in Ljubljana (reference location).

Precipitation samples were analysed using high resolution gamma-ray spectrometry, liquid scintillation beta spectrometry for tritium (H-3) activity concentration determination, and radiochemical analysis for the determination of Sr-90/Sr-89. High resolution gamma-ray spectrometry was also applied on vaseline samples.

4) Air

a) aerosol sampling comprised of continuously pumping air through aerosol filters, changed every fifteen days. Pumps are located at eight locations in the surroundings of the Krško NPP (Spodnji Stari Grad, Krško – Stara vas, Leskovec, Brege, Vihre, Gornji Lenart, Spodnja Libna and reference location Dobova) and Ljubljana (control location);

b) iodine (I-131) sampling was performed with special pumps and filters at the same locations as the sampling of aerosols (except for the Dobova location);

c) sampling for the purpose of Sr-90/Sr-89-specific measurement was performed with the pump in Stara Vas;

d) emission measurements were performed at the Krško NPP's main plant main ventilation (stack), whereby samples for the measurement of iodine, tritium (H-3), carbon (C-14), aerosols and noble gases were collected;

e) sampling of airborne C-14 in CO_2 was performed continuously at two locations at the Krško NPP fence which is inside the Krško NPP exclusion area (on the Krško NPP perimeter fence). In 2024, a total of fourteen samples were collected and analysed. The control measurements were performed in Zagreb (Croatia).

The measurements of aerosol filters and dedicated filters for I-131 were performed with high resolution gamma-ray spectrometry, and the Sr-90/Sr-89-specific measurement was performed using a proportional counter. Measurement of specific activity of C-14 in atmospheric CO_2 is performed using a liquid scintillation counter. In preparation the sample CO_2 is converted to benzene.

5) External Exposure to Radiation

External radiation

a) external radiation dose expressed in ambient dose equivalent $H^*(10)$ (gamma radiation and the ionizing component of cosmic radiation) was measured using 57 TL dosimeters in the vicinity of the Krško NPP (the locations surrounding the plant at the distance up to 10 km) and 9 TL dosimeters at the Krško NPP perimeter fence. Data were collected from the dosimeters every six months. Ljubljana was the reference location for all external radiation measurements. Additional 10 dosimeters were located in Croatia;

b) the external radiation dose is also measured with seven TL dosimeters on the western fence of the Krško NPP near the dry cask storage facility;

c) measurements using 50 TL dosimeters at locations distributed throughout Slovenia were performed in parallel with the measurements in the vicinity of the Krško NPP [18], [19];

d) 14 continuous radiation detectors are in operation in the vicinity of Krško NPP as part of the Early Warning Network. In addition to these, further 59 continuous radiation detectors (Envinet MIRA, AMES/MFM, Atomtex/MFM in Gihmm) are in operation at other locations in Slovenia, also as a part of the Early Warning Network.

For the measurement of the ambient dose equivalent H*(10), IJS uses dosimeters of type TLD-IJS-05 (made of CaF_2:Mn). Measurements of H*(10) at 10 sites in Croatia are made with thermoluminescence (LiF:Mg,Cu,P, MCP-N, CaF_2:Mn), OSL type detectors Al_20_3:C and radiophotoluminescence (RPL) dosimeters. The data from continuous detectors are collected and processed by the Slovenian Nuclear Safety Administration.

Soil

a) soil samples were collected at three locations on the flood plains downstream of the Krško NPP (Amerika – 3.5 km from the Krško NPP, Gmajnice – 2.5 km from the Krško NPP, and Kusova Vrbina-Trnje – 8.5 km from the Krško NPP). Sampling was performed twice a year with samples taken in layers from several depths (down to 30 cm on non-cultivated land).

Sample measurements were performed using high resolution gamma-ray spectrometry, while strontium specific activity was determined using radiochemical analysis.

6) Food

a) sampling of food was performed in the following locations: orchard next to the Krško NPP (fruits), Pesje (milk, vegetables, fruits), Brege (milk, vegetables), Vihre (vegetables), Vrbina (cereals, fruits), Spodnji Stari Grad (meat, eggs), Žadovinek (vegetables, cereals), Trnje (vegetables, cereals), Leskovec (meat, fruit), Mrtvice (milk, vegetables, meat), Dolenja vas (vegetables), Gornji Lenart (eggs), Sevnica[10] (meat). In 2023, 29 types of food were sampled in the vicinity of the NPP, for a total of 71 samples (milk: 36, vegetables: 20, meat: 7, fruit: 8);

[10] Samples of pork and beef were collected at the Agricultural Cooperative Sevnica. The meat was collected from breeders in Kalce-Naklo, Mali Podlog, and Mrtvice.

b) sampling frequency depended on food category: milk was sampled monthly or quarterly (for the Sr-90/Sr-89-specific measurements); meat, eggs and cereals were sampled annually; vegetables, crops and fruits once per season;

c) sampling of vegetation, crops and fruits for C-14 specific activity determination took place twice in 2024 (July and September) at sixteen locations in the surroundings of the Krško NPP and in the reference location in Dobova; a total of thirty-six samples were collected and analyzed.

Measurements of specific activity of gamma emitters were performed using high resolution gamma-ray spectrometry, while Sr-90/Sr-89 specific activity determination was performed using radiochemical analysis. Activity of C-14 is determined with liquid scintilation spectrometry of absorbed CO_2.

MEASUREMENT RESULTS

Introduction

The annual dose is calculated as the arithmetic average of periodic measurement outcomes [58]. The uncertainty of the average could either be evaluated with a-priori uncertainty (uncertainty propagation rule) or with a-posteriori uncertainty (standard deviation divided by the square root of the number of samples). The definitions of estimators are in line with the frequentist approach to probability [59], except that instead of the term »a-posteriori uncertainty«, the term »average scattering of the mean« is used. Definitions of these terms are given in the report *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS DP 15010.*

When the measured values are below detection and the detection limit is reported (usually by Pb-210, H-3, Sr-90 radionuclides) a 1/4th of the detection limit is given in tables, as a predicted value, under the recommendation of the European Council (*European Commission recommendation on standardized information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation*, Euratom Off. J. Eur. Union. 2004; pp L2:32; paragraphs 6 and 7 [60]). This value has no associated uncertainty and the uncertainty of the arithmetic average is represented with a-posteriori uncertainty. In such cases the records are designated by a symbol "x".

For non-detected radionuclides - to keep the presentation clear - the limits of detection are not provided. The empty fields in tables are taken as zero values.

For the data interpretation and dose assessment the primary measurement $y \pm u(y)$ results obtained from gamma-ray spectrometry carried out by JSI (*Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010*) are used in the same way as in recent years. The $u(y)$ represents the combined standard deviation of the specific activity related to 68 % confidence interval (coverage factor k = 1). The combined standard deviation incorporates statistical fluctuation of the net signal and the uncertainties of the background signal, spectrometer calibration, nuclear data and the sample quantity. The uncertainties stemming from sampling, except for the sample quantity, are not taken into account.

If the uncertainty of the measurement result exceeds 80 % of the observed values (quantification limit), the primary measurement result is reported. Such an outcome is designated by a symbol "‡", with a footnote under the Table explaining that the result is below quantification limit.

The designation »Sr-90/Sr-89« signifies that the separation to determine the activity of Y-90 was not performed. The separation to determine the activity of Y-90 should be carried out only in cases when the counting rate of Sr-90/Sr-89 decreased, and the difference was a result of the radioactive decay rate of Sr-89. Thus, the reported activity concentrations or specific activities of Sr-89/Sr-90 refer only to activity concentrations or specific activities of Sr-90, because the short-lived Sr-89 has not been detected in the environment since post-Chornobyl period. This is also confirmed by periodic monthly reports on atmospheric discharges from the Krško NPP, where the radionuclide Sr-89 is not detected.

1) Sava river ***(Abstract from the chapter Radioaktivnost v reki Savi)***

Tritium is regularly present in liquid effluents from the NPP, and it is also detected in the Sava river. Natural tritium concentrations in rainwater in 2024 range from 0.3 kBq/m^3 to 1.2 kBq/m^3. The annual average of activity concentration of H-3 (natural background) in the Sava River at Krško is of 0.5 kBq/m^3. An overview of the monthly averages of activity concentrations of H-3 in the Sava river at stations with continuous sampling (filtered water) upstream and downstream of the Krško NPP dam in 2024 is shown in Figure I1. The long-term average (since July 2017) of monthly activity concentrations of H-3 at the sampling station in Brežice is 3.2 kBq/m^3, and in front of the Brežice HPP dam 3.1 kBq/m^3. The long-term average in the Sava at Jesenice na Dolenjskem sampling station is 2.9 kBq/m^3, which, in terms of data scattering, is the same as for the other sampling points downstream from the Krško NPP.

After the construction and installation of HPP Brežice, the flow of the Sava river changed. The time course of H-3 activity concentrations at sampling points in the HPP Brežice accumulation lake (left bank, right bank, in front of HPP Brežice dam) no longer follows the time course of H-3 discharges from Krško NPP. Occasional matches with daily discharges occur, taking into account the two- to three-day lag between the discharge and the sampling date.The same is true in 2024. We observe that the activity concentrations of H-3 in the Sava River, sampled on the right and left sides at the widest part of the accumulation lake in 2024, are equal at 0.6 kBq/m³. This differs from previous years, when the H-3 activity concentration was higher on the right bank than on the left. Measured H-3 activity concentrations in the Brežice hydroelectric accumulation lake were surprisingly low, at background levels. Only in front of the Krško NPP dam was the average higher, at 1.4 kBq/m³.

The hydrodynamic properties in the accumulation lake were evidently different in 2024, as indicated by long-term average concentrations, which are 3.6 kBq/m³ for the left bank and 4.8 kBq/m³ for the right bank. Previously, we assumed slower river flow along the right side of the accumulation lake down to the broadest part of the lake, after which the flow would follow the river's main stream down to the HPP Brežice dam. This assumption could also be supported by bathymetric measurements of the Sava river's depth, which were performed in the embankment above the dam of HPP Brežice [28]. A reverse flow in the accumulation lake is also possible, potentially increasing or decreasing the dilution of contaminants in the lake. Figure I2 presents the activity concentrations of H-3 at the locations upstream and downstream of the Krško NPP dam, where one-time samples of unfiltered water were collected.

In 2024, C-14 was sampled in the effluents from the waste monitoring tanks (WMT). The contribution of C-14 was estimated from measurements in quarterly WMT samples carried out by the RBI. Quarterly samples are made up of individual discharges. Minimal quarterly C-14 activities were 0.04 GBq in the third and fourth quarter and maximal 0.08 GBq in the second quarter. The total annual C-14 release of 0.2 GBq was calculated as the sum of the quarterly values. The discharges are almost an order of magnitude lower than the long-term average (1.4 GBq) since 2013.

C-14 was also measured in Sava river water and fish [21]. Composite samples were taken quarterly at the locations on the left and right banks of the lake of HPP Brežice. The average measured activity concentrations were 9.7 Bq/m³ (188 Bq/kg C),on both the left and right banks in the accumulation lake. Quarterly measured values, considering the variability of the data, do not significantly deviate from the average values. Therefore, based on the measured data, no detectable radiological impact can be attributed to C-14 discharges from the Krško NPP, since all measured specific activities remain below current atmospheric levels (102 pMC or 231 Bq/kg C). Similarly, the specific activities measured in fish samples collected in 2024 are indistinguishable within measurement uncertainty and also remain lower than the current atmospheric C-14 activity.

Radioactive iodine (I-131), also commonly used in medicine, is regularly detected at all monitoring sites along the Sava River, both upstream of the NPP and downstream at Brežice and Jesenice na Dolenjskem. However, no I-131 was detected in liquid discharges from the Krško NPP in 2024.

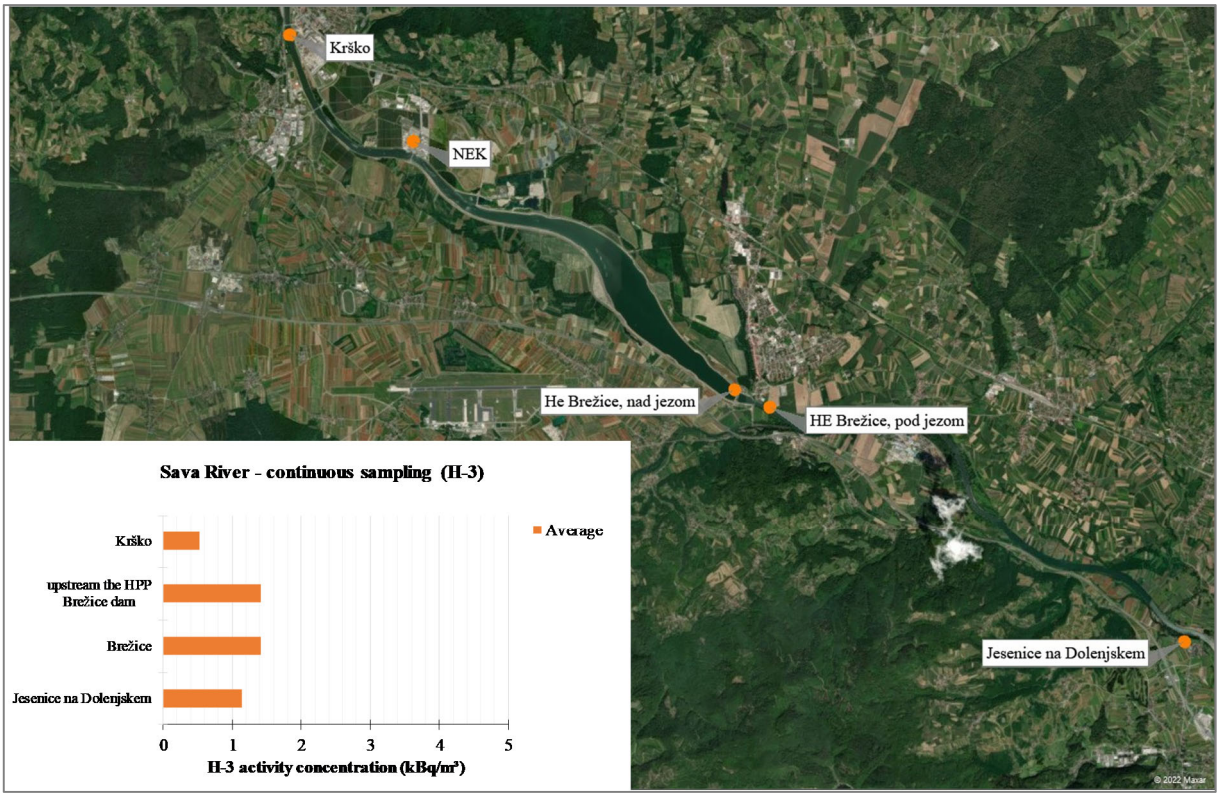


Figure I1: Overview of monthly averages of activity concentrations of H-3 in Sava river at stations with continuous sampling mode upstream and downstream of the Krško NPP dam in 2024.

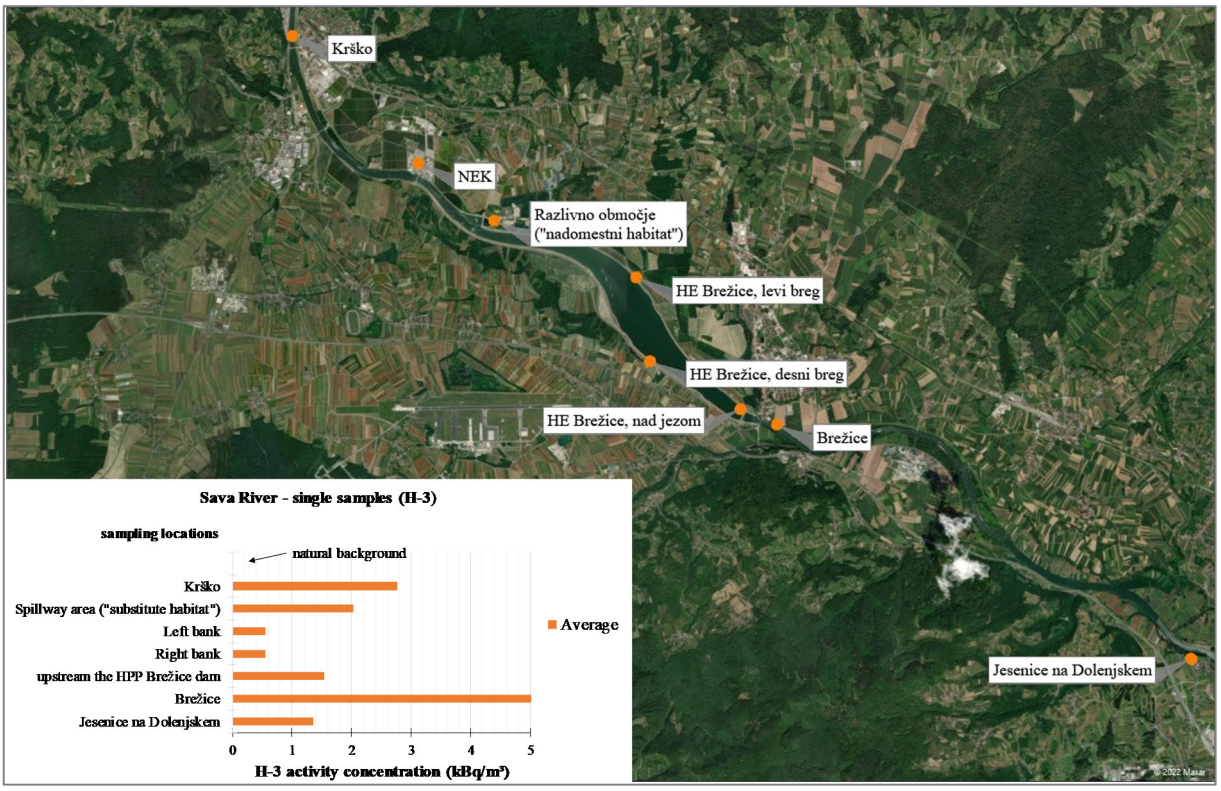


Figure I2: Review of monthly averages of activity concentrations of H-3 in the Sava river at locations upstream and downstream of the Krško NPP dam, where single (monthly or quarterly) samples are collected, in 2024.

In 2024, the activity concentration of I-131 varied significantly at all sampling sites, similarly to previous years, occasionally exceeding the detection limit. Individual one-time samples from various locations along the Sava River in the Posavje region ranged from 0 Bq/m³ up to 5.4 Bq/m³. The highest average activity concentration in Posavje during 2024 was measured in the accumulation lake upstream of the Brežice hydroelectric power plant dam, reaching 2.3 Bq/m³. The presence of radioactive iodine in rivers originates from liquid discharges from hospitals in Slovenia and Austria.

The presence of I-131 in rivers across Slovenia is determined by measurements in separate environmental radioactivity monitoring in the Republic of Slovenia [19]. The highest measured activity concentration of I-131 was (11.2 ± 1.1) Bq/m^3 in the Sava river in Laze near Ljubljana in December 2024. The highest average of two results, 5.3 Bq/m^3, was also calculated for samples from the Savinja river after the Wastewater Treatment Plant in Laško. Compared to previous years, the measured concentrations of I-131 in rivers were lower in 2024. In the Sava River at Laze near Ljubljana, the iodine activity concentration was 1,5 times lower than the long-term average.

No I-131 was detected in fish and sediment samples at all sampling points upstream and downstream of the Krško NPP dam, which is the same as in previous years.

The annual liquid discharge of Cs-137 from the Krško NPP into the Sava River was 1.4 MBq, comparable within data scattering to releases in previous years (2016–2023), and lower than the long-term average of 14 MBq since 2000. The presence of Cs-137 in the Sava River is attributed to global contamination, as the calculated increase in Cs-137 activity concentration 350 m downstream from the Krško NPP dam, considering annual liquid releases, average river flow, and dilution ratios on the left bank at Brežice, is 5.6 E–4 Bq/m³, and 2.6 E–4 Bq/m³ in Brežice. These estimated values cannot be distinguished from the heterogeneously distributed global contamination.

The monthly average activity concentration of Cs-137 in filtered Sava river water was 0.3 Bq/m³ at the reference site in Krško, 0.63 Bq/m³ in Brežice, 0.48 Bq/m³ above the Brežice HPP dam, and 0.04 Bq/m³ at Jesenice na Dolenjskem. The average in unfiltered water was 0.5 Bq/m³ on the left bank at the widest part of the accumulation lake and 0.44 Bq/m³ upstream of the Brežice HPP dam. In unfiltered water in Krško, the average Cs-137 concentration was 0.69 Bq/m³. Cs-137 was not detected at other sampling locations.

The measured activity concentrations of Cs-137 in rivers in Slovenia vary among sampling locations. In 2024, average Cs-137 activity concentrations ranged from 0.1 Bq/m³ in the Krka River to 0.99 Bq/m³ in the Mura River. Cs-137 was not detected in the Soča and Kolpa rivers in 2024. In other rivers, radioactive cesium due to global contamination was detected in at least one sample. The average Cs-137 activity concentrations in rivers in 2024 were predominantly lower than averages from 2008 to 2023 [19].

Radioactive strontium (Sr-90) is regularly measured in liquid discharges from the Krško NPP. In 2024, the total activity released into the Sava River was 0.19 MBq, similar to the past ten years but slightly higher than the long-term average of 0.14 MBq. Monthly samples are composed of individual releases. The Sr-90 content in the Sava River is also attributed to global contamination, as the calculated incremental Sr-90 activity concentration 350 m downstream from the NPP dam, considering annual liquid discharges and average flow of the Sava, with the assumed dilution ratio on the left bank in Brežice, is 7.4 E–5 Bq/m³, and 3.5 E–5 Bq/m³ in Brežice. These contributions cannot be distinguished from global contamination.

The average Sr-90 concentration in filtered water was 0.43 Bq/m³ at the Krško reference site, 1.2 Bq/m³ upstream of the Brežice HPP dam, 0.92 Bq/m³ in Brežice, and 2.0 Bq/m³ at Jesenice na Dolenjskem. The highest single measured concentration was 2.5 Bq/m³ at Jesenice na Dolenjskem. In terms of measurement uncertainty, the values are comparable, although different laboratories performed measurements. Sr-90 activity concentrations in one-time unfiltered water samples are within measurement uncertainties similar to continuously sampled filtered water. Quarterly averages ranged from 1.3 Bq/m³ to 3.1 Bq/m³, with the highest one-time measurement in Krško at 8.5 Bq/m³.

In Slovenia, Sr-90 measurements were conducted only in samples from the Drava River downstream from Dravograd, the Mura, and the Sava (Laze near Ljubljana). The average annual Sr-90 activity concentration from 2008 to 2023 is 2.4 Bq/m³ in the Mura River, 1.7 Bq/m³ in the Drava River, and 2.5 Bq/m³ in the Sava at Laze near Ljubljana. The measured Sr-90 concentrations in Slovenian rivers in 2024 were lower than in the previous 14 years [19]. The similar Sr-90 concentrations across all Slovenian rivers confirm that the measured strontium concentrations are primarily due to global contamination rather than NPP discharges.

Figure I3 shows average specific activities of Cs-137 and Sr-90 in riparian sediments upstream and downstream of the NPP dam. Sediment radionuclide content are attributed to global contamination, as liquid discharges from the NPP contribute specific activities of 1.1 E–3 Bq/kg for Cs-137 and 1.5 E-4 Bq/kg for Sr-90 in bottom sediments 350 m downstream from the Krško NPP dam, and 5.3 E-4 Bq/kg for Cs-137 and 6.9 E–5 Bq/kg for Sr-90 at Brežice. These estimated values are negligible compared to average specific activities of 4.1 Bq/kg for Cs-137 and 0.3 Bq/kg for Sr-90 in Brežice sediments in 2024.

Figure I4 illustrates average specific activities of Cs-137 and Sr-90 in fish upstream and downstream of the Krško NPP dam. Activity concentrations are attributed to global contamination, as radionuclide contributions due to liquid discharges from NPP are negligible. The specific activities are attributed to global contamination, as the contributions from liquid discharges of the Krško NPP – 5.4 E–4 Bq/kg for Cs-137 and 2.1 E–6 Bq/kg for Sr-90 – are very small. Cs-137 was undetected in fish, while Sr-90 in fish downstream was 0.5 Bq/kg, which is seven orders of magnitude higher than the Krško NPP contribution. Cs-137 was also undetected in accumulation lake fish, whereas Sr-90 ammounted to 0.15 Bq/kg.

Other fission and activation radionuclides (Mn-54, Co-60, etc.) were regularly detected but at activitiess five orders of magnitude lower than tritium. Cs-134 was last measured in liquid discharges in 2016. Natural radionuclides from uranium and thorium decay chains were regularly detected in all water and sediment samples and were consistent with typical concentrations observed in other Slovenian rivers [19].

Natural radionuclides from the uranium and thorium decay series (U-238, Ra-226, Pb-210, Ra-228, and Th-228) were regularly detected in all water samples. In filtered Sava River water, average activity concentrations measured at all sampling locations were as follows: U-238 ranged from 2.8 Bq/m³ to 6.4 Bq/m³, Ra-226 from 0.6 Bq/m³ to 1.2 Bq/m³, Pb-210 from 0 Bq/m³ to 14.7 Bq/m³, Ra-228 from 0.4 Bq/m³ to 1.1 Bq/m³, Th-228 from 0 Bq/m³ to 1.2 Bq/m³, Be-7 from 1.8 Bq/m³ to 48.9 Bq/m³, and K-40 from 23.0 Bq/m³ to 34.5 Bq/m³.

Similar average activity concentrations were measured in unfiltered water samples: U-238 from 0.7 Bq/m³ to 6.3 Bq/m³, Ra-226 from 0.6 Bq/m³ to 2.8 Bq/m³, Ra-228 from 0.6 Bq/m³ to 2.0 Bq/m³, Th-228 from 0.5 Bq/m³ to 2.6 Bq/m³, Pb-210 from 5.4 Bq/m³ to 13.9 Bq/m³, Be-7 from 15.9 Bq/m³ to 43.5 Bq/m³, and K-40 from 25.8 Bq/m³ to 50.0 Bq/m³.

Average specific activities measured in sediment samples at all locations were as follows: U-238 from 19 Bq/kg to 30 Bq/kg, Ra-226 from 22 Bq/kg to 31 Bq/kg, Pb-210 from 30 Bq/kg to 113 Bq/kg, Ra-228 from 20 Bq/kg to 32 Bq/kg, and Th-228 from 19 Bq/kg to 32 Bq/kg. Be-7 was occasionally detected in sediment samples, with average concentrations ranging from 0 Bq/kg to 106 Bq/kg.

Since natural radionuclides are not present in liquid discharges from the Krško NPP, their contribution to environmental radioactivity was not assessed.

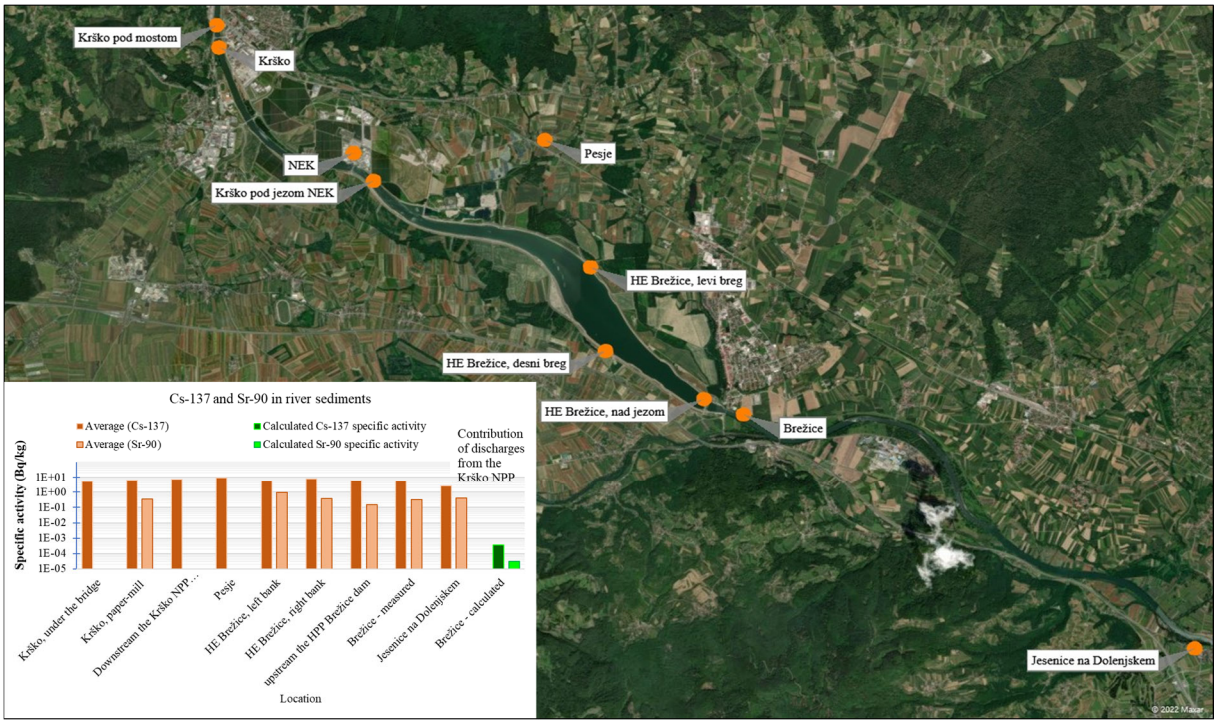


Figure I3: Specific activities of Cs-137 and Sr-90 in river sediments in 2024. The average of Sr-90 in Krško was below the detection limit. The scale is logarithmic.

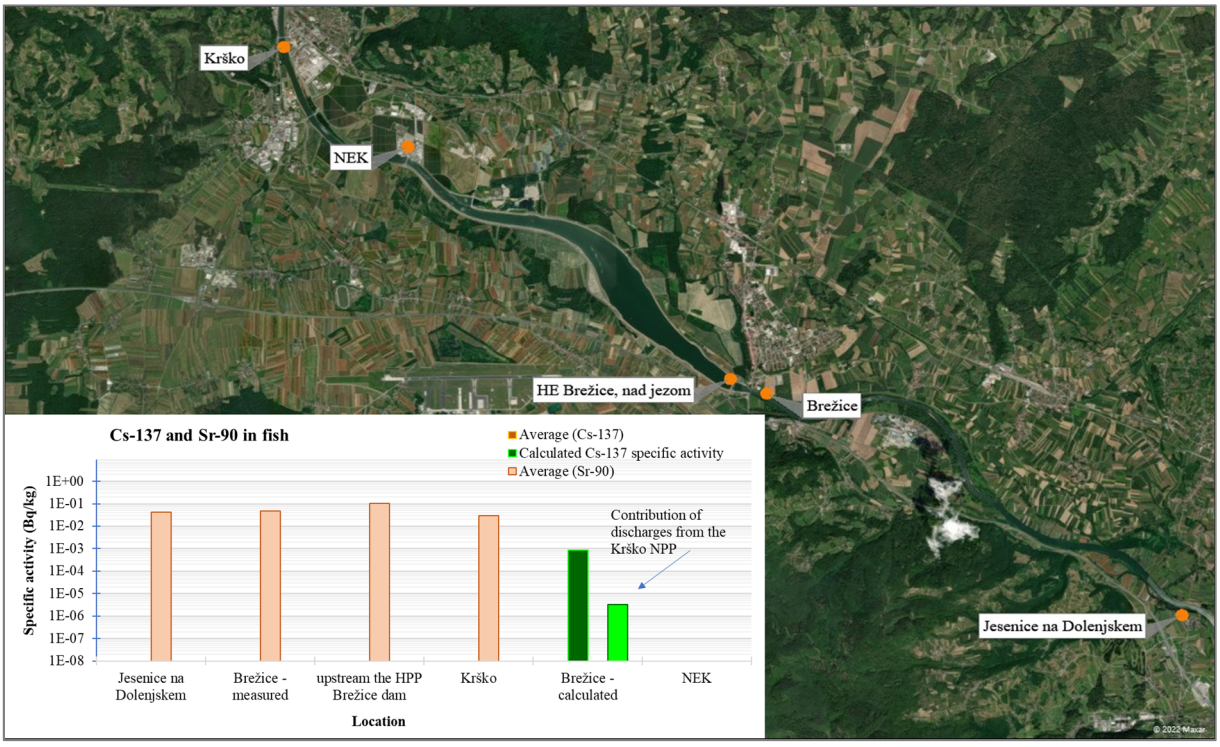


Figure I4: Specific activities of Cs-137 and Sr-90 in fish samples in 2024. Cs-137 values were below the detection limit.The scale is logarithmic.

2) Waterworks and pumping stations ***(Abstract from the chapter Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi)***

Among all sampling locations in Slovenia, the highest tritium concentrations were observed at Brege, undoubtedly due to the impact of the Krško NPP. However, even the highest recorded activity concentrations remain below 2% of the parametric value recommended by the European Commission's Drinking Water Directive maximum recommended values[11]. Beside regular sampling locations, monthly monitoring of water collected at Petrol stations in Krško and Brežice was also conducted in 2024. Measured activity concentrations from the Brežice water supply system were low. The average tritium concentration in samples from the Krško water supply was comparable to that measured in the Ljubljana water supply. Figure I5 provides an overview of H-3 monthly averages in drinking water from pumping stations and waterworks in the municipalities of Krško and Brežice, alongside reference values from Ljubljana [20]. Tritium activity concentrations in drinking water in the vicinity of the Krško NPP are comparable to those measured elsewhere in Slovenia.

In order to monitor water exchange between the Sava River and groundwater in the Krško-Brežice plain, the tritium level in boreholes has been monitored since the start of the operational radioactivity monitoring in the vicinity of the Krško NPP. These groundwater samples serve solely to trace exchanges between the Sava River and groundwater; they are not intended for drinking purposes. Figure I6 summarizes the measured H-3 activity concentrations in these groundwater monitoring boreholes.

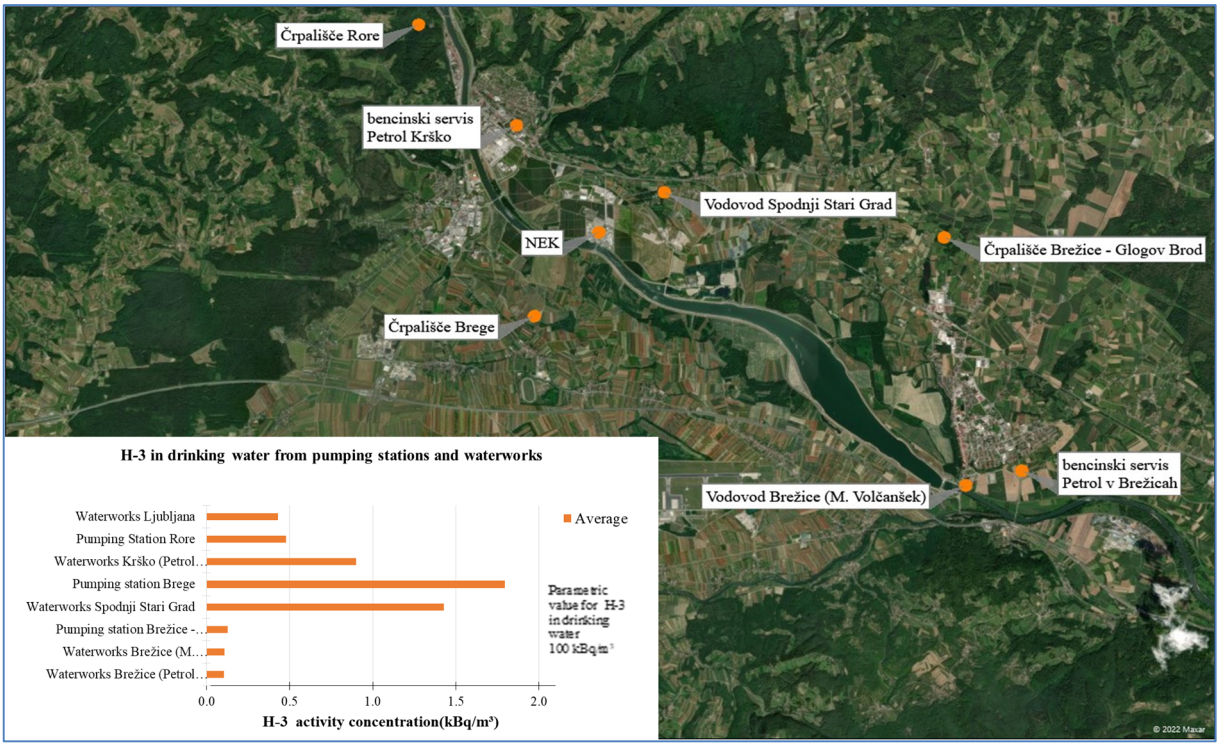


Figure I5: Review of average activity concentrations of H-3 in drinking water from pumping stations and waterworks in the municipalities of Krško and Brežice at locations where they are sampled continuously or quarterly. The activity concentration of H-3 measured at the reference location (Ljubljana) is compared with values in the vicinity of the Krško NPP.

[11] Recommended value or parametric value (in Slovenian legislation) [9] means the level of radioactivity in drinking water above which the radiation protection authority (administration) shall verify whether the presence of radioactive substances in drinking water constitutes a risk to human health to which a response must be given and, if necessary, remedial action must be taken to improve the quality of the water to such an extent that the requirements for the protection of human health from the point of view of radiation protection are met.

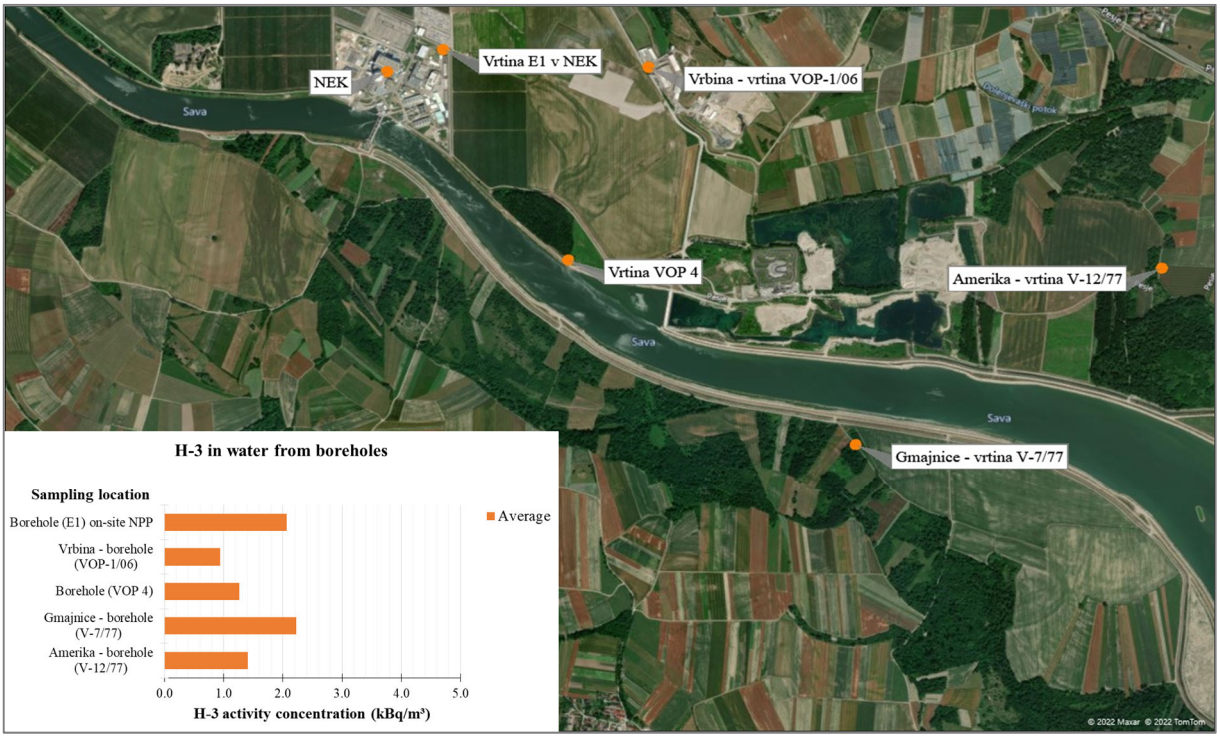


Figure I6: Review of monthly averages of activity concentrations of H-3 in water from the boreholes. The water from the boreholes is not used as drinking water or process water, but only for tracking liquid discharges from the Krško NPP.

The H-3 activity concentrations at Brege are the highest in Slovenia and similar to those in boreholes and are undoubtedly a consequence of the effects of the NPP operation. Tritium levels for the Spodnji Stari Grad waterworks were variable in 2024, as this waterworks was partly supplied from the same aquifer as the Brege pumping station, and partly from the aquifer that also supplies the Rore pumping station, where no effects of the NPP are detected.

Radionuclides Cs-137 and Sr-90 exhibit heterogeneous distribution in Slovenian soils and occur in small amounts in the NPP's discharges, but their impact on groundwater is negligible and inseparable from global contamination.

In monthly or quarterly samples at all sampling sites in Krško and Brežice, as well as in Croatia, I-131 was not detected in drinking water or the outcomes of measurement results were below the detection limit.

Activity concentrations of natural radionuclides uranium (U-238), radium (Ra-226), and lead (Pb-210) from the uranium decay series, and radium (Ra-228) and thorium (Th-228) from the thorium decay series, as well as Be-7 and K-40, were regularly detected in all water samples.

Average monthly activity concentrations of K-40 were highest at Brege (55 Bq/m³) and Spodnji Stari Grad water supply (43 Bq/m³). At other pumping stations and waterworks, the average activity concentration of K-40 was 23 Bq/m³, consistent within statistical variability observed over the last five years. We assume that in the Krško-Brežice plain, the use of fertilisers in agricultural areas above the aquifer zones is changing [47] and with that also the direct influence of precipitation and higher water levels of the Sava river.

For all sampling sites in the Krško and Brežice water supply systems, average monthly concentrations of natural uranium (U-238) were low, with the highest average monthly activity concentration of 3.4 Bq/m^3 measured at Spodnji Stari Grad waterworks. The average monthly activity concentrations of Ra-226 ranged from 0.9 Bq/m³ (Brežice waterworks) to 2.0 Bq/m³ (Brege pumping station). Monthly average concentrations of Pb-210 ranged from 1.8 Bq/m³ in the Brežice waterworks to 6.4 Bq/m³ at the

Brežice pumping station. In Ljubljana, the average Pb-210 concentration was 3.7 Bq/m³. Monthly averages of Ra-228 were between 0.3 Bq/m³ (Spodnji Stari Grad waterworks) and 0.4 Bq/m³ (Brežice pumping station). The monthly average concentrations of Th-228 varied between 0.3 Bq/m³ (Spodnji Stari Grad waterworks) and 0.4 Bq/m³ (Brežice pumping station). Be-7 was occasionally detected at all locations, with averages ranging from 0.6 Bq/m³ in the Spodnji Stari Grad waterworks to 1.6 Bq/m³ at Brege.

Natural radionuclides are not present in atmospheric and liquid discharges from Krško NPP; therefore, their contribution to radiation effects of the Krško NPP on population and the environment was not assessed.

3) Precipitation and dry fallout *(abstract from the chapter Radioaktivnost v usedih)*

In 2024, thee amount of annual precipiration in the vicinity of Krško NPP was 28 % lower than in Ljubljana. Specifically, annual precipitation in Ljubljana was 1 376 mm, while in the area surrounding Krško NPP, values ranged from 1 008 mm (Brege), 1 123 mm at Krško (Stara Vas), 952 mm at Brežice, and 1 013 mm at Dobova. These amounts are comparable, within statistical fluctuations to those of recent years. The variance in annual precipitation is ±68 mm in Ljubljana and ±45 mm in the Krško NPP area. The variation in precipitation by month is even more pronounced. Drought months occur almost every year, but not always in the same season.

Tritium activity concentrations in precipitation varied significantly, and only concentrations above 2 kBq/m³ could be attributed to the atmospheric discharges from the Krško NPP [55]. In 2024, tritium activity concentrations in precipitation exceeded 2 kBq/m³ in four samples. Average monthly activity concentrations of H-3 in precipitation are shown in Figure I7.

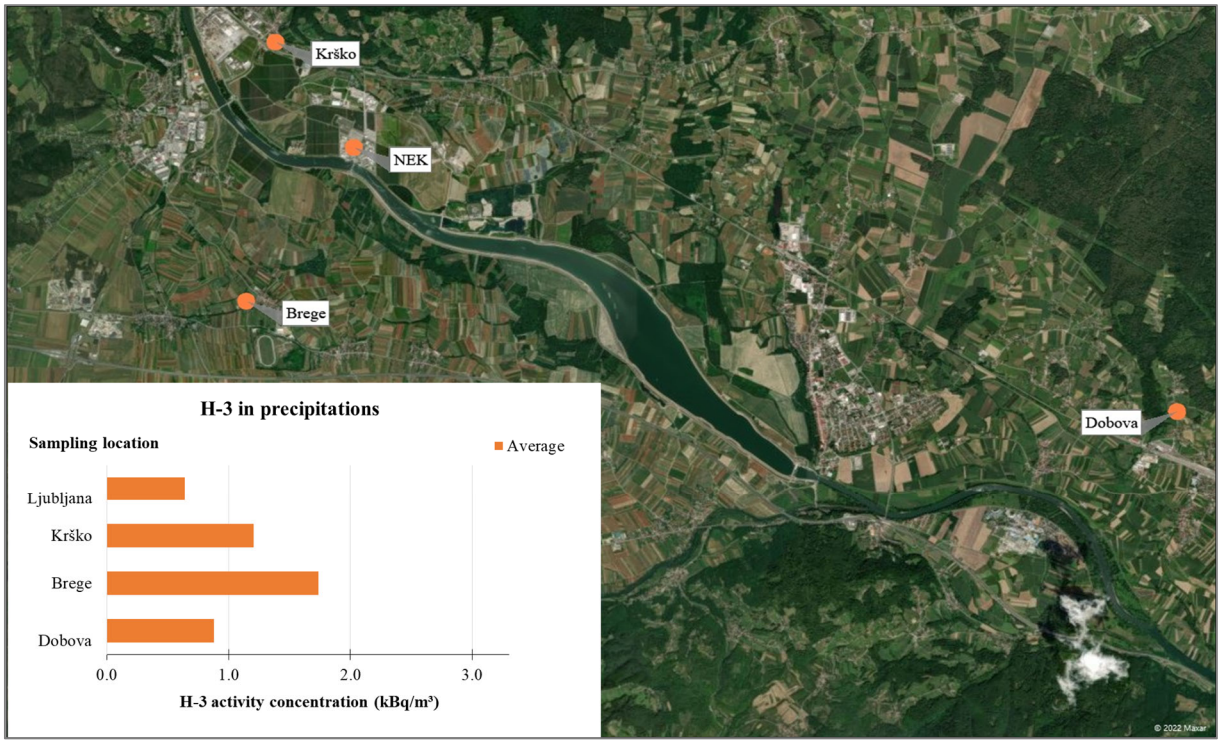


Figure I7: Review of monthly averages of activity concentrations of H-3 in precipitation at sampling locations in the vicinity of the Krško NPP. The activity concentration of H-3 obtained at the reference location (Ljubljana) is compared with values in the vicinity of the Krško NPP.

When considering annual averages, activity concentrations of tritium in precipitation at Brege and Krško (Stara Vas) were consistently higher than those recorded in Dobova and Ljubljana, indicating the influence of NPP emissions. Activity concentrations at Brege were notably higher during spring and autumn compared to the yearly average. This correlation was weak or insignificant in Stara Vas, Ljubljana, and Dobova.

The highest monthly tritium fallout was recorded at Brege in April (0.29 kBq/m²). The measured values of the fallout at Ljubljana, Brege, Krško, and Dobova are comparable within statistical fluctuations, and peaks coincide with months when precipitation was higher.

For Cs-137 fallout, the highest monthly fallouts were 0.022 Bq/m² in Ljubljana (April), 0.14 Bq/m² at Brege (January), 0.014 Bq/m² in Krško (November), and 0.046 Bq/m² at Dobova (March). In these cases, the increases are attributed to the resuspension from the ground. The measured Cs-137 fallouts are comparable to levels recorded during the pre-Chornobyl period from 1982 to 1985..

In 2024, Sr-90 activity concentrations were mostly below detection limit, except during summer and some autumn sampling periods. Due to the co-occurrence of Cs-137 and Sr-90, it is confirmed that their presence in most samples results from global soil contamination and is not specific to releases from the Krško NPP.

Be-7 and Pb-210, which are of global origin and are not the result of discharges from the NPP, were regularly measured in precipitation and dry fallout.

4) Air ***(abstract from the chapter Zrak)***

The main radionuclides discharged into the air from the Krško NPP are tritium, H-3 (9 TBq) and carbon-14 (0.04 TBq). The amount of discharged radionuclides is measured at the source on the filters inside the ventilation exhaust. Their presence in the environment is assessed using an air dispersion model based on measurements at the source.

During the normal operation of the Krško NPP in 2024, additional radionuclides were detected in atmospheric emissions, including I-131, I-132, I-133, Co-58, Co-60, Se-75, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Te-127m, Cs-137, and Sr-90. However, apart from the last two radionuclides, none were detected at any of the seven monitoring locations around the NPP and in Ljubljana. The calculated activity concentrations of Cs-137 and Sr-90 at sampling points were at least three orders of magnitude lower than measured values, indicating that Cs-137 and Sr-90 in the environment predominantly originate from global contamination..

Average monthly activity concentrations of Cs-137 measured at sampling points around the Krško NPP in 2024 were lower than elsewhere in Slovenia. It is assumed that the presence of Cs-137 in Slovenia's air is primarily due to the use of solid fuels (wood, briquettes, pellets). Figure I8 provides an overview of activity concentrations of Cs-137 (measured and calculated) at sampling points surrounding the NPP, including Ljubljana for comparison.

Measurements of strontium (Sr-90) in the environment are carried out using quarterly composite samples at Stara vas, Krško. The average activity concentration in 2024 was 6.1 E–5 mBq/m³. All measurements were below the detection limit. Radionuclide Sr-89 was not detected in NEK atmospheric discharges in 2024.

Radionuclide I-131 was not detected in 2024 at any of the seven monitoring sampling points around the NPP, which employ combined air samplers (aerosol and charcoal filters ducts). Additionally, more powerful aerosol air samplers located in Dobova and Ljubljana also showed no presence of I-131 in the air.

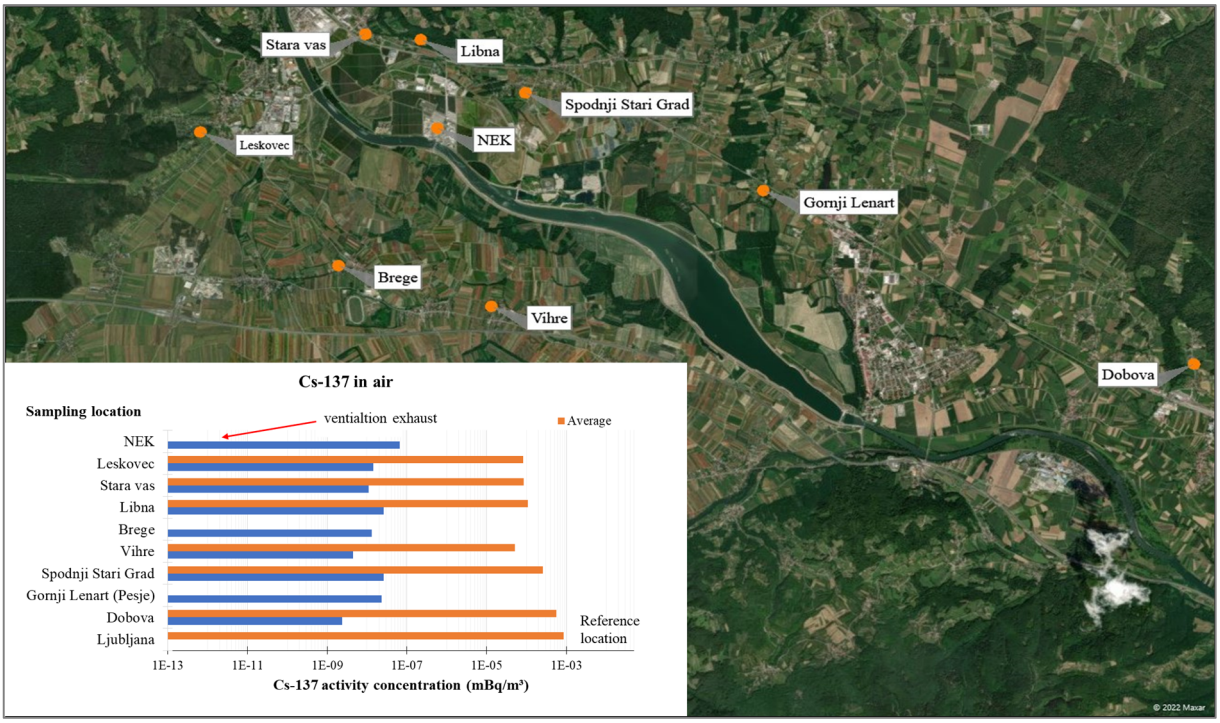


Figure I8: Review of monthly averages and calculated (estimated) activity concentrations of Cs-137 in air in the vicinity of the Krško NPP. The scale is logarithmic. The activity concentration of Cs-137 obtained at the reference location (Ljubljana) is compared with values in the vicinity of the Krško NPP.

Measurements of activity concentrations of natural radionuclides in aerosol samples taken around the Krško NPP show the presence of radionuclides commonly measured in monitoring programs elsewhere in Slovenia. In 2024, average activity concentrations of Be-7 and Pb-210 in Ljubljana were higher than the averages recorded at sampling points around the NPP. Specifically, the average activity concentrations in the vicinity of the Krško NPP were 2.3 mBq/m³ for Be-7 and 0.5 mBq/m³ for Pb-210, while in Ljubljana they were 3.4 mBq/m³ and 0.8 mBq/m³, respectively.

For cosmogenic Be-7, comparable values within the range of uncertainty of averages were observed at all sampling points around the Krško NPP, Murska Sobota, and Ljubljana, with the exception of Predmeja, where measured values were an order of magnitude higher. This is most likely due to Predmeja's characteristic well-ventilated site, resulting in higher airborne concentrations. Similar observations apply to Pb-210 as well. Such findings are expected for locations sharing similar rainfall patterns, aerosol washout conditions, and air mass movement from higher atmospheric layers to lower altitudes.

For other natural radionuclides (isotopes from uranium and thorium decay series and K-40), greater variability among different monitoring sites near NEK was observed. These discrepancies can be attributed to variations in soil composition, proximity to agricultural fields, failure to account for radon release from samples during Ra-226 measurements at Predmeja and Murska Sobota. Measurements of radionuclide activity concentrations in aerosols conducted in Ljubljana are utilized as reference values due to the use of the most powerful air sampler.

The Krško NPP does not discharge natural radionuclides into the atmosphere and the Sava River during its normal operation, therefore we do not assess their effective doses to the representative person and environment.

5) External Exposure to Radiation *(abstract from the chapter Zunanje sevanje)*

External radiation

The external radiation exposure to the population around the Krško NPP includes cosmic radiation, radiation from natural radionuclides in the atmosphere (primarily decay products of radon), radiation from the radioactive plume following the release of radioactive substances from the facility into the environment, and external radiation due to the fallout that settles after the plume has passed, as well as external radiation from natural and artificial radionuclides in the soil. The network of Thermoluminescent Dosimeters (TLD) deployed in the environment (around the Krško NPP, country-wide in Slovenia) detects the total gamma-ray radiation from natural radionuclides in the environment (from soil and building material), the direct ionizing components of cosmic radiation, and the contribution from global fallout contamination by Cs-137. Since environmental TLDs do not measure the neutron component of cosmic radiation, we calculated it using the EXPACS program (references [73], [74], [75]). This software allows for the calculation of doses from individual components of cosmic radiation, including the neutron component, for any geographic longitude and latitude.

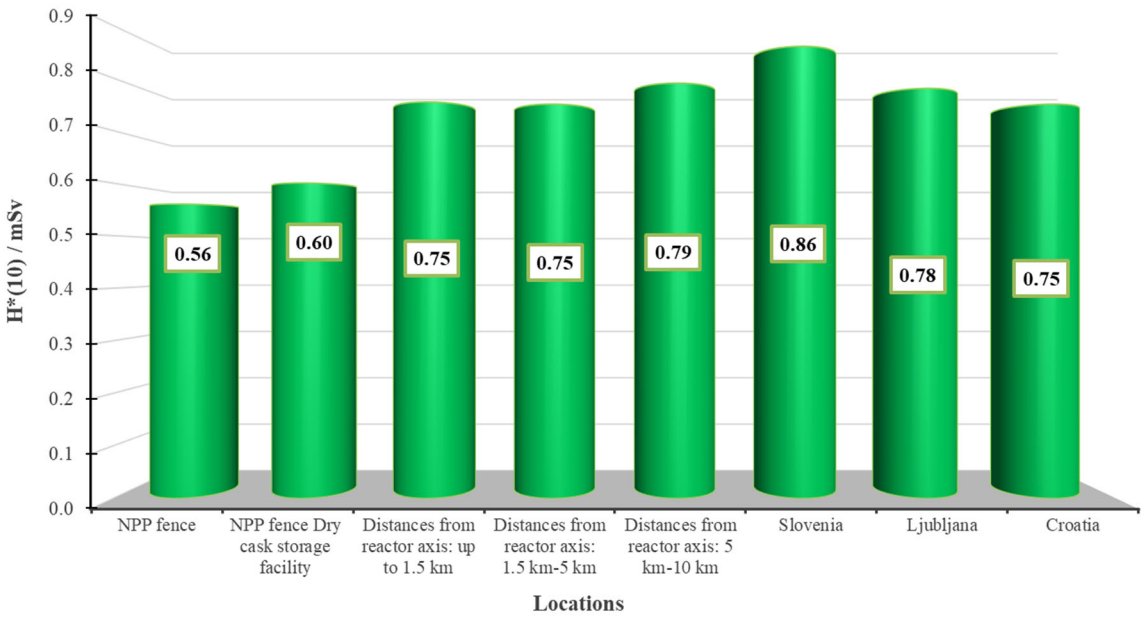


Figure I9: Comparison between average ambient dose equivalents $H^*(10)$ measured in the environment in the vicinity of the Krško NPP, fence perimeter, at the reference location in Ljubljana, and the average ambient dose equivalents measured in environments in Croatia and Slovenia.

Figure I9 presents a comparison between the average annual ambient dose equivalents H*(10), measured in the vicinity of the Krško NPP, at a reference sampling point in Ljubljana, and the average ambient equivalents measured in Croatia as part of the radioactivity monitoring program around the Krško NPP, as well as the averages measured in the context of environmental radioactivity monitoring measurements in the living environment in the Republic of Slovenia. The measured annual ambient dose equivalents, within the scope of value dispersion, do not deviate from the multi-annual averages at individual sampling points. The lowest annual H*(10) value is found at the Krško NPP fence due to the gravel ground with the top layer of soil removed. Asphalt surfaces and building shielding inside the Krško NPP fence further attenuate the external radiation from the ground. Additionally, dosimeters at the west fence of NEK, where the dry cask storage facility is located, showed an average annual dose equivalent of (0.60 ± 0.02) mSv, which is within the data scattering comparable to the annual ambient dose equivalent measured with TLD at the Krško NPP fence, (0.56 ± 0.05) mSv. This finding indicates that radiation

effects from the NPP due to external radiation contribution to the total dose in the surrounding environment are negligible and unmeasurable.

Measurements in Slovenia indicate that the average annual ambient dose equivalent in the vicinity of the Krško NPP is systematically slightly lower than in the living environment in Slovenia. This is attributed to the diversity of the Slovenian landscape, orography, soil composition, snow cover thickness, uneven deposition of Cs-137 following the Chornobyl nuclear reactor accident, and other environmental phenomena and conditions that affect the external radiation dose. There are also certain landscape diversities in areas around the Krško NPP, and additional variations in effective doses measured with TLD at nearby sampling points are contributed by local specifics in dosimeter sampling points in the environment (meadow, field, forest, asphalt surfaces, proximity to buildings, soil temperature, etc.). Figure I10 displays the isodose lines of H*(10) on the map of Slovenia, with the area around the Krško NPP highlighted.

Continuous H*(10) measurements with 14 continous radiation monitors around NEK in 2024 yielded an average value of (0.77 ± 0.11) mSv per year (ranging from 0.57 mSv to 0.96 mSv), which is within the range of measurement value variance, corresponding to the annual ambient dose equivalent determined using thermoluminescent dosimeters (0.77 ± 0.05) mSv. The average annual ambient dose equivalent at 56 monitors under the supervision of the SNSA was (0.75 ± 0.16) mSv in 2024, ranging from 0.46 mSv to 1.20 mSv. This average, along with its variance, can be reliably compared to the measurements obtained using TLD across Slovenia, which stand at (0.86 ± 0.15) mSv. No statistically significant deviations have been observed in comparison to previous years.

External radiation measurements in Slovenia are in all cases characterised by a decrease in the annual ambient dose equivalent, especially in the first years after the Chornobyl accident (1986). It is due to the decay of deposited short-lived gamma emitters, which were the major contributors to the external radiation in the initial period, and the penetration of Cs-137 deeper into the soil. The annual ambient dose equivalents due to global Cs-137 contamination at sites in the vicinity of the Krško NPP, estimated assuming a realistic depth distribution of Cs-137, are in the range between 0.005 mSv and 0.036 mSv. This is comparable to values at points where soil sampling is conducted as part of environmental radioactivity monitoring in the Republic of Slovenia, with the estimated annual dose equivalents H*(10) ranging from 0.018 mSv to 0.050 mSv.

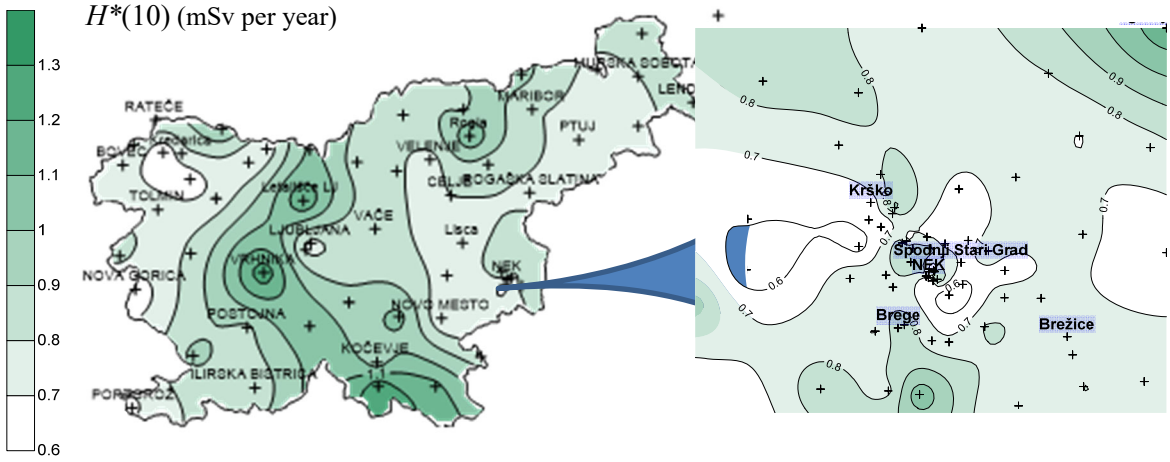


Figure I10: Average annual ambient dose equivalent *H**(10) in Slovenia and in the vicinity of the Krško NPP in 2024.

Soil

Soil sampling is carried out in flood-prone areas where atmospheric fallout and flooding represent exposure pathways through which Krško NPP discharges can reach sampling points (representative persons).

In 2024, specific activities of Cs-137 measured in soil ranged from 3.1 Bq/kg at depths of 15–30 cm to 39,5 Bq/kg at depths of 10–15 cm in Gmajnice, from 14.4 Bq/kg at depths down to 0–5 cm to 20.4 Bq/kg at 15–30 cm in America, and from 2.4 Bq/kg at depths down to 10–15 cm to 7.6 Bq/kg at 5–10 cm in Kusova Vrbina. Statistically, Cs-137 activities were highest in Gmajnice and lowest in Kusova Vrbina, which experienced faster downward migration of Cs-137 in the soil column due to frequent flooding and soil redistribution processes. Such redistribution has led to apparent accelerated migration of Cs-137 at this location in comparison to others.

The measurement results reveal significant fluctuations of specific activities of Cs-137 at micro-locations over the years, attributable to the heterogeneity of fresh deposits following the Chornobyl accident and the redistribution of fallout at micro-locations. The redistribution is due to hydrogeological processes influencing the migration of Cs-137 downward into the soil. The observed shift in the centre of gravity of the deposition at the Kusova Vrbina site gives support to this conclusion. The two distinct peaks in 1998 and 2009 at the depth of centre of gravity result from flooding, which caused additional deposition of fresh sand. This hypothesis explains why the migration of Cs-137 into the soil is faster than at the other two sites. The initial depth of the centre of gravity of the deposition at Kusova Vrbina, taking into account data from 1992, is correspondingly greater. In addition, it can be noted that it is only in the 10-year moving average that the local inhomogeneity of the fallout and the influence of hydrogeological processes in the upper layers can be averaged out. Figures I11 and I12 depict locations and depth profiles of Cs-137 and Sr-90 fallouts for locations near the Krško NPP: fallouts at three sites in Slovenia are added for comparison. We can observe that the fallouts near the Krško NPP are lower than over Slovenia. The fallout in the vicinity of the Krško NPP, in terms of data scattering, is comparable to the values obtained across Slovenia.

In 2024, atmospheric emissions from the Krško NPP exhaust ventilation system included radionuclides C-14, Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Zn-65, Nb-95, Zr-95, Ag-110m, Sb-125, Sr-90, and Cs-137. Liquid discharges contained Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Zn-65, Nb-95, Zr-95, Ag-110m, Sb-125, Sr-90, and Cs-137. None of the radionuclides were detected in soil fallouts. However, the measured activity concentrations in the soil samples around the Krško NPP indicate that Cs-137 and Sr-90 were not discharged from the NPP but are rather attributable to global radioactive contamination. This conclusion is supported by comparable measurements conducted in Ljubljana and other locations elswhere Slovenia, which exhibit similar fallout levels of these radionuclides.

Natural radionuclides from uranium and thorium decay series and K-40 are distributed evenly in the soil, except for Pb-210, which is deposited from the air as a decay product of Rn-222. Radionuclides Ra-228 and Th-228, originating from the thorium decay chain, remain in equilibrium at all depths and sampling locations.

However, U-238 and Ra-226 are not in equilibrium, as uranium is more soluble in water than radium, leading to differential leaching. Measurement results indicate that specific activities of radionuclides from the uranium and radium decay chains and K-40 are lower in locations regularly exposed to flooding. For instance, the weighted average of specific activity concentrations of K-40 to a depth of 30 cm was 350 Bq/kg in Kusova Vrbina, 364 Bq/kg in Gmajnice, and 397 Bq/kg in Amerika. Weighted averages for U-238 ranged from 23.5 Bq/kg to 32.3 Bq/kg, Ra-226 from 36.9 Bq/kg to 43.9 Bq/kg, and Ra-228 and Th-228 from 27 Bq/kg in Kusova Vrbina to 32.5 Bq/kg in Amerika.

The measurement data for the specific activities of natural radionuclides in soil (including K-40, U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228) are consistent, within the range of data variability, with the reported average specific activities—420 Bq/kg for K-40, 33 Bq/kg for U-238, and 45 Bq/kg for Th-232—as documented by UNSCEAR for countries in Southern Europe [40].

In the atmospheric and liquid effluents of the Krško NPP, natural radionuclides are not present, therefore, their contribution to the annual effective dose for the representative person is not assessed.

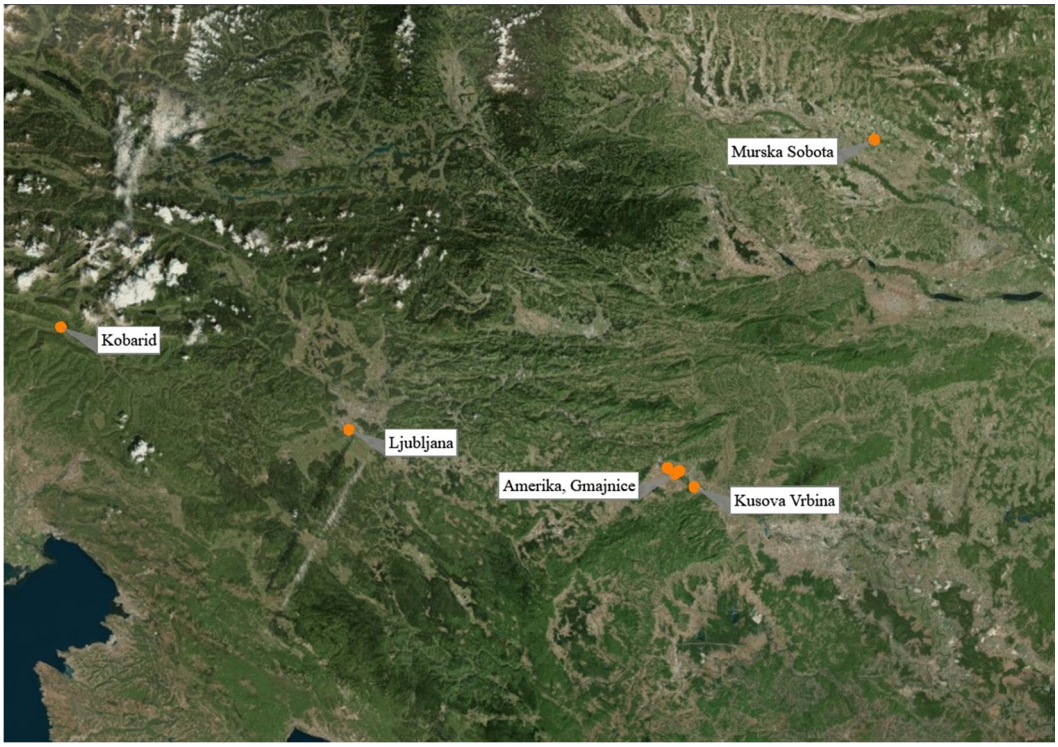


Figure I11: Sampling locations of the soil in Slovenia (Ljubljana, Murska Sobota, Kobarid) and in the vicinity of the Krško NPP (Gmajnice, Amerika, Kusova Vrbina) in 2024

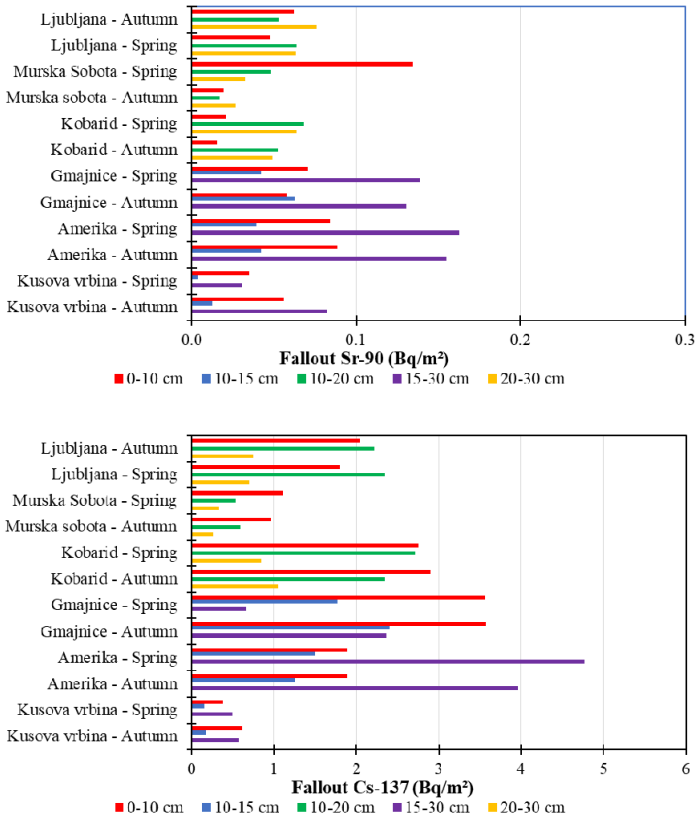


Figure I12: Fallout of Sr-90 and Cs-137 in Slovenia and in the vicinity of the Krško NPP in 2024.

6) Food ***(abstract from the chapter Radionuklidi v hrani)***

In food we detected natural radionuclides, as well as C-14, Cs-137 and Sr-90, which are mainly a result of global contamination and cosmogenic origin, and were also present in discharges from the NPP.

However, C-14, which was detected, enters plants through photosynthesis and subsequently enters animal and human organisms mainly via the consumption of plant-based foods. In 2024, specific activity concentrations of C-14 were measured in maize and grass near the Krško NPP. There were no statistically significant differences between average values measured in July and September (average quotient of specific activities for C-14 is 1.01). The highest measured specific activity of C-14, (275 ± 8) Bq per kilogram of carbon, was detected in apple samples (Location C close to the eastern fence) and was approximately 2% higher than elsewhere in Slovenia.

Calculated specific activities of radionuclides from the effluents were at least four orders of magnitude lower than measured values in food samples. This explains why the presence of Cs-137 and Sr-90 in food is attributed to global contamination. Specific activities of radionuclides in food around the Krško NPP and throughout Slovenia vary significantly, a result of uneven global contamination, topography, soil composition, and other characteristics of the Slovenian landscape. Within the uncertainty span of averages across food groups, the specific activities of Cs-137 and Sr-90, sampled around the Krško NPP and in Slovenia, are comparable.

Among the natural radionuclides, K-40 is the most abundant in the food, entering through various exposure pathways from the soil (fertilisers and air). The radionuclides from decay schemes of U-238 and Th-232 are also present in the food.

In 2024, specific activities of K-40 in food grown on the Krško-Brežice plain ranged from 30 Bq/kg (strawberries) to 337 Bq/kg (game meat). Leafy vegetables and cereals typically exhibited higher K-40 specific activities, while milk and fruit had lower specific activities. A similar trend was observed throughout Slovenia.

DOSE ESTIMATE

The activity concentrations of radionuclides released from the Krško Nuclear Power Plant, with the exception of H-3, into the environment remain significantly below detection limits and indistinguishable from background levels (notably C-14 and Cs-137). Consequently, their impact on humans and the environment is indirectly inferred from data pertaining to atmospheric and liquid discharges. Exposure to ionizing radiation for a hypothetical individual, termed the representative person, is assessed using sophisticated mathematical models that describe the dispersion and transport of radionuclides through various exposure pathways in the environment.

The representative person concept is used to assess the potential effects of ionizing radiation on the population that could result from discharges from a nuclear facility. This representative person is an abstract concept representing a hypothetical individual in the population who, due to their lifestyle and dietary habits, is exposed to or could be exposed to the highest effective doses of radiation from a particular radionuclide exposure pathway in the environment, where persons with extreme and rare habits are not taken into account.

Liquid effluents (Tables B1, B2, B3)

The assessment of radiation effects on the population and the environment, particularly via the Sava river exposure pathway, involves a comparative analysis of emission measurement results—comprising sample analyses from Waste Measuring Tanks (WMTs) and Steam Generator Blowdown (SGBDs) conducted by Krško NPP laboratories—with those obtained from Sava river samples conducted by authorized laboratories. A methodology, along with a model for estimating effective doses to population, was developed in 2003 [26] and updated and revised in 2009, focusing on radiation exposure from Krško NPP's liquid discharges into the Sava river and designating a new reference location [27]. This framework pinpoints the principal transport and exposure pathways in Slovenia and Croatia, identifying representative individuals within these regions.

Dose estimates derived from liquid effluents, presented in Tables B1 and B2, are based on liquid discharge inventories, the annual Sava flow rates, and characteristics of two representative population groups: fishermen operating up to 350 meters downstream from the NPP dam and those fishing near the continuous river water sampling site in Brežice. These tables reveal that the annual effective doses for an adult representative person positioned 350 meters downstream from the NPP dam, and in Brežice, are 13.6 % and 9 % of the total radiation effects of the Krško NPP, respectively.

The construction of the Brežice hydroelectric power station and creation of the reservoir has led to changes in the pathways of population exposure. In the framework of the project *Vpliv HE Brežice na NEK in Poročilo o vplivih na okolje za podaljšanje obratovalne dobe NEK* [33], and in accordance with the technical specification *Dose calculation and dilution modelling of a run-of-river Brezice Hydro Plant Accumulation* No. TO.RZ-5/2020, a new methodology for assessing the effects of the operation of the Krško NPP on the population and the surrounding environment due to liquid discharges into the Sava River has been proposed.

Table B1: Estimated annual effective dose of a representative person at a location 350 m downstream the NPP dam in 2024

Mode of exposure	Exposure pathway	Key radionuclide	Annual effective dose (mSv)
External radiation	groundshine (river sediment)	Co-58, Co-60	2.0E–6
Internal exposure	ingestion (fish)	H-3, C-14	8.1E–6

Table B2: Estimated annual effective dose of a representative person at Brežice in 2024

Mode of exposure	Exposure pathway	Key radionuclide	Annual effective dose (mSv)
External radiation	groundshine (river sediment)	Co-58, Co-60	9.2 E–7
Internal exposure	ingestion (fish)	H-3, C-14	3.8 E–6

For a theoretical prediction of mixing and dilution, the three-dimensional hydrodynamic transport model PCFLOW3D ([30], [31], [32], [36]), developed at the Faculty of Civil Engineering and Geodesy of the University of Ljubljana (UL FGG) in cooperation with the colleagues of the company IBE (IBE d.d.), was used. The model calculations are based on realistic exposure pathways and representative persons by age groups at seven locations downstream of the Krško NPP dam to the Brežice hydroelectric power station dam. The Effective Dose Calculation Software (DOSENEK) has been developed in the Microsoft Visual Studio integrated development environment (Figure I13). In our case, it is a web application that allows the input of data into a Microsoft SQL database, calculating effective doses according to the input data and displaying the different calculated doses according to the selected time periods.

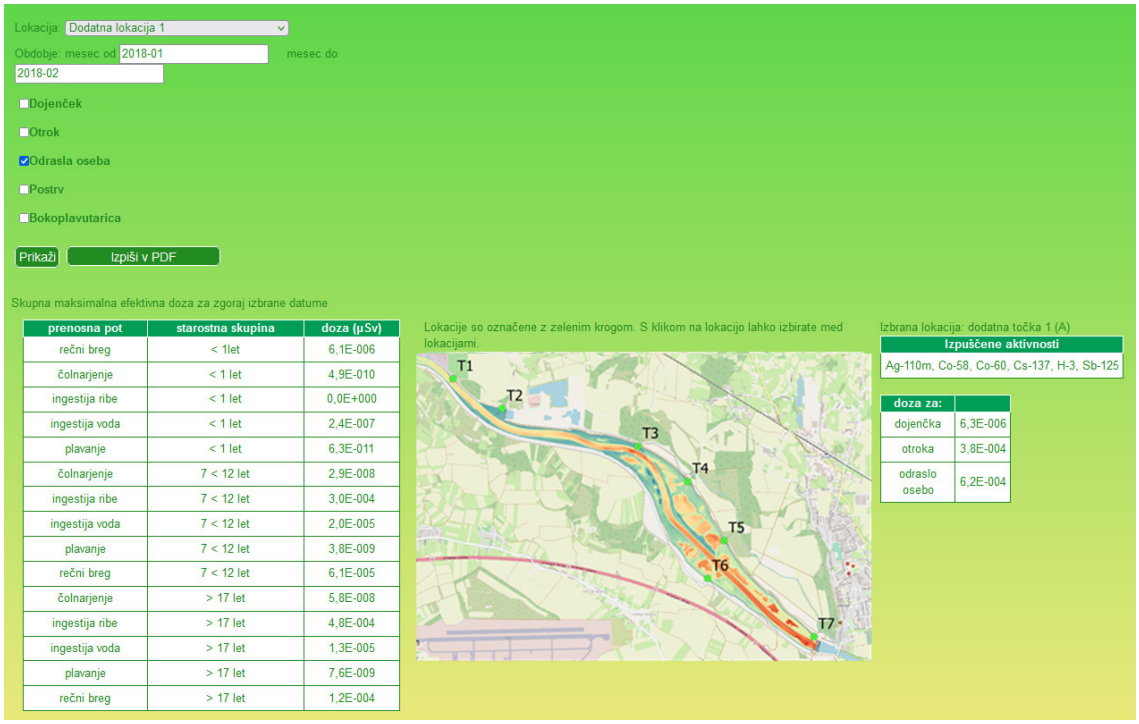


Figure I13: Example of calculated effective doses in the software - DOSENEK [33].

Simulations of the Sava river flow in the accumulation lake of the Brežice HPP were carried out using the validated numerical model PCFLOW3D. Based on the simulations for different scenarios or flow rates of the Sava, dilution coefficients were estimated in the surface layer (0 m to 1 m) and the layer from 1 m to 2 m, and also at the depth of 10 m at the location of the sampling basket in front of the dam of the Brežice HPP. The outcomes can be considered reasonably accurate for the assumed input data. This is because the parameters in the scenarios are determined on the basis of time-averaged data. For the estimation of monthly concentrations, the following assumptions have been made:

- Sava river water is sampled continuously;
- a constant flow of the Sava river in the accumulation lake of the Brežice HPP at the time of each discharge;
- no backwash in the accumulation lake;
- the impact of a discharge is unconditionally attributed to the month in which the discharge starts;
- the uncertainty in the model values is large (maybe an order of magnitude).

As we cannot predict the mass of fish eaten or water drunk at a selected time for a single discharge and compare this with the time of exposure on the shore at the same selected time, we only provide monthly and annual effective doses in the DOSENEK software, which are also considered for a single exposure pathway.

The contribution of each discharge to the average monthly activity concentration of the radionuclide in the Sava river was determined by estimating the fraction of the effective residence time of the highest concentration of the contaminant at the selected location during the month. The effective residence time does not depend on the initial discharge concentration and the discharge volume but only on the flow of the Sava river and the selected location along the Sava. The estimated monthly activity concentration of H-3 is the weighted average of the activity concentrations in the Sava river after the NPP discharges in a given month.

Dilution coefficients were calculated at different Sava flow rates at seven different points (Figure I13) downstream of the Krško NPP dam (in the accumulation lake):

- T1: 350 m downstream of the Krško NPP dam, left bank
- T2: spill area - surrogate habitat

- T3: additional site 1 in the Brežice HPP accumulation lake
- T4: left bank of the Brežice HPP accumulation lake
- T5: additional site 2 in the Brežice HPP accumulation lake
- T6: right bank of the Brežice HPP accumulation lake
- T7: before the dam of the Brežice HPP

To calculate the effective doses for a reference person at a single location for different age groups from the population in DOSENEK, we need to enter, among other things, data on discharges:

- date and time of the start and end of the discharge - duration of the discharge (h)
- radionuclide released and its activity (Bq)
- the volume of effluent discharged (m^3)
- Sava river flow rate on the day of discharge (m^3/s)

We can estimate the effective doses to representative persons and biota from these data. In the DOSENEK programme, there are three age groups of representative persons: infant (< 1 year), child (between 7 and 12 years) and adult (> 17 years). The following possible exposure pathways for these persons have been identified: staying on the river bank, swimming, boating, eating fish and drinking water. For each representative person, the characteristics or typical behavioural parameters affecting the received effective dose are identified for each T1–T7 point in the accumulation lake: time on the river bank, time swimming in the river, time boating in the river, amount of fish ingested and amount of water (unintentionally) drunk while swimming in the river. The characteristics of the representative persons for each point T1–T7 are presented in Table 1.8 in the chapter *Radioaktivnost v reki Savi*.

Table B3: Average annual radionuclide activity concentrations (Bq/m^3) and annual doses received (µSv) for an adult for all five exposure pathways at point T1 in the accumulation lake of the Brežice HPP. The maximum effective doses for each exposure pathway are given in bold.

Radionuclide	Average annual activity concentration	Shoreline	Fish ingestion	Water drinking	Swimming	Boating	Total effective dose (radionuclide)
	(Bq/m^3)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)
H-3	**7.8E+03**	–	9.3E–04	–	–	0.0E+00	9,3E–04
C-14	2.4E–01	–	**2.0E–03**	–	–	0.0E+00	**2,0E–03**
Mn-54	1.9E–04	–	1.0E–07	–	–	5.8E–09	1,1E–07
Fe-55	5.6E–01	–	1.6E–04	–	–	0.0E+00	1,6E–04
Co-58	5.9E–03	–	4.3E–06	–	–	2.1E–07	4,5E–06
Co-60	4.2E–03	–	1.4E–05	–	–	3.7E–07	1,5E–05
Zn-65	1.2E–03	–	3.0E–05	–	–	2.5E–08	3,0E–05
Sr-90	3.1E–02	–	3.1E–04	–	–	0.0E+00	3,1E–04
Nb-95	1.4E–03	–	1.6E–06	–	–	3.9E–08	1,6E–06
Zr-95	1.8E–03	–	8.4E–07	–	–	4.8E–08	8,9E–07
Ag-110m	3.0E–02	–	1.3E–06	–	–	**2.9E–06**	4,2E–06
Sb-125	1.2E–03	–	8.3E–07	–	–	1.9E–08	8,5E–07
Cs-137	2.5E–03	–	3.8E–04	–	–	5.1E–08	3,8E–04
Annual dose (exposure pathway)		–	3.8E–03	–	–	3.7E–06	3.8E–03

For an adult, Table B3 lists the effective doses received by individual exposure pathways for radionuclides detected in liquid discharges at the point T1 in the accumulation of the Brežice HPP. The point T1 coincides with the location for which the effective dose is calculated using the authorised model. At points T1 (350 meters from NEK) and T2, activities such as staying on the riverbank, drinking water, and swimming are not considered, which means that only two exposure pathways are taken into account (fish ingestion and boating). At T7, we have only one exposure pathway, as there is no boating. At point T3, however, all five exposure pathways are included, so for this point, a complete analysis is conducted in the chapter *Radioaktivnost v reki Savi.*

Atmospheric discharges (Tables C1 and C2)

The following groups of radionuclides are included in the evaluation of the effect of atmospheric discharges:

- noble gases, which are exclusively relevant for external exposure during plume passage;
- pure beta emitters such as H-3 and C-14, which are only biologically relevant in the case of uptake by inhalation (H-3, C-14) and ingestion (C-14);
- beta/gamma emitters in aerosols (radionuclides Co, Cs, Sr, etc.) with exposure pathways: inhalation, external radiation from fallout, ingestion of plants with deposited radionuclides, and resuspension;
- isotopes of iodine in various physical and chemical forms, relevant for inhalation during cloud passage and for intake in milk.

Tables C1 and C2 show the evaluation of the air emissions with the model calculation of the dilution factors in the atmosphere for the year 2024 and for the individual groups of radionuclides along the most important exposure pathways for the adult representative person in the settlement of Spodnji Stari Grad, which is the nearest settlement outside the exclusion zone (Table C1), and along the Krško NPP fence. Estimates are also indicative for a distance of 500 m from the reactor axis (Table C2). The official limitation on the additional exposure of the representative person at the edge of the exclusion zone (500 m from the reactor axis) is valid, together with the requirement that the total annual effective dose contribution of all transmission pathways to an individual member of the population (representative person) shall not exceed 0.050 mSv. From Tables C1 and C2 it can be seen that the contributions of atmospheric discharges to the annual effective dose to an adult resident (representative person) at the NPP fence and also approximately at 500 m from the reactor axis, account for 86.4 % of the total radiation effect of the Krško NPP. Meanwhile, the contribution at Spodnji Stari Grad is 18.4 %.

Since 2007, the dilution factors for external cloud radiation and inhalation are estimated by a Lagrangian model that incorporates the terrain characteristics in the vicinity of the NPP and a larger set of meteorological variables. The model uses all measured data available in the EIS system operated by Krško NPP. For emissions, this is the gas flow through the plant main ventilation (stack). The model also requires the velocity of the exhaust gases and the cross section of the stack at the outlet. In consultation with Krško NPP, the gas temperature at the outlet was set to 25 ºC. The contribution of radiation from the plume had, until 2010, also been estimated by a Gaussian model taking into account the ground discharge [3]. The estimate for the 2024 atmospheric discharges is comparable, within the range of data scattering, to results of previous years.

C-14 measurements were conducted in 2024 on samples of corn, rape, apples, grass, hay, and pears at the Ruđer Bošković Institute in Zagreb in July and September. The results indicate a slight increase in the specific activity of C-14 in samples within a 1 km radius from the reactor axis compared to samples taken at the reference point in Dobova. The estimated annual effective dose from C-14 consumption in the vicinity of the Krško Nuclear Power Plant (NEK) (up to 1 km) is 4 E–5 mSv higher than at the control point in Dobova. In calculating the dose from C-14 near the Krško NPP, it was conservatively assumed that individuals consume food grown near NEK (close to the exclusion zone boundary) for two months of the year, and food from elsewhere (Dobova) for the remaining ten months. This assumption implies that the diet includes food produced in the Krško-Brežice area (from the Krško NPP fence to Dobova).

Table C1: Exposure of an adult resident in Spodnji Stari Grad to ionizing radiation from atmospheric discharges from NPP in 2024

Mode of exposure	Exposure pathway	Key radionuclide	Annual effective dose (mSv)
External radiation	– cloudshine – groundshine	– noble gases (Ar-41, isotopes of Xe) – aerosols (iodine and cobalt isotopes, C-14)	6.7 E–7 2.3 E–12
Internal exposure	inhalation	H-3, C-14	1.3 E–5
Internal exposure	ingestion	C-14	0*

* The measurement result is lower than the measurement uncertainty

Table C2: Exposure of an adult resident (representative person) near the Krško NPP fence perimeter due to atmospheric discharges from Krško NPP in 2024. Estimates are also tentatively valid for a distance of 500 m from the reactor axis.

Mode of exposure	Exposure pathway	Key radionuclide	Annual effective dose (mSv)
External radiation	– cloudshine – groundshine	– noble gases (Ar-41, isotopes of Xe) – aerosols (iodine and cobalt isotopes, C-14)	1.5 E–6 3.2 E–11
Internal exposure	inhalation	H-3, C-14	2.3 E–5
Internal exposure	ingestion	C-14	4 E–5

The difference between the effective dose calculation due to C-14 and the effective dose due to intake of other radionuclides in food is that for C-14 a weighted average of the specific activity of C-14 is taken depending on the sampling location, which is not feasible for other radionuclides due to different sampling methods. The C-14 dose refers to food in general, rather than to specific types of food, since the specific activities of C-14 (in Bq per kilogram of carbon) do not vary significantly among different food types. The ratio of C-14 to C-12 is constant in all organisms and reflects the ratio of the two isotopes in the atmosphere. However, in the case of artificial discharges of C-14, the ratio of C-14 to C-12 isotopes in the atmosphere and in organisms may change as C-14 isotope replaces C-12 isotope in organic molecules.

It is observed that all modes of population exposure (different representative persons) were negligible compared to natural radiation, dose and authorised limits.

Natural background (Table D)

Measurements of ambient radiation in the vicinity of the Krško NPP in 2024 have reaffirmed previous findings that the area exhibits typical natural background levels comparable to other regions in Slovenia and globally. The annual ambient dose equivalent H*(10) for gamma radiation and the direct ionizing component of cosmic radiation in the NPP vicinity averages 0.77 mSv outdoors, consistent within data scattering observed in previous years. Additionally, the contribution from neutron cosmic radiation, specific to the Krško NPP area, is 0.06 mSv annually. Consequently, the total dose of natural ambient radiation H*(10) around the Krško NPP for 2024 was 0.83 mSv per year. The corresponding annual effective dose, utilizing conversion factors from the publication Radiation Protection 106 [85], is calculated to be 0.70 mSv per year, which is below the global average of 0.87 mSv per year. Considering an outdoor occupancy factor of 0.2, building shielding factors for radiation from the ground and cosmic radiation of 0.1 and 0.8, respectively, and an effective dose of 0.2 mSv due to radiation from building materials, the effective dose is reduced to 0.53 mSv. In environmental radioactivity monitoring programme in the living environment of Republic of Slovenia for 2024 [15] the annual ambient dose equivalent *H**(10) for gamma radiation was estimated at 0.86

mSv or the corresponding annual effective dose at 0.72 mSv (see chapter *Zunanje sevanje*).

Table D: Effective doses E due to natural radiation sources in the vicinity of Krško NPP in 2024

Source	**Annual effective dose *E* (mSv)**
– gamma radiation from ground and the directly ionizing component of cosmic radiation[#] – neutron component of cosmic radiation [40]	0.33 0.05
Building materials – external radiation (residential living area)	0.20
Ingestion (food, water) and inhalation (natural radionuclides)	0.31
Inhalation of Rn-222 and its progeny	4.09
Total natural radiation	**4.98**

Notes: [#] The estimate of the effective dose from external radiation is derived from the environmental dose equivalent H*(10), considering the conversion factor E/H*(10) = 0.84 for 600 keV photons. Conversion factors in the range of 100 keV to 6 MeV lie between 0.84 and 0.89. It has also been taken into account that an adult representative person spends 20% of their time outdoors and that the shielding factor for occupancy within buildings is 0.9. The environmental dose equivalent H*(10), which was estimated in the section *Zunanje sevanje* of this report, is further multiplied by a factor of 0.84 ([25], [40]).
[##] From [14].

A 2023 study [14] assessed contributions from external radiation due to building materials at 0.44 mSv, the effective dose from ingestion of food and water, and inhalation at 0.31 mSv, and the significant contribution of short-lived radon progeny to the effective dose at 4.09 mSv. These individual contributions to the natural radiation dose are summarized in Table D and Figure I14. The total annual effective dose was estimated at 4.98 mSv, markedly higher than in previous years (2.35 mSv) and the global average of 2.4 mSv per year [40]. This estimate also exceeds the typical effective dose observed in Europe, as reported in [25].

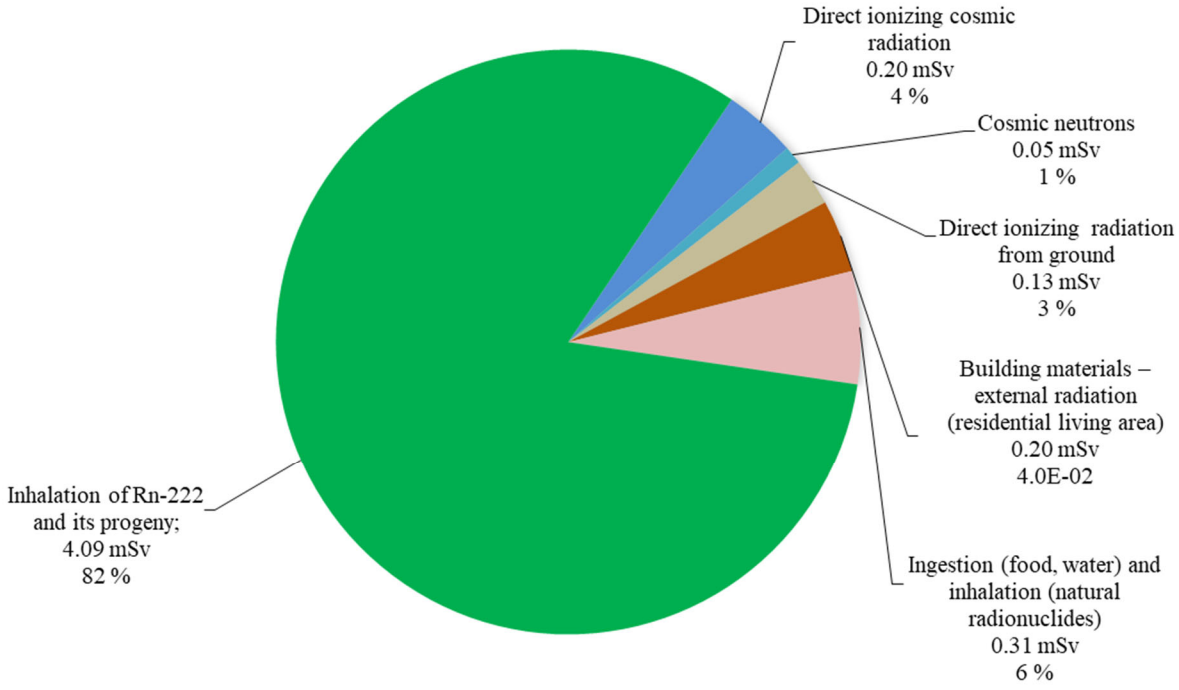


Figure I14: Breakdown of the annual effective dose due to natural ionizing radiation. The data are summarized from the study [14], except for the contributions of direct ionizing radiation and neutron dose (see Chapter *Zunanje sevanje)*.

Natural radionuclides

The measured activities of natural radionuclides (uranium and thorium series, K-40, Be-7) do not significantly deviate from the values recorded in other regions of Slovenia or those reported in the literature. This consistency is observed across various matrices, including the Sava river, groundwater, public water supplies, sediments, as well as in the air and food. Moreover, these values are comparable to those obtained in previous years. Further details can be found in [14].

Global contamination (Table E)

In 2024, as in previous years, Cs-137 and Sr-90, originating from the Chornobyl accident and experimental nuclear explosions, were the most prominent anthropogenic radionuclides in soil. The effect of radionuclides released into the atmosphere after the 2011 accident at the Fukushima nuclear power plant in Japan was not detectable in 2024.

The contribution of Cs-137 to the external radiation was estimated to be less than 0.01 mSv per year, which is 1.2 % of the average annual external dose from natural radiation in the vicinity of Krško NPP. The estimate is comparable to previous years in terms of data scattering.

The estimated effective dose due to inhalation of radionuclides resulting from global contamination (Cs-137 and Sr-90) for an adult individual (representative person) is estimated at 5.0 E–8 mSv per year.

Cs-137 and Sr-90 from nuclear tests and the Chornobyl accident have been measured in trace amounts in various individual foodstuffs. The annual effective dose from ingestion of these foods was estimated for 2024 at 7.5 E-5 mSv for Cs-137 and 2.5 E–4 mSv for Sr-90, totalling to 0.26 % of the annual effective dose from naturally occurring radionuclides (excluding K-40) in food. The estimated effective dose is comparable to those of previous years.

The main contributor to the annual effective dose in food is C-14, which enters the food chain naturally and as a result of above-ground nuclear testing in the 1960s.

Table E: Efective doses *E* due to global contamination in the vicinity of the Krško NPP in 2024

Contribution	**Annual effective dose *E* (mSv)**
External radiation (Cs-137 in soil)	2.0 E–2
Inhalation (Sr-90 and Cs-137 in air)	5.0 E–8
Ingestion (Sr-90 and Cs-137 in food)	3.0 E–4
Ingestion (Sr-90 in fish)	3.6 E–5
Ingestion (C-14 in food)	1.43 E–2
Total global contamination in the vicinity of the Krško NPP	3.47 E–2

Summary of annual exposures of the representative person in the vicinity of Krško NPP for 2024 (Table F)

Table F presents the individual contributions to the annual effective dose from the discharges from the Krško Nuclear Power Plant in 2024 for an adult representative person at the NPP fence. These estimates are also approximately valid for a distance of 500 meters from the reactor axis. An exception is the dose from external radiation measured by TLDs. During the construction of the facility, the top layer of soil was removed and gravel was piled at the NEK fence, resulting in the average annual ambient dose equivalent in the vicinity of the NPP being 30% higher than that at the fence. Consequently, this document presents the average ambient dose equivalent for the area surrounding the NPP. The sources of ionizing radiation are also depicted in Figure I15.

Table F: Summary of annual exposures of the representative person in the vicinity of Krško NPP for 2024

Source	Exposure pathway	Annual effective dose (mSv)
Natural radiation	– gamma radiation from ground and the directly ionizing component of cosmic radiation – neutron component of cosmic radiation	0.33 ** 0.05
	– Ingestion (Food, Water) and Inhalation (Natural Radionuclides)	0.31 ***
	– Inhalation of Rn-222 and its progeny	4.09 ***
	– Building Materials – External Radiation (residential living area)	0.20 **
	Total natural radiation in the vicinity of the Krško NPP#	**4,98**
Krško NPP - direct radiation at the fence of the Krško NPP	– direct irradiation from the Krško NPP buildings	indeterminable
Krško NPP atmospheric discharges (representative person at the Krško NPP fence ****)	– external dose (air immersion) – groundshine (Co-60, Cs-137) – inhalation (H-3, C-14) – ingestion (C-14)	1.5 E–6 3.2 E–11 2.3 E–5 4.0 E–5
Krško NPP Liquid effluent (Sava)	- adult representative person at 350 m downstream from the Krško NPP dam	1.0 E–5
	Total radiation effects of the Krško NPP*	**7.45 E–5**
Chornobyl accident, nuclear-weapons tests	- external dose ** - ingestion of vegetable and animal food (without C-14) ***** - ingestion of vegetable food (C-14) ****** – ingestion of fish	2.0 E–2 3.0 E–4 1.43 E–2 3.6 E–5
	Total global contamination in the vicinity of the Krško NPP	**3.47 E–2**

* The total sum of NPP's contributions is informative, as we add up the contributions that are not necessarily additive since the population groups (representative persons) are not the same. In the total sum, only the estimate of the annual effective dose for the representative person - fishermen fishing 350 m downstream of the Krško NPP dam - is taken into account in the contribution of liquid discharges.

** The estimate of the effective dose from external radiation is derived from the environmental dose equivalent H*(10), considering the conversion factor E/H*(10) = 0.84 for 600 keV photons. Conversion factors in the range of 100 keV to 6 MeV lie between 0.84 and 0.89. It has been taken into account that an adult representative person spends 20% of their time outdoors, that shielding factor of radiation from the ground when indoors is 0.1, the shielding factor of cosmic rays within buildings is 0.8, and that the contribution of the external effective dose from building materials is 0.2 mSv. We have further assumed that the ionizing component of cosmic radiation contributes 1/3 to the total dose equivalent measured by the TLDs, and that radiation from the ground contributes 2/3 (Table 5.2, section *Zunanje sevanje*). The environmental dose equivalent H*(10), which was estimated in the section *Zunanje sevanje* of this report, is further multiplied by a factor of 0.84 ([25], [40]).

*** From [14].

**** The estimate can approximately be applied at the distance of 500 m from the axis of the reactor.

***** C-14 is a radionuclide with global occurrence, partly of natural origin in the upper atmosphere by a reaction of neutrons from cosmic rays with nitrogen and, to a lesser extent, with oxygen and carbon.

****** Average for locations 1 km off the reactor axis and Dobova

\# Summarized according to the Table D.

When summing the values for atmospheric and liquid discharges, it is evident that the impact of controlled discharges from NEK on the population is significantly below the authorized limit. It is important to note that these calculations pertain to different representative individuals (members of the population) and, therefore, the aggregate is merely a rough estimate of the annual effective dose.

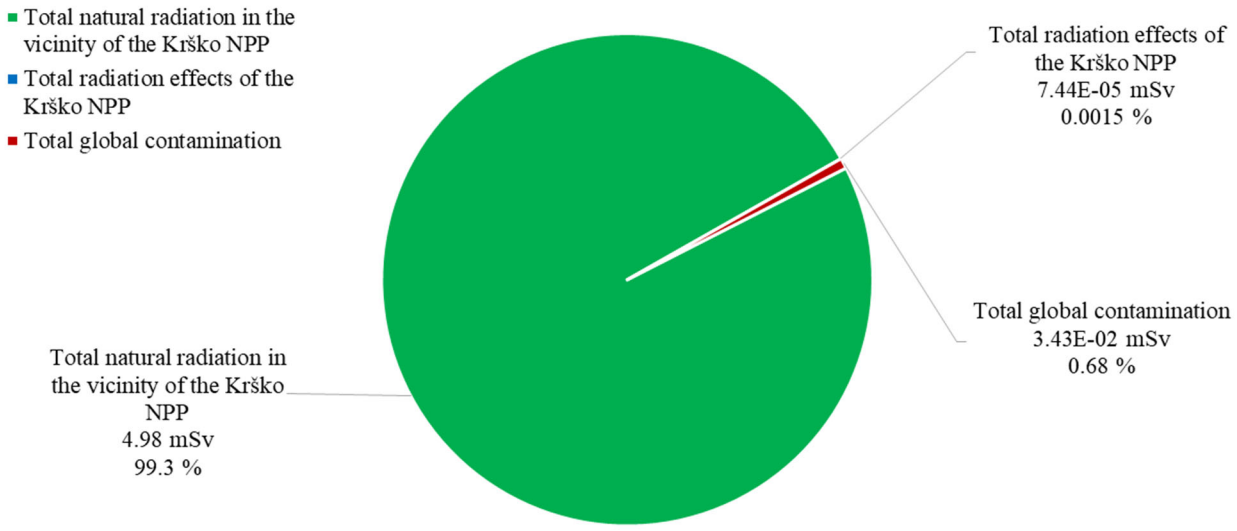


Figure I15: Estimated annual effective dose for an adult representative person due to NPP radiation effects in 2024, global contamination, and natural radiation.

Comparison with previous years (Table G)

Other radionuclides have also been measured in the environment around Krško NPP, mainly as part of global contamination (C-14, Sr-90, Cs-137) or medical use (I-131), or of cosmogenic origin (H-3, C-14). The contributions to the annual effective dose by contamination media for all artificial radionuclides received by the population (adult representative person) from the nearest settlements, or reference sites, and a comparison with previous years are summarised in Table G. The largest contribution in 2024 was due to external radiation - the presence of Cs-137 in soil. The second largest contribution is due to C-14 in food (global contamination, cosmogenic origin). It can also be noted that the sum of the contributions decreases in the course of years, mainly due to the decrease in the estimate due to Cs-137 radiation from soil.

Figure I16 presents the sum of the estimated annual effective doses of the representative persons due to the Krško NPP emissions from 1989 to 2023. The authorized annual limit of 0.05 mSv is marked. The contributions refer to different representative persons (population groups), so the sum is only a rough estimate of the annual effective dose. From 2001 to 2011, the sum decreases, but in the years since 2012, the annual effective dose of the representative person at the NPP fence (estimates are also tentatively valid for a distance of 500 m from the reactor axis) rose slightly due to the effect of C-14 on the food chain during vegetation: yet it is still two orders of magnitude below the authorised limit. An increase in the annual effective dose can also be observed in 2013 and 2014, but this can be attributed solely to the contribution of C-14 in liquid discharges, which was not taken into account in previous years. In 2024, the sum gives a comparable value to previous years. It should be borne in mind that the radiation effects due to liquid discharges from the Krško NPP have been estimated with the valid model.

Table G: Overview of annual effective doses for all artificial radionuclides delivered to adult representative person in the vicinity of Krško NPP through various contamination media from 2020 to 2024 (locations with the highest effective doses for each exposure pathway are considered). The detected artificial radionuclides are mainly due to global contamination (C-14, Sr-90, Cs-137), accidental release (Ru-106), or use in medicine (I-131). The ionizing radiation effects of the Krško NPP on the representative person in the immediate surroundings are small compared to the global contamination (Table E): they are estimated at 0.15 % of the authorized dose limit at the border of the Krško NPP exclusion area and beyond.

Contamination medium	**Annual effective dose of artificial radionuclides *E* (mSv)**					**Location**	**Remarks**
	2020	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**		
Sava river	7 E–5 1.3 E–6 1.9 E–4	1.1 E–4 1.1 E–6 9.2 E–5	1.4 E–4 1.5 E–6 8.7 E–5	9.0 E–5 1.4 E–6 3.1 E–4	4.5 E–5 1.0 E–6 3.6 E–5	Brežice Brežice Brežice	drinking (H-3) swimming (Cs-137) fish ingestion (Sr-90)
Waterworks, pumping stations	3.2 E–5	3.1 E–5	1.4 E–5	3.4 E–5	3.6 E–5	Brege	drinking (H-3)
Precipitation and dry fallout	1.8 E–5	1.9 E–5	1.2 E–5	2.0 E–5	1.7 E–5	Brege	Ingestion of the vegetation (H-3)
Air	2.7 E–7	2.1 E–7	9.7 E–8	2.7 E–7	5.0 E–8	Location average	Inhalation and imersion (Cs-137, Ru-106 (2017)
External radiation**	0.017	0.014	0.016	0.014	0.02	All locations	(Cs-137)
Food	0.0151 0.0016	0.0157 5.0 E–4	0.0168 3.5 E–4	0.0146 4.0 E–4	0.0143 3.0 E–4	At the Krško NPP fence***; All locations and at the Krško NPP fence***	ingestion C-14* Sr-90, Cs-137
Total	**0.034**	**0.030**	**0.033**	**0.029**	**0.035**		

* C-14 is a radionuclide with global occurrence, partly of natural origin in the upper atmosphere by a reaction of neutrons from cosmic rays with nitrogen and, to a lesser extent, with oxygen and carbon. Smaller doses, yet persisting for about 10 000 years will be delivered by the C-14 (half-life 5730 years), produced during nuclear weapons tests in the atmosphere in concentrations about twice higher than the cosmogenic levels.

** The ambient dose equivalent $H^*(10)$ is used.

*** Valid approximately also at the distance of 500 m from the axis of the reactor.

When comparing the contributions in consecutive years, it should also be borne in mind that the Lagrangian model, which gives lower exposure values, has been used since 2007 for the calculation of external cloud radiation and cloud inhalation, and that the dose contribution values due to ingestion of C-14 (from atmospheric releases) up to 2006 were estimated on the basis of releases and data from similar power plants.

Thus, it can be concluded that the radiological effects of NPPs are an order of magnitude lower than those from global contamination and the use of radionuclides in medicine. Moreover, the estimated value of the radiation effects (annual effective dose) of Krško NPP on the representative person along the Krško NPP fence and also at a distance of approximately 500 m from the reactor axis is about 0.0015 % of the typical unavoidable natural background.

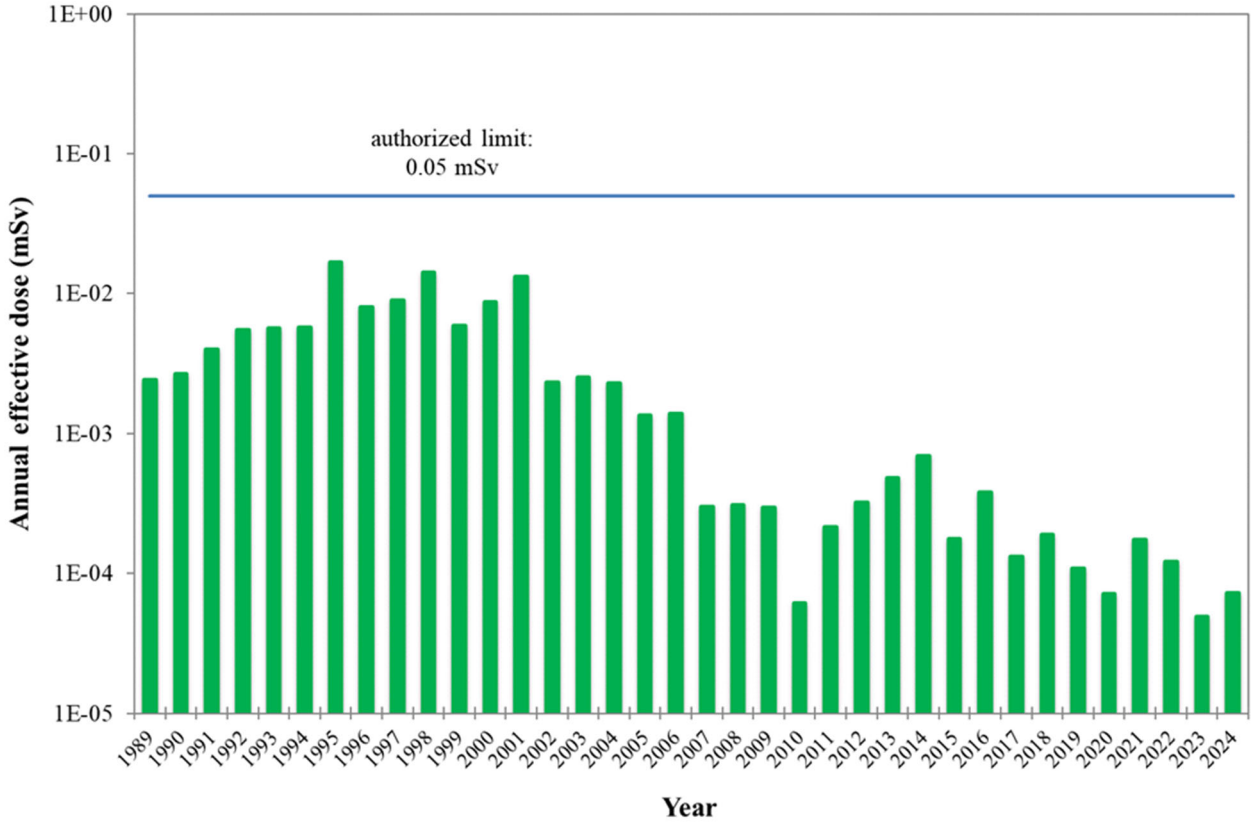


Figure I16: The sum of the estimated annual effective doses of the representative persons - individuals from different population groups - due to the Krško NPP emissions from 1989 to 2024. The authorized annual limit (0.05 mSv) is also marked. The total sum of NPP's contributions is informative, as we add up contributions that are not necessarily additive since the population groups are not the same. The scale is logarithmic.

CONCLUSION

A summary of the radiation effects on the population (representative person) living in the vicinity of Krško NPP for the year 2024 is given in Table F, which lists the contributions from natural radiation, the radiation effects of Krško NPP at the fence perimeter, which is in the exclusion zone, and the residual effects of Chornobyl contamination and nuclear test explosions:

– in 2024, all radiation effects of Krško NPP at the fence perimeter (the estimate is also tentatively valid for a distance of 500 m from the reactor axis) and 350 m downstream of the Krško NPP dam on the representative person were estimated to be less than 7.5 E–5 mSv per year;

– the estimated value of the radiation effects of Krško NPP at the fence perimeter is approximately 0.0015 % of the typical unavoidable natural background. The estimate is also tentatively valid for a distance of 500 m from the reactor axis;

– the estimated value of the radiation effects of Krško NPP is small compared to the authorised dose limit for the (representative person) in the vicinity of the NPP (effective dose of 0.05 mSv per year at a distance of 500 m and outwards for contributions via all exposure pathways);

– the most significant contributor to the total effective dose is food ingestion (65 %), with C-14 (54%) from atmospheric discharges being the major contributor among radionuclides;

- inhalation effective dose due to Krško NPP operation contributes 31 % to the total effective dose. Among the radionuclides, H-3 from atmospheric discharges is the major contributor;
- the effective dose due to Krško NPP operation from external radiation contributes 2.6 % to the total effective dose. Among the radionuclides, Co-58 from liquid discharges is the major contributor;
- the sum of the effective dose of artificial radionuclides calculated from measurements of environmental samples has been decreasing over the years, with the main contributor being the decrease in the estimate due to Cs-137 radiation from the ground (soil). Cs-137 in soil is a residue of airborne and precipitation fallout from the 1986 nuclear reactor accident at Chornobyl, Ukraine.

NEODVISNI NADZOR POOBLAŠČENIH IZVAJALCEV

POVZETEK

Opravljena je bila primerjava rezultatov meritev iz programa neodvisnega nadzora obratovalnega nadzora med laboratoriji NEK, IJS, IRB in ZVD za leto 2024 za izbrane emisijske vzorce tekočinskih izpustov iz odpadnih merilnih rezervoarjev WMT ter za imisijske vzorce iz okolja – posamične vzorce savske vode pri Brežicah. V letu 2022 je bil program nadzora plinastih emisij spremenjen in sicer je po novem treba določiti vsebnost radionuklidov v štirih vzorcih brisov ali filtrov s povečano aktivnostjo, ki jih zagotovi RZ NEK. Opravljena je bila tudi statistična primerjava vseh rezultatov meritev različnih vzorcev iz okolja v obdobju 2017–2024. Glede na kompleksnost postopkov vzorčenja, priprave vzorcev in meritev lahko ocenimo, da so ujemanja med sodelujočimi laboratoriji dobra pri vzorcih, kjer sta vzorčenje in priprava enostavna. Pri vzorcih, kot so savska voda, sedimenti in podtalnica, kjer sta vzorčenje in priprava zahtevni, so razhajanja bistveno večja. Ponovno predlagamo, da bi pri neodvisnem nadzoru meritev vsebnosti umetnih radionuklidov v vzorcih tekočih in plinastih emisij (WMT in filtri ali brisi), ki vsebujejo merljive vsebnosti umetnih radionuklidov, sočasno sodelovali obe neodvisni inštituciji – IJS in ZVD.

UVOD

Na podlagi priporočil Verifikacijske komisije po 35. členu pogodbe EURATOM iz leta 2007 in v skladu z *Zakonom o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti* [6] in *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* [8] se izvaja neodvisni nadzor meritev obratovalnega nadzora NE Krško, ki ga razpiše in vodi upravni organ (URSJV). Skladno z zakonodajo lahko meritve iz programa obratovalnega nadzora in meritve neodvisnega nadzora izvajajo le pooblaščeni laboratoriji. Neodvisnost preverjanja je zagotovljena s tem, da izvajalec, ki izvaja meritve v sklopu obratovalnega nadzora, ne more izvajati enakih meritev v okviru neodvisnega nadzora. Projektna naloga *Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa NE Krško za leto 2024* [13] obsega tri sklope. Sklopa 1 in 2 obravnavata nadzor emisij (tekoči in plinasti izpusti), medtem ko sklop 3 obravnava nadzor meritev v okolju – primerjavo vzorčenja in meritev izbranih vzorcev (imisijske meritve). V tabelah 1–3 je prikazan program meritev v vseh treh sklopih. Od leta 2010 do 2019 je bil nabor vzorcev v programu teh meritev stalen in se ni spreminjal, v letih 2020 in 2021 je URSJV izbral drugačen nabor vzorcev iz okolja (imisijskih meritev). V letu 2022 pa je URSJV spremenil tudi program emisijskih meritev. V skladu s pogodbo in pripadajočo projektno nalogo morajo odvzemi vzorcev za redne meritve NEK in neodvisni nadzor potekati istočasno pod nadzorstvom predstavnika URSJV v vnaprej dogovorjenih terminih. Vzorčenje za analize, predpisane v sklopih 1 in 2, je skupno za izvajalca obratovalnega in nadzornega monitoringa. Za okoljske vzorce v sklopu 3 pa morata izvajalca ločeno vzorčiti vsak svoj vzorec, zajet na isti lokaciji. Usklajevanje terminov z NE Krško in izvajalci obratovalnega monitoringa je naloga izvajalca posameznega sklopa neodvisnega nadzora. Vsi izvajalci (IRB, ZVD, IJS in NEK) nato opravijo meritve prevzetih vzorcev po svojih postopkih.

V letu 2024 je program meritev emisij – tekočinskih izpustov obsegal meritve vzorcev vode iz izpustov iz odpadnih merilnih rezervoarjev (WMT) za določitev vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama in za določitev vsebnosti C-14. Za razliko od leta 2023, ko so se na vzorcih vode iz WMT dodatno določale koncentracije aktivnosti H-3, so se v letu 2024, tako kot leta 2022, določale koncentracije aktivnosti C-14. V projektni nalogi je bilo poudarjeno, da morajo biti vzorci za neodvisni nadzor enaki kot za obratovalni monitoring, tako da se zbirni vzorci primerjajo s zbirnimi, enkratni pa z enkratnimi. Pri visokoločljivostni spektrometriji gama se IJS in ZVD kot izvajalca neodvisnega nadzora izmenjujeta z letno periodo. Tako sta pri meritvah z visokoločljivostno spektrometrijo gama v letu 2024 sodelovala laboratorij NEK kot izvajalec obratovalnega nadzora in IJS, Odsek F-2, kot izvajalec neodvisnega nadzora. Vsebnosti C-14 v okvirno obratovalnega nadzora opravlja IRB na kvartalnih vzorcih, v okviru neodvisnega nadzora pa je meritve koncentracije aktivnosti C-14 opravil IJS, Odsek O-2.

Pri neodvisnem nadzoru emisij – plinastih izpustov je do leta 2022 program meritev obsegal analizo vzorcev filtrov iz glavnega izpuha RM-24, pri čemer sta sodelovala laboratorija IJS kot izvajalec obratovalnega nadzora in ZVD kot izvajalec neodvisnega nadzora. Običajno v teh filtrih ni umetnih radionuklidov nad mejo detekcije, zato primerjave niso prinesle nobene dodane vrednosti. Tako so v letu 2022 program nadzora plinastih emisij spremenili in sicer se po novem programu določa vsebnost radionuklidov v brisih ali filtrih s povečano aktivnostjo, ki jih zagotovi RZ NEK. Opravljena je bila primerjava rezultatov med NEK kot izvajalcem rednih meritev in ZVD kot izvajalcem meritev v okviru neodvisnega nadzora.

Tabela 1: Program nadzora emisij – tekočinski izpusti (sklop 1) za leto 2024

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČENJA IN MERITEV	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Odpadni merilni rezervoarji (WMT)	**Voda** (Vzorci za neodvisni nadzor morajo biti enaki kot za obratovalni monitoring, tako da se zbirni vzorci primerjajo s zbirnimi, enkratni pa z enkratnimi)	4-krat letno (četrtletno)	4 (brez joda in žlahtnih plinov)
Specifična analiza, scintilacijska spektrometrija H-3	Odpadni merilni rezervoarji (WMT)		4-krat letno (četrtletno)	4

Tabela 2: Program nadzora emisij – plinasti izpusti (sklop 2) za leto 2024

VRSTA IN OPIS MERITVE	VRSTA VZORCA (VZORČEVALNO MESTO)	POGOSTOST VZORČENJA IN MERITEV	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Bris ali filter s povečano aktivnostjo (RM11)*	2-krat letno	2
	Bris ali filter s povečano aktivnostjo (med remontom)*	2-krat letno	2
Alfa aktivnosti		1-krat letno*	1

* RZ NEK zagotovi vzorce z ustrezno aktivnostjo, da bo mogoča primerjava.

Tabela 3: Program nadzora imisij (sklop 3) za leto 2024

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČENJA IN MERITEV	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Brežice (na lokaciji, kjer se jemljejo četrtletni enkratni vzorci)	Rečna voda	4-krat letno	4
Specifična analiza, določitev koncentracije Sr-90			4-krat letno	4
Specifična analiza, določitev koncentracije H-3			4-krat letno	4

V letih 2010–2019 sta se pri neodvisnem nadzoru imisij (okoljskih vzorcev) 2-krat letno istočasno vzorčila sediment in savska voda iz obratovalnega nadzora radioaktivnosti na dveh lokacijah v okolici NEK (Krško in Brežice). V letu 2020 je URSJV program imisijskih meritev spremenil in predpisal primerjavo enkratnih sezonskih vzorcev sadja in žitaric, v letu 2021 so se primerjali rezultati meritev vsebnosti radionuklidov v vzorcih mleka in H-3 v padavinah. V letu 2022 so bile v okviru neodvisnega nadzora opravljene primerjave rezultatov meritev z visokoločljivostno spektrometrijo gama in stroncija Sr-90 dveh vzorcev sadja (jabolka in hruške) ter dveh vzorcev poljščin (feferoni in paprika). Pri teh meritvah sta sodelovala ZVD in IJS, pri vzorcih sadja je IJS opravil meritve v okviru obratovalnega nadzora in ZVD v okviru neodvisnega nadzora, pri vzorcih poljščin pa obratno. V letu 2023 so bile za neodvisni nadzor izbrane primerjave meritev trave, zemlje z globin 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm in podtalnice iz vrtine E1. Pri teh primerjavah sta sodelovala IJS kot izvajalec rednih obratovalnih meritev in ZVD kot izvajalec meritev v okviru neodvisnega nadzora. Vsebnosti tritija v okviru neodvisnega nadzora je določal IJS, Odsek O-2. V letu 2024 pa so bili za neodvisni nadzor izbrani enkratni četrtletni vzorci savske vode na lokaciji Brežice. Oba izvajalca, IJS za neodvisni nadzor in ZVD kot izvajalec obratovalnega nadzora, sta vzorčila, pripravila vzorce in opravila meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama ter določitve vsebnosti stroncija po svojih postopkih. Meritve tritija v okviru neodvisnega nadzora je opravil IJS, Odsek F-2, meritve v okviru obratovalnega nadzora pa IJS, Odsek O-2.

REZULTATI MERITEV S ČASOVNIMI POTEKI

Primerjava rezultatov meritev za leto 2024

Rezultate meritev $(y + u(y))$ izvajalcev obratovalnega nadzora in neodvisnega nadzora smo primerjali z ζ-preskusom, ki je definiran kot:

$$\zeta\text{-preskus} = \frac{y_{\mathrm{LAB}_1} - y_{\mathrm{LAB}_2}}{\sqrt{u(y)^2_{\mathrm{LAB}_1} + u(y)^2_{\mathrm{LAB}_1}}}$$

kjer sta LAB_1 in LAB_2 okrajšavi za prvi in drugi laboratorij, ki sodelujeta v primerjavi. Prednost ζ-preskusa je, da v medsebojni primerjavi poleg rezultatov posameznih laboratorijev vključuje tudi pripadajoči merilni negotovosti s faktorjem pokritja $k = 1$ ter da v primerjavi z *u*-preskusom (preskus absolutnih vrednosti ζ) prikaže tudi sistematska odmikanja. Rezultate smo primerjali za vsak radionuklid posebej, vendar le tiste rezultate meritev, o katerih sta nad mejo kvantifikacije ali detekcije poročala oba laboratorija. Pri ovrednotenju rezultatov smo uporabili merila, definirana v standardu *ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment – General requirements for proficiency testing.* Rezultati so med seboj primerljivi, ko je $|\zeta| \leq 2$.

V tabelah od 4 do 8 so prikazani rezultati meritev izvajalcev obratovalnega in neodvisnega nadzora ter njihove medsebojne primerjave. **S krepkim tiskom na sivi podlagi so označene vse vrednosti ζ-preskusa, ki so po absolutni vrednosti večje od 2.**

V tabeli 4 so podane primerjave med rezultati meritev vod iz odpadnih merilnih rezervoarjev WMT (sklop 1), ki so jih izvedli IJS, NEK in IRB. Poročani in primerjani so bili le rezultati za umetne radionuklide. Ker NEK pri rednih meritvah poroča o svojih rezultatih s 95-odstotno zanesljivostjo (faktor pokritja $k = 2$), so bile vse negotovosti v tabeli 4 preračunane na 68-odstotno zanesljivost (faktor pokritja $k = 1$). V skladu s priporočili EURATOM-a (2004/2/Euratom) poroča NEK za posamezne ključne neizmerjene radionuklide o aktivnostih, izračunanih na podlagi ene četrtine meje detekcije (MDA). Te aktivnosti so v primerjalnih tabelah obarvane modro ter jih nismo primerjali z rezultati IJS. V vzorcih odpadnih vod iz WMT, ki so bili vključeni v primerjave za neodvisni nadzor v letu 2024, je NEK pri meritvah z visokoločljivostno spektrometrijo gama nad mejo detekcije določil Co-58 in Ag-110m v majskem, septembrskem in novembrskem vzorcu ter Co-60 v novembrskem vzorcu. V marčevskem vzorcu je NEK poročal le o mejah detekcije ključnih radionuklidov. IJS je v teh vzorcih poleg navedenih radionuklidov nad mejo detekcije določil še Mn-54, Sb-125, Te-123m, Te-127m, Cs-134 in Cs-137. Koncentracije aktivnosti teh radionuklidov so primerljive s poročanimi mejami detekcije pri NEK, razen za Co-60 v majskem in septembrskem vzorcu. NEK ne poroča o koncentracijah aktivnosti telurjevih radionuklidov.

Tabela 4: Primerjava rezultatov emisijskih meritev tekočinskih izpustov iz WMT *

Vzorč. mesto	WMT											
Pooblaščena organizacija	IJS (spektrometrija gama) IJS, Odsek O-2 (C-14)				NEK (spektrometrija gama) IRB (C-14)				ζ-preskus			
Datum vzor.	28. 3. 2024	28. 5. 2024	18. 9. 2024	7. 11. 2024	28. 3. 2024	28. 5. 2024	18. 9. 2024	7. 11. 2024				
Kol. vzorca (L)	0,25	0,25	0,25	0,26	1,0	1,0	1,0	1,0	Prvi vzorec	Drugi vzorec	Tretji vzorec	Četrti vzorec
Koda vzorca	KI24WWM31	KI24WWM51	KI24WWM91	KI24WWMB1	28.3.2024 WMT#1	28.5.2024 WMT#2	18.9.2024 WMT#2	7.11.2024 WMT#2				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)											
Na-22												
Cr-51												
Mn-54			4,0E+2 ± 7E+1	6,4E+02 ± 6E+01			< 4,0E+02	< 9,6E+02				
Fe-59												
Co-57												
Co-58		6,1E+03 ± 5E+02	3,2E+03 ± 2E+02	6,8E+03 ± 4E+02	< 4,5E+02	5,4E+03 ± 7,0E+2	3,2E+03 ± 4,7E+02	6,0E+03 ± 1E+03		0,84	-0,14	0,83
Co-60	6,9E+02 ± 1E+02	1,8E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 2E+02	4,1E+03 ± 2E+02	< 8,2E+02	< 9,5E+02	< 7,8E+02	6,4E+03 ± 8E+02				**-3,03**
Zn-65						< 1,1E+03	< 9,7E+02	< 1,9E+03				
Sr-85												
Y-88												
Y-92												
Zr,Nb-95												
Zr-95						< 1,0E+03	< 7,0E+02	< 1,8E+03				
Nb-95						< 1,2E+03	< 4,5E+02	< 1,7E+03				
Nb-97												
Mo-99												
Tc-99m												
Ru-103												
Ru-106												
Ag-110m	1,7E+02 ± 7E+01	3,0E+04 ± 2E+03	3,2E+03 ± 2E+02	2,0E+04 ± 1E+03	< 4,3E+02	3,3E+04 ± 3,3E+3	3,9E+03 ± 4E+02	3,4E+04 ± 2E+03		-0,89	-1,69	**-6,89**
Sn-117m												
Sb-124												
Sb-125			9,1E+02 ± 2E+02	1,7E+03 ± 2E+02			< 9,5E+02	< 3,2E+03				
Te-123m												
Te-125m	3,3E+02 ± 2E+02	2,5E+03 ± 3E+02	1,6E+03 ± 2E+02									
Te-127m		6,4E+03 ± 9E+02	2,6E+03 ± 1E+03									
Te-129m												
Te-132												
I-131												
I-133												
Cs-134			3,9E+02 ± 1E+02	1,1E+03 ± 9E+01								
Cs-137		4,3E+02 ± 2E+02	7,1E+02 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	< 5,9E+02	< 1,9E+03	< 8,0E+02	< 3,1E+03				
Ba-140												
La-140												
Ce-141												
Ce-144												
Fe-55												
C-14	2,7E+05 ± 1E+04	2,2E+05 ± 1E+04	1,0E+05 ± 5E+03	1,6E+05 ± 7E+03	1,3E+5 ± 7E+03	9,2E+04 ± 5E+03	1,1E+05 ± 6E+03	1,3E+05 ± 7E+03	**9,41**	**11,37**	**-1,13**	**3,09**

* Vse negotovosti so podane s faktorjem pokritja $k = 1$ (interval z 68-odstotno zanesljivostjo). Z modro barvo so označeni tisti rezultati, ki jih je NEK izračunal na podlagi ¼ MDA.

Tabela 5: Rezultati in primerjava emisijskih meritev zračnih izpustov*

Vzorč. mesto	NEK Krško					
Pooblaščena organizacija	ZVD		NEK		ζ-preskus	ζ-preskus
Vrsta vzorca	brisi odvzeti med remontom					
Datum vzorčevanja	20. 4. 2024	20. 4. 2024	20. 4. 2024	20. 4. 2024		
Kol. vzorca (kg)	vzorec	vzorec	vzorec	vzorec		
Koda vzorca	RV1300424	RV1310424	Fleksibilna cev BRIS 381-24	Ventil CS8310 BRIS 382-24	prvi bris	drugi bris
IZOTOP	AKTIVNOST (Bq/vzorec)					
Cr-51						
Mn-54		9,4E+00 ± 5E-01				
Co-56						
Co-57		6,4E+00 ± 7E-01		7,5E+00 ± 9E-01		-0,93
Co-58	1,2E+0 ± 1E-01	8,6E+01 ± 3E+00		1,0E+02 ± 1E+01		-1,31
Co-60	3,3E+2 ± 1E+01	2,3E+03 ± 8E+01	3,3E+02 ± 3E+01	2,2E+03 ± 1E+02	0,09	0,49
Zn-65						
Br-82						
Y-88						
Nb-94			1,3E+01 ± 2E+00	3,1E+01 ± 5E+00		
Zr-95						
Nb-95		1,1E+01 ± 9E-01				
Ru-106						
Cd-109						
Eu-154		2,4E+01 ± 2E+00				
Ce-144						
Cs-134						
Cs-137	7,9E+1 ± 2E+00	1,9E+01 ± 6E-01	7,8E+01 ± 7E+00	1,8E+01 ± 3E+00	0,16	0,38
Sb-125	5,6E+00 ± 2E-01	4,4E+01 ± 1E+00				
Ag-110m	3,1E+00 ± 1E-01	4,1E+01 ± 9E-01		4,0E+01 ± 4E+00		0,29
Am-241	2,3E+00 ± 9E-02	1,0E+02 ± 2E+00		8,9E+01 ± 1E+01		0,81
Alfa aktvnost	2,0E+00 ± 1E-01	2,5E+01 ± 1E+00	2,3E+00 ± 3E-01	2,9E+01 ± 5,E+00	-0,95	-0,87

* Vse negotovosti so podane s faktorjem pokritja $k = 1$ (interval z 68-odstotno zanesljivostjo).

Tabela 6: Rezultati in primerjava emisijskih meritev zračnih izpustov*

Vzorč. mesto	NEK Krško					
Pooblaščena organizacija	ZVD		NEK		ζ-preskus	ζ-preskus
Vrsta vzorca	brisi odvzeti v času normalnega obratovanja elektrarne					
Datum vzorčevanja	24. 10. 2024	24. 10. 2024	24. 10. 2024	24. 10. 2024		
Kol. vzorca (kg)	vzorec	vzorec	vzorec	vzorec		
Koda vzorca	RV4491124	RV4501124	CB-100 Bris 1 875-24	AB-100 Bris 2 876-24	tretji bris	četrti bris
IZOTOP	AKTIVNOST (Bq/vzorec)					
Cr-51	7,9E+02 2E+1	1,7E+02 5E+0	7,7E+02 ± 6E+01	1,6E+02 ± 2E+01	0,44	0,44
Mn-54	9,5E+01 ± 3E+00	1,0E+01 ± 3E-01	9,1E+01 ± 7E+00	8,3E+00 ± 2E+00	0,57	1,17
Co-56						
Fe-59	1,9E+01 ± 7E-01	4,1E+00 ± 2E-01				
Co-57	6,2E+00 ± 4E-01	5,1E-01 ± 4E-02	6,9E+00 ± 2E+00		-0,36	
Co-58	1,8E+03 ± 5E+01	1,7E+02 ± 5E+00	1,8E+03 ± 1E+02	1,5E+02 ± 1E+01	-0,01	1,57
Co-60	1,3E+02 ± 5E+00	3,4E+01 ± 1E+00	1,4E+02 ± 9E+00	3,1E+01 ± 3E+00	-1,31	1,22
Zn-65						
Br-82						
Y-88						
Zr-95	6,9E+02 ± 1E+01	4,0E+01 ± 8E-01	6,6E+02 ± 4E+01	3,4E+01 ± 4E+00	0,71	1,64
Nb-95	1,2E+03 ± 3E+01	7,2E+01 ± 2E+00	9,5E+02 ± 5E+00	5,4E+01 ± 4E+00	**7,83**	**3,69**
Ru-106						
Cd-109						
Eu-154						
Ce-144	1,1E+01 ± 8E-01					
Cs-134		2,5E+00 ± 6E-02				
Cs-137		3,0E+00 ± 9E-02				
Sb-125		2,3E+00 ± 1E-01				
Ag-110m		3,8E+00 ± 8E-02				
Am-241						
Alfa aktvnost						

* Vse negotovosti so podane s faktorjem pokritja $k = 1$ (interval z 68-odstotno zanesljivostjo).

Tabela 7: Primerjava rezultatov meritev vsebnosti radionuklidov v vzorcih savske vode*

Vzorč. mesto	Brežice					
Pooblaščena organizacija	IJS, Odsek F-2 (spektrometrija gama, H-3) IJS, Odsek O-2 (Sr-90)		ZVD (spektrometrija gama, Sr-90) IJS, Odsek O-2 (H-3)		Prvi vzorec	Drugi vzorec
Datum vzorčevanja	28. 3. 2024	2. 9. 2024	28. 3. 2024	2. 9. 2024	24. 4. 2019	22. 10. 2019
Kol. vzorca (L)	**51,99**	**49,57**	**50,70**	**52,25**		
Koda vzorca	KI24SN331	KI24RSNHK91	RSBRK124	RSNHK324	**ζ-preskus**	**ζ-preskus**
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)					
U-238	2,0E+00 ± 1E+00	3,3E+00 ± 2E+00				
Ra-226	2,4E+00 ± 6E-01	2,0E+00 ± 6E-01	1,1E+00 ± 2E-1		**2,06**	
Pb-210	7,4E+00 ± 2E+00	‡ 1,9E+00 ± 2E+00	2,6E+00 ± 2E+0	9,7E+00 ± 1E+0	1,74	**-2,87**
Ra-228	3,7E-01 ± 3E-01	5,0E-01 ± 3E-01	1,2E+00 ± 5E-1	2,6E+00 ± 3E-1	-1,45	**-4,46**
Th-228	‡ 3,1E-01 ± 4E-01	4,2E-01 ± 3E-01	1,0E+00 ± 5E-1	1,3E+00 ± 3E-1	-1,07	**-2,10**
Th-230						
K-40	3,4E+01 ± 4E+00	5,4E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 4E+0	4,4E+01 ± 3E+0	0,82	**2,26**
Be-7	6,2E+00 ± 9E-01		1,4E+01 ± 2E+0	1,7E+01 ± 1E+0	**-4,36**	
I-131	2,8E+00 ± 2E-01					
Cs-134						
Cs-137	‡ 9,0E-02 ± 1E-01					
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
H-3	1,7E+04 ± 9E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,7E+04 ± 7E+2	1,6E+03 ± 1E+2	0,23	0,06
Sr-90	2,1E+00 ± 1E-1	1,7E+00 ± 1E-1	‡ 1,6E-01 ± 7E-2	7,4E-01 ± 2E-1	**12,62**	**4,58**

* Vse negotovosti so podane s faktorjem pokritja $k = 1$ (interval z 68-odstotno zanesljivostjo). S krepkim tiskom na sivi podlagi je označen ζ-preskus, ki je po absolutni vrednosti večji od 2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Tabela 8: Primerjava rezultatov meritev vsebnosti radionuklidov v vzorcih savske vode*

Vzorč. mesto	Brežice					
Pooblaščena organizacija	IJS		ZVD		Prvi vzorec	Drugi vzorec
Datum vzorčevanja	25. 9. 2024	14. 11. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	24. 4. 2019	22. 10. 2019
Kol. vzorca (L)	**41,95**	**49,64**	**51,75**	**48,75**		
Koda vzorca	KI24RSBRK91	KI24RSBRKB1	RSBRK324	RSBRK424	**ζ-preskus**	**ζ-preskus**
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)					
U-238	4,5E+00 ± 7E-01	2,3E+00 ± 4E-01	5,4E+00 ± 2E+00		-0,43	
Ra-226	1,7E+00 ± 3E-01	2,3E+00 ± 3E-01	5,7E-01 ± 2E-01		**3,42**	
Pb-210	6,6E-01 ± 4E-01	2,7E+00 ± 5E-01	3,7E+01 ± 3E+00	7,7E+00 ± 1E+0	**-10,58**	**-4,42**
Ra-228	7,5E-01 ± 3E-01	7,4E-01 ± 2E-01	2,2E+00 ± 6E-01		**-2,25**	
Th-228	3,0E-01 ± 6E-02	2,2E-01 ± 9E-02	5,3E+00 ± 2E+00	8,3E-01 ± 3E-1	**-3,10**	-1,95
Th-230	‡ 1,1E+00 ± 4E+00					
K-40	3,8E+01 ± 3E+00	3,6E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 2E+0	-0,43	**3,12**
Be-7	‡ 7,1E-01 ± 8E-01	5,4E+00 ± 7E-01	1,4E+02 ± 6E+00	1,2E+01 ± 1E+0	**-23,58**	**-4,89**
I-131	4,1E+00 ± 6E-01					
Cs-134						
Cs-137			‡ 8,9E-01	‡ 3,1E-01 ± 1E-1		
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
Lu-177	2,8E+01 ± 9E+00					
H-3	6,7E+02 ± 1E+02	6,6E+02 ± 8E+01	6,5E+02 ± 6E+01	7,6E+02 ± 7E+1	0,16	-0,90
Sr-90	2,3E+00 ± 1,E-01	1,9E+00 ± 1,E-01	3,4E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 2E-1	**-3,05**	**2,86**

* Vse negotovosti so podane s faktorjem pokritja $k = 1$ (interval z 68-odstotno zanesljivostjo). S krepkim tiskom na sivi podlagi je označen ζ-preskus, ki je po absolutni vrednosti večji od 2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Koncentracije aktivnosti za Co-58 in Ag-110m v majskem in septembrskem vzorcu vode iz odpadnega merilnega rezervoarja WMT ter Co-58 v novembrskem vzorcu so med seboj primerljive, medtem ko se rezultata za Co-60 in Ag-110m v novembrskem vzorcu razlikujeta za 58 % oziroma 66 % z vrednostima ζ-preskusov 3,0 in 6,9. Vsebnosti C-14 v okvirnu obratovalnega nadzora radioaktivnosti je določal IRB na kvartalnih vzorcih, za neodvisni nadzor pa so bili na IJS dostavljeni enkratni vzorci, kar pomeni, da tako kot leta 2022 rezultati meritev C-14 v okviru neodvisnega nadzora niso med seboj primerljivi. Rezultati se razlikujejo za 8 % do 58 % z ζ-preskusi med –1,1 v septembrskem vzorcu in 11,4 v majskem vzorcu.

V tabelah 5 in 6 so zbrani rezultati emisijskih meritev zračnih izpustov, ki sta jih opravila ZVD in NEK. Opravljene so bile meritve štirih brisov, vzorčili so prestavniki NEK. Prva dva brisa sta bila vzorčena 20. 4. 2024 na fleksibilni cevi in ventilu CS8310 v času remonta, druga dva pa 24. 10. 2024 na mestih CB100 in AB-100. Na prvih dveh brisih sta oba laboratorija opravila tudi meritve skupne aktivnosti alfa. Ker NEK pri rednih meritvah poroča o svojih rezultatih s 95-odstotno zanesljivostjo (faktor pokritja k = 2), so bile vse negotovosti v tabeli 6 preračunane na 68-odstotno zanesljivost (faktor pokritja k = 1). Pri vseh vzorcih je ZVD poročal o širšem naboru radionuklidov, vendar so bile aktivnosti teh radionuklidov večinoma za red velikosti nižje od tistih, ki sta jih poročala oba laboratorija. Le-teh je 21, 19 izmed njih je statistično primerljivih z ζ-preskusom manjšim od 1,6. Bistvena razlika je pri Nb-95 pri brisih, vzorčenih 24. 10. 2024, kjer je ZVD poročal za 20 % in 25 % višje vrednosti z ζ-preskusoma 7,8 in 3,7. Meritvi skupne aktivnosti sevalcev alfa na vzorcih brisov, vzorčenih 20. 4. 2024, sta med seboj primerljivi z ζ-preskusom –0,9 pri obeh meritvah, pri čemer je ZVD poročal okoli 15 % višje vrednosti.

V tabeli 7 in 8 so prikazani rezultati meritev IJS in ZVD za vzorce savske vode, vzorčene na mestu, kjer se jemljejo enkratni četrtletni vzorci pri Brežicah. Vzorčenje sta skupaj opravila oba laboratorija, ZVD kot izvajalec rednih meritev in IJS kot izvajalec neodvisnega nadzora. Izvedbo vzorčenja je nadziral predstavnik URSJV. Na teh vzorcih so bili določeni sevalci gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama ter stroncij in tritij z radiokemijskimi analizami. Redne meritve z visokoločjivostno spektrometrijo gama in meritve stroncija je opravil ZVD po svojih postopkih, redne meritve tritija pa IJS, Odsek O-2. V okviru neodvisnega nadzora je Odsek F-2 opravil meritve vsebnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama in meritve vsebnosti tritija s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo, Odsek O-2 pa je opravil meritve vsebnosti stroncija. Ker je maja 2024 prišlo na IJS do napake pri razdelitvi vzorca, smo po dogovoru z URSJV kot nadomestni vzorec uporabili enkratni vzorec vode iz nadomestnega habitata, vzorčenega 2. 9. 2024.

V teh štirih vzorcih lahko med seboj primerjamo 30 rezultatov, od katerih ima 18 rezultatov |ζ|-preskus > 2. Vse meritve tritija se dobro ujemajo, največji ζ-preskus –0,9 je bil v novembrskem vzorcu. Na drugi strani se vsi rezultati meritev stroncija med seboj razlikujejo, saj so absolutne vrednosti ζ-preskusov med 2,9 in 12,6. Pri spektrometriji gama se relativno dobro ujemajo rezultati meritev marčevskega vzorca, kjer imata dva rezultata od sedmih ζ-preskus večji od 2, pri ostalih treh vzorcih pa so vse absolutne vrednosti ζ-preskusov, razen treh, višje od 2. Največje razlike so pri Pb-210 in Be-7. V splošnem so nabori radionuklidov v poročilih obeh izvajalcev podobni, rezultati pri treh vzorcih od štirih pa niso primerljivi med seboj.

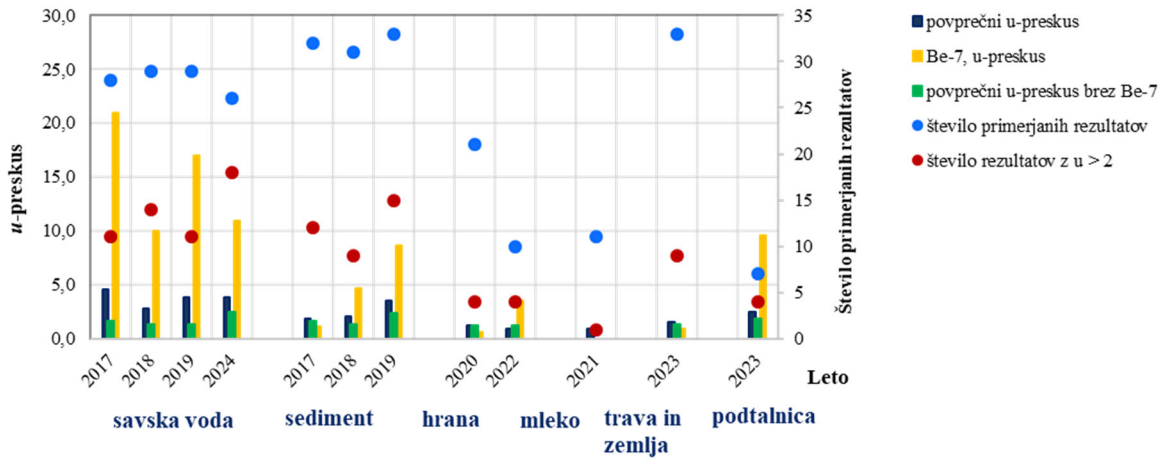
Primerjava rezultatov meritev različnih vzorcev iz okolja

Pooblaščeni laboratoriji redno in v primernem obsegu sodelujejo pri mednarodnih primerjalnih meritvah, kjer z naborom različnih vzorcev pokrivajo vse ključne matrike vzorcev iz programa nadzora radioaktivnosti. Ti rezultati so zbrani na priloženi USB kartici v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2024, IJS-DP-5010, marec 2025* v poglavju *Tabele rezultatov primerjalnih meritev*. Ob rezultatih so navedene tudi ocene uspešnosti, kot so jih podali izvajalci primerjalnih meritev. V skladu z zahtevami standarda ISO/IEC 17025:2017, po katerem so vsi izvajalci akreditirani za svoje dejavnosti, morajo akreditirani laboratoriji svoje rezultate primerjalnih meritev ovrednotiti ter v primeru razlik poiskati vzroke in uvesti ustrezne korektivne ukrepe in voditi zapise. Kakovost izvajanja primerjalnih meritev ocenjujejo akreditacijske službe kot pogoj za vzdrževanje obsega akreditacije.

Med primerjalnimi meritvami in neodvisnim nadzorom je ključna razlika. Pri mednarodnih medlaboratorijskih primerjavah **laboratoriji dobijo v analizo pripravljene vzorce z dobro definiranimi referenčnimi vrednostmi, določenimi na neodvisen način**. **Vzorčenja ni**, v laboratoriju opravijo le zadnjo fazo priprave vzorcev – skladno s svojimi postopki pripravijo merjence v ustreznih geometrijah ter izmerijo vsebnosti radionuklidov. **Pri neodvisnem nadzoru pa laboratoriji opravijo tudi vzorčenje in celotno pripravo vzorcev, ki med drugim vključuje tudi sušenje in homogenizacijo**. **Neodvisni nadzor torej daje primerjavo celotnega postopka, ki vključuje vzorčenje, pripravo, meritve in izračun aktivnosti detektiranih radionuklidov;** vsaka faza vpliva na končni rezultat, prinese svoj prispevek k rezultatu in merilni negotovosti ter zmanjša primerljivost rezultatov.

Primerjava celotnega postopka od vzorčenja do končnega rezultata meritev vzorcev iz okolja je zelo kompleksna in zahteva zelo podrobno obravnavo, če želimo ovrednotiti kvaliteto rezultatov meritev. Okoljski vzorci so običajno nehomogeni, poleg tega je tudi matrika vzorca slabo definirana. Po vzorčenju se vzorci obdelajo v laboratorijih in pripravijo za analizo. Ker so postopki vzorčenja in priprave vzorcev za analizo v pooblaščenih laboratorijih različni, lahko pričakujemo dodatno neujemanje med merskimi rezultati.

Zgornje trditve potrjuje tudi statistična analiza rezultatov imisijskih meritev savske vode in sedimenta z visokoločljivostno spektrometrijo gama v okviru neodvisnega nadzora v letih 2017–2019, meritve savske vode v letu 2024 ter primerjava s statistično analizo hrane v letih 2020–2022 ter meritev trave, zemlje in podtalnice v letu 2023. Rezultati te analize so prikazani na sliki 1. Za vsako leto je bil določen povprečen u-preskus ($|\zeta|$-preskus v absolutnem merilu) in glede na to, da je bila v preteklem obdobju večina razlik pri Be-7, še povprečen u-preskus posebej za Be-7 in za druge radionuklide brez Be-7. V vzorcih mleka v letu 2021 Be-7 ni detektiral noben laboratorij. Na levi osi so prikazane vrednosti u-preskusa, na desni pa število primerjanih rezultatov in število rezultatov z vrednostjo u-preskusa nad 2. Rezultati meritev H-3 v savski vodi in padavinah s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo v tej analizi niso upoštevani. S slike lahko razberemo, da so največji odmiki pri savski vodi, sedimentih in podtalnici ter najmanjši pri vzorcih hrane in zemlje (sadje, poljščine, mleko, trava in zemlja). K visokim povprečnim vrednostim u-preskusa v savski vodi, podtalnici in tudi v sedimentih prispeva predvsem Be-7, kar je lahko posledica vzorčenja ali priprave vzorcev. V letu 2024 so se v okviru neodvisnega nadzora ponovno primerjali vzorci savske vode, rezultati te primerjave pa so podobni kot v letih 2017–2019 – ponovno se zelo razlikujejo koncentracije aktivnosti Be-7, kot tudi pri ostalih radionuklidih, saj je tudi povprečni u-test brez Be-7 večji od 2 (2,94). Za razliko od vzorčenja in priprave savskih vod, sedimentov in podtalnice, je vzorčenje hrane in zemlje iz istega območja bolje določeno in enolično, kar se posledično kaže s skladnimi rezultati in nižjimi vrednostmi u-preskusov.



Slika 1: Statistična obdelava rezultatov meritev savske vode in sedimentov v Krškem in Brežicah za obdobje 2017–2019, savske vode v letu 2024, hrane in mleka v letih 2020–2022 ter trave, zemlje in podtalnice v letu 2023

DISKUSIJA IN SKLEPI

Pri neodvisnem nadzoru emisijskih in imisijskih meritev je sedanji izbor in število primerjanih vzorcev premajhno za zanesljivo statistično obdelavo rezultatov meritev pooblaščenih izvajalcev. V tem obsegu daje le zelo grobo oceno sprejemljivosti rezultatov meritev v poročilih.

V letu 2022 je URSJV spremenil obseg neodvisnega nadzora emisijskih meritev plinastih izpustov. Namesto primerjav meritev vsebnosti radionuklidov v aerosolnih filtrih, vzorčenih v dimniku pred RM-24, kjer je vsebnost izmerjenih umetnih radionuklidov premajhna, da bi lahko opravili kakršno koli primerjavo, so predpisali meritve vsebnosti radionuklidov v filtrih ali brisih, ki vsebujejo umetne radionuklide nad mejo detekcije. Te meritve so tudi v letošnjem letu, tako kot v letu 2023, pokazale, da so pri višjih aktivnostih rezultati meritev na istih vzorcih primerljivi. Poudariti je treba, da teh vzorcev pred meritvijo ni treba dodatno pripraviti.

V vzorcih tekočinskih izpustov iz WMT so prisotni različni umetni radionuklidi v merljivih koncentracijah, kar bi omogočalo bolj kakovostno primerjavo med posameznimi pooblaščenimi izvajalci. Vendar se pri neodvisnem nadzoru opravlja primerjava med NEK, ki ima visoko postavljene meje detekcije in ZVD ali IJS, ki imata nižje detekcijske meje. Zaradi tega IJS in ZVD običajno poročata o mnogih radionuklidih nad detekcijsko mejo, ki jih NEK ne detektira. **Zato tako kot v predhodnih letih ponovno predlagamo, da bi pri neodvisnem nadzoru vzorcev WMT sočasno obe neodvisni inštituciji – IJS in ZVD - opravljali visokoločljivostno spektrometrijo gama.** S tem bi pridobili dodatno primerjavo med IJS in ZVD pri vzorcih, ki imajo povišane vsebnosti radionuklidov. Ker nobena od obeh institucij ne opravlja rednih meritev teh vzorcev, bi laboratorija pridobila dodatne dragocene izkušnje pri analizi spektrov s povišano vsebnostjo umetnih radionuklidov ter s tem izboljšala usposobljenost in pripravljenost na morebitne izredne dogodke. Letos so bile pri neodvisnem nadzoru emisijskih meritev tekočih izpustov ponovno opravljene meritve vsebnosti C-14, ki ga v okviru rednega monitoringa kvartalno določa IRB. V letu 2024 je bilo tako kot leta 2022 izvedeno napačno vzorčenje, saj so bili na IJS, Odsek O-2 predani enkratni vzorci. Posledično smiselna primerjava rezultatov ni bila mogoča. Da bi zmanjšali možnost tovrstnih napak predlagamo, da se v projektni nalogi za neodvisni nadzor bolj natančno določi program meritev in vrsto vzorcev za vse sklope ter da se navedejo reference na program rednih meritev ter izvajalce le-teh.

Primerjava rezultatov meritev vsebnosti radionuklidov v vzorcih iz programa neodvisnega nadzora imisijskih meritev kaže, da vzorčenje in priprava znatno prispevata k oceni primerljivosti rezultatov. V splošnem so nabori radionuklidov v poročilih obeh izvajalcev za vzorce savske vode podobni, rezultati pa niso primerljivi. Večja razhajanja so bila pri treh od štirih vzorcev, ponovno so bila največja razhajanja pri rezultatih za Be-7, podobno kot v savski vodi in sedimentih v letih 2017–2019, kar potrjuje, da pri teh vzorcih vzorčenje in priprava vzorcev ključno vplivata na poročane rezultate.

Na podlagi statistične primerjave vseh rezultatov v okviru neodvisnega nadzora v obdobju od 2010 do 2024 poudarjamo naslednje sklepe:

- tako kot prejšnja leta predlagamo, da pri neodvisnem nadzoru tekočinskih izpustov (WMT) vsako leto sodelujeta oba laboratorija (IJS in ZVD); tako bi pridobili dodatno primerjavo med IJS, ZVD in NEK pri vzorcih, ki imajo povišane vsebnosti radionuklidov; s tem bi oba neodvisna laboratorija pridobila dodatne izkušnje pri analizi spektrov s povišano vsebnostjo umetnih radionuklidov in izboljšala usposobljenost in pripravljenost na morebitne izredne dogodke;
- sprememba programa meritev pri neodvisnem nadzoru plinastih izpustov v letu 2022 je omogočila primerjavo na vzorcih, ki vsebujejo merljive vsebosti radionuklidov, na podlagi katerih smo lahko potrdili, da oba pooblaščena laboratorija NEK in ZVD poročata statistično primerljive rezultate meritev; predlagamo, da se v primerjavo vzorcev plinastih izpustov v bodoče vključi tudi IJS in da se redno vsako leto opravljajo primerjave na istih vzorcih med NEK, ZVD in IJS;

- spreminjanje izbora okoljskih vzorcev, ki ga je uvedel URSJV v letu 2020, omogoča kompleksnejšo analizo rezultatov in dodatne sklepe, zato predlagamo in podpiramo, da tudi v prihodnje URSJV nadaljuje s tem pristopom in vsako leto izbere za neodvisni nadzor drug nabor okoljskih vzorcev in meritev iz programa obratovalnega nadzora; na ta način lahko odkrijemo šibke točke v delovnem procesu ter bolje ocenimo, kje so potrebne izboljšave pri delu pooblaščenih izvajalcev;
- da bi zmanjšali možnost napak pri vzorčenju, predlagamo, da se v projektni nalogi za neodvisni nadzor bolj natančno določi program meritev in vrsto vzorcev za vse sklope ter da se navedejo reference na program rednih meritev ter izvajalce le-teh.

EVALVACIJA
UČINKOV NADZOROVANIH IZPUSTOV IZ NEK NA PREBIVALSTVO IN OKOLJE PO RAZLIČNIH PRENOSNIH POTEH

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija

EVALVACIJA UČINKOV NADZOROVANIH IZPUSTOV IZ NEK NA PREBIVALSTVO IN OKOLJE PO RAZLIČNIH PRENOSNIH POTEH

Odgovorni za izdajo: doc. dr. Benjamin Zorko

Uredniki: doc. dr. Benjamin Zorko, mag. Denis Glavič – Cindro in dr. Helena Fajfar

Recenzija: prof. dr. Alojz Kodre, mag. Matjaž Koželj, Daniel Novak, prof. fiz.

Lektoriral: prof. dr. Alojz Kodre
Monografija je lektorirana po mednarodnem standardu ISO 80000.

POGLAVJE	AVTORJI
Radioaktivnost v reki Savi	Matija Škrlep, mag. prof. fiz., ZVD doc. dr. Benjamin Zorko, IJS
Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi	dr. Jasmina Kožar Logar, IJS
Radioaktivnost v usedih	dr. Toni Petrovič, IJS
Zrak	dr. Marko Giacomelli, ZVD
Zunanje sevanje	Klara Poiškruh, mag. med. fiz., IJS Boštjan Črnič, mag. med. fiz, IJS
Radionuklidi v hrani	prof. dr. Katarina Vogel Mikuš, BF

Založil: Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, Ljubljana

Prva izdaja: april 2025

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

539.16:502.175(497.4)
621.311.25(497.4Krško)

EVALVACIJA učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh / [uredniki Benjamin Zorko, Denis Glavič - Cindro in Helena Fajfar ; avtorji Matija Škrlep ... et al.]. - 1. izd. - Ljubljana : Institut "Jožef Stefan", 2025

ISBN 978-961-264-315-7
COBISS.SI-ID 231015939

Vse pravice pridržane. Noben del monografije ne sme biti reproduciran, shranjen ali prepisan v kateri koli obliki oziroma na kateri koli način, bodisi elektronsko, mehansko, s fotokopiranjem, snemanjem ali kako drugače, brez predhodnega privoljenja Nuklearne elektrarne Krško ©. Avtorska dela so intelektualna last Instituta "Jožef Stefan".

Naklada: 50 izvodov

V S E B I N A

Predgovor urednika

1	**Radioaktivnost v reki Savi**	**5 / 122**
2	**Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi**	**31 / 122**
3	**Radioaktivnost v usedih**	**47 / 122**
4	**Zrak**	**61 / 122**
5	**Zunanje sevanje**	**85 / 122**
6	**Radionuklidi v hrani**	**101 / 122**
7	**Reference**	**117 / 122**

PREDGOVOR UREDNIKA

Monografija *Evalvacija učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh* obravnava stanje v okolju v okolici jedrske elektrarne Krško (NEK) v letu 2024. V aprilu, ko je bil redni remont, se je zaključil 33. gorivni ciklus delovanja jedrske elektrarne, v začektku maja pa se je pričel 34. gorivni ciklus. Monografija je samostojna priloga poročila *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2024*, interna oznaka 15/2025. Monografijo sta neodvisno recenzirala ("peer review") prof. dr. Alojz Kodre in mag. Matjaž Koželj.

Recenzent prof. dr. Alojz Kodre, zaslužni profesor Univerze v Ljubljani, je diplomiral iz fizike leta 1966, magistriral leta 1971 in doktoriral leta 1974. Po diplomi se je zaposlil kot asistent na Oddelku za fiziko FNT in dopolnilno na IJS. Leta 1975 je bil habilitiran za docenta za fiziko, leta 1981 za rednega profesorja. Predaval je matematično fizikalne predmete (Matematična fizika I in II, Modelska analiza), kot raziskovalec se je ukvarjal z fiziko notranjih atomskih lupin. V domačem laboratoriju je razvijal absorpcijsko rentgensko spektroskopijo, leta 1989 pa so v skupini sodelavcev prvi v Sloveniji začeli z meritvami s sinhrotronsko svetlobo na sinhrotronu DESY v Hamburgu, pozneje tudi na sinhrotronih LURE v Orsayu in ESRF v Grenoblu ter Elettra v Bazovici pri Trstu. V letih 1977 in 1978 je kot »Fulbright research fellow« obiskal University of N. Carolina v Chapel Hillu, v letih 1989 in 1990 pa kot »Fulbright visiting professor« University of Oregon v Eugeneu. V času tega obiska je sodeloval v eksperimentih na sinhrotronih v Brookhavnu in Stanfordu. Njegova bibliografija obsega prek petsto enot, od tega prek dvesto osemdeset znanstvenih člankov. V soavtorstvu z I. Kuščerjem je objavil učbenik Mathematik in Physik und Technik (Springer-Verlag 1993) in v slovenščini Matematika v fiziki in tehniki (DMFA 1994).

Mag. Matjaž Koželj ima več kot tridesetletne izkušnje na področju jedrske tehnologije in varstva pred sevanji. Pri vrednotenju učinkov NE Krško na okolje in prebivalstvo sodeluje že več kot dvajset let. Je pooblaščeni izvedenec varstva pred sevanji za področje izpostavljenosti prebivalcev zaradi izvajanja sevalnih dejavnosti in za področje varstva pred sevanji v jedrskih objektih, industriji, raziskovalnih in izobraževalnih ustanovah. Do upokojitve leta 2023 je bil predavatelj v Izobraževalnem centru za jedrsko tehnologijo Instituta "Jožef Stefan", kjer sodeluje pri izvedbi predavanj na področju varstva pred sevanji, jedrske in reaktorske fizike ter instrumentacije in regulacije. Mag. Matjaž Koželj je avtor ali soavtor več kot osemdeset izvirnih znanstvenih in strokovnih člankov, znanstvenih prispevkov na konferencah, samostojnih znanstvenih in strokovnih sestavkov, poročil in elaboratov. V preteklosti je kot ekspert in predavatelj sodeloval pri več tečajih, ki jih je organizirala Mednarodna agencija za atomsko energijo. Skoraj petnajst let je že član, zadnja leta pa tudi vodja ene izmed strokovnih skupin za oceno doz v skupini za obvladovanje izrednega dogodka pri Upravi RS za jedrsko varnost. Je tudi član Izvršilnega odbora Društva Slovenije za varstvo pred sevanji.

Monografija obravnava merske rezultate in modelske izračune za ugotavljanje radioaktivnosti v okolju zaradi naravne radioaktivnosti, splošnega onesnaženja, nesreč v jedrskih objektih ter nadzorovanih izpustov iz NEK. Neprekinjeno zbiranje in vrednotenje merskih podatkov (obdobna povprečja) omogoča prikazovanje časovnih teženj in s tem tudi podporo pri trajni umestitvi jedrskega objekta v življenjski prostor. Za to uporabljamo prikladne modele s kompleksnimi matematičnimi in numeričnimi algoritmi, s katerimi lahko ocenimo koncentracije radionuklidov v tistih medijih, prek katerih se radioaktivnost vnese v človekovo telo (zaužitje, inhalacija) ali pa človekovo telo obdaja (zunanje sevanje). Rezultate izračunov primerjamo z izmerjenimi vrednostmi na lokacijah okoli NEK ter referenčnih lokacijah v Sloveniji. Z leti smo v raziskavah našli ustrezne načine računanja in poročanja o majhnih vrednostih [58]. Z upoštevanjem porabe ali časa zadrževanja v izbranem mediju lahko ocenimo letne efektivne doze ali okoljski dozni ekvivalent zračnih in tekočinskih izpustov iz NEK na referenčne osebe iz različnih starostnih skupin (odrasli, otroci in dojenčki), ki živijo v neposredni bližini jedrske elektrarne (500 m od osi reaktorja in dalje).

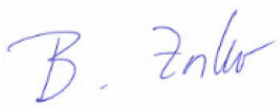
Monografija *Evalvacija učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh* ima sedem vsebinsko povezanih poglavij. Obravnavani so prenosi radionuklidov po vodi, zraku, zemlji, hrani in neposredno zunanje obsevanje. Poglavja se vsebinsko dopolnjujejo in prepletajo.

V prvem poglavju *Radioaktivnost v reki Savi* tako razlagamo učinek tekočinskih izpustov NEK na okolico in referenčno osebo iz različnih starostnih skupin, vse do vnosa radionuklidov v telo (efektivna doza zaradi notranjega obsevanja) in tudi zunanjega sevanja (efektivna doza zaradi zunanjega obsevanja). Tekočinski izpusti lahko vplivajo na pitno vodo zaradi mogočega stika Save s podtalnico, kar se obravnava v drugem poglavju *Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi*. Ker so nekatera črpališča na krško-brežiškem področju plitva, zemljina pa prepustna, je mogoč vpliv na podtalnico tudi po zračni prenosni poti s padavinami. Used lahko vodi do zunanjega in notranjega obsevanja, saj se delci v zraku posedajo na tla in lahko preko listov značilno pridejo v rastlinje, ki ga prebivalci uživajo (*Radioaktivnost v usedih).* Če se takšen used zadrži v tleh, so prebivalci lahko izpostavljeni še zunanjemu sevanju. Transport in razširanje plinov in aerosolov obravnava poglavje *Radioaktivnost v zraku*, kjer je glavno orodje za ocenjevanje učinkov napredni numerični model. Le-ta realno opisuje razširjanje radioaktivnih snovi od točke izpusta na razgibanih in zahtevnih terenih ter območjih, kjer je hitrost vetra majhna. V petem poglavju *Zunanje sevanje* obravnavamo izpostavitev referenčne osebe zunanjemu ionizirajočemu sevanju. Poglavje *Radionuklidi v hrani* opisuje in razlaga učinke na prebivalstvo zaradi zaužitja hrane, ki je pridelana na krško-brežiškem polju. Merski izidi se kritično primerjajo s podatki po Sloveniji. Obravnavo smo dopolnili s statistično analizo, kar je dopolnitev kritične presoje podatkov in s tem dodana vrednost k celotni monografiji. V zadnjem poglavju so zbrane vse reference, uporabljene v monografiji *Evalvacija učinkov nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo in okolje po različnih prenosnih poteh.*

Avtorji poglavij v monografiji, strokovnjaki s področij jedrske fizike, kemije, biologije, jedrske varnosti in sevalne zaščite, so svoje prispevke pripravili izvirno ter znanstveno-strokovno, s kritično obravnavo merskih izidov in spremljajočih podatkov. V svojih prispevkih skladno z zakonodajo neodvisno in znanstveno-strokovno vrednotijo problematiko izpustov iz jedrske elektrarne in njihove morebitne učinke na prebivalstvo v bližnji in širši okolici NEK.

Ugotavljajo, da prebivalci na območju NEK niso bolj izpostavljeni ionizirajočemu sevanju kot prebivalci drugod po Sloveniji. Prispevek NEK zaradi izpustov je ocenjen kot zanemarljiv tako z biološkega kot statističnega vidika. Obravnava temelji na zahtevah slovenske zakonodaje (Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti [8]) ter znanstveno-strokovnih pristopih za vrednotenje merskih podatkov in učinkov ionizirajočega sevanja na prebivalstvo.

Skupina za meritve ionizirajočega sevanja Instituta "Jožef Stefan" (IJS) je močno vpeta v metrološko stroko, saj imamo edini v regionalnem področju v radiju nekaj 100 km potrjene in usklajene predloge najboljših merskih zmožnosti (CMC) na ravni regionalnih metroloških organizacij in Mednarodnega biroja za mere in uteži (BIPM) za aktivnosti (Bq/kg). S tem lahko dokazujemo visoko znanstveno-raziskovalno ter strokovno usposobljenost tako za izvedbo meritev kot tudi za njihovo objavo in ovrednotenje.



doc. dr. Benjamin Zorko, odgovorni urednik

1 RADIOAKTIVNOST V REKI SAVI

POVZETEK

V poglavju so predstavljeni in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v reki Savi (rečna voda, sedimenti, ribe) in ocena učinkov na prebivalstvo tako iz meritev tekočinskih izpustov iz NEK v reko Savo in z uporabo modelov, kot tudi iz meritev koncentracij aktivnosti radionuklidov in okoljskih vzorcev. V letu 2024 je bila skupna aktivnost tekočinskih izpustov v okolje primerljiva s prejšnjimi leti. Največ je prispeval tritij, edini umetni radionuklid, ki ga redno merimo v reki Savi in je zagotovo vsaj delno posledica tekočinskih izpustov NEK. Pri vseh drugih umetnih radionuklidih je učinek NEK v okolju nemerljiv oziroma nedoločljiv. Vsebnosti cezija in stroncija v okoljskih vzorcih nizvodno od NEK zelo verjetno nista posledica učinkov NEK na okolje, ampak posledica neenakomerne globalne kontaminacije. Prisotnost joda v reki Savi je posledica uporabe tega radionuklida v terapevtski in diagnostični rabi v bolnišnicah.

Izpostavitev prebivalstva smo ocenili iz neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo modela, ki je bil izdelan v letu 2003 in revidiran v letu 2009. Za modelno oceno obremenitev, ki bi jih lahko prinesle zgolj po Savi potekajoče prenosne poti, je bila kot referenca izbrana skupina brežiških športnih ribičev in članov njihovih družin, ki lovijo do 350 m nizvodno od jezu NEK. Letna efektivna doza zaradi zadrževanja na obrežju zaradi zunanjega sevanja in zaužitja rib za referenčno skupino prebivalstva po savski prenosni poti je nižja ali enaka 0,0101 μSv na leto.

Zaradi gradnje HE Brežice 7,2 km nizvodno od NEK in nastanka pretočnega akumulacijskega jezera je prišlo do sprememb pri načinih in poteh izpostavitve prebivalstva sevanju. Vpeljan je bil nov model, ki temelji na teoretični napovedi mešanja in redčenja z uporabo tridimenzionalnega hidrodinamičnega transportnega modela PCFLOW3. V okviru projektne naloge je bila izdelana tudi spletna platforma DOSENEK, po kateri se vnaša merske in druge podatke in se na podlagi računskih postopkov izračuna efektivne doze za tri različne starostne skupine ljudi in dve vrsti vodnih organizmov v pretočni akumulaciji HE Brežice. Pod jezom HE Brežice se efektivna doza za referenčno osebo oceni iz rezultatov analiz okoljskih vzorcev pod jezom in ocenjenih efektivnih doz nad jezom. Letna efektivna doza po petih obravnavanih prenosnih poteh za odraslo referenčno osebo v pretočni akumulaciji HE Brežice (obravnavane lokacije) po savski prenosni poti ocenjena po novem modelu je nižja ali enaka 0,0038 μSv na leto. Ocenjeni vrednosti po veljavnem modelu iz leta 2009 in novem modelu sta primerljivi po vrednosti. Novi model upošteva dodatne poti izpostavitve, nove porabe in čase zadrževanj na bregu in jezeru ter za računanje parametrov (koncentracija aktivnosti radionuklidov v pretočni akumulaciji) uporablja tridimenzionalni transportni model.

UVOD

Nadzorni program vzorčenj in meritev za ugotavljanje radioaktivnosti v reki Savi obsega analize vzorcev iz okolja (imisije) in meritve tekočinskih izpustov na samem viru v NEK (emisije). Meritve v okolju omogočajo splošno oceno stanja na območju okoli NEK, oceno morebitnih učinkov nizvodno od elektrarne in tudi učinkov zunanjih dogodkov, kot je bila černobilska nesreča. Program obsega vzorčenje in meritve vode, suspendiranih snovi v vodi, sedimentov in vodne biote. Lokacije vzorčenja so postavljene nizvodno in vzvodno od NEK, tako da je mogoče ločiti med drugimi zunanjimi vplivi in dejanskimi učinki elektrarne.

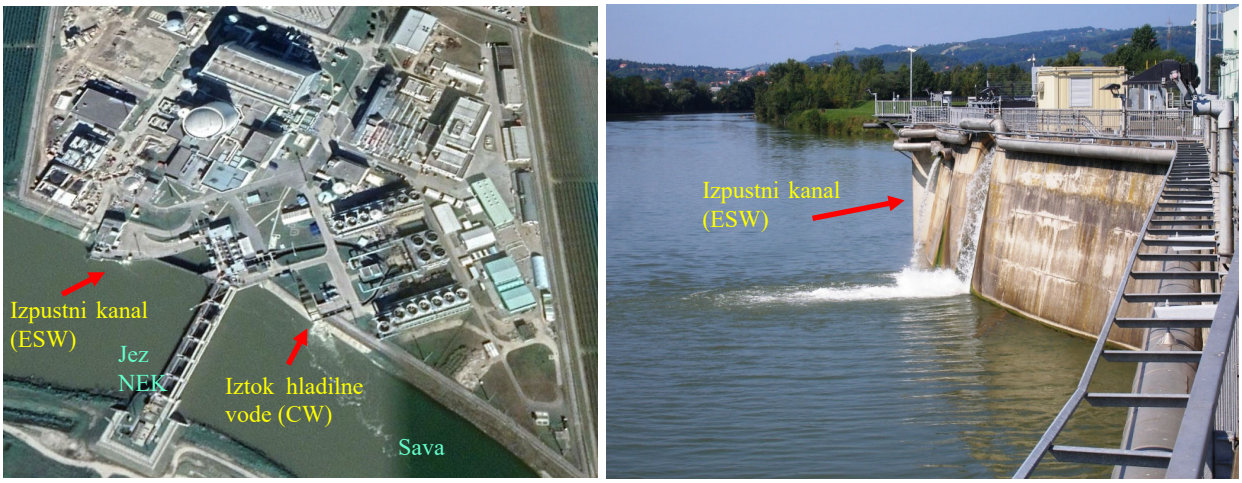
NEK pri normalnem obratovanju občasno kontrolirano izpušča v okolje tekočine iz izpustnih rezervoarjev. Tekočine z nizkimi aktivnostmi radionuklidov se izpuščajo v reko Savo skozi kanal bistvene oskrbne vode (ESW – Essential Service Water), ki je nad jezom jedrske elektrarne. Skozi kanal se tako izpuščajo radioaktivne tekočine iz odpadnih merilnih rezervoarjev (WMT) in sistema za kaluženje uparjalnikov (SGBD). Izpuščena radioaktivnost je zaradi redčenja s savsko vodo na lokacijah vzorčenja, razen za tritij, skoraj vedno pod detekcijsko mejo meritev v okolju.

V reki Savi so tudi naravni radionuklidi uranove in torijeve razpadne verige ter radioaktivni kalij (K-40). V vzorcih je vedno berilij (Be-7), ki je kozmogene narave, ter tritij (H-3) in radioaktivni ogljik (C-14), ki sta tako kozmogene kot antropogene narave. Poleg naravnih in kozmogenih radionuklidov sta zaradi

globalne kontaminacije povsod v okolju tudi umetna radionuklida: stroncij (Sr-90) in cezij (Cs-137). Zaradi uporabe v medicini je v reki Savi še jod (I-131).

Učinke na prebivalstvo ocenjujemo iz neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo modela, ki je natančneje opisan v poročilu *Izpostavitev referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo (IJS-DP-10114)* [27]. Model, ki temelji na enodimenzionalni projekciji rešitve parcialne diferencialne enačbe za opis transporta in razširitve oblaka izpuščenih tekočin, upošteva najpomembnejše prenosne poti in načine izpostavitve referenčne skupine iz prebivalstva (referenčne osebe). Ocena učinka na okolje ne vključuje ovrednotenja prejetih doz zaradi naravnih radionuklidov, saj ti niso del izpustov NEK.

Za primerjavo smo učinke na prebivalstvo ocenili tudi z uporabo modela, ki je natančneje opisan v poročilu *Program za računanje efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov iz NEK, verzija 3.0* [33]. Model PCFLOW3D ([31], [32]), ki temelji na tridimenzionalni simulaciji transporta in razširitve oblaka izpuščenih tekočin po reki Savi, upošteva najpomembnejše prenosne poti in načine izpostavitve referenčne skupine iz prebivalstva (referenčne osebe). Razvit je bil v skladu s tehnično specifikacijo *Dose Calculation and dilution modelling of run-of-river Brežice hydro plant accumulation* št. TO RZ-5/2020 [29]. Izdelana je bila programska oprema DOSENEK, ki omogoča izračun prejetih efektivnih doz na različne referenčne osebe in organizme za 7 lokacij na območju pretočne akumulacije HE Brežice. Potreba po novi metodologiji se je pokazala po izgradnji HE Brežice, ko so na tem območju Save nastopile nove hidravlične razmere, ki jih ne poznamo dobro. Tudi pri novem modelu ocena učinka na okolje ne vključuje ovrednotenja prejetih efektivnih doz zaradi naravnih radionuklidov, saj ti niso del izpustov NEK.



Slika 1.1: Izhod bistvene oskrbne vode (ESW), kjer se izpuščajo radioaktivne tekočine iz odpadnih merilnih rezervoarjev (WMT) in sistema za kaluženje uparjalnikov (SGBD). Fotografija na desni je posneta z jeza NEK.

V okviru projektne naloge je bila predlagana tudi eksperimentalna študija sledenja vsebnosti tritija v reki Savi nizvodno od jezu NEK, ki se bo uporabila za primerjavo med teoretičnimi napovedmi koncentracij aktivnosti tritija v reki Savi in izmerjenimi vrednostmi. Hidrodinamske in hidravlične razmere so bile razdelane v ločeni študiji s simulacijo širjenja toplotnega onesnaženja nizvodno od jezu NEK [34], hidravlične lastnosti reke Save pa so bile dodatno podkrepljene z batigrafskim slikanjem globine [35].

Neodvisno od radiološkega nadzora NEK se izvaja tudi nadzor drugih rek po Sloveniji v okviru programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji [20]. Na Savi v Ljubljani, Krki, Savi pri Brežicah, Dravi, Muri in Kolpi se polletno jemljejo vzorci vode. Rezultati teh meritev se uporabljajo za splošno oceno stanja v Sloveniji, obenem pa jih uporabljamo kot referenčne vrednosti za oceno učinka NEK.

OKOLJSKI VZORCI

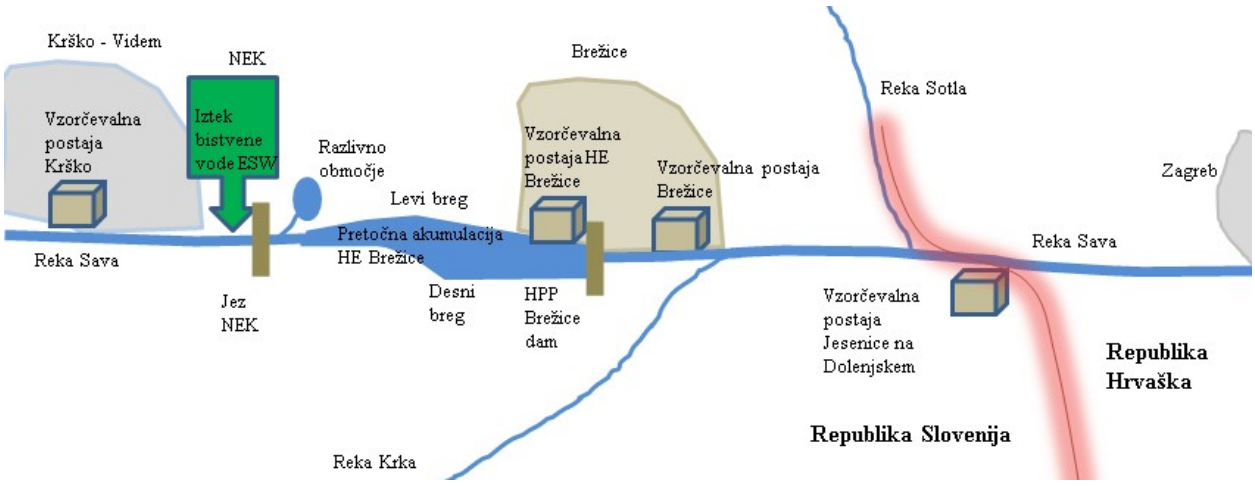
Značilnosti vzorčenja

Neprekinjeno vzorčenje reke Save je potekalo v rečni matici na štirih lokacijah (slika 1.2), in sicer v Krškem pred papirnico (3,2 km vzvodno od NEK), pri HE Brežice (nad jezom, 7,2 km nizvodno od NEK), v Brežicah (8,2 km nizvodno od NEK in 400 m nizvodno od starega mostu) in v Jesenicah na Dolenjskem (17,5 km nizvodno od NEK). Vzorčevalnik za neprekinjeno vzorčenje na referenčnem odvzemnem mestu Krško (v črpalni postaji za tehnološko vodo papirnice Vipap) deluje tako, da se zbirajo in merijo vzorci četrtletno, razen za tritij, ki se vzorčuje mesečno. Po izgradnji jeza HE Brežice je bila v letu 2017 zgrajena nova avtomatska vzorčevalna postaja HE Brežice, ki je na levem bregu Save 100 m nad jezom (sliki 1.2 in 1.3). Košara za zajem vode je na sredini jezu HE Brežice v najnižjem delu v rečni matici (na globini 10 m). Tudi vzorčevalna postaja v Brežicah je na levem bregu, rečna voda se neprekinjeno zajema iz rečne matice. Na vzorčevalnih postajah HE Brežice in Brežice delujeta enaka vzorčevalnika z avtomatskim dnevnim zajemom vode. Voda se črpa v prelivno zbirno posodo. Iz prelivne posode manjša črpalka neprekinjeno črpa vodo in jo naliva v eno izmed štirih zbirnih posod. Voda se pretaka prek filtrov, tako da se ločeno zbira filtrski ostanek. V vsaki posodi se zbira dnevni vzorec, ki omogoča tudi odvzem enodnevnega vzorca v primeru izrednega dogodka. Na dan se nabere nekaj litrov vode. Vzorčevalec nato na tri dni iz vsake zbirne posode natoči 1,6 litra vode v vzorčevalno posodo (mesečni vzorec 50 litrov). Na podoben način poteka odvzem vzorcev v Jesenicah na Dolenjskem, kjer se enako zbirajo mesečni vzorci. Postaja je tam na desnem bregu. Košara za zajem rečne vode blizu rečne matice je bližje desnemu bregu.

Vzorčenja na postajah je opravljal NEK, meritve vzorcev pa so opravljale pooblaščene organizacije ZVD, IRB in IJS. Neprekinjena vzorčenja sestavljenih dnevnih vzorcev savske vode so namenjena predvsem za ugotavljanje povprečne koncentracije aktivnosti dolgoživih radionuklidov. Pri tem se ločeno merita voda in filtrski ostanek, ki se kot groba suspendirana snov predhodno odstrani iz vode s filtriranjem.

Neprekinjeno vzorčenje ne omogoča ovrednotenja kratkoživih radionuklidov. Zato se neodvisno izvaja tudi kvartalno ali mesečno vzorčenje posamičnih vzorcev nefiltrirane vode (50-litrski vzorci). Iz rezultatov teh meritev lahko ugotavljamo koncentracije aktivnosti kratkoživega joda (I-131).

Ločen odvzem posamičnih vzorcev vode je tako potekal na osmih lokacijah in sicer v Krškem, v razlivnem območju ("nadomestni habitat" 1,7 km nizvodno od NEK), na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice (4,5 km in 5,5 km od NEK), neposredno nad jezom HE Brežice (ob avtomatski postaji), v Brežicah pod starim mostom, v Jesenicah na Dolenjskem in v kraju Podsused pri Zagrebu (okrog 30 km nizvodno od NEK). Lokacija na razlivnem območju je namenjena spremljanju vode za zapornim jezom HE Brežice, ki je na levem bregu in omogoča razlivanje reke pri zelo visokih vodostajih. Vzorčenje posamičnih vzorcev vode sta opravila ZVD in IRB.



Slika 1.2: Shematski prikaz vseh vzorčevalnih postaj za neprekinjeno vzorčenje ob reki Savi po izgradnji akumulacijskega jezera HE Brežice

Slika 1.3: Avtomatska vzorčevalna postaja HE Brežice (7,2 km nizvodno od NEK), kjer poteka neprekinjen zajem vzorcev vode

Za ovrednotenje učinkov po savski prenosni poti se kvartalno in mesečno spremlja tudi radioaktivnost v sedimentih. Pri teh učinkih je pomemben dolgoletni časovni potek, povezan z globalno kontaminacijo. To je tudi informacija o ničelnem stanju v primeru, da bi prišlo do resnejših izpustov iz NEK. Vzorčenje sedimentov je potekalo na 9 lokacijah in sicer vzvodno od NEK pod mostom (na levem bregu), pod jezom v NEK (desni breg), pri Pesju (na levem bregu), na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera HE Brežice, neposredno nad jezom HE Brežice (ob avtomatski postaji), pri Brežicah (na levem bregu), pri Jesenicah na Dolenjskem (na desnem bregu) in na Hrvaškem v kraju Podsused pri Zagrebu. Vzorčenje sedimentov sta opravila ZVD in IRB. Opažamo, da se tri lokacije vzorčenja podvajajo in da je glede na obliko brežine akumulacijskega jezera HE Brežice težko pridobiti reprezentativni vzorec sedimenta na bregovih akumulacije.

Poleg spremljanja radioaktivnosti površinskih vod in sedimentov je pomemben indikator kontaminacije v Savi tudi vodna biota (ribe). Ulov rib je potekal na šestih lokacijah v Krškem, na akumulacijskem jezeru HE Brežice, v Brežicah, Jesenicah na Dolenjskem ter v Republiki Hrvaški v krajih Podsused in Otok. Četrtletno vzorčenje rib v Sloveniji je opravil ZVD, na Hrvaškem pa IRB.

Značilnosti meritev okoljskih vzorcev

Pri vzorcih vode, sedimentov in rib ločeno potekajo meritve sevalcev gama in čistih sevalcev beta (H-3, C-14 in Sr-90). Vsebnost sevalcev gama v vzorcih reke Save se je določala z visokoločljivostno spektrometrijo gama po postopku izvajalca meritev, ki vključuje pripravo vzorca s sušenjem (izparevanje v sistemu s prisilno ventilacijo) in homogenizacijo. S tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo (LSC) je bila merjena koncentracija aktivnosti tritija (H-3) v destilatu savske vode. Z metodo LSC je bila merjena tudi vsebnost C-14. Aktivnost Sr-90 se je določala z radiokemijsko separacijo in štetjem na proporcionalnem števcu po postopku izvajalca meritve. Merska metoda za določanje stroncija ne omogoča ločenega merjenja radionuklidov Sr-90 in Sr-89, zato izmerek pomeni skupno aktivnost Sr-90/Sr-89. Ker pa je bila koncentracija aktivnosti kratkoživega Sr-89 v tekočinskih izpustih NEK pod mejo detekcije, se koncentracija aktivnosti Sr-90/Sr-89 dejansko nanaša le na Sr-90. Poleg tega je zaradi kratke razpolovne dobe Sr-89, ki bi bil posledica globalne kontaminacije, že v celoti razpadel.

Vzorčenje in meritve na savski prenosni poti razlikujemo glede na vrsto vzorcev:

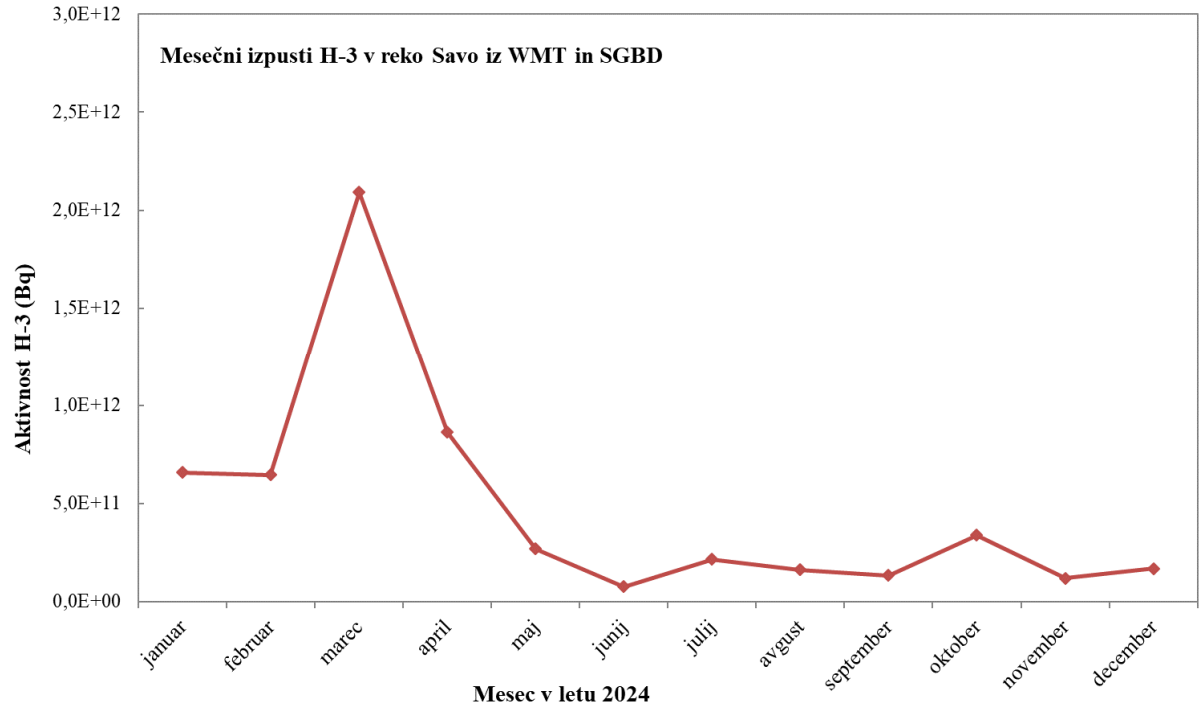
- vzorčenje vode skupaj z grobo suspendirano snovjo (količina vzorca vode je 50 litrov) in ločene meritve sušine vzorcev vode in filtrskega ostanka vode, ki se kot groba suspendirana snov predhodno odstrani iz vode s filtriranjem;
- vzorčenje talnih sedimentov, ki v glavnem vsebujejo fini pesek (količina vzorca od 100 g do 500 g); vzorčenje gibljivih sedimentov, ki vsebujejo več organske snovi, se od leta 2005 ne izvaja več;
- vzorčenje in meritve rib vrst krap, podust, klen, som, nosara, babuška, ščuka, plotica, grgeč z maso od 342 g do 770 g; pred pripravo vzorcev se odstranijo repi in glave rib.

REZULTATI MERITEV IN TIPIČNI ČASOVNI POTEKI

Seznam meritev, pogostost posameznih meritev, merski rezultati in izvajalci meritev so navedeni v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010, marec 2025*, ki so na priloženi zgoščenki v poročilu. Tabele z merskimi podatki o vodah in sedimentih so: T-1 do T-4 (ZVD, H-3 – IJS), T-5, T-6 (IRB); T-7, T-9, T-10, T-12, T-13, T-14 (ZVD, H-3 – IJS); T-11, T-15/p, T-16/p1, T-16/p2, T-16/p3, T-17/p, T-18 (IRB), T-HE 1 do T-HE 9 (ZVD, H-3 – IJS). Tabele z merskimi podatki o ribah so: T-19, T-21, T-22 (ZVD); T-22/p1, T-24, T-25 (IRB), T-HE 10, T-HE 11 (ZVD).

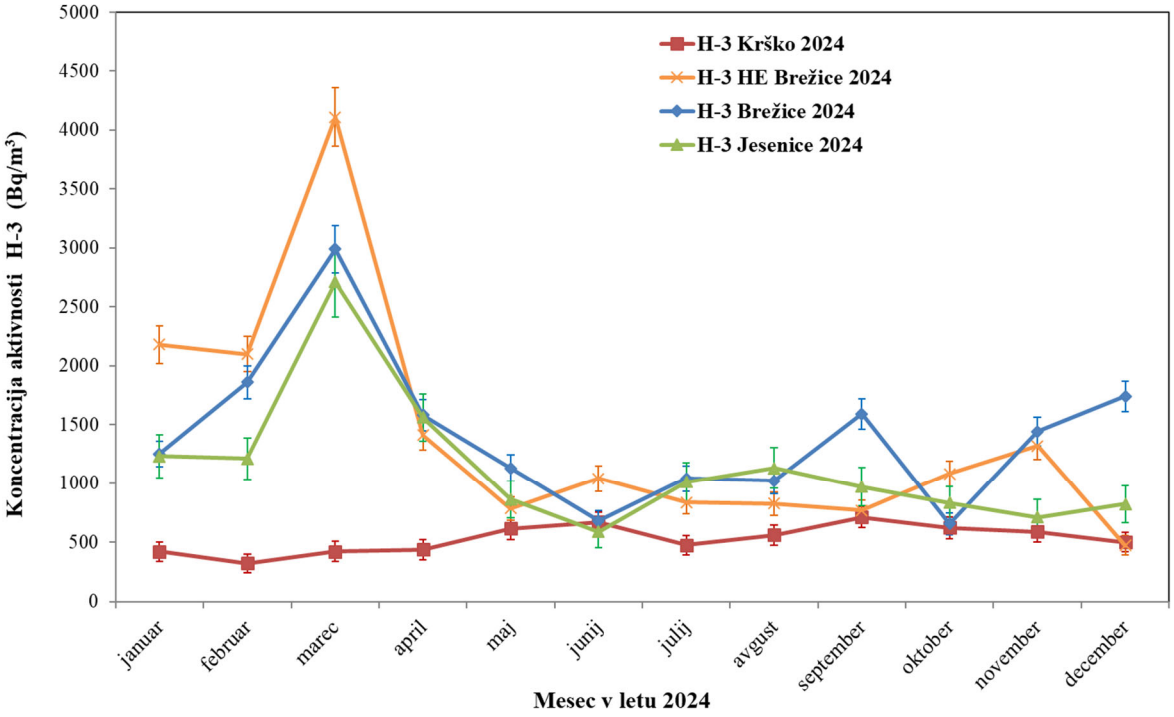
Tritij (H-3)

V vseh jedrskih elektrarnah je prisoten radioaktivni izotop vodika tritij (H-3) v tekočinskih in atmosferskih izpustih. Kot kozmogeni radionuklid nastaja tudi v zgornji plasti atmosfere pri jedrskih reakcijah visokoenergijskega kozmičnega sevanja z dušikom. Tritij se veže v molekulo vode (HTO) in z dežjem pride do zemeljske površine. Večina tritija je razredčena v oceanih. Poskusne jedrske eksplozije v petdesetih in šestdesetih letih prejšnjega stoletja so naravni inventar tritija povečale za dva velikostna reda. Tako je njegova koncentracija aktivnosti v deževnici na severni polobli narasla z 0,6 kBq/m^3 na 150 kBq/m^3 v letu 1963 [24]. Do danes se je zaradi radioaktivnega razpada in prehoda v oceanske vode koncentracija aktivnosti H-3 v deževnici znižala na prvotnih 0,6 kBq/m^3. Tritij je edini radionuklid, ki ga je mogoče sistematično spremljati v okolju kot nedvomno posledico izpustov NEK. Zato je uporaben kot sledilec in z njegovo razredčitvijo ocenimo tudi koncentracije drugih radionuklidov, ki jih v okolju navadno ne zaznamo [27].



Slika 1.4: Mesečne aktivnosti tekočinskih izpustov H-3 iz NEK v letu 2024

Tritij je redno prisoten v tekočinskih efluentih NEK. Po podatkih NEK so bili največji mesečni tekočinski izpusti H-3 opravljeni v marcu (2,09 TBq, slika 1.4). Skupni letni izpust v letu 2024, 5,73 TBq, je bil opazno nižji od skupnega izpusta v letu 2023 (11,7 TBq) in nižji od povprečja letnih aktivnosti H-3 v tekočinskih izpustih od 1999 do 2023 (12,5 TBq). Na sliki 1.5 je prikazana primerjava koncentracij aktivnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, nad jezom HE Brežice, Brežice in Jesenice na Dolenjskem v letu 2024.



Slika 1.5: Primerjava koncentracij aktivnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, HE Brežice, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Lokacija Krško je v toku Save nad elektrarno in je zato referenčna. Na tej lokaciji je bilo v letu 2024 povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 0,53 kBq/m^3.

Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 nad jezom HE Brežice (1,4 kBq/m^3) je višje od koncentracij aktivnosti na referenčnem odvzemnem mestu Krško (0,53 kBq/m^3). V Brežicah (za jezom HE Brežice) je povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti 1,4 kBq/m^3 nižje od dolgoletnega povprečja 3,9 kBq/m^3 za zadnjih 20 let. Izmerjeno povprečje koncentracij aktivnosti v Jesenicah na Dolenjskem (letno povprečje 1,1 kBq/m^3) je zaradi vmesnega sotočja z reko Krko pričakovano nižje kot v Brežicah.

Izmed lokacij, kjer se voda vzorčuje neprekinjeno (filtriran vzorec), je bila nad jezom HE Brežice najvišja vrednost (4,1 ± 0,3) kBq/m^{3}izmerjena v mesecu marcu, v Brežicah v mesecu marcu (3,0 ± 0,2) kBq/m^3 in v Jesenicah na Dolenjskem prav tako v mesecu marcu (2,7 ± 0,3) kBq/m^3. V Krškem je bila najvišja vrednost tritija (0,71 ± 0,09) kBq/m^3 izmerjena v septembru.

Tabela 1.1: Vrednosti korelacijskega koeficienta med koncentracijami aktivnostmi H-3 in aktivnostjo tekočinskih izpustov H-3 iz NEK

Vrednost korelacijskega koeficienta	Primerjava med izpusti in vzorčevalni lokacijami
0,00	levi breg pretočne akumulacije HE Brežice
–0,36	desni breg pretočne akumulacije HE Brežice
0,93	nad jezom HE Brežice
0,80	Brežice
0,97	Jesenice na Dolenjskem

V tabeli 1.1 prikazujemo moč povezanosti mesečnih izmerjenih koncentracij aktivnosti na vzorčevalnih mestih nizvodno od jezu NEK in mesečnimi aktivnosti H-3 v tekočinskih izpustih iz NEK. Merilo za korelacijo (povezanost med spremenljivkama) je vzorčni korelacijski (Pearsonov) koeficient [51], ki je predstavljen v tabeli 1.2. Iz tabele 1.1 lahko ugotovimo, da je povezanost med izpuščenimi aktivnostmi H-3 ter izmerjenimi aktivnostmi na vzorčevalnih postajah nad jezom HE Brežice, Brežice in Jesenice na Dolenjskem močna oziroma zelo močna. Nasprotno je povezanost med izpuščenimi aktivnostmi H-3 ter izmerjenimi aktivnostmi na vzorčevalnih postajah na levem in desnem bregu pretočne akumulacije nična oziroma šibko negativna. Z enkratnim vzorčenjem vode ne ocenimo mesečnega povprečja, pač pa trenutno vrednost, zato je šibkejša moč povezanosti na takih lokacijah pričakovana.

Tabela 1.2: Merila moči povezanosti spremenljivk[12] v odvisnosti od absolutne vrednosti korelacijskega koeficienta

Absolutna vrednost korelacijskega koeficienta	**Moč povezanosti**
0,00	ni povezanosti
0,01–0,19	neznatna povezanost
0,20–0,39	nizka/šibka povezanost
0,40–0,69	srednja/zmerna povezanost
0,70–0,89	visoka/močna povezanost
0,90–0,99	zelo visoka/zelo močna povezanost
1,00	popolna (funkcijska) povezanost

Tabela 1.3: Vrednosti korelacijskega koeficienta za primerjavo med koncentracijami aktivnostmi H-3 na vzorčevalnih lokacijah nizvodno od jezu NEK

Vrednost korelacijskega koeficienta	**Primerjava med vzorčevalni lokacijami**
0,58	levi breg – desni breg pretočne akumulacije HE Brežice
0,12	levi breg – nad jezom HE Brežice
–0,05	levi breg – Brežice
0,05	levi breg – Jesenice na Dolenjskem
–0,40	desni breg – nad jezom HE Brežice
–0,37	desni breg – Brežice
–0,30	desni breg – Jesenice na Dolenjskem
0,75	nad jezom HE Brežice – Brežice
0,87	nad jezom HE Brežice – Jesenice na Dolenjskem
0,82	Brežice – Jesenice na Dolenjskem

[12] Povzeto po https://sl.wikipedia.org/wiki/Pearsonov_koeficient_korelacije

V tabeli 1.3 prikazujemo moč povezanosti izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti na vzorčevalnih mestih nizvodno od jezu NEK. Ugotavljamo, da so povezanosti močne ali zelo močne med vzorčevalnimi postajami nad jezom HE Brežice – Brežice, nad jezom HE Brežice – Jesenice na Dolenjskem ter Brežice – Jesenice na Dolenjskem. To so kombinacije vzorčevalnih postaj, kjer se voda vzorči neprekinjeno. Med vzorčevalnima postajama levi breg pretočne akumulacije in desni breg pretočne akumulacije je povezanost zmerna. Ostale kombinacije vzorčevalnih postaj so neznatno ali negativno povezane.

Pri tem je pomembno, da se na lokacijah največje razširitve v pretočni akumulaciji reka Sava vzorči enkratno mesečno. V primerjavi z vzorčevalnimi mesti, kjer se vzorči neprekinjeno (nad jezom HE Brežice, Brežice in Jesenice na Dolenjskem), lahko na levem in desnem bregu največje razširitve pretočne akumulacije HE Brežice predpostavimo možnost vpliva časovnega poteka dnevnih izpustov na izmerjene koncentracije aktivnosti H-3 v reki Savi.

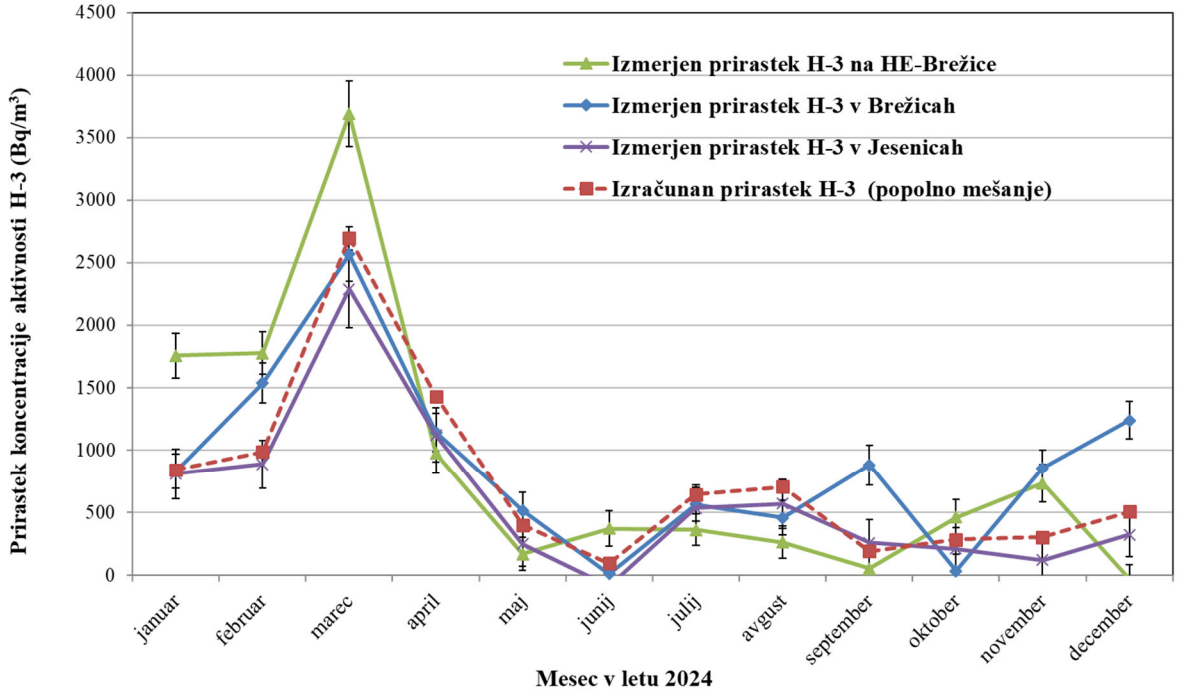
V splošnem so korelacijski koeficienti med lokacijami z enakim vzorčenjem (kontinuirano – kontinuirano ali enkratno – enkratno) višji kot korelacijski koeficienti med lokacijami z različnim vzorčenjem (kontinuirano – enkratno).

Najvišja koncentracija aktivnosti H-3 na levem bregu je bila v letu 2024 izmerjena julija ($0,69 \pm 0,09$) kBq/m^3. Tudi na desnem bregu pretočne akumulacije je bila navišja koncentracija tritija zaznana v juliju ($0,83 \pm 0,09$) kBq/m^3. Koncentracija aktivnosti H-3 v razlivnem področju ("nadomestni habitat" 1,7 km nizvodno od NEK) je bila najvišja v drugem četrtletju ($2,6 \pm 0,1$) kBq/m^3. Površinska voda iz razlivnega območja ni neposredno povezana s tekočo vodo iz Save. Sklepamo, da so povišane koncentracije aktivnosti najverjetneje posledica preteklih izpustov.

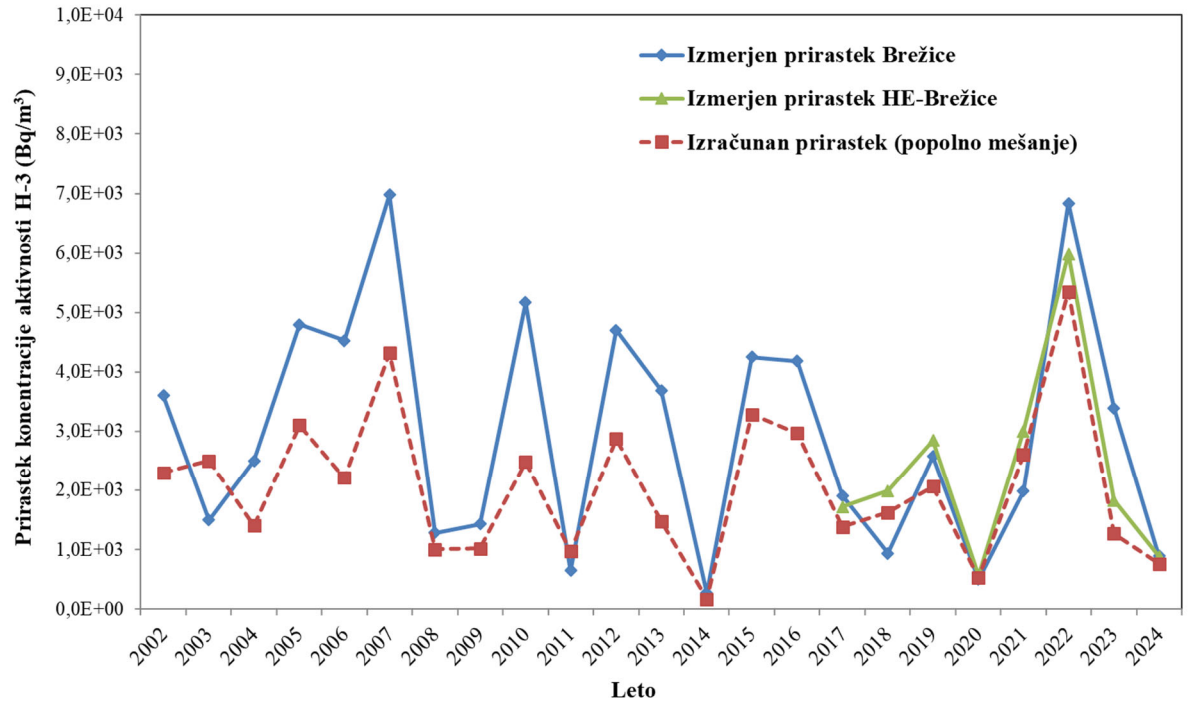
V drugih rekah v Sloveniji je bilo povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 kot v preteklih letih večinoma pod 1 kBq/m^3 [19]. Iz časovnega poteka na sliki 11 v [19] lahko opazimo zmanjševanje povprečja koncentracije aktivnosti H-3 v rekah. Pojavljajo se občasne anomalije, kot je bilo na primer v letih 2013, 2020 in 2022 v reki Savi pri Brežicah, kar je bila posledica tekočinskih izpustov iz NEK. Leto 2022 v tem pogledu močno odstopa od preostalih let, saj so bile povprečne izmerjene vrednosti H-3 precej višje. V letih 2023 in 2024 so se izmerjene koncentracije aktivnosti H-3 vrnile na pričakovane vrednosti.

Na sliki 1.6 je prikazana primerjava med izmerjenimi mesečnimi prirastki koncentracije aktivnosti H-3 in izračunanimi koncentracijami aktivnosti H-3 na HE Brežice, v Brežicah in v Jesenicah na Dolenjskem. Prirastek koncentracije aktivnosti tritija pomeni, da je bila odšteta izmerjena koncentracija aktivnosti tritija (naravno ozadje) na referenčnem mestu v Krškem pred NEK. Izračunano koncentracijo aktivnosti smo dobili tako, da smo mesečni izpust H-3 delili z mesečno količino pretečene savske vode in predpostavili popolno mešanje vode.

Na sliki 1.7 je podana primerjava med izmerjenimi letnimi prirastki koncentracije aktivnosti in izračunanimi letnimi koncentracijami aktivnosti H-3 v Brežicah od leta 2002. Dodali smo tudi izmerjene prirastke na jezu HE Brežice od leta 2017. Dolgoletne težnje kažejo, da na mestu vzorčenja v Brežicah in tudi pri HE Brežice v preteklosti najverjetneje še ni prišlo do popolnega mešanja izpuščenih radionuklidov s savsko vodo. Izmerjeni povprečni letni prirastki koncentracije aktivnosti tritija v Brežicah so bili sistematično večji kot izračunani prirastki ob predpostavki popolnega mešanja vode. Po izgradnji jezu HE Brežice so se hidrodinamske razmere spremenile, kar smo že opisali v uvodu.



Slika 1.6: Primerjava med mesečnimi izmerjenimi prirastki koncentracije aktivnosti tritija v reki Savi in izračunanimi prirastki koncentracije aktivnosti. Izračunana koncentracija aktivnosti je dobljena iz mesečnih tekočinskih izpustov H-3 in pretoka Save (mesečni izpust / mesečna prostornina pretečene Save).



Slika 1.7: Primerjava med izmerjenima letnima povprečnima prirastkoma koncentracije aktivnosti H-3 v reki Savi na jezu HE Brežice ter za jezom v Brežicah in izračunanim prirastkom koncentracije aktivnosti H-3, dobljenim iz letnih tekočinskih izpustov in pretoka Save ob predpostavki popolnega mešanja

Po prejšnji metodologiji ocenimo razredčitveno razmerje *DR (Dilution Ratio)* na različnih lokacijah pod jezom NEK kot razmerje med prirastkom koncentracije aktivnosti tritija na danem mestu pod izpustom (npr. v Brežicah) $C_{w,L}$ in prirastkom koncentracije aktivnosti tritija na mestu s popolnim mešanjem vode $C_{w,tot}$ [27]:

$$DR = \frac{C_{w,\,L}}{C_{w,\,tot}} \tag{1.1}$$

Prirastek koncentracije aktivnosti na mestu popolnega mešanja izračunamo iz izraza:

$$C_{w,tot} = \frac{A_{H\text{-}3}}{F \times t} \tag{1.2}$$

kjer je $A_{H\text{-}3}$ skupna letna izpuščena aktivnost tritija (Bq), produkt $F \times t$ pa celotni letni volumen pretečene Save v kubičnih metrih. Pri tem je F povprečni letni pretok, t pa je čas (eno leto).

Vrednosti *DR* so lahko 0 na lokacijah, kjer še ni prišlo do mešanja, med 0 in 1 na lokacijah, kjer se čista voda le delno meša s kontaminirano (npr. na nasprotnem bregu pod izpustom), ali pa več kot 1 na lokacijah, kjer se kontaminirana voda nepopolno meša s čisto, npr. na istem bregu neposredno pod izpustom. Pri popolnem mešanju je *DR* enak 1.

Iz razlike med povprečnimi letnimi koncentracijami aktivnosti tritija v Brežicah, Jesenicah na Dolenjskem in Krškem smo dobili izmerjen prirastek koncentracije aktivnosti $C_{w,L}$ v Brežicah 0,89 kBq/m^3, v Jesenicah na Dolenjskem pa 0,61 kBq/m^3. Izračunani prirastek koncentracije aktivnosti tritija na mestu popolnega mešanja $C_{w,tot}$ za lokacijo v Brežicah je bil 0,76 kBq/m^3, za lokacijo v Jesenicah na Dolenjskem pa 0,67 kBq/m^3. Razredčitveno razmerje za lokacijo v Brežicah je tako enako 1,17, za lokacijo v Jesenicah na Dolenjskem pa 0,91. Iz tega sledi, da na obeh omenjenih lokacijah izpusti še niso popolno premešani s savsko vodo. Razredčitvena razmerja za točke med jezom NEK in jezom HE Brežice so definirana drugače [91] in jih določimo s pomočjo novo razvite programske opreme DOSENEK (več v poglavju o ocenah učinkov).

Ogljik (C-14)

Večina C-14 v okolju je danes posledica naravnega kozmičnega sevanja. Poskusne jedrske eksplozije so njegovo aktivnost v atmosferi v šestdesetih letih podvojile. Le manjši delež C-14 nastaja zaradi izpustov jedrskih objektov. Od leta 2013 se C-14 sistematično meri v četrtletnih vzorcih tekočinskih efluentov, te meritve je v letu 2024 opravil IRB.

Iz posameznih meritev aktivnosti in volumna izpuščene vode iz WMT (kvartalni izpusti) smo ocenili četrtletne aktivnosti C-14. Te so bile od 35,8 MBq v tretjem četrtletju do 76,2 MBq v drugem četrtletju, ko so bili tekočinski izpusti v reko Savo najvišji. Skupno letno izpuščeno aktivnost C-14 0,219 GBq smo izračunali kot vsoto četrtletnih vrednosti. Izpusti so precej nižji, kot je dolgoletno povprečje (1,26 GBq) od leta 2013. Ocenjeni izpusti so tudi nižji od grobe ocene, ki jo naredimo glede na obratovalno moč elektrarne (1,8 GBq na leto oziroma 2,6 GBq/GW(e)-leto [44]). Aktivnost izpuščenega C-14 je več kot 4 velikostne rede nižja kot pri tritiju.

C-14 je bil v letu 2024 merjen tudi v savski vodi in v ribah [21]. Na lokacijah na levem in desnem bregu pretočne akumulacije HE Brežice so bili odvzeti sestavljeni četrtletni vzorci. Povprečni četrtletni koncentraciji aktivnosti C-14 na levem in desnem bregu akumulacijskega jezera sta bili 86 pMC[13] (9,7 Bq/m^3 vode), v obeh vzorcih enako, kar je primerljivo z naravnim, večinoma kozmogenim C-14 v okolju (okrog 11 Bq/m^3). Glede na letne izpuste v Savo in povprečni letni pretok Save je pričakovati, da bi povprečna koncentracija aktivnosti C-14 v Brežicah narasla za okrog 0,03 Bq/m^3, kar je bistveno manj od izmerjenih vrednosti. Vpliv NEK na koncentracijo C-14 v Savi je zato nemerljiv.

[13] pMC pomeni "odstotek modernega ogljika" ali relativna specifična aktivnost C-14. Relativna specifična aktivnost se izračuna glede na referenčni vzorec aktivnosti C-14 iz znanega standarda. Po definiciji je 100 pMC enak 226 Bq na kg ogljika. Pri pretvorbi rezultatov meritev C-14 v vodi upoštevamo, da je 100 pMC enako 11,3 Bq/m^3 vode [23].

Vnos radioaktivnega ogljika v ribe poteka prek vode in vodnih rastlin, s katerimi se ribe hranijo. Obstaja popolno ravnovesje med raztopljenim anorganskim ogljikom v vodi in v ribi [45]. Iz bioakumulacijskega faktorja C-14 in ocenjenega povprečnega prirastka C-14 v Savi (0,03 Bq/m^3) zaradi učinka NEK lahko ocenimo, da se relativna specifična aktivnost C-14 v ribah podobno kot v vodni bioti minimalno poveča (< 0,15 Bq/kg) in je pod mejo detekcije. Izmerjena sta bila tudi dva vzorca rib (klen in podust) v akumulacijskem jezeru HE Brežice.

Izmerjeni relativni specifični aktivnosti C-14 v ribah sta bili 101,1 pMC (227 Bq/kg C) in 92,3 pMC (209 Bq/kg C). Obe izmerjeni aktivnosti sta primerljivi s trenutno atmosfersko aktivnostjo (102 pMC). V primerjavi s prejšnjimi leti so specifične aktivnosti C-14 v reki Savi in ribah v okviru negotovosti meritev enake.

Jod (I-131)

Kratkoživi radioaktivni jod (I-131) občasno opazimo v tekočinskih efluentih NEK. V letu 2024 jod I-131 v izpustih NEK ni bil zaznan.

I-131 je redno prisoten v vodi na vseh vzorčevalnih mestih reke Save, tako vzvodno od elektrarne kot nizvodno v pretočni akumulaciji HE Brežice, v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem. Povišane koncentracije joda je bilo mogoče izmeriti takoj po černobilski nesreči. V nekaterih rekah v Sloveniji ga je mogoče najti zaradi uporabe tega radionuklida v medicini.

V letu 2024 koncentracija aktivnosti I-131 niha in je včasih tudi pod mejo detekcije. V posamičnih vzorcih je bila v Krškem izmerjena koncentracija do 4,6 Bq/m^3 (povprečno 1,2 Bq/m^3), na levem bregu so bile koncentracije aktivnosti do 2,9 Bq/m^3 (povprečno 0,4 Bq/m^3), na desnem bregu do 3,4 Bq/m^3 (povprečno 0,6 Bq/m^3), nad jezom HE Brežice do 5,4 Bq/m^3 (povprečno 2,3 Bq/m^3), v Brežicah do 3,2 Bq/m^3 (povprečno 0,8 Bq/m^3) in v Jesenicah na Dolenjskem do 1,8 Bq/m^3 (povprečno 0,5 Bq/m^3).

Če primerjamo rezultate meritev z ločenim nadzorom v življenjskem okolju v RS [19], so bile povprečne koncentracije na reki Savi v Brežicah (0,7 Bq/m^3) nižje, kot jih izmerimo v Savi v Ljubljani (4,8 Bq/m^3). V Krki in Savinji so bile povprečne koncentracije aktivnosti I-131 0,8 Bq/m^3 in 5,3 Bq/m^3. V Dravi pri Mariboru je bila povprečna koncentracija I-131 0,16 Bq/m^3. V Muri, Soči in Kolpi v letu 2024 jod I-131 ni bil zaznan.

V talnem sedimentu se jod redkeje pojavlja in v letu 2024 ni bil zaznan.

V vzorcih rib iz referenčnega odvzema (v Krškem nad jezom) in v vzorcih iz nadzornih odvzemnih mest pod jezom NEK (meritve ZVD in IRB) v letu 2024 ni bila zaznana prisotnost I-131, kar je enako kot v preteklih letih. Glede na koncentracije aktivnosti joda v posamičnih vzorcih nefiltrirane vode (okrog 2 Bq/m^3) bi pričakovali, da je specifična aktivnost joda v ribah okrog 0,08 Bq/kg (upoštevajoč bioakumulacijski faktor B_r = 0,04 m^3/kg) [27]. Če upoštevamo še zamik med datumoma vzorčenja in analize ter način priprave vzorcev (sušenje ali sežig), se zaradi hitrega radioaktivnega razpada predvidena specifična aktivnost I-131 v ribi zmanjša pod mejo detekcije oziroma vsebnost ni merljiva.

Cezij (Cs-137)

Radioaktivni izotop cezija (Cs-137) je povsod v okolju in je posledica globalne in regionalne kontaminacije (jedrski poskusi in nesreča v Černobilu). Cs-137 izmerimo tudi v tekočinskih izlivih NEK.

Letni izpust Cs-137 v letu 2024 je bil 1,44 MBq, kar je v okviru razsutja podatkov primerljivo kot v letih 2012–2023 (povprečje 1,61 MBq) in nižje kot dolgoletno povprečje 13,4 MBq (2000–2023). Cezij se slabo (le v nekaj odstotkih) veže na grobo suspendirano snov [27]. Če bi prišlo do večjega izpusta NEK, bi to najprej zaznali v povečani koncentraciji aktivnosti v vodi (suhi ostanek po izparevanju vzorca vode) in le manjši delež v filtrskem ostanku (v grobi suspendirani snovi).

Upoštevaje letni izpust (1,44 MBq) in povprečni pretok Save (239 m^3/s) ter ob privzetku razredčitvenega razmerja na levem bregu v Brežicah (1,4) lahko ocenimo prirastek koncentracije aktivnosti Cs-137 v Brežicah na okrog 2,6 E–4 Bq/m^3. Prirastek je tri velikostne rede nižji od izmerjenih vrednosti, zaradi česar ga ni mogoče ločiti od globalne kontaminacije.

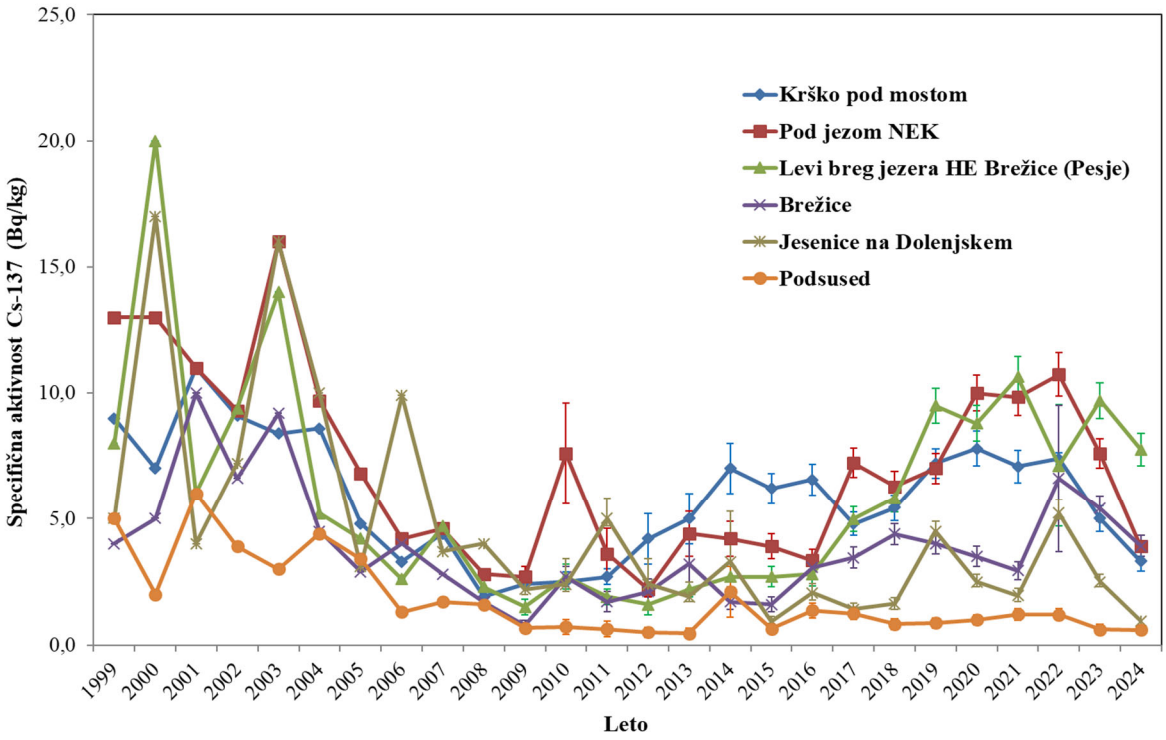
Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti v filtrirani vodi (suhi ostanek po izparevanju vzorca vode) je bilo na referenčnem mestu v Krškem 0,3 Bq/m^3, nad jezom HE Brežice 0,48 Bq/m^3, v Brežicah 0,63 Bq/m^3 na odvzemnem mestu Jesenice na Dolenjskem pa 0,04 Bq/m^3.

Cs-137 se je sicer v preteklosti navadno pojavljal v nekoliko višjih koncentracijah v filtrskem ostanku kot v vodni sušini, sedaj pa so rezultati praviloma na meji detekcije ali pod njo. Na referenčni lokaciji v Krškem in na lokaciji v Brežicah v letu 2024 cezij ni bil zaznan v nobenem vzorcu. Nad jezom HE Brežice je bila najvišja izmerjena vrednost 0,32 Bq/m^3, povprečna pa 0,20 Bq/m^3.

Izmerjene koncentracije aktivnosti Cs-137 v rekah po Sloveniji variirajo glede na lokacijo vzorčenja in so podobne ali višje od vrednosti, izmerjenih v reki Savi v okolici NEK. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v letu 2024 je bila od 0,10 Bq/m^3 v Krki do 0,99 Bq/m^3 v Muri. V Soči in Kolpi Cs-137 v letu 2024 ni bil detektiran, ali pa je bil vsaj en rezultat meritve pod mejo kvantifikacije (velika merska negotovost) [19].

Povprečja izmerjenih specifičnih aktivnosti Cs-137 v sedimentih so od 1,5 Bq/kg v Jesenicah na Dolenjskem do 6,6 Bq/kg na desnem bregu pretočne akumulacije HE Brežice. Na referenčnem mestu v Krškem je bilo povprečje 4,4 Bq/kg (meritve ZVD). Na sliki 1.8 smo primerjali dolgoletne poteke rezultatov meritev IRB. Opazne so razlike med meritvami na posameznih lokacijah. Na podlagi standardne deviacije (razsutja) posamičnih meritev vzorcev po lokacijah lahko to pripisujemo negotovosti vzorčenja. Pred letom 2010 se je specifična aktivnost Cs-137 v sedimentu na vseh lokacijah sistematično zmanjševala. To smo povezali z razpadom radionuklida iz globalne kontaminacije ter istočasno z izpiranjem talnega sedimenta. Specifične aktivnosti umetnih radionuklidov so v sedimentih zaradi izpiranja bistveno nižje kot v vrhnji plasti zemlje (običajna specifična aktivnost cezija v zemlji je namreč nekaj deset Bq/kg).

Iz rezultatov meritev na sliki 1.8 je razvidno, da je specifična aktivnost Cs-137 v letih od 2017 naprej na večini lokacij (tako na referenčni lokaciji kot v pretočni akumulaciji) naraščala, nato pa je od 2022 naprej zopet opazen upad. To je lahko posledica premikanja obrežnega sedimenta in morda tudi posledica posegov v okolje zaradi gradnje hidroelektrarn na spodnji Savi. Zaradi majhnih izpustov in razmeroma velikih vzorčevalnih in merskih negotovosti ugotavljamo, da učinka NEK v sedimentu ni mogoče zaznati.



Slika 1.8: Primerjava specifičnih aktivnosti Cs-137 v talnem sedimentu reke Save na lokacijah vzvodno in nizvodno od jezu NEK. Prikazane so povprečne specifične aktivnosti od 1999 do 2024.

Spektrometrične analize rib sta opravila ZVD in IRB. V meritvah rib, ki jih je opravil IRB, Cs-137 ni bil zaznan. Prav tako cezij ni bil zaznan v nobenem vzorcu rib, ki jih je meril ZVD, kar je v nasprotju s preteklimi leti, ko je bil cezij v ribah pri meritvah ZVD redno zaznan.

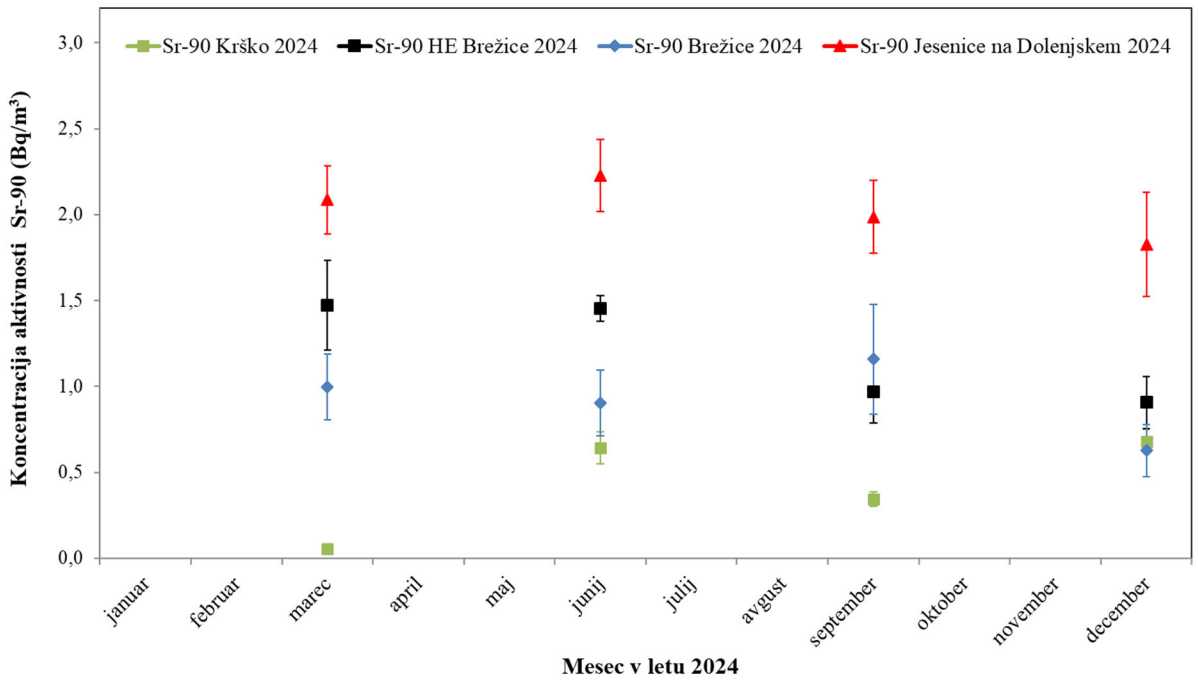
Glede na izpuste cezija iz NEK in posledično na povišanje koncentracije aktivnosti Cs-137 v vzorcih nefiltrirane vode (največ 0,0002 Bq/m^3) bi pričakovali, da je specifična aktivnost Cs-137 v ribah okrog 5,4 E-4 Bq/kg (upoštevajoč koncentracijski faktor B_r = 2,0 m^3/kg) [27], kar je približno dva reda velikosti nižje od izmerjenih specifičnih aktivnosti. Podobno kot pri sedimentu ugotovimo, da je specifična aktivnost cezija v ribah kot posledica učinka NEK nemerljiva in da je prisotnost Cs-137 predvsem posledica globalne kontaminacije.

Stroncij (Sr-90)

Sr-90 je podobno kot radionuklid Cs-137 prisoten povsod v okolju in je posledica globalne kontaminacije. V primerjavi s cezijem je bil delež stroncija v okolju zaradi učinka Černobila na področju Slovenije skoraj zanemarljiv. Kot posledica poskusnih jedrskih eksplozij pa je bil used obeh radionuklidov na naši geografski širini primerljiv.

Radioaktivni izotop stroncija Sr-90 je redno v tekočinskih izpustih NEK. V letu 2024 je bila v reko Savo izpuščena aktivnost 0,189 MBq.

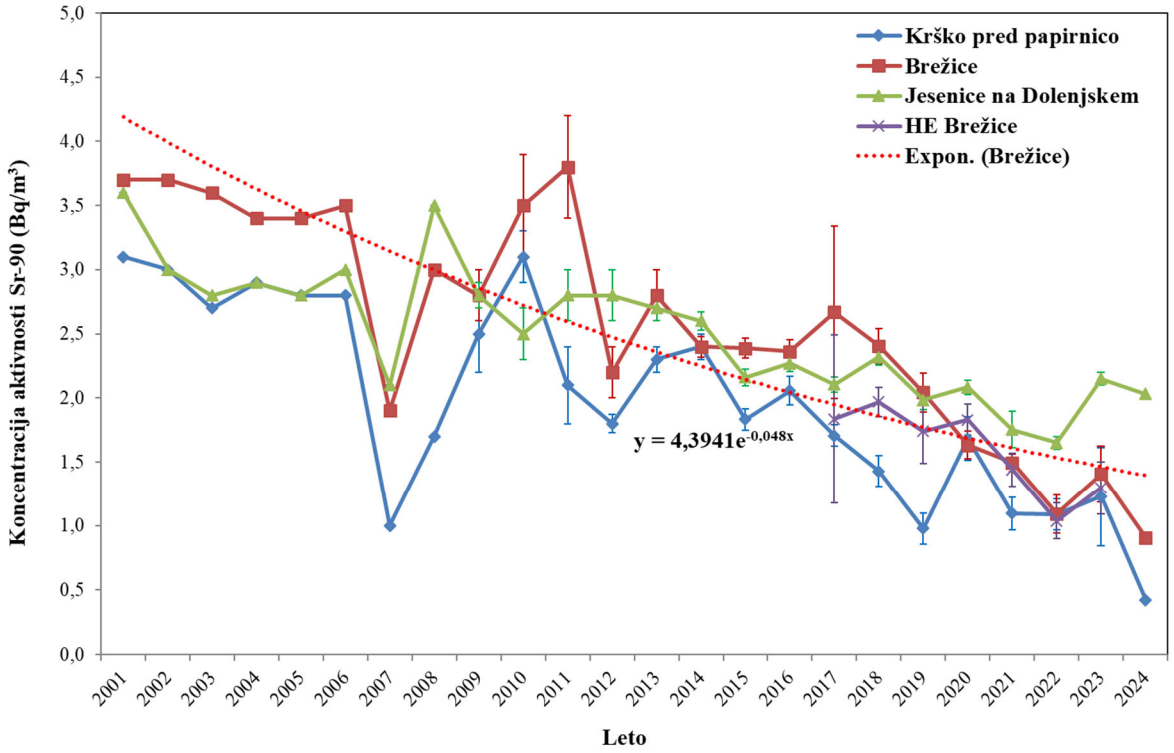
Večina stroncija je raztopljena v vodi, koncentracija aktivnosti Sr-90 v vodi je vsaj 10-krat večja kot v filtrskem ostanku. Povprečne izmerjene koncentracije Sr-90 v filtrskem ostanku so 0,02 Bq/m^3 nad jezom HE Brežice in 0,10 Bq/m^3 v Brežicah. Na referenčni lokaciji v Krškem in v Jesenicah na Dolenjskem so bili vsi rezultati meritev pod mejo detekcije. Na splošno so koncentracije stroncija v vodi do 10-krat višje kot koncentracije Cs-137. Na sliki 1.9 je prikazana primerjava rezultatov meritev Sr-90 v vodi na različnih odvzemnih mestih v letu 2024.



Slika 1.9: Primerjava četrtletnih povprečnih koncentracij aktivnosti Sr-90 v vodi (v suhem ostanku po izparevanju vzorca) reke Save na lokacijah Krško, nad jezom HE Brežice, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Meritve na lokacijah nad jezom HE Brežice, Brežice in Jesenice na Dolenjskem so mesečne, za primerjavo so izračunana četrtletna povprečja.

Razlike med povprečji koncentracij aktivnosti Sr-90 na lokacijah, kjer se neprekinjeno vzorči, so v okviru negotovosti povprečij majhne, od 0,4 Bq/m^3 v Krškem do 2,0 Bq/m^3 v Jesenicah na Dolenjskem. Tudi koncentracije aktivnosti Sr-90 v posamičnih (nefiltriranih) vzorcih vode v okviru merskih in vzorčevalnih negotovosti ne odstopajo od meritev neprekinjeno vzorčenih vzorcev filtrirane vode in so od 1,1 Bq/m^3 na levem bregu pretočne akumulacije do 3,1 Bq/m^3 v Krškem.

Povprečne koncentracije aktivnosti stroncija v drugih rekah po Sloveniji ne odstopajo od rezultatov meritev, izmerjenih v Savi v okolici NEK. Povprečna koncentracija, izmerjena v Savi na lokaciji Laze pri Ljubljani, je bila 1,9 Bq/m^3, v Dravi 1,0 Bq/m^3 in v Muri 1,3 Bq/m^3 [19]. Koncentracije aktivnosti Sr-90 v savski vodi so v okviru merskih in vzorčevalnih negotovosti podobne rezultatom iz zadnjih nekaj let (glej sliko 1.10). Opazen je trend upadanja, ustrezen razpolovni dobi stroncija (28,8 let). Primerjava rezultatov meritev na različnih lokacijah z upoštevanjem merskih negotovosti kaže, da je učinek NEK nemerljiv.



Slika 1.10: Primerjava povprečnih koncentracij aktivnosti Sr-90 v vodi reke Save in eksponentno upadanje zaradi radioaktivnega razpada; razpadna konstanta Sr-90 je 0,024 na leto in se v okviru negotovosti povprečij ujema z usmeritvijo na grafu ((0,048 ± 0,02) na leto).

Specifične aktivnosti stroncija v obrežnih sedimentih so tipično do 10-krat nižje od specifičnih aktivnosti cezija. Na referenčni lokaciji v Krškem je bila povprečna letna izmerjena vrednost enaka 0,11 Bq/kg. Na ostalih lokacijah nizvodno od jezu NEK so bile povprečne specifične aktivnosti Sr-90 od 0,05 Bq/kg nad jezom HE Brežice do 0,26 Bq/kg na desnem bregu pretočne akumulacije. Specifična aktivnost stroncija v obrežnem sedimentu je tako primerljiva z rezultati meritev iz predhodnih let. V obrežnih sedimentih je učinek NEK nemerljiv.

Povprečja koncentracij stroncija Sr-90 v ribah so od 0,02 Bq/kg v Krškem do 0,20 Bq/kg v pretočni akumulaciji nad HE Brežice. Ločeno merjenje kosti in mišic rib se ne izvaja od leta 2005, zato primerjava med specifičnimi aktivnostmi stroncija v vzorcih mišic in kosti rib ni mogoča. Stroncij se namreč v glavnem kopiči v kosteh, kjer so vsebnosti tipično dva velikostna reda višje kot v mišicah. Glede na povprečno koncentracijo aktivnosti stroncija v vzorcih reke Save, 1,1 Bq/m^3, bi pričakovali, da je specifična aktivnost stroncija v ribah 2,1 E–6 Bq/kg (upoštevajoč koncentracijski faktor B_r = 0,06 m^3/kg) [27]. Povprečje

izmerjenih specifičnih aktivnosti v ribah za vse lokacije skupaj je 0,08 Bq/kg (mišice in kosti ribe skupaj, meritve ZVD), kar se lepo ujema s pričakovano vrednostjo glede na koncentracijo stroncija Sr-90 v vodi.

Drugi aktivacijski in fisijski produkti

Drugi fisijski in aktivacijski produkti (Co-58, Co-60, Cr-51, Mn-54, Ag-110m, Sb-125) se redno pojavljajo v tekočinskih izpustih NEK. V letu 2024 je bila skupna aktivnost teh radionuklidov vsaj pet velikostnih redov nižja od tritijeve. Cs-134 je bil v tekočinskih izpustih nazadnje izmerjen leta 2016. V zadnjih nekaj letih ni bil zaznan v okolju noben od naštetih radionuklidov. Nazadnje je bil detektiran Co-60 v letih 2003 in 2006 v vodi in sedimentu, Cs-134 pa v sedimentih leta 2002.

Naravni radionuklidi

Naravni radionuklidi uranove (U-238, Ra-226 in Pb-210) in torijeve (Ra-228 in Th-228) razpadne vrste so bili redno zaznani v vseh vzorcih vode. V savski vodi so bile na vseh odvzemnih mestih (kontinuirano vzorčenje) povprečne koncentracije aktivnosti U-238 do 6,4 Bq/m^3 (Jesenice na Dolenjskem), Ra-226 do 1,2 Bq/m^3 (Jesenice na Dolenjskem), Pb-210 do 15 Bq/m^3 (Brežice), Ra-228 do 1,1 Bq/m^3 (Krško), Th-228 do 1,2 Bq/m^3 (Krško) in Be-7 do 49 Bq/m^3 (Brežice).

Povprečne koncentracije aktivnosti K-40 so od 23 Bq/m^3 (nad jezom HE Brežice) do 35 Bq/m^3 (Krško). Predvsem za K-40 je značilno izrazito nihanje, ki je povezano predvsem z onesnaženostjo rek, v manjši meri pa tudi z geološko sestavo tal. Koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov v vodi so tako podobne izmerjenim v rekah po Sloveniji. Koncentracija aktivnosti K-40 v rekah po Sloveniji variira, kot je to značilno za geološko raznovrstnost slovenskega ozemlja. Kalij je splošno razširjen v vrhnji plasti zemlje, njegove spojine pa so topne v vodi. Povprečna koncentracija aktivnosti kalija v rekah v letu 2024 je bila od 10,4 Bq/m^3 v reki Kolpi do 319 Bq/m^3 v Savinji. Najnižja izmerjena koncentracija aktivnosti K-40 je bila (7,6 ± 3,3) Bq/m^3 v Kolpi, najvišja pa je bila v Savinji (365,4 ± 12,4) Bq/m^3. Povišano vsebnost kalija lahko razlagamo s povišano sedimentacijo reke (mešanje vode in zemljine) na mestu odvzema (npr. po čistilni napravi v Laškem) [19].

V sedimentih so bile na vseh odvzemnih mestih povprečne specifične aktivnosti U-238 do 30 Bq/kg (desni breg pretočne akumulacije), Ra-226 do 31 Bq/kg (levi breg pretočne akumulacije), Pb-210 do 113 Bq/kg (desni breg pretočne akumulacije), Ra-228 do 32 Bq/kg (levi breg pretočne akumulacije), Th-228 do 29 Bq/kg (levi breg pretočne akumulacije) in Be-7 do 38 Bq/kg (Brežice). Povprečne specifične aktivnosti K-40 so bile od 248 Bq/kg (Jesenice na Dolenjskem) do 417 Bq/kg (levi breg pretočne akumulacije).

V efluentih NEK naravni radionuklidi niso prisotni, zato ne ocenjujemo njihove obremenitve na okolje.

OCENA UČINKOV

Izpostavitev prebivalstva se ocenjuje iz neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo ustreznih modelov. Učinek na okolje po savski prenosni poti ocenjujemo iz primerjave rezultatov emisijskih meritev (meritev vzorcev iz odpadnih merilnih rezervoarjev – WMT in kalužuparjalnikov – SGBD), ki jih izvaja NEK, in rezultatov meritev vzorcev reke Save. V letu 2003 sta bila izdelana metodologija in model za oceno doz pri izpostavitvi prebivalcev [26], revidirana pa v letu 2009 (*Izpostavitve referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo – Nova referenčna lokacija* [27]). V metodologiji so prepoznane glavne prenosne poti, načini izpostavitve in referenčne osebe[14] za Slovenijo. Za modelno oceno obremenitev, ki bi jih lahko prinesle zgolj po Savi potekajoče prenosne poti, je bila izbrana kot referenca skupina brežiških športnih ribičev in članov njihovih družin. To so referenčne osebe, ki prejmejo dozo, značilno za bolj izpostavljene posameznike iz prebivalstva.

[14] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].

Enodimenzionalni (veljavni) model

V tabeli 1.4 je podan inventar letnih tekočinskih izpustov NEK za obdobje 2018–2024. Aktivnost izpuščenega tritija H-3 v letu 2024 (5,73 TBq) prevladuje nad aktivnostjo vseh preostalih radionuklidov. Čeprav tritij ni zelo radiotoksičen, velika izpuščena aktivnost še vedno pomeni, da je z vidika prejete efektivne doze na referenčne osebe pomemben radionuklid. Pomembni so aktivacijski produkti Cr-51, Co-58 in Co-60, Ag-110m in Sb-125 ter fisijska produkta Cs-137 in Sr-90. Pomemben je tudi C-14, ki sicer nima visoke radiotoksičnosti, vendar je po količini takoj za tritijem. Skupna izpuščena aktivnost vseh preostalih radionuklidov je bila v letu 2024 5,22 MBq. Pri izračunu letne efektivne doze nismo upoštevali prispevka žlahtnih plinov in drugih zelo kratkoživih radionuklidov, ker za vnos v telo niso pomembni.

Za izračun letne efektivne doze v letu 2024 so bili uporabljeni naslednji vhodni podatki:

- letni izpust radionuklidov iz poročil NEK (tabela 1.4);
- povprečni pretok Save v Brežicah v tem obdobju (239 m^3/s);
- razredčitveno razmerje *DR* na lokaciji 350 m nizvodno od jeza NEK (3 ± 2) in v Brežicah (1,4 ± 0,6); to je dolgoletno povprečno razredčitveno razmerje od 2007 do 2023, dobljeno iz primerjave meritev tritija v izpustih in v Brežicah;
- povprečna koncentracija suspendiranega sedimenta (13,3 g/m^3, povprečje meritev v Brežicah, nad jezom HE Brežice in Jesenice na Dolenjskem);
- predpostavka o maksimalno izpostavljenem posamezniku in ekstremni porabi (največja mogoča ocena izpostavitve).

Od številnih mogočih prenosnih poti za izpostavitev izpuščenih radionuklidov sta za prebivalce v okolici NEK najpomembnejši zadrževanje na bregu (zunanje sevanje) in uživanje rečnih rib. Po dostopnih informacijah napajanje živine in zalivanje pridelkov z rečno vodo nista značilnosti tega področja, zato ju nismo upoštevali v računu. Pitje rečne vode prav tako ni realna podmena zaradi onesnaženosti reke. Vpliv reke Save na pitno vodo se obravnava v poglavju *Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi*. Analizirano je tudi izpostavljanje pri kopanju v reki Savi. Ta prenosna pot se zdi malo verjetna, zato ni vključena v model.

V modelu je vključeno zadrževanje na bregu in uživanje rib, značilno za ribiče, ki so v našem primeru referenčne osebe. Podrobni podatki o navadah ribičev so bili dobljeni od gospodarja Ribiške družine Brestanica-Krško. Po njegovih informacijah morda tretjina ribičev uživa ujete ribe. Ti tvorijo referenčno skupino, ki šteje 36 ljudi. V tabeli 1.5 so podane značilnosti referenčne osebe, ki so bile uporabljene v metodologiji: čas, ki ga ribič in njegov otrok preživita na bregu, in letna poraba rib iz Save. Za oceno izpostavljenosti pri pitju savske vode (malo verjetna prenosna pot) so uporabljeni podatki za letno porabo Evropske unije in slovenske zakonodaje po starostnih skupinah: 260 L (dojenčki 1 leto), 350 L (otroci 7–12 let) in 750 L (odrasli > 17 let).

Ocenjena letna efektivna doza za referenčno osebo, narejena iz realnih izpustov NEK in ob predpostavkah največje izpostavitve (ekstremna poraba in maksimalni čas zadrževanja na obrežju, tabela 1.6), je za odraslo osebo v Brežicah 0,0047 μSv. Na bližji lokaciji (350 m nizvodno od NEK) pa je izračunana letna efektivna doza za odraslo osebo (maksimalna poraba) 0,0101 μSv (tabela 1.7). Če bi upoštevali povprečne navade referenčne osebe, bi bile prejete efektivne doze še nekajkrat nižje. Največja negotovost izračuna letnih efektivnih doz izvira iz negotovosti koncentracijskih faktorjev B_r za ribe, saj se privzeti faktorji lahko spreminjajo tudi za red velikosti. Podobno slabo so poznane tudi negotovosti doznih faktorjev, ki so bistveno večje od merskih negotovosti.

Druge starostne skupine (otroci in dojenčki) v skladu s to oceno prejmejo še nižjo efektivno dozo. Vzporedno je narejena tudi ocena efektivne letne doze ob predpostavki pitja rečne vode (odrasla referenčna oseba v Brežicah 0,023 μSv). V poročilu *IJS-DP-10114* [27] je bilo ugotovljeno, da je prenosna pot pitja rečne vode malo verjetna in je zato nismo upoštevali pri končnem vrednotenju izpostavljenosti.

Tabela 1.4: Inventar tekočinskih izpustov v letih 2018–2024 [5].

Radionuklid	2018 [Bq/leto]	2019 [Bq/leto]	2020 [Bq/leto]	2021 [Bq/leto]	2022 [Bq/leto]	2023 [Bq/leto]	2024 [Bq/leto]
H-3	1,05E+13	1,36E+13	2,95E+12	1,61E+13	2,43E+13	1,17E+13	5,73E+12
C-14	4,1E+07	8,76E+07	2,98E+08	1,31E+08	1,43E+08	4,11E+07	2,19E+08
Na-24	–	–	–	–	–	–	–
Cr-51	–	–	–	–	4,02E+06	–	–
Mn-54	4,57E+05	4,01E+04	4,28E+05	9,07E+05	3,39E+04	3,16E+05	1,24E+05
Fe-55	3,96E+06	4,25E+06	2,97E+06	3,86E+06	2,80E+06	2,28E+06	1,99E+06
Fe-59	–	–	–	–	–	–	–
Co-57	–	–	–	–	–	–	–
Co-58	3,40E+06	7,33E+06	1,18E+06	9,09E+06	4,98E+06	1,19E+07	2,97E+06
Co-60	2,00E+06	3,70E+06	2,37E+06	4,94E+06	2,43E+06	1,99E+06	2,26E+06
Zn-65	–	–	–	–	–	–	6,55E+05
Se-75	–	–	–	–	–	–	–
Sr-85	–	–	–	–	–	–	–
Sr-89	–	–	–	–	–	–	–
Sr-90	4,43E+04	7,80E+04	4,38E+04	4,34E+04	5,34E+04	1,05E+05	1,89E+05
Y-92	–	–	–	–	–	–	–
Zr-95	–	–	–	–	–	–	1,24E+06
Nb-95	6,43E+05	–	–	–	–	–	1,22E+06
Nb-97	–	–	–	–	–	–	–
Mo-99	–	–	–	–	–	–	–
Tc-99m	–	–	–	–	–	–	–
Kr-85	–	–	–	–	–	–	–
Kr-85m	–	–	–	–	–	–	–
Kr-87	–	–	–	–	–	–	–
Kr-88	–	–	–	–	–	–	–
Rb-88	–	–	–	–	–	–	–
Ru-103	–	–	–	–	–	–	–
Ru-106	–	–	–	–	–	–	–
Ag-110m	1,96E+06	6,90E+06	1,97E+06	1,19E+07	1,84E+06	3,09E+06	1,27E+07
Sn-113	–	–	–	–	–	–	–
Sb-124	–	–	–	–	–	–	–
Sb-125	2,45E+06	–	–	2,10E+06	1,26E+06	–	6,28E+05
Te-123m	–	–	–	–	–	–	–
Te-125m	–	–	–	–	–	–	–
Te-127m	–	–	–	–	–	–	–
Te-129m	–	–	–	–	–	–	–
Te-132	–	–	–	–	–	–	–
I-129	–	–	–	–	–	–	–
I-131	–	1,92E+05	–	–	–	2,74E+05	–
I-132	–	–	–	–	–	–	–
I-133	–	–	–	–	–	–	–
I-134	–	–	–	–	–	–	–
Cs-134	–	–	–	–	–	–	–
Cs-137	1,99E+06	2,17E+06	9,60E+05	1,81E+06	1,47E+06	1,23E+06	1,44E+06
Cs-136	–	–	–	–	–	–	–
Cs-138	–	–	–	–	–	–	–
Xe-131m	–	–	–	–	–	–	–
Xe-133	–	–	–	–	–	3,67E+06	–
Xe-133m	–	–	–	–	–	–	–
Xe-135	–	–	–	–	–	–	–
Xe-135m	–	–	–	–	–	–	–
Ba-140	–	–	–	–	–	–	–
La-140	–	–	–	–	–	–	–
Ce-141	–	–	–	–	–	–	–
Ce-144	–	–	–	–	–	–	–
Hg-203	–	–	–	–	–	–	–

Tabela 1.5: Značilnosti referenčne osebe in maksimalno izpostavljenega posameznika za Slovenijo, uporabljene v metodologiji

	Referenčna oseba (povprečne navade)	**Maksimalno izpostavljeni posameznik**
Čas, ki ga ribič preživi na bregu	200 h	**500 h**
Čas, ki ga ob ribiču preživi njegov otrok (10 let)	100 h	**250 h**
Letna poraba rib iz Save – ribič	10 kg	**45 kg**
Letna poraba rib iz Save – otrok (10 let)	3 kg	**10 kg**
Letna poraba rib iz Save – dojenček (1 leto)	0 kg	**0 kg**
Velikost referenčne (kritične) skupine	36 ljudi	–

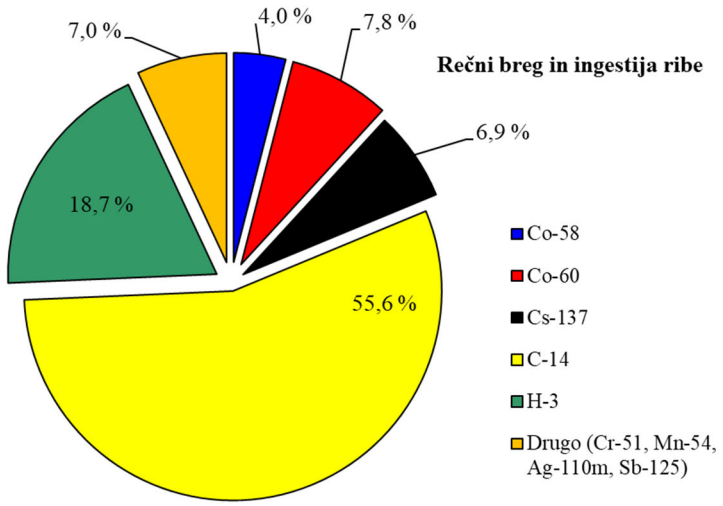
Tabela 1.6: Ocenjena efektivna letna doza posameznika iz prebivalstva v Brežicah. Zaradi primerjave s prejšnjimi leti smo upoštevali maksimalno izpostavljenega posameznika.

Lokacija	**Brežice**
Prenosne poti	Rečni breg in uživanje rib (zelo verjetna prenosna pot)
Starostna skupina referenčne osebe	**Letna efektivna doza (µSv)**
odrasli (> 17 let)	**0,0047 µSv** Prispevek zunanjega sevanja: 0,0009 µSv Prispevek zaužitja rib: 0,0038 µSv
otroci (od 7 do 12 let)	**0,0024 µSv** Prispevek zunanjega sevanja: 0,0006 µSv Prispevek uživanja rib: 0,0018 µSv
dojenčki (1 leto)	**0 µSv**

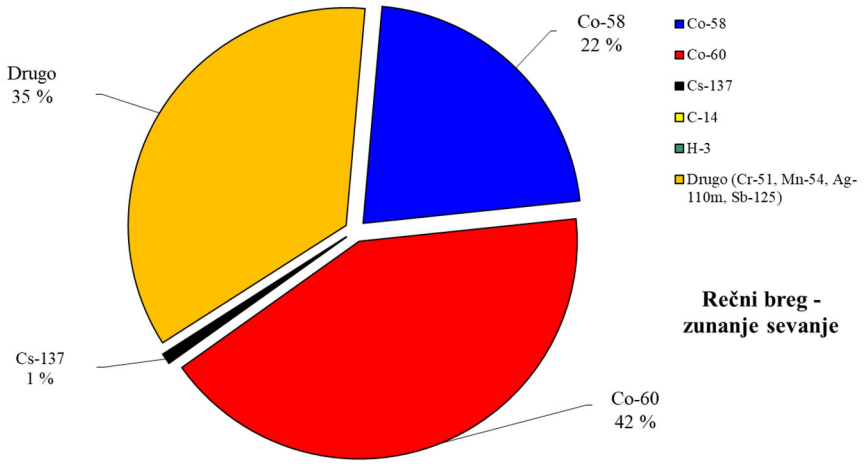
Tabela 1.7: Ocenjena efektivna letna doza posameznika iz prebivalstva na lokaciji 350 m pod jezom v letu 2024. Zaradi primerjave s prejšnjimi leti smo upoštevali maksimalno izpostavljenega posameznika.

Lokacija	**350 m pod jezom NEK**
Prenosne poti	Rečni breg in uživanje rib
Starostna skupina	**Letna efektivna doza (µSv)**
odrasli (> 17 let)	**0,0101 µSv** Prispevek zunanjega sevanja: 0,0018 µSv Prispevek zaužitja rib: 0,0081 µSv
otroci (od 7 do 12 let)	**0,0034 µSv** Prispevek zunanjega sevanja: 0,0009 µSv Prispevek uživanja rib: 0,0024 µSv
dojenčki (1 leto)	**0 µSv**

Na slikah 1.11 in 1.12 so deleži prispevkov posameznih radionuklidov, ki največ prispevajo k prejeti dozi pri zelo verjetni prenosni poti (zadrževanje na rečnem bregu in uživanje rib). C-14 največ prispeva k celotni dozi iz vseh prispevkov (55,6 %, dominanten je pri dozi zaradi zaužitja rib (68 %)). V prispevku zadrževanja na bregu je večina sevalne obremenitve zaradi Co-58 in Co-60, in sicer 66 %. V prispevku pitja savske vode, ki je malo verjetna prenosna pot, postane dominantni prispevek H-3 skoraj 100 % in bi bila prejeta efektivna doza odraslega 350 m pod jezom NEK 0,031 µSv.



Slika 1.11: Prispevki posameznih radionuklidov k skupni dozi (zadrževanje na rečnem bregu in zaužitje rib na lokaciji 350 m nizvodno od NEK) v letu 2024. Največ prispeva C-14.



Slika 1.12: Prispevki posameznih radionuklidov k zunanji dozi pri zadrževanju na rečnem bregu 350 m nizvodno od NEK v letu 2024. Največ prispevata Co-58 in Co-60.

Tridimenzionalni (novi) model

V letu 2017 je bila zgrajena HE Brežice, ki je s svojim jezom in pretočno akumulacijo močno spremenila hidrodinamske razmere v Savi nizvodno od jedrske elektrarne Krško. Zaradi tega metodologija in model za oceno doz pri izpostavitvi prebivalcev, ki sta bila izdelana v letu 2003 [26] in revidirana v letu 2009 [27], nista bila več ustrezna. Za primerjavo je podana tudi ocena učinkov izračunana po novi metodologiji.

V začetku leta 2023 je bil zaključen projekt izdelave nove programske opreme DOSENEK [33]. Ta omogoča izračun ocene doz, ki temelji na novih hidrodinamskih razmerah v reki. Prvi korak k vzpostavitvi nove metodologije so bila modeliranja širjenja efluentov v reki, ki so bila opravljena s preizkušenim in uveljavljenim modelom PCFLOW3D ([30], [31], [32]). S pomočjo računalniških simulacij širjenja izpustov pri različnih pretokih Save so bili določeni razredčitveni koeficienti pri sedmih različnih točkah nizvodno od jezu NEK:

- T1: 350 m nizvodno od jezu NEK, levi breg
- T3: dodatna lokacija 1, levi breg, 4 km od jezu NEK
- T4: levi breg pretočne akumulacije HE Brežice, 4,5 km od jezu NEK
- T5: dodatna lokacija 2, levi breg, 5,5 km od jezu NEK
- T6: desni breg pretočne akumulacije HE Brežice, 5,5 km od jezu NEK
- T7: nad jezom HE Brežice

Za izračun efektivnih doz za referenčno osebo na posamični lokaciji za različne starostne skupine iz prebivalstva v programu DOSENEK moramo med drugim vnesti podatke o izpustih:

- datum ter čas začetka in konca izpusta – trajanje izpusta (h)
- izpuščeni radionuklid in njegova aktivnost (Bq)
- prostornina izpuščenih odpadnih vod (m^3)
- pretok reke Save na dan izpusta (m^3/s)

Tabela 1.8: Značilnosti referenčne osebe na posamični lokaciji v pretočni akumulaciji HE Brežice, uporabljene v metodogiji za oceno letne efektivne doze [91]. Vse količine so za obdobje enega leta.

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Čas zadrževanja na bregu (h)	**Dojenček**	0	10	10	10	10	10	0
	Otrok	0	100	100	100	100	100	0
	Odrasli	0	200	200	200	200	200	0
Količina zaužitih rib (kg)	**Dojenček**	0	0	0	0	0	0	0
	Otrok	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
	Odrasli	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Količina popite vode ob plavanju (m^3)	**Dojenček**	0	0	1,0E–06	1,0E–06	1,0E–06	1,0E–06	0
	Otrok	0	0	2,4E–04	2,4E–04	2,4E–04	2,4E–04	0
	Odrasli	0	0	1,9E–04	1,9E–04	1,9E–04	1,9E–04	0
Čas plavanja v reki (h)	**Dojenček**	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0
	Otrok	0	0	6	6	6	6	0
	Odrasli	0	0	12	12	12	12	0
Čas čolnarjenja v reki (h)	**Dojenček**	1	1	1	1	1	1	0
	Otrok	60	60	60	60	60	60	0
	Odrasli	120	120	120	120	120	120	0

Ob vsakem izpustu radioaktivnih snovi iz elektrarne se na posamični točki nizvodno od NEK koncentracija radionuklida v vodi najprej poveča, doseže maksimalno vrednost in nato pade. S pomočjo računalniških simulacij dobimo razredčitvene koeficiente, iz katerih izračunamo maksimalne koncentracije v reki za vsak izpust, poleg tega pa določimo tudi efektivni čas zadrževanja izpusta na določeni merilni točki. Iz teh podatkov lahko za vsako točko T1–T7 in za vsak radionuklid določimo povprečno mesečno koncentracijo v reki, natančneje prirastek k koncentraciji, ki je posledica izpustov iz NEK.

Iz teh podatkov lahko ocenimo efektivne doze za referenčne osebe in živali. V programu DOSENEK so tri starostne skupine referenčnih oseb: dojenček (< 1 leto), otrok (med 7 in 12 let) in odrasla oseba (> 17 let). Za navedene osebe so bile prepoznane naslednje možne prenosne poti: zadrževanje na rečnem bregu, plavanje v reki, čolnarjenje, uživanje rib in nenamerno pitje vode ob plavanju. Za vsako referenčno osebo so za posamezne točke T1–T7 določene značilnosti, oziroma tipični parametri vedenja, ki vplivajo na prejeto dozo: čas zadrževanja na bregu, čas plavanja v reki, čas čolnarjenja v reki, količina zaužitih rib in količina (nenamerno) popite vode ob plavanju v reki. Vsi ti parametri so bili za vse točke T1–T7 in vse referečne osebe ocenjeni na letni ravni, torej npr. letna količina zaužitih rib referenčne odrasle osebe na točki T2. Lastnosti referenčnih oseb za posamezne točke T1–T7 so predstavljene v tabeli 1.8.

Iz izračunanih povprečnih mesečnih koncentracij radionuklidov na posameznih točkah T1–T7 in ocenjenih značilnosti referenčnih oseb (tabela 1.8) se nato v skladu z metodologijo ocenijo prejete doze posameznih oseb na posameznih točkah v danem mesecu. Program ločeno poda efektivne doze, ki so posledica posamičnih izpuščenih radionuklidov.

Dodatno program omogoča izračun hitrosti absorbirane doze na bioto [91]. Referenčna organizma sta postrv (ves čas plava v reki) in žarkoplavutarice (pol časa plava v vodi, pol časa pa na meji med talnim sedimentom in vodo). Ocenjene hitrosti absorbirane doze za obe vrsti rib smo primerjali z izpeljanimi referenčnimi ravnmi, ki so v tabeli 6.2 v publikaciji ICRP [92]. Hitrosti absorbirane doze za postrv in žarkoplavutarico (mrena, linj, krap, som) so za vse lokacije v pretočni akumulaciji HE Brežice nizke in predstavljajo naravno ozadje. Več o računalniških modelih, načinu izračuna povprečnih mesečnih koncentracij radionuklidov in izračunu doz po posameznih prenosnih poteh je v dokumentu *Program za računanje efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov iz NEK* [91].

Ocenjene letne efektivne doze za referenčne osebe in živali za točke T1-T7 so navedene v tabeli 1.9. V splošnem so prejete efektivne doze na točkah blizu NEK večje kot na točkah bližje HE Brežice. To je posledica dejstva, da so pri bolj vzvodnih lokacijah izpusti še slabše premešani z rečno vodo in se zato na teh točkah doseže višja maksimalna koncentracija radionuklidov v vodi. Pri odraslih referenčnih osebah in otrocih je najvišja ocenjena doza pri točki T1 (350 m nizvodno od NEK). Doze v točki T2 (350 m nizvodno) so zgolj nekoliko manjše. Pri točki T2 so koncentracije radionuklidov v vodi sicer nižje kot pri točki T1, vendar pri točki T1 ni predvideno zadrževanje na bregu in plavanje v reki. Pri referenčnih osebah, mlajših od enega leta, so zato največje prejete efektivne doze pri točki T2, kjer je predvidenih vseh pet prenosnih poti.

Tabela 1.9: Ocenjene prejete letne doze referenčnih oseb po starostnih skupinah in dozne hitrosti za vodne organizme za vseh sedem lokacij (T1–T7).

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Letna efektivna doza (μSv)	**Dojenček**	3,1E–08	9,1E–06	5,2E–06	4,6E–06	4,4E–06	4,6E–06	0,0E+00
	Otrok	2,8E–03	2,7E–03	1,6E–03	1,4E–03	1,4E–03	1,4E–03	1,2E–03
	Odrasli	3,8E–03	3,8E–03	2,2E–03	2,0E–03	1,9E–03	2,0E–03	1,7E–03
Hitrost absorbirane doze (μGy/dan)	**Postrv**	1,0E–03	9,5E–04	5,4E–04	4,9E–04	4,7E–04	4,9E–04	4,4E–04
	Mrena, linj, krap, som	1,0E–03	9,4E–04	5,4E–04	4,9E–04	4,7E–04	4,8E–04	4,4E–04

Pri referenčnih vodnih organizmih smo predpostavili dve prenosni poti in sicer notranjo in zunanjo dozo. Ker referenčna organizma obe dozi prejemata ne glede na lokacijo, postrv in žarkoplavutarica največjo dozo prejmeta na točki T1 (točka z najslabše premešanimi izpusti).

Oceno sevalnih učinkov delovanja NEK na prebivalstvo izvajamo pri točki T1, ker se ta ujema z lokacijo, za katero se efektivna doza izračuna z uporabo veljavnega modela. Za odraslo osebo so v tabelah 1.10 in 1.11 navedene prejete efektivne doze po posameznih prenosnih poteh za vse radionuklide na točki T1 in T3 v pretočni akumulaciji HE Brežice.

Slika 1.13 prikazuje prejete mesečne efektivne doze za tri referenčne osebe na lokaciji T3 v letu 2024. Lokacija T3 je izbrana, ker spada med točke z najvišjo prejeto efektivno dozo, ki jo referenčna oseba prejme po vseh petih prepoznanih prenosnih poteh. Opazimo lahko, da meseca april in maj glede prejete doze močno odstopata. V aprilu je potekal redni remont NEK, zaradi česar je prišlo do povečanih izpustov v reko.

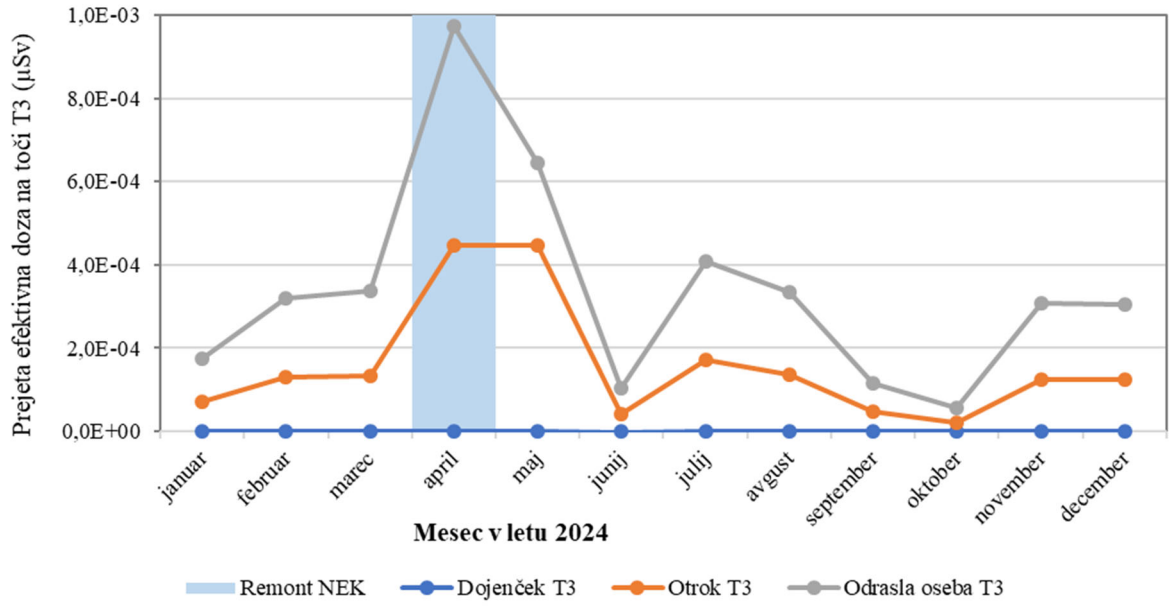
Slika 1.14 prikazuje deleže prejetih doz glede na radionuklid za vse referenčne osebe in organizme na lokaciji T3. Opazimo, da pri dojenčku prevladuje doza zaradi Co-60, Co-58 in Zr-95, pri otroku, odrasli osebi in ribah pa doza zaradi C-14 in H-3. V primerjavi z letom 2023 se je v letu 2024 prispevek H-3 k dozi zmanjšal, prispevek C-14 pa povečal, kar je posledica manjših izpustov H-3 in večjih izpustov C-14 v letu 2024.

Tabela 1.10: Povprečne letne koncentracije radionuklidov (Bq/m^3) in letne prejete efektivne doze (µSv) za odraslo osebo po prenosnih poteh na točki T1 v pretočni akumulaciji HE Brežice. Najvišje doze pri vsaki prenosni poti so zapisane krepko.

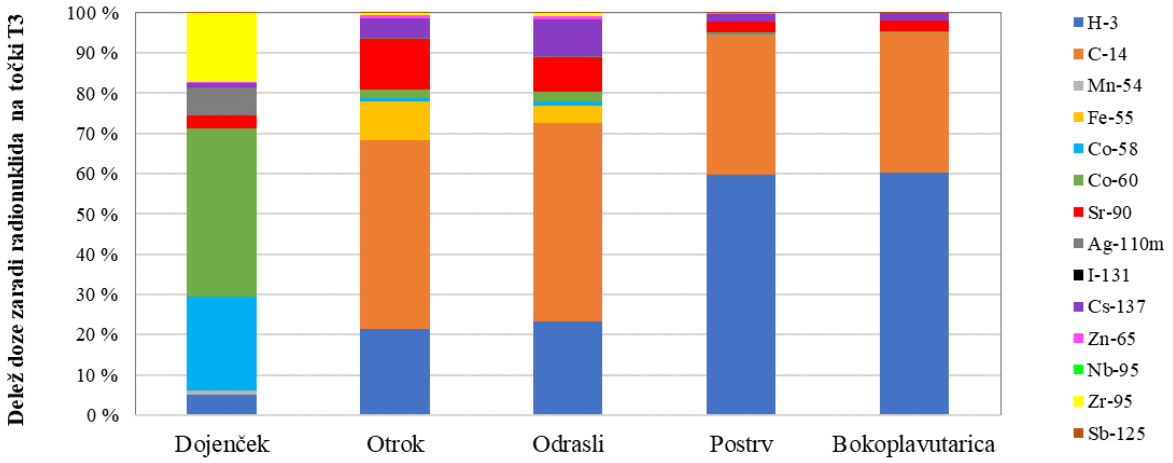
Radionuklid	Povprečna koncentracija aktivnosti v letu	Rečni breg	Zaužitje ribe	Zaužitje vode	Plavanje	Čolnarjenje	Skupna doza (radionuklid)
	(Bq/m^3)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)
H-3	**7,8E+03**	0,0E+00	9,3E–04	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,3E-04
C-14	2,4E–01	0,0E+00	**2,0E–03**	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	**2,0E-03**
Mn-54	1,9E–04	0,0E+00	1,0E–07	0,0E+00	0,0E+00	5,8E–09	1,1E-07
Fe-55	5,6E–01	0,0E+00	1,6E–04	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-04
Co-58	5,9E–03	0,0E+00	4,3E–06	0,0E+00	0,0E+00	2,1E–07	4,5E-06
Co-60	4,2E–03	0,0E+00	1,4E–05	0,0E+00	0,0E+00	3,7E–07	1,5E-05
Zn-65	1,2E–03	0,0E+00	3,0E–05	0,0E+00	0,0E+00	2,5E–08	3,0E-05
Sr-90	3,1E–02	0,0E+00	3,1E–04	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,1E-04
Nb-95	1,4E–03	0,0E+00	1,6E–06	0,0E+00	0,0E+00	3,9E–08	1,6E-06
Zr-95	1,8E–03	0,0E+00	8,4E–07	0,0E+00	0,0E+00	4,8E–08	8,9E-07
Ag-110m	3,0E–02	0,0E+00	1,3E–06	0,0E+00	0,0E+00	**2,9E–06**	4,2E-06
Sb-125	1,2E–03	0,0E+00	8,3E–07	0,0E+00	0,0E+00	1,9E–08	8,5E-07
Cs-137	2,5E–03	0,0E+00	3,8E–04	0,0E+00	0,0E+00	5,1E–08	3,8E-04
Skupna doza (prenosna pot)		0,0E+00	3,8E–03	0,0E+00	0,0E+00	3,7E–06	3,8E–03

Tabela 1.11: Povprečne letne koncentracije radionuklidov (Bq/m^3) in letne prejete efektivne doze za odraslo osebo (µSv) po vseh petih prenosnih poteh na točki T3. Najvišje efektivne doze pri vsaki prenosni poti so zapisane krepko.

Radionuklid	Povprečna koncentracija aktivnosti v letu	Rečni breg	Zaužitje ribe	Zaužitje vode	Plavanje	Čolnarjenje	Skupna doza (radionuklid)
	(Bq/m^3)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)	(µSv)
H-3	**7,8E+03**	0,0E+00	4,9E–04	**1,4E–05**	0,0E+00	0,0E+00	5,1E-04
C-14	2,4E–01	3,2E–09	**1,1E–03**	1,4E–08	2,4E–12	0,0E+00	**1,1E-03**
Mn-54	1,9E–04	9,9E–07	5,2E–08	1,3E–11	3,7E–10	2,9E–09	1,0E-06
Fe-55	5,6E–01	0,0E+00	9,2E–05	2,0E–08	0,0E+00	0,0E+00	9,2E-05
Co-58	5,9E–03	2,4E–05	2,2E–06	4,2E–10	1,3E–08	1,0E–07	2,7E-05
Co-60	4,2E–03	**4,4E–05**	7,1E–06	1,4E–09	2,5E–08	1,9E–07	5,1E-05
Zn-65	1,2E–03	2,8E–07	1,5E–05	4,5E–10	1,6E–09	1,2E–08	1,5E-05
Sr-90	3,1E–02	3,1E–06	1,8E–04	9,6E–08	1,1E–11	0,0E+00	1,8E-04
Nb-95	1,4E–03	9,3E–08	8,3E–07	8,0E–11	2,5E–09	2,0E–08	9,4E-07
Zr-95	1,8E–03	1,8E–05	4,3E–07	1,7E–10	3,1E–09	2,5E–08	1,8E-05
Ag-110m	3,0E–02	7,0E–06	6,4E–07	8,0E–09	**1,9E–07**	**1,5E–06**	9,3E-06
Sb-125	1,2E–03	1,1E–07	4,1E–07	1,2E–10	1,1E–09	9,5E–09	5,3E-07
Cs-137	2,5E–03	1,1E–06	2,0E–04	3,1E–09	3,4E–09	2,6E–08	2,0E-04
Skupna doza (prenosna pot)		9,8E–05	2,1E–03	1,4E–05	2,4E–07	1,8E–06	2,2E–03

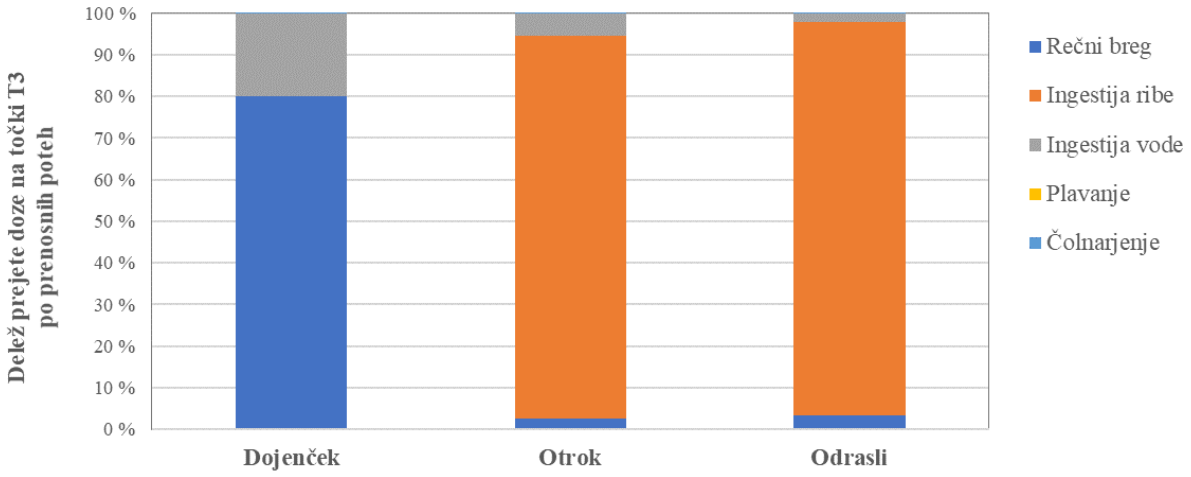


Slika 1.13: Prikaz mesečnih prejetih efektivnih doz referenčne osebe po starostnih skupinah (dojenček, otrok in odrasla oseba) na lokaciji T3 v letu 2024. Močno je opazen vpliv izrednega remonta NEK, v času katerega so bile izpuščene aktivnosti radionuklidov višje kot sicer.



Slika 1.14: Deleži prejetih doz (glede na celotno prejeto letno dozo) po posameznih radionuklidih za referenčno osebo in vodna organizma na lokaciji T3. Pri referenčni osebi/organizmih se deleži močno razlikujejo, kar je posledica različnih navad oziroma značilnosti oseb in organizmov iz tabele 1.8.

Prikazani deleži so v tesni odvisnosti z deleži po prenosnih poteh, ki jih prikazuje slika 1.15. Na tem grafu manjkata prikaza za ribi, saj je v njunem primeru notranja doza za tri velikostne rede večja od zunanje doze. Opazimo, da otrok in odrasla oseba dozo prejmeta predvsem preko uživanja rib. Ker za dojenčka ni predvideno prehranjevanje z ribami (tabela 1.8), je v njegovem primeru večina prejete doze posledica zadrževanja na rečnem bregu, eno petino doze pa prejme zaradi zaužitja rečne vode. Delež prejete doze zaradi ostalih dveh prenosnih poti (plavanje in čolnarjenje) je pri vseh treh referenčnih osebah manjši od 1 %.



Slika 1.15: Deleži prejetih efektivnih doz (glede na celotno letno prejeto dozo) po posameznih prenosnih poteh na lokaciji T3 za referenčno osebo po starostnih skupinah. Pri referenčnih organizmih (ribah) je efektivna doza zaradi notranje obsevanosti za tri velikostne rede višja od doze zaradi zunanje obsevanosti.

V novem modelu so pri simulaciji tokov zajete samo točke T1–T7, ki so med NEK in HE Brežice. Za lokaciji Brežice in Jesenice na Dolenjskem torej v novi metodologiji nimamo določenih razredčitvenih koeficientov. Računanje doz bi sicer lahko opravili iz rezultatov meritev radioaktivnosti vzorcev, vendar lahko to naredimo neposredno le za tritij, za katerega lahko merimo prirastek h koncentraciji, ki je posledica NEK (slika 1.6). Posredno lahko iz izmerjenih koncentracij tritija izračunamo faktor razredčitve radioaktivnih snovi od HE Brežice do Brežic oziroma do Jesenic na Dolenjskem in grobo predpostavimo, da so za isti faktor manjše tudi prejete doze.

Za oceno prejetih doz referenčnih oseb na teh točkah lahko predpostavljamo, da so lastnosti teh oseb na lokacijah Brežice in Jesenice na Dolenjskem enake kot za osebe na lokacijah T3–T6. S tem zajamemo vseh pet prenosnih poti. Za potrebe računanja predpostavimo, da za točke T3–T6 ter lokaciji Brežice in Jesenice na Dolenjskem velja, da je razmerje med povprečnimi izmerjenimi koncentracijami tritija enako razmerju ocenjenih prejetih doz.

Povprečne koncentracije tritija na lokacijah nad jezom HE Brežice, v Brežicah in v Jesenicah na Dolenjskem so bile v letu 2024 1,410 kBq/m^3, 1,415 kBq/m^3 in 1,136 kBq/m^3. Če od teh koncentracij odštejemo še ozadje (povprečno meritev na referenčni točki v Krškem, 0,528 kBq/m^3), dobimo naslednje povprečne prirastke h koncentraciji aktivnosti tritija: 0,882 kBq/m^3 (nad jezom HE Brežice), 0,887 kBq/m^3 (Brežice) in 0,608 kBq/m^3 (Jesenice na Dolenjskem). Iz tega sledi, da je razredčitveni koeficient od lokacije nad jezom HE Brežice do lokacije Brežice enak 1,00, razredčitveni koeficient od lokacije nad jezom HE Brežice do lokacije Jesenice na Dolenjskem pa 0,69. Če prejete doze za lokacijo nad jezom HE Brežice množimo z naštetimi koeficienti, dobimo grobo oceno za prejete doze na preostalih dveh lokacijah.

Točka nad jezom HE Brežice dejansko sovpada s točko T7, vendar ta točka ne zajema vseh petih prenosnih poti, zato za prejeto dozo referenčnih oseb nad HE Brežice konservativno vzamemo kar povprečje na lokacijah T3–T6. To za dojenčka znaša 4,7E–06 µSv, za otroka 1,5E–03 µSv in za odraslo osebo 2,0E-03 µSv. Grobo ocenjene prejete doze na lokacijah Brežice in Jesenice na Dolenjskem za tri referenčne osebe v letu 2024 prikazuje tabela 1.12.

Tabela 1.12: Ocene prejetih efektivnih doz za referenčno osebo po starostnih skupinah (dojenček, otrok, odrasla oseba) na lokacijah Brežice in Jesenice na Dolenjskem v letu 2024. Vrednosti so podane v enotah µSv.

Lokacija	**Brežice**	**Jesenice na Dolenjskem**
Starostna skupina	Efektivna doza (µSv)	
Dojenček	4,7E–06	3,2E–06
Otrok	1,5E–03	1,0E–03
Odrasla oseba	2,0E–03	1,4E–03

Če primerjamo izračunane efektivne doze za referenčno osebo, ki se zadržuje 350 m nizvodno od jezu NEK, po različnih modelih ugotovimo, da je efektivna doza za odraslo osebo po veljavnem modelu skoraj trikrat višja kot z uporabo novega modela. Razliko pripisujemo bolj realni porabi, ki jo upoštevamo v računih pri novem modelu. Prav tako pri starem enodimenzionalnem modelu upoštevamo konzervativne predpostavke, kar zvišuje ocenjeno vrednost. Pri otroku je ujemanje boljše, prejeti dozi, ocenjeni s starim in novim modelom se razlikujeta za manj kot 20 %. Zelo podobna stopnja ujemanja med novim in starim modelom je bila tudi v letu 2024.

SKLEPI

Tritij je edini radionuklid v okolju, ki ga lahko sistematično merimo v savski rečni vodi in je zagotovo vsaj delno posledica izpustov NEK. Tekočinski izpusti tritija v reko Savo so bili v letu 2024 nižji kot v letu prej in nižji od dolgoletnega povprečja. Povprečne letne koncentracije aktivnosti H-3 v vodi so na vseh odvzemnih mestih nekaj kBq/m^3 (1,1–1,4 kBq/m^3), kar je do 3-krat več od običajnega ozadja (okrog 0,6 kBq/m^3). Izmerjene koncentracije so precej nižje od tistih v letu 2023, kar je najverjetneje posledica manjšega skupnega izpusta v letu 2024. Tritij in C-14 sta glede na prispevek k prejeti dozi referenčnih oseb prevladujoča radionuklida. Sledijo še Co-60, Co-58 in Cs-137.

Učinek delovanja NEK zaradi izpustov drugih umetnih radionuklidov v reko Savo je v okolju zanemarljiv in tudi večinoma nemerljiv, saj so prispevki neločljivi od njihovih siceršnjih vrednosti v okolju (naravni vir, globalna kontaminacija). Iz podatkov o količini izpustov iz NEK in modelske ocene bi morali v okoljskih vzorcih takoj za tritijem zaznati C-14, Ag-110m, Cs-137, Co-58, in Co-60. Aktivnost naštetih radionuklidov v izpustih je pet do šest velikostnih redov nižja od H-3. Izpusti Sr-90 pa so bili še bistveno nižji (sedem redov velikosti).

Radionuklida C-14 zaradi razredčitve v Savi in glede na njegovo prisotnost v okolju navadno ne moremo ločiti od naravnega ozadja. C-14 je bil merjen v savski vodi in ribah. Izmerjene specifične aktivnosti v vzorcih so enake značilnim okoljskim vrednostim. Prispevek C-14 iz tekočinskih izpustov iz NEK smo ocenili iz meritev v četrtletnih vzorcih WMT, ki jih je opravil IRB.

V letu 2024 jod I-131 ni bil zaznan v izpustih NEK, redno pa ga opazimo v vzorcih savske vode, tako na referenčni lokaciji nad NEK kot tudi na vseh vzorčevalnih mestih pod NEK. I-131 v okolju je posledica uporabe tega izotopa v terapevtske in diagnostične namene v bolnišnicah.

Kobaltovih izotopov, ki so redno prisotni v izpustih, v okolju v letu 2024 nismo zaznali.

Meritve Cs-137 v vodi so na vseh lokacijah (tudi referenčni) večinoma pod mejo detekcije. Lažje se cezij zazna v rečnih sedimentih. Sr-90 v vodi se sicer pojavlja v nekoliko višjih koncentracijah aktivnosti kot Cs-137, vendar so njegove specifične aktivnosti v sedimentih bistveno nižje kot pri ceziju (blizu meje detekcije). Povečanih koncentracij aktivnosti Sr-90 in Cs-137 v savski vodi nizvodno od NEK, ki bi lahko bile povezene z izpusti NEK, nismo opazili. Spreminjanje specifične aktivnosti Sr-90 in Cs-137 v vzorcih obrežnih sedimentov zelo verjetno ni posledica delovanja NEK, temveč naravnega premikanja sedimentov in morda tudi posegov v okolje zaradi gradnje hidroelektrarn na spodnji Savi.

Ocena učinkov temelji na modelu, ki je bil izdelan v letu 2003 in revidiran v letu 2009. Iz izmerjenih izpustov NEK v letu 2024 in upoštevanja ustreznih razredčitev, ki smo jih uporabili v modelni oceni, lahko sklenemo, da je izračunana letna efektivna doza referenčne osebe na kateri koli lokaciji nizvodno od NEK zaradi savske prenosne poti zanemarljiva (nižja ali enaka 0,0101 µSv na leto; ocena velja za 350 m nizvodno od jezu NEK). Pri izračunu smo upoštevali maksimalno izpostavljenega posameznika.

Zaradi spremenjenih hidrodinamskih pogojev reke Save po izgradnji pretočne akumulacije HE Brežice je bila izvedena projektna naloga *Vpliv HE Brežice na NEK in Poročilo o vplivih na okolje za podaljšanje obratovalne dobe NEK* [28]. Če za oceno efektivnih doz za referenčne osebe na različnih lokacijah v pretočni akumulaciji HE Brežice in za njo uporabimo novi model, ki je bil dokončno izdelan v letu 2023, ugotovimo, da so izračunane efektivne doze na primerljivih lokacijah (350 m nizvodno od jezu NEK in Brežice) do trikrat nižje, kot če uporabimo stari veljavni enodimenzionalni model. Razlike nastanejo zaradi konzervativnih predpostavk pri redčenju v savski vodi in porabah ali časih zadrževanj na bregu ali na vodi. Najvišja efektivna doza za odraslo osebo v pretočni akumulaciji, izračunana po novem modelu, je na točki T1 (nižja ali enaka 0,0038 µSv na leto za odraslo osebo oziroma 0,0028 µSv za otroka), oziroma na točki T2 (nižja ali enaka 3,1E-08 µSv za dojenčka – tabeli 1.8 in 1.9). Tudi hitrosti absorbirane doze za postrv in žarkoplavutarico so za vse lokacije v pretočni akumulaciji HE Brežice nizke in predstavljajo naravno ozadje. V poročilu podajamo pregledni tabeli z efektivnimi dozami za odraslo osebo na točkah T1 in T3 v pretočni akumulaciji. Na tej lokaciji upoštevamo vse možne prenosni poti.

2 RADIOAKTIVNOST V PITNI IN PODZEMNI VODI

POVZETEK

Podzemna voda krško-brežiškega polja se uporablja za pitje, namakanje in druge gospodarske namene. Vir vode so vodonosniki, ki so v večji ali manjši meri povezani s Savo in padavinami. Na podlagi merskih rezultatov v letu 2024 ter na podlagi rezultatov meritev iz preteklih let ugotavljamo učinek izpustov NEK na pitno vodo in podtalnico v občinah Krško in Brežice. V letu 2024 ni bilo sprememb vzorčevalnih mest, zbranih je bilo 156 vzorcev vode na 15 lokacijah: vodovodi in črpališča v Brežicah in Krškem, vrtine znotraj ograje NEK, v neposredni bližini akumulacijskega jezera HE Brežice in na Hrvaškem. Za primerjavo sta bilo analizirana še 2 vzorca na referenčni lokaciji v Ljubljani. V odvzetih vzorcih so bile izmerjene koncentracije aktivnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Tako kot v prejšnjih letih sta bila tudi v letu 2024 med umetnimi radionuklidi največkrat zaznana H-3 in Sr-90. Cs-137 je bil večinoma pod mejo kvantifikacije, I-131 in drugi umetni radionuklidi niso bili zaznani v nobenem vzorcu. Iz izmerjenih povprečij mesečnih koncentracij aktivnosti radionuklidov je bila ocenjena letna efektivna doza za tri starostne skupine prebivalstva, ki uporabljajo vodo iz vzorčenih vodovodov in črpališč za pitje. Izračunane letne efektivne doze zaradi prispevka umetnih radionuklidov v pitni vodi so glede na celotno letno dozo zaradi umetnih in naravnih radionuklidov v pitni vodi kvečjemu 0,31 % *v brežiškem in 1,79* % *v krškem vodovodu, ob tem da NEK ni vir vseh zaznanih umetnih radionuklidov. Na podlagi izračunanih letnih efektivnih doz umetnih in naravnih radionuklidov v vodovodih in črpališčih v okolici NEK lahko trdimo, da je v letu 2024 učinek delovanja NEK na pitno vodo zanemarljivo majhen.*

UVOD

Lokacije in obseg vzorčenja pitne vode in podtalnice so določeni v programu nadzora, ki ga pripravi upravni organ URSJV [8]. V letu 2024 ni bila spremenjena nobena lokacija vzorčenja. Vodovod Ljubljana je referenčna lokacija in se redno analizira v okviru republiškega nadzora radioaktivnosti v pitni vodi v Sloveniji [20]. Izračun izpeljanih vrednosti koncentracij (*IK*) umetnih radionuklidov v pitni vodi je v *Uredbi o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji* [10] in *Pravilniku o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi* [9]. *Z* analizami ugotavljamo koncentracije aktivnosti naravnih in umetnih radionuklidov in iz njih sklepamo na morebitni prispevek k celotni letni efektivni dozi prebivalcev zaradi obratovanja NEK. V skladu z zahtevami *Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti* [8] ovrednotimo sevalne obremenitve za tri starostne skupine, in sicer za dojenčka (do enega leta), otroka (7–10 let) in odraslo osebo, starejšo od 17 let. Pri izračunih upoštevamo dogovorjeno količino zaužite vode iz navedb v priporočilih Svetovne zdravstvene organizacije. Iz izsledkov ankete med prebivalci v okolici NEK je razvidno, da povprečen odrasel prebivalec letno zaužije 0,40 m^3 vode. Realne doze so torej lahko tudi do polovice manjše, vendar ohranjamo prvotne izračune zaradi kontinuitete in primerljivosti z drugimi študijami.

Kontrolirani izpusti iz jedrskih in sevalnih objektov ter uporaba virov v medicini so glavni viri antropogenih snovi v okolju in s tem tudi v pitni vodi. V letu 2024 iz sveta ni bilo poročil o jedrskih nezgodah, ki bi lahko vplivale na koncentracijo radioaktivnih snovi v pitni vodi v okolici NEK. Redni nadzor ni zaznal nenavadnih odmikov.

Med radionuklidi umetnega izvora v letu 2024 ni bilo sprememb v primerjavi s prejšnjimi leti: v vodi iz črpališč in vrtin smo poleg tritija izmerili le še Sr-90. I-131 ni bil zaznan v nobenem vzorcu iz črpališč oziroma vrtin. V nekaterih vzorcih je bil zaznan tudi Cs-137, vrednosti so bile največkrat pod mejo kvantifikacije in zato obremenjene z veliko merilno negotovostjo.

NEK stoji tik ob reki Savi in uporablja savsko vodo za hlajenje. Med obratovanjem nadzorovano izpušča nekaj radioaktivnih snovi v reko Savo, ki vsaj delno napaja nekatere podzemne vodonosnike krško-brežiškega polja. Podzemna voda je na tem območju edini vir pitne vode. Savska prenosna pot torej seže tudi do pitne vode, zato je uveden nadzor pitne vode v okolici NEK.

Tritij in C-14 sta naravna in antropogena radionuklida. Nastajata v zgornjih plasteh atmosfere, v nekaterih industrijskih panogah in med proizvodnjo električne energije v jedrskih elektrarnah. Sta edina merjena radionuklida v sklopu merilnega nadzora, ki se redno pojavljata v emisijskih, imisijskih in okoljskih merskih rezultatih. V izpustih NEK poleg H-3 zasledimo tudi merljive količine C-14, v vzorcih vod ga ne ugotavljamo.

Med naravnimi radionuklidi so bili zaznani radionuklidi uranove in torijeve razpadne verige, radioaktivni kalij K-40 ter kozmogeni Be-7, ki nastaja v zemeljski atmosferi in se spira v tla z deževnico. Naravne in umetne radionuklide lahko uporabimo tudi kot sledilce za študije transportnih procesov v naravi. Tritij je poleg C-14 eden najbolj uporabljanih radioaktivnih sledilcev. Tudi drugi radionuklidi so koristni pri opazovanju antropogenih vplivov na okolje. Tako lahko glede na prisotnost K-40 ocenimo obremenjenost okolja zaradi kmetijstva [46]. Kalij je namreč sestavni del umetnih gnojil. Prisotnost kozmogenega Be-7 v vzorcih podzemne vode lahko kaže na mešanje med padavinami in podtalnico oziroma vodo v vodonosniku.

OKOLJSKI VZORCI

Značilnosti vzorčenja

Obseg, način in pogostost vzorčenja ter zahteve za merilne postopke in opremo pri nadzoru določa *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti* [8]. V prilogi, ki določa zasnovo letnega programa nadzora radioaktivnosti v okolju jedrske elektrarne, so za pitno vodo predpisane kontrolne meritve z visokoločljivostno spektrometrijo gama ter specifični analizi vsebnosti stroncija Sr-89/Sr-90 in tritija H-3.

Vzorčenje vodovodov, črpališč in podtalnice (vrtine) je v letu 2024 potekalo v skladu s *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* in tehničnimi specifikacijami NEK *(Radiological Effluent Technical Specifications, RETS)* [5] na naslednjih lokacijah:

1. *Mesečni sestavljeni vzorci črpališč in vodovodov:*
   - črpališče Brege, desni breg Save, 1,4 km od jeza NEK, 1,1 km od Save;
   - črpališče Rore, desni breg Save, 1 km od Save, vzvodno od NEK;
   - vodovod Spodnji Stari Grad, levi breg Save, 2,8 km od Save;
   - vodovod Brežice, levi breg Save, 2,5 km od Save;
   - črpališče Brežice – Glogov Brod, levi breg Save, 3,2 km od Save; VT-1 in VT-2, globina 200 m.
2. *Posamični četrtletni vzorci:*
   - vodovod Krško (bencinski servis Petrol, Krško), levi breg Save;
   - vodovod Brežice (bencinski servis Petrol, Brežice), desni breg Save;
   - vrtina E1 znotraj vzhodne ograje NEK, levi breg Save.
3. *Posamični mesečni vzorci:*
   - vrtina VOP-4, levi breg Save, približno 600 m nizvodno od jezu NEK in približno 50 m od struge Save (samo analiza tritija);
   - vrtina VOP-1/06, levi breg Save, približno 400 m nizvodno od jezu NEK in približno 700 m od struge Save (samo analiza tritija);
   - vrtina V-7/77, levi breg Save, približno 3 km nizvodno od jezu NEK in približno 600 m od struge Save (samo analiza tritija);
   - vrtina V-12/77, desni breg Save, približno 3,4 km nizvodno od jezu NEK in približno 300 m od struge Save (samo analiza tritija);
   - vrtina Medsave, Republika Hrvaška, desni breg Save, 23 km od NEK, 0,1 km od Save, kontrolna točka med Savo in črpališči na Hrvaškem;
   - vrtina Šibice, Republika Hrvaška, levi breg Save, 22 km od NEK, 2 km od Save, globina vrtine 10–15 m;
   - vrtina Petruševec, Republika Hrvaška, levi breg Save, 60 km od NEK, 1 km od Save, globina vrtine 80 m.
4. *Posamično letno vzorčenje na referenčni lokaciji*
   - vodovod Ljubljana: Osrednjeslovenska regija, republiški nadzor radioaktivnosti pitne vode [20].

V črpališčih Brege, Rore, Brežice – Glogov Brod in na odvzemnem mestu vodovoda Spodnji Stari Grad so nameščeni avtomatski vzorčevalniki. Ti na vsake tri ure dodajo približno 190 mL vzorca pitne vode v 50-litrski sod. Tako dobimo povprečno mešanico vzorca pitne vode za celotno mesečno obdobje. Dnevni nadzor opravljajo nadzorniki črpališč ali uporabniki pitne vode. Na enem vzorčevalnem mestu pri uporabnikih (vodovod Brežice) se vzorčenje izvaja ročno, enkrat dnevno po 1,5 L vode. Na bencinskih servisih in iz vrtine E1 se odvzame posamični vzorec četrtletno. Iz vrtine VOP-4 se jemlje posamični mesečni vzorec na začetku tekočega meseca, enkrat mesečno so vzorčene tudi preostale tri vrtine v bližini NEK, na katerih se opravlja samo analiza tritija. Vzorčenje na Hrvaškem se opravlja na treh vzorčevalnih mestih v bližini Zagreba. Posamična mesečna vzorčenja na začetku meseca in spektroskopske analize opravijo na IRB. Rezultate z vseh treh hrvaških vzorčevalnih mest obravnavamo kot podtalnico.

Značilnosti meritev okoljskih vzorcev

Za ugotavljanje koncentracij aktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v okviru merilnega nadzora uporabljamo tri merske metode: visokoločljivostno spektrometrijo gama, tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo po elektrolitski obogatitvi vzorcev s tritijem in radiokemijsko metodo za ugotavljanje Sr-90.

Kot določa *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti* [8], so metode vzorčenja, priprave vzorcev in meritev izbrane tako, da je detekcijska meja za posamezne radionuklide praviloma pod tridesetino mejnih vrednosti kontaminacije za pitno vodo. Metode vzorčenja, meritev in analiz so podrobno opisane v naslednjih dokumentih izvajalcev meritev na IJS: *Zbiranje vzorcev pitnih, površinskih in podtalnih vod (LMR-DN-05), Priprava sušine vzorcev vod (LMR-DN-06), Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10), Določanje stroncija z beta štetjem (SDN-O2-STC(01))*, *Vzorčenje in priprava vzorcev za ugotavljanje tritija (LSC-DN-06), Analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07)* in *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem (SDN-O2-STC(02)).*

Pitna voda na vplivnem območju NEK in referenčnih lokacijah

Podjetje Kostak [48] upravlja s 13 vodnimi viri v 9 vodovodnih sistemih v občinah Krško in Kostanjevica ob Krki. V vodovodni sistem Krško sta redno vključena dva vodna vira; vodnjak Brege in vodarna Rore s tremi vrtinami. Tretji vir, vodnjak Drnovo, je samo občasen in rezervni vir pitne vode zaradi nekoliko višjih vrednosti pesticidov, njihovih metabolnih produktov in nitratov v bližnji preteklosti.

Oskrbo s pitno vodo v občini Brežice zagotavlja podjetje Komunala Brežice in je zasnovana na 7 javnih vodovodnih sistemih. Vodovodni sistem Brežice napaja šest zajetij: vodnjaka Glogov Brod in Brezina, dve vrtini Prilipe in dve zajetji oziroma izvira, Novaščk in Arnovo selo (Brezovec) [49]. Vrtini in vodnjaka zagotavljajo skoraj 98 % pitne vode, od tega dobro polovico, skoraj 52 % celote, vodnjak Glogov Brod.

Centralni vodovodni sistem Ljubljana sestavlja pet vodarn s 44 črpališči, področje je razdeljeno na devet vodooskrbnih območij [50].

V vseh vodovodnih sistemih izvajajo nadzor pitnih vod po ustaljenih postopkih na osnovi načrtov HACCP. Ti vsebujejo mesta vzorčenja, vrsto preskušanj in najmanjšo frekvenco vzorčenja. Le ta se določa na osnovi ocene tveganj za vsako oskrbovalno območje posebej.

V tem poročilu obravnavana oskrbovalna območja se med seboj zelo razlikujejo, število vzorcev in vrst analiz ni primerljivo, prav tako so poročila o kakovosti pitnih vod zelo različno zasnovana. V preteklih letih smo zasledili kvečjemu nekaj neskladnih vzorcev za mikrobiološka preskušanja, na kemijskih preskušanjih so bili vzorci skladni.

REZULTATI MERITEV IN TIPIČNI ČASOVNI POTEKI

V tabelah od T-28 do T-36 ter T-V1, T-V2, T-V3, T-V4, T-HE 12, T-HE 13, T-HE 14 v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024,*

IJS-DP-15010, marec 2025, so na priloženi zgoščenki zbrani merski rezultati koncentracij aktivnosti radionuklidov v vseh zgoraj omenjenih vrtinah, vodovodih in črpališčih.

Tritij (H-3)

Tritij zavzema največji delež aktivnosti plinastih in tekočinskih radioaktivnih izpustov iz NEK, ki lahko vplivajo na stanje v podtalnici. Kemijsko je HTO molekula vode, kar pomeni, da je idealni sledilec za gibanje podzemnih vod.

Na sliki 2.1 so prikazane koncentracije aktivnosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih vode iz črpališč in vodovodov v okolici NEK. Vodovodne vode krško-brežiškega polja lahko tudi v letu 2024 razdelimo v tri razrede. Tudi v letu 2024 so bile najnižje izmerjene vrednosti v vzorcih vod iz Vodovoda Brežice in črpališča Glogov Brod, s povprečno koncentracijo aktivnosti okrog 120 Bq/m^3, ki je sicer nekoliko višja kot prejšnji dve leti, vendar glede na zeta test primerljiva za obdobje zadnjih petih let. Vsebnost tritija v vzorcih iz črpališča Rore je tudi konstantna, le z nekoliko višjimi koncentracijami aktivnosti, reda velikosti 500 Bq/m^3. Tritijeve vsebnosti za vodovod Spodnji Stari Grad so tudi v letu 2024 spremenljive: večji del leta se je ta vodovod očitno napajal iz istega vodonosnika kot črpališče Brege, nakar je postopno prešel na vodo iz vodonosnika, ki napaja tudi črpališče Rore. V letu 2023 je bilo mešanje prisotno v jesenskih mesecih, v letu 2024 pa v pomladanskih, od marca do junija. Vrednosti za tritij s črpališča Brege so najvišje v okolici NEK in tudi v Sloveniji nasploh, vendar še vedno dosegajo manj kot dva odstotka mejne vrednosti 100 Bq/L[15], ki je predpisana v *EU direktivi za pitne vode* [41] in *Pravilniku o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi* [9]. V letu 2024 na črpališču Brege opazimo rahlo padajoče vrednosti od februarja 2024, ko je vsebnost tritija dosegla lokalni vrh zadnjih nekaj let in s tem tudi raven petletnega obdobja med letoma 2013 in 2018. Povprečna vsebnost tritija za črpališče Brege je za okrog 15 % višja kot v letu 2023 in za tri četrtine višja kot 2022, ko je bila izmerjena najnižja povprečna koncentracija aktivnosti v zadnjih 12 letih.

Tabela 2.1 Srednja vrednost koncentracije aktivnosti H-3 v črpališčih in vodovodih v okolici NEK za petletno obdobje od leta 2020 do 2024

	2020 (Bq/m^3)	2021 (Bq/m^3)	2022 (Bq/m^3)	2023 (Bq/m^3)	2024 (Bq/m^3)
ČRPALIŠČE BREGE	1473 ± 48	1401 ± 37	1026 ± 20	1559 ± 27	1796 ± 30
ČRPALIŠČE RORE	554 ± 18	573 ± 16	491 ± 11	490 ± 16	477 ± 17
VODOVOD SP. STARI GRAD	1058 ± 35	812 ± 21	897 ± 17	927 ± 20	1429 ± 26
VODOVOD BREŽICE	99 ± 8	118 ± 6	104 ± 5	100 ± 13	108 ± 14
ČRPALIŠČE BREŽICE	114 ± 27	143 ± 40	117 ± 5	113 ± 12	128 ± 18

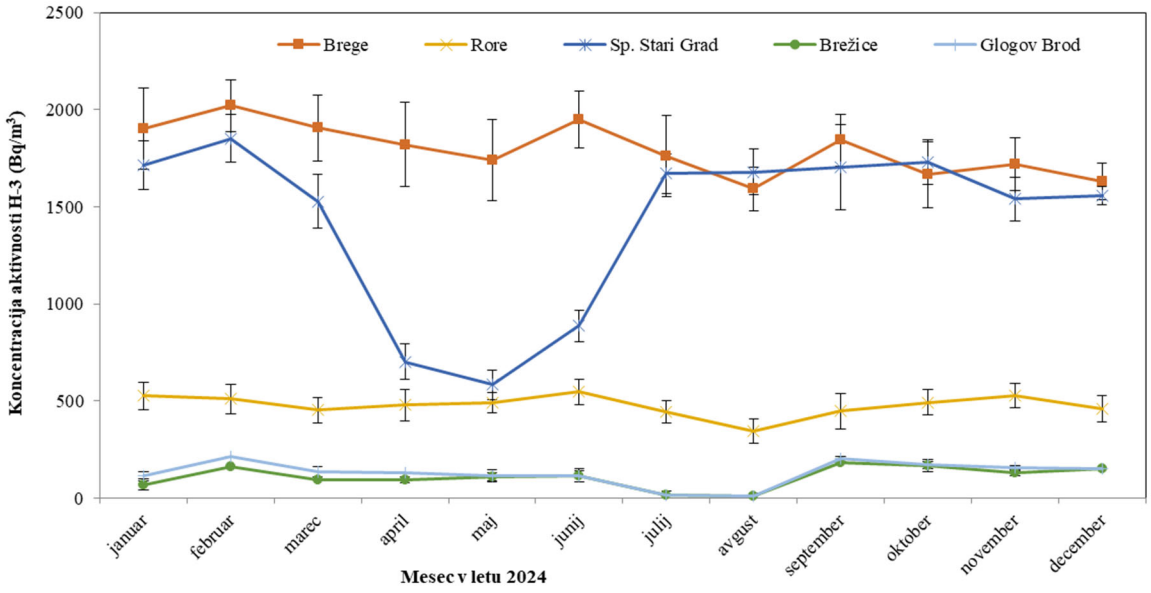
Povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti tritija za mesečne vzorce z neprekinjenim vzorčenjem od leta 2020 do leta 2024 so zbrana v tabeli 2.1. Medtem ko se srednje vrednosti za črpališče Rore, črpališče Glogov Brod in vodovod Brežice v tem obdobju znatno ne spreminjajo, opazimo spremembo srednje vrednosti za črpališče Brege. Vrednosti v vodovodu Spodnji Stari Grad med letom najbolj zanihajo, na srednji vrednosti pa se to zaznavno vidi ravno v letu 2024.

Poleg rednih mesečnih odvzemov vode na črpališčih in vodovodih v občinah Krško in Brežice je bila tudi v letu 2024 analizirana voda s po štirimi posamičnimi odvzemi na bencinskih servisih Petrol v Krškem in v Brežicah. Vrednosti za vodo iz brežiškega vodovoda so nizke; tri izmerjene vrednosti so bile pod mejo detekcije, tako da je ocena koncentracije aktivnosti za leto 2024 108 Bq/m^3. Ocena je izpeljana po

[15] Parametrična vrednost je vrednost radioaktivnih snovi v pitni vodi, nad katero organ, pristojen za varstvo pred sevanji, preveri, ali prisotnost radioaktivnih snovi v pitni vodi predstavlja tveganje za zdravje ljudi, na katero se je treba odzvati, ter po potrebi sprejme sanacijske ukrepe za izboljšanje kakovosti vode do take stopnje, da bodo izpolnjene zahteve za varovanje zdravja ljudi z vidika varstva pred sevanjem [9].

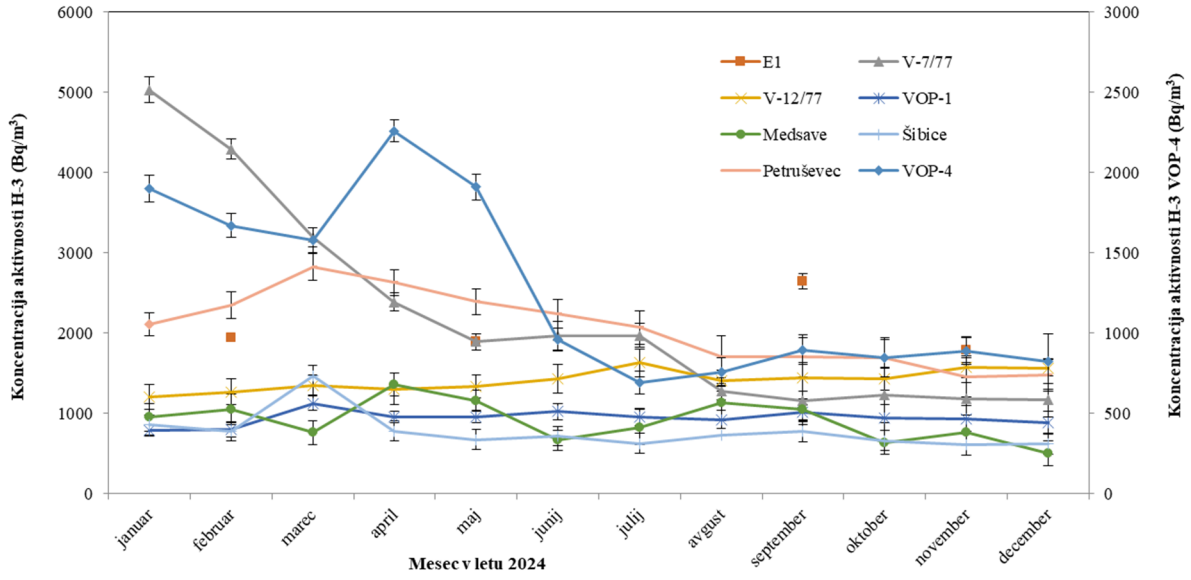
metodologiji, ki je opisana v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS DP 15010.* V vzorcih krškega vodovoda so vrednosti drugega velikostnega reda, v povprečju okrog (900 ± 50) Bq/m^3. Ta vrednost je nekoliko višja od lanske povprečne vrednosti (680 Bq/m^3) in gre na račun februarskega vzorca, ko je bila vsebnost tritija (1730 ± 140) Bq/m^3. Enaka ugotovitev, le z nekoliko drugačnimi številkami, je bila zapisana tudi lansko leto. Velikostni red povprečja za vzorčevalno mesto vodovoda Krško na Petrolu je v letu 2024 približno dvakrat višji od koncentracije aktivnosti tritija v ljubljanskem vodovodu ((430 ± 13) Bq/m^3) in povprečne vrednosti s črpališča Rore (490 ± 16) Bq/m^3. Krški Petrol je v dneh vzorčenja očitno prejel večino vode iz črpališča Rore, razen februarja, ko je vrednost bližje mesečni koncentraciji aktivnosti, ugotovljeno za črpališče Brege.

Zaradi izmenjave vode med Savo in podzemno vodo na krško-brežiškem polju se že od začetka obratovalnega merilnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK preverja stanje tritija v vrtinah, kar je namenjeno sledenju izpustov iz NEK. Vrtinama E1 za izključitvenim območjem in VOP-4, ki je le 50 m oddaljena od Save, ter hrvaškima vrtinama Šibice in Medsave so bile sredi leta 2016 dodane še tri vrtine in sicer VOP-1, V-7/77 in V-12/77, v letu 2021 pa še vrtina s črpališča Petruševec v Zagrebu. Mesečne koncentracije aktivnosti so prikazane na sliki 2.2. Delitev rezultatov v dve skupini v letu 2024 ni tako izrazita kot leta 2023. Razlog tiči v manjšem izpustu tritija. V letu 2024 je bila izpuščena aktivnost tretja najnižja v zadnjih 22 letih. V prvi skupini z med seboj primerljivimi in zelo podobnimi vrednostmi čez celotno leto 2024 kot tudi z letom 2023 so vrtine z rednim mesečnim vzorčenjem VOP-1, V-12/77, Šibice, v vzorcih iz četrtletno vzorčene vrtine E1 pa so bile v letu 2024 izmerjene nekoliko višje vrednosti. Prvi skupini se v letu 2024 pridružuje tudi vrtina Medsave. V vrtinah VOP-4, V-7/77 in Petruševec so v letu 2024 vrednosti do 5-krat višje (v letu 2022 do 34-krat) od vrednosti v vrtinah iz prve skupine, pa še to le v prvi polovici leta. Od julija do decembra so izmerjene vsebnosti tritija v vseh opazovanih vrtinah podobne. Tudi v letu 2024 velja trditev, da so zamiki med posameznimi vrhovi bolje korelirani z razdaljo od Save kot z razdaljo od NEK. Vsekakor pa razdalja od reke ni edini parameter, ki vpliva na rezultate. Rezultati za vrtine iz druge skupine so navezani na potek in količino tritija v izpustih. V letu 2024 opazimo pri izpustih le en izrazitejši vrh v februarju in marcu, odziv je viden le v vrtinah iz prve skupine.

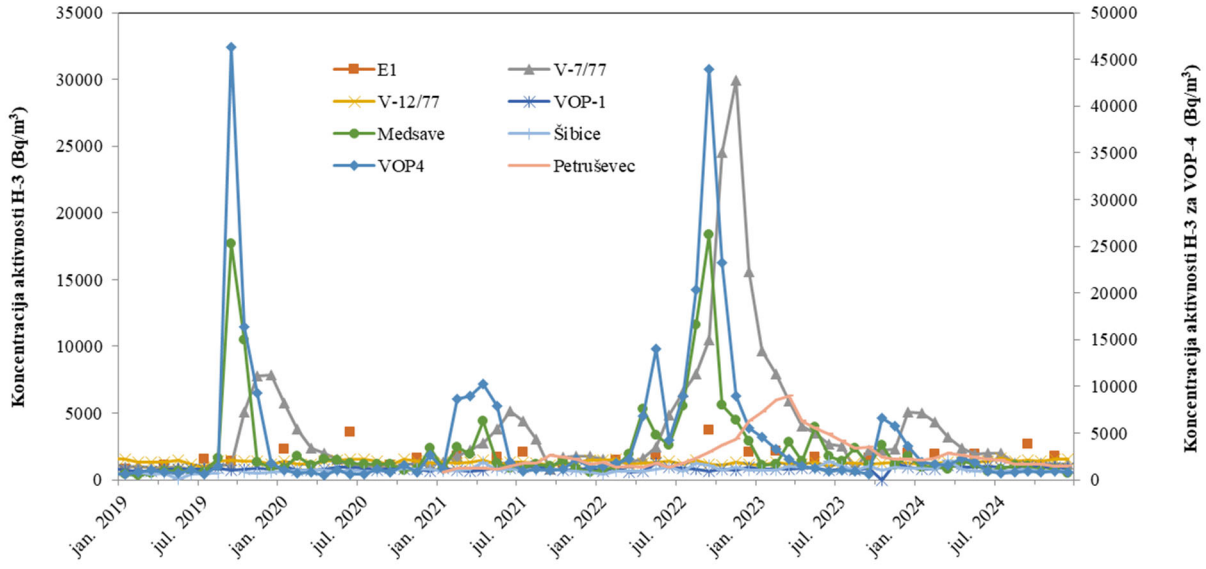


Slika 2.1: Mesečna koncentracija aktivnosti H-3 v vzorcih pitne vode iz črpališč in vodovodov krško – brežiškega polja za leto 2024

Delitev vrtin v dve skupini je lepo vidna tudi na sliki 2.3. s prikazom večletnega poteka vsebnosti tritija, kjer vrednosti ostajajo praktično konstantne za vrtine iz prve skupine, medtem ko je za drugo skupino značilen podoben odziv v vseh vrtinah in je lepo viden porast koncentracije aktivnosti v enakomernih razmikih, ki sovpadajo s periodo remontov oziroma večjih izpustov.

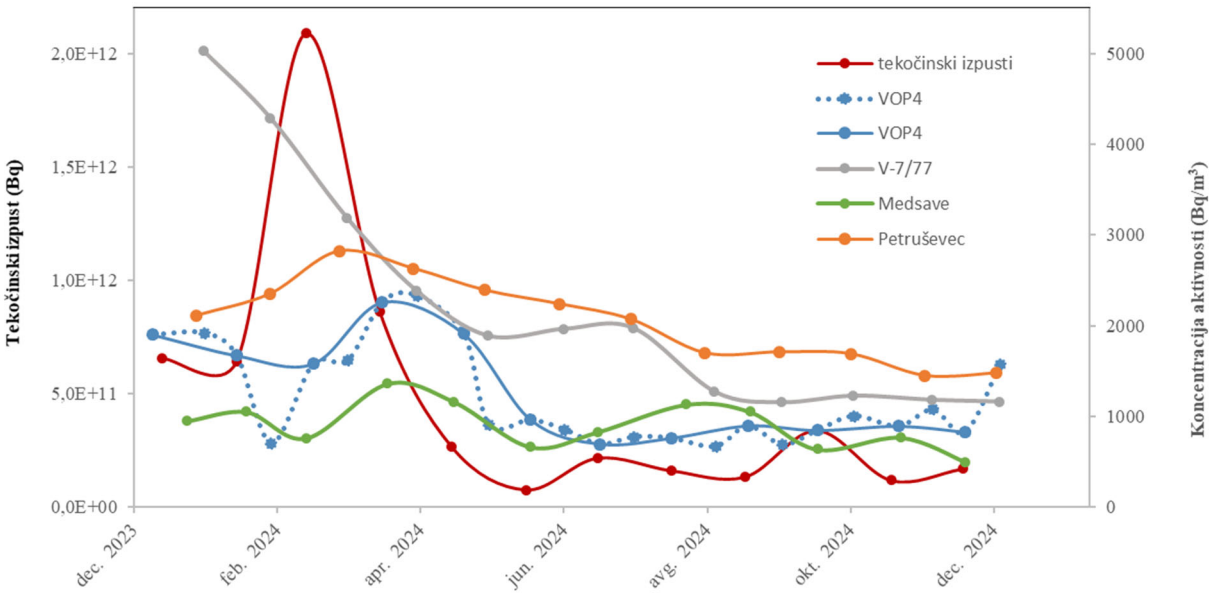


Slika 2.2: Koncentracija aktivnosti H-3 v mesečnih vzorcih vrtin

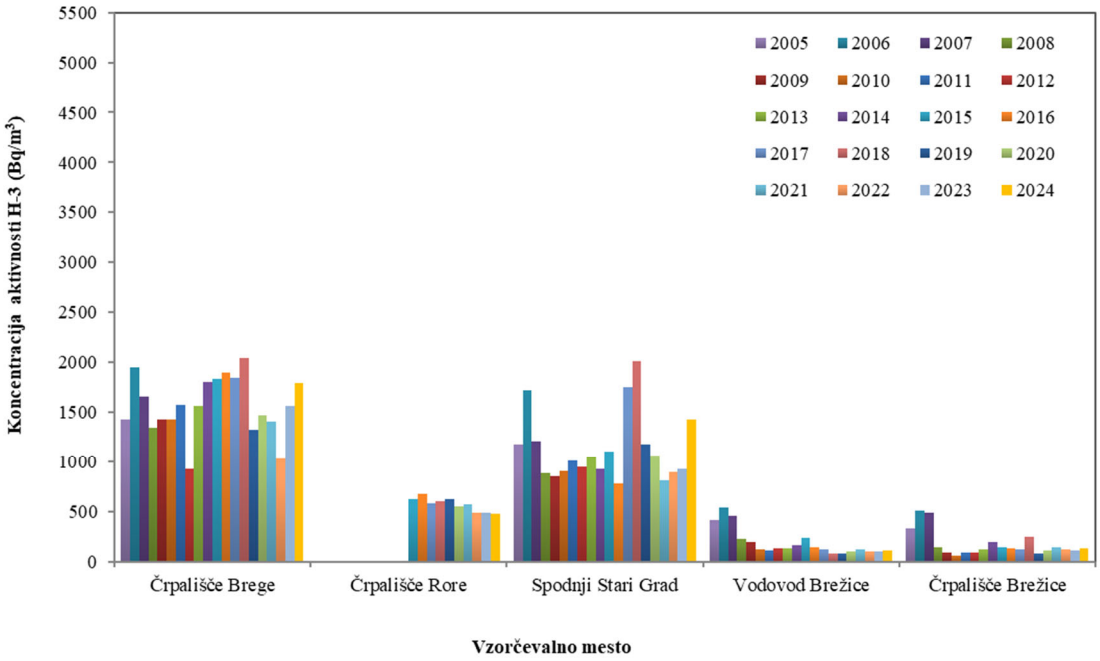


Slika 2.3: Koncentracije aktivnosti tritija za obdobje 2019–2024 za vse vrtine, vključene v nadzor.

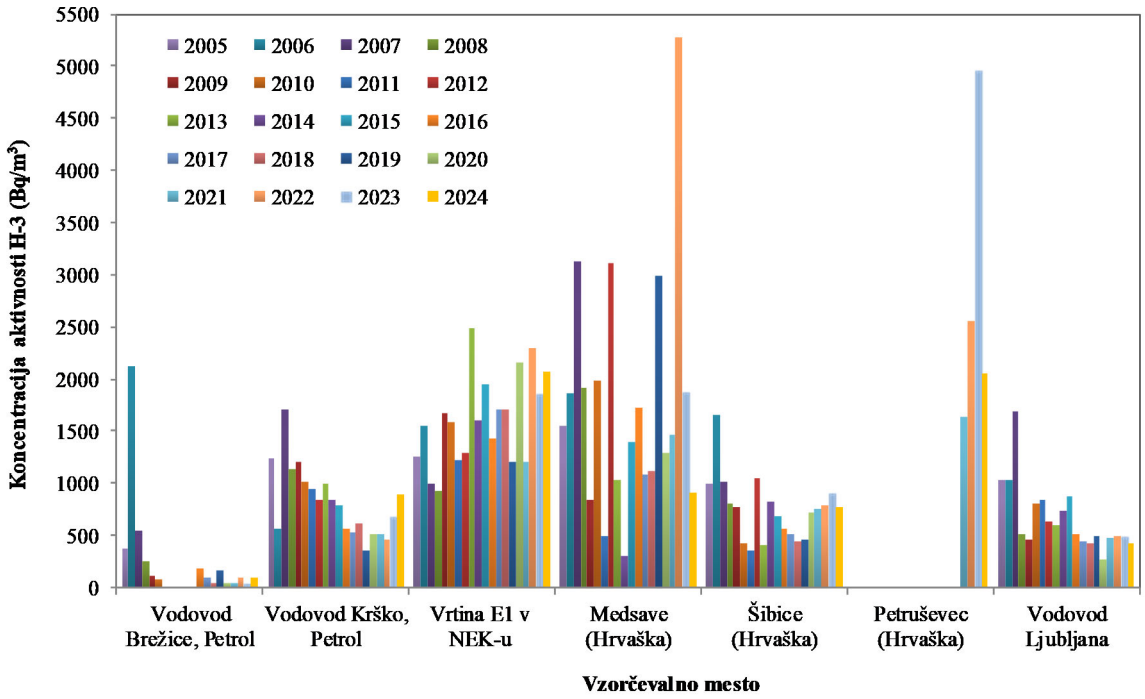
Na sliki 2.4. so prikazani rezultati koncentracije aktivnosti tritija za drugo skupino vrtin in aktivnosti tekočinskih izpustov. Vrednosti za vrtine so rezultati za enkratne mesečne vzorce. Vrtino VOP-4 zaradi želje po boljšem razumevanju hidrogeološke dinamike podzemnih vod in vodonosnikov krško – brežiškega polja vzorčimo pogosteje. Rezultati niso del rednega monitoringa.



Slika 2.4: Koncentracije aktivnosti H-3 v vrtinah VOP-4, V-7/77, Medsave in Petruševec ter tekočinski izpust H-3 iz NEK



Slika 2.5: Povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v vodovodih in črpališčih od leta 2005 do 2024 v okolici NEK



Slika 2.6: Povprečne letne koncentracije aktivnosti H-3 v vodovodih in podtalnici od leta 2005 do 2024 v Sloveniji in na Hrvaškem

Sliki 2.5. in 2.6 prikazujeta povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v vodovodih in podtalnici od leta 2005 do 2024 v Sloveniji in na Hrvaškem. Obe sliki sta v enakem merilu, da jasno vidimo razlike med pitnimi vodami in podzemnimi vodami iz vrtin. Vrednosti za leto 2024 so istega reda velikosti kot v zadnjih letih. Medtem ko pri ljubljanskem in brežiškem vodovodu ter vodi iz črpališča Rore opazimo padajoče oziroma stabilne vrednosti, je dogajanje v vrtinah v vplivnem območju NEK in drugih črpališčih oziroma vodovodih pestrejše in ne sledi globalnim trendom tritija, pač pa izpustom iz jedrske elektrarne.

Cezij (Cs-137) in stroncij (Sr-90)

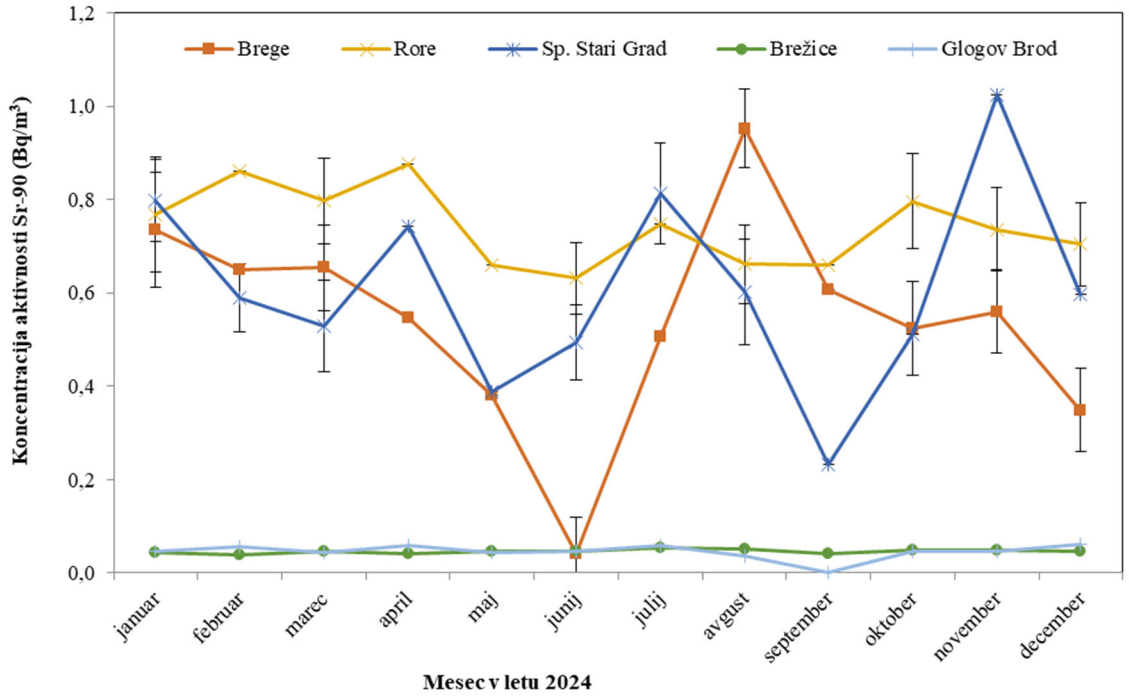
Med umetnimi radionuklidi smo pozorni predvsem na vsebnost cezija Cs-137 in stroncija Sr-90. Oba sta nehomogeno razširjena tudi na naših tleh, pripisujemo ju predvsem černobilski nesreči in nadzemnim jedrskim poskusom. V majhnih količinah se pojavljata tudi v izpustih NEK. Oba lahko uporabimo kot sledilca za študij transportnih procesov. V tabeli 2.2 so prikazani deleži vzorcev, v katerih sta bila radionuklida izmerjena. Cs-137 se pojavlja v 8 % vzorcev, kar je manj kot v letu 2023 in več kot razpolovljena vrednost iz leta 2022, ko je bila vsebnost Cs-137 ugotovljena v 19 % vzorcev. Stroncij je bil izmerjen v 76 % vzorcev, kar je primerljivo s prejšnjimi leti.

Rezultati za Sr-90 so prikazani na slikah od 2.7 do 2.10. Metodologija se v zadnjem letu ni spremenila. Na sliki 2.7 so prikazane koncentracije Sr-90 v mesečnih vzorcih vode črpališč in vodovodov za leto 2024. Rezultate na sliki 2.7 lahko razdelimo v dve skupini; v prvi so rezultati za črpališče Glogov Brod in vodovod Brežice in so pod mejo zaznavnosti. Vrednosti za ostale tri vodovode oziroma črpališča so med 0,54 in 0,74 Bq/m^3, ni posebnih odstopanj glede na letni čas, vrednosti so primerljive z lanskimi rezultati.

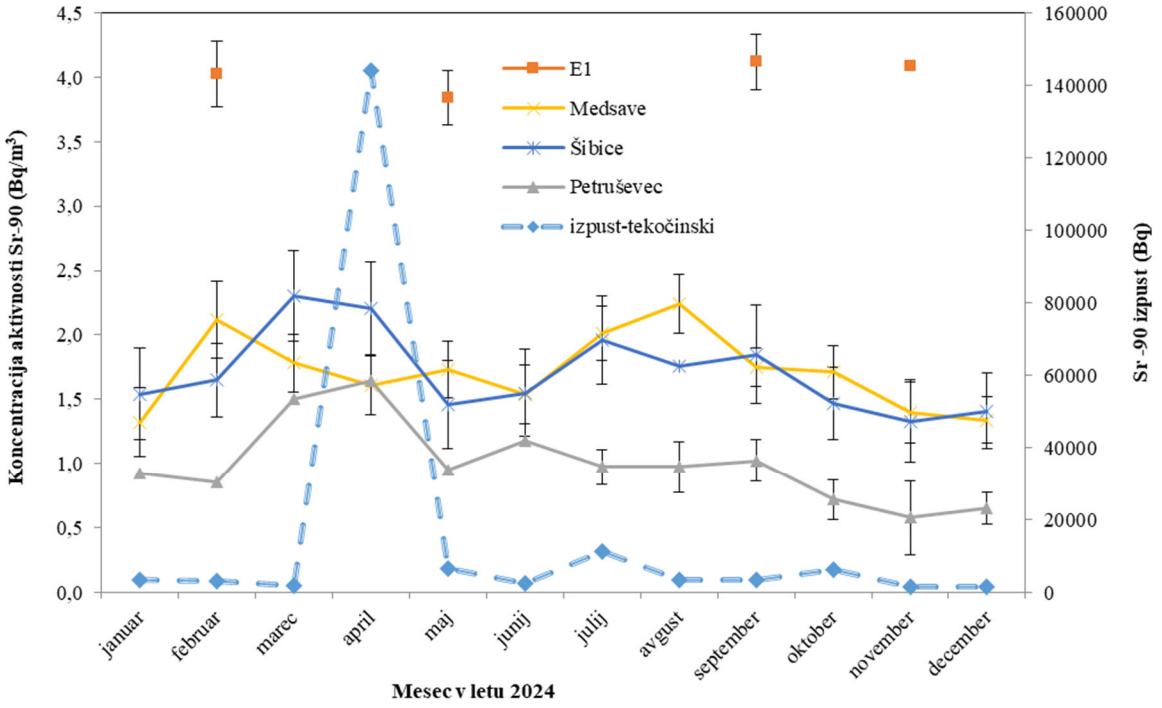
Na sliki 2.8 so prikazani mesečni tekoči izpusti Sr-90 iz NEK in koncentracija aktivnosti stroncija v hrvaških vrtinah in vrtini E1 znotraj ograje NEK. Tudi tu ni opaziti posebnosti, vrednosti za posamezno vzorčevalno mesto so čez celo leto primerljive, tudi vrednosti za vrtine so zelo podobne, predvsem to velja za vrtini Medsave in Šibice. Najnižje vrednosti so bile izmerjene v vzorcih iz vrtine Petruševec, ki je bila v nadzor vključena leta 2022. Vrednosti za vzorce iz vrtine E1 so primerljive tako za vsa štiri vzorčenja v 2024 kot z vrednostmi v lanskem letu. V primerjavi s hrvaškimi vrtinami so vrednosti koncentracije aktivnosti približno dvakrat višje.

Tabela 2.2: Število vseh vzorcev, v katerih smo v okviru merilnega nadzora določali Cs-137 in Sr-90 ter delež tistih, kjer so bile izmerjene vrednosti nad detekcijsko mejo

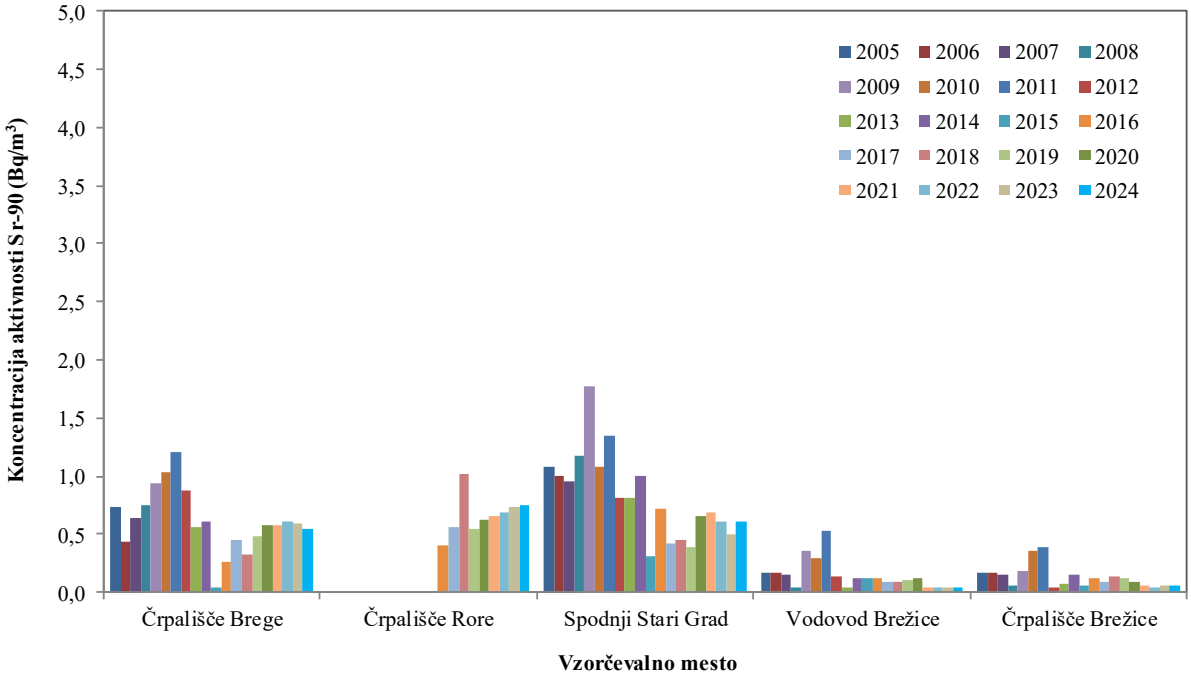
	št. mest	št vzorcev na leto	skupno število vzorcev	Cs-137	delež	Sr-90	delež
črpališča	5	12	60	5	0,08	35	0,58
vodovodi	2	4	8	0	0,00	7	0,88
referenčni vodovod	1	1	1	0	0,00	1	1,00
vrtine SLO	1	4	4	1	0,25	4	1,00
vrtine HR	3	12	36	3	0,08	36	1,00
skupaj	12		109	9	0,08	83	0,76



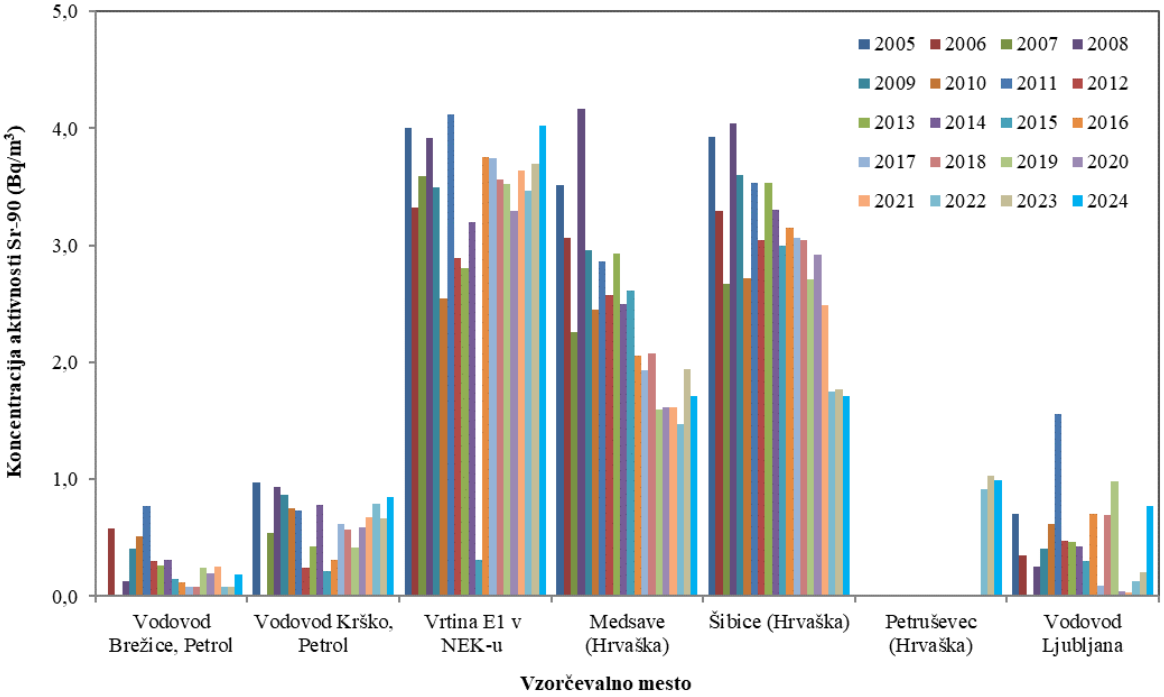
Slika 2.7: Koncentracija aktivnosti Sr-90 v mesečnih sestavljenih vzorcih iz črpališč in vodovodov v okolici NEK v letu 2024



Slika 2.8: Koncentracija aktivnosti Sr-90 v posamičnih mesečnih vzorcih vrtin ter mesečni tekočinski izpusti Sr-90 v Savo v letu 2024



Slika 2.9: Povprečne letne koncentracije aktivnosti Sr-90 v vodovodih in črpališčih v okolici NEK od leta 2005 do 2024



Slika 2.10: Povprečne letne koncentracije aktivnosti Sr-90 v vodovodih, črpališčih in podtalnici od leta 2005 do 2024 v Sloveniji in na Hrvaškem

Sliki 2.9 in 2.10 sta narisani v enakem merilu in tako jasno vidimo, da so koncentracije aktivnosti za vrtine višje od najvišjih vrednosti za pitne vode. Letno povprečje koncentracije aktivnosti Sr-90 v krških črpališčih in vodovodu je bilo 0,63 Bq/m^3, kar je primerljivo s prejšnjimi štirimi leti. V brežiškem vodovodnem sistemu je bila večina izmerjenih vrednosti pod mejo kvantifikacije. Vrednost za brežiški vodovod 0,05 Bq/m^3 je izračunana iz detekcijskih mej in je enaka kot zadnja tri leta. Za ljubljanski vodovod je bila v letu 2024 izmerjena vrednost 0,21 Bq/m^3, kar je skoraj štirikrat več kot v letu 2023. V posamično odvzetih četrtletnih vzorcih vode iz vodovoda Brežice so bile vse vrednosti pod mejo zaznavnosti, v Krškem pa med seboj primerljive, v povprečju 0,85 Bq/m^3, kar je nekoliko več kot v letu 2023. V splošnem vrednosti padajo oziroma se počasi stabilizirajo, saj jih dandanes že v veliki meri določa občutljivost metode, kar lahko razberemo tudi iz slike 2.9 s povprečnimi letnimi koncentracijami za vodovode in črpališča. Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Sr-90 za leto 2024 na sliki 2.10 je v vseh treh vrtinah nekoliko višje, a primerljivo z vrednostmi iz leta 2023.

Jod (I-131) in aktivacijski ter fisijski produkti

Jod I-131 in drugi aktivacijski in fisijski produkti v vzorcih vodovodov, črpališč in vrtin tudi v letu 2024 niso bili zaznani.

Naravni radionuklidi

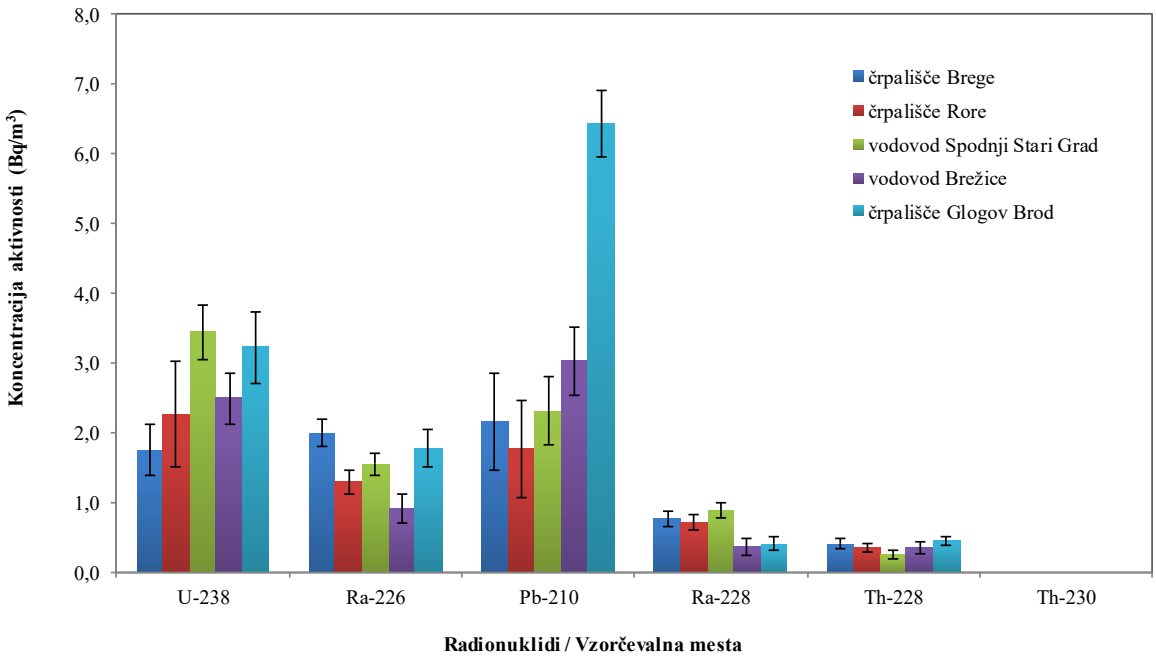
Koncentracije aktivnosti naravnega radionuklida K-40 so bile leta 2024 izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih. Mesečne koncentracije aktivnosti K-40 so v vseh črpališčih in obeh vodovodih podobne vrednostim iz leta 2023. Delitev vodovodov in črpališč na dve skupini glede na K-40 je še vedno smiselna. V skupini treh vzorčevalnih mest Rore, Glogov Brod in Brežice vrednosti ostajajo na približno enaki ravni kot prejšnja leta, vrednosti so približno konstantne čez celo leto s povprečno vrednostjo okrog 23 Bq/m^3, kar je nekoliko manj kot v prejšnjem letu. Vrednost za vzorčevalno mesto Spodnji Stari Grad je nekoliko višja in je posledica mešanja vode iz črpališč Brege in Rore, kar je skladno z ugotovitvami pri tritiju. Najvišje vrednosti so še vedno ugotovljene za vzorčevalno mesto Brege, v povprečju okrog 55 Bq/m^3, kar je zelo

podobno lanski povprečni vrednosti. V splošnem se vrednosti zmanjšujejo, kar nas navaja na misel, da se na krško-brežiškem polju spreminja količina ali vsaj režim gnojenja kmetijskih površin nad območji vodonosnikov [47] in da obstaja neposredni vpliv padavinskega useda in višjih vodostajev Save.

Na sliki 2.11 so povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti nekaterih naravnih radionuklidov v krško-brežiških vodovodih in črpališčih. Vrednosti so precej podobne lanskim. Pb-210 za črpališče Glogov Brod (črpališče Brežice) je tudi v letu 2024 precej višji kot na drugih vzorčevanih mestih, podobno kot leta 2021, 2022 in 2023. V letu 2024 smo samo enkrat izmerili vrednost, višjo od 10 Bq/m^3. Najvišja vrednost je bila v letu 2024 ugotovljena v januarju (21 ± 1) Bq/m^3. Za razliko prejšnjih let, ko so bile najvišje vrednosti izmerjene v zimskih mesecih, so v letu 2024 vrednosti precej konstantne, če seveda izzvamemo januarski vzorec. Preverili smo tudi tritij, Be-7 in prevodnost, vendar nismo našli posebnosti.

Če izvzamemo K-40, je v vzorcih ugotovljenega največ Pb-210 s povprečno vrednostjo okrog 3,14 Bq/m^3, kar je podobno kot zadnjih pet let od 2019. Sledijo mu U-238 s približno 2,63 Bq/m^3, Ra-226 z 1,5 Bq/m^3 in Be-7 s povprečno vrednostjo 1,02 Bq/m^3. Povprečne vrednosti so za malenkost nižje kot v prejšnjem letu. Ra-228 smo zaznali nekoliko več kot prejšnje leto, medtem ko je bilo obeh torijevih radionuklidov manj kot leto poprej. Najvišje povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti za Pb-210 je bilo tudi v letu 2024 izračunano za črpališče Glogov Brod (6,43 ± 0,47) Bq/m^3, za U-238 pa (3,44 ± 0,39) Bq/m^3 za vodovod Spodnji Stari Grad. Povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti Ra-226 se gibljejo od 0,9 Bq/m^3 (vodovod Brežice) do 1,99 Bq/m^3 (črpališče Brege). Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Ra-228 za vodovod Brežice je (0,37 ± 0,12) Bq/m^3, za vodovod Spodnji Stari Grad pa (0,88 ± 0,11) Bq/m^3. Minimalne in maksimalne vrednosti se večinoma pojavljajo na istih vzorčevalnih mestih kot prejšnje leto in so primerljive z vrednostmi lanskega leta.

Be-7 je bil izmerjen v vseh črpališčih in vodovodih v Krškem in Brežicah. Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Be-7 je od 0,46 Bq/m^3 v vodovodu Brežice do 1,6 Bq/m^3 na črpališču Brege, v povprečju približno 1,02 Bq/m^3, kar je najmanj v zadnjih petih letih.



Slika 2.11: Povprečne letne koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov v vodovodih in črpališčih v letu 2024

OCENA UČINKOV

V tekočih in plinastih izpustih NEK je največ H-3 v obliki vode ali vodne pare. Z določanjem vsebnosti umetnih radionuklidov v pitni vodi in podtalnici ugotavljamo učinek morebitnega onesnaževanja zaradi izpustov iz NEK. Iščemo torej korelacije med koncentracijami aktivnosti v okoljskih vzorcih in aktivnostmi izpustov iz NEK. Povezave s tekočinskimi izpusti v letu 2024 so zaznavne, ne pa zelo očitne, obravnavamo jih v podpoglavjih o tritiju in stronciju. V letu 2024 je bil izpust H-3 eden najnižjih v zadnjih 22 letih; letni izpust H-3 v Savo je bil približno13 % letne omejitve izpusta, postavljenega na 45 TBq in pol manjši kot v letu 2023. Največji tekočinski izpust H-3 je bil marca (2,09 TBq). V prvih štirih mesecih so dosegli izpusti 75 % celotne letne vrednosti.

Pomembno vlogo pri razjasnitvi morebitnega učinka elektrarne na okolico in ljudi ima primerjava rezultatov meritev v enem letu z dolgoletnim povprečjem za izbrani radionuklid na isti lokaciji. Primerjava povprečnih letnih koncentracij H-3 in Sr-90 v vzorcih vode iz črpališč in vodovodov v okolici NEK od leta 2005 do 2024 je prikazana na slikah 2.5, 2.6, 2.9 in 2.10. Vrednosti so tudi v letu 2024 enakega velikostnega reda kot v preteklih letih.

V tabelah 2.3 in 2.4 so prikazane izračunane letne efektivne doze zaradi vnosa umetnih in naravnih radionuklidov ter njihove vsote pri pitju vodovodne vode za tri starostne skupine prebivalstva. Za primerjavo so podane tudi izračunane letne efektivne doze, izračunane na osnovi meritev na referenčni lokaciji (vodovod Ljubljana), ki se izvajajo v okviru republiškega nadzora pitne vode. Letne efektivne doze so izračunane ob predpostavki, da odrasel človek (referenčna oseba[16]) popije na leto 0,75 m^3 vode, desetletni otrok 0,35 m^3 vode in enoletni otrok 0,26 m^3 vode na leto. Te predpostavke so v rabi že vrsto let, povzete so po priporočilih Svetovne zdravstvene organizacije in privzete tudi pri pripravi dokumentov članic EU. Glede na anketo, izvedeno med prebivalci iz bližine NEK, bi lahko za količino zaužite vode za odraslega človeka uporabili skoraj polovico manjšo količino (0,40 m^3), kar pomeni, da bi bile tudi vse izračunane doze skoraj za polovico manjše. Ohranjamo dosedanje predpostavke in metodologijo, ki so skladne s priporočili Svetovne zdravstvene organizacije in dokumenti EU, s tem pa kontinuiteto in primerljivost z dosedanjimi podatki.

Letna efektivna doza za umetne radionuklide v pitni vodi je vsota prispevkov zaradi prisotnosti H-3, Sr-90 in Cs-137. Pri tem velja pripomniti, da je H-3 tudi kozmogenega izvora, le del je posledica izpustov iz jedrske elektrarne. Drugih umetnih radionuklidov ni bilo zaznati v izmerjenih vzorcih. Letna efektivna doza za naravne radionuklide v pitni vodi je vsota prispevkov radionuklidov iz uranove in torijeve razpadne vrste ter Be-7. K-40 ni vključen v izračun, saj ne prispeva k dozi zaradi homeostatskega uravnavanja količine kalija v telesu.

Poglejmo si nekaj povprečij za odraslo referenčno osebo. Zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov v krškem vodooskrbnem sistemu prejme referenčna oseba 0,030 μSv. V brežiškem vodovodnem sistemu je ocenjena povprečna letna efektivna doza v letu 2024 za referenčno osebo zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov skupaj 0,003 μSv. Celotna povprečna ocenjena letna doza za referenčno osebo zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov v pitni vodi je 2,2 μSv za krški in 3,2 μSv za brežiški vodooskrbni sistem. Povprečji sta izračunani za mesečne sestavljene vzorce. Od naravnih radionuklidov k celotni dozi daleč največ prispeva Pb-210. Tudi v letu 2024 ga je bilo največ v v vzorcih iz Glogovega Broda, enako kot že v prejšnjih letih. V krškem vodovodnem sistemu je prispevek umetnih radionuklidov približno desetkrat višji kot v brežiškem, kar je podobno kot v preteklih letih. Razlog je črpanje krške pitne vode iz vodonosnika, ki se delno napaja iz Save in Krke. Skupna ocenjena doza za krški vodooskrbni sistem pa je nižja kot za brežiški sistem zaradi drugačnega prispevka naravnih radionuklidov. V ljubljanskem vodovodu je bil prispevek umetnih radionuklidov ocenjen na 0,022 μSv na leto za odraslo referenčno osebo,

[16] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].

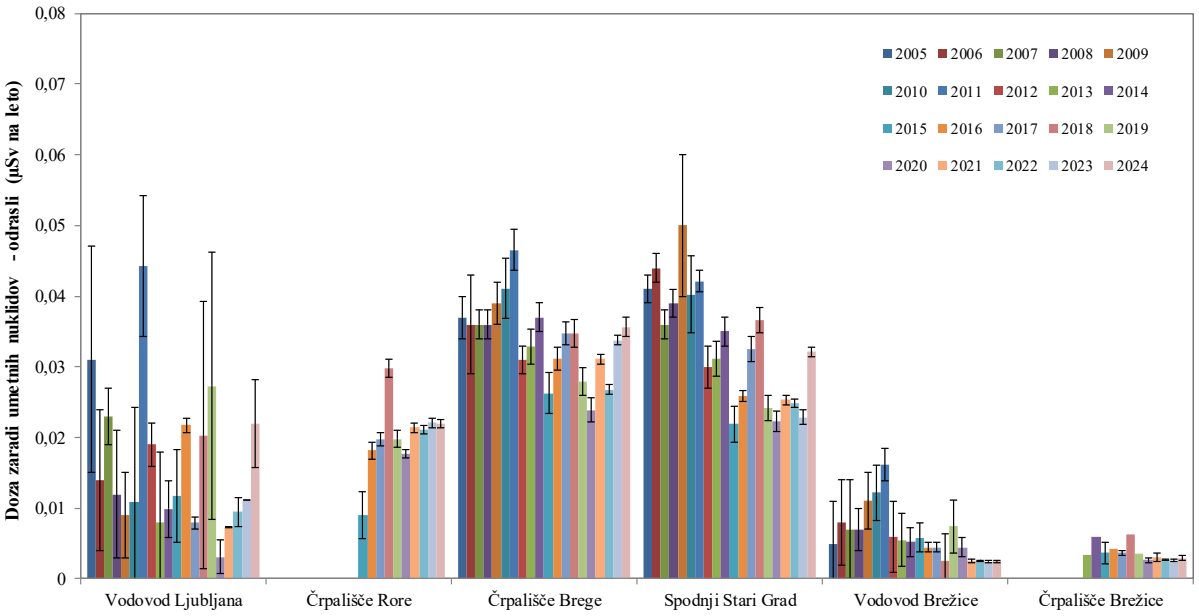
kar je okrog 0,44 % celotne ocenjene letne doze zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov (5,0 μSv) v pitni vodi. Celotna ocenjena letna doza je bila v letu 2024 za Ljubljančane višja kot za prebivalce Brežic in Krškega. Poudariti velja, da je letna efektivna doza za odraslo referenčno osebo zaradi vnosa naravnih radionuklidov pri pitju vodovodne vode, enako kot pri vnosu hrane, vključena v vsoti prispevkov k dozi naravnega sevanja (tabeli B in C v izvlečku).

Tabela 2.3: Izračunane letne efektivne doze ter njihove vsote za odraslo referenčno osebo, otroka in dojenčka zaradi umetnih in naravnih radionuklidov v vodovodih ter črpališčih pitne vode in podtalnice v letu 2024 za krške vodovode in črpališča.

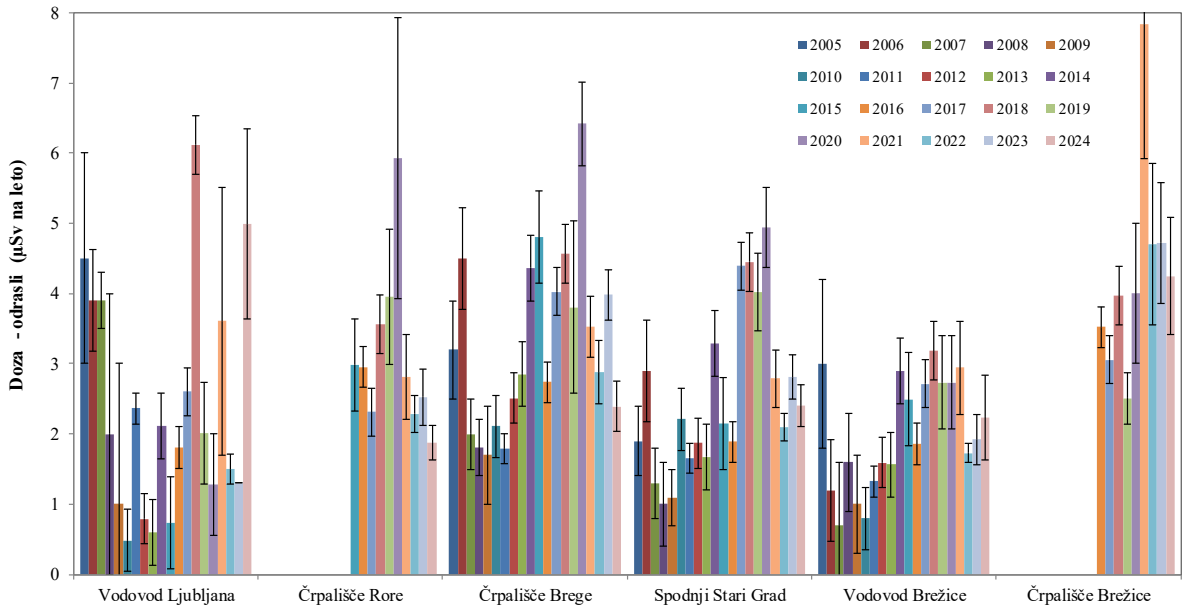
STAROSTNA SKUPINA	vrsta radionuklidov	vodovod Krško	Črpališče Brege	Črpališče Rore	Vodovod Krško (Spodnji Stari Grad)
		Letna efektivna doza (μSv)			
ODRASLI	umetni	0,030 ± 0,001	0,036 ± 0,001	0,022 ± 0,001	0,032 ± 0,001
	naravni	1,6 ± 0,2	2,4 ± 0,4	1,9 ± 0,2	2,4 ± 0,3
	Vsota	1,7 ± 0,2	2,4 ± 0,4	1,9 ± 0,2	2,4 ± 0,3
OTROCI	umetni	0,025 ± 0,001	0,026 ± 0,001	0,019 ± 0,001	0,024 ± 0,001
	naravni	2,7 ± 0,4	3,5 ± 0,5	2,8 ± 0,3	3,6 ± 0,4
	vsota	2,7 ± 0,4	3,5 ± 0,5	2,8 ± 0,3	3,6 ± 0,4
DOJENČKI	umetni	0,066 ± 0,003	0,062 ± 0,004	0,052 ± 0,002	0,060 ± 0,002
	naravni	12,8 ± 2,0	15,4 ± 1,7	12,7 ± 1,4	15,6 ± 1,5
	vsota	12,8 ± 2,0	15,4 ± 1,7	12,8 ± 1,4	15,7 ± 1,5

Tabela 2.4: Izračunane letne efektivne doze ter njihove vsote za odraslo referenčno osebo, otroka in dojenčka zaradi umetnih in naravnih radionuklidov v vodovodih ter črpališčih pitne vode in podtalnice v letu 2024 za brežiške vodovode in črpališča.

STAROSTNA SKUPINA	vrsta radionuklidov	vodovod Brežice	Vodovod Brežice (Volčanšek)	Črpališča Brežice (Glogov Brod)
		Letna efektivna doza (μSv)		
ODRASLI	umetni	0,0054 ± 0,0013	0,002 ± 0,0002	0,003 ± 0,000
	naravni	1,7 ± 0,4	2,2 ± 0,6	4,2 ± 0,8
	vsota	1,7 ± 0,4	2,2 ± 0,6	4,2 ± 0,8
OTROCI	umetni	0,0048 ± 0,0012	0,0019 ± 0,0001	0,002 ± 0,000
	naravni	2,4 ± 0,6	3,1 ± 0,8	5,7 ± 1,1
	vsota	2,4 ± 0,6	3,1 ± 0,8	5,7 ± 1,1
DOJENČKI	umetni	0,0130 ± 0,0033	0,005 ± 0,000	0,005 ± 0,000
	naravni	10,4 ± 2,8	12,2 ± 2,7	21,4 ± 3,6
	vsota	10,4 ± 2,8	12,3 ± 2,7	21,4 ± 3,6



Slika 2.12: Ocenjeni prispevek umetnih radionuklidov v pitni vodi k letni dozi za odraslo osebo od leta 2005 do 2024 na različnih vzorčevalnih lokacijah



Slika 2.13: Ocenjena letna doza zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov v pitni vodi za odraslo osebo od leta 2005 do 2024 na različnih vzorčevalnih lokacijah

Na sliki 2.12 je prikazana primerjava ocenjenih letnih efektivnih doz za odraslo referenčno osebo zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov v vodi. Vključeni so podatki za črpališči Brege in Rore ter vodovodi Spodnji Stari Grad, Brežice in Ljubljana. V letu 2024 je ocenjena letna efektivna doza za vsa krško – brežiška vzorčevalna mesta istega reda velikosti kot v letu 2023. Slika 2.13 je podobna, le da gre za ocenjene letne efektivne doze za odraslo referenčno osebo zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov v pitni vodi. Čeprav so koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov v črpališčih in vodovodih v splošnem nizke, prispevajo naravni radionuklidi uranove in torijeve razpadne vrste največ k ocenjeni letni efektivni dozi. Zaradi visokih doznih faktorjev največ prispevajo k celotni ocenjeni dozi Pb-210, Ra-226 in Ra-228. Že iz velikostnega reda doz na slikah 2.12 in 2.13 razberemo, da je prispevek umetnih radionuklidov za odraslo osebo zaradi tekočinskih in zračnih izpustov NEK zanemarljiv v primerjavi s prispevkom k letni dozi zaradi umetnih radionuklidov iz splošne kontaminacije in naravnih radionuklidov zaradi naravnega sevanja v pitni vodi. Vrednosti za umetne in naravne radionuklide v splošnem ločujeta dva velikostna razreda.

SKLEPI

Med umetnimi radionuklidi sta bila v pitni vodi in podtalnici v letu 2024 izmerjena H-3 in Sr-90. Cs-137 je bil sicer večinoma zaznan, ne pa tudi izmerjen, ker so bile vrednosti pod mejo kvantifikacije. Izmerjen je bil samo še v 8 % vzorcev pitnih vod. I-131 v letu 2024 ni bil zaznan v nobenem vzorcu vodovodnih oziroma podzemnih vod.

Koncentracije aktivnosti tritija v pitni vodi v okolici NEK so istega velikostnega reda kot drugod po Sloveniji. Vrednosti na Bregah so najvišje v Sloveniji in so nedvomno posledica učinka delovanja NEK, vendar tudi najvišje vrednosti še vedno dosegajo manj kot 2 % parametrične vrednosti direktive EU za pitne vode in *Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi* [9].

V letu 2024 je bil izpust H-3 eden najnižjih v zadnjih 22 letih. Korelacije med vrtinami blizu reke Save in izpusti so tudi v letu 2024 nedvoumne, vendar ne tako izrazite kot v letih večjih izpustov. Letošnje meritve potrujejo opažanja zadnjih let, ko smo stopnjo korelacij povezovali s spremenjenim hidrološkim režimom na krško-brežiškem polju zaradi napolnitve akumulacije HE Brežice, količino in frekvenco izpustov.

Največja ocenjena letna efektivna doza v okolici NEK v letu 2024 zaradi pitja vodovodne vode je bila na krško-brežiškem polju izračunana za črpališče Brežice – Glogov Brod, in sicer 4,2 µSv za odraslo referenčno osebo, 5,1 µSv za otroke in 21,4 µSv za dojenčke. Vrednosti so nekoliko nižje kot leta 2023 in doegajo približno 85 % dozne obremenitve Ljubljančanov. Praktično vsa obremenitev gre na račun naravnih radionuklidov, Pb-210 je glavni »krivec«, sledijo radijevi izotopi. Umetni radionuklidi prispevajo k obremenitvi manj kot 2 % (1,79 %, vodovod Krško). Za otroke in dojenčke je ta delež še manjši.

Ocenjena letna doza v ljubljanskem vodovodu v letu 2024 je 5,0 µSv za odraslo referenčno osebo, 8,2 µSv za otroka in 38,9 µSv za dojenčka, kar je skoraj štirikrat več kot v letu 2023. Obremenitev z umetnimi radionuklidi iz ljubljanskega vodovoda je ocenjena na 0,44 % celotne izračunane letne doze zaradi radionuklidov v pitni vodi za odraslo referenčno osebo. V primerjavi s prebivalci Brežic in Krškega so Ljubljančani v letu 2024 prejeli višjo letno efektivno dozo zaradi pitja vode.

Ocenjene letne efektivne doze zaradi umetnih radionuklidov v pitni vodi v brežiškem in krškem vodnooskrbnem sistemu so daleč pod avtorizirano mejno dozo (50 µSv), koncentracije aktivnosti pa pod izpeljanimi koncentracijami aktivnosti, ki so izračunane ob upoštevanju, da je vrednost mejne efektivne doze 100 µSv na leto za pitno vodo [10] in pod parametričnimi vrednostmi iz [9].

3 RADIOAKTIVNOST V USEDIH

POVZETEK

Pregledali smo merske rezultate s treh lokacij za padavine in z osmih mest za suhe usede v okolici NEK ter jih primerjali z vrednostmi z referenčne točke v Ljubljani. V letu 2024 je bilo izmerjenih po 48 padavinskih vzorcev (padavinski used) in vzorcev vazelinskih plošč (suhi used). Uporabljene so bile tri različne analizne tehnike: visokoločljivostna spektrometrija gama, tekočinskoscintilacijska spektrometrija in radiokemijska metoda z meritvami na proporcionalnem števcu.

V padavinskih vzorcih in vazelinskih ploščah so bili, kot leta poprej, izmerjeni radionuklidi H-3, Be-7, Na 22, Cs 137, U-238, Ra-226, Ra-228, Pb-210, Th-228 in K-40. Radionuklid Sr-90 je bil zaznan v šestih vzorcih. Vzrok za prisotnost niso zračni izpusti iz NEK, pač pa vetrni nanos zemlje v lovilnike padavin, kjer je radionuklid prisoten zaradi splošne kontaminacije. Izmerjene koncentracije aktivnosti usedov se ne odmikajo bistveno od dolgoletnih povprečij. Študirali smo korelacije med parametri, kot so količina padavin, koncentracija aktivnosti radionuklidov, padavinski in suhi used in neposredni zračni izpusti iz jedrske elektrarne. Podatke smo primerjali z večletnimi nizi in iskali morebitne odmike od dolgoletnih povprečij. V splošnem ni opaziti korelacije med izpusti jedrske elektrarne in vsebnostjo radionuklidov v okolju, razen občasno pri H-3. Pri tritiju se opazi, da je koncentracija aktivnosti H-3 na Bregah in v Krškem na vsakoletni ravni višja kot na referenčnih mestih v Ljubljani in Dobovi, kar lahko pripišemo izpustom iz NEK. Korelacijski koeficient med izmerjeno koncentracijo H-3 in zračnimi izpusti v letu 2024 za vzorčevalno mesto Brege kaže na korelacijo, za Krško in bolj oddaljeno Dobovo ter referenčno mesto v Ljubljani pa ne.

Izračunali smo efektivno dozo zaradi zunanjega sevanja useda in zaradi zaužitja rastlin z usedlimi radionuklidi za referenčno osebo v okolici jedrske elektrarne in na referenčni točki v Ljubljani. Prispevek umetnih radionuklidov v okolici NEK k skupni dozi je zanemarljiv. Skupne doze v okolici NEK so primerljive z dozami na referenčni točki v Ljubljani.

UVOD

Za nadzor učinka zračnih izpustov na okolje vzorčimo zrak z aerosolnimi in oglenimi filtri (poglavje *Zrak*) ter vzorci padavin. Lovilniki padavin so postavljeni v bližini jedrskega objekta (Krško, Brege in Dobova) in na referenčni lokaciji v Ljubljani. Del aerosolov zbiramo v obliki suhega useda na vazelinskih ploščah, ki so postavljene v okolici jedrske elektrarne in na referenčni lokaciji v Ljubljani. Tako zajamemo vse sestavne dele ozračja: pline, aerosole in vodo v različnih pojavnih oblikah in agregatnih stanjih. Podatki so bistveni za določitev doznih obremenitev ljudi, ki živijo v okolici jedrskega objekta. Rezultate primerjamo z vrednostmi na referenčni lokaciji.

Usedle radioaktivne snovi s sevanjem prispevajo k izpostavitvi ljudi neposredno, vsrkane v rastline prek korenin ali listov pa se vnesejo z užitnimi deli v prehrambno verigo ljudi, kar se podrobneje obravnava v poglavju *Radionuklidi v hrani*. Padavine s pronicanjem skozi zemeljske plasti postanejo del podzemnih vod, ki jih nato črpamo na površje in uporabljamo kot pitno vodo (poglavje *Radioaktivnost v pitni in podzemni vodi*). Zato imajo padavine pomembno vlogo pri prenosu radioaktivnih snovi iz zraka v živa bitja.

Tritij, radioaktivni izotop vodika, je eden redkih radionuklidov, ki jih jedrske elektrarne izpuščajo v tolikšnih količinah, da jih lahko merimo tudi v okoljskih vzorcih. Del tritijevega inventarja v ozračju prispevajo tudi različne industrijske panoge, ki uporabljajo H-3 kot vstopno surovino pri izdelavi instrumentov in svetlečih oznak. Predvsem na severni zemeljski polobli je del tritija v ozračju dediščina nadzemnih jedrskih poskusov. Ti so v šestdesetih letih prejšnjega stoletja zvišali tritijeve koncentracije aktivnosti v padavinah za tri velikostne rede. Vrednosti se dandanes počasi približujejo ravni iz predjedrske dobe. Tritij je tudi kozmogen radionuklid, ki nastaja v zgornjih plasteh ozračja ob interakciji kozmičnih žarkov z dušikom. V ozračju postane sestavni del vodne molekule in se tako vključi v globalni vodni krog,

ki je bistvenega pomena za življenje na Zemlji.

V letu 2024 so bili v vzorcih padavin in vazelinskih plošč izmerjeni H-3, umetna radionuklida Cs-137 in Sr-90, kozmogena Be-7 in Na-22 ter naravni radionuklidi K-40, U-238, Th-228, Th-230, Ra-226, Ra-228 in Pb-210.

OKOLJSKI VZORCI

Značilnosti vzorčenja

Mesečno vzorčenje padavin in suhega useda poteka neprekinjeno v skladu s postopkom *Zbiranje vzorcev deževnice in talnega useda (LMR-DN-04)*.

Lovilniki padavin so postavljeni v Krškem, Bregah, Dobovi in na referenčni lokaciji v Ljubljani (IJS, Jamova cesta 39). Instrument sestavljata lijak in dve 25-litrski plastični posodi, ki sta z lijakom povezani z plastično cevjo. Lijak iz polirane nerjavne pločevine, ki zajema padavine na efektivni površini 0,25 m^2, je opremljen s kovinsko mrežico za prestrezanje listja in drugih predmetov. Oblikovan je tako, da so izgube padavin zaradi pršenja vode iz lijaka minimalne. Ob lovilniku padavin v Krškem in Dobovi je tudi merilnik količine padavin, ki se odčitava dnevno, za lokaciji Brege in Ljubljana pa uporabljamo meritve ARSO.

Zbrani tekočinski vzorec padavin se razdeli na dva dela: v litrskemu podvzorcu se ugotavlja vsebnost tritija (H-3), iz preostalega vzorca se pripravi vodna sušina za analize sevalcev gama in stroncija po postopku *Priprava sušine vzorcev vod (LMR-DN-06)*.

Suhi talni used se zbira na vazelinskih ploščah površine 0,3 m^2 iz poliakrilatnega "pleksi" stekla. Postavljene so od 1,8 m do 2 m nad površino tal in premazane s tanko plastjo farmacevtske vazeline. Na ploščah se ujamejo tudi resuspendirani prašni delci. Zbiralniki suhega useda so postavljeni na osmih vzorčevalnih mestih v ožji in širši okolici NEK.

Značilnosti meritev okoljskih vzorcev

Za določitev aktivnosti sevalcev gama uporabljamo visokoločljivostno spektrometrijo gama. Analizo stroncija smo opravili po postopku *Določanje stroncija z beta štetjem (SDN-O2-STC(01))*. Ugotavljanje koncentracije aktivnosti H-3 smo opravili po postopku *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem (SDN-O2-STC(02))*. V primerih, da je vzorca izredno malo, ga analiziramo po direktni metodi po postopkih *Vzorčenje in priprava vzorcev za določitev tritija (LSC-DN-06)* in *Analiza in izračun vsebnosti tritija H-3 (LSC-DN-07).*

Meritve sevalcev gama v suhem usedu se izvajajo na treh sestavljenih vzorcih: ožja okolica NEK (vzorčevalna mesta 1, 7 in 8 na razdalji približno 1 km), širša okolica NEK (vzorčevalna mesta od 2 do 5 na razdalji približno 3 km) in daljna okolica (vzorčevalno mesto 6, najdlje od NEK, na razdalji približno 4,5 km). Referenčno mesto za suhi used je v Ljubljani. Koncentracije aktivnosti sevalcev gama v deževnici in suhem usedu so bile opravljene po postopku *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*.

REZULTATI MERITEV IN TIPIČNI ČASOVNI POTEKI

Padavine in padavinski used

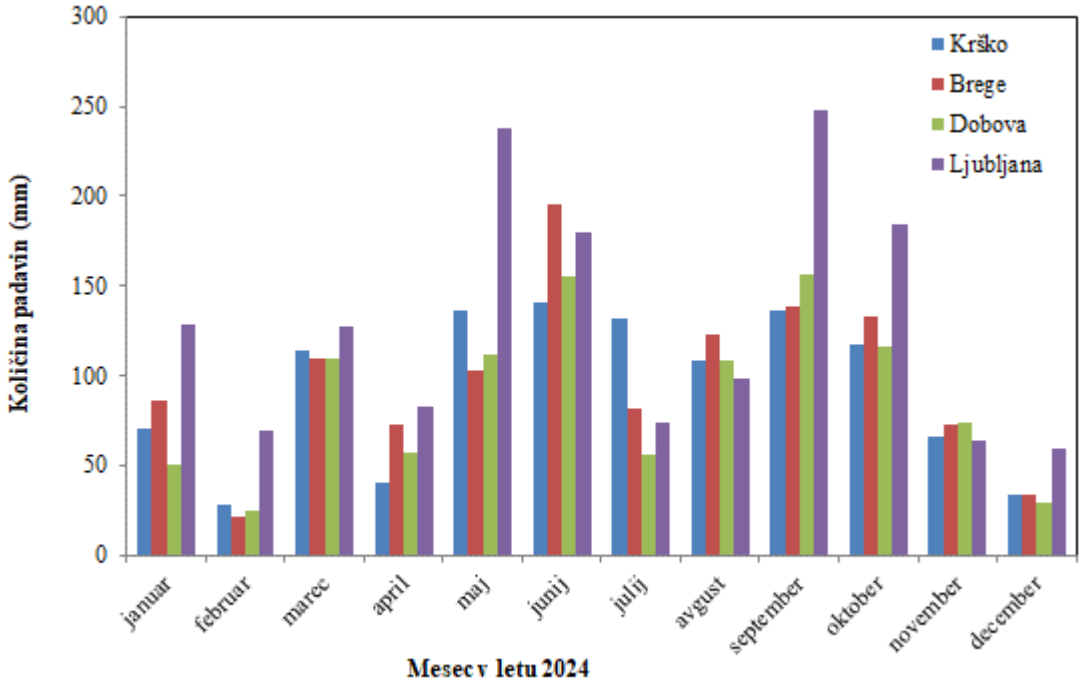
Rezultati meritev vzorcev padavin so prikazani v tabelah T-37 (Brege), T-38 (Krško), T-39 (Dobova) in T-40 (Ljubljana). Vse meritve je opravil IJS. Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010*, marec 2025.

V vzorcih padavin so bili ugotovljeni H-3, Be-7, K-40, Sr-90 in Cs-137 ter potomci uranove in torijeve razpadne vrste. Analiza Y-90 ni bila opravljena, zato so v merskih tabelah podane koncentracije aktivnosti Sr-89/Sr-90, čeprav praktično ni možnosti, da bi bil v vzorcu tudi Sr-89, saj ta kratkoživi radionuklid v izpustih NEK v letu 2024, podobno kot v prejšnjih letih, ni bil zaznan. Vse identifikacije Sr-90, ki smo jih

izmerili, so posledica vetrovne resuspenzije, kar je evidentno tudi iz tega, da je v večini primerov poleg Sr-90, zaznan tudi Cs-137, kajti oba radionuklida sta prisotna v zemlji kot posledica splošne kontaminacije.

V tabeli 3.1 so izpisani meseci, v katerih smo izmerili maksimalno koncentracijo aktivnosti za posamezni radionuklid. Na vzorčevalnih mestih v okolici NEK je bil najvišji izmerek za tritij v mesecu februarju v Krškem, v mesecu aprilu v Bregah in v mesecu juniju v Dobovi. V Ljubljani je bila najvišje izmerjena vrednost tritija v mesecu avgustu. Na vseh lokacijah so bile najvišje koncentracije aktivnosti Be-7 izmerjene v poletnem času; v Krškem v aprilu, v Dobovi v juliju, v Bregah v avgustu in v Ljubljani v juniju. Radioizotop Sr-90 je v letu 2024, kot tudi leta poprej, izvzet iz obravnave, saj so praktično vse izmerjene vrednosti pod mejo detekcije.

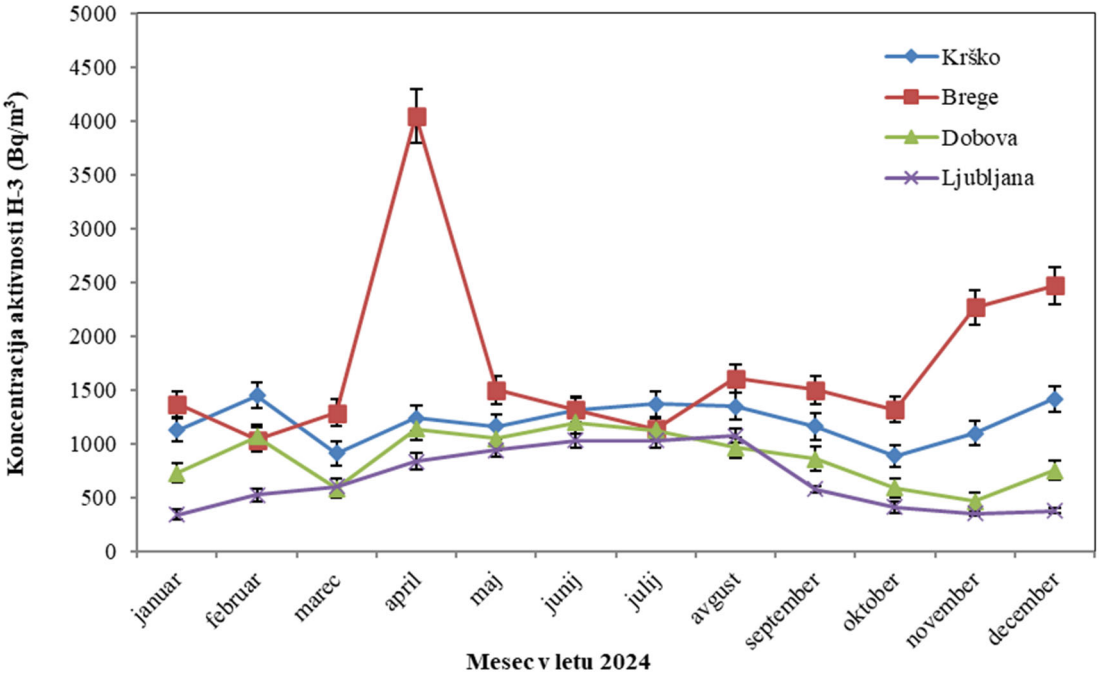
V letu 2024 je bila količina padavin na letni ravni na vseh vzorčevalnih mestih za približno 15% manjša kot v letu 2023. Največ dežja na vzorčevalnih mestih v okolici NEK je padlo v Bregah, najmanj v Dobovi. V celem letu je največ padavin padlo v Ljubljani (1 553 mm), kar je približno 39 % več od povprečja v okolici NEK. Mesečne količine padavin v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani so prikazane na sliki 3.1. Periode izračuna količin padavin so usklajene s termini vzorčenj.



Slika 3.1: Mesečne količine padavin v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani

Tabela 3.1: Pojavljanje najvišjih izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti za H-3, Cs-137, Be-7, K-40 in Pb-210 v vzorcih padavin na Bregah, v Krškem, Dobovi in Ljubljani v letu 2024

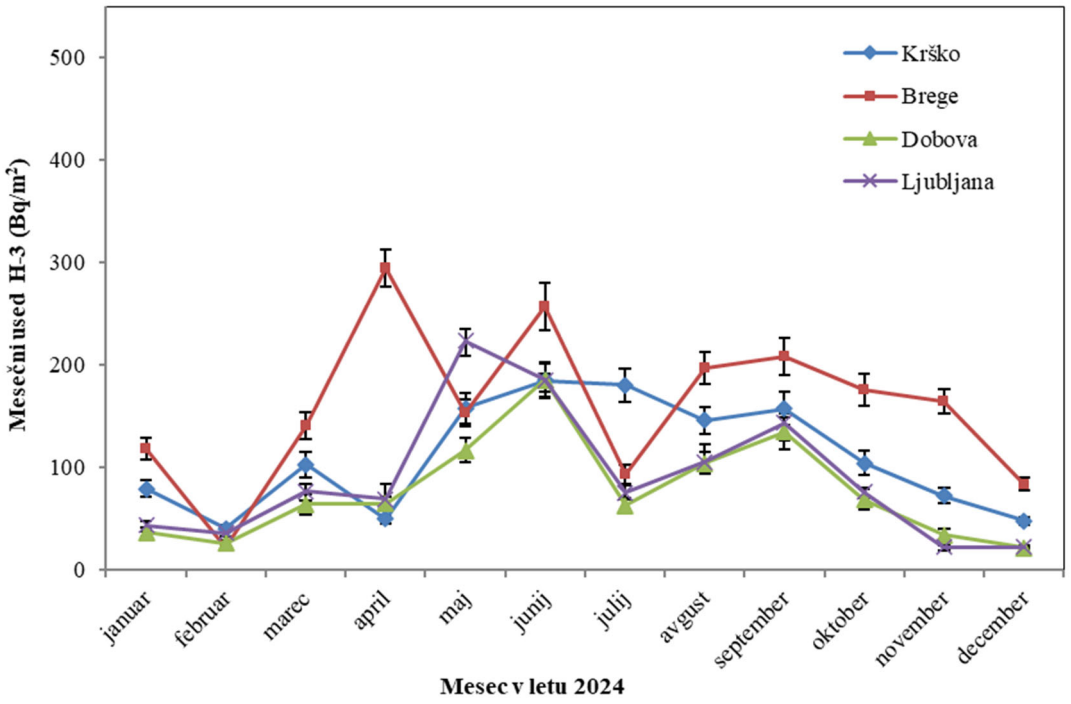
Radionuklid v padavinah	LJUBLJANA	BREGE	KRŠKO	DOBOVA
H-3	avgust	april	februar	junij
Cs-137	april	januar	november	marec
Be-7	junij	avgust	april	julij
K-40	april	julij	april	december
Pb-210	september	september	april	avgust



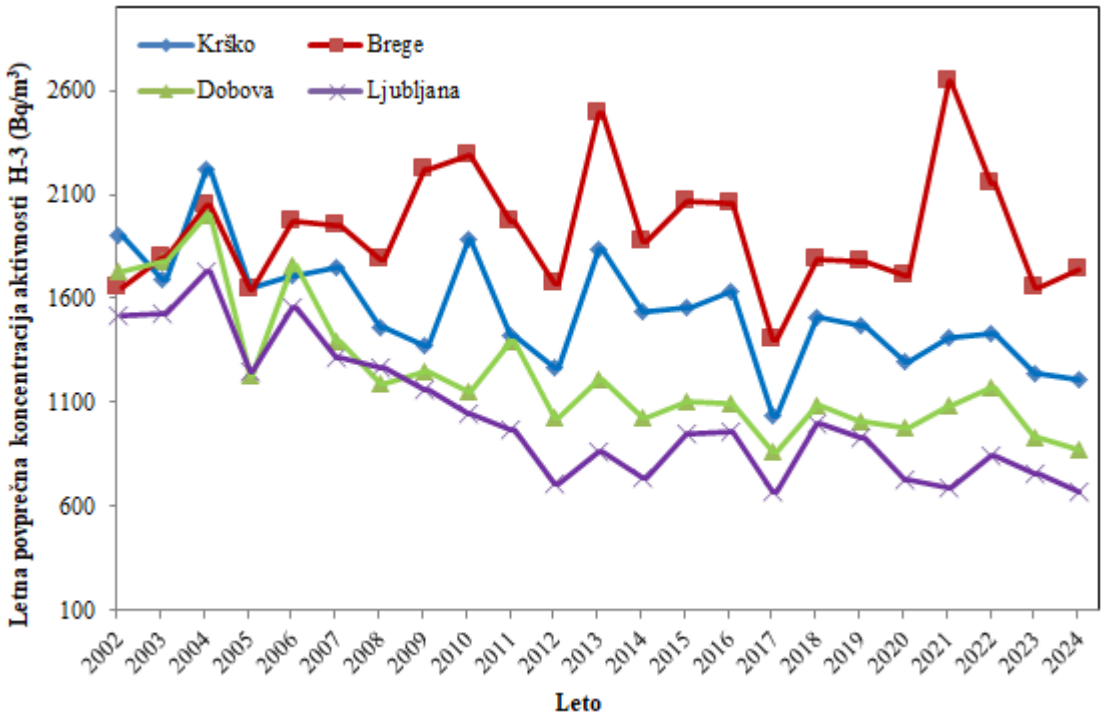
Slika 3.2: Mesečne koncentracije aktivnosti tritija v padavinah v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani.

Tritij (H-3)

Koncentracije aktivnosti tritija v padavinah so prikazane na sliki 3.2. Povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti so primerljiva s povprečji mesečnih koncentracij v letu 2023. Koncentracija aktivnosti tritija na Bregah je v aprilu znatno povišana glede na ostala vzorčevalna mesta, kar se sklada tudi s količino zračnih izpustov iz NEK. Zračni izpusti v letu 2024 so bili za 23 % višji kot v letu 2023 in za 83 % višji od leta 2022. Največji zračni izpust tritija je bil v mesecu aprilu in sicer je znašal 24 % količine celotnega letnega izpusta iz NEK. Poleg omenjenega so bile večje količine izpuščene v zadnjih dveh mesecih leta, kar potrjujejo višje koncentracije tritija na vzorčevalnih mestih v okolici NEK glede na povprečne vrednosti. Povezanost med zračnimi izpusti in izmerjenimi koncentracijami aktivnosti H-3 je bila posebej izrazita v Bregah. Vzorčni Pearsonov korelacijski koeficient [51] znaša 0,95, kar jasno kaže na močno odvisnost med primerjanima parametroma. Na vzorčevalnih mestih v Krškem in Dobovi je bil korelacijski koeficient blizu ničle (0,15 in 0,01), kar nakazuje, da so se v času največjega zračnega izpusta tritija zračne mase gibale proti Bregam. Na referenčem vzorčevalnem mestu v Ljubljani je prav tako korelacijski koeficient blizu ničle, kar pomeni, da povezave ni. Najvišja mesečna koncentracija tritija v padavinskih vzorcih v okolici NEK je bila v mesecu aprilu izmerjena na Bregah, najnižja pa januarja v Ljubljani. Koncentracije aktivnosti v grobem sledijo običajnim naravnim letnim gibanjem tritija v ozračju severne zemeljske poloble, kjer so vrednosti poleti v splošnem višje kot pozimi. Izjema so koncentracije aktivnosti na lokacijah na Bregah in v Krškem, kjer se nedvoumno pozna učinek delovanja NEK, saj so letna povprečja konstantno višja od referenčne lokacije v Ljubljani.



Slika 3.3: Mesečni padavinski used tritija v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



Slika 3.4: Povprečje letnih koncentracij aktivnosti H-3 v padavinah za obdobje 2002–2024

Mesečne padavinske usede (aktivnosti padavin na kvadratni meter površine) izračunamo z množenjem koncentracij aktivnosti in količin padavin. Na sliki 3.3 so predstavljeni mesečni padavinski usedi H-3 za vsa štiri vzorčevalna mesta: Ljubljano, Brege, Krško in Dobovo. Časovni poteki za lokacije v okolici NEK so primerljivi s potekom na ljubljanski referenčni lokaciji.

Na Bregah je vzorec koncentracij aktivnosti tritija nekoliko drugačen kot v Krškem in Dobovi, kar je dobro razvidno iz dolgoletnih letnih povprečij na sliki 3.4. Povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti v letu 2024 so bila na vseh lokacijah, razen na Bregah, nižja kot v letu 2023. Najnižje vrednosti so bile izmerjene v Ljubljani, najvišje pa na Bregah, kar predstavlja že ustaljen večletni vzorec.

Vpliv delovanja NEK na koncentracije aktivnosti tritija v neposredni bližini elektrarne je jasno razviden iz letnih povprečnih vrednosti, ki so na Bregah in v Krškem vsako leto višje kot v Dobovi in Ljubljani. V obdobjih z manj padavinami je korelacija med izpusti iz elektrarne in koncentracijami aktivnosti še bolj izrazita. Sušni meseci se pojavljajo praktično vsako leto, vendar ne vedno v istem obdobju leta.

Sezonska nihanja koncentracij tritija ponazarja tabela 3.2, ki prikazuje rezultate linearne regresije, in sicer smerne koeficiente ter korelacijske koeficiente (R^2) med količino padavin in mesečnimi padavinskimi usedi tritija. Iz rezultatov so razvidne precejšnje razlike med posameznimi obdobji, še posebej med letnimi časi. Višji vrednosti smernega koeficienta kažeta, da večja količina tritija iz zraka preide v padavine, s tem pa v padavinski used. Na lokacijah Ljubljana in Dobova, kjer je vpliv zračnih izpustov iz NEK nezaznaven (Ljubljana) oziroma minimalen (Dobova), so ti koeficienti poleti večinoma višji kot pozimi. To nakazuje, da v poletnih mesecih več tritija iz atmosfere preide v padavinski used. Drugače pa je na območjih, kjer je vpliv NEK izrazitejši. Na primer na lokacijah Krško in Brege, kjer je vpliv zračnih izpustov NEK opazen, je sezonski vzorec manj jasen oziroma moten zaradi umetnega vnosa tritija v atmosfero. Pri slednji lokaciji je v letu 2024 smerni koeficient slabo določen (R^2=0,1), kar kaže na zelo šibko povezanost med količino padavin in koncentracijo tritija v padavinskem usedu.

Medtem ko je tritij praktično edini merjeni radionuklid, ki ga v okolici NEK lahko deloma pripišemo izpustom jedrske elektrarne, je stanje pri drugih radionuklidih nekoliko drugačno. Primerjava med usedi Cs-137 v Ljubljani in na lokacijah v okolici NEK pokaže, da so vrednosti usedov v Ljubljani praktično enake ali nekatera leta celo nekoliko višje kot v okolici NEK (slika 3.7).

Tabela 3.2: Korelacijski koeficienti R^2 in smerni koeficienti korelacij za odvisnost pomladno-poletnih oziroma jesensko-zimskih padavinskih usedov tritija od količine padavin za leto 2024.

	pomlad–poletje		jesen–zima	
	smerni koeficient	R^2	smerni koeficient	R^2
Ljubljana	1,0	0,9	0,6	0,9
Brege*	0,5	0,1	1,3	0,8
Krško	1,3	0,9	0,9	0,9
Dobova	1,1	0,7	0,8	0,9

* Smerni koeficient je slabo določen zaradi obsežnih kratkotrajnih padavin in male količine zračnih izpustov H-3 iz NEK.

Berilij (Be-7)

Be-7 je kozmogeni radionuklid, kar pomeni, da nastaja v zgornjih plasteh ozračja v reakcijah med kozmičnimi žarki in jedri dušika [52]. Od tam prehaja v nižje plasti zemeljskega ozračja in nato na zemeljsko površje.

V tabeli 3.3 so prikazana letna povprečja padavinskega useda Be-7 v okolici NEK in na referenčnem merilnem mestu v Ljubljani.

Tabela 3.3: Povprečni letni padavinski used Be-7

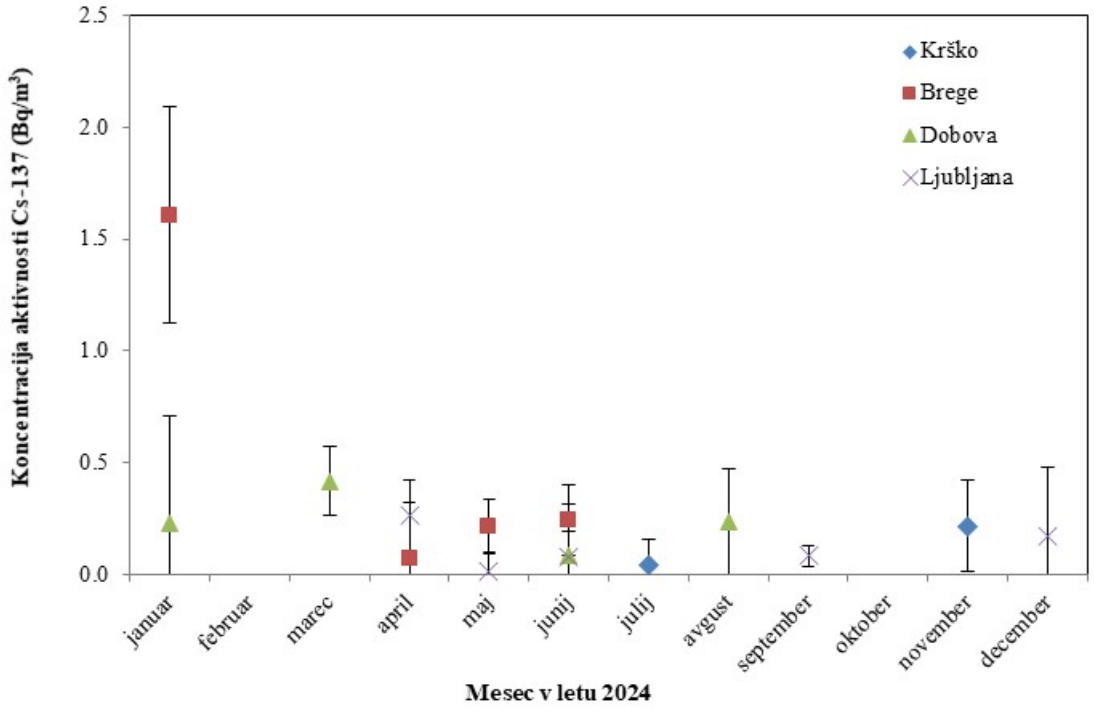
Vzorčevalno mesto	Letno povprečje padavinskega useda Be-7 (Bq/m^2)
Ljubljana	41 ± 1
Brege	28 ± 1
Krško	28 ± 1
Dobova	30 ± 1

Ogljik (C-14)

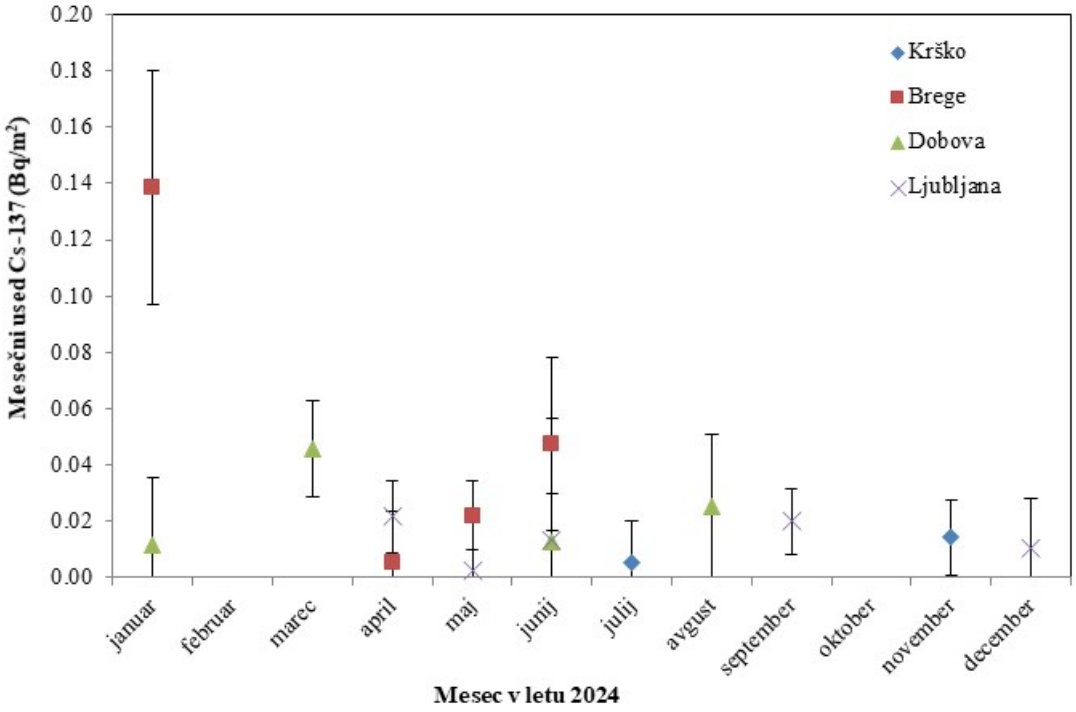
C-14 ni vključen v program meritev padavinskih vzorcev.

Cezij (Cs-137)

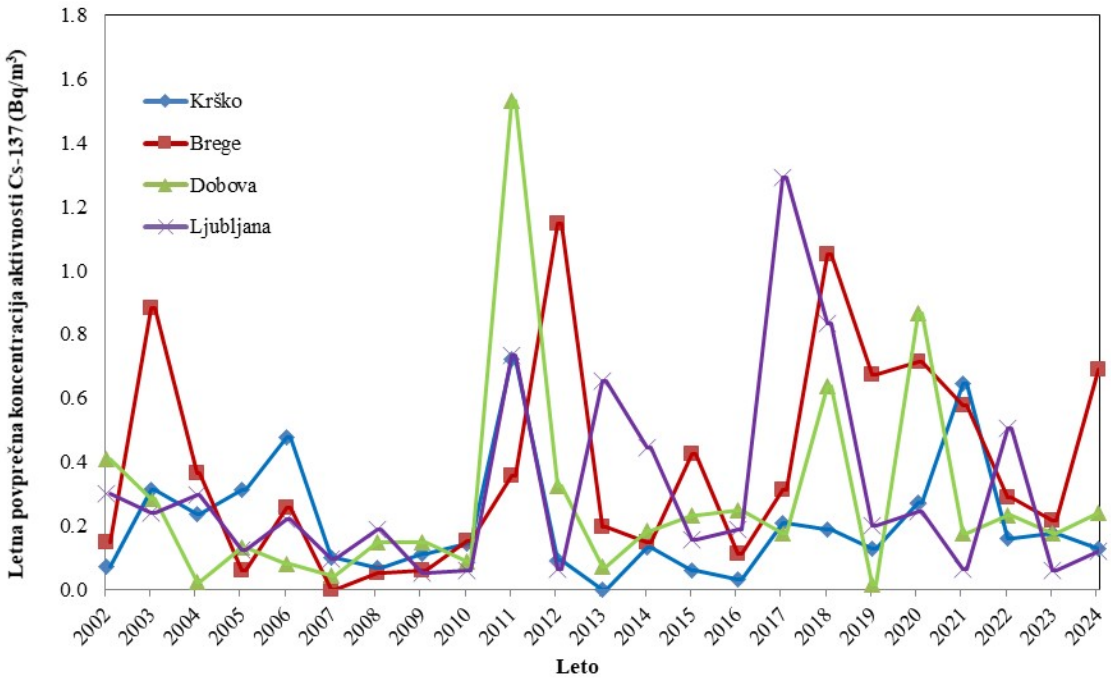
Mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v padavinah v Krškem, Bregah, Dobovi in v Ljubljani so prikazane na sliki 3.5, padavinski used pa na sliki 3.6. V letu 2024 so bile vse izmerjene vrednosti pod 1 Bq/m^3, razen januarske meritve v Bregah, ki je znašala 1.6 ± 0.5 Bq/m^3. V okviru negotovosti je večina vrednosti zelo podobnih. Na sliki 3.7 je prikazan večletni potek letnih padavinskih usedov za Cs-137. Vse vrednosti, ki jih izmerimo, so posledica vetrovne resuspenzije, lahko pa tudi posledica kurjenja s trdimi gorivi v zimskih mesecih [19]. Ker je koncentracija aktivnosti v primeru majhne količine vzorca zelo odvisna od števila prašnih delcev, vnešenih v deževnico zaradi resuspenzije, lahko te vrednosti močno nihajo in je težko razložiti letne spremembe. Izjema je leto 2011, kjer je izrazito povišanje posledica nesreče v Fukušimi, kar je vidno na vseh vzorčevalnih mestih (slika 3.7).



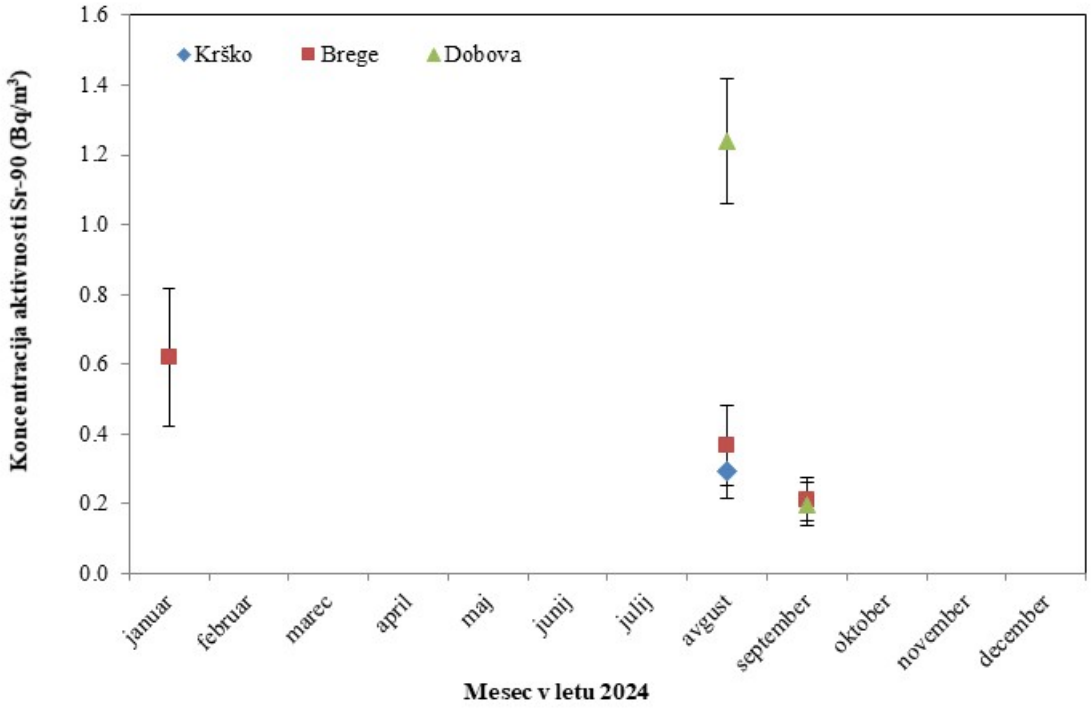
Slika 3.5: Mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v padavinah v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



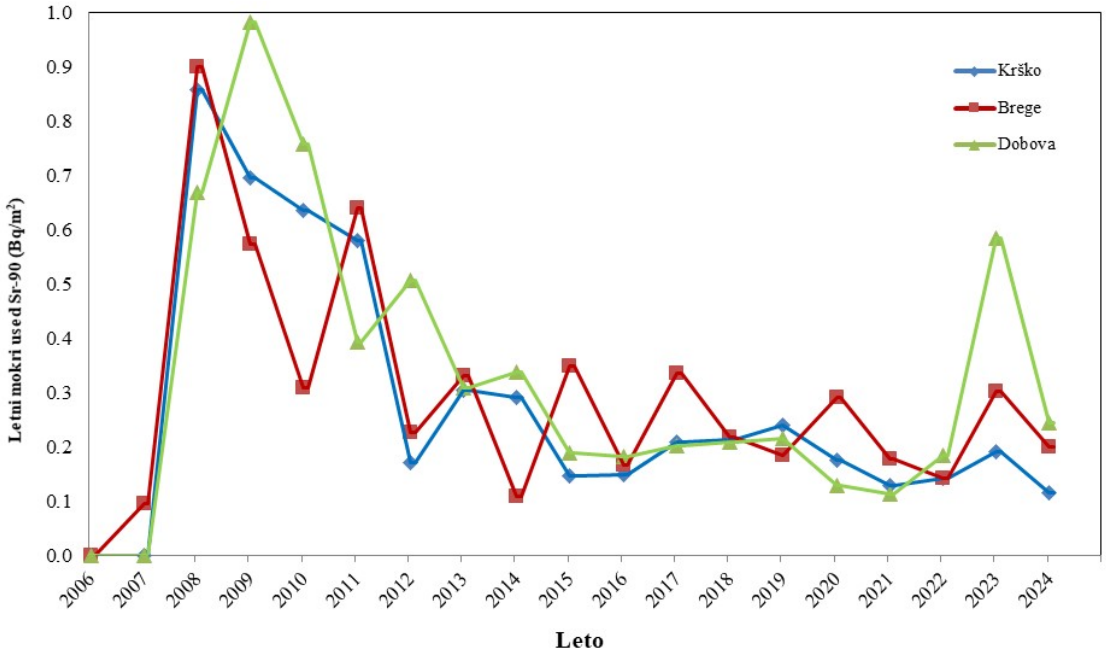
Slika 3.6: Mesečni padavinski used Cs-137 v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



Slika 3.7: Letna koncentracija aktivnosti Cs-137 v padavinah za obdobje 2002–2024. Izrazito povišanje v letu 2011 na vseh vzorčevalnih mestih je posledica nesreče v Fukušimi.



Slika 3.8: Mesečne koncentracije aktivnosti Sr-90 v okolici NEK



Slika 3.9: Letni padavinski used Sr-90 za obdobje 2006–2024

Stroncij (Sr-90)

Mesečne koncentracije aktivnosti Sr-90 v padavinah v Krškem, Bregah in v Dobovi so prikazane na sliki 3.8, letni padavinski used pa na sliki 3.9. Za vzorčevalno mesto v Ljubljani, ki ni v sklopu rednega monitoringa NEK, se meritve aktivnosti Sr-90 ne izvajajo. Kot je razvidno iz slike, je bilo večino vrednosti za Sr-90 v letu 2024 pod mejo detekcije, v nekaterih vzorcih pa je bil Sr-90 zaznan v sledeh (blizu meje detekcije). Ker so bili zračni izpusti Sr-90 iz NEK v letu 2024 zanemarljivi, lahko prisotnost omenjenega radionuklida pripišemo samo vetrovni resuspenziji. Pri določenih mesecih je dodatna potrditev izvora, da je poleg Sr-90 zaznan tudi Cs-137. Oba omenjena radionuklida sta prisotna v zemlji kot posledica splošne kontaminacije.

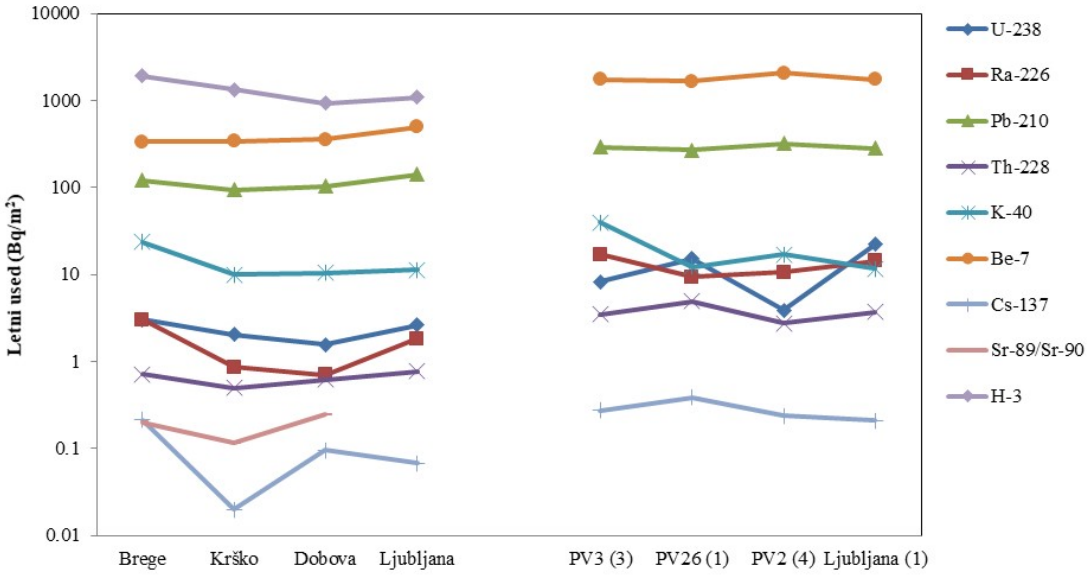
Vrednosti v tabelah za nezaznane mesečne aktivnosti so izpeljane iz detekcijskih mej, kjer predpostavimo vrednost četrtine detekcijske meje. Predpostavljene vrednosti so pomembne za izračun doznih obremenitev. Slika 3.9 prikazuje letne padavinske usede Sr-90 na vseh treh lokacijah v okolici NEK med letoma 2006 in 2024. Usedi oziroma njihove predvidene vrednosti so v letu 2024 primerljive z vrednostmi iz prejšnjih let.

Jod (I-131)

I-131 v padavinskih vzorcih in vzorcih suhega useda ni bil izmerjen.

Suhi used

Rezultati meritev na vzorcih suhih usedov so prikazani v tabelah T-42/1 (širša okolica NEK), T-42/2 (daljna okolica NEK), T-42/3 (ožja okolica NEK) in T-42/4 (Ljubljana). Vse meritve je opravil IJS. Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010,* marec 2025.

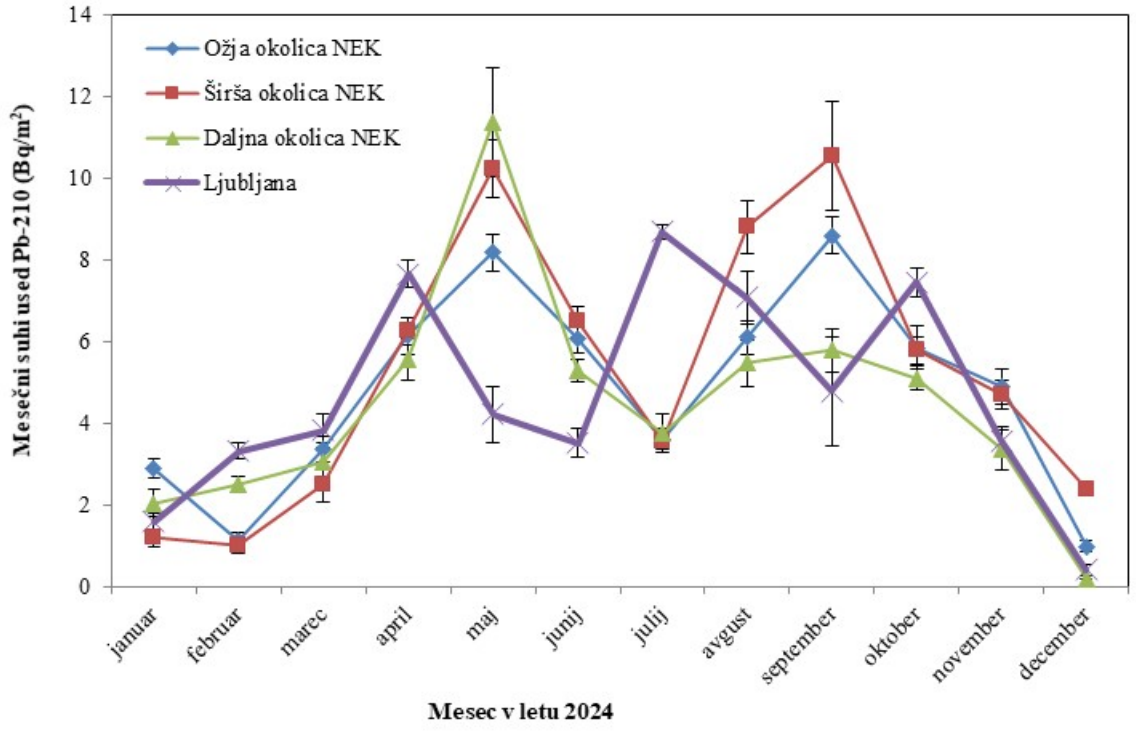


Slika 3.10: Letni usedi v padavinah, zbranih v lovilnikih deževnice (leva stran grafa) in na vazelinskih ploščah na različnih lokacijah okrog NEK (desna stran grafa) v letu 2024; PV2 (4): štiri vazelinske plošče v širši okolici NEK; PV26 (1): vazelinska plošča v daljni okolici NEK; PV (3): tri vazelinske plošče v ožji okolici NEK; Ljubljana (1): vazelinska plošča na dvorišču IJS.

V vzorcih suhega useda so bili v letu 2024 izmerjeni Be-7, K-40, Cs-137 in potomci uranove in torijeve razpadne vrste. Analiza stroncija se na vzorcih z vazelinskih plošč ne izvaja. Na sliki 3.10 je primerjava med suhim in mokrim usedom na vseh lokacijah, kjer se izvaja vzorčenje.

Suhi used na vazelinskih ploščah v okolici NEK je primerljiv s suhim usedom v Ljubljani. Podobno velja tudi za padavinske usede.

Na sliki 3.11 je prikazan suhi used za Pb-210, ki zaradi velikega utežnega faktorja največ prispeva k izračunani letni dozi. Iz slike lahko ugotovimo zelo podoben časovni potek za vse štiri lokacije. Vrednosti za Ljubljano so v splošnem primerljive z vrednostmi za lokacije v okolici NEK. Najvišja vrednost v okolici Krškega je bila izmerjena v mesecu maju.



Slika 3.11: Mesečni suhi used Pb-210 v Ljubljani, v širši in ožji okolici NEK ter na vzorčevalnem mestu, ki je najbolj oddaljeno od NEK (daljna okolica NEK)

OCENA UČINKOV

Letno efektivno dozo izračunamo iz mesečnega, četrtletnega ali polletnega povprečja ob predpostavki, da je vnos hrane, vode ali zraka v človeški organizem vse leto konstanten. Oceno učinkov radioaktivnega useda ovrednotimo z efektivno dozo zaradi zunanjega sevanja in zaužitja[17]. Efektivne doze zaradi zunanjega sevanja useda ocenimo s produktom letnega useda in doznega faktorja [4] za posamezen radionuklid ob predpostavki štiriurnega zadrževanja na prostem. V tabeli 3.4 so povzete sumarne vrednosti zunanjih doz. K dozi največ prispeva kozmogeni Be-7, ki se s padavinami izpira iz ozračja, in sicer med 70 % in 77 %. Celotna efektivna doza zaradi zunanjega sevanja useda za umetne radionuklide v okolici NEK je v letu 2024 za 42 % večja od vrednosti v letu 2023 in za 143 % večja, kot v letu 2022.

[17] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].

Tabela 3.4: Efektivne doze zaradi zunanjega sevanja iz useda v letu 2024 ob predpostavki zadrževanja na prostem 4 ure na dan. Vrednosti niso primerljive z oceno doze v poglavju *Zunanje sevanje*, saj tam ni upoštevano, da se referenčna oseba zadržuje 20 % časa na prostem in da je faktor ščitenja pri zadrževanju v hiši 0,1, kot je to v tem poglavju.

Starostna skupina	Radionuklidi	Okolica NEK (povprečje lokacij)	Ljubljana
		doza (μSv)	
ODRASLI OTROCI DOJENČKI	UMETNI	(17 ± 9) E–5	(10 ± 8) E–5
	VSI	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,01

Tabela 3.5: Efektivne doze zaradi zaužitja rastlin z usedlimi radionuklidi v letu 2024 za odrasle, otroke in dojenčke.

Starostna skupina	Masa zaužitega rastlinja (kg)	Radionuklidi	Okolica NEK (povprečje lokacij)	Ljubljana
			doza (μSv)	
ODRASLI	25	UMETNI	0,012 ± 0,002	0,008 ± 0,001
		VSI	29 ± 2	38 ± 1
OTROCI	15	UMETNI	0,010 ± 0,002	0,006 ± 0,001
		VSI	48 ± 3	63 ± 2
DOJENČKI	2,5	UMETNI	0,031 ± 0,005	0,016 ± 0,001
		VSI	217 ± 15	238 ± 8

Efektivna doza zaradi zunanjega sevanja umetnih radionuklidov prispeva v okolici NEK približno 0,3 % in v Ljubljani približno 0,2 % k celotni zunanji dozi, enako za vse starostne skupine. Tudi če vključimo v oceno izpuste iz NEK, so umetni radionuklidi pri računanju efektivnih doz zaradi zunanjega sevanja v letu 2024 zanemarljivi.

Efektivno dozo zaradi zaužitja rastlin z usedlimi radionuklidi izračunamo s produktom koncentracije aktivnosti radionuklidov v masi 1 kg sveže rastline, ki jo zaužije človek, mase zaužitega rastlinja (25 kg za odraslo osebo, 15 kg za otroke in 2,5 kg za dojenčke) in doznega faktorja [4], [10], [61]. Pri tem šteje le used na zeleni del rastlin in posledični vnos radionuklidov v rastlino, medtem ko prevladujoči transport radionuklidov iz zemlje ni vštet. Obravnavan je v poglavju *Radionuklidi v hrani*. V izračunu ni upoštevano, da vse rastlinje pred zaužitjem operemo ali olupimo in tako odstranimo tudi do 90 % vseh radionuklidov na površini. Vrednosti so zbrane v tabeli 3.5.

Skupna efektivna doza zaradi zaužitja rastlin v letu 2024 je primerljiva z letom 2023: prispevek umetnih radionuklidov v okolici NEK je od 32 % do 25 % manjši, prispevek naravnih radionuklidov pa za približno 10 % večji. Efektivna doza je bila v letu 2024 za umetne radionuklide v okolici NEK med 55 % in 90 % večja kot na lokaciji v Ljubljani in približno 24 % manjša za skupno efektivno dozo. K skupni efektivni dozi zaradi zaužitja rastlin tako v Ljubljani kot v okolici NEK največ prispeva naravni radionuklid Pb-210, in sicer kar do 99 % pri otrocih in odraslih in do 97 % pri dojenčkih. Efektivna doza od umetnih radionuklidov prispeva k celotni efektivni dozi zaradi zaužitja rastlin z usedlimi radionuklidi za odraslo osebo v okolici NEK okrog 0,04 %, v Ljubljani pa 0,02 %, kar je primerljivo s prejšnjimi leti. Za otroka in dojenčka je prispevek še manjši. Umetni radionuklidi so torej pri računanju zunanjih doz v letu 2024 zaradi vnosa s hrano zanemarljivi.

SKLEPI

V letu 2024 ni bilo posebnosti glede radionuklidov v padavinah in suhih usedih. Tritij je še vedno edini radionuklid iz zračnih izpustov NEK, ki je lahko neposredno zaznan v padavinah predvsem na Bregah in v Krškem (Stara Vas), a tudi ta po splošno uporabljani metodologiji ne vpliva na dozno obremenitev zaradi zunanjega sevanja.

Med umetnimi radionuklidi je bil v padavinah občasno ugotovljen Cs-137. Zaznan je bil v 33 % vzorcev padavin in v 37 % vazelinskih plošč. Letna povprečna koncentracija aktivnosti za Cs-137 je bila v letu 2024 v primerjavi z izmerjenimi vrednostmi iz leta 2023 višja na vseh vzorčevalnih mestih, razen v Krškem. Vzrok za prisotnost Cs-137 v padavinah je najverjetneje talna resuspenzija in kurjenje trdih goriv v zimskih mesecih. Sr-90 je bil zaznan v 13% vzorcev padavin, medtem ko se na vazelinskih ploščah meritve tega radionuklida ne izvajajo. Tudi tu je vzrok za detekcijo talna resuspenzija, saj sta tako Sr-90 kot tudi Cs-137 prisotna v tleh zaradi splošne kontaminacije.

Če primerjamo prispevek umetnih in naravnih radionuklidov k celotni efektivni dozi, prispevajo predvsem slednji. Obremenitvi prebivalcev v okolici NEK in na referenčni točki v Ljubljani sta primerljivi, učinek izpustov iz NEK pa je zanemarljiv.

4 ZRAK

POVZETEK

V poglavju so predstavljeni in ovrednoteni rezultati meritev plinastih in aerosolnih vzorcev iz okolja ter aerosolnih filtrov za vzorčenje zraka na ventilacijskem izpustu NEK. Ocena učinka na prebivalstvo, izračunana za zračno prenosno pot, je bila narejena na podlagi meritev zračnih izpustov (emisij) in z uporabo razredčitvenih faktorjev Lagrangeevega modela, kjer iz izračunanih koncentracij radionuklidov in njihovih pretvorbenih faktorjev ocenimo dozo zaradi imisij NEK, t.i. imisijsko dozo. Modelna ocena daje oceno efektivne letne doze za odraslo osebo v naselju Spodnji Stari Grad 14 nSv, na ograji NEK (okvirno velja tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja) pa 24 nSv, in zajema vse izpuščene radionuklide. Lokacije vzorčenja imisij so bile v okviru rednega nadzora radioaktivnosti zraka v okolici NEK v letu 2024 enake kot prejšnja leta. Za primerjavo ocenjujemo tudi efektivne doze zaradi koncentracij aktivnosti radionuklidov v okolju, t.i. okoljsko dozo, bodisi naravnih bodisi umetnih radionuklidov, ki so posledica globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in nesreč. Ocenjene letne efektivne okoljske doze prebivalcev na podlagi meritev radioaktivnosti z aerosolnimi filtri zaradi inhalacije (vdihavanja) in imerzije (zunanjega sevanja) umetnih radionuklidov (0,05 nSv) so zanemarljive in več velikostnih redov nižje od letne efektivne doze, ki jo zaradi inhalacije povzročajo naravni radionuklidi (31 μSv). V dozah zaradi naravnih radionuklidov ni upoštevan prispevek kratkoživih potomcev radona. Efektivna doza, izračunana iz meritev v okolju, vključuje le globalna kontaminanta Cs-137 in Sr-90.

UVOD

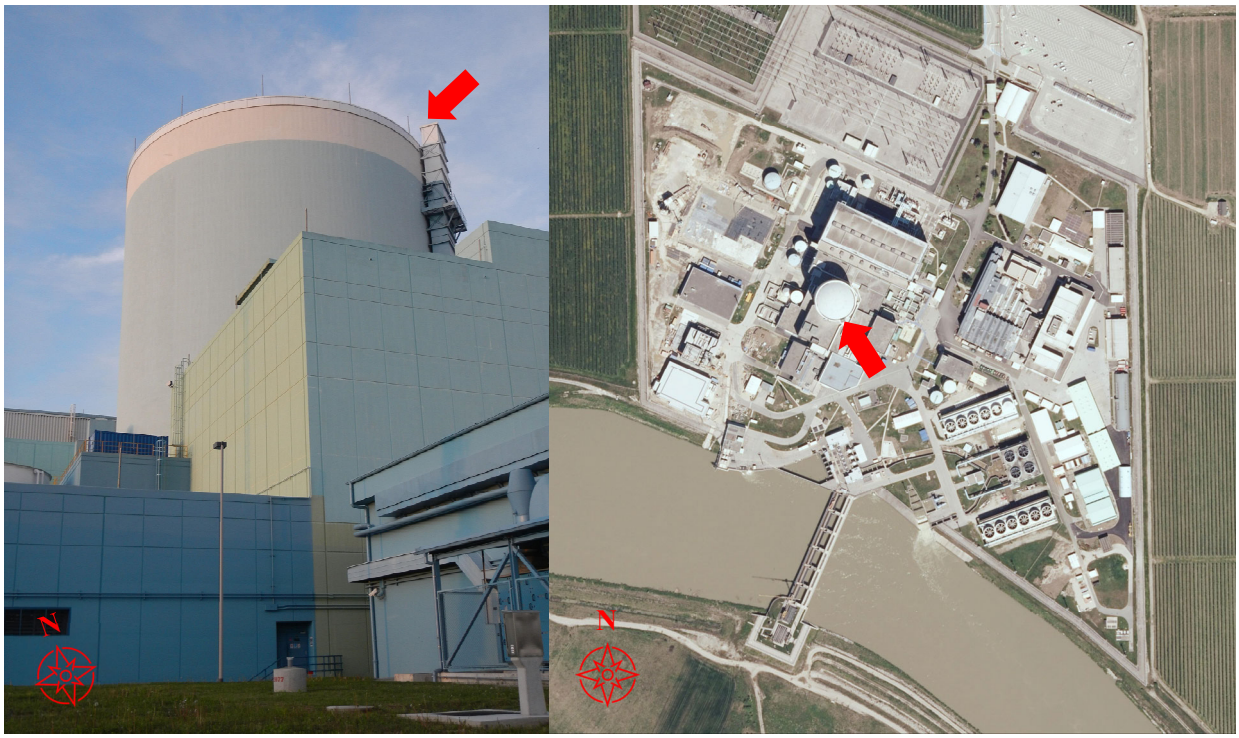
Zračni izpusti jedrske elektrarne imajo skupaj s tekočimi izpusti neposreden vpliv na okolje in ljudi, ki živijo v okolici takšnega objekta. Za nadzor zračnih izpustov opravljamo spektrometrske analize aerosolnih filtrov za vzorčenje zraka na glavnem ventilacijskem izpustu NEK tik pred izpustom v okolje (emisijske meritve) ter aerosolnih in oglenih filtrov za prečrpavanje zraka v okolju (okoljske meritve). Izmerjene emisije ali aktivnosti radionuklidov na izviru so vhodni podatki za modelne izračune, s katerimi napovedujemo porazdelitev in aktivnost radionuklidov v okolju na podlagi sodobnih modelov, ki najbolje upoštevajo sprotno izmerjene meteorološke parametre v preteklem letu, konfiguracijo terena in druge značilnosti v okolici obravnavanega objekta. Pri oceni doz zaradi okoljske radioaktivnosti se uporabljajo izmerjene koncentracije na okoliških zračnih črpalkah, medtem ko so pri oceni doz zaradi emisij NEK privzete modelsko določene koncentracije (imisije). Neodvisni laboratoriji vzorčijo okoljske vzorce in tako preverjajo vpliv elektrarne na okolje in ljudi.

VZORČENJE EMISIJ IN MODELIRANJE

Vzorčenje emisij NEK se opravlja na ventilacijskem izpustu z odvzemom reprezentativnega vzorca, ki se črpa skozi več merilnikov sevanja in vrača v ventilacijski izpust. Ločeno se vzorčijo tritij (H-3), ogljik (C-14) in Sr-90 za specifične analize s scintilacijskim spektrometrom beta ter aerosoli za izotopsko analizo sevalcev s spektrometrijo gama (aerosolni filtri v monitorju RM-24). Meritev žlahtnih plinov poteka neprekinjeno v posebnem merilnem zbiralniku. Vzorčenje in specifične analize tritija (H-3) in ogljika (C-14) je opravil IJS, meritve vzorcev filtrov za vzorčenje aerosolov na ventilacijskem izpustu pa NEK in IJS. V NEK so izvedene tudi meritve emisij joda ter žlahtnih plinov.

Koncentracije aktivnosti joda (I-131), tritija (H-3), ogljika (C-14) in aerosolov ter žlahtnih plinov na izbranih lokacijah v okolici NEK se ugotavljajo z uporabo Lagrangeevega disperzijskega modela Spray [54]–[57], saj meritve na lokacijah zaradi razredčenja niso praktično mogoče, ker so koncentracije radioaktivnosti imisij zanemarljivo nizke v primerjavi s koncentracijami radioaktivnosti v okolju, ki so posledica globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in nesreč. Meritve aerosolov in I-131 v okolju se izvajajo na osmih lokacijah v okolici NEK (Spodnji Stari Grad, Krško - Stara vas, Leskovec, Brege, Vihre, Gornji Lenart, Spodnja Libna in Dobova) na različnih oddaljenostih od glavnega izpuha NEK, kar

omogoča spremljanje razširjanja zračnih izpustov v vseh smereh (jod I-131 se v Dobovi ne vzorči). Poudariti je treba, da so v okolici NEK pogoste spremembe smeri vetra tudi večkrat na dan, hitrost vetra je nizka, prevladujoči smeri razširjanja sta zahod-jugozahod in vzhod-jugovzhod. Kontrolne meritve aerosolov v okolju so bile opravljene z vzorci, ki so bili pridobljeni z vzorčenjem na lokaciji v Ljubljani.



Slika 4.1: Lokacija glavnega ventilacijskega izpuha NE Krško (označena s puščico)

Efektivne doze zaradi emisij NEK so izračunane na podlagi modelskih izračunov (imisijske doze), ki jih za lažje razumevanje primerjamo še dozami iz izmerjenih koncentracij aktivnosti radionuklidov v okolju (efektivne okoljske doze[18]), in sicer na lokacijah, kjer so postavljene aerosolne črpalke. Metodologija računanja doz je predstavljena v postopku *Ocena sevalnih obremenitev* (*LMR-RP-01)*.

OKOLJSKI VZORCI

Značilnosti vzorčenja

Vzorčenje in meritve radioaktivnosti zraka v okolici Nuklearne elektrarne Krško se izvajajo v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti. Tega mora v skladu s 111. členom *Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti* (ZVISJV-1) [7] zagotavljati upravljalec jedrskega objekta. Podobno kot spremljamo radioaktivnost v okolju v Sloveniji, jo spremljajo tudi v drugih državah članicah EU, saj to zahteva 35. člen pogodbe EURATOM [62].

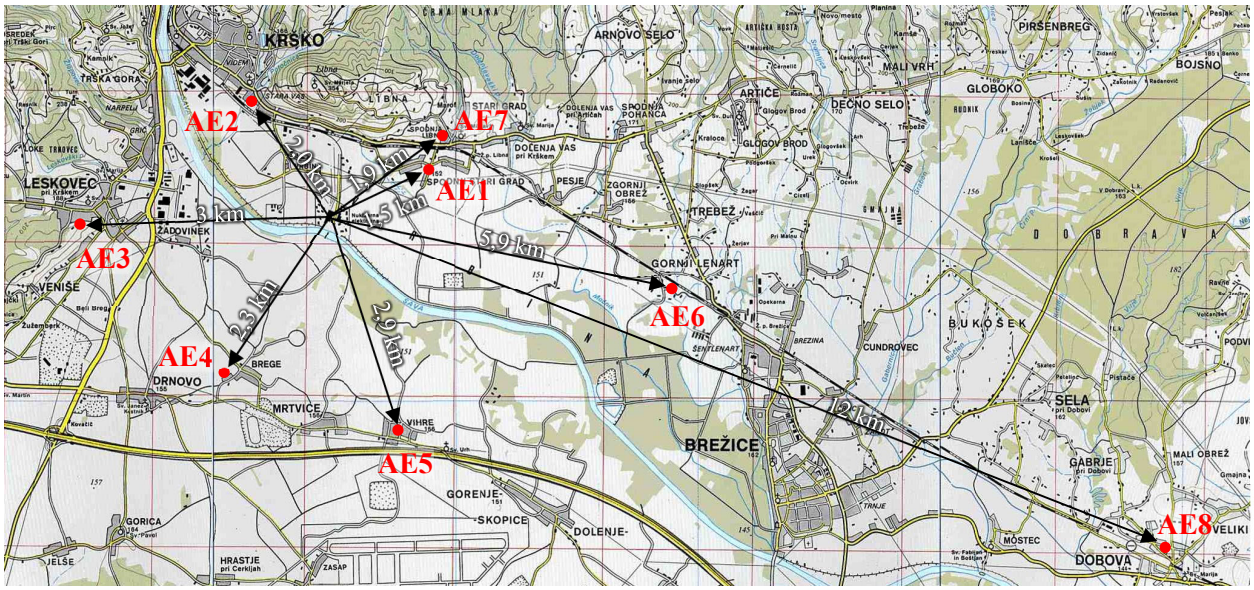
Vzorčenje radioaktivnosti v zraku - aerosolov in I-131 (radioaktivnost zraka v okolju)[19] je v letu 2024 potekalo na podoben način kot v preteklih letih, kar zagotavlja primerljivost z rezultati iz prejšnjih poročil oz. evalvacij.

Aerosole smo vzorčili na osmih mestih v okolici NEK (slika 4.2): Spodnji Stari Grad – AE1 (1,5 km), Krško - Stara vas – AE2 (2,0 km), Leskovec – AE3 (3 km), Brege – AE4 (2,3 km), Vihre – AE5 (2,9 km), Gornji Lenart – AE6 (5,9 km), Spodnja Libna – AE7 (1,7 km) in Dobova – AE8 (12 km). Na istih mestih

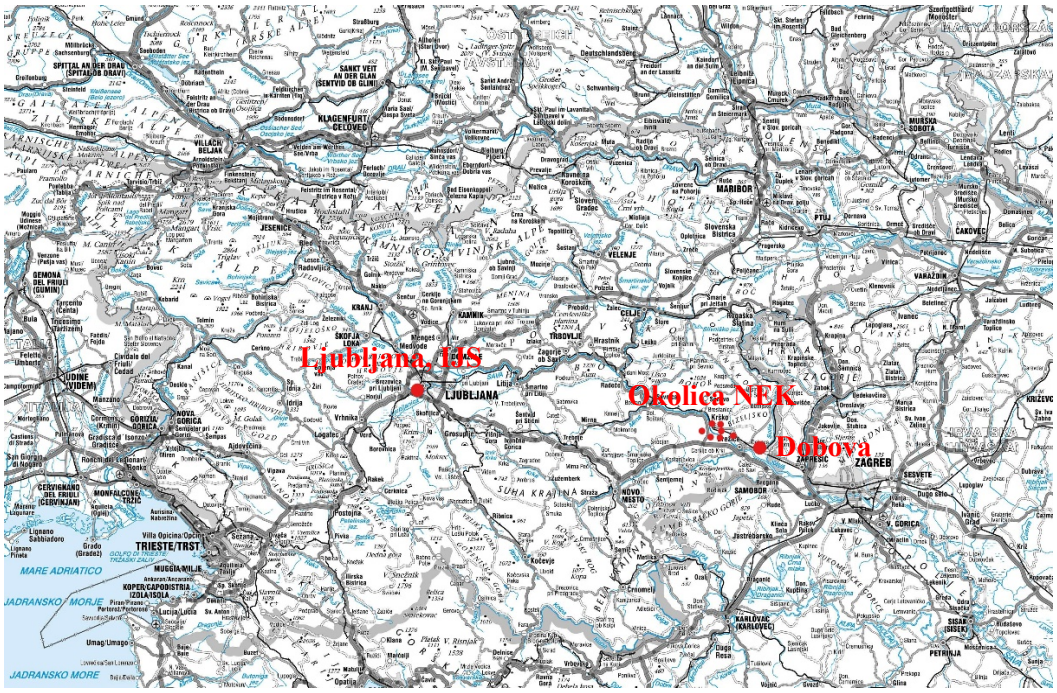
[18] Efektivna okoljska doza je izračunana iz izmerjenih koncentracij aktivnosti radionuklidov v okolju.
[19] Radioaktivnost zraka v okolju združuje prispevke imisij NEK, globalnega onesnaženja in naravnega ozadja.

kot vzorčenje aerosolov je potekalo vzorčenje I-131 z izjemo lokacije v Dobovi. Vzorčenje za specifično meritev Sr-90 se je izvajalo v Stari vasi. Kontrolne meritve aerosolov so bile opravljene z vzorci, ki so bili pridobljeni z vzorčenjem na lokaciji v Ljubljani na dvorišču Instituta "Jožef Stefan" v okviru programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS [19].

Vzorčenje aerosolov je potekalo z neprekinjenim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre. Ti se menjajo vsakih 15 dni, pri čemer se skoznje prečrpa najmanj 10 000 m^3 zraka mesečno. V Dobovi in na dvorišču IJS v Ljubljani (slika 4.3) poteka vzorčenje z visoko zmogljivimi zračnimi črpalkami, ki skozi filtre mesečno prečrpajo od 100 000 m^3 do 150 000 m^3 zraka. Izotopska analiza aerosolov se izvaja na sestavljenih mesečnih vzorcih z visoko ločljivo spektrometrijo gama. Vzorčenje in meritve vzorcev na vseh osmih mestih ter vzorčenje in meritev v Ljubljani je opravil IJS.



Slika 4.2: Načrt okolice NE Krško z vrisanimi okvirnimi lokacijami zračnih črpalk



Slika 4.3: Poleg zračnih črpalk v okolici NEK sta visoko zmogljivi črpalki v Ljubljani in v Dobovi

Zaradi specifičnih lastnosti I-131 in njegovih spojin je vzorčenje I-131 potekalo ločeno s črpalkami z manjšim pretokom in s posebnimi filtri iz steklenih mikrovlaken in aktivnega oglja, prepojenega s trietilendiaminom. Filtri zbirajo atomski in molekulski jod (I, I_2), metiljodid (CH_3I), HI, HOI in jod, vezan na aerosole. Črpanje je neprekinjeno, filtri se menjajo vsakih 15 dni, skoznje se prečrpa od 1 000 m^3 do 1 400 m^3 zraka. Specifična meritev adsorbiranega I-131 se izvaja z visoko ločljivo spektrometrijo gama. Vzorčenje in specifične meritve joda je opravil IJS.

Značilnosti meritev okoljskih vzorcev

Aktivnosti sevalcev žarkov gama in rentgenskih žarkov (to so vsi radionuklidi, navedeni v tabelah, razen Sr-89/Sr-90 in H-3) so bile izmerjene s spektrometrijo gama. Vsi spektrometri gama, ki so bili uporabljeni za meritve, ustrezajo kriterijem, ki so navedeni v *Pravilniku o monitoringu radioaktivnosti* [8]. Meritve so bile opravljene po postopku *LMR-DN-10.* Rezultati meritev so sledljivi k aktivnostim primarnih standardov pri NIST, ZDA. Sistematski vplivi geometrije vzorca, matrike vzorca, gostote vzorca, koincidenčnih popravkov in hitrosti štetja na rezultate so upoštevani pri računu vseh aktivnosti. Negotovosti rezultatov so ocenjene v skladu z vodilom GUM [42] in postopkom *LMR-RP-05.*

Ugotavljanje stroncija v okoljskih vzorcih temelji na raztapljanju vzorca v ustreznih raztopinah, filtriranja, obarjanja in centrifugiranja. V radiokemijski separaciji ločimo stroncij od kalcija s kadečo se dušikovo kislino, po kateri nato sunke zaradi stroncija štejemo na proporcionalnem števcu. Izkoristek separacije določimo gravimetrično s tehtanjem oborine $SrCO_3$. Natančni postopek ugotavljanja Sr-89/Sr-90 s štetjem beta je opisan v standardnih delovnih navodilih *SDN-O2-STC(01)* in *DP-O2-STC(01)*.

REZULTATI MERITEV IN TIPIČNI ČASOVNI POTEKI

Rezultate meritev aerosolov na lokacijah na krško-brežiškem polju prikazujemo v tabelah od T-44 (Spodnji Stari Grad), T-45 (Krško – Stara Vas), T-46 (Leskovec), T-47 (Brege), T-48 (Vihre), T-49 (Gornji Lenart), T-50 (Libna) do T-51 (Dobova). V tabeli T-52 so prikazani rezultati meritev v Ljubljani, na dvorišču IJS, vzeti iz programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS v letu 2024 [19]. Imisijske meritve oglenih filtrov, na katere se ulovijo plinasti izpusti I-131, so prikazane v tabeli T-43. Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010* marec 2025. Pokaže se, da letno dozo lahko ocenimo iz danega mesečnega, četrtletnega ali polletnega povprečja ob predpostavki, da je vnos hrane, vode ali zraka v telo in organizem človeka konstanten skozi celo leto. Pri vzorcih zraka je takšna predpostavka utemeljena.

V letu 2024 je bil redni remont NEK, ki je trajal od 1. 4. 2024 do 2. 5. 2024: tako je NEK v 34. gorivnem ciklu do predvidenega naslednjega remonta v oktobru 2025. V času med remontom in po njem so navadno izpusti večji kot med rednim obratovanjem, kar velja za izpuste tritija (H-3), ogljika (C-14), joda in žlahtnih plinov.

Iz podatkov o meritvah vsebnosti plinov v izpuhu NEK, ki sta jih opravila NEK in IJS, ter iz podatka o nominalnem dnevnem izpuhu skozi glavni oddušnik (45,4 m^3/s oziroma 163 583 m^3/h oziroma 3 926 000 m^3 na dan) so bile določene mesečne in letne emisije posameznih radionuklidov. Podatki so vzeti iz programa meritev plinastih efluentov (izvajalec IJS) [6] in podatkov o meritvah filtrov RM-24 na izviru, ki jih je posredoval NEK [5].

Tritij (H-3)

Tritija v zraku v okolju še ne merimo oziroma ni v programu meritev. Prisotnost tritija ocenjujemo z modelom razširjanja snovi po zraku na podlagi meritev na izviru.

Ogljik (C-14)

C-14 v zraku v okolju ne merimo oziroma ni v programu meritev obratovalnega nadzora. Prisotnost C-14 ocenjujemo z meritvami v okolju ob ograji NEK, ki je v izključitvenem območju, vendar rezultati meritev niso del programa obratovalnega nadzora. Vsebnost C-14 v zraku se ocenjuje tudi z modelom razširjanja snovi po zraku na podlagi meritev na izviru.

Cezij (Cs-137) in stroncij (Sr-90)

Od umetnih radionuklidov je bil v letu 2024 v aerosolih, zbranih na filtrih zračnih črpalk, zaznan le Cs-137, medtem ko so bile koncentracije Sr-90 v vseh četrtletnih meritvah pod mejo detekcije. Njuna prisotnost v okolju je sicer posledica globalne kontaminacije, medtem ko je prispevek emisij NEK po modelni oceni nemerljiv. Izmerjene povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v letu 2024 na posameznih merilnih mestih v okolici NEK, v Ljubljani in lokacijah v okviru nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji, so prikazane v tabeli 4.1. Za primerjavo so prikazana tudi večletna povprečja za posamezno lokacijo. Meritve aerosolov v okviru republiškega programa potekajo na lokacijah v Ljubljani (Institut "Jožef Stefan") in v Predmeji; dolgoletna merilna lokacija na Jareninskem vrhu je bila z letom 2018 zamenjana za Mursko Soboto (ZVD, Zavod za varstvo pri delu) ([15], [19]). Iz tabele 4.1 lahko razberemo, da so bile povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v letu 2024 nižje od dolgoletnih povprečij. Opažamo trend, da se na vzorčevalnih lokacijah kljub podobnim prečrpanim volumnom čedalje manjkrat izmerijo koncentracije Cs-137 nad mejo detekcije ali kvantifikacije. Povprečje po vseh lokacijah v okolici NEK za leto 2024 je bistveno nižje kot drugod po Sloveniji, kar je posledica manjših kapacitet črpalk in upoštevanja meje detekcije oziroma kvantifikacije v izračunu povprečnih letnih vrednosti. Večletno povprečje na Bregah (tabela 4.1) je za približno polovico višje od drugih lokacij v okolici NEK ali od vrednosti v Ljubljani in drugod po Sloveniji. Anomalijo lahko pripišemo okoljskim posebnostim na tej lokaciji. V letu 2024 so bile vse izmerjene koncentracije aktivnosti Cs-137 na Bregah in v Gornjem Lenartu pod mejo detekcije ali mejo kvantifikacije.

Tabela 4.1: Primerjava večletnih povprečij izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti Cs-137 v aerosolih v okviru nadzora radioaktivnosti v okolici NEK in v Republiki Sloveniji s podatki za leto 2024

Lokacija	Od 2005 do 2023	2024
	Koncentracija aktivnosti (Bq/m^3)	
Spodnji Stari Grad	1,3E–06 ± 2E–07	2,6E–07 ±1E–07
Stara vas	1,3E–06 ± 2E–07	8,5E–08 ± 1E–07
Leskovec	1,4E–06 ± 1E–07	8,3E–08 ± 6E–08
Brege	2,0E–06 ± 2E–07	ni izmerjeno**
Vihre	1,1E–06 ± 3E–07	5,1E–08 ± 5E–08
Gornji Lenart	1,1E–06 ± 2E–07	ni izmerjeno**
Spodnja Libna	1,1E–06 ± 3E–07	1,1E–07 ± 6E–08
Dobova	1,3E–06 ± 2E–07	5,7E–07 ± 4E–08
Povprečje NEK	1,1E–06 ± 2E–07	1,4E–07 ± 7E–08
Ljubljana	1,7E–06 ± 7E–08	8,5E–07 ± 4E–08
Murska Sobota	1,1E–06 ± 9E–07*	1,6E–6 ± 3E–7
Predmeja	2,3E–06 ± 8E–07	1,1E–6 ± 2E–7

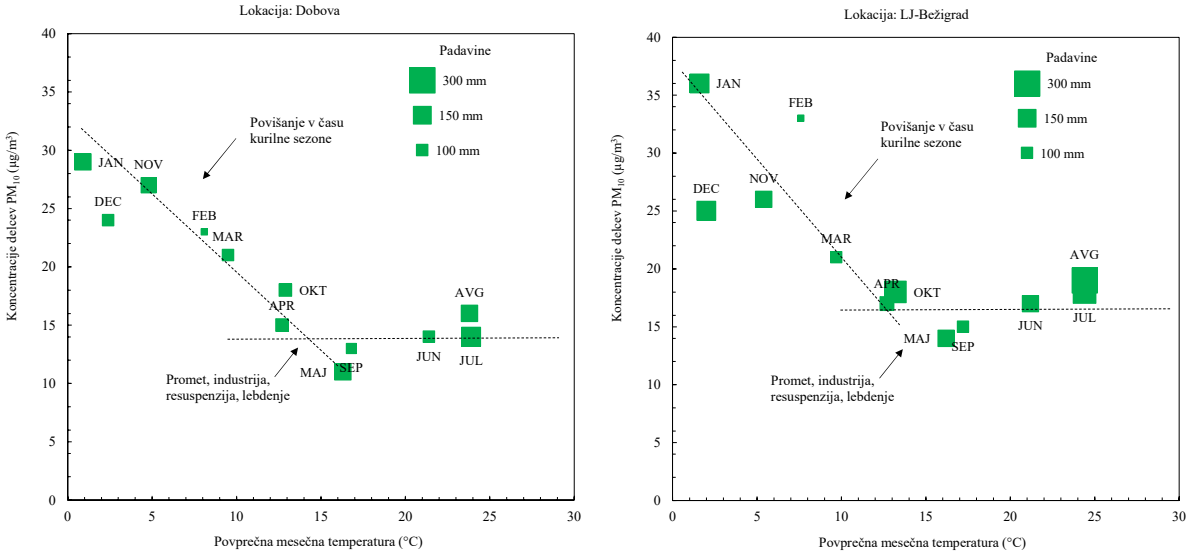
* *Samo od leta 2018 dalje*

** *Vse meritve so bile pod mejo detekcije ali mejo kvantifikacije*

Tabela 4.2: Primerjava povprečij izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti radionuklidov v aerosolih v okviru nadzora radioaktivnosti v okolici NEK in v Republiki Sloveniji za leto 2024

Vzorč.mesto	MURSKA SOBOTA*	PREDMEJA*	LJUBLJANA	POVPREČJE KRAJEV V OKOLICI NEK
IZOTOP	Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti (Bq/m^3)			
Na-22			2,9E-07 ± 5E-08	5,0E-08 ± 3E-08
U-238	4,3E-07 ± 3E-07	1,8E-06 ± 2E-06	1,2E-06 ± 7E-07	7,3E-06 ± 1E-06
Ra-226	5,4E-06 ± 2E-06	4,1E-06 ± 1E-06		2,4E-06 ± 1E-06
Pb-210	1,0E-03 ± 1E-04	1,0E-03 ± 2E-04	8,2E-04 ± 2E-05	5,4E-04 ± 8E-05
Ra-228	1,6E-06 ± 6E-07	1,5E-06 ± 4E-07	2,0E-09 ± 7E-08	5,1E-06 ± 8E-07
Th-230				
Th-228	1,0E-06 ± 4E-07	9,3E-07 ± 4E-07	4,0E-05 ± 7E-07	5,5E-06 ± 6E-07
K-40	4,6E-04 ± 3E-05	3,7E-04 ± 2E-05		1,3E-07 ± 2E-06
Be-7	5,6E-03 ± 5E-04	3,2E-03 ± 3E-04	3,4E-03 ± 5E-05	2,3E-03 ± 3E-04
I-131				
Cs-134				
Cs-137	1,6E-06 3E-07	1,1E-06 2E-07	8,5E-07 ± 4E-08	1,4E-07 ± 7E-08
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-89/Sr-90	Meritev ni v programu	Meritev ni v programu	Meritev ni v programu	

* *Rezultati iz programa nadzora radioaktivnost v življenjskem okolju Republike Slovenije*

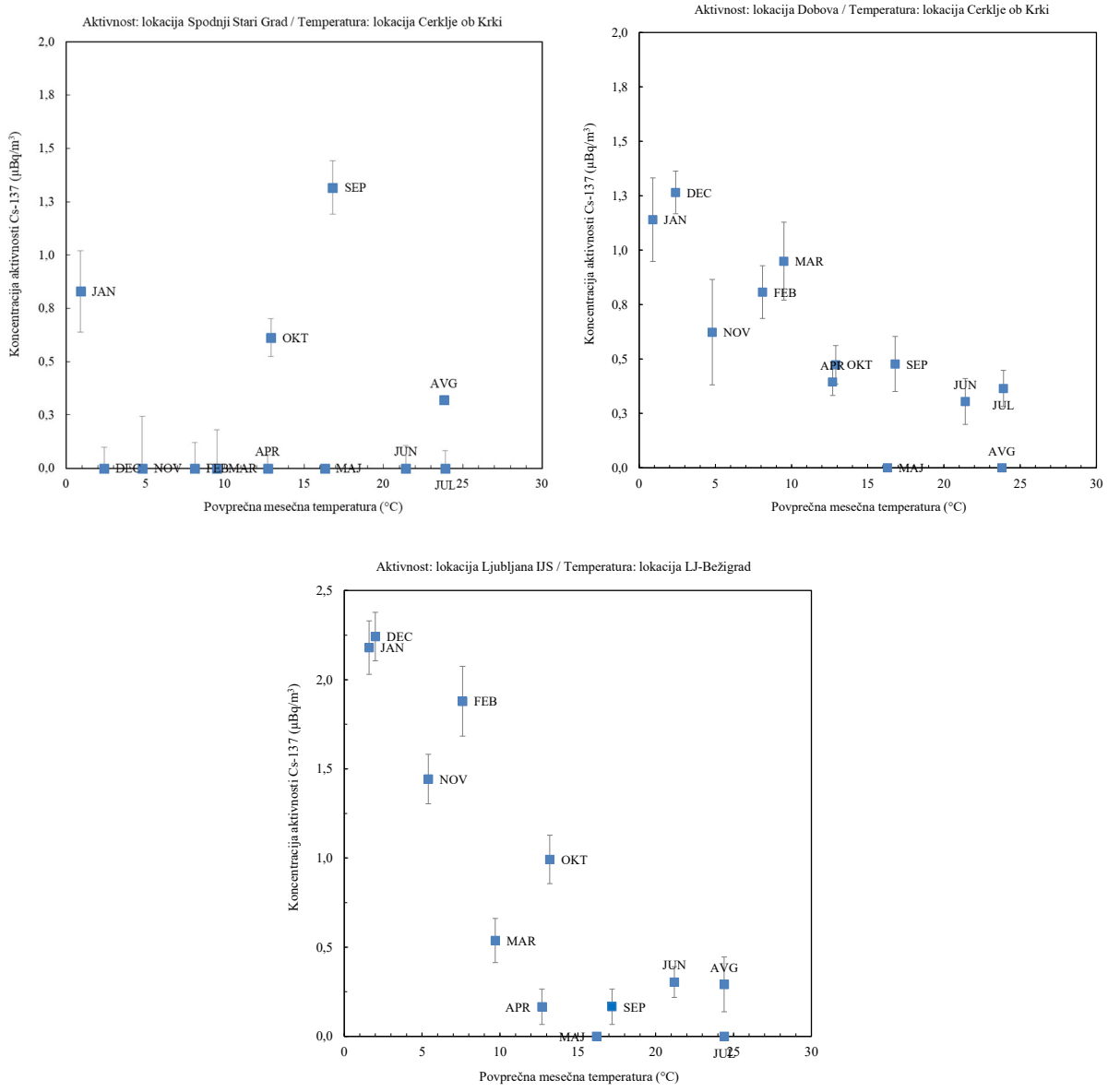


Slika 4.4: Korelacija koncentracije prašnih delcev PM_{10} v zraku s povprečnimi mesečnimi temperaturami – Dobova in Ljubljana. Izrazito povišanje koncentracij PM10 je prisotno v hladnejših mesecih.

V izmerjenih povprečnih koncentracijah aktivnosti Cs-137 na filtrih vzorčevalnih črpalk je samo majhen del posledica resuspenzije Cs-137 iz zemlje. Iz literature ([63], [64], [2]) lahko namreč sklenemo, da je prispevek h koncentraciji aktivnosti Cs-137 v zraku v hladnih mesecih v veliki meri posledica uporabe trdih goriv (predvsem drv, briketov in peletov), kar najbolje predstavljajo prašni delci PM_{10}, in posledičnega sproščanja v njih prisotnega černobilskega Cs-137 v okolje. V toplejših mesecih pa je prispevek kurjenja

manj izrazit in je aktivnost najverjetneje posledica več dejavnikov: v največji meri resuspenzije s tal in lebdenja delcev v ozračju, v manjši meri pa prometa in industrije. Takšna odvisnost prašnih delcev od temperature je prikazana za lokaciji Dobova in Ljubljana na sliki 4.4. Zaradi izpiranja prašnih delcev ima na koncentracijo PM10 velik vpliv tudi količina padavin, kjer površina točk na grafu predstavlja količino mesečnih padavin.

Zato lahko potrdimo tudi močno temperaturno korelacijo s koncentracijami Cs-137 v zraku, ki je lepo vidna na sliki 4.5 za lokaciji Ljubljana in Dobova (visoko zmogljive črpalke). V letu 2024 so bile na lokaciji Spodnji Stari Grad samo štiri meritve nad mejo detekcije oziroma kvantifikacije, zato smiseln komentar ni možen. Vseeno lahko potrdimo, da so izmerjene koncentracije Cs-137 v Sloveniji in tudi v okolici NEK (meritve prejšnjih let) posledica okoljske radioaktivnosti zaradi černobilske nesreče.



Slika 4.5: Sezonska odvisnost koncentracij Cs-137 v zraku – Spodnji Stari Grad, Dobova in Ljubljana. Na večini lokacij okrog NEK so zaradi manjših prečrpanih volumnov vrednosti koncentracij Cs-137 zelo blizu meje detekcije ali kvantifikacije (v letu 2024 na lokaciji Spodnji Stari Grad samo štiri meritve nad mejo), v Dobovi in Ljubljani vzorčenje poteka z visoko pretočnima črpalkama, zato je korelacija med koncentracijo in povprečno mesečno temperaturo izrazitejša.

V okviru rednega nadzora življenjskega okolja v RS v letu 2024 smo vzorčili domača drva, pelete oziroma brikete ([16]). Specifične aktivnosti Cs-137 so bile od 0,8 Bq/kg do 6,1 Bq/kg. Iz podatkov o vsebnosti Cs-137 v lesnih kurivih lahko informativno ocenimo koncentracijo aktivnosti Cs-137 v zraku v bližini kurišč (do 500 m). V Sloveniji se približno četrtina (23 %) od okrog 800 000 gospodinjstev ogreva z lesno biomaso. Pri letni porabi okrog 1 200 kt za celotno Slovenijo je povprečna poraba slovenskega gospodinjstva, ki se ogreva le z lesno biomaso, okrog 5 800 kg na leto. Na podlagi teh podatkov in ob upoštevanju povprečne specifične aktivnosti 1,0 Bq/kg za 8 vzorcev iz programa, ([16]) lahko ugotovimo, da je skupna letna izpuščena aktivnost Cs-137 v lesnih kurivih na gospodinjstvo 83 kBq. Ob zelo grobih predpostavkah, da se v okolje izpusti celotna količina Cs-137 pri zgorevanju lesa v peči, ob uporabi informativne vrednosti razredčitvenega faktorja na razdalji 500 m χ/Q=10^{-4} s/m^3 (talni izpust) [19] in konstantnega izpusta s hitrostjo aktivnosti 3,1 10^{-3} mBq/s (predpostavili smo, da se peleti skurijo v 4 mesecih), dobimo oceno za koncentracijo aktivnosti Cs-137 v zraku 0,81 µBq/m^3 v bližini hiše, kjer se za ogrevanje uporablja peč na trda goriva. Ta vrednost je malenkost nižja od povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v zraku v Dobovi za tri zimske mesece v letu 2024, ki je 1,0 µBq/m^3. Če upoštevamo prispevke nekaj gospodinjstev hkrati, pa dobimo že zelo primerljive vrednosti enakega velikostnega reda.

Stroncij (Sr-90)

Meritve stroncija Sr-90 v okolju se izvajajo v trimesečnih sestavljenih vzorcih. V letu 2024 so bile meritve opravljene v Stari vasi, vsi izmerki pa so bili pod mejo kvantifikacije. Ocenjena povprečna koncentracija aktivnosti v letu 2024 je bila 0,06 µBq /m^3. Večletno povprečje koncentracije aktivnosti za Sr-90 v Dobovi (prejšnja lokacija vzorčenja) je 0,65 µBq/m^3. V zračnih izpustih NEK je bil v letu 2024 Sr-89/Sr-90 sicer zaznan.

Jod (I-131)

Mesečne koncentracije aktivnosti I-131 v zraku (ogleni filtri, tabela T-43) ali v aerosolih (tabele T-44 do T-51) v okolju so bile v letu 2024 pod mejo detekcije.

Drugi aktivacijski in fisijski produkti

Med obratovanjem so bili v izpuhu NEK v letu 2024 zaznani izpusti Co-58, Co-60, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Te-127m, Cs-137, Sr-89/Sr-90 in Se-75, vendar teh radionuklidov, z izjemo Cs-137, nismo zaznali na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK, kjer so postavljene kombinirane črpalke, niti v Ljubljani. Cs-137 v zraku, izmerjen v zračnih filtrih, je posledica okoljske radioaktivnosti. Zračni izpusti so navedeni v tabeli 4.4.

Naravni radionuklidi

Rezultate meritev naravnih radionuklidov v aerosolih v okolju na posameznih mestih je težko povezati v smiselne sklepe (tabela 4.2), saj so koncentracije aktivnosti radionuklidov lahko odvisne od vremenskih, geografskih in/ali geoloških razmer. Pri Be-7 in Pb-210 je ujemanje v okviru negotovosti povprečja dobro. Povprečna koncentracija aktivnosti Be-7 v letu 2024 v okolici NEK je bila 2 344 µBq/m^3, Pb-210 pa 544 µBq/m^3. V Ljubljani sta bili ustrezni vrednosti 3 434 µBq/m^3 in 822 µBq/m^3, v Murski Soboti 5 576 µBq/m^3 in 1 040 µBq/m^3 in na Predmeji 3 173 µBq/m^3 in 1 030 µBq/m^3. Za kozmogeni Be-7 ugotavljamo, da je bila v okviru negotovosti povprečij na vseh vzorčevalnih mestih v okolici NEK, Murski Soboti in v Ljubljani izmerjena primerljiva vrednost, odstopa le na Predmeji, kjer je vrednost višja. Podobno velja tudi za Pb-210, kjer so vrednosti primeljive na vseh lokacijah. Taka ugotovitev je pričakovana predvsem za lokacije s podobnim padavinskim režimom in ustrezno podobnim izpiranjem aerosolov iz ozračja ter prehajanjem zračnih mas iz višjih plasti atmosfere. Letna količina padavin v okolici NEK je tipično za okrog 31 % nižja kot v Ljubljani, kot kaže večletno povprečje [88]: v letu 2024 pa jih je bilo za okrog 33 % manj.

Pri drugih naravnih radionuklidih so razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK, v Ljubljani in drugih lokacijah po Sloveniji večje (tabela 4.2). Neujemanje lahko pripišemo različni sestavi tal, bližini obdelovalnih polj in neupoštevanju izhajanja radona iz vzorca pri meritvah Ra-226 za vzorce iz Predmeje in Murske Sobote. Meritve koncentracije aktivnosti radionuklidov v aerosolih v Ljubljani se zaradi najbolj zmogljive črpalke v primerjavah uporabljajo kot referenčne. Zračna črpalka na vzorčevalnem mestu v Ljubljani prečrpa približno desetkrat več zraka kot črpalke v okolici NEK, razen v Dobovi, kjer je enaka črpalka kot v Ljubljani. Ob upoštevanju teh dejstev lahko sklenemo, da so vrednosti naravnih radionuklidov v zraku v okolici NEK podobne tistim, ki smo jih izmerili v okviru nadzornih meritev radioaktivnosti v Republiki Sloveniji ([15], [16]).

Izvajalec meritev med izmerjenimi radionuklidi v okolju poroča tudi o Na-22 od leta 2008 dalje. Podobno kot Be-7 je Na-22 kozmogeni radionuklid, njegove koncentracije pa so navadno okrog 10 000-krat nižje od koncentracij Be-7. V letu 2024 je bila v Ljubljani povprečna koncentracija aktivnosti Na-22 0,29 $\mu Bq/m^3$.

OCENA UČINKOV

Ker so koncentracije aktivnosti radionuklidov v aerosolih, ki izvirajo iz drugih virov (globalno onesnaženje z umetnimi radionuklidi, naravna radioaktivnost), dosti večje od koncentracij aktivnosti radionuklidov v razredčenih zračnih izpustih NEK (imisijah) na lokacijah vzorčenja aerosolov, prispevka slednjih ni mogoče izolirati. Pri oceni koncentracij aktivnosti umetnih radionuklidov, ki so v zračnih izpustih iz NEK, si pomagamo z računskimi modeli, ki na posameznih lokacijah ocenijo razredčitev aktivnosti radionuklidov od točke izpusta. Za zahtevne razmere, kakršne nastopajo v okolici NE Krško, od 2007 dalje namesto Gaussovega uporabljamo Lagrangeev model širjenja izpuščenih snovi v zraku, upoštevajoč konfiguracijo tal in dejanske meteorološke razmere. Model uporablja vse merjene podatke v sistemu ekološkega informacijskega sistema EIS, ki ga upravlja NEK. Za emisije je to pretok plinov skozi glavni izpuh. Model uporablja še temperaturo in druge meteorološke parametre ter hitrost izpuščenih plinov in presek ventilacijskega izpusta. Po posvetovanju z NEK je bila za temperaturo dimnih plinov določena temperatura 25 ºC.

Glavni izpust je v model postavljen z realnimi koordinatami: UTM33: X = 539944 Y = 5087290 in višina 60 m. Model ne vidi reaktorske zgradbe, ker ima ločljivost 250 m, področje opiše z uporabo terena "industrija", ki ima zelo veliko hrapavost terena [3].

Model s temi podatki in tridimenzionalno meteorologijo izpušča delčke na vsakih 10 sekund in jih usmerja glede na njihovo kinetično in toplotno energijo, ki jo imajo na izstopu iz ventilacijskega sistema, ter glede na vremenske razmere v prostoru, kjer so delci. Dimnega dviga model ne računa eksplicitno, temveč kot povprečje dvigov posameznih delčkov.

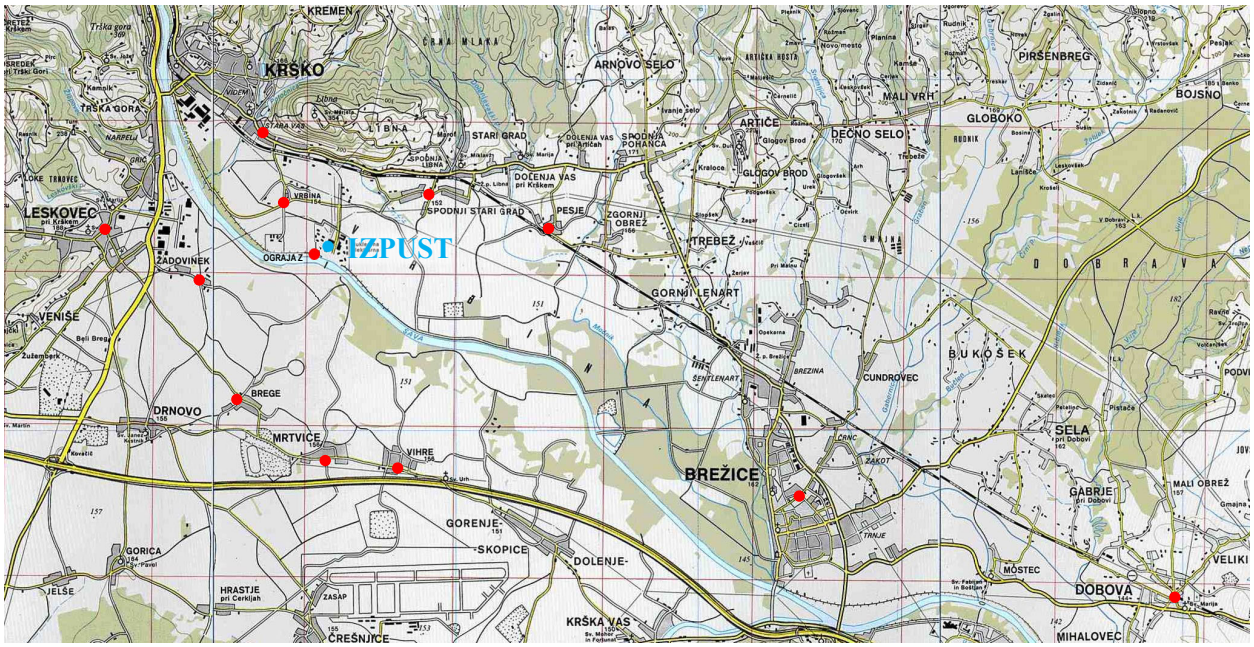
Koncentracije aktivnosti izpuščenih snovi v zunanjem zraku (imisije) na določeni lokaciji proč od izpusta ocenimo na podlagi razredčitvenih koeficientov (χ/Q) iz modela širjenja. Razredčitveni koeficient je normirano merilo za redčenje v ozračju in nam pove, kolikšna je koncentracija izpuščene snovi v obravnavani točki okolja pri enotski emisiji 1 Bq/s. Razredčitveni koeficient se izračuna iz meteoroloških podatkov za vsak polurni interval v obravnavanem letu posebej, in sicer za mrežo celic na obravnavanem območju modeliranja (25 km × 25 km z NEK v središču). Nato se za vsako celico izvede časovno povprečenje razredčitvenega koeficienta ob predpostavki konstantne emisije v tem časovnem intervalu.

Kot lokacije za izračun razredčitvenih faktorjev in kasneje tudi za oceno doz so bila izbrana nekatera naselja bodisi v neposredni bližini NEK bodisi z večjim številom prebivalcev. Lokacije so navedene v tabeli 4.3 in prikazane na sliki 4.6.

Tabela 4.3: Razredčitveni koeficienti $(\chi/Q)/(s/m^3)^*$ v letu 2024 za naselja v okolici NEK, ki jih je izračunalo in posredovalo podjetje MEIS storitve za okolje z uporabo Lagrangeevega modela

2024	Sp. Stari Grad 1,5 km	Vrbina 0,8 km	Brežice 7,1 km	Vihre 3,1 km	Mrtvice 2,8 km	Brege 2,3 km	Žadovinek 1,7 km	Leskovec 2,9 km	Krško - Stara vas 1,7 km	Pesje 3,0 km	Dobova 12,1 km	Ograja NEK 0,2 km
Januar	4,07E-07	2,58E-07	7,92E-08	3,22E-08	6,18E-08	1,18E-07	2,48E-07	2,15E-07	1,17E-07	3,95E-07	3,08E-08	4,90E-07
Februar	3,72E-07	2,19E-07	1,28E-07	5,60E-08	8,38E-08	1,80E-07	2,26E-07	1,20E-07	1,24E-07	4,20E-07	1,03E-08	6,25E-07
Marec	3,01E-07	2,66E-07	9,10E-08	6,55E-08	9,59E-08	1,70E-07	3,47E-07	1,83E-07	1,12E-07	2,41E-07	3,08E-08	5,62E-07
April	3,50E-07	2,22E-07	4,89E-08	4,92E-08	5,38E-08	1,26E-07	1,88E-07	7,07E-08	8,41E-08	4,05E-07	1,73E-08	4,78E-07
Maj	3,83E-07	3,18E-07	9,81E-08	2,72E-08	2,80E-08	1,01E-07	2,56E-07	1,15E-07	1,07E-07	2,91E-07	1,78E-08	4,72E-07
Junij	4,40E-07	3,70E-07	6,85E-08	4,77E-08	6,86E-08	1,54E-07	3,42E-07	1,13E-07	1,77E-07	4,11E-07	1,49E-08	1,46E-06
Julij	3,19E-07	6,54E-07	2,22E-07	1,30E-07	1,85E-07	3,37E-07	4,33E-07	1,34E-07	2,00E-07	2,41E-07	8,93E-09	2,63E-06
Avgust	4,11E-07	5,77E-07	4,09E-08	9,74E-08	9,81E-08	2,50E-07	3,87E-07	2,19E-07	2,13E-07	2,08E-07	2,67E-08	1,17E-06
September	2,73E-07	2,52E-07	3,64E-08	3,25E-08	4,64E-08	1,16E-07	2,55E-07	1,24E-07	8,64E-08	2,16E-07	2,14E-08	5,34E-07
Oktober	2,10E-07	2,77E-07	1,38E-08	2,99E-08	3,32E-08	7,80E-08	4,63E-07	3,07E-07	8,43E-08	1,47E-07	7,78E-08	2,04E-07
November	1,89E-07	4,35E-07	4,46E-08	2,42E-08	3,85E-08	8,66E-08	4,34E-07	4,31E-07	1,48E-07	2,10E-07	7,83E-08	3,62E-07
December	3,50E-07	2,55E-07	8,31E-08	5,44E-08	9,57E-08	1,80E-07	3,40E-07	2,37E-07	2,00E-07	3,12E-07	4,00E-08	3,85E-07

* Drsniki v posameznih celicah pomenijo relativno velikost razredčitvenega faktorja, posebej za ograjo NEK (okvirno velja tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja) (rdeče), in za vse druge lokacije skupaj (sivo). Tako so hitro razvidne morebitne sezonske/meteorološke variacije.

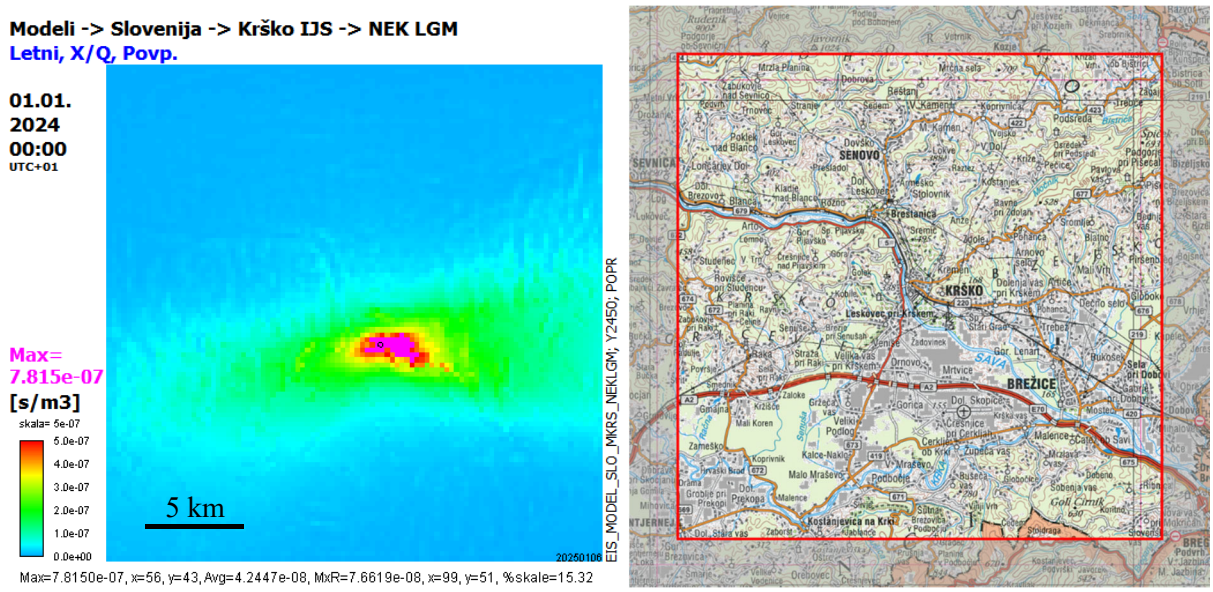


Slika 4.6: Načrt okolice NE Krško z vrisanimi okvirnimi lokacijami za bližnja naselja Brege, Vihre, Dobova, Gornji Lenart, Spodnja Libna, Stara vas in Leskovec, v katerih so izračunani razredčitveni faktorji in naknadno izračunane doze

Na slikah 4.7a in 4.7b so predstavljeni povprečni letni razredčitveni koeficienti (χ/Q), na osnovi izračunanih mesečnih koeficientov χ/Q, tako za leto 2024 (slika 4.7a) in za primerjavo še iz prejšnjih let od 2013 do 2023 (slika 4.7b). Na slikah je vidno, da sta prevladujoči smeri, v katerih se v povprečju gibljejo izpusti NEK, jugozahod in jugovzhod.

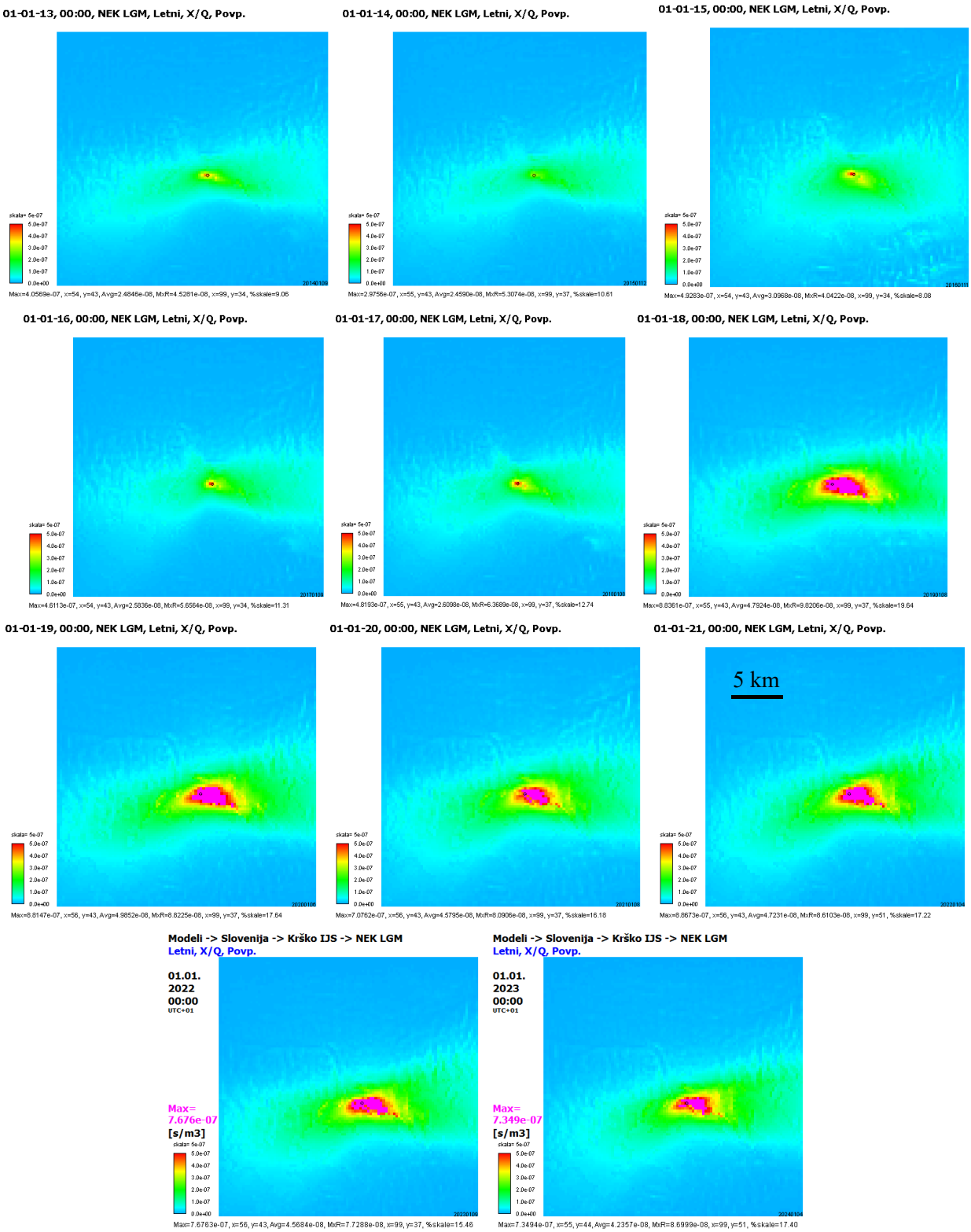
Na sliki 4.8 je prikazan časovni potek rezultatov modeliranja z Lagrangeevim modelom, kjer so prikazani mesečni povprečni razredčitveni koeficienti od leta 2013 dalje. Na zgornjem grafu je časovni potek za najbližjo lokacijo izpusta, in sicer na zahodni ograji NEK, na spodnjem grafu slike 4.8 pa časovni potek za bližnja naselja Spodnji Stari Grad, Vrbina, Krško – Stara vas in Žadovinek. Na zahodni ograji NEK je zelo močno viden vpliv stabilnega vremena in s tem manjšega redčenja, kjer so razredčitveni faktorji v poletnih mesecih zelo visoki v primerjavi z ostalimi meseci. Takšni vrhovi so bistveno manj izraziti na ostalih lokacijah Spodnji Stari Grad, Vrbina, Krško – Stara vas in Žadovinek, ki so bolj oddaljene od mesta izpusta.

V časovnem poteku povprečnih mesečnih razredčitvenih faktorjev je opazen dvig faktorjev od vključno leta 2018 dalje na lokacijah Spodnji Stari Grad, Vrbina in Žadovinek. Kakšnih posebnih pojasnil nimamo, najverjetneje so bile meteorološke razmere takšne, da je bilo vreme v povprečju stabilnejše in posledično razredčitveni faktorji višji.



a) Leto 2024

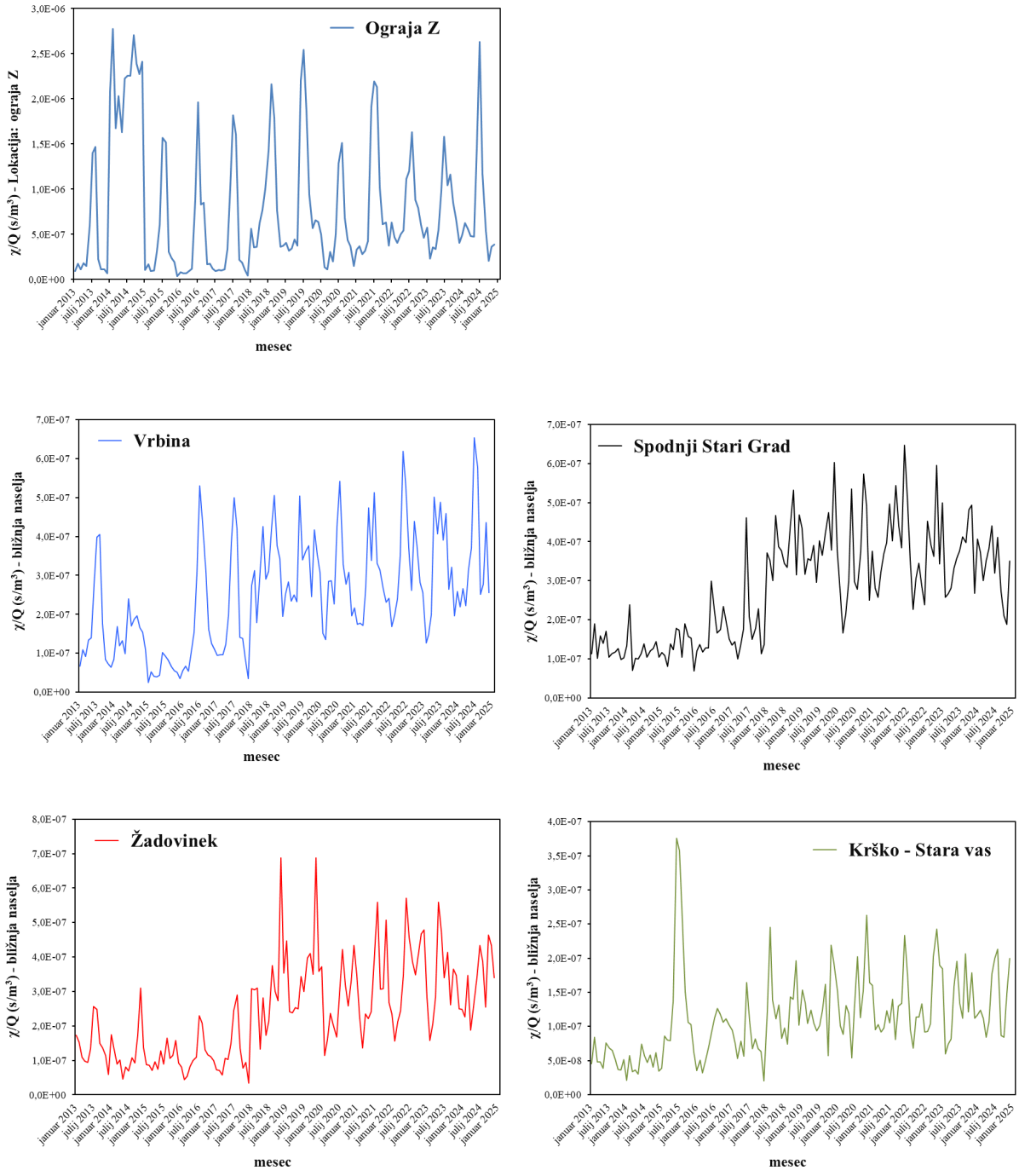
Slika 4.7a: Povprečni letni razredčitveni koeficienti (χ/Q) z enoto s/m^3, izračunani po Lagrangeevem modelu za izpust z višine 60 m za okolico NEK za leto 2024 (območje modeliranja je v rdečem okviru, 25 km × 25 km) [89]. Podatke je izračunal in posredoval MEIS storitve za okolje.



b) Leta od 2013 do 2023

Slika 4.7b: Povprečni letni razredčitveni koeficienti (χ/Q) z enoto s/m^3, izračunani po Lagrangeevem modelu za izpust z višine 60 m za okolico NEK za leta 2013–2023.

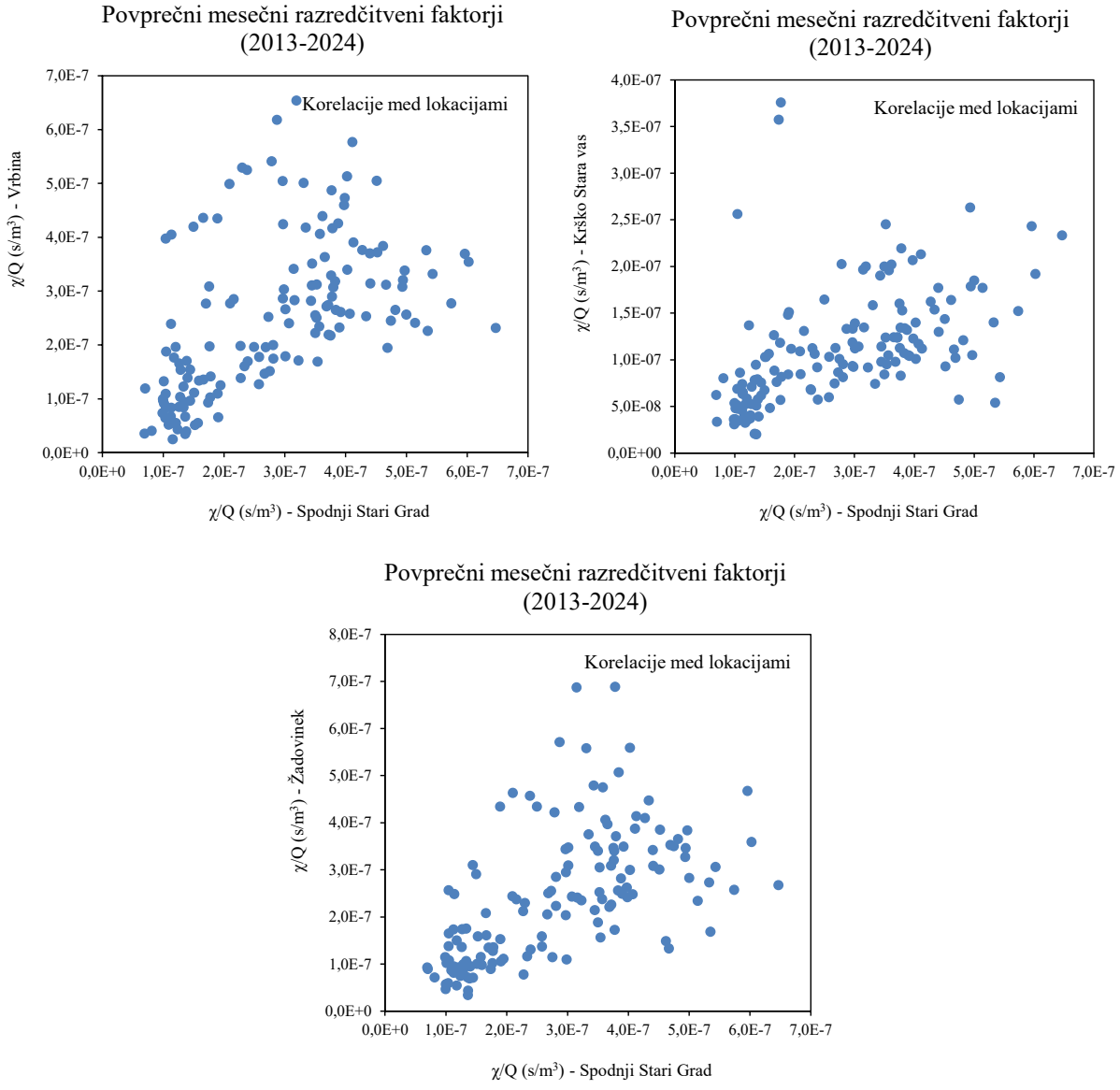
Podatke je izračunal in posredoval MEIS storitve za okolje.



Slika 4.8: Povprečni mesečni razredčitveni koeficienti (χ/Q) z enoto s/m^3, izračunani po Lagrangeevem modelu za izpust z višine 60 m za okolico NEK za leta 2013–2024.

Podatke je izračunal in posredoval MEIS storitve za okolje.

Kot je bilo ugotovljeno in je lepo vidno na slikah 4.7a in 4.7b, sta prevladujoči smeri, v katerih se v povprečju gibljejo izpusti NEK, jugozahod in jugovzhod. Zato smo preverili, ali so takšne smeri gibanja izpustov med seboj korelirane, oziroma antikorelirane. Na sliki 4.9 smo primerjali med seboj mesečne razredčitvene koeficiente na referenčni lokaciji in v bližnjih naseljih okrog NEK – Vrbina, Krško – Stara vas ter Žadovinek. Lokacije za prikaz na sliki 4.9 so izbrane v različnih smereh glede na točko izpusta. V primeru sezonsko prevladujočih smeri vetrov oziroma smeri razširjanja izpustov bi morali biti razredčitveni faktorji na različnih straneh od izpusta NEK antikorelirani, vendar na sliki 4.9 to ni opazno. Zato lahko privzamemo, da se vreme oziroma smer razširjanja v okolici NEK spreminja z urno ali dnevno periodo.



Slika 4.9: Korelacija povprečnih mesečnih razredčitvenih koeficientov (χ/Q) z enoto s/m^3, na referenčni lokacij Spodnji Stari Grad in v bližnjih naseljih za leta 2013–2024.

Podatke je izračunal in posredoval MEIS storitve za okolje.

Meritve emisij na izpuhu NEK opravljata NEK in IJS. V tabeli 4.4 so pri aerosolih predstavljene vrednosti, ki so dobljene tako, da konservativno upoštevamo višjo vrednost od obeh izvajalcev. O aktivnosti žlahtnih plinov poroča le NEK. Iz teh meritev in podatkov o izračunanih povprečnih mesečnih razredčitvenih koeficientih (χ/Q) za posamezna mesta v okolici NEK (tabela 4.3) lahko izračunamo inhalacijski in imerzijski prispevek k letni efektivni dozi zaradi zračnih emisij NEK.

Tabela 4.4: Zračni izpusti iz ventilacijskega izpusta NEK v letu 2024 na višini 60 m

	Radionuklid	**Letni izpust (Bq)**
Pare, plini	I-131	1,8E+05
	I-132	5,8E+06
	I-133	9,8E+05
	HTO	7,4E+12
	HT + CHT	1,7E+12
	C-14 v CO_2	3,6E+10
	C-14 v CH_4	6,6E+09
	Co-58	5,7E+03
	Co-60	7,8E+03
	Zr-95	5,1E+03
	Nb-95	3,8E+03
	Ag-110m	6,9E+03
	Te-127m	2,2E+04
	Cs-137	2,5E+03
	Sr-89/Sr-90	7,7E+02
	Se-75	3,9E+05
Žlahtni plini	Xe-131m	1,8E+11
	Xe-133	4,3E+10
	Xe-135	2,5E+10
	Kr-85	2,8E+10
Skupna izpuščena aktivnost za pare, pline in aerosole		**9,1E+12**
Skupna izpuščena aktivnost žlahtnih plinov		**3,2E+11**
Skupna izpuščena aktivnost		**9,4E+12**

Pri tem je treba povedati, da se pri poročanju o merskih rezultatih v bližini meje detekcije uporablja priporočilo Evropske komisije [60], ki določa, da se navede četrtina meje detekcije (MDA) določenega radionuklida za vsak mesec, če je le-ta bil detektiran vsaj enkrat v letu. Takšen način poročanja lahko pomeni, da je letna izpuščena aktivnost precenjena in torej zelo konservativna. Na primer, v letu 2015 se je tako pokazalo, da je bil izpust Cs-137 precenjen za 72 %, Ru-103 za 42 %, Xe-131m za 59 % itd. Teoretično bi lahko le ob eni mesečni meritvi tik ob meji detekcije bila navedena letna aktivnost, ki je 3,75-krat višja od dejansko izmerjene (11 × 0,25 *MDA* + 1 *MDA*). Tako sta tudi ocenjeni efektivni dozi zaradi vdihavanja in zunanjega sevanja žlahtnih plinov lahko precenjeni za nekaj odstotkov (v letu 2015 na primer 5 %), v ekstremnih primerih pa celo bistveno več. Tovrstno poročanje je pomanjkljivo tudi s stališča metrologije, saj se izgubi informacija o negotovosti rezultatov meritev in letne vsote [58].

Metodologija izračuna efektivne doze za referenčne osebe zaradi radioaktivnosti v zraku

Iz tabele 4.4 je razvidno, da skozi ventilacijski izpust uhaja največ tritija v obliki vodne pare (HTO). To je glavni prispevek k modelski oceni efektivne doze zaradi vdihavanja na izbranih lokacijah v okolici NEK (tabela 4.5). Znatne so tudi izpuščene aktivnosti žlahtnih plinov, vendar je treba v tem primeru za modelsko oceno efektivne doze[20] upoštevati imerzijo oziroma zunanje sevanje, ki pa je za red velikosti nižja od efektivne doze zaradi vdihavanja hlapov, plinov in partikulatov z radionuklidi iz NEK, izračunane na lokacijah v okolici NEK (tabela 4.7).

Iz podatkov o meritvah mesečnih emisij posameznih radionuklidov (tabela 4.4) ter iz izračunanih mesečnih razredčitvenih koeficientov (χ/Q) (tabela 4.3), so bile izračunane koncentracije aktivnosti posameznih radionuklidov po mesecih a_{jl} na lokaciji l:

$$a_{jl,\mathrm{mes}} = a_{j\mathrm{s},\mathrm{mes}} \cdot \Phi_{\mathrm{v}} \cdot (\chi / Q)_l \qquad (4.1)$$

Tu je $a_{j\mathrm{s}}$ mesečna koncentracija aktivnosti radionuklida j na točki izpusta, Φ_{v} pretok oziroma hitrost izpusta v enotah m^3/s ter $(\chi/Q)_l$ razredčitveni faktor na lokaciji l v enotah s/m^3.

Namen spremljanja radioaktivnosti v vzorcih zraka je ocena doz, ki jih prejmejo prebivalci v okolici NEK zaradi notranjega obsevanja (vdihavanje) in zunanjega obsevanja. Predvidena efektivna doza $E_{l,\mathrm{inh,mes}}(g)$, ki jo prejme referenčna oseba v starostni skupini prebivalstva g v enem mesecu na lokaciji l, se ugotavlja kot vsota vseh prispevkov zaradi vnosa različnih radionuklidov z vdihavanjem:

$$E_{l,\mathrm{inh,mes}}(g) = \sum_j h(g)_{j,\mathrm{inh}} A_{jl,\mathrm{inh,\ mes}} \qquad (4.2)$$

pri čemer je $h(g)_{j,\mathrm{inh}}$ efektivna doza na enoto vnosa j-tega radionuklida zaradi vdihavanja, izražena v Sv/Bq [10], in $A_{j,\mathrm{inh,\ mes}}$ posamezni mesečni vnos j-tega radionuklida z vdihavanjem, izražen v Bq. V našem primeru mesečni vnos j-tega radionuklida $A_{j,\mathrm{inh,\ mes}}$ izračunamo kot:

$$A_{j,\mathrm{inh,\ mes}} = a_{jl,\mathrm{mes}} \tfrac{1}{12} V(g) \qquad (4.3)$$

kjer je $a_{jl,\ \mathrm{mes}}$ koncentracija/specifična aktivnost j-tega radionuklida iz enačbe (4.1) in $V(g)$ letna hitrost dihanja za določeno starostno skupino g. V enačbi (4.3) smo privzeli, da je hitrost dihanja enakomerna celo leto. Z upoštevanjem ustreznih doznih pretvorbenih faktorjev $h(g)_{j,\mathrm{inh}}$ ([10], [38]) za posamezne radionuklide in posamezno starostno skupino dobimo oceno za mesečni prispevek posameznega radionuklida k letni dozi. Letna efektivna doza zaradi vdihavanja za posamezno starostno skupino referenčne osebe je potem vsota mesečnih efektivnih doz, ki jih izračunamo iz enačbe (4.2).

Efektivno dozo zaradi imerzije (zunanjega sevanja) izračunamo ob predpostavki zanemarljivega prispevka inhalacije (vdihavanja) žlahtnih plinov v primerjavi z zunanjim sevanjem, ki ga povzroča polneskončni oblak žlahtnih plinov. Mesečno efektivno dozo zaradi imerzije na lokaciji l izračunamo kot:

$$E_{l,\mathrm{im,mes}} = \sum_j h_{\ j,\mathrm{im}} A_{jl,\mathrm{im,\ mes}} \qquad (4.4)$$

pri čemer je $h_{j,\mathrm{im}}$ efektivna doza ($(\mathrm{Sv/d})/(\mathrm{Bq/m^3})$) j-tega radionuklida, prejeta v enem dnevu na enoto koncentracije aktivnosti v zraku ([10], [38]). Pretvorbeni dozni koeficienti so enaki za vse starostne skupine. Aktivnost $A_{jl,\mathrm{im,\ mes}}$ na lokaciji l izračunamo iz zveze, ki jo podaja enačba:

$$A_{jl,\mathrm{im,\ mes}} = A_{jS,\mathrm{mes}} (\chi / Q)_l \qquad (4.5)$$

kjer je $A_{jS,\ \mathrm{mes}}$ izpuščena mesečna aktivnost, pomnožena s pretokom in obdobjem izpuščanja, in $(\chi/Q)_l$ razredčitveni faktor na lokaciji l. Letna efektivna doza zaradi imerzije je potem za vse starostne skupine

[20] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].

vsota mesečnih efektivnih doz, ki jih izračunamo iz enačbe (4.4).

Pri opisu metodologije izračuna doz je treba poudariti, da je za oceno prispevka NEK k dozi smiselno upoštevati le vrednosti, dobljene z modelnimi izračuni (enačba 4.1) razširjanja radioaktivnih emisij. Tako lahko ugotovimo na primeru tipično merljivega umetnega radionuklida Cs-137 v okolju, da izmerjene mesečne koncentracije aktivnosti, ki na aerosolnih filtrih v okolici NEK znašajo nekaj $\mu Bq/m^3$, niso posledica imisij zaradi izpustov iz NEK, temveč posledica okoljske radioaktivnosti, tj. splošne onesnaženosti okolja zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij v petdesetih in šestdesetih letih dvajsetega stoletja ter v manjši meri nesreče v Fukušimi. V letu 2024 je bil tako med izpusti NEK radionuklid Cs-137 prisoten v majhni količini 2,4 kBq, meritve na filtrih v okolici NEK pa so pokazale koncentracije, primerljive s preteklimi leti. Iz meritev izpustov v preteklih letih smo že večkrat pokazali, da so koncentracije aktivnosti Cs-137, modelsko izračunane iz enačbe (4.1), tudi v primeru najvišje izračunane mesečne koncentracije več velikostnih razredov nižje od izmerjenih vrednosti v okolju.

Tabela 4.5: Ocenjene letne efektivne doze zaradi inhalacije (vdihavanja) in imerzije (zunanjega sevanja) posameznih radionuklidov zaradi izpustov NEK za odraslega prebivalca (referenčne osebe) na lokaciji Spodnji Stari Grad (smer VSV, razdalja 1,5 km od osi reaktorja) in na najbližji lokaciji na ograji NEK, ki je v izključitvenem območju (0,5 km) – prispevki v letu 2024.

	Radionuklid	**Letna efektivna doza (µSv)**	
		Spodnji Stari Grad	**Ograja NEK** (okvirno velja tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja**)**
Pare, plini (inhalacija - vdihavanje)	I–131	1,3E–07	2,7E–07
	I–132	6,3E–08	8,6E–08
	I–133	1,4E–07	3,5E–07
	HTO	1,3E–02	2,2E–02
	HT + CHT	2,8E–05	5,1E–05
	14CO2	2,3E–05	4,3E–05
	14CH4	3,4E–04	7,6E–04
Aerosoli (inhalacija – vdihavanje)	Co–58	1,2E–09	2,1E–09
	Co–60	2,4E–08	7,9E–08
	Zr–95	2,9E–09	6,2E–09
	Nb–95	6,4E–10	1,3E–09
	Ag–110m	8,2E–09	1,4E–08
	Te–127m	2,0E–08	3,4E–08
	Cs–137	9,2E–09	2,3E–08
	Sr–89/Sr–90	1,2E–08	2,5E–08
	Se–75	5,2E–08	1,8E–07
Žlahtni plini (imerzija - zunanje sevanje)	Xe–131m	1,7E–05	2,7E–05
	Xe–133	1,9E–05	4,4E–05
	Xe–135	8,7E–05	1,8E–04
	Ar–41	5,4E–04	1,2E–03
	Kr–85	2,1E–06	4,1E–06
Inhalacijska doza		**1,3E–02**	**2,3E–02**
Imerzijska doza		**6,7E–04**	**1,5E–03**
DOZA – SKUPAJ		**1,4E–02**	**2,4E–02**

Imisijske doze NEK
(izračun iz emisij in modelsko ugotovljenih koncentracij aktivnosti radionuklidov na mestih vzorčenja)

Na podlagi zgoraj opisane metodologije je tako narejen izračun imisijskih doz, tj. preko radioaktivnih izpustov NEK z modelskimi preračuni dobljenih koncentracij radionuklidov v zraku in z upoštevanjem ustreznih pretvorbenih faktorjev. V tabelah 4.5 in 4.7 so izračunane inhalacijske in imerzijske doze v okolici NEK. Najvišje izračunane doze so bile v letu 2024 v Spodnjem Starem Gradu in nato v Pesju.

Iz povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti za okolico NEK ter za Ljubljano so izračunane predvidene efektivne doze za tri starostne skupine: 1) odrasle, starejše od 17 let, 2) otroke, stare od 7 do 12 let, in 3) dojenčke, stare do enega leta (tabela 4.8). Pri tem smo upoštevali dozne pretvorbene faktorje $h(g)_{j,\mathrm{inh}}$ (predvidena efektivna doza na enoto vnosa) iz referenc [10] in [38] in hitrosti dihanja 17 L/min (9 000 m^3 na leto) za odraslega posameznika, 10,6 L/min za otroka (5 585 m^3 na leto) in 2,0 L/min (1 044 m^3 na leto) za dojenčka. Metodologija sledi priporočilom ICRP 101 [38] in daje konservativnejšo oceno doze kot določbe Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih [10].

Tabela 4.6: Letne efektivne doze zaradi inhalacije (vdihavanja) in imerzije (zunanjega sevanja) zaradi izpustov NEK ter prispevka H-3 in C-14 za odraslega prebivalca (referenčna oseba) na referenčni lokaciji Spodnji Stari Grad in na najbližji lokaciji na ograji NEK (okvirno tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja) za zadnjih nekaj let

Leto	Spodnji Stari grad				Ograja NEK (okvirno tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja)			
	H-3	C-14	Letna inhalacijska doza (nSv)	Celotna letna doza (nSv)	H-3	C-14	Letna inhalacijska doza (nSv)	Celotna letna doza (nSv)
	Prispevek k celotni dozi (nSv)				Prispevek k celotni dozi (nSv)			
2011	3,5	0,01	3,5	3,7	10,5	0,05	11	11
2012^R	5,3	0,05	5,4	5,7	31	0,26	31	32
2013^R	3,7	1,4	5,2	5,7	11,7	3,1	15	16
2014	3,0	0,17	2,8	3,0	48	0,09	48	53
2015^R	3,9	0,02	4,0	4,8	15	0,05	15	16
2016^R	5,2	0,3	5,5	5,8	12,1	0,09	13	14
2017	4,5	2,2	6,7	7,0	12,2	11	24	24
2018^R	10	3,6	14	14	24	5,9	30	31
2019^R	5,1	1,2	6,3	6,8	13	3,0	16	17
2020	5,7	0,6	6,3	6,6	6,4	0,9	7,3	7,9
2021^R	11	0,7	11	12	17,8	0,8	19	19
2022^R	8,2	0,5	8,7	8,9	18,0	1,0	19	19
2023^R	12	0,3	12	13	22,5	0,6	23	24
2024^R	13	0,4	13	14	22	0,8	23	24

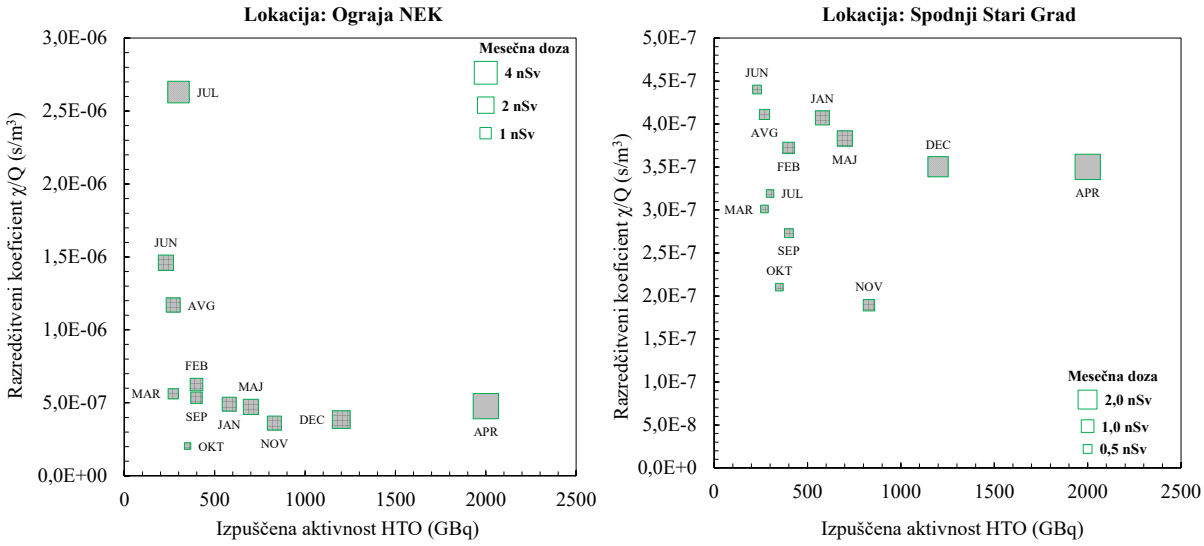
Oznaka ^{R} pomeni, da je v tem letu potekal remont

Iz tabele 4.6 je razvidno, da je skoraj vsa inhalacijska doza za odrasle v letu 2024 posledica zračnih emisij tritija (~97%), preostanek pa prispeva C-14. Ocenjeni prispevki k skupni inhalacijski dozi vseh drugih umetnih radionuklidov so bistveno manjši. Mesečne vrednosti efektivne doze so sicer lahko visoke v poletnih mesecih zaradi neugodnih vremenskih razmer (visok razredčitveni faktor, ko je ta odvisnost močno poudarjena na ograji NEK zaradi manjše oddaljenosti) in v mesecih, ko lahko neugodne vremenske razmere sovpadejo z remontom in bistveno višjimi izpusti. Inhalacijska doza po mesecih v letu 2024 za posameznika

iz prebivalstva skozi leto precej variira na lokacijah Spodnji Stari Grad in na ograji NEK (okvirno velja tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja). V poletnih vremensko neugodnih mesecih leta 2024 so bili izpusti tritija na nizki ravni v primerjavi z izpusti v času remonta ali izpusti v jesenskem času. Mesečni izpusti HTO (z največjim prispevkom k inhalacijski dozi) in izračunani mesečni razredčitveni faktor so medsebojno prikazani na sliki 4.10 za lokaciji na ograji NEK in na referenčni lokaciji Spodnji Stari Grad, kjer je točka na sliki izrisana tako, da njena velikost (okvirna površina) približno predstavlja izračunano mesečno inhalacijsko dozo. Na tak način hitro pojasnimo, zakaj je pri nekaterih nižjih izpustih aktivnosti HTO lahko doza višja. Med remontom v letu 2024 so bile le zmerno neugodne vremenske razmere, zato inhalacijske doze v tem času ne odstopajo bistveno od doz med ostalimi meseci.

Na prispevek doze C-14 vpliva njegova kemijska oblika v izpustu, saj je pretvorbeni dozni faktor za CH_4 višji kot za CO_2. Zaradi izvedenih del med obratovanjem ali remontom in ustrezno večjimi izpusti v obliki CH_4 je prispevek C-14 k dozi zaradi inhalacije višji (na primer v letih 2013, 2017, 2018 in 2019) [66]. V letu 2024 so bili kljub remontu izpusti C-14 v obliki CH_4 majhni oziroma nemerljivi (podobno tudi v letih 2011, 2012, 2015, 2020, 2022 in 2023), kar je rezultiralo v nižjih vrednostih.

Prispevki obeh radionuklidov k letni inhalacijski dozi in celotni letni dozi v letih od 2011 do 2024 so prikazani v tabeli 4.6. Kot je razvidno iz tabele, so doze v preteklih letih v bližini NEK približno dva- do trikrat večje kot pa na referenčni lokaciji Spodnji Stari Grad. Izjema je leto 2020, ko so bili izpusti v vremensko neugodnih mesecih relativno nizki, zato je razlika v dozi na obeh lokacijah precej manjša.



Slika 4.10: Skupen prikaz izpuščene aktivnosti HTO v enotah GBq in povprečnega mesečnega razredčitvenega koeficienta (χ/Q) z enoto s/m^3 na ograji NEK in na referenčni lokacij Spodnji Stari Grad v letu 2024. Površina posamezne točke v danem mesecu približno kaže tudi izračunano mesečno dozo v enotah nSv.

V letu 2024 je bil v izpustih izmerjen zelo majhen prispevek joda (0,2 MBq po rednem remontu, ostale mesece ni bilo izpustov), kar kaže, da je integriteta goriva v 34. gorivnem ciklu (2024–2025) bistveno boljša kot v gorivnih ciklih 2012–2013, 2013–2015 (ko so nastale večje poškodbe gorivnih palic) in 2015–2016. Med gorivnimi cikli z dobro integriteto goriva v letu 2020 v izpustih ni bilo izmerjenega prispevka joda, sicer pa so bile izmerjene nizke aktivnosti joda v izpustih v letu 2023 (7,3 MBq), v letu 2022 (2,5 MBq), v letu 2021 (0,18 MBq), v letu 2019 (1 MBq), v letu 2018 (27 MBq) in letu 2017 (3,4 MBq), ki so za dva do tri velikostne rede nižje kot v ostalih gorivnih ciklih s slabšo integriteto ali poškodbami gorivnih palic (2016 8,0 GBq, 2015 200 GBq, 2014 4,6 GBq, 2013 90 GBq).

Zunanje sevanje zaradi radionuklidov v zraku (imerzijska doza) je v letu 2024 predvsem posledica izpustov žlahtnih plinov različnih izotopov ksenona in Ar-41. Celotna letna imerzijska doza za Spodnji Stari Grad

za leto 2024 je bila 0,7 nSv, za ograjo NEK (in okvirno za razdaljo 500 m od osi reaktorja), pa 2,4 nSv: vrednosti so zelo nizke v primerjavi z inhalacijsko dozo na istih mestih (približno dva velikostna reda razlike). Mesečne variacije imerzijskih doz so enake kot pri inhalacijskih dozah, visoke v poletnih mesecih, povišane v času med remontom in po njem (april in maj).

Predvidene skupne letne efektivne doze za odraslega človeka so po modelskih ocenah na različnih lokacijah v razponu od 1,3 nSv (Dobova) do 24 nSv (ograja NEK, okvirno tudi na razdalji 500 m od osi reaktorja) (tabela 4.7). Razlike med lokacijami so posledica razredčitev, kar upoštevamo s povprečnimi mesečnimi razredčitvenimi koeficienti χ/Q [54]–[57].

Tabela 4.7: Ocene inhalacijskih in imerzijskih doz zaradi atmosferskih izpustov v okolici NEK v letu 2024 z uporabo Lagrangeevega modela – imisijske doze NEK. Uporabljeni so podatki za dozne pretvorbene faktorje iz referenc [10] in [38] za odrasle in otroke.

PREGLED SKUPNIH LETNIH DOZ								
Naselje	Razdalja od NEK [km]	Inhalacijska doza [μSv]			Imerzijska doza [μSv]	Skupna doza* [μSv]		
		Odrasli	Otroci	Dojenčki	Odrasli (otroci, dojenčki)	Odrasli	Otroci	Dojenčki
Spodnji Stari Grad	1,5	1,3E-02	1,0E-02	4,0E-03	6,7E-04	1,4E-02	1,0E-02	4,0E-03
Vrbina	0,8	1,2E-02	9,4E-03	3,6E-03	6,7E-04	1,3E-02	9,4E-03	3,6E-03
Brežice	7,1	2,8E-03	2,2E-03	8,6E-04	1,8E-04	3,0E-03	2,2E-03	8,6E-04
Vihre	3,1	1,9E-03	1,5E-03	5,7E-04	1,3E-04	2,0E-03	1,5E-03	5,7E-04
Mrtvice	2,8	2,6E-03	2,0E-03	7,9E-04	1,8E-04	2,8E-03	2,0E-03	7,9E-04
Brege	2,3	5,6E-03	4,4E-03	1,7E-03	3,5E-04	5,9E-03	4,4E-03	1,7E-03
Zadovinek	1,7	1,2E-02	9,3E-03	3,6E-03	7,4E-04	1,2E-02	9,3E-03	3,6E-03
Leskovec	2,9	7,2E-03	5,7E-03	2,2E-03	4,1E-04	7,6E-03	5,7E-03	2,2E-03
Krško - Stara vas	1,7	5,1E-03	4,1E-03	1,6E-03	2,7E-04	5,4E-03	4,1E-03	1,6E-03
Pesje	3,0	1,2E-02	9,8E-03	3,8E-03	5,5E-04	1,3E-02	9,8E-03	3,8E-03
Dobova	12,1	1,3E-03	1,0E-03	3,9E-04	7,1E-05	1,3E-03	1,0E-03	3,9E-04
Ograja NEK (zahod)	0,2	2,3E-02	1,8E-02	7,0E-03	1,5E-03	2,4E-02	1,8E-02	7,0E-03

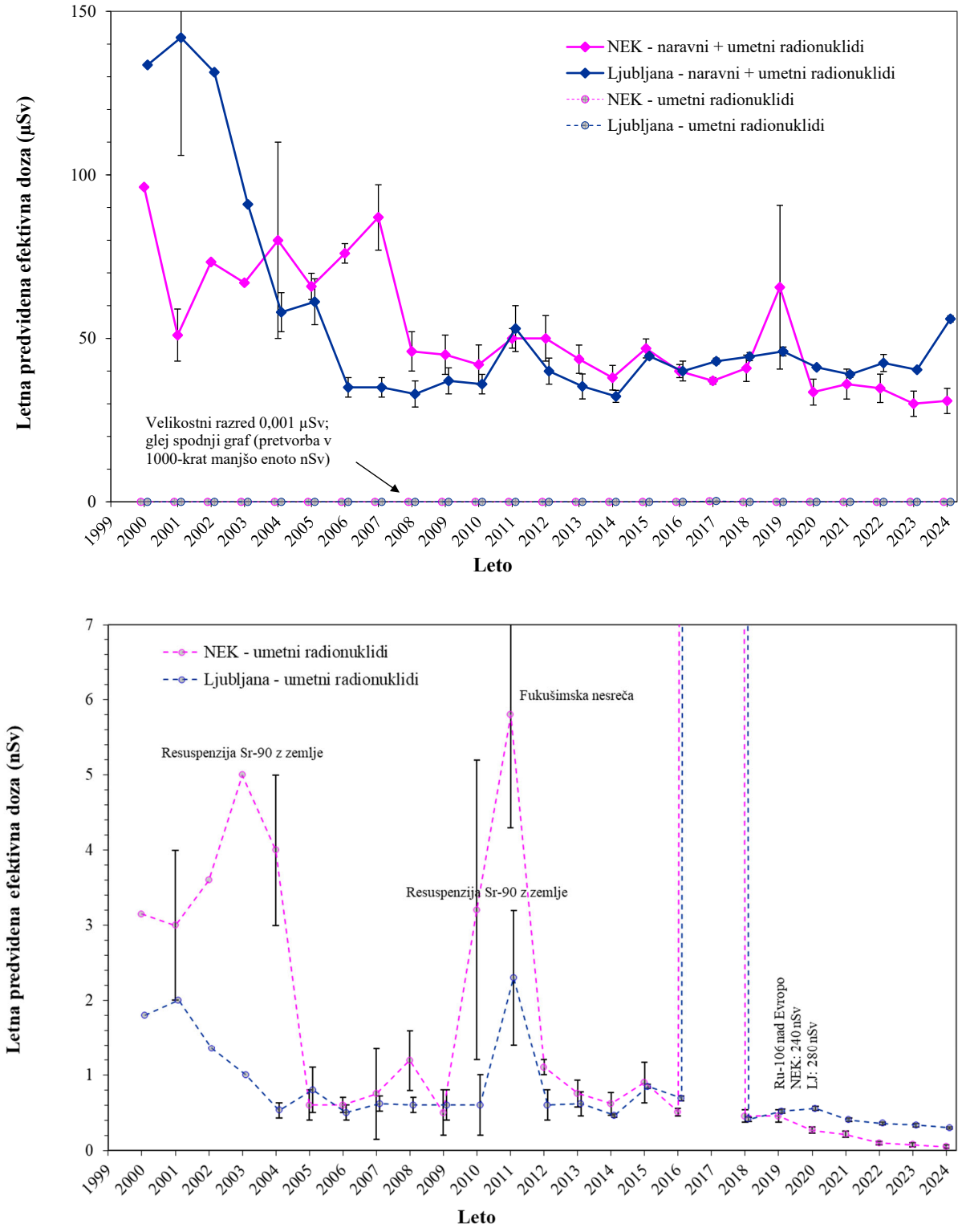
* *dolžina sivega drsnika za posamezno starostno skupino sorazmerno izraža skupno dozo.*

Doze zaradi radioaktivnosti zraka v okolju (efektivne okoljske doze)

Efektivne okoljske doze za okoliške prebivalce izračunamo iz izmerjenih koncentracij radionuklidov v okolju, in sicer na aerosolnih filtrih zračnih črpalk v okolici NEK (glej sliko 4.2) ob upoštevanju pretvorbenih doznih faktorjev in značilnosti referenčne osebe. S seštevanjem predvidenih efektivnih doz posameznih radionuklidov dobimo predvideno efektivno dozo zaradi inhalacije (vdihavanja) umetnih radionuklidov in inhalacije vseh radionuklidov v aerosolih vključno z naravnimi, pri čemer pa niso všteti prispevki kratkoživih potomcev radona in torona. Rezultati izračunov so zbrani v tabeli 4.8.

Na sliki 4.11 so predstavljene letne predvidene efektivne okoljske doze zaradi naravnih (v enotah μSv) in umetnih radionuklidov (v enotah nSv) za odraslega človeka (referenčna oseba), izračunane iz koncentracij aktivnosti radionuklidov v okolju oziroma iz meritev aerosolnih filtrov v okolici NEK in v Ljubljani v letih od 2000 dalje. Kot je razvidno s slike, je prispevek umetnih radionuklidov v Ljubljani in okolici NEK zelo podoben in je bil v preteklih letih okoli 1 nSv ali manj.

Radionuklida Cs-137 in Sr-90 sta sicer prisotna v globalni kontaminaciji zaradi jedrske nesreče v Černobilu in v manjši meri zaradi jedrske nesreče v Fukušimi ter jedrskih poskusov. Izračunana predvidena efektivna doza za odraslo referenčno osebo zaradi teh dveh umetnih radionuklidov v globalni kontaminaciji je bila v preteklih letih več kot 10 000-krat manjša od izračunane doze zaradi naravnih radionuklidov (z izjemo leta 2017 zaradi prispevka Ru-106, katerega vir je najverjetneje izpust med predelavo jedrskega goriva na jugu Urala [65]). Povprečna izračunana efektivna doza za odraslo osebo v okolici NEK zaradi umetnih radionuklidov je bila v obdobju 2007–2023 $(1,0 \pm 0,3)$ nSv (brez osamelca 2017). V letu 2024 je bil prispevek Cs-137 k letni dozi $(0,05 \pm 0,02)$ nSv, prispevka Sr-90 ni bilo, ker ni bil izmerjen na lokaciji vzorčenja v Stari vasi.



Slika 4.11: Primerjava letnih predvidenih efektivnih okoljskih doz za leta 2000–2024 v okolici NEK in Ljubljani za odrasle osebe iz meritev aerosolov za naravne in umetne radionuklide skupaj v enotah **µSv** (zgornja slika) in posebej za umetne radionuklide v 1000-krat manjši enoti **nSv** (spodnja slika). Vrisane negotovosti imajo faktor pokritja $k = 1$ (68-odstotna zanesljivost).

Tabela 4.8: Povzetek vsot predvidenih efektivnih okoljskih doz zaradi inhalacije (vdihavanja) za odrasle, otroke in dojenčke, ki so izračunane iz okoljskih koncentracij radionuklidov, izmerjenih na aerosolnih filtrih v letu 2024 v T-44 do T-55, ter doznih pretvorbenih faktorjev iz referenc [10] in [38].

STAROSTNA SKUPINA	VSOTA PRISPEVKOV PO VRSTAH RADIONUKLIDOV	LETNA EFEKTIVNA OKOLJSKA DOZA IZ KONCENTRACIJ AKTIVNOSTI NA AEROSOLNIH FILTRIH	
		OKOLICA NEK	LJUBLJANA
ODRASLI	umetni radionuklidi	0,05 ± 0,02 nSv	0,30 ± 0,01 nSv
	umetni in naravni radionuklidi	31 ± 4 μSv	56 ± 1 μSv
OTROCI	umetni radionuklidi	0,04 ± 0,02 nSv	0,23 ± 0,02 nSv
	umetni in naravni radionuklidi	25 ± 3 μSv	45 ± 1 μSv
DOJENČKI	umetni radionuklidi	0,02 ± 0,01 nSv	0,10 ± 0,04 nSv
	umetni in naravni radionuklidi	12 ± 1 μSv	23 ± 1 μSv

Na sliki 4.11 je vidnih nekaj odstopanj od sicer pretežno stalnih vrednosti. Visoka doza umetnih radionuklidov v letu 2003 je bila posledica prispevka Sr-90, ki je to leto prispeval kar tri četrtine doze, vendar prispevek ni posledica izpustov iz NEK, temveč resuspenzije z zemlje. Podobno povišan prispevek resuspendiranega Sr-90 z zemlje je bilo opaziti v izmerkih v letih 2000–2004 in 2010–2011, kjer je bil prispevek k letni dozi nekaj nSv. Višja doza zaradi umetnih radionuklidov v letu 2011 je opazna tako v Ljubljani kot okolici NEK. To je posledica izmerjenih vrednosti Cs-134, Cs-137 in I-131 v marcu in aprilu 2011 zaradi jedrske nesreče v Fukušimi. V letu 2017 je izračunana efektivna doza za odraslo osebo zaradi umetnih radionuklidov (240 ± 20) nSv skoraj izključno zaradi vdihavanja Ru-106, kar je povprečje letnih doz po lokacijah aerosolnih črpalk v okolici NEK. Prispevek Sr-90 k dozi v Ljubljani ni ovrednoten, ker se v zračnih filtrih v okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju Slovenije v Ljubljani ne ugotavlja vsebnosti Sr-90.

Za efektivne okoljske doze naravnih radionuklidov je značilno, da variirajo po letih, kar velja tako za lokacije v okolici NEK kot za lokacijo v Ljubljani. Največji prispevek k efektivni dozi naravnih radionuklidov povzroča Pb-210, kar ni toliko posledica visokih koncentracij v zraku, temveč velikega doznega pretvorbenega faktorja, ki ga ima ta izotop [10]. Prispevek Pb-210 k letni predvideni efektivni dozi v okolici NEK za odraslega človeka je bil v letu 2024 (27 ± 4) μSv, kar je zelo podobno dozam iz preteklih let: (9–49 μSv na leto v obdobju 2005–2023). Drugi naravni radionuklid po prispevku k efektivni dozi v letu 2024 je Th-228 (20 ± 0,1) μSv. Iz meritev koncentracij aktivnosti na aerosolnih filtrih v letu 2024 v Ljubljani so prispevki k dozi v okviru variacij v preteklih letih podobni prispevkom v okolici NEK in sicer (41 ± 1) μSv na leto zaradi Pb-210 in (14 ± 0,3) μSv na leto zaradi Th-228. V splošnem lahko rečemo, da so na prostem v okolici NEK efektivne doze zaradi vdihavanja naravnih radionuklidov podobne kot drugod po Sloveniji in so nekaj 10 μSv na leto [15].

Izračunana predvidena letna efektivna okoljska doza zaradi inhalacije (vdihavanja) za referenčno osebo v okolici NEK za leto 2024 je v okviru negotovosti vsote vseh prispevkov primerljiva z dozo za prebivalca v Ljubljani. Prispevek umetnih radionuklidov globalne kontaminacije je tako v okolici NEK kot v Ljubljani zanemarljiv in za pet velikostnih redov nižji. Povzetek vsot predvidenih efektivnih okoljskih doz, izračunanih iz meritev aerosolnih filtrov, je pokazan v tabeli 4.8.

Primerjava imisijskih doz NEK zaradi umetnih nuklidov in efektivnih okoljskih doz zaradi naravnih radionuklidov

Ko primerjamo vrednosti iz tabel 4.7 in 4.8 ob upoštevanju tabele 4.5, lahko ugotovimo, da so ocenjene in modelsko izračunane imisijske doze (učinek NEK), zaradi vdihavanja izpuščenih umetnih radionuklidov in imerzije le-teh (14 nSv na referenčni lokaciji Spodnji Stari Grad), za približno 3-4 velikostne rede nižje od efektivnih okoljskih doz naravnih radionuklidov v okolju, preračunanih iz izmerjenih koncentracij v aerosolih v okolici NEK (31 μSv).

SKLEPI

Sedanji program vzorčenja in meritev omogoča primeren vpogled in nadzor zračnih emisij NEK in koncentracij aktivnosti radionuklidov v zraku v okolici NEK. Tako merilne kot tudi evalvacijske metode dajejo konsistentne in zanesljive podatke, ki omogočajo primerjavo za vrsto let nazaj.

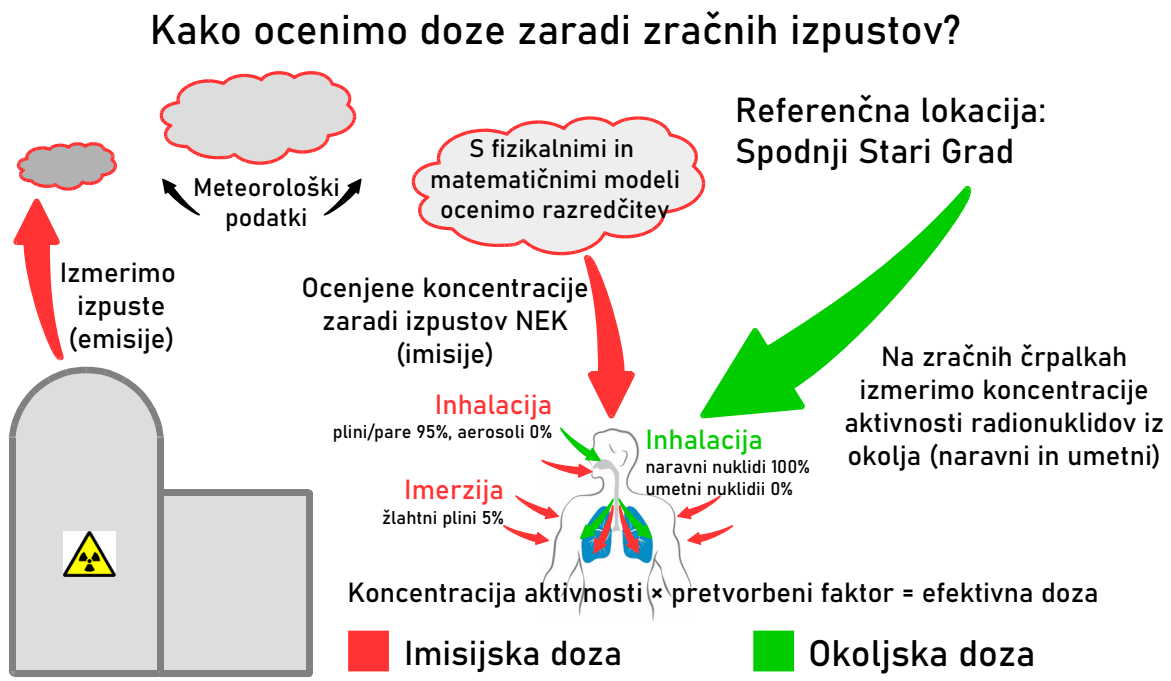
Ovrednotenje efektivnih okoljskih doz temelji na evalvaciji meritev aerosolnih filtrov v okolici NEK, imisijske doze NEK pa dobimo iz izmerjenih atmosferskih izpustov z modelnimi izračuni razredčitvenih koeficientov, ki temeljijo na dejanskih vremenskih podatkih. Tako za leto 2023 velja, da **izpusti hlapov in plinov, ki vsebujejo tritij oziroma C-14**, največ prispevajo k efektivni dozi zaradi **vdihavanja (inhalacijska doza).** Ta je v Spodnjem Starem Gradu za odraslega posameznika iz prebivalstva (referenčno osebo) 13 nSv oziroma 0,4 nSv na leto zaradi tritija oziroma C-14, ob ograji NEK (okvirno velja tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja) pa 22 nSv oziroma 0,8 nSv na leto. Prispevki drugih radionuklidov k inhalacijski dozi so bistveno manjši, vendar pri tem niso vključene posledice prehoda radionuklidov iz zraka v druge prenosne poti. **Izpusti žlahtnih plinov** iz NEK (izotopi Xe in Ar) povzročajo dozo predvsem zaradi **zunanjega sevanja (imerzijska doza)**, ki je za odraslega posameznika iz prebivalstva (naselje Spodnji Stari Grad) 0,7 nSv na leto; na ograji NEK pa 1,5 nSv na leto.

Ocenjena **skupna imisijska letna efektivna doza NEK** v 2024 za odraslega posameznika iz prebivalstva, ki je posledica inhalacije (vdihavanja) in imerzije (zunanjega sevanja) **zaradi izpustov NEK**, je v Spodnjem Starem Gradu 14 nSv, ob ograji NEK pa 24 nSv.

Predvidena **efektivna okoljska doza zaradi inhalacije** (vdihavanja) aerosolov v okolici NEK je predvsem posledica inhalacije **dolgoživih naravnih radionuklidov** in je za odraslega posameznika (56 ± 1) μSv na leto; doza je v okviru pričakovanj in na ravni povprečne vrednosti zadnjih let. Predvidena **efektivna okoljska doza zaradi inhalacije** (vdihavanja) **umetnih radionuklidov** v aerosolih v okolici NEK je posledica radionuklidov, ki so del globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in černobilske kontaminacije, in je za odraslega posameznika (0,05 ± 0,02) nSv na leto. Ocenjene in modelsko izračunane imisijske doze NEK zaradi umetnih radionuklidov so za nekaj velikostnih redov nižje od efektivnih okoljskih doz zaradi naravnih radionuklidov.

V letu 2008 je Evropska komisija izdala poročilo [67], v katerem so izračunane predvidene letne efektivne doze zaradi izpustov iz jedrskih elektrarn in obratov za predelavo jedrskega goriva v Evropi. Doze v poročilu Evropske komisije so izračunane za referenčno osebo za vse objekte ob enakih predpostavkah in na enakih razdaljah 500 m in 5 000 m od objekta. Pri ocenjevanju doze zaradi plinastih izpustov je efektivna doza za 75 % objektov manjša od 1,4 μSv na leto na razdalji 500 m (rob izključitvenega območja) in manjša od 0,24 μSv na leto na razdalji 5 000 m. Kot je razvidno iz tabele 4.7, so za NEK ocenjene doze bistveno nižje: na razdaljah 200 m (ograja NEK) oziroma 800 m (Vrbina) od NEK (ekvivalent 500 m) sta dozi 0,024 μSv in 0,013 μSv na leto, na večjih razdaljah 3 000 m (Pesje) oziroma 7 100 m (Brežice) od NEK (ekvivalent 5 000 m) pa 0,013 μSv in 0,003 μSv na leto.

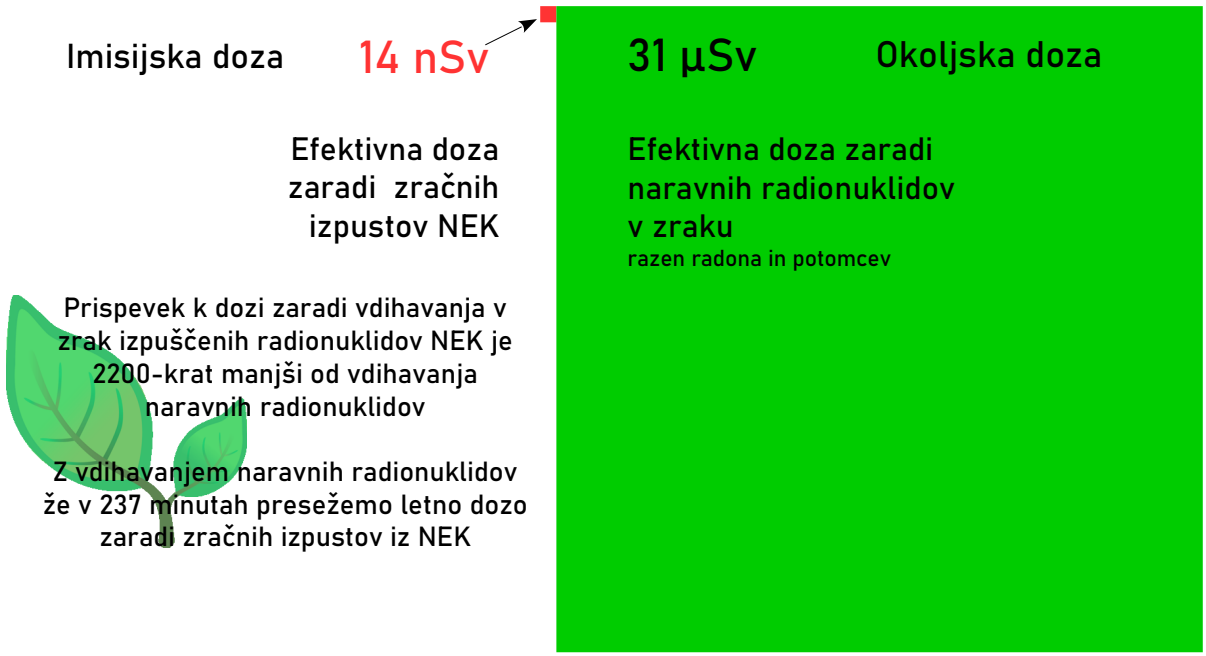
GRAFIČNI PRIKAZ PRISPEVKOV ZA OCENO EFEKTIVNE DOZE PO ZRAČNI PRENOSNI POTI



Kakšne so letne efektivne doze zaradi vdihavanja radionuklidov?

Efektivne doze zaradi zračnih izpustov NEK oziroma zaradi naravnih radionuklidov v okolju so označene z rdečim ■ oziroma zelenim ■ kvadratom

Površina kvadrata ustreza dozi!



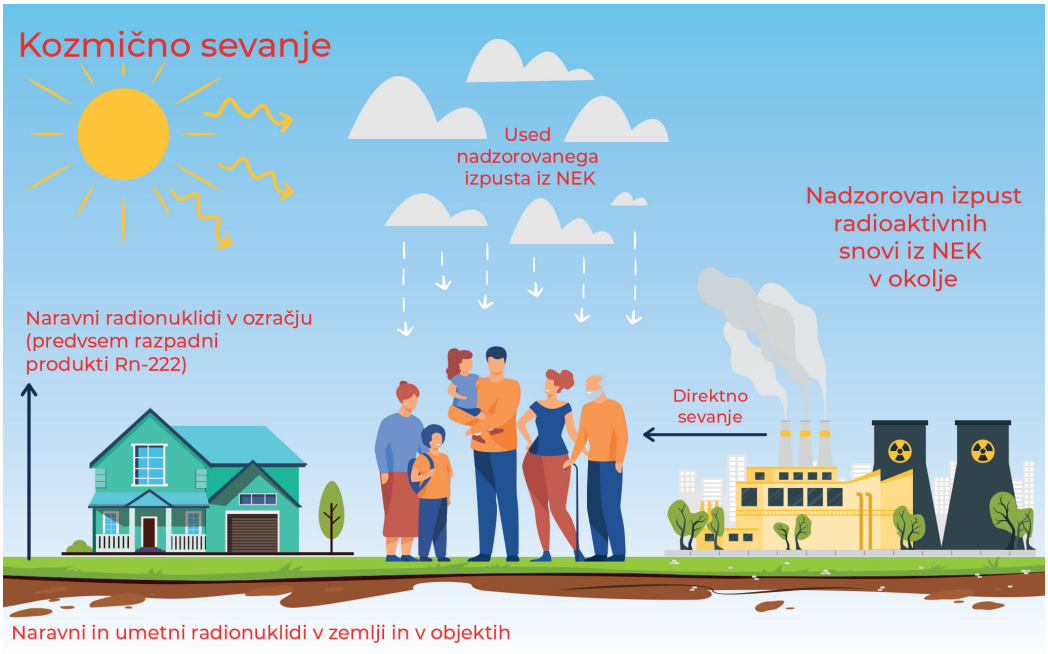
5 ZUNANJE SEVANJE

POVZETEK

Zunanje sevanje, ki mu je izpostavljeno prebivalstvo, vključuje kozmično sevanje, sevanje naravnih radionuklidov (predvsem potomcev radona) v ozračju, sevanje iz radioaktivnega oblaka ob izpustu radioaktivnih snovi iz NEK v okolje in zunanje sevanje zaradi useda, ki se odloži po prehodu oblaka, ter sevanje naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji in v objektih. Ocena dozne obremenitve (okoljski dozni ekvivalent H(10)) zaradi zunanjega sevanja se izračuna iz ugotovoljene radioaktivnosti zemlje in zraka, neposredno pa se meri s termoluminiscenčnimi dozimetri in kontinuirnimi merilniki hitrosti doze.*

Za izračun prispevka k sevalni obremenitvi prebivalstva zaradi sevanja naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji je v letu 2024 v okviru nadzora radioaktivnosti potekalo vzorčenje zemlje na treh lokacijah v okolici NEK. Rezultati meritev kažejo, da se specifične aktivnosti naravnih radionuklidov z globino ne spreminjajo, so pa manjše na Kusovi Vrbini, ki je največkrat poplavljena. Vrednosti H(10) zaradi radioaktivnosti v zemlji pri predpostavki enakomerne porazdelitve za naravne radionuklide in realne porazdelitve za Cs-137 so v letu 2024 v okolici NEK* (0,55 ± 0,02) mSv *za zemljo v Kusovi Vrbini*, (0,66 ± 0,02) mSv *za zemljo na Gmajnicah in* (0,64 ± 0,02) *mSv za zemljo v Ameriki. Iz meritev globinske odvisnosti specifične aktivnosti Cs-137 na posameznih lokacijah lahko sklepamo na kompleksnost delovanja površinske in podtalne vode.*

V letu 2024 so bile v teku obratovalnega nadzora radioaktivnosti NEK opravljene neodvisne meritve doze zunanjega sevanja s termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD) in kontinuirnimi merilniki hitrosti doze (Envinet MIRA, AMES/MFM, Atomtex/MFM in Gihmm). Meritve s TLD in merilniki hitrosti doze kažejo v okviru merske negotovosti enako vrednost letnega okoljskega doznega ekvivalenta H(10) kot v zadnjih letih. Povprečni letni dozni ekvivalent H*(10) je bil v okolici NEK* (0,77 ± 0,05) mSv, *na ograji NEK* (0,56 ± 0,05) mSv, *v okolici Zagreba na Hrvaškem pa* (0,75 ± 0,10) mSv. *Prispevki k zunanjemu sevanju zunaj ograje NEK zaradi sevanja iz objektov NEK in atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi so bili, enako kot v prejšnjih letih, v letu 2024 nemerljivi. Posredno smo konservativno ocenili, da je bila letna efektivna doza zunanjega sevanja zaradi useda iz oblaka kot posledica izpustov iz NEK manjša od* 1,0 E-10 mSv.



Slika 5.1: Prispevki k okoljskemu doznemu ekvivalentu *H**(10) zaradi zunanjega sevanja. Direktno sevanje iz objektov NEK je nedoločljivo.

UVOD

Viri ionizirajočega sevanja v človekovem naravnem in bivalnem okolju so primarni kozmični žarki, zrak in zemlja. Primarni kozmični žarki izvirajo iz vesolja in Sonca, zato je izpostavljenost kozmičnemu sevanju večja na večjih višinah. Kozmični žarki tudi povzročajo jedrske reakcije visoko v ozračju, radioaktivni produkti teh reakcij pa z zračnimi tokovi dosežejo nižje zračne plasti, od koder se izpirajo in odlagajo na površino zemlje. Hitrost doze zaradi galaktičnih in izvengalaktičnih kozmičnih žarkov je odvisna od sončne aktivnosti, ker sončni veter odklanja primarne kozmične žarke, ki v stratosferi in zgornji troposferi povzročajo plazove sekundarnih kozmičnih žarkov, to je nabitih delcev, nevtronov in rentgenskih žarkov. Hitrost doze zaradi kozmičnih žarkov je zato odvisna od sončne aktivnosti, ki kaže 11-letni cikel [68].

Naravno sevanje iz zemlje izvira od členov razpadnih verig urana U-238 z razpolovno dobo 4,45·E+9 let, torija Th-232 z razpolovno dobo 1,41·E+10 let ter radioaktivnega izotopa kalija, K-40, z razpolovno dobo 1,28·E+9 let. Ti radionuklidi so nastali, ko je nastala snov, iz katere je zemeljska skorja. Časovna odvisnost hitrosti doze na določeni lokaciji zaradi radioaktivnosti v zemlji ni konstantna. Spreminja se zaradi atenuacije žarkov gama, ki je odvisna od vlage v zemlji in pozimi zaradi snega. Tudi po površini zemlje ni enakomerno porazdeljena, ker uran, torij in kalij niso porazdeljeni enakomerno.

Med členi uranove in torijeve razpadne verige je tudi žlahtni plin radon, ki z difuzijo prehaja iz zemlje, kjer je nastal, v zrak in tam razpada. Potomci radona ostanejo delno v zraku, delno pa se odlagajo na površino zemlje z izpiranjem in usedanjem. Ker so razpadni produkti radona, ki sevajo žarke gama, kratkoživi, časovna odvisnost te radioaktivnosti sledi vremenskim pogojem, v katerih so prehajanje iz zemlje ter izpiranje in usedanje iz ozračja posebej izraziti. V teh pogojih lahko hitrost doze na površini zemlje naraste tudi za red velikosti. Hitrost doze zaradi izpiranja in usedanja iz zraka je torej določena z vremenskimi pogoji, ki so v času neenakomerno porazdeljeni. Zato časovna odvisnost doze zaradi usedanja radonovih potomcev neurejeno niha.

Razen naravne radioaktivnosti so v zemlji prisotne tudi radioaktivne snovi zaradi kontaminacije ozračja, ki izvira iz človekove dejavnosti. Umetna radioaktivnost je posledica jedrskih eksplozij v ozračju, nesreč pri skladiščenju in predelavi radioaktivnih snovi, nesreč v jedrskih elektrarnah, načrtovanih izpustov radioaktivnih snovi v okolje ter neposrednega sevanja iz jedrskih objektov (jedrske elektrarne, raziskovalni reaktorji, predelovalni obrati…) in uporabnikov radioaktivnih snovi. Geografska porazdelitev usedov umetnih radioaktivnih snovi je določena z zračnimi tokovi v času izpusta radioaktivnosti. Ta globalna kontaminacija zemlje je nastala zaradi izpiranja radioaktivnosti iz zraka, hitrost doze zaradi te kontaminacije pa se s časom manjša zaradi radioaktivnega razpada in izpiranja kontaminacije v globje zemeljske sloje. Če želimo ločiti prispevke k zunanji dozi zaradi kozmičnega sevanja, izpiranja in usedanja naravne in umetne radioaktivnosti iz zraka ter radioaktivnosti zemlje, lahko to naredimo na podlagi časovnih odvisnosti doze ali njene hitrosti.

Izpostavitev prebivalstva zunanjemu sevanju določamo na dva načina: z neposrednimi meritvami zunanjega sevanja in iz meritev kontaminacije, to je iz koncentracij radioaktivnih snovi v okolju. Program meritev je določen v *Zakonu o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1)* [6] in *Pravilniku o monitoringu radioaktivnosti* [8]. Da bi ugotovili učinek delovanja NEK na okolje, izvajamo v okolici NEK neprekinjene meritve zunanjega sevanja, neprekinjena vzorčenja aerosolov v zraku in periodične meritve aerosolov ter periodična vzorčenja in meritve radioaktivnosti zemlje in suhega useda. Učinek jedrske elektrarne na zunanje sevanje ugotavljamo s primerjavo meritev v okolici NEK z meritvami, ki so bile izvedene na večjih oddaljenostih, učinek izpustov NEK v zrak in vodo pa z meritvami radioaktivnosti zraka, radioaktivnosti rečnega sedimenta in radioaktivnosti zemlje na lokacijah, kjer Sava poplavlja, in na lokacijah, kjer Sava ne poplavlja, ter suhega useda.

Za sprotne meritve zunanjega sevanja uporabljamo sistem kontinuirnih merilnikov hitrosti doze, ki so porazdeljeni v okolici jedrske elektrarne, in sistem merilnikov zunanjega sevanja, ki so razporejeni po Sloveniji (Envinet MIRA, AMES/MFM, Atomtex/MFM in Gihmm). Ta dva sistema se uporabljata tudi za zgodnje opozarjanje v primeru povišane radioaktivnosti v zraku.

Meritve zunanjega sevanja izvajamo tudi s pasivnimi merilniki TLD (termoluminiscenčnimi dozimetri), ki merijo dozo v časovnem intervalu, ko so izpostavljeni. Tudi pri teh meritvah ugotavljamo učinek NEK s

primerjavo med dozami, izmerjenimi s sistemom merilnikov, porazdeljenih v okolici NEK, in dozami, izmerjenimi s sistemom merilnikov, ki so razporejeni po Sloveniji.

Medtem ko z merilniki doze in hitrosti doze merimo skupno dozo naravnega in umetnega sevanja, lahko pri meritvah kontaminacije ločimo prispevke naravne radioaktivnosti, globalne kontaminacije zaradi eksplozij atomskih bomb in nesreč v jedrskih elektrarnah ter možne kontaminacije zaradi izpustov NEK. Meritve kontaminacije vzorcev, zbranih v okolici NEK, opravljamo z visokoločljivo spektromerijo gama, s katero merimo kontaminacijo vzorcev s posameznimi sevalci gama. Ker so v izpustih NEK sevalci gama, ki ne pripadajo niti naravni radioaktivnosti niti globalni kontaminaciji, lahko učinek jedrske elektrarne določimo na podlagi koncentracij sevalcev gama, ki so specifični za te izpuste. Doze sevanja zaradi posameznih sevalcev gama določimo računsko iz koncentracij in doznih koeficientov za zunanje sevanje za posamezne predpostavljene prostorske porazdelitve kontaminacije (poglavje *Zrak*).

OKOLJSKI VZORCI

Značilnosti vzorčenja in meritev

Zemljo vzorčimo na treh lokacijah na poplavnih področjih nizvodno od NEK. Najpogosteje je poplavljena lokacija Kusova Vrbina, navadno pri pretoku Save, ki je večji od 1 000 m^3/s. Na tej lokaciji je torej prisotnost umetnih radionuklidov v zemlji lahko posledica radioaktivnega useda iz zraka ali pa izpustov NEK v reko Savo. Poplavljanje lahko spremeni globinsko porazdelitev odloženih radionuklidov, ki jih pričakujemo v zemlji.

Lokacije, kjer vzorčujemo, so na neobdelanih površinah. Vzorčenje poteka v štirih plasteh na globinah 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm in 15–30 cm. Tako določimo, kako je kontaminacija porazdeljena po globini. Hkrati z vzorci zemlje zberemo še vzorce trave. Pomembno je, da so mesta, kjer periodično zbiramo vzorce, blizu skupaj, da lahko primerjamo rezultate odvzemov na isti lokaciji.

Zemlja se vzorči spomladi in jeseni na naslednjih lokacijah:

- Amerika, levi breg Save, nizvodna razdalja od NEK 3,5 km, tip zemlje je rjava naplavina;
- Gmajnice, desni breg Save, nizvodna razdalja od NEK 2,5 km, tip zemlje je mivkasta borovina;
- Kusova Vrbina – Trnje, levi breg Save, nizvodna razdalja od NEK 8,5 km, tip zemlje je mivkasta borovina.

Metoda vzorčenja je predpisana s *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* [8], postopek pa je opisan v navodilu *Zbiranje in priprava vzorcev zemlje (LMR-DN-07)*.

Skladno z *Zakonom o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti* [7] in s *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti* [8] se zunanje sevanje v okolici NEK meri neprekinjeno z okoljskimi termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD). Ti dozimetri merijo sevanje gama in ionizirajočo komponento kozmičnih žarkov. Neposredne meritve zunanjega sevanja se izvajajo s 57 dozimetri v okolici NEK in z 9 dozimetri na ograji NEK. Vsi dozimetri so tipa TLD-IJS-05 (CaF_2:Mn) in so nameščeni na razdaljah do 10 km od NEK. Postavljeni so na lokacijah v urbanem in ruralnem okolju z obdelanim in neobdelanim zemljiščem in so nameščeni na višini 1 m od tal. Odčitavanje poteka po sistemu IJS MR 200 (C) v *Laboratoriju za dozimetrijo (TLD)* na IJS. S tem sistemom lahko merimo okoljske doze (okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$) v intervalu od 7,5 μSv do 5 Sv [71]. V okviru nadzornega programa NEK so na Hrvaškem postavljeni merilniki TLD LiF:Mg,Cu,P (MCP-N, Poljska), CaF_2 (IJS, Slovenija), OSL Al_2O_3:C (Rusija) in radiofotoluminiscentni merilniki FD-7 (Japonska) na desetih lokacijah.

Neodvisno od programa monitoringa sevanja v okolici NEK poteka v Sloveniji meritev doze zunanjega sevanja z dozimetri TLD na 50 lokacijah po vsej državi. Kot referenčni dozimeter pri obdelavi rezultatov meritev doze zunanjega sevanja se uporablja TLD, ki je postavljen na dvorišču IJS. Vsi dozimetri TLD, ki so postavljeni v Sloveniji, se odčitavajo polletno, v obdobju junij–julij in december−januar. Dozimetri so bili kalibrirani v *Laboratoriju za dozimetrične standarde (NDS)* na IJS v fotonskem sevalnem polju od 40 keV do 1 332 keV [43]. Dozimetri, ki merijo dozo zunanjega sevanja na Hrvaškem, so bili kalibrirani v *Sekundarnem standardnem dozimetrijskem laboratoriju (SSDL)* na IRB v Zagrebu [71], [72].

V okolici NEK je postavljenih 14 kontinuirnih merilnikov hitrosti doze, od tega jih 13 nadzira NEK, en pa deluje v sklopu mreže URSJV. Ta mreža je del mreže URSJV – MOP za zgodnje zaznavanje sprememb zunanjega sevanja, v kateri deluje 73 merilnikov. Podatki o teh meritvah so sprotno dostopni na spletnem naslovu *http://www.radioaktivnost.si*.

REZULTATI MERITEV IN ZNAČILNI ČASOVNI POTEKI

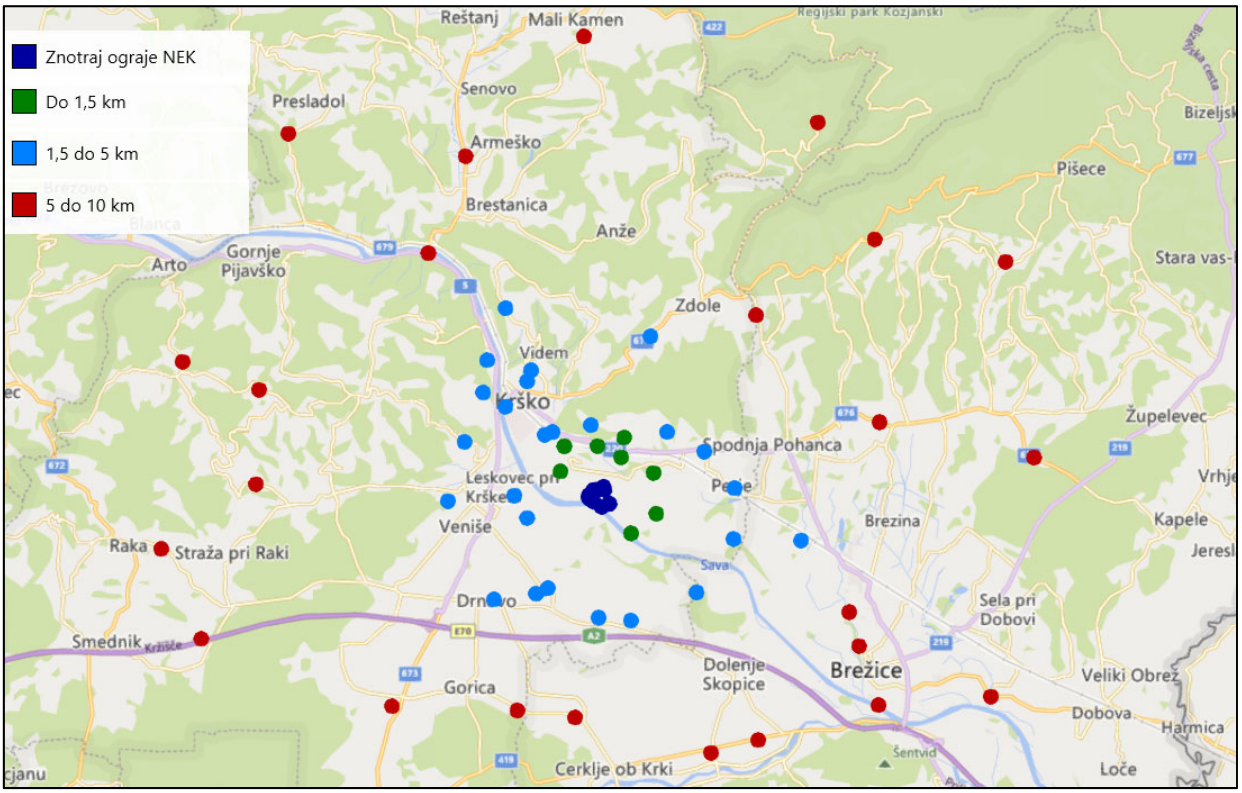
Meritve TLD

Rezultati meritev doze zunanjega sevanja (sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja) za leto 2024 so v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010* v tabelah T-53/b in T-53/c za dozimetre v okolici NEK, za dozimetre na ograji NEK in okolici suhega skladišča NEK. Na sliki 5.2 prikazujemo mesta, kjer so postavljeni termoluminiscenčni dozimetri. V tabeli 5.1 in na sliki 5.3 so povzeti povprečni letni okoljski dozni ekvivalenti za okolico NEK, za ograjo NEK, za Slovenijo in za okolico Zagreba v letu 2024. V okviru merske negotovosti so letni okoljski dozni ekvivalenti v različnih oddaljenostih od NEK primerljivi s tistimi v preteklih letih.

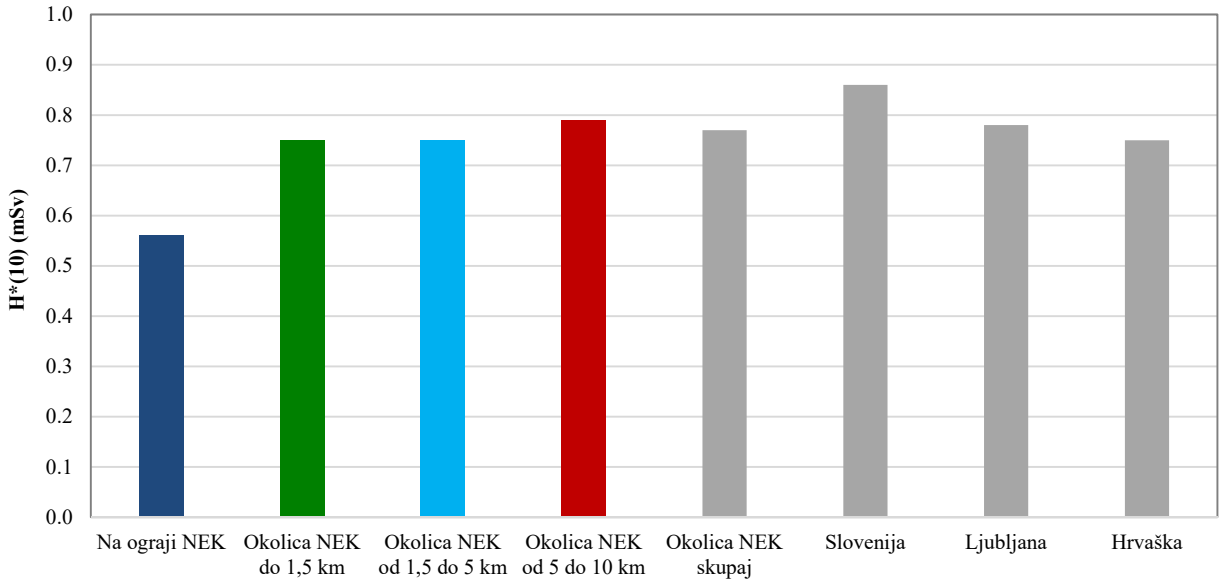
Tabela 5.1: Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ na ograji NEK, v okolici NEK, v Sloveniji, Ljubljani in na Hrvaškem v letu 2024

Lokacija	Št. TLD	$H^*(10)$ (mSv)	Razpon $H^*(10)$ (mSv)
Na ograji NEK	9	0,56 ± 0,05	0,48–0,62
Suho skladišče NEK	7	0,60 ± 0,02	0,56–0,62
Okolica NEK skupaj	57	0,77 ± 0,05	0,60–1,08
Okolica NEK do 1,5 km	8	0,75 ± 0,15	0,60–1,08
Okolica NEK od 1,5 km do 5 km	25	0,75 ± 0,09	0,61–0,91
Okolica NEK od 5 km do 10 km	24	0,79 ± 0,09	0,63–0,96
Slovenija	50	0,86 ± 0,15	0,58–1,29
Ljubljana – referenčna lokacija	1	0,78 ± 0,09	–
Hrvaška	10	0,75 ± 0,10	0,61–0,92

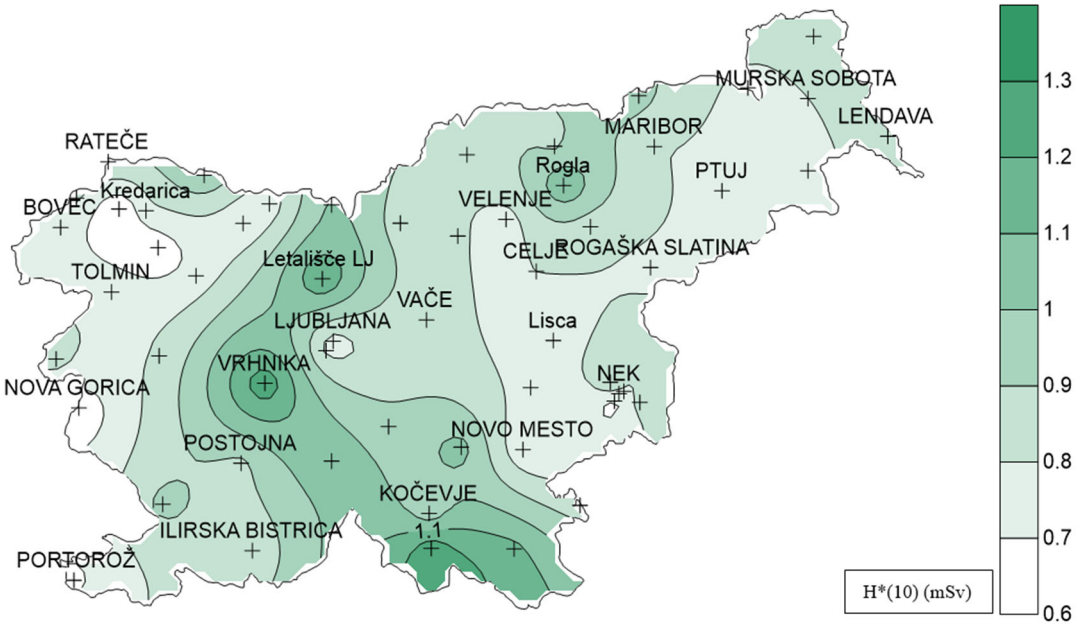
Meritve v Sloveniji v letu 2024 (slika 5.4) [19] kažejo, da je povprečni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK sistematično nekoliko nižji kot v življenjskem okolju v Sloveniji. Iz tabele 5.1 in slike 5.3 je razvidno, da so letne doze na ograji NEK za približno 30 % nižje kot sicer doze v okolju. Razliko pripisujemo prodnatim tlom z odstranjeno plastjo zemlje in zaščitnemu delovanju zgradb ter asfaltiranih površin znotraj ograje NEK, ki slabijo zunanje sevanje naravnih radionuklidov iz zemljišča. Tudi dodatni dozimetri ob zahodni ograji NEK, kjer je suho skladišče izrabljenega goriva, so pokazali povprečen letni dozni ekvivalent, ki je v okviru stresanja podatkov primerljivo z letnim doznim ekvivalentom, ki smo ga izmerili s TLD na ograji NEK. Neposredni učinek sevanja iz objektov NEK na ograji ni merljiv.



Slika 5.2: Prikaz razporeditve TLD meritev zunanjega sevanja s 57 dozimetri v okolici NEK in z 9 dozimetri na ograji NEK

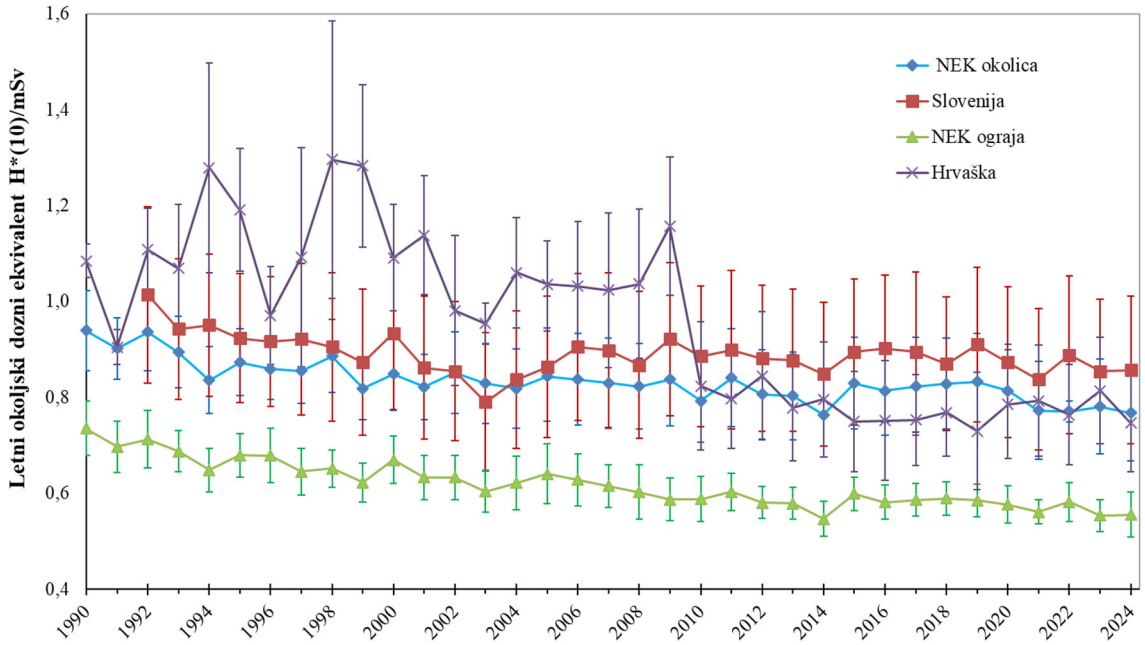


Slika 5.3: Primerjava med povprečnimi okoljskimi doznimi ekvivalenti *H**(10), izmerjenimi v okolici NEK, na referenčni lokaciji v Ljubljani, povprečnimi ekvivalenti, izmerjenimi na Hrvaškem v okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici NEK, ter povprečnimi ekvivalenti, izmerjenimi v okviru meritev radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2024.

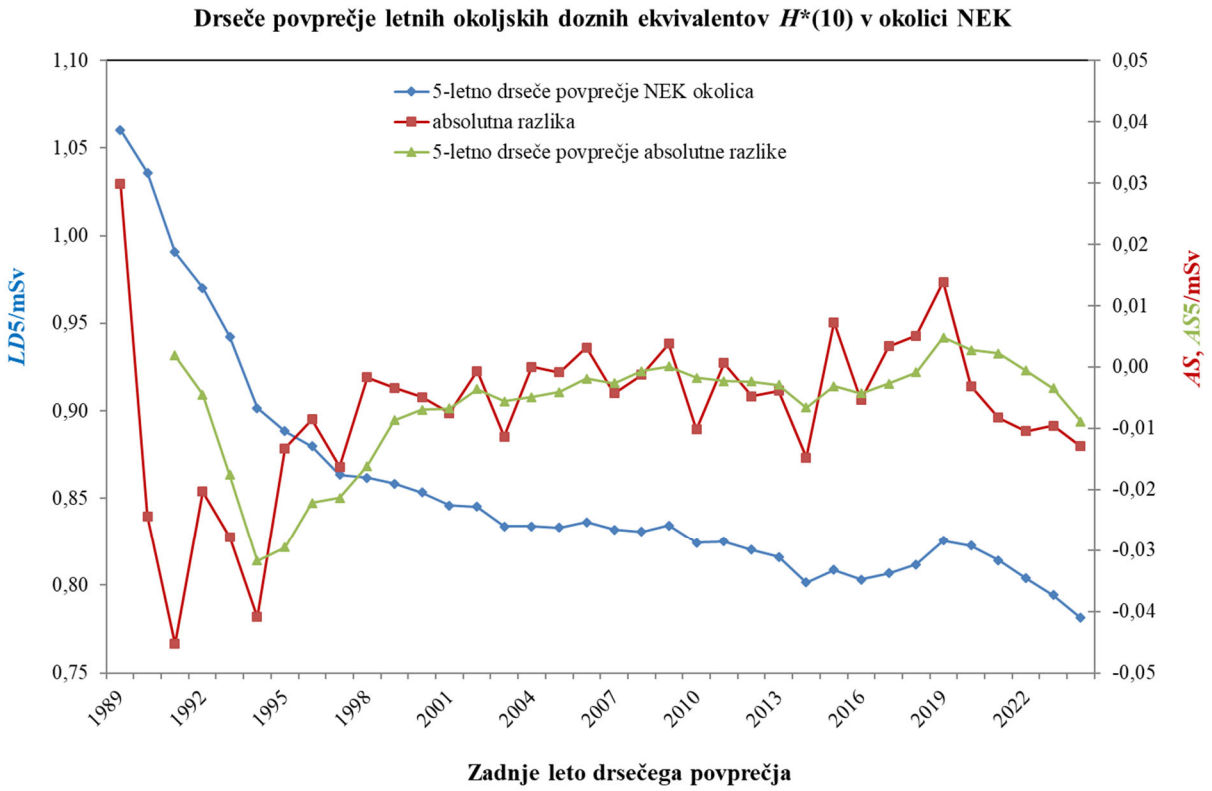


Slika 5.4: Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ po Sloveniji v letu 2024 [19]

Za meritve, narejene na območju Slovenije, je značilno izrazito zmanjševanje letne doze, predvsem v prvih letih po černobilski nesreči, ki se je zgodila leta 1986, sedaj pa je okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ konstanten. Vzroka sta razpad usedlih kratkoživih sevalcev gama, ki so v začetnem obdobju največ prispevali k zunanjemu sevanju, in prodiranje Cs-137 v globino. V zadnjih desetih letih, ko je v okolju še edini umetni sevalec gama Cs-137, je upadanje, ki ga lahko pripišemo radioaktivnemu razpadu Cs-137, izzvenelo, saj je njegov učinek na zmanjšanje letne doze manjši od razsutja izmerkov. Na sliki 5.6 je prikazano 5-letno drseče povprečje absolutnih sprememb letnih doz (AS5) v okolici NEK.



Slika 5.5: Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ v okolici NEK, na ograji NEK, v Sloveniji ter na Hrvaškem od leta 1989 do 2024.



Slika 5.6: Petletno drseče povprečje letnih okoljskih doznih ekvivalentov $H^*(10)$ ($LD5$), absolutna sprememba 5-letnega drsečega povprečja (AS) in 5-letno drseče povprečje absolutne spremembe ($AS5$) v okolici NEK od 1989 do 2024. Zaradi boljše preglednosti negotovosti na sliki niso prikazane.

Meritve specifične aktivnosti radionuklidov v zemlji

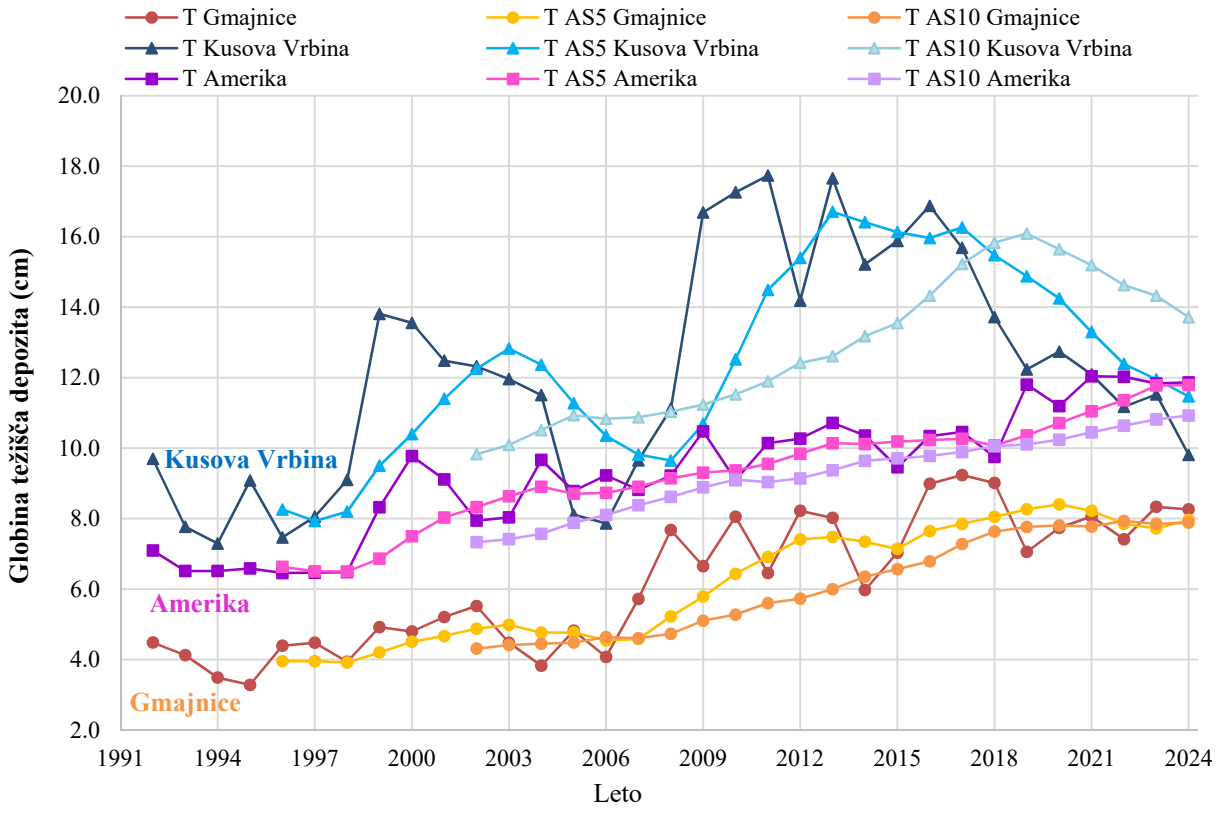
Rezultati meritev specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih zemlje so zbrani v tabelah T-57, T-58, T-59 in T-60, ki so na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati - nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010*, marec 2025. Izmerjeni so bili naravni radionuklidi ter umetna radionuklida Cs-137 in Sr-90, ki sta prisotna zaradi globalne kontaminacije. Drugi radionuklidi, ki se pojavljajo v izpustih NEK (plinasti izpusti), so prikazani v tabeli 5.4, tekoči izpusti se obravnavajo v poglavju *Radioaktivnost v reki Savi*.

Specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v zemlji iz uranovega in torijevega razpadnega niza ter K-40 se pri spomladanskem in jesenskem vzorčenju v okviru negotovosti tipično ujemajo. Te aktivnosti ne kažejo nobene izrazite odvisnosti od globine vzorčenja. Izjema je Pb-210, ki se kot razpadni produkt Rn-222 izpira iz atmosfere in so zato njegove koncentracije višje v zgornjih plasteh zemlje. Zaradi tega ne moremo pričakovati ujemanja specifičnih aktivnosti pri pomladnem in jesenskem vzorčenju. Podobno velja za kozmogeni Be-7, ki pa se zaradi kratkega razpadnega časa pojavlja v merljivih koncentracijah le v zgornjih plasteh zemlje. Tudi pri Cs-137 se lahko vrednosti, določene pri posameznih vzorčenjih, razlikujejo zunaj okvira negotovosti zaradi prerazporeditve Cs-137 na mikrolokacijah. Specifični aktivnosti obeh članov torijevega razpadnega niza Ra-228 in Th-228 se ujemata, pri uranovi razpadni vrsti pa je zaradi večje topnosti urana specifična aktivnost U-238 nižja od specifične aktivnosti Ra-226. Rezultati meritev kažejo, da so specifične aktivnosti radionuklidov iz uranovega in torijevega razpadnega niza ter K-40 nižje na lokacijah, ki so izpostavljene rednim poplavam. Specifične aktivnosti K-40, U-238 in Ra-226 so primerljive s povprečnimi aktivnostmi, ki jih navaja UNSCEAR [40] za države južne Evrope.

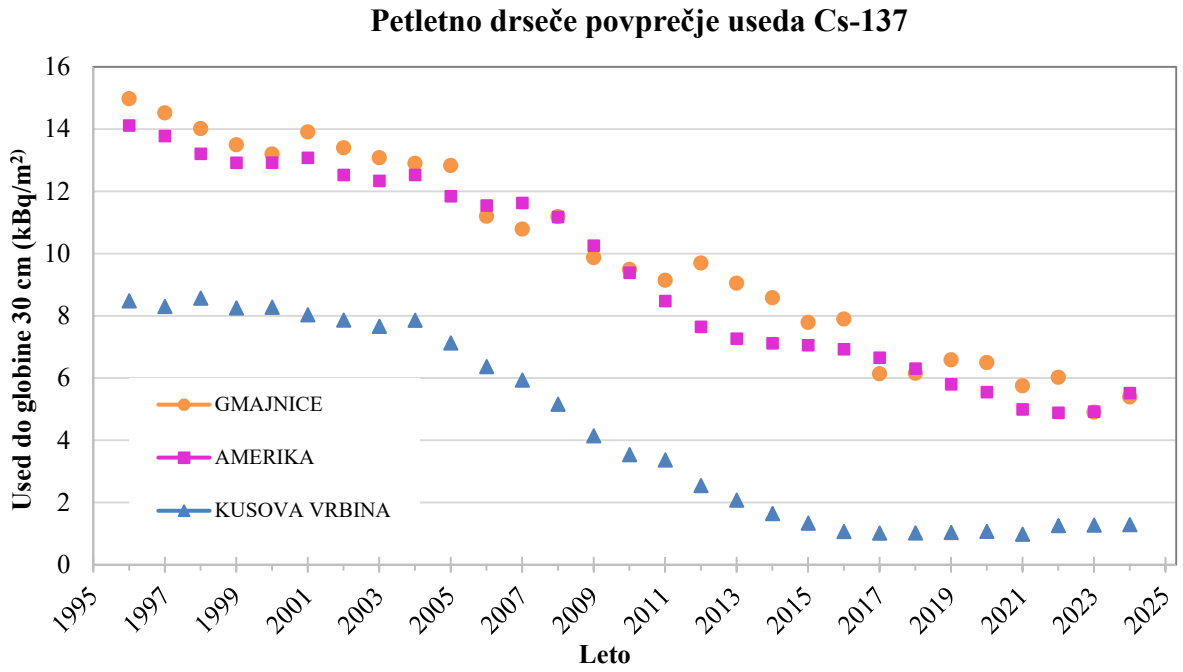
Na sliki 5.7 je prikazana časovna odvisnost globine težišča nanosa (depozita) Cs-137 na podlagi meritev od leta 1992 dalje za lokacije Gmajnice, Amerika in Kusova Vrbina.

Opazno je precejšnje razsutje vrednosti, izračunanih iz rezultatov meritev specifičnih aktivnosti v posameznih letih. Vzroka sta lahko dva. Prvi je nehomogenost svežega nanosa po černobilski nesreči in vpliv prednostnih smeri toka vode v zemeljski ruši, ki lahko bistveno spremeni pričakovano porazdelitev radionuklidov v zemlji tudi na bližnjih lokacijah [40]. Drugi in bolj vpliven vzrok je prerazporeditev useda na mikrolokaciji. Prerazporeditev je posledica hidrogeoloških procesov, ki vplivajo na prodiranje Cs-137 v zemljino. Vpliv teh procesov je še posebej opazen na sliki 5.7, ki prikazuje globino težišča nanosa na lokaciji Kusova Vrbina, ki je pogosto poplavljena. Dva izrazita skoka v globini težišča sta vsekakor posledica poplav, ki so povzročile dodaten nanos sveže mivke. To je tudi razlog, da je prodiranje Cs-137 v zemljino, kot ga kaže 10-letno drseče povprečje na sliki 5.7 za lokacijo Kusova Vrbina, navidezno hitrejše kot na drugih dveh lokacijah. Začetna globina težišča nanosa na lokaciji Kusova Vrbina, če upoštevamo podatke od leta 1992, je ustrezno večja. Iz slike je razvidno, da šele 10-letno drseče povprečje izpovpreči lokalno nehomogenost useda in vpliv hidrogeoloških procesov v zgornjih plasteh.

Globina težišča nanosa do globine 30 cm na lokaciji Kusova Vrbina je po letu 2010 približno 15 cm (slika 5.7), kar kaže na to, da je porazdelitev približno homogena. Iz tega sledi, da je naplavljena vsa plast zemlje, kjer poteka vzorčenje, in da izmerjena kontaminacija ne opisuje razmer v Kusovi Vrbini v času černobilske kontaminacije, ampak razmere na področju, od koder izvira naplavljeni material.

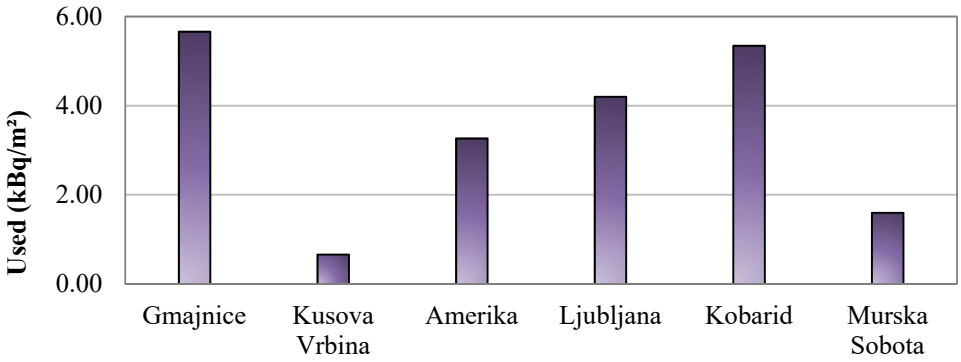


Slika 5.7: Globina težišča nanosa Cs-137, izračunanega na podlagi letnih vzorčenj za lokacije Gmajnice, Kusova Vrbina in Amerika. Prikazana so tudi 5-letna (T AS5) in 10-letna (T AS10) drseča povprečja globine težišča depozita.



Slika 5.8: Petletno drseče povprečje useda Cs-137 do globine 30 cm za lokacije Gmajnice, Amerika in Kusova Vrbina.

Usedanje iz zraka in poplavljanje reke Save sta glavni prenosni poti, po katerih lahko izpusti iz NEK dosežejo lokacije, kjer se zbirajo vzorci zemlje. Used Cs-137 do globine 30 cm, izmerjen v zadnjih letih na neobdelanih površinah, je predstavljen na sliki 5.8. Prikazano je petletno drseče povprečje useda do globine 30 cm za lokacije Gmajnice, Amerika in Kusova Vrbina. Velikost useda se zmanjšuje. Ocena pokaže, da je zmanjševanje v glavnem posledica radioaktivnega razpadanja Cs-137, saj je le-to okrog 2,3 % letno. Zanimivo je, da je časovna odvisnost useda na lokaciji Kusova Vrbina, ki je najpogosteje poplavljena, zelo različna od odvisnosti na lokacijah Gmajnice in Amerika, kar pomeni, da ima poplavljanje tukaj prevladujoč vpliv na preporazdelitev useda.



Slika 5.9: Primerjava med usedi Cs-137 na lokacijah, kjer je bila vzorčevana zemlja v okviru programa nadzora radioaktivnosti v okolici NEK in okviru meritev radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2024.

V okviru nadzora radioaktivnosti v okolju v Republiki Sloveniji se meri used do globine 30 cm v Ljubljani, Kobaridu in Murski Soboti. V letu 2024 so bili na teh lokacijah izmerjeni povprečni usedi Cs-137 (4,20 ± 0,08) kBq/m^2, (5,35 ± 0,10) kBq/m^2 in (1,60 ± 0,03) kBq/m^2. Te vrednosti so v povprečju višje ali primerljive z vrednostmi (5,66 ± 0,12) kBq/m^2, (0,66 ± 0,02) kBq/m^2 in (3,27 ± 0,08) kBq/m^2, ki so bile izmerjene do globine 30 cm v Gmajnicah, Kusovi Vrbini in Ameriki. Primerjava med usedi na sliki 5.9

kaže, da izmerjeni used Cs-137 v okolici NEK ni posledica izpustov NEK. Vredno je omeniti, da je prispevek Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu iz plasti 15–30 cm največ 5 % prispevka iz plasti 0–15 cm.

V izpuhu NEK se, razen žlahtnih plinov, radionuklidov joda, C-14, Co-58, Co-60, Nb-95, Se-75, Zr-95, Sr-90, in Cs-137 v letu 2024 niso pojavili drugi sevalci gama. Tekočinski izpusti NEK so vsebovali aktivacijske in fisijske produkte, sevalce gama, Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Fe-55, Zn-65, Nb-95, Zr-95, Ag-110m, Sb-125, Sr-90 in Cs-137. Noben od teh radionuklidov, ki so bili prisotni v tekočinskih izpustih, ni bil izmerjen v vzorcih zemlje. Izjema je Cs-137, pri katerem izmerjene vrednosti na lokacijah okrog NEK v primerjavi z vrednostmi na referenčni lokaciji v Ljubljani kažejo, da ni posledica izpustov iz NEK, ampak zgolj globalne kontaminacije.

Sevanje iz zemlje

Iz meritev specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov v zemlji lahko ocenimo prispevek zemeljskega sevanja. Za izračun letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ uporabimo enačbo (5.1), ki jo dobimo iz enačbe (8) v [4]:

$$H^*(10)_{\text{letno}} = \sum_i w_i C_i \qquad (5.1)$$

V enačbi smo s C_i označili specifične aktivnosti Ra-226, Th-232 (Ra-228, Th-228), K-40 in Cs-137 v zemlji, izražene z enoto Bq/kg. Koeficienti w_i so značilni za posamezne radionuklide ali radionuklide v razpadni shemi določenega radionuklida, ustrezne vrednosti za posamezni radionuklid pa so po vrsti: 4,94, 6,56, 0,449 in 1,68, izraženi v enotah µSv/(Bq/kg). Te vrednosti so izračunane na podlagi koeficientov enačbe (9) v [4] ob predpostavki zadrževanja na prostem 8 760 ur. Enačba (9) v [4] je primerna za izračun letnega okoljskega doznega ekvivalenta, če je porazdelitev radionuklidov neodvisna od globine. To dobro velja za naravne radionuklide, ne velja pa za porazdelitev cezija, ki se spreminja z globino [4]. Zato je bil prispevek Cs-137 izračunan na podlagi realne porazdelitve, kot je opisano v poglavju *Ocena učinkov*. Iz rezultatov meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v zemlji, ki so zbrani v tabelah T-57, T-59 in T-60, lahko povzamemo povprečne aktivnosti U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228, K-40 in Cs-137 v globinah od 0 cm do 15 cm na lokacijah v Gmajnicah, Kusovi Vrbini in Ameriki. Rezultati spektrometrijskih analiz zemlje so v tabelah T-57, T-58, T-59 in T-60, ki so na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati - nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010*, marec 2025.

Na lokacijah Gmajnice in Amerika se vzorči neobdelana zemlja, ki je podobna kot podlaga pri večini lokacij za TLD. Na lokaciji Kusova Vrbina pa se vzorči mešanica naplavin in zemlje, ki je podobna podlagi, na kateri stoji TLD v neposredni bližini. Iz povprečnih specifičnih aktivnosti Ra-226, Ra-228, Th-228, K-40 in Cs-137 v zemlji na lokacijah Gmajnice, Kusova Vrbina in Amerika po enačbi (5.1) izračunamo letni okoljski dozni ekvivalent za omenjene lokacije. Rezultati so zbrani v tabeli 5.2.

Povprečne svetovne specifične aktivnosti v zemlji, ki jih navaja UNSCEAR, so 420 Bq/kg za K-40, 33 Bq/kg za U-238 in 45 Bq/kg za Th-232 [40]. Te vrednosti se dobro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi v zemlji v okolici NEK, ki so navedene v tabeli 5.2. Iz tabele sledi, da se doza zaradi sevanja iz tal in ionizirajoče komponente kozmičnih žarkov ujema z dozo, izmerjeno z dozimetrom TLD v Kusovi Vrbini, kjer poteka vzorčenje zemlje v neposredni bližini dozimetra. Na lokacijah Amerika in Gmajnice ujemanja ni, kar pojasnjujemo s tem, da se lokacije vzorčenja zemlje ne ujemajo povsem z lokacijo, kjer je postavljen dozimeter TLD.

Z uporabo programa EXPACS ([73], [74], [75]) izračunamo, da je letni okoljski dozni ekvivalent kozmičnih žarkov v Krškem (nadmorska višina 155 m) 0,34 mSv, od tega odpade 0,06 mSv na dozo zaradi nevtronov, na katere dozimetri TLD niso občutljivi. V Velikem Trnu (nadmorska višina 434 m) pa je letni okoljski dozni ekvivalent 0,39 mSv, od česar odpade 0,08 mSv na nevtrone, kar pomeni, da je doza zaradi sevanja žarkov gama in direktne ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja na nadmorski višini dozimetrov v okolici jedrskega objekta v Krškem enaka 0,28 mSv. Ionizirajočo komponento kozmičnega sevanja prištejemo prispevku sevanja tal, da ocenimo letni dozni ekvivalent v tabeli 5.2.

Tabela 5.2: Primerjava izračunanega in izmerjenega letnega okoljskega doznega ekvivalenta v letu 2024 za tri lokacije vzorčenja zemlje v okolici NEK. Prispevek sevanja žarkov gama in direktnega ionizirajočega kozmičnega sevanja 0,28 mSv je izračunan s pomočjo programa EXPACS ([73], [74], [75]).

	Gmajnice	**Kusova Vrbina**	**Amerika**
Radionuklid	**Povprečna specifična aktivnost (0−15 cm) (Bq/kg)**		
U-238	32,6 ± 2,4	23,4 ± 2,0	31,2 ± 2,0
Ra-226	45,4 ± 2,6	37,8 ± 2,2	43,5 ± 2,4
Ra-228	31,6 ± 0,7	28,6 ± 0,6	32,6 ± 0,6
Th-228	32,0 ± 0,6	29,0 ± 0,5	32,2 ± 0,6
K-40	381,0 ± 8,8	370,9 ± 9,4	401,3 ± 8,9
Cs-137	36,3 ± 1,1	4,0 ± 0,2	17,2 ± 0,6
	Letni okoljski dozni ekvivalent, H*(10)		
	Sevanje tal (mSv)		
	0,66 ± 0,02	0,55 ± 0,02	0,64 ± 0,02
	Sevanje tal in direktno ionizirajoče kozmično sevanje (mSv)		
	0,94 ± 0,03	0,83 ± 0,03	0,92 ± 0,03
	Letni okoljski dozni ekvivalent, H*(10) (TLD)		
	št. dozimetra 59	št. dozimetra 21	št. dozimetra 63
	0,70 ± 0,15	0,71 ± 0,16	0,74 ± 0,16

Iz tabele 5.2 lahko ocenimo, da je prispevek zemeljskega sevanja k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu v okolici NEK v razponu od 0,55 mSv do 0,66 mSv. Izračunani prispevek kozmične komponente je približno eno tretjino celotne letne doze brez nevtronske komponente.

Hitrost doze v okolici NEK se meri s štirinajstimi kontinuirnimi merilniki hitrosti doze. Rezultati so v tabeli T-56/a na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010*. Pri rezultatih meritev s temi merilniki je lastno ozadje merilnikov upoštevano in odšteto od izmerkov. V letu 2024 je bil izmerjen povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ (0,77 ± 0,11) mSv v območju od 0,57 mSv do 0,96 mSv. Ta vrednost se ujema s povprečnim letnim okoljskim doznim ekvivalentom, ki je bil izmerjen s TLD v okolici NEK (tabela 5.1). Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent pri preostalih 56 kontinuirnih merilnikih v Sloveniji, ki so pod nadzorom URSJV, je bil v letu 2024 (0,75± 0,16) mSv v območju od 0,46 mSv do 1,20 mSv. Ta vrednost je v okviru negotovosti enaka povprečni vrednosti, določeni na podlagi meritev s TLD na območju Slovenije (tabela 5.1). Iz primerjave letnih okoljskih doznih ekvivalentov v tabeli T-56, izmerjenih s kontinuirnimi merilniki, z letnimi okoljskimi doznimi ekvivalenti, izmerjenimi s TLD po Sloveniji (tabela T-54/b v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010*), je mogoče ugotoviti, da se na posameznih lokacijah vrednosti, izmerjene s kontinuirnimi merilniki in TLD, lahko razlikujejo tudi za 30 %, kar je posledica različne podlage na mestih, kjer sta postavljena kontinuiran merilnik in TLD na določeni lokaciji. Na IJS, kjer sta oba merilnika postavljena v neposredni bližini, se vrednost (0,74 ± 0,02) mSv, določena s kontinuirnim merilnikom, v okviru negotovosti ujema z vrednostjo (0,78 ± 0,09) mSv, določeno s TLD.

OCENA UČINKOV

Iz dejanske globinske porazdelitve specifične aktivnosti Cs-137 je bil ocenjen letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$, ki je posledica globalne kontaminacije. Za izračun hitrosti doze so bili uporabljeni rezultati simulacije Monte Carlo, ki omogočajo določitev prispevkov Cs-137 iz različnih globin [69]. Okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ je bil izračunan iz zveze $H^*(10) = w \cdot D$ po standardu ISO 4037-3:2019 [42], pri čemer je D absorbirana doza v zraku na letni ravni, $w = 1{,}21$ pa je konverzijski faktor za pretvorbo absorbirane doze v okoljski dozni ekvivalent za Cs-137. Iz tabele 5.3 je razvidno, da so ocenjeni letni okoljski dozni ekvivalenti zaradi Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v območju med 0,005 mSv in 0,036 mSv. To je primerljivo z vrednostmi na lokacijah, kjer se zemlja vzorčuje v okviru nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji. Tam so ocenjene letne doze $H^*(10)$ v območju od 0,018 mSv do 0,050 mSv.

Tabela 5.3: Ocenjena letna vrednost $H^*(10)$ zaradi globalne kontaminacije s Cs-137 do globine 30 cm v letu 2024

LOKACIJA	$H^*(10)$ (mSv)	LOKACIJA	$H^*(10)$ (mSv)
Gmajnice	0,036 ± 0,007	Ljubljana	0,035 ± 0,007
Kusova Vrbina	0,005 ± 0,001	Kobarid	0,050 ± 0,010
Amerika	0,020 ± 0,004	Murska Sobota	0,018 ± 0,004

Kot je bilo ugotovljeno, prispevkov NEK k dozi zunanjega sevanja ni mogoče neposredno meriti z merilniki TLD in kontinuirnimi merilniki hitrosti doze. Mreža TLD meri skupno dozo sevanja gama naravnih radionuklidov v okolju, sevanja gama in direktne ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja ter prispevka globalne kontaminacije s Cs-137. Povprečni izmerjeni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK je bil v letu 2024 (0,77 ± 0,05) mSv, kar se ujema z vrednostjo (0,78 ± 0,10) mSv v letu 2023.

Ker okoljski TLD ne merijo doze nevtronske komponente kozmičnega sevanja, je bila le-ta izračunana z uporabo programa EXPACS ([73], [74], [75]). Program omogoča izračun doze, ki je posledica posameznih komponent kozmičnega sevanja vključno z nevtronsko komponento za poljubno geografsko dolžino in širino. Za leto 2024 je prispevek nevtronov k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu 0,08 mSv. V preteklosti so bile opravljene tudi meritve hitrosti doze nevtronov zunaj ograje NEK, pri katerih se je pokazalo, da je bilo izmerjeno le naravno ozadje kozmičnih nevtronov [70]. Torej lahko za vse vrste sevanj sklenemo, da je prispevek iz objektov znotraj ograje NEK k zunanji dozi zunaj ograje zanemarljiv.

Letne efektivne doze zunanjega sevanja ob prehodu oblaka (imerzijske doze) pri atmosferskih izpustih iz NEK so ocenjene v poglavju *Zrak* na podlagi podatkov o izpuščenih aktivnostih in ob upoštevanju razredčitvenih koeficientov, dobljenih iz Lagrangeevega modela.

Okoljskega doznega ekvivalenta zaradi usedanja iz oblaka ne moremo izmeriti, lahko pa ga računsko ocenimo na podlagi emisij iz NEK, razredčitvenih koeficientov in doznih pretvorbenih koeficientov. Used se računa za lokacije, na katerih poteka vzorčenje zraka. Podatki, ki so potrebni za izračun, so izpusti iz NEK in depozicijski faktorji na posameznih lokacijah. Depozicijski faktorji se računajo po Lagrangeevem modelu, ki upošteva realne meteorološke podatke o gibanju zračnih mas in o padavinah. Rezultati izračuna za leto 2024 vključno z modelirano domeno so predstavljeni v poglavju o radioaktivnosti v zraku. Iz podatkov o gibanju zračnih mas se določijo razredčitveni koeficienti χ/Q, ki opisujejo koncentracijo radionuklidov v posameznih celicah modelne domene. Velikost modelne domene v NEK je 25 km × 25 km × 3 km in je razdeljena na 100 × 100 celic v horizontalni smeri in 20 celic po vertikali. Celica je velika 250 m × 250 m, navpična dimenzija celice pa je spremenljiva in je odvisna od višine, v kateri je celica. Tabelirane vrednosti depozicijskih faktorjev in razredčitvenih koeficientov so v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010,* marec 2025.

Depozicijski faktor (imenovan tudi *koeficient relativne depozicije*) *D/Q* za določeno lokacijo z enoto s/m^2 se izračuna po enačbi:

$$D/Q = k_{\mathrm{T}} \cdot (\chi / Q)_1 \cdot h_1 + k_{\mathrm{WDD}} \cdot \sum_{i=1}^{N} (\chi / Q)_i \cdot h_i \qquad (5.2)$$

Pri tem je k_{T} faktor dotika, ki pove, kolikšen del radionuklidov se odloži pri stiku zračnih mas s tlemi, $(\chi/Q)_1$ razredčitveni koeficient prvega prizemnega nivoja, h_1 višina prvega prizemnega nivoja, k_{WDD} faktor mokrega in suhega nanosa, $(\chi/Q)_i$ razredčitveni koeficienti nivoja i, h_i višina nivoja i in N število nivojev v domeni.

Tabela 5.4: Ocena letne efektivne doze zunanjega sevanja zaradi useda radioaktivnih snovi za izbrane lokacije z značilnimi razdaljami od NEK za leto 2024

Lokacija			Ograja NEK	Vrbina	Spodnji Stari Grad	Žadovinek	Vihre	Brežice
Oddaljenost od ventilacijskega izpusta NEK (km)			**0,2**	**0,8**	**1,5**	**1,7**	**3,1**	**7,1**
Radionuklid	**Izpust (Bq na leto)**	**DCF (Sv na leto) / (Bq/m^2)**	**Letna efektivna doza zunanjega sevanja zaradi useda radioaktivnih snovi (mSv)**					
I-131	1,79E+05	9,40E–11	1,52E–13	1,06E–14	1,06E–14	1,20E–14	1,41E–15	1,43E–15
I-132	5,75E+06	–	2,87E–11	2,00E–12	2,00E–12	2,26E–12	2,66E–13	2,70E–13
I-133	9,79E+05	–	1,32E–12	9,22E–14	9,21E–14	1,04E–13	1,22E–14	1,24E–14
H-3	9,05E+12	–						
C-14	4,31E+10	1,27E–13	1,57E–12	1,09E–13	1,09E–13	1,23E–13	1,45E–14	1,47E–14
Co-58	5,66E+03	2,04E–09	1,21E–14	8,48E–16	8,47E–16	9,56E–16	1,13E–16	1,14E–16
Co-60	7,84E+03	1,74E–08	4,16E–14	2,90E–15	2,90E–15	3,27E–15	3,86E–16	3,91E–16
Zr-95	5,15E+03	1,41E–09	8,41E–15	5,87E–16	5,87E–16	6,62E–16	7,80E–17	7,91E–17
Nb-95	3,75E+03	8,15E–10	6,34E–15	4,43E–16	4,42E–16	4,99E–16	5,88E–17	5,96E–17
Ag-110m	6,94E+03		4,16E–14	2,90E–15	2,90E–15	3,27E–15	3,85E–16	3,91E–16
Sb-124	–	3,16E–09	–	–	–	–	–	–
Te-125m	–	6,38E–11	–	–	–	–	–	–
Te-127m	2,25E+04	3,46E–11	5,74E–16	4,01E–17	4,01E–17	4,52E–17	5,32E–18	5,40E–18
Cs-134		–						
Cs-137	2,46E+03	4,45E–09	1,59E–18	1,11E–19	1,11E–19	1,25E–19	1,47E–20	1,49E–20
Se-75	3,88E+05	1,24E–09	3,30E–13	2,31E–14	2,30E–14	2,60E–14	3,06E–15	3,11E–15
Sr-90	7,74E+02	2,21E–12	4,97E–19	3,47E–20	3,47E–20	3,91E–20	4,61E–21	4,67E–21
		VSOTA	3,22E–11	2,25E–12	2,25E–12	2,53E–12	2,99E–13	3,03E–13

Prispevki k letni efektivni dozi zaradi useda iz oblaka so zbrani v tabeli 5.4. Letna efektivna doza za posamezni radionuklid na določeni lokaciji je produkt letnega izpusta, depozicijskega faktorja iz enačbe (5.2), ki so ga izračunali v podjetju MEIS storitve za okolje, d. o. o., in doznega pretvorbenega koeficienta *DCF* [76]. Ta upošteva izpostavljenost zaradi useda in resuspenzije s tal po štirih dneh, pri končni oceni efektivne doze pa smo konzervativno privzeli, da se je izpust celoletne aktivnosti ponavljal vsake 4 dni vse leto (skupni ocenjeni letni izpust je vsota približno 91 dejanskih izpustov v tem letu). Iz rezultatov je razvidno, da je bila v letu 2024 letna efektivna doza največja na oddaljenosti 0,2 km od ventilacijskega izpusta NEK (zahodna ograja, okvirno velja tudi za razdaljo 500 m od osi reaktorja), vendar je tudi ta

prispevek popolnoma zanemarljiv glede na druge prispevke zunanjega sevanja. Tega prispevka NEK ni mogoče izmeriti niti s TLD niti z merilniki, ki neprekinjeno merijo ionizirajoče sevanje v okolici NEK, saj je daleč pod mejo detekcije. Že same variacije letnih efektivnih doz na posameznih lokacijah zaradi različnosti naravnega sevanja daleč presegajo prispevek NEK.

Učinek usedanja in izpiranja iz ozračja umetne radioaktivnosti zaradi izpustov NEK je predstavljen v tabeli 5.4. Ocena vrednosti letnega okoljskega doznega ekvivalenta iz izpustov NEK je na lokacijah v okolici NEK manjša od ocen vrednosti za leto 2023, ker so bili izpusti v atmosfero manjši. Vredno je omeniti, da približno dve tretjini doze prispeva C-14, eno tretjino pa Cs-137. Ostali izotopi prispevajo približno 2 %. Ker C-14 seva le žarke beta s kratkim dosegom, je doza izračunana pri konzervativni predpostavki, da je površina telesa v neposrednem kontaktu s kontaminirano površino.

V tabeli 5.5 so povzete ocenjene letne vrednosti $H^*(10)$ za prebivalstvo[21] v okolici NEK. Prevladuje izpostavitev zaradi naravnega sevanja in useda Cs-137 zaradi globalne kontaminacije. Prispevek NEK je zanemarljiv.

Tabela 5.5: Doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2024 za prebivalstvo v okolici NEK

Vir	**Podatki**	***H**(10) (mSv)**
sevanje gama + ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja	TLD	0,77 (93 %)
kozmični nevtroni	[40], [73], [74], [75]	0,06 (7 %)
naravno sevanje – skupaj		**0,83 (100 %)**
kontaminacija zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij	Cs-137 v zemlji	0,020 (2,4 %)*
NEK – atmosferski izpusti	**used (model)**	3,2E–11
SKUPAJ		**0,83**

* Ocena deleža glede na naravno sevanje. V tej oceni ni upoštevano, da se prebivalec (referenčna oseba) zadržuje 20 % časa na prostem in da je faktor ščitenja pri zadrževanju v zgradbah 0,1, temveč je konservativno privzeto, da se prebivalec ves čas zadržuje na prostem. Za izračun hitrosti doze so bili uporabljeni rezultati računa Monte Carlo, ki omogoča določitev prispevkov Cs-137 iz različnih globin [69].

[21] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].

SKLEPI

Specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v vzorcih zemlje v letu 2024 so primerljive z vrednostmi, izmerjenimi v prejšnjih letih, in s podatki, ki jih kot svetovno povprečje navaja UNSCEAR. Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ zaradi naravnih radionuklidov v zemlji je med 0,55 mSv in 0,66 mSv.

Prisotnost umetnih radionuklidov v okolju je posledica globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in černobilske nesreče. Učinka NEK tudi v letu 2024 ni bilo mogoče zaznati. Prispevek Cs-137 k letni dozi $H^*(10)$ je od 1,2 % do 9,2 % skupne doze zaradi naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji. Letni okoljski dozni ekvivalent zaradi globalne kontaminacije s Cs-137 na lokacijah v okolici NEK, ocenjeni ob predpostavki realne globinske porazdelitve Cs-137, je v območju med 0,005 mSv in 0,036 mSv, kar je v povprečju manj kot na lokacijah vzorčenja v okviru nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji. To je dodatna potrditev ugotovitve, da v okolju ni mogoče opaziti učinkov zaradi izpustov iz NEK.

Okoljski dozni ekvivalent, izmerjen s TLD na ograji NEK, je za 30 % nižji kot v okolici NEK. To kaže, da je prispevek NEK k dozni obremenitvi v okolici zaradi sevanja iz objektov NEK zanemarljiv in nemerljiv.

Povprečna vrednost letnega okoljskega doznega ekvivalenta, izmerjenega s TLD v okolici NEK, se ujema s povprečno vrednostjo, izmerjeno s kontinuirnimi merilniki hitrosti doze. Povprečji, izmerjeni z merilniki TLD $(0{,}77 \pm 0{,}05)$ mSv in kontinuirnimi merilniki hitrosti doze $(0{,}77 \pm 0{,}11)$ mSv sta enaki. To potrjuje zanesljivost meritev, saj se rezultati, dobljeni z različnimi merskimi metodami, ujemajo.

Vrednost $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in kozmičnih nevtronov v letu 2024 je bila za prebivalstvo v okolici NEK 0,83 mSv na leto in je primerljiva z oceno za svetovno prebivalstvo ter z ocenami za okolico NEK v prejšnjih letih. Ocenjena vrednost $H^*(10)$ se v okviru negotovosti ujema z izmerki TLD, kar potrjuje zanesljivost modelne ocene.

Prispevek k zunanjemu sevanju zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi, izračunan na podlagi Lagrangeevega modela nanosa iz oblaka, je mnogo redov velikosti nižji od drugih prispevkov in popolnoma zanemarljiv. Konservativno ocenjujemo, da je letna efektivna doza zaradi zunanjega sevanja izpustov iz NEK manjša od 1,0·E–4 nSv na robu izključitvenega območja in na večjih razdaljah, torej daleč pod detekcijsko mejo merilnikov. Meja detekcije z merilniki TLD je 7,5 µSv, torej bi merilniki brez težav ugotovili potencialno nevarne nivoje zunanjega sevanja zaradi izpustov NEK v ozračje. Omenjeno detekcijsko mejo bi seveda dosegli le ob večji pogostosti meritev, kot je dvakrat na leto.

6 RADIONUKLIDI V HRANI

POVZETEK

Z ugotavljanjem specifičnih aktivnosti radionuklidov v živilih, vzorčenih v okolici NEK, preverjamo učinek izpustov NEK na hrano in ocenjujemo sevalno obremenitev prebivalstva zaradi uživanja hrane, pridelane na krško-brežiškem polju. Specifične aktivnosti radionuklidov v živilih, vzorčenih v okolici NEK, smo primerjali s specifičnimi aktivnostmi radionuklidov v živilih, vzorčenih drugod po Sloveniji.

V hrani je vsebnost umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90, ki izvirata iz globalne kontaminacije okolja, povečala sevalno obremenitev odrasle referenčne osebe iz okolice NEK še za 0,3 µSv*, kar je le* 0,5 % *celotne izračunane letne efektivne doze zaradi zaužitja hrane brez upoštevanja K-40. To je z biološkega vidika zanemarljivo. Sevalna obremenitev prebivalcev drugod po Sloveniji zaradi zaužitja hrane, kontaminirane s Cs-137 in Sr-90, je* 0,6 µSv, kar je 1,1% *celotne izračunane letne efektivne doze. V primerjavi merskih rezultatov za hrano iz okolice NEK in iz Republike Slovenije se upoštevajo le živila, ki so v skupnem naboru. V letu 2024 k dozi splošnih kontaminantov Cs-137 in Sr-90 v okolici NEK največ prispeva specifična aktivnost Sr-90 v listni zelenjavi, pri oceni efektivne doze drugod po Sloveniji pa specifična aktivnost Cs-137 v mesu in jajcih. Od povprečnih vrednosti so značilno odstopale vrednosti Cs-137 (23 ± 0,3) Bq/kg in Sr-90 (0,51 ± 0,05), izmerjene v borovnicah drugod po Sloveniji*

V zračnih izpustih NEK za tritijem prevladuje radionuklid C-14. Ta se, enako kot ogljik C-12, v procesu fotosinteze vgrajuje v rastline in s hrano prehaja v živali in ljudi. Ocenjena efektivna doza referenčne osebe, prejeta zaradi zaužitja hrane, ki vsebuje C-14, je v okolici NEK – na robu izključitvenega območja in navzven od njega – (14,5 ± 0,2) µSv*, v krajih, kjer vpliva NEK v letu 2024 ni bilo mogoče zaznati (Dobova), pa* (14,3 ± 0,3) µSv. *Med obema vrednostnima ni statistično značilne razlike (ob veliki negotovosti ocenjene vrednosti), doza* 0,04 µSv *pa je primerljiva z ocenami iz prejšnjih let in je z biološkega vidika zanemarljiva.*

UVOD

Izpusti radionuklidov v okolje, bodisi zaradi normalnega obratovanja jedrskih objektov ali izrednih dogodkov, potencialno izpostavljajo okoliško prebivalstvo ionizirajočemu sevanju. Radionuklidi najpogosteje prehajajo v okolje prek izpustov v atmosfero ali v vodne sisteme, pri čemer prihaja do kontaminacije zraka, vode, tal, rastlinstva in živalstva. Poti vnosa radionuklidov v človeški organizem sta predvsem inhalacija in zaužitje, zato je v okolici nuklearnih objektov potreben stalen nadzor radioaktivnosti v zraku, vodi, tleh, pa tudi v hrani rastlinskega in živalskega izvora, ki se prideluje v okolici jedrskih objektov.

V hrano rastlinskega izvora prehajajo radionuklidi predvsem preko koreninskega sistema rastlin, delno pa tudi s površine listov, kamor se odložijo kot usedi iz atmosfere. Sem spada predvsem kontaminacija s Pb-210, ki je naravni radionuklid in ga v izpustih NEK ne zaznamo. Stopnja privzema radionuklidov v rastline prek koreninskega sistema je v največji meri odvisna od biorazpoložljivosti posameznih radionuklidov v tleh, na kar poleg topnosti radionuklidov vplivajo predvsem abiotski in biotski talni dejavniki [77]. Na absorpcijo radionuklidov v rastline prek listne površine vplivajo morfološke značilnosti rastlin (velikost površine, strukture na listih) in okoljski dejavniki, kot sta količina padavin in vetrovnost. Rastlinski organi se z radionuklidi površinsko kontaminirajo tudi zaradi neposrednega stika z zemljo, kar velja predvsem za gomolje, korenike, čebule ter liste in plodove, ki uspevajo pri tleh [78]. Na vsebnost radionuklidov v rastlinah vplivajo tudi človeške aktivnosti, kot so obdelovanje površin, gnojenje, uporaba pesticidov, promet in industrijsko onesnaževanje.

Specifična aktivnost radionuklidov v hranilih živalskega izvora je povezana predvsem s tem, da živali uživajo z radionuklidi kontaminirano hrano in vodo. Na stopnjo kontaminacije živalskega organizma, zlasti organizma rastlinojedov, v veliki meri vpliva preferenca prehranjevanja z določenimi vrstami rastlinske hrane [78], radionuklide pa najdemo tudi v krmilih za prehrano domačih živali. Končno koncentracijo radionuklidov v živalskem organizmu določa razmerje med asimilacijo in izločanjem. Kopičenje v posameznih organih oziroma tkivih je v veliki meri odvisno od fizikalnih in kemijskih značilnosti posameznega radionuklida, vrste hrane in vsebnosti elementov, ki s posameznim radionuklidom tekmujejo za privzem, ter od fiziološkega stanja živali. Na vnos radionuklidov v človeški organizem vplivajo podobni faktorji kot na vnos v živalski organizem, le da ljudje s predhodno pripravo in čiščenjem hrane (pranje, lupljenje) lahko dodatno zmanjšajo vnos radionuklidov v organizem [78].

V okviru nadzora radioaktivnosti v okolici NEK smo analizirali vzorce hrane ter s tem preverjali učinek izpustov NEK na vsebnost radionuklidov v hrani. Na podlagi rezultatov meritev in z upoštevanjem prehranskih navad referenčne osebe smo lahko ocenili efektivno dozo referenčne osebe zaradi zaužitja hrane na krško-brežiškem polju.

OKOLJSKI VZORCI

Značilnosti vzorčenja

Vzorčenje živil v okolici Nuklearne elektrarne Krško poteka na mestih, ki imajo podobno sestavo tal kot tista pri vzorčenju zemlje. Za zemljo je značilna pedološka raznolikost (obrečni peščeni aluvij, diluvialna ilovica s kremenovimi produkti, apnenec). Zaradi odvisnosti prenosnih faktorjev od vrste tal se vzorci hrane odvzemajo vedno na istem mestu, če je le mogoče. V Vrbini, Bregah in Spodnjem Starem Gradu se hrana na primer prideluje le za potrebe radiološkega nadzora. Odvzemna mesta vzorcev hrane v letu 2024, ki so označena na priloženem zemljevidu na koncu poročila, so bila: sadovnjak ob NEK (sadje), Pesje (mleko, zelenjava, sadje), Brege (mleko, zelenjava), Vihre (zelenjava), Vrbina (žito, sadje), Spodnji Stari Grad (jajca, meso), Žadovinek (sadje, zelenjava, žito), Trnje (žito), Leskovec (meso, sadje), Mrtvice (mleko, zelenjava), Gornji Lenart (jajca), Sevnica (meso) in Dolenja vas (zelenjava). V letu 2024 je bilo v okolici NEK skupno vzorčenih 29 vrst živil.

Značilnosti meritev okoljskih vzorcev

V vzorcih živil so bile izmerjene specifične aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG) in vsebnost Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko metodo. Vzorčenje, meritve in analize vseh vzorcev živil so bile opravljene na IJS in ZVD. Rastlinski vzorci živil, razen žit, so bili pred analizo oprani s tekočo vodo, saj je poleg vnosa radionuklidov v rastline iz tal prek koreninskega sistema del kontaminacije zelenjave in sadja z radionuklidi tudi površinska kontaminacija, sploh če so deli rastlin med gojenjem v neposrednem stiku z zemljo.

Od radionuklidov, ki jih zaznamo v izpustih NEK, je v hrani C-14, ki se pojavlja v okolju tudi naravno. Meritve vsebnosti C-14 v rastlinskih vzorcih, vzorčenih v juliju in septembru 2024 v bližnji okolici NEK in na kontrolni točki v Dobovi, so bile opravljene na IRB v Zagrebu. Specifična aktivnost C-14 je bila izmerjena v koruzi, pšenici, ajdi, travi, jabolkih in hruškah.

REZULTATI MERITEV IN ZNAČILNI ČASOVNI POTEKI

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenki v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024, IJS-DP-15010,* marec 2025.

Rezultati meritev vzorcev hrane so prikazani v tabelah T-61 (mleko - Pesje), T-62 (mleko – Dolenje Skopice), T-63 (mleko - Brege), T-64 (I-131 v vzorcih mleka), T-65 do T-67 (sadje – jabolka, hruške, jagode), T-68 (rdeče in belo grozdje, bezeg), T-69 do T-73 (podzemna zelenjava: krompir, korenje, rdeča pesa, por, čebula; listna zelenjava – solata, zelje, peteršilj (listi), blitva; plodovke – fižol, paprika,

paradižnik, feferoni, kumare, bučke; žita –koruza (2 vzorca), oves, ječmen), T-74 in T-75 (kokošja jajca; kokošje, svinjsko, goveje in divjačinsko meso).

V vzorcih hrane so bili detektirani naravni radionuklidi iz razpadnih verig radionuklidov U-238 in Th-232 ter K-40 in kozmogeni Be-7, med umetnimi pa Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Ker Sr-89 ni bil izmerjen v zračnih izpustih NEK, se vsi merski rezultati nanašajo na Sr-90.

V nadaljevanju so rezultati vsebnosti radionuklidov v živilih v okolici NEK podani primerjalno glede na vsebnosti radionuklidov v skupinah živil (meso in jajca, mleko, podzemna zelenjava, listna zelenjava, plodovke, žita in sadje), vzorčenih drugod po Sloveniji. Slednje meritve je izvedel ZVD [17]. Vzorčena so bila naslednja živila: mleko; sadje – jabolka, breskve, borovnice češnje, grozdje; listna zelenjava – zelje, solata; plodovke – kumare, paprika; žita – moka in meso (kokošja jajca, kokošje, svinjsko in goveje meso ter divjačina), skupno 18 vrst živil. Podzemna zelenjava v letu 2024 drugod po Sloveniji ni bila vzorčena.

Tritij (H-3)

Tritij se v okviru rednega merilnega nadzora NEK v hrani ne ugotavlja. Vendar raziskave, ki so bile izvedene na IJS v zadnjih letih [80], kažejo povečane vsebnosti tritija v rastlinju neposredno ob NEK v primerjavi z rastlinjem na kontrolni točki.

Jod (I-131)

V vzorcih hrane I-131 ni bil prisoten.

Ogljik (C-14)

Naravni radionuklid ogljik C-14 nastaja v Zemljini atmosferi kot produkt jedrskih reakcij med jedri dušika N-14 in nevtroni iz kozmičnega sevanja [79]. Skupaj z drugimi ogljikovimi izotopi kot CO_2 vstopa v ogljikov cikel Zemlje, kjer se v procesu fotosinteze asimilira v hrano rastlinskega izvora. Izmerjena aktivnost C-14 v enoletnih rastlinah ali drevesnih letnicah tako pove povprečno vsebnost C-14 v atmosferskem CO_2 med rastno sezono. C-14 vstopa v prehranjevalno verigo, s tem pa se lahko poveča dozna obremenitev lokalnega prebivalstva zaradi zaužitja.

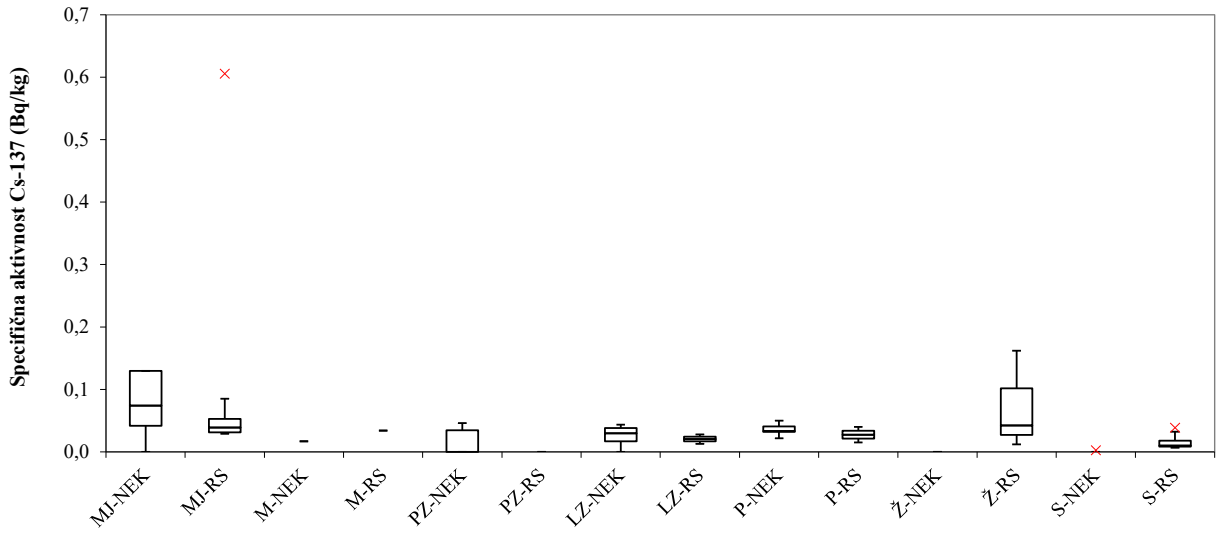
Jedrski objekti, še posebej jedrske elektrarne, lahko vplivajo na povišanje radioaktivnosti tako v atmosferi v svoji neposredni okolici kot tudi v rastlinju, ki tam uspeva. C-14 je merljiv tudi v izpustih NEK. Učinek jedrske elektrarne na povišanje aktivnosti C-14 v rastlinstvu oziroma hrani se ugotavlja tako, da se aktivnosti C-14 v rastlinju iz neposredne okolice NEK primerjajo s tistimi s kontrolnega področja (Dobova), kjer neposrednih učinkov ni več mogoče pričakovati.

Izračunana letna efektivna doza referenčne osebe zaradi zaužitja C-14 izhaja iz predpostavke, da letno zaužijemo okrog 330 kg hrane, ki vsebuje 30 % ogljika (~100 kg ogljika letno). Atomi C-14 so namreč strukturni del organskih molekul v organizmih, medtem ko drugi radionuklidi, kot so Cs-137, K-40, Sr-90 itd., ne spadajo med strukturne elemente, zato sta postopka računanja letne efektivne doze različna.

Specifična aktivnost C-14 je bila v bližnji okolici NEK v letu 2024 izmerjena v jabolkih, hruškah, koruzi in oljni repici in sicer v juliju in septembru. Vrednosti so zbrane v tabeli 6.1. Med povprečnimi vsebnostmi C-14 v hrani in rastlinju, merjenih v juliju in septembru na istih lokacijah, ni statistično značilnih razlik. Najvišja izmerjena specifična aktivnost C-14, (275 ± 8) Bq na kilogram ogljika, je bila izmerjena v jabolkih (lokacija C) v juliju. Lokacije so označene na sliki 1 v poročilu [21]. V letu 2024 je bil C-14 izmerjen tudi v vzorcih rib (klen, podust). Povprečna aktivnost je ((217 ± 8) Bq/kgC suhe ribe).

Tabela 6.1: Specifične aktivnosti C-14 v rastlinju v okolici NEK v letu 2024 (povprečje ± standardna deviacija)

Območje v okolici NEK	Junij 2024	September 2024
	Bq na kilogram ogljika	
Ograja NEK (notranji krog) (n = 12)	(234 ± 21)	(233 ± 20)
Rob izključitvenega območja – 500 m od osi reaktorja (zunanji krog) (n = 20)	(224 ± 9)	(228 ± 83)
Dobova (n = 4)	(230± 2)	(220 ± 10)



Slika 6.1: Specifična aktivnost Cs-137 (Bq/kg) v skupinah živil: MJ – meso in jajca, M-mleko, PZ-podzemna zelenjava, LZ – listna zelenjava, P – plodovke, Ž – žita, S – sadje; predstavljene so minimalna in maksimalna vrednost (brki) ter mediana, prvi in tretji kvartil (pravokotnik) po skupinah posamično vzorčenih živil v letu 2024 v okolici NEK in drugod po Sloveniji (RS). Izjema je surovo mleko, ki se v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK zbira in analizira mesečno na treh lokacijah (Pesje,Brege in Mrtvice), v okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS pa dvomesečno na treh lokacijah (Ljubljana, Kobarid in Bohinjska Bistrica). V grafu sta tako za mleko (NEK in RS) prikazani aritmetični sredini čez vse vzorce v okviru nadzora radioaktivnosti za leto 2024. V predstavitvi po živilih so bila upoštevana živila, ki spadajo v izbrano skupino; nabor živil v okviru *Monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS* obsega še druge vrste živil, kot so med, ribe, moka itd., ki se v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK ne vzorčijo. Če je bilo odvzetih več vzorcev iste vrste, je v tabeli poročana aritmetična sredina. Z znakom – so označene posamične meritve, z znakom x pa ubežniki (angl. *outliers*). V letu 2024 je značilno odstopala meritev Cs-137 v borovnicah (23 ± 0,5) Bq/kg vzorčenih drugod po Sloveniji, zato na grafu ni prikazana.

Cezij (Cs-137)

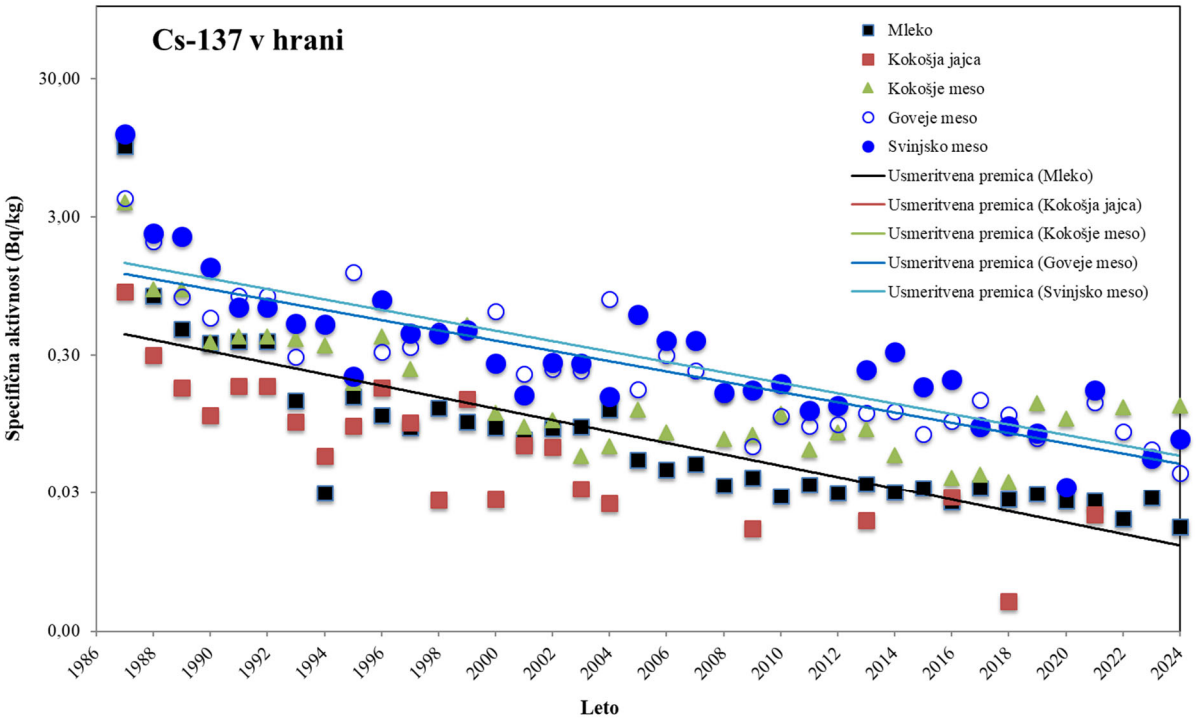
Radionuklid Cs-137 je bil v letu 2024 tako v okolici NEK kot drugod po Sloveniji detektiran v vseh skupinah vzorčenih živil. Meritve drugod po Sloveniji je izvedel ZVD.

Specifična aktivnost Cs-137 v živilih v okolici NEK je od 0 Bq/kg do 0,13 Bq/kg in je primerljiva s specifično aktivnostjo Cs-137 v živilih, vzorčenih drugod po Sloveniji, to je od 0 Bq/kg do 0,61 Bq/kg ([12], [15]). Podatki so prikazani na sliki 6.1. V divjačini (srna in jelen; Leskovec, Tolmin Loka) je bila specifična aktivnost Cs-137 (0,13 ± 0,07) Bq/kg in (0,61 ± 0,04) Bq/kg, kar je primerljivo z ostalimi živili. V letu 2024 značilno odstopa meritev Cs-137 v borovnicah iz Mozirja (23 ± 0,5) Bq/kg.

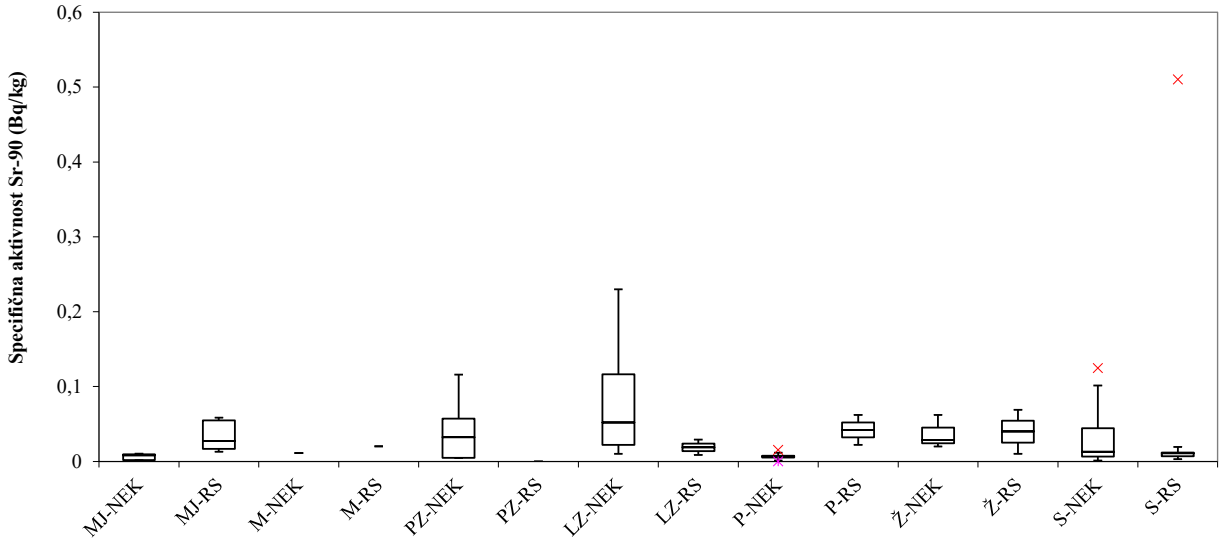
V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Cs-137 izmerjena v kokošjem mesu (0,13 ± 0,06) Bq/kg, medtem ko je bila specifična aktivnost Cs-137 v jabolkih in hruškah, vzorčenih v sadovnjaku v neposredni bližini NEK, < 0,001 Bq/kg. Največja izmerjena specifična aktivnost Cs-137 v hrani, vzorčeni drugod po Sloveniji, je bila, poleg borovnic, izmerjena v divjačini (0,61 ± 0,04) Bq/kg.

S slike 6.1 je razvidno, da največjo vsebnost Cs-137 v letu 2024 v okolici NEK in drugod po Sloveniji najdemo v mesu (okolica NEK) in žitu (drugod po Sloveniji), najmanj pa v sadju in žitu (okolica NEK), podzemni in listni zelenjavi (drugod po Sloveniji).

Kljub omenjenim težnjam pa v živilih, vzorčenih v gozdnih ekosistemih po Sloveniji, še vedno lahko ugotavljamo značilno višje specifične aktivnosti Cs-137 v primerjavi z živili, vzorčenimi v agrikulturnih ekosistemih.



Slika 6.2: Izmerjene specifične aktivnosti Cs-137 v mleku, kokošjih jajcih ter kokošjem, govejem in svinjskem mesu, vzorčenih v okolici NEK, od leta 1987 do 2024. Vrednosti so prikazane v logaritemski skali. V kokošjih jajcih je bila specifična aktivnost v letih 2005–2008 in 2010–2012 pod mejo detekcije, prav tako pa tudi v kokošjem mesu leta 2007. Leta 1994 goveje meso ni bilo vzorčeno.



Slika 6.3: Specifična aktivnost Sr-90 (Bq/kg) v skupinah živil: MJ – meso in jajca, M – mleko, PZ – podzemna zelenjava, LZ – listna zelenjava, P – plodovke, Ž – žita, S – sadje; predstavljene so minimalna in maksimalna vrednost (brki) ter mediana, prvi in tretji kvartil (pravokotnik) po skupinah posamično vzorčenih živil v letu 2024 v okolici NEK in drugod po Sloveniji (RS). Izjema je surovo mleko, ki se v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK zbira in analizira mesečno na treh lokacijah (Vihre, Pesje in Brege), v okviru nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS pa dvomesečno na treh lokacijah (Ljubljana, Kobarid in Bohinjska Bistrica). V grafu so tako prikazane aritmetične sredine čez vse vzorce v okviru nadzora radioaktivnosti za celo leto 2024. V predstavitvi po živilih so bila upoštevana živila, ki spadajo v izbrano skupino; nabor živil v okviru *Monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS* obsega še druge vrste živil, kot so med, ribe, mlečni izdelki itd., ki se v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK ne vzorčujejo. Če je bilo odvzetih več vzorcev iste vrste, je v tabeli vpisana aritmetična sredina. Z znakom – so označene posamične meritve, z znakom × pa ubežniki (angl. *outliers*). V letu 2024 odstopa meritev Sr-90 v borovnicah drugod po Sloveniji (0,51 ± 0,05) Bq/kg.

Stroncij (Sr-90)

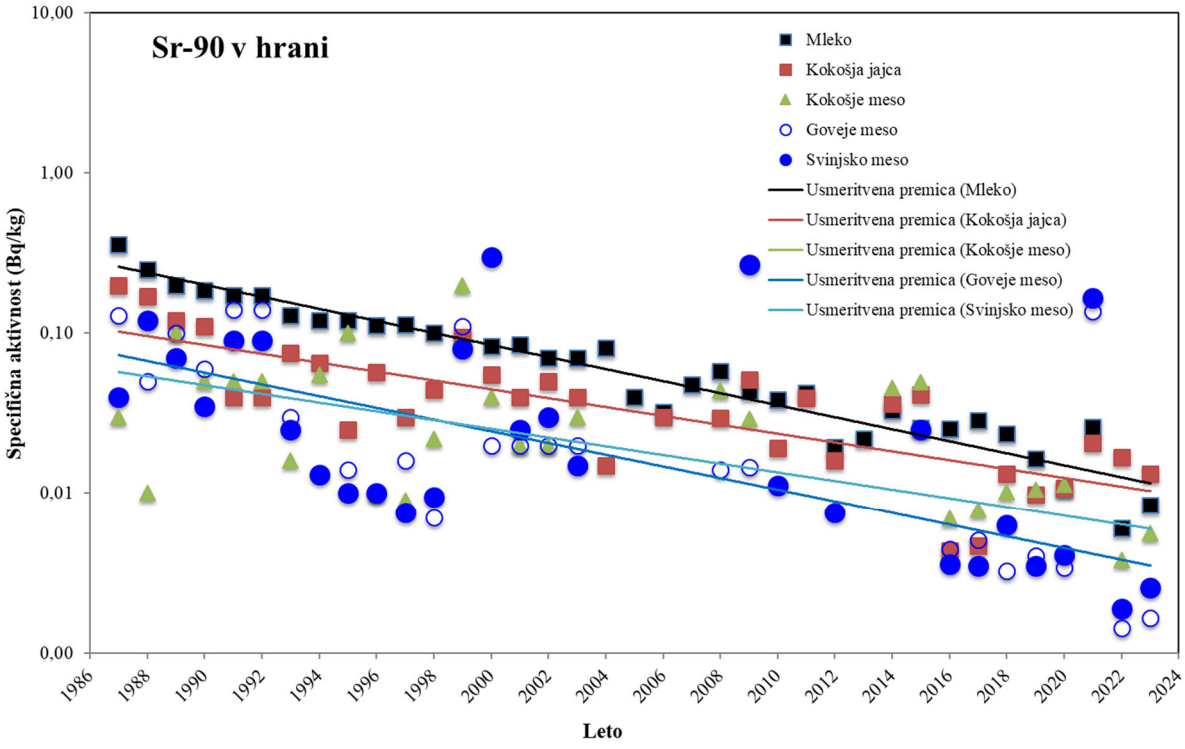
Radionuklid Sr-90 je bil v okolici NEK v letu 2024 detektiran v vseh skupinah živil (slika 6.3). Specifična aktivnost Sr-90 v živilih v okolici NEK je od 0 Bq/kg do 0,23 Bq/kg, specifična aktivnost Sr-90 v živilih, vzorčenih drugod po Sloveniji, pa od 0 Bq/kg do 0,51 Bq/kg.

V okolici NEK v skupino živil z večjo vsebnostjo Sr-90 spada hrana rastlinskega izvora, predvsem listna zelenjava. Povprečna specifična aktivnost Sr-90 je najnižja v mleku. Pri vzorčenju drugod po Sloveniji smo največje vsebnosti Sr-90 detektirali v plodovkah, žitu in mesu.

V okolici NEK so bile najvišje vrednosti detektirane v peteršilju (0,23 ± 0,04) Bq/kg, drugod po Sloveniji pa v borovnicah (0,51 ± 0,05) Bq/kg.

Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v hrani z leti nihajo, vendar je opazna težnja zniževanja vrednosti. Tako je s slike 6.2 razvidno, da se je specifična aktivnost Cs-137 v mleku od černobilske nesreče do danes znižala za približno 400-krat, specifična aktivnost Sr-90 pa se je v mleku v enakem obdobju znižala za faktor 10 (slika 6.4). Izmerjena specifična aktivnost Cs-137 v mleku je tako že nekaj let na ravni izpred černobilskega obdobja (1984, 1985), specifična aktivnost Sr-90 pa je tudi za faktor 2 nižja kot pred černobilsko nesrečo. Tudi za druga živila živalskega izvora je opazna težnja zmanjševanja specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 po černobilski nesreči (sliki 6.2 in 6.4). S pobiranjem pridelka iz agrikulturnih ekosistemov konstantno odnašamo tako mineralna hranila kot radionuklide, zato se s časom koncentracije teh v tleh manjšajo. Poleg tega na kultiviranih površinah privzem Cs-137 ter Sr-90 v rastline prek

koreninskega sistema omejuje predvsem vezava atomov Cs-137 in Sr-90 v tleh (na glinene in organske delce), pa tudi povečana vsebnost kalija in s tem tudi radioaktivnega K-40 ter kalcija iz gnojil, ki močno zmanjšajo privzem obeh radionuklidov v rastline in s tem v hrano rastlinskega izvora in krmo [78]. Ta proces in pronicanje atomov Cs-137 globlje v zemljo z leti zmanjšujeta dostopnost Cs-137 rastlinam. Tako ta v manjši meri vstopa v prehransko verigo človeka. To lahko podkrepimo, če povprečnim specifičnim aktivnostim Cs-137 v živilih živalskega izvora po letih narišemo usmeritvene premice[22]. Iz naklonov premic, ki se med seboj odmikajo za največ 20 %, lahko izračunamo efektivni razpolovni čas Cs-137 v omenjenih živilih 6,6 let (slika 6.2). Izračunani razpolovni čas je manjši od fizikalnega razpolovnega časa Cs-137 30,1 let. Podobno lahko izračunamo efektivni razpolovni čas Sr-90 v živilih živalskega izvora 8,5 let (slika 6.4). Statistično razsutje podatkov je v primeru Sr-90 večje kot pri Cs-137, zato smo iz računanja aritmetične sredine izvzeli kokošje in svinjsko meso. Kljub temu je tudi ta izračunani efektivni razpolovni čas bistveno krajši od fizikalnega razpolovnega časa Sr-90 28,8 let.

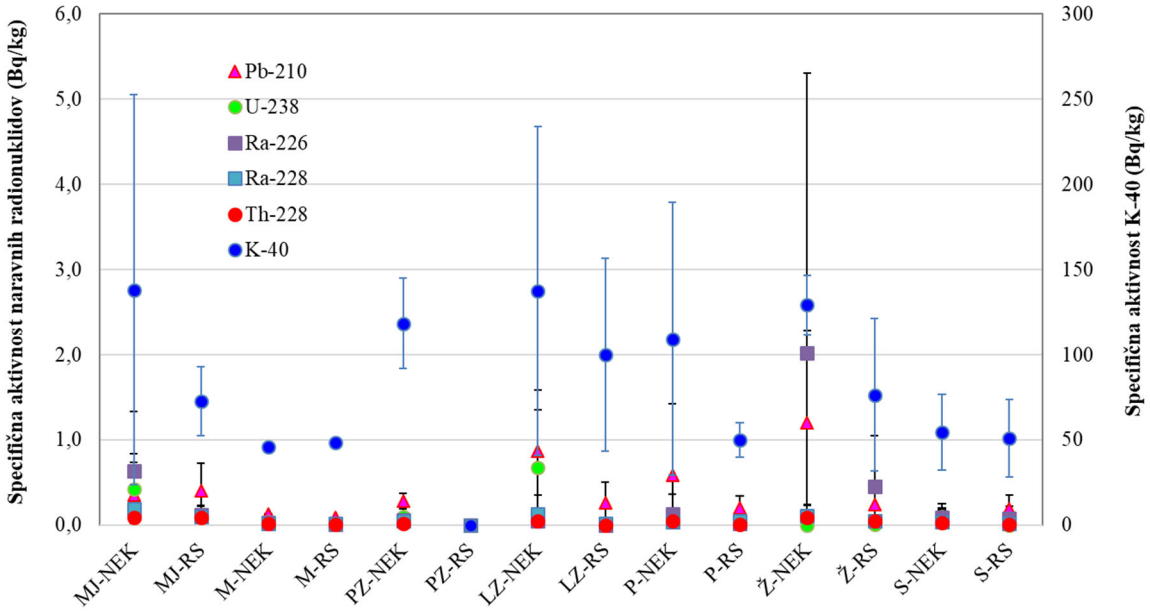


Slika 6.4: Izmerjene specifične aktivnosti Sr-90 od leta 1987 do 2024 v mleku, kokošjih jajcih ter kokošjem, govejem in svinjskem mesu, vzorčenih v okolici NEK. V letih 2004–2007 in 2011–2013 so bile izmerjene specifične aktivnosti v kokošjem, govejem in svinjskem mesu pod mejo detekcije, v svinjskem mesu pa tudi leta 2008. V kokošjih jajcih je bila izmerjena specifična aktivnost Sr-90 pod mejo detekcije v letih 2005, 2007 in 2013.

Jod (I-131)

Jod I-131 v letu 2024 v vzorcih hrane ni bil detektiran.

[22] Podatkom smo prilagajali eksponentne krivulje $\sim e^{-\frac{t \cdot ln2}{t_{1/2}}}$. Ker so vrednosti na ordinatni osi v logaritemski skali, na sliki vidimo premice, katerih naklon je obratno sorazmeren z efektivnim razpolovnim časom $t_{1/2}$.



Slika 6.5: Izmerjene povprečne specifične aktivnosti naravnih radionuklidov (Bq/kg) v vzorčenih skupinah živilih v letu 2024 v okolici NEK in po Sloveniji (RS); MJ – meso in jajca, M – mleko, PZ – podzemna zelenjava, LZ – listna zelenjava, P – plodovke, Ž – žita, S – sadje. Predstavljene so povprečne vrednosti in standardni odmik.

Naravni radionuklidi

Med naravnimi radionuklidi v hrani, prenesenimi po različnih poteh iz zemlje, umetnih gnojil in zraka, je najmočneje zastopan K-40, prisotni pa so tudi radionuklidi iz razpadnih vrst U-238 in Th-232. Njihove specifične aktivnosti v posameznih živilih, vzorčenih v okolici NEK in drugod po Sloveniji (RS), so prikazane na sliki 6.5.

V letu 2024 je bila specifična aktivnost K-40 v hrani, pridelani na krško-brežiškem polju, od 30 Bq/kg (jagode) do 337 Bq/kg (divjačina), v hrani, vzorčeni drugod po Sloveniji, pa od 26 Bq/kg (borovnice) do 140 Bq/kg (zelje). V okolici NEK v skupino z večjo specifično aktivnostjo K-40 spadajo meso in jajca, med živila z manjšo aktivnostjo K-40 pa mleko in sadje. Drugod po Sloveniji v skupino z večjo specifično aktivnostjo K-40 spada listna zelenjava, med živila z manjšo aktivnostjo K-40 pa mleko.

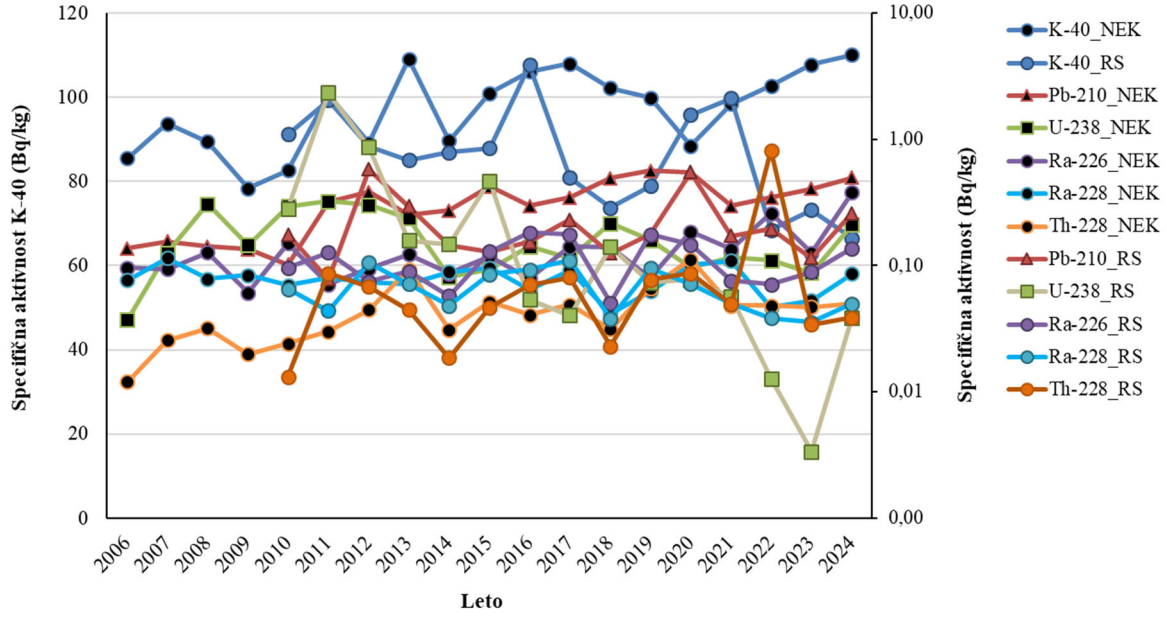
Od naravnih radionuklidov (brez K-40) k letni efektivni dozi zaradi zaužitja hrane v okolici NEK in drugod po Sloveniji največ prispeva Pb-210 (74 % in 78 %). V letu 2024 je bilo v okolici NEK največ Pb-210 v žitu, drugod po Sloveniji pa v mesu in jajcih. Najmanjše specifične aktivnosti so bile izmerjene v sadju (okolica NEK) in mleku (drugod po Sloveniji). V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Pb-210 izmerjena v ječmenu (2,5 ± 0,5) Bq/kg, v živilih, vzorčenih po Sloveniji, pa v divjačini (1,0 ± 0,4) Bq/kg. Razpon specifičnih aktivnosti drugih naravnih radionuklidov v hrani v okolici NEK in po Sloveniji prikazujemo v tabeli 6.2.

Tabela 6.2: Specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v okolici NEK in po Sloveniji

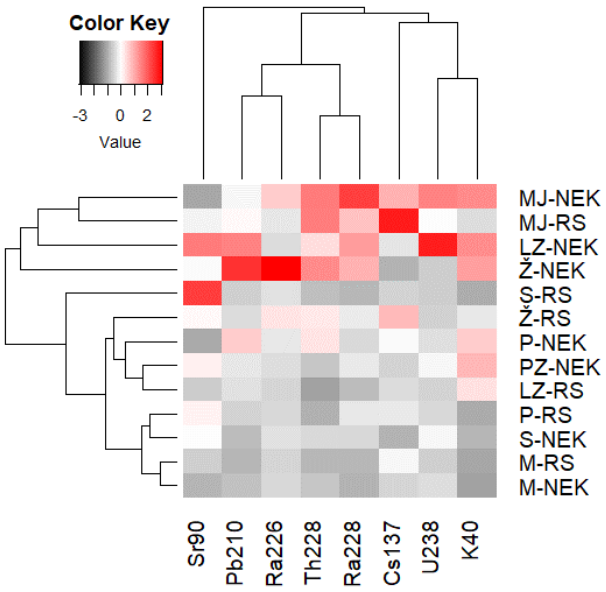
Radionuklid	NEK	Slovenija
	Specifična aktivnost (Bq/kg)	
U-238	do 2,7 (blitva)	do 0,58 (divjačina)
Ra-226	do 5,8 (ječmen)	do 1,14 (pšenica)
Ra-228	do 0,7 (kokošje meso)	do 0,26 (divjačina)
Th-228	do 0,26 (oves)	do 0,23 (divjačina)

Vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov v hrani z leti nihajo. V letu 2024 so izmerjene specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v hrani iz okolice NEK v okviru merske negotovosti primerljive s tistimi iz preteklih let in pa s tistimi, izmerjenimi v letih od 2010 do 2024 drugod po Sloveniji (slika 6.6).

S programsko opremo »R« [86] smo statistično obdelali podatke specifičnih aktivnosti merjenih radionuklidov v 2024 za živila, vzorčena v okolici NEK in drugod po Sloveniji (RS). Z analizo gruč na podlagi evklidskih razdalj ([86]) smo med seboj primerjali z-transformirane povprečne specifične aktivnosti radionuklidov (Cs-137, Sr-90, K-40, Pb-210, U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228) v skupinah živil – meso in jajca (MJ), mleko (M), podzemna zelenjava (PZ), listna zelenjava (LZ), plodovke (P), žito (Ž) in sadje in vino (S). Barvni diagram z dvodimenzionalno analizo gruč (slika 6.7) prikazuje, da relativno največ radionuklidov tako v okolici NEK kot drugod po Sloveniji vsebujejo meso in jajca (Ra228, Cs-137, Th-228), listna zelenjava v okolici NEK (U-238 in K40)), (U-238) in žita v okolici NEK (Pb-210 in Ra-226, najmanj pa mleko (v okolici NEK in drugod po Sloveniji), sadje (v okolici NEK) in plodovke (drugod po Sloveniji). Razlik v vsebnosti radionuklidov v hrani iz okolice NEK in drugod po Sloveniji v večini primerov ni.



Slika 6.6: Povprečne izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) naravnih radionuklidov v hrani, vzorčeni v okolici NEK, po letih od 2006 do 2024, ter drugod po Sloveniji v letih od 2010 do 2024 (specifične aktivnosti K-40 so na levi ordinati, specifične aktivnosti drugih radionuklidov pa na desni).



Slika 6.7: Barvni diagram z dvodimenzionalno analizo gruč na podlagi z-transformiranih povprečnih specifičnih aktivnosti radionuklidov v skupinah živil, vzorčenih v 2024 v okolici NEK in drugod po Sloveniji (RS) (MJ – meso in jajca, M – mleko, PZ – podzemna zelenjava, Z – zelenjava, LZ – listnata zelenjava, P – plodovke, S – sadje in grozdje). Črna barva pomeni vrednosti pod povprečjem, bela povprečne vrednosti, rdeča pa nad povprečjem za posamezni radionuklid.

Tabela 6.3: Okvirna poraba živil po skupinah na člana gospodinjstva glede na podatke NIJZ ([83], [84])

Živilo	**SI.Menu 2017/2018 Populacijske skupine**			
	Dojenčki	**Mladostniki**	**Odrasli**	**Starejši odrasli (nad 65 let)**
	Povprečje (kg/leto)			
Jajca in meso	23	56	68	58
Mleko (samo mleko)	46	41	23	20
Podzemna zelenjava (krompir)	17	28	29	30
Listna zelenjava	2,9	6,7	14	13
Plodovke	7,2	12	19	18
Žito (nepredelani žitni izdelki, moka in kruh)	24	47	49	52
Sadje in vino	72	77	82	101

OCENA UČINKOV

Oceno doznih obremenitev prebivalstva[23] zaradi zaužitja hrane, ki jih povzročajo posamezni radionuklidi, dobimo, če specifično aktivnost posameznega radionuklida v hrani pomnožimo z doznim pretvorbenim faktorjem $h(g)_i$, specifično aktivnostjo posameznega radionuklida a_i in letno porabo posamezne vrste hrane m_i (glej postopek *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*):

$$E_{50-70,\,i} = a_i\, h(g)_i\, m_i \ \ (\mu\text{Sv}) \qquad (6.1)$$

Celotna predvidena efektivna doza pri uživanju hrane je vsota prispevkov doz ob zaužitju posamezne vrste hrane. Podatki za letno porabo posamezne skupine živil glede na starostne skupine (dojenčki, mladostniki, odrasli) so prikazani v tabeli 6.3. Temeljijo na povprečni količini porabljenih živil in pijač na člana gospodinjstva, ki jo je pripravil NIJZ za 2017/2018.

Pri oceni sevalne obremenitve referenčne osebe v okolici NEK smo privzeli, da le-ta uživa hrano, pridelano na krško-brežiškem področju, pri oceni sevalne obremenitve referenčne osebe iz drugih območij v Sloveniji pa smo privzeli, da oseba uživa hrano s celotnega območja Slovenije.

Pri oceni sevalne obremenitve prebivalcev v okolici NEK in drugod po Sloveniji smo upoštevali podatke porabe posameznih skupin živil po starostnih skupinah, predstavljenih v tabeli 6.3.

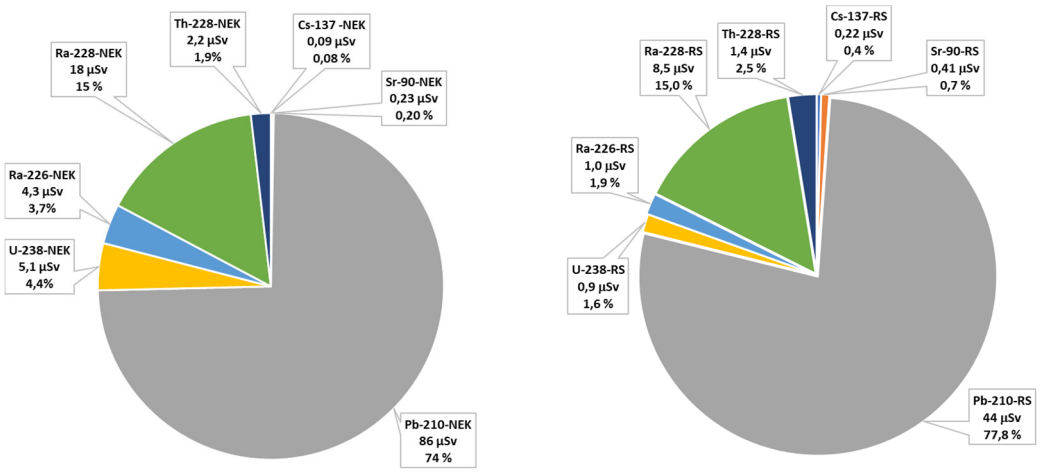
Republiški program nadzora radionuklidov v hrani predvideva vzorčenje hrane, pridelane v Sloveniji, medtem ko hrana, ki prihaja iz uvoza, ni natančneje kontrolirana, tako da podatki o vsebnosti radionuklidov niso znani in je zato težko oceniti dejanske doze, ki jih prebivalci prejmejo zaradi zaužitja hrane. Zato je letna efektivna doza zaradi zaužitja hrane izračunana ob privzetku, da prebivalci uživajo le hrano, pridelano na krško-brežiškem področju. Pri izračunu doze, prejete zaradi C-14, pa privzamemo, da prebivalci uživajo hrano iz notranjega kroga NEK (ograja NEK) in zunanjega kroga (rob izključitvenega območja) dva meseca v letu, drugih 10 mesecev pa hrano od drugod (Dobova).

Efektivna doza pri C-14 se nanaša na hrano in ne na posamezno vrsto hrane, saj se specifične aktivnosti C-14 v raznih vrstah sadja ali zelenjave ne razlikujejo. Tako ima tudi hrana živalskega izvora enako specifično aktivnost, če se živali prehranjujejo z rastlinami iz okolice NEK. C-14 je namreč del organskih molekul v organizmih, medtem ko drugi radionuklidi (Cs-137, K-40...) ne spadajo med strukturne elemente. Govorimo o zamenjavi atomov C-12 z atomi C-14 v organskih molekulah.

Ocenili smo, da je bila efektivna doza za odrasle referenčne osebe ob zaužitju vseh vrst vzorčene hrane zaradi prisotnosti radionuklidov Cs-137, Sr-90, Pb-210, U-238, Ra-226, Ra-228 in Th-228 v letu 2024 v okolici NEK (116 ± 69) μSv, skupaj s K-40 pa (294 ± 109) μSv. Razlike v skupnih dozah po letih se pojavljajo predvsem zaradi razlik v dozah, prejetih zaradi naravnih radionuklidov, kot so K-40, Pb-210, U-238 in Ra-228, ki so odvisne od specifične aktivnosti teh radionuklidov in porabe živil iz posameznih skupin. Drugod po Sloveniji je bila efektivna doza odrasle osebe zaradi zaužitja brez K-40 (57 ± 27) μSv, s K-40 pa (158 ± 48) μSv. V nadaljevanju obravnavamo doze za odrasle referenčne osebe, izračunane po skupinah živil.

Prispevki posameznih radionuklidov k efektivni dozi za odraslo osebo v letu 2024 v okolici NEK in drugod po Sloveniji so prikazani na sliki 6.8 levo, pri čemer ni upoštevana efektivna doza, prejeta zaradi K-40. K skupni efektivni dozi brez K-40 je v okolici NEK največ prispeval Pb-210 (74 %), najmanj pa Cs-137 (0,1%) in Sr-90 (0,2 %). Drugod po Sloveniji (slika 6.8 desno) je k skupni efektivni dozi brez K-40 največ prispeval Pb-210 (78 %), najmanj pa Cs-137 (0,2%) in Sr-90 (0,4 %). Deleži radionuklidov so primerljivi z vzorčenji iz preteklih let.

[23] Za oceno obremenitve prebivalstva zaradi izpustov iz jedrskega objekta se uporablja referenčna oseba kot posameznik iz prebivalstva, ki prejema ali bi lahko prejel najvišje doze pri pri čemer niso upoštevane osebe s skrajnimi in redkimi navadami [8].



Slika 6.8: Prispevki posameznih radionuklidov k skupni efektivni dozi (µSv), izračunani za odraslo osebo zaradi radionuklidov v hrani, po anketi porabe člana gospodinjstva, izvedeni v okolici NEK, in po podatkih SURS drugod po Sloveniji. *Levo:* v okolici NEK v letu 2024; *desno:* drugod po Sloveniji v letu 2024. Efektivne doze so bile izračunane za posamezne skupine živil. Skupna efektivna doza zaradi radionuklidov v hrani brez upoštevanja K-40 je bila v okolici NEK v letu 2024 116 µSv, drugod po Sloveniji pa 57 µSv.

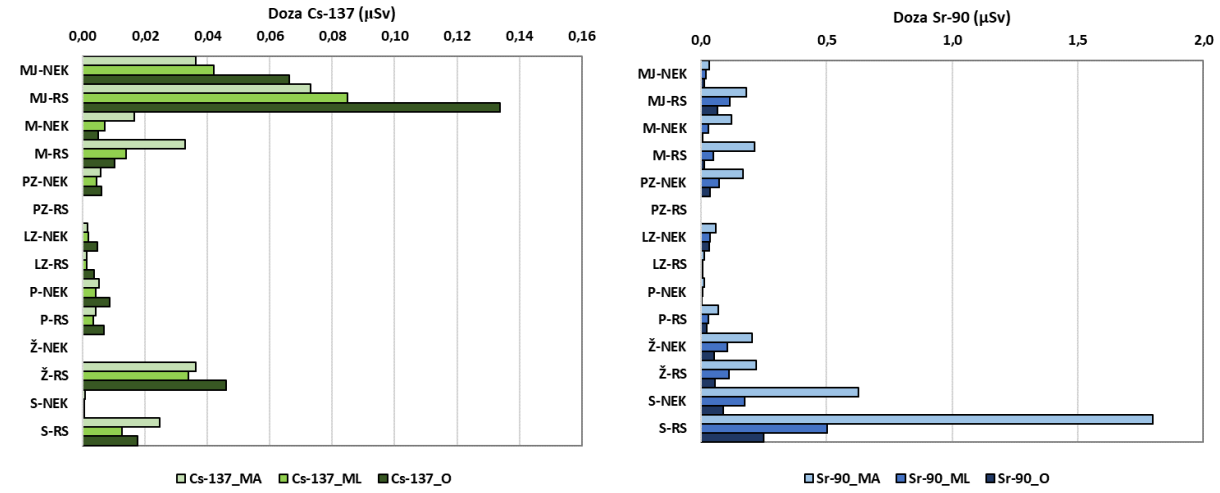
Umetni radionuklidi

Skupna letna efektivna doza za odraslo referenčno osebo, malčke in mladostnike zaradi vsebnosti Cs-137 v hrani je bila v letu 2024 v okolici NEK 0,1 µSv in drugod po Sloveniji 0,2 µSv. Skupna efektivna doza za odraslo referenčno osebo zaradi vsebnosti Sr-90 v hrani pa je bila v letu 2024 v okolici NEK 0,2 µSv in drugod po Sloveniji 0,4 µSv, za malčke 1,2 µSv in 2,5 µSv, za mladostnike pa 0,4 µSv in 0,8µSv. V okolici NEK je bil delež letne efektivne doze zaradi umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 pri uživanju hrane za odraslo referenčno osebo 0,3 % (0,1 % od Cs-137 in 0,2 % od Sr-90) od celotne prejete efektivne doze (116 µSv brez K-40). Drugod po Sloveniji je bil delež letne efektivne doze zaradi umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 pri uživanju hrane 1,1 % (0,4 % od Cs-137 in 0,7 % od Sr-90) glede na celotno prejeto efektivno dozo (57 µSv brez K-40), kar je z biološkega vidika zanemarljivo.

K letni dozi, prejeti zaradi umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 v hrani v okolici NEK (0,3 µSv in drugod po Sloveniji 0,6 µSv), je največ prispevalo prehranjevanje z mesom (Cs-137 in Sr-90) in sadjem (Sr-90) (slika 6.9).

V zračnih izpustih, ki jih v okolje spušča NEK, sta bili v letu 2024 aktivnosti Cs-137 in Sr-90 zelo majhni (1,1 MBq, 0,6 kBq). V vzorcih jabolk in hrušk iz neposredne bližine NEK (sadovnjak ob ograji) je bila vsebnost Cs-137 v letu 2024 manj kot 0,001 Bg/kg, vsebnost Sr-90 pa manj kot 0,1 Bq/kg, kar je primerljivo z vsebnostmi v drugih živilih, vzorčenih v okolici NEK in po Sloveniji.

V zračnih in tekočinskih izpustih NEK smo v letu 2024 zaznali tudi naslednje umetne radionuklide, ki niso del globalne kontaminacije: Mn-54, Co-57, Co-58, Co-60, Se-75, I-131, I-133 in Te-127m. Vendar so bile koncentracije aktivnosti teh radionuklidov v okolju tako nizke, da tudi v letu 2024 ti radionuklidi v živilih niso bili detektirani.



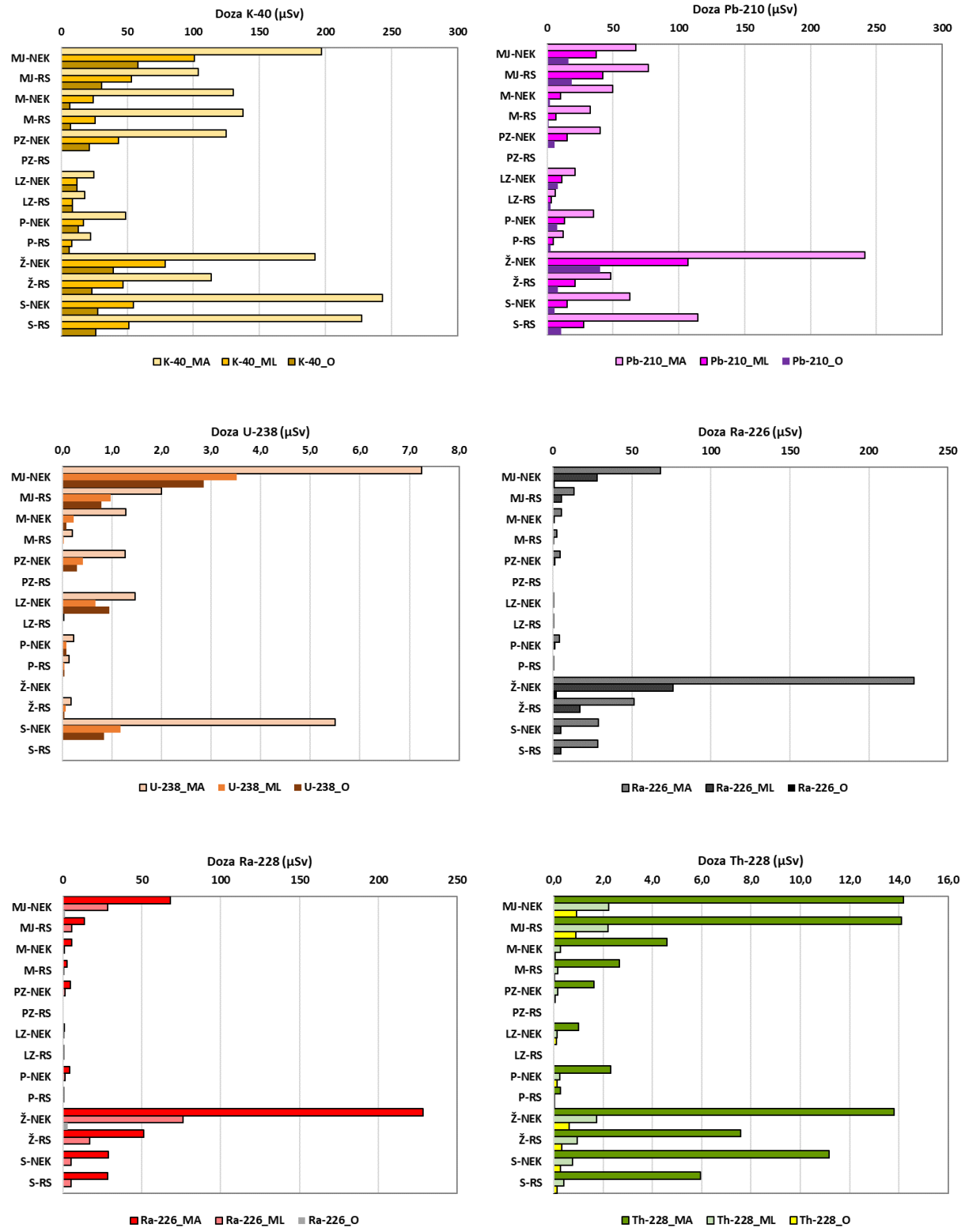
Slika 6.9: Izračunane efektivne doze (µSv) za dojenčke (MA), mladostnike (ML) in odraslo osebo (O) zaradi Cs-137 in Sr-90 v različnih skupinah živil, vzorčenih v okolici NEK in drugod po Sloveniji. Skupna efektivna doza zaradi Cs-137 in Sr-90 v hrani je bila v okolici NEK v letu 2024 za odraslo referenčno osebo 0,3 µSv (Cs-137: 0,1 µSv, Sr-90: 0,2 µSv), drugod po Sloveniji pa 0,6 µSv (Cs-137: 0,2 µSv, Sr-90: 0,4 µSv). Za malčke v okolici NEK 1,3 µSv (Cs-137: 0,1 µSv, Sr-90: 1,2 µSv) in drugod po Sloveniji 2,7 µSv (Cs-137: 0,2 µSv, Sr-90: 2,5 µSv), za mladostnike v okolici NEK 0,5 µSv (Cs-137: 0,1 µSv, Sr-90: 0,4 µSv) in drugod po Sloveniji 1,0 µSv (Cs-137: 0,2 µSv, Sr-90: 0,8 µSv).

Naravni radionuklidi

V splošnem k skupni efektivni dozi zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov največ prispeva prehranjevanje z mesom, žiti in sadjem (slika 6.10), najmanj pa s plodovkami in listno zelenjavo.

Skupna letna efektivna doza zaradi K-40 je bila za referenčno odraslo osebo v letu 2024 v okolici NEK 178 µSv in drugod po Sloveniji 101 µSv, za malčke 961 µSv in 623 µSv, za mladostnike pa 33 µSv in 13 µSv. Količina kalija v telesu se uravnava homeostatsko, pri čemer se odvečne količine izločijo prek ledvic. Pri odraslih je vsebnost kalija v telesu 0,18 %, pri otrocih pa 0,20 %. Ob upoštevanju deleža K-40 glede na K-39 (0,0117 % naravne izotopske vsebnosti), specifične aktivnosti K-40 (2,6 E+08 Bq/kg) in doznega pretvorbenega faktorja 3 µSv na leto na Bq/kg je po podatkih UNSCEAR letna doza, ki jo prejmejo odrasli zaradi K-40 165 µSv, letna doza, ki jo prejmejo otroci, pa 185 µSv. K vnosu K-40 v telo je v letu 2024 največ prispevalo prehranjevanje z mesom, žiti in sadjem, najmanj K-40 pa je bilo v listni zelenjavi in plodovkah (slika 6.10).

Skupna letna efektivna doza zaradi Pb-210 v hrani je bila za referenčno odraslo osebo v letu 2024 v okolici NEK 86 µSv in drugod po Sloveniji 44 µSv, za malčke 518 µSv in 291 µSv in za mladostnike 209 µSv in 106 µSv, kar je v okviru razsutja podatkov primerljivo z referenčno vrednostjo UNSCEAR [40] in meritvami iz preteklih let. Prejeta efektivna doza v okolici NEK zaradi Pb-210 se z leti močno spreminja, od 6,8 µSv v letu 2006 do 86 µSv v letu 2024. Pb-210 lahko prehaja iz tal v rastline prek koreninskega sistema, vendar se večina zadrži v koreninah in le slabo prehaja v nadzemne dele, sploh pa v semena in plodove [82]. Vsebnost Pb-210 v nadzemnih delih je tako večinoma posledica usedanja Pb-210 iz zraka. Usedline z rastlinskih organov lahko odstranimo s pranjem (predvsem zelenjave in sadja), v primeru trave (krme) in žit, ki jih pred uporabo ne peremo, pa je vsebnost povezana z različnimi okoljskimi dejavniki, kot so količina padavin, vetrovnost itd. Iz meritev v letu 2024 je razvidno, da je k letni dozi zaradi Pb-210 v hrani v okolici NEK največ prispevalo zaužitje žit, drugod po Sloveniji pa zaužitje sadja (slika 6.10).



Slika 6.10: Izračunane efektivne doze za malčke (MA), mladostnike (ML) in odrasle osebe (O) zaradi K-40, Pb-210, Ra-226, Ra-228, U-238 in Th-228 (µSv) v različnih skupinah živil, vzorčenih v okolici NEK in drugod po Sloveniji v letu 2024

Efektivna doza zaradi vsebnosti U-238 v hrani je bila za referenčno odraslo osebo v letu 2024 v okolici NEK 5,1 μSv, drugod po Sloveniji pa 0,9 μSv, za malčke 17 μSv in 2,6 μSv, za mladostnike pa 6,1 μSv in 1,1 μSv. K tej dozi je največ prispevalo prehranjevanje z mesom in sadjem (slika 6.10). Efektivna doza zaradi vsebnosti Ra-226 v hrani je bila za referenčno odraslo osebo v okolici NEK 4,3 μSv, drugod po Sloveniji 1,1 μSv, za malčke 341 μSv in 96 μSv, za mladostnike pa 113 μSv in 28 μSv. Zaradi vsebnosti Ra-228 je bila efektivna doza v okolici NEK 18 μSv in drugod po Sloveniji 8,5 μSv, za malčke 359 μSv in 177 μSv, za mladostnike pa 87 μSv in 42 μSv. K letni dozi, prejeti zaradi Ra-226 in Ra-228, je največ prispevalo prehranjevanje z žiti (slika 6.10). Ra-226 in Ra-228 sta bila skoraj v vseh hranilih v okolici NEK nad mejo kvantifikacije, kar je v skladu z radiološkimi nadzornimi meritvami NEK v preteklih letih in primerljivo z vsebnostmi Ra-226 in Ra-228 v hrani drugod po Sloveniji. Efektivna doza zaradi vsebnosti Th-228 v hrani v okolici NEK je bila za referenčno odraslo osebo 2,2 μSv, drugod po Sloveniji pa 1,4 μSv, za malčke 49 μSv (okolica NEK) in 31 μSv (drugod po Sloveniji), za mladostnike pa 5,5 μSv (okolica NEK) in 3,7 μSv (drugod po Sloveniji), vendar je prispevek Th-228 k skupni efektivni dozi zaradi kratkega razpolovnega časa in izjemno nizkih vsebnosti z biološkega vidika zanemarljiv. K letni dozi, prejeti zaradi Th-228, je največ prispevalo prehranjevanje z mesom, žiti in sadjem(slika 6.10).

C-14

V izpustih NEK sta tudi C-14 in tritij, ki se v ekosistemih sicer pojavljata kot naravna radionuklida. Nastajata namreč v zgornjih plasteh atmosfere v jedrskih reakcijah zaradi kozmičnega sevanja. C-14 se v rastline vgrajuje v procesu fotosinteze, v živalski in človeški organizem pa prehaja z uživanjem predvsem rastlinske hrane. V letih od 2006 do 2024 so potekale meritve C-14 tako v izpustih kot bioloških vzorcih, zbranih v okolici NEK, analize so bile opravljene na IRB v Zagrebu. Vzorčenje jabolk, hrušk, koruze, oljne repice je bilo opravljeno v juliju in septembru. Efektivna doza zaradi prisotnosti C-14 v hrani je bila ob ograji NEK ocenjena na (14,8 ± 0,4) μSv, v okolici NEK (na razdalji do 1 km od osi reaktorja) (14,4 ± 0,1) μSv. Ocenjena efektivna doza za okolico NEK je (14,3 ± 0,2) μSv, kjer upoštevamo, da prebivalci uživajo hrano iz neposredne bližine NEK (blizu roba izključitvenega območja) dva meseca v letu, drugih 10 mesecev pa hrano od drugod (Dobova). Na kontrolni točki v Dobovi, kjer učinka NEK ni, pa je ocenjena efektivna doza (14,3 ± 0,3) μSv, kar je primerljivo v okviru relativne merske negotovosti (5,5 %) in naravne variabilnosti. Ocenjena doza (14,3 μSv) je prispevek naravnega C-14 in C-14 zaradi jedrskih poskusov v preteklosti, v razmerju 40 % proti 60 % [87]. Ocenjena letna efektivna doza zaradi C-14 iz NEK je (0,04 ± 0,01) μSv.

Efektivni dozi v okolici NEK in v Dobovi sta izračunani glede na podatek, da povprečen prebivalec (referenčna oseba) v Sloveniji porabi 330 kg hrane na leto, kar je več, kot predvideva 29. člen *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih* [10], kjer je privzeto 250 kg, če masa in sestava zaužite hrane za referenčno osebo ni znana. Ocena deleža ogljika v hrani je 30 %, kar pri porabi 330 kg pomeni, da se v organizem s hrano vnese 100 kg ogljika letno. V omenjenem modelu tudi predpostavimo, da prebivalci uživajo hrano iz neposredne okolice NEK dva meseca v letu, drugih 10 mesecev pa hrano od drugod (Dobova). Iz tega izhaja, da tudi v primeru računanja efektivne doze zaradi C-14 privzamemo, da prebivalci uživajo hrano, pridelano na krško-brežiškem področju (od ograje NEK in navzven do Dobove). Razlika med računanjem doze zaradi C-14 in doze zaradi vnosa drugih radionuklidov v hrano je v tem, da se za C-14 upošteva utežno povprečje specifične aktivnosti C-14 glede na lokacijo vzorčenja, za druge radionuklide pa zaradi različnega načina vzorčenja to ni mogoče. Efektivna doza pri C-14 se nanaša na hrano in ne na posamezno vrsto hrane, saj se specifične aktivnosti C-14 (v Bq na kilogram ogljika) v raznih vrstah živil ne razlikujejo. Razmerje med izotopoma C-14 in C-12 je namreč v vseh organizmih konstantno in sledi razmerju med izotopoma v atmosferi.

SKLEPI

V letu 2024 je bilo opravljenih 29 meritev različnih vrst hrane iz okolice NEK. Zelenjavo, žita in sadje smo vzorčili od maja do oktobra, odvzem mesa in jajc je bil v februarju in aprilu, mleko pa je bilo vzorčeno mesečno. Nadzor vsebnosti v hrani drugod po Sloveniji so izvedli na ZVD v okviru programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2024, kjer je bilo opravljenih 18 meritev različnih vrst hrane [15].

Ocenili smo, da je bila letna efektivna doza za odraslo referenčno osebo v okolici NEK zaradi vsebnosti umetnih in naravnih radionuklidov v hrani, pridelani na krško-brežiškem polju v letu 2024, brez upoštevanja K-40 116 μSv, z upoštevanjem K-40 pa 294 μSv. Največji delež k skupni efektivni dozi zaradi zaužitja hrane, brez upoštevanja K-40, prispevajo naravni radionuklidi (99,7 %): Pb-210 (74%), Ra-228 (15,4 %), U-238 (44%), Ra-226 (3,7%) in Th-228 (1,8 %). Največji delež k celotni dozi 116 μSv je prispevalo prehranjevanje z žiti, sadjem in mesom. Glavni vir vnosa Cs-137 in Sr-90 je bilo v letu 2024 meso in sadje.

Deleža letnih efektivnih doz glede na celotno prejeto efektivno dozo pri uživanju hrane zaradi radionuklidov sta bila za umetna radionuklida Cs-137 in Sr-90 0,1 % in 0,2 % (0,3 % skupne doze), kar je z biološkega vidika zanemarljivo [90]. Iz grafov, predstavljenih v tem poglavju, lahko ugotovimo, da se vsebnosti obeh radionuklidov v vseh hranilih, ki se vzorčujejo na krško-brežiškem polju, še naprej zmanjšujeta. Zmanjševanje vsebnosti Cs-137 je, glede na rezultate meritev specifične aktivnosti v hrani po Sloveniji v prejšnjih letih in glede na podatke iz diplomskega dela [81], manj izrazito v gozdnih ekosistemih.

Med detektiranimi radionuklidi v zračnih izpustih NEK so tudi drugi umetni radionuklidi, ki pa jih v hrani v letu 2024 nismo detektirali, zato učinek zračnih izpustov NEK v hrani ni neposredno določljiv. Izračuni letnih efektivnih doz zaradi zaužitja hrane, ki vsebuje umetne in naravne radionuklide, so pokazali, da je delež efektivne doze v letu 2024 v okolici NEK zaradi umetnih radionuklidov glede na celotno efektivno dozo zaradi vseh radionuklidov v hrani 0,3-odstoten, po Sloveniji pa 1,1-odstoten, kar je z biološkega vidika zanemarljivo. Od tod izhaja, da je prejeta efektivna doza zaradi zaužitja hrane v glavnem posledica vnosa naravnih radionuklidov.

Izračunane efektivne doze v letu 2024 veljajo pri pogoju, da referenčna oseba uživa samo hrano, pridelano na krško-brežiškem polju. Ocena velja tako za umetne in naravne radionuklide, kot tudi za C-14, ki pa se zaradi narave mehanizma zamenjave atomov C-12 z atomi C-14 v organskih molekulah organizmov obravnava ločeno. Zaradi tega pri obravnavi podatkov o vsebnosti C-14 (v Bq na kilogram ogljika) v hrani ni treba razlikovati med posameznimi vrstami hrane, saj je razmerje med C-14 in C-12 konstantno pri vseh organizmih in sledi razmerju v atmosferi. Pri oceni letne efektivne doze bi bilo treba upoštevati delež samooskrbe prebivalcev, saj je iz podatkov o samooskrbi prebivalstva v Sloveniji razvidno, da prebivalci večji del hrane kupijo, hrana pa prihaja bodisi z drugih področij Slovenije ali iz uvoza. Republiški program nadzora radionuklidov v hrani predvideva vzorčenje hrane, pridelane v Sloveniji, medtem ko hrana, ki prihaja iz uvoza, ni analizirana na vsebnost radionuklidov. Tako podatki o vsebnosti radionuklidov v hrani iz uvoza niso znani in je težko oceniti dejanske doze, ki jih prebivalci dobijo zaradi zaužitja hrane. Kot kažejo rezultati primerjave vsebnosti radionuklidov v hrani s krško-brežiškega območja s tistimi drugod po Sloveniji, učinka delovanja NEK na vsebnost radionuklidov v hrani ni zaznati, oziroma je zanemarljivo majhen.

Edini radionuklid, ki ga sistematično merimo v okolju in je zagotovo vsaj delno posledica plinastih in tekočinskih izpustov NEK, je tritij (H-3), vendar njegove prisotnosti v hrani v okviru merilnega nadzora nismo ugotavljali. Študija raziskovalcev IJS iz leta 2017 je pokazala, da se v rastlinju (jabolkih) v neposredni bližini NEK (rob izključitvenega območja in navzven) detektirajo vsaj 6-krat povečane koncentracije aktivnosti tritija glede na kontrolno mesto vzorčenja. Dozna obremenitev prebivalstva zaradi vsebnosti organsko vezanega tritija (OBT) v hrani je z biološkega stališča zanemarljiva.

7 REFERENCE

[1] Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2023, interna oznaka 15/2024, Ljubljana, april 2024

[2] Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2014, interna oznaka 5/2015, Ljubljana, marec 2015

[3] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2007, Ljubljana, interna oznaka 25/2007, ISSN 1318-2161, marec 2008

[4] Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2010, interna oznaka 12/2011, Ljubljana, marec 2011

[5] Mesečna poročila o radioaktivnih emisijah in dozi, NEK, NEK-RETS, Rev. 14, Table 5.9.1, 2016–2024

[6] Poročilo o meritvah plinastih efluentov v letu 2024, št. poročila 9/2025, IJS, februar 2025

[7] Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1), Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23

[8] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti, Uradni list RS, št. 27/18

[9] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi, Uradni list RS, št. 74/15, 76/17 in 104/20

[10] Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji, Uradni list RS, št. 18/18

[11] Uredba o območjih omejene rabe prostora zaradi jedrskega objekta in o pogojih gradnje objektov na teh območjih (UV3), Uradni list RS, št. 78/19

[12] Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz, Uradni list RS, št. 47/18 in 30/21

[13] Projektna naloga Neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa NE Krško za leto 2024, URSJV, št. 430-1/2024/2 z dne 7. 2. 2024

[14] Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja, ZVD, Zavod za varstvo pri delu, LMSAR-20230024-AŽ-rev1, 2023

[15] Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije umetni radioaktivnosti v letu 2024, ZVD, Zavod za varstvo pri delu, LMSAR-20240004-MG, marec 2024

[16] Poročilo o izvajanju monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v obdobju januar–december 2024, ZVD Zavod za varstvo pri delu, LMSAR-20230049-D-MG, januar 2025

[17] Poročilo o izvajanju monitoringa radioaktivnosti živil v Republiki Sloveniji v obdobju januar–december 2024 – 3. faza (sklop 1), ZVD Zavod za varstvo pri delu, LMSAR-20240064-3-MŠ, januar 2025

[18] Letno poročilo o opravljenih meritvah aktivnosti sevalcev gama in beta, Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto 2024, IJS, 10/2025, februar 2025

[19] Ovrednotenje merskih podatkov o radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2024, IJS-DP-15006 , februar 2025

[20] Poročilo o meritvah radioaktivnosti pitne vode v letu 2024, št. poročila 73/2024, IJS, november 2024

[21] J. Barešić, Izvješće o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u okolišu Nuklearne elektrane Krško tijekom 2024. godine, LNA-3/2025, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvaška, 12. 3. 2025

[22] J. Barešić, Izvješće o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u Savi i ribi tijekom 2024. godine, LNA-2/2025,

Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvaška, 20. 2. 2025

[23] J. Barešić, Izvještaj o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u vodi WMT2, kvartalni uzorci 2024, LNA-4/2025, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvaška, 12. 3. 2025

[24] Radiation Protection No 152, EU Scientific Seminar 2007, "Emerging Issues on Tritium and Low Energy Beta Emitters", Proceedings of a scientific seminar held in Luxembourg on 13 November 2007

[25] Cinelli, G., De Cort, M. & Tollefsen, T. (Eds.), European Atlas of Natural Radiation, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2019

[26] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)

[27] Izpostavitve referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo – Nova referenčna lokacija, IJS-DP-10114 (2009)

[28] Samo Škrlec, Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o., sporočilo po elektronski pošti, 9. 4. 2020

[29] Dose calculation and dilution modelling of run-of-river Brežice hydro plant accumulation št. TO.RZ-5/2020

[30] M. Četina, Tridimenzionalni matematični baroklini model za izračun tokov v jezerih in morju, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer, Ljubljana, 1992

[31] M. Četina, R. Rajar, A. Širca, D. Ţagar, PCFLOW3D, User's Manual, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin, Ljubljana,1999

[32] J. Kovšca, 2007, Dopolnitve modela PCFLOW3D za simulacijo tokov in širjenja polutantov., diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer, Ljubljana, 2007

[33] B. Zorko, R. Rajar, G. Omahen, A, Širca, M. Četina, V. Hatič, Program za računanje efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov iz NEK št. 164/2022

[34] M. Mihalina, Vpliv tekočinskih izpustov NE Krško na najbolj izpostavljeno skupino, Poročilo številka NEK ESD-TR-05/08, Rev. 0, maj 2008

[35] HE Brežice / Sanacija vplivov na NEK - Verifikacija in morebitne analize povratnih tokov v profilu NEK po vzpostavitvi zajezitve HE Brežice, IBE in FGG, april 2019

[36] R. Rajar, Verifikacija numeričnega modela PCFLOW3D, julij 2021

[37] ICRP Publication 124, Protection of the Environment under Different Exposure Situations, Ann. ICRP 43(1), 2014

[38] ICRP Publication 101a, Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process, Ann. ICRP 36 (3), 2006

[39] IAEA Safety Guide 427, Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities, Draft safety guide DS427, 2016

[40] UNITED NATIONS, Sources and effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, (UNSCEAR), YN, New York, 2000

[41] COUNCIL DIRECTIVE 2013/51/EURATOM of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption, L 296/12, Official Journal of the European Union

[42] ISO/IEC Guide 98-3 2008 - Uncertainty of measurement -- Part 3, Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM, 1995)

[43] ISO 4037-3:2019 - Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence

[44] C. Kunz, Carbon-14 discharges at three light-water reactors, Health Physics, 49 (1985), 25–35

[45] Delavnica z naslovom C-14 u okolišu (C-14 v okolju), organizirana na IJS dne 9. 12. 2015, predavateljici: I. Krajcar Bronić in J. Barešić

[46] T. Petrovič, Določitev referenčnih aktivnosti radionuklida K-40 v različnih vzorcih, magistrsko delo, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, avgust 2010

[47] A. Kovačič et al., Strokovne podlage za razglasitev ogroženosti podzemne vode v Republiki Sloveniji, 2002

[48] https://www.kostak.si/images/1-2022/voda2021.pdf

[49] https://www.komunala-brezice.si/datoteke/navigacija/zu7qah12-porocilo-o-kakovosti-2021.pdf]

[50] https://www.vokasnaga.si/sites/www.jhl.si/files/dokumenti/voka_snaga_letno_porocilo_2021_s_podpisi_010422.pdf

[51] R. Jamnik, Matematična statistika, Državna založba Slovenije, 1980

[52] M. Yoshimori, Production and behavior of beryllium 7 radionuclide in the upper atmosphere, Advances in Space Research, 36 (2005), 922–926

[53] P. Vreča, I. Krajcar Bronić, A. Leis, M. Demšar, Isotopic composition of precipitation at the station Ljubljana (Reaktor), Slovenia – period 2007–2010, GEOLOGIJA 57/2, 217–230, Ljubljana 2014, doi:10.5474/geologija.2014.019

[54] B. Breznik, M. Božnar, P. Mlakar, G. Tinarelli, Dose projection using dispersion models, 8th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 14–17 October 2002, Sofia, Bulgaria, Int. J. Environ. Pollut., 20 (2004), 278–285

[55] P. Mlakar, M. Božnar, B. Breznik, A. Kovač, Modelling of air pollutant releases from the Krško Nuclear Power Plant, 4th Regional Meeting Nuclear Energy in Central Europe, Bled, Slovenia, 7–10 September 1997. Proceedings. Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia, 1997, 137–144

[56] M. Božnar, P. Mlakar, B. Breznik, Advanced modeling of potential air pollution dispersion around Krško NPP using 3D wind field reconstruction and Lagrangean particle model, International Conference Nuclear Energy for New Europe 2003, 8–11 September 2003, Portorož, Slovenija. Proceedings. Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia, 2003, str. 602

[57] M. Božnar, P. Mlakar, B. Breznik, G. Tinarelli, Use of Lagrangean particle model for air pollution dispersion for radioactive risk assessment in complex terrain, Sixth Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS) and Sixth European Conference on Applied Climatography (ECAC) : Ljubljana, Slovenia, 4–8 September 2006, (EMS annual meeting abstracts, Volume 3). Ljubljana: European Meteorological Society, Agencija RS za okolje, 2006

[58] B. Zorko, M. Korun, J. C. M. Canadas, V. Nicoulaud Gouin, P. Chyly, A. M. Blixt Buhr, C. Lager, K. Aquilonius and P. Krajewski, Systematic influences of gamma-ray spectrometry data near the decision treshold for radioactivity measurements in the environment, Journal of Environmental Radioactivity, 158–159 (2016), 119–128

[59] S. Širca, Verjetnost v fiziki, DMFA – založništvo, Ljubljana 2016

[60] European Commission recommendation on standardized information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation. Euratom Off. J. Eur. Union., 2004, pp L2:32

[61] International Atomic Energy Agency, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, IAEA Safety Reports Series No. 19, Dunaj, 2001

[62] Treaty establishing the European Atomic Energy Community (Euratom)

[63] S. Stoulos et al., Post-Chernobyl Cs-137 in the atmosphere of Thessaloniki: a consequence of the financial crisis in Greece, Journal of Environmental Radioactivity, 128 (2014), 68–74

[64] Povprečna mesečna koncentracija delcev PM_{10} v letu 2013, ARSO, januar 2014, http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec013_slo.pdf

[65] Bossew, P & Gering, F & Petermann, Eric & Hamburger, T & Katzlberger, Christian & Hernández Ceballos, Miguel Ángel & De Cort, Marc & Gorzkiewicz, Krzysztof & Kierepko, Renata & Mietelski, J. (2019). An episode of Ru-106 in air over Europe, September–October 2017 – Geographical distribution of inhalation dose over Europe. Journal of Environmental Radioactivity. 205-206. 79-92. 10.1016/j.jenvrad.2019.05.004.

[66] A. Volčanšek, komunikacija po elektronski pošti dne 3. 4. 2018

[67] Implied doses to the population of the EU arising from reported discharges from EU nuclear power stations and reprocessing sites in the years 1997 to 2004, Radiation Protection 153, European Comission, Bruselj, 2008

[68] B. Zorko, M. Korun, B. Črnič, B. Vodenik, S. Gobec, Influence of solar activity on ambient dose equivalent H*(10) measured with thermoluminiscent dosimeters in Slovenia, Arh. Hig. Rada Toksikol. 72 (2021) 23–28, doi:10.2478/aiht-2021-72-3475

[69] A. Likar, T. Vidmar, B. Pucelj, Monte Carlo Determination of Gamma-ray Dose Rate with the GEANT System, Health Physics, 75 (1998), 165–169

[70] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003

[71] B. Zorko, S. Miljanić, B. Vekić, M. Štuhec, S. Gobec, M. Ranogajec - Komor, Intercomparison of dosimetry systems based on CaF_2: Mn TL-detectors, Radiat. Protect. Dosim., 119 (2006), 300–305

[72] S. Miljanić, Ž. Knežević, M. Štuhec, M. Ranogajec - Komor, K. Krpan, B. Vekić, Energy Dependence of New Thermoluminescent Detectors in Terms of Hp(10) Values, Radiat. Protect. Dosim., 106 (2003), 253–256

[73] T. Sato, Analytical Model for Estimating the Zenith Angle Dependence of Terrestrial Cosmic Ray Fluxes, PLOS ONE, 11(8): e0160390 (2016)

[74] T. Sato, Analytical model for estimating terrestrial cosmic ray fluxes nearly anytime and anywhere in the world: Extension of PARMA/EXPACS, PLOS ONE, 10(12): e0144679. (2015)

[75] Program EXPACS, http://phits.jaea.go.jp/expacs/

[76] FRMAC, Assessment manual Tables, Charts, Worksheets, Glossary, references, Volume 2, SAND2003-1072P, Table 3.5

[77] S. Ehlken, G. Kirchner, Environmental process affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review. Journal of environmental radioactivity, 58 (2002), 97–112

[78] F. W. Whicker, Radionuclide transport processes in terrestrial ecosystems. Radiation research, 94 (1983), 135–150

[79] M. S. Yim, F. Caron, Life cycle and management of carbon-14 from nuclear power generation, Prog. Nucl. Energy, 48 (2006), 2–36, doi: 10.1016/j.pnucene.2005.04.002

[80] R. Krištof, S. Košenina, B. Zorko, J. Kožar Logar, Tritium in organic matter around Krško Nuclear Power Plant, Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, 314 (2017), 675–679, doi: 10.1007/s10967-017-5454-0

[81] P. Zakrajšek, Vsebnost kovin in radionuklidov v gobah na izbranih področjih v Sloveniji, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Biotehniška fakulteta, 2014

[82] H. Yang, P. G. Appleby, Use of lead-210 as a novel tracer for lead (Pb) sources in plants, Sci. Rep., 6 (2016) 1, 21707 doi: 10.1038/srep21707

[83] M. Gregorič, U. Blaznik, N. Delfar, M. Zaletel, D. Lavtar, B. Koroušić Seljak, P. Golja, K. Zdešar Kotnik, I. Pravst, N. Fidler Mis, S. Kostanjevec, M. Pajnkihar, T. Poklar Vatovec, A. Hočevar Grom, Slovenian national food consumption survey in adolescents, adults and elderly, National Institute of Public Health (NIJZ), EFSA supporting publication 2019:EN-1729, 2019, doi:10.2903/sp.efsa.2019.EN-1729

[84] U. Blaznik, M. Gregorič, N. Delfar, M. Zaletel, D. Lavtar, B. Koroušić Seljak, N. Fidler Mis, P. Golja, K. Zdešar Kotnik, I. Pravst, A. Hočevar Grom, Slovenian national food consumption survey on children (infants and toddlers), National Institute of Public Health (NIJZ), EFSA supporting publication 2019:EN-1728, 2019, doi:10.2903/sp.efsa.2019.EN-1728

[85] European Commision, Radiation Protection 106, Technical recommendations on measurements of external environmental gamma radiation doses, A report of EURADOS Working Group 12, EURADOS report 1999

[86] https://www.r-project.org/

[87] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-14

[88] ARSO podatki, http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/, 2024

[89] Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, Državna pregledna karta Republike Slovenije DPK250 1: 250000 – 2005

[90] J. F. Diehl, Radioactivity in food, Encycl. Food Sci. Nutr., Academic Press, 2003, 4903–4911, doi:10.1016/b0-12-227055-x/00997-4

[91] Program za računanje efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov iz NEK, verzija 3.0, IJS 9/2023

[92] ICRP Publication 108, Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants, Ann. ICRP 38 (4-6), 2008

IJS delovno poročilo
IJS-DP-15010
marec 2025

MERSKI REZULTATI – NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

POROČILO ZA LETO 2024

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija

Naročnik:	NE Krško, Vrbina 12, 8270 Krško
Izvajalci:	Institut "Jožef Stefan", Ljubljana Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana Zavod za varstvo pri delu, d. d. Pot k izviru 6, SI-1260 Ljubljana - Polje Institut Ruđer Bošković Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Hrvatska
Pogodbe štev.:	Pogodba IJS št. 3240052 in ZVD št. 3240174 Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) v Republiki Sloveniji za leta 2024–2028) z dne 24. 1. 2024 (za IJS in ZVD) Pogodba št. 3211884 z dne 13. 12. 2021 (za IRB)
Odgovorni nosilec:	doc. dr. Benjamin Zorko
Naslov poročila:	Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2024
Poročilo uredili:	mag. Denis Glavič – Cindro in dr. Helena Fajfar
Avtorji poročila:	*Avtorji na IJS:* M. Centrih, dipl. inž. fiz., B. Črnič, mag. med. fiz., mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. J. Kožar Logar, dr. R. Krištof, dr. M. Nečemer, P. Prem, prof. biol., dr. T. Petrovič, K. Poiškruh, mag. med. fiz., R. Roš Opaškar, dr. L. Rovan Stiplošek, B. Svetek, inž. kem. tehnol., doc. dr. M. Štrok, mag. B. Vodenik, doc. dr. B. Zorko *Avtorji na ZVD:* A. M. Črešnar mag. kem. teh., dr. M. Giacomelli, A. Ivanc, P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda, M. Levstek, dr. G. Omahen, L. Peršin, M. Podvratnik, univ. dipl. fiz., mag. med. fiz., M. Škrlep, mag. prof. fiz., J. Žnidaršič, dr. A. Žohar, mag. jed. teh. *Avtorji na IRB:* I. Balinović, dr. J. Barešić, mag. D. Borković, dr. I. Coha, dr. Ž. Grahek, M. Ivković, mag. kem., G. Karanović, dipl. inž., dr. Ž. Knežević, dr. K. Magdić Košićek, dr. I. Lovrenčić Mikelić, dr. M. Majer,, dr. M. Nodilo, A. Rajtarić, dr. A. Sironić, V. Trputec, dr. I. Tucaković, D. Žilić *Avtorji na MEIS:* dr. B. Grašič, dr. P. Mlakar, dr. M. Z. Božnar
Štev. del. poročila:	IJS-DP-15010

Izvedba projekta je usklajena z zahtevami programov za zagotovitev kakovosti pri posameznih izvajalcih.

NASLOV POROČILA: IJS-DP-15010
Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti marec 2025
v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2024

KLJUČNE BESEDE:
nadzor radioaktivnosti, vzorčevanje, meritve sevanja, meritve sevalcev gama in beta, visokoločljivostna spektrometrija gama, spektrometrija beta, zunanje sevanje, radioaktivno onesnaženje, identifikacija radionuklidov, dozimetrija, primerjalne meritve

POVZETEK:

V poročilu so zbrani vsi rezultati meritev radioaktivnosti v okolici NE Krško, ki so jih izvedli IJS, ZVD in IRB v letu 2024. Osnova za izvajanje obratovalnega nadzora je Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti JV10 (Ur. l. RS 27/2018, 5. 5. 2018). Program obsega meritve v okolju jedrske elektrarne (imisije – priloga 4, preglednica 3 iz pravilnika JV10). Podroben program meritev je določen v Tehnični specifikaciji za obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) v Republiki Sloveniji za leta 2024–2028, NEK, TS št. TO.RZ, 2/2023, Revizija 0, in dodatno v Radiological Effluent Technical Specifications (RETS) with Offsite Dose Calculation Manual (ODCM) and Process Control Program (PCP), NEK-RETS, Rev. 14, poglavje 3.12.

REPORT TITLE: IJS-DP-15010
Measurement results – surveillance of radioactivity March 2025
in the environment of Krško NPP - yearly report for 2024

KEYWORDS:
radioactiovioty surveillance, sampling, radioactivity measurements, gamma- and beta-ray emitters activity measurements, high resolution gamma-ray spectrometry, beta spectrometry, external radiation, radioactive contamination, radionuclide identification, dosimetry, intercomparison measurements

ABSTRACT:
In the report all measurement results provided by JSI, ZVD and IRB for radioactivity surveillance in the year 2024 in the environment of Krško NPP are presented. The legal basis for radioactivity monitoring is given in Rules on the monitoring of radioactivity (JV10) (Ur. l. RS 27/2018, 5. 5. 2018). The programme comprises measurements in the environment of NPP (imission measurements, Appendix 4, table 3 in regulation JV10). Detailed programme is determined in Technical specification for accomplishment of execution of environmental radioactovity monitoring of Krško NPP (drinking water, air, food, Sava river, precepitation, soil and external exposure to radiation with dose assessment) for years 2024–2028 in Republic of Slovenia, NEK, TS No. TO.RZ, 2/2023, Revision 0, and additionally in Radiological Effluent Technical Specifications (RETS) with Offsite Dose Calculation Manual (ODCM) and Process Control Program (PCP), NEK-RETS, Rev. 14, chapter 3.12.

IZVAJALCI MERITEV

INSTITUT "JOŽEF STEFAN" (IJS), LJUBLJANA

Koordinator projekta za IJS: doc. dr. Benjamin Zorko

Izvajalci na IJS:
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (Odsek F-2)
M. Centrih, dipl. inž. fiz., B. Črnič, mag. med. fiz., mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. J. Kožar Logar, dr. R. Krištof, dr. M. Nečemer, P. Prem, prof. biol., dr. T. Petrovič, K. Poiškruh, mag. med. fiz., R. Roš Opaškar, mag. B. Vodenik, doc. dr. B. Zorko

Odsek za znanosti o okolju (Odsek O-2)
dr. L. Rovan Stiplošek, B. Svetek, inž. kem. tehnol., doc. dr. M. Štrok

ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU (ZVD), LJUBLJANA

Koordinator projekta za ZVD: dr. Gregor Omahen

Izvajalci na ZVD:
A. M. Črešnar mag. kem. teh., dr. M. Giacomelli, A. Ivanc, P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda, M. Levstek, dr. G. Omahen, L. Peršin, M. Podvratnik, univ. dipl. fiz., mag. med. fiz., M. Škrlep, mag. prof. fiz., J. Žnidaršič, dr. A. Žohar, mag. jed. teh.

INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ (IRB), ZAGREB

Koordinator projekta za IRB - ZIMO: dr. Željko Grahek

Izvajalci na IRB – Zavod za istraživanje mora i okoliša, Laboratorij za radioekologiju (IRB–ZIMO–LRE):
I. Balinović, dr. I. Coha, dr. Ž. Grahek, M. Ivković, mag. kem., G. Karanović, dipl. inž., dr. K. Magdić Košićek, dr. I. Tucaković, D. Žilić

Izvajalci na IRB – Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivosti – Zavod za eksperimentalnu fiziku:
dr J. Barešić, mag. D. Borković, dr. I. Lovrenčić Mikelić, A. Rajtarić, dr. A. Sironić

Izvajalci na IRB – Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju –Zavod za kemiju materijala:
dr. Ž. Knežević, dr. M. Majer, dr. M. Nodilo, V. Trputec

IZVAJALCI EMISIJSKIH MERITEV ZNOTRAJ OGRAJE NE KRŠKO NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO (NEK), KRŠKO

Nosilec projekta za NE Krško: Daniel Novak, prof. fiz.

Izvajalci v NEK:
D. Mešiček, M. Pavlin, dipl. str., M. Simončič, univ. dipl. kem., M. Urbanč, B. Vene, kem. tehnik, A. Volčanšek, univ. dipl. kem., J. Žnideršič, dipl. kem.

IZVAJALCI IZRAČUNOV RAZREDČITVENIH IN DEPOZICIJSKIH KOEFICIENTOV SEVANJA IZ OBLAKA PO LAGRANGEEVEM MODELU, MEIS STORITVE ZA OKOLJE (MEIS), MALI VRH PRI ŠMARJU

Izvajalci v MEIS:
dr. B. Grašič, dr. P. Mlakar, dr. M. Z. Božnar

PROGRAM REDNEGA NADZORA RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2024

Osnova za izvajanje obratovalnega nadzora je *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti JV10* (pravilnik Ur. l. RS 27/18, 5. 5. 2018).

(i) Program obsega **meritve v okolju jedrske elektrarne (imisije – priloga 4, preglednica 3 iz pravilnika JV 10).**

V juliju 2017 se je poleg tedanjega rednega Obratovalnega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK začel izvajati tudi obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK zaradi HE Brežice. Podroben program vseh radioloških meritev je določen v *Tehnični specifikaciji za obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) v Republiki Sloveniji za leta 2024–2028,* NEK, TS št. TO.RZ, 2/2023, Revizija 0. Program teh meritev je skladen s programom, navedenim v *Radiological Effluent Technical Specifications (RETS) with Offsite Dose Calculation Manual (ODCM) and Process Control Program (PCP), NEK-RETS, Rev. 14, poglavje 3.12.*

Poleg imisijskih meritev so v poročilu obravnavane tudi **meritve tekočinskih in atmosferskih izpustov (emisije priloga 4, preglednici 1 in 2 iz pravilnika JV10)** v obsegu, ki omogoča vrednotenje imisijskih meritev in doz.

(ii) Označba Sr-90/Sr-89 pomeni, da ni bila narejena analiza na Y-90. Ločitev za Y-90 se izvede samo v primerih, ko iz ponovitev meritev Sr-90/Sr-89 ugotovimo, da je izmerjena hitrost štetja res manjša od predhodno določene in je ta razlika hitrosti štetja posledica radioaktivnega razpada Sr-89.

PROGRAM RADIOLOŠKIH MERITEV V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2024

1. VODA, REKA SAVA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Krško – 4 km vzvodno od NEK	voda in suspendirana snov filtrski ostanek	sestavljen vzorec, neprekinjeno zbiran 31 dni	1-krat na 92 dni	4 4
	2. Nad jezom HE Brežice – 7,2 km nizvodno od NEK *			1-krat na 31 dni	12 12
	3. Brežice – 7,8 km nizvodno od NEK			1-krat na 31 dni	12 12
	4. Jesenice na Dolenjskem, 17,5 km nizvodno od NEK			1-krat na 31 dni	12 12
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	1. Krško	vodni destilat	sestavljen vzorec, neprekinjeno zbiran 31 dni	1-krat na 31 dni	12
	2. Nad jezom HE Brežice *			1-krat na 31 dni	12
	3. Brežice			1-krat na 31 dni	12
	4. Jesenice na Dolenjskem			1-krat na 31 dni	12
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza (radiokemična izolacija Sr-90/Sr-89, detekcija s proporcionalnim števcem)	1. Krško	voda in suspendirana snov filtrski ostanek	sestavljen vzorec, neprekinjeno zbiran 31 dni	1-krat na 92 dni 1-krat na 92 dni	4 4
	2. Nad jezom HE Brežice *			1-krat na 31 dni 1-krat na 92 dni	12 4
	3. Brežice			1-krat na 31 dni 1-krat na 92 dni	12 4
	4. Jesenice na Dolenjskem			1-krat na 31 dni 1-krat na 92 dni	12 4

* Meritve iz programa Obratovalnega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK zaradi HE Brežice so se začele izvajati julija 2017.

2. REKA SAVA – VODA, SEDIMENTI, VODNA BIOTA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Obala 0,5 km vzvodno od NEK, levi breg	posamični vzorci voda + suspendirana snov sedimenti ribe	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	2. Obala pri Brežicah, 4–7,8 km, nizvodno od NEK, levi breg		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	3. Nad jezom HE Brežice, 7,2 km nizvodno od NEK*		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	4. Obala pri Jesenicah na Dolenjskem, 17,5 km nizvodno od NEK, desni breg		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	5. 2 vzorca na obeh bregovih akumulacije med rečnima profiloma 120 in 121*	posamični vzorci voda	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	24
		posamični vzorci voda	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	24
	6. Nadomestni habitat NH1*	posamični vzorci voda	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	7. Akumulacija HE Brežice*	ribe	1-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	2
	8. Podsused	posamični vzorci sedimenti	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
		ribe (2 vzorca)	1-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	2
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	1. Obala 0,5 km vzvodno od NEK, levi breg	posamični vzorci voda + suspendirana snov sedimenti ribe	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	2. Obala pri Brežicah, 4–7,8 km, nizvodno od NEK, levi breg		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	3. Nad jezom HE Brežice, 7,2 km nizvodno od NEK*		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12

Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	4. Obala pri Jesenicah na Dolenjskem, 17,5 km nizvodno od NEK, desni breg	posamični vzorci voda + suspendirana snov sedimenti ribe	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
	5. 2 vzorca na obeh bregovih akumulacije med rečnima profiloma 120 in 121*	posamični vzorci voda	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	24
		posamični vzorci voda	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	24
	6. Nadomestni habitat NH1*	posamični vzorci voda	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	7. Akumulacija HE Brežice*	ribe	1-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	2
	8. Podsused	posamični vzorci sedimenti	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	1. Obala 0,5 km vzvodno od NEK, levi breg	vodni destilat	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	2. Obala pri Brežicah, 4–7,8 km, nizvodno od NEK, levi breg		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	3. Nad jezom HE Brežice, 7,2 km nizvodno od NEK*		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	4. Obala pri Jesenicah na Dolenjskem, 17,5 km nizvodno od NEK, desni breg		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	5. 2 vzorca na obeh bregovih akumulacije med rečnima profiloma 120 in 121*		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	24
	6. Nadomestni habitat NH1*		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	8. Podsused		1-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	2
C-14	2 vzorca na obeh bregovih akumulacije med rečnima profiloma 120 in 121*	posamični vzorec, voda + suspendirana snov	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	8
	Akumulacija HE Brežice*	posamični vzorec, ribe	1-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	2

* Meritve iz programa Obratovalnega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK zaradi HE Brežice so se začele izvajati julija 2017.

3. VODOVODI

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Krško (vodovod) 2. Brežice (vodovod) 3. Vrtina E1 (0071) znotraj ograje NEK	posamično vzeti vzorec vode	1-krat na 92 dni (VLG in Sr)	1-krat na 92 dni (VLG in Sr)	4 4 4
	4. Vrtina Medsave (RH) 5. Vrtina Šibice (RH)	posamično vzeti vzorec vode	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12 12
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	1. Krško (vodovod) 2. Brežice (vodovod) 3. Vrtina E1 (0071) znotraj ograje NEK	posamično vzeti vzorec vode	1-krat na 92 dni (VLG in Sr)	1-krat na 92 dni (VLG in Sr)	4 4 4
	4. Vrtina Medsave (RH) 5. Vrtina Šibice (RH)	posamično vzeti vzorec vode	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12 12
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	1. Krško (vodovod)		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	2. Brežice (vodovod)		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	3. Vrtina E1 (0071) znotraj ograje NEK		1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
	4. Podtalnica v bližini NEK na levem bregu Save VOP-4 (samo H-3)		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12
	5. Vrtina VOP-1/06 (samo H-3)		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12
	6. Vrtina V-7/77 (samo H-3)		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12
	7. Vrtina V-12/77 (samo H-3)		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12
	8. Vrtina Medsave (RH)		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12
	9. Vrtina Šibice (RH)		1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12

4. ČRPALIŠČA, ZAJETJA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Črpališče vod. Krško - Rore 2. Črpališče vod. Krško - Brege 3. Zajetje Dolenja vas 4. Črpališče vod. Brežice VT1 5. Črpališče vod. Brežice 481 6. črpališče Petrušac (RH)	sestavljeni vzorci vode	1-krat na dan	1-krat na 31 dni	6 × 12
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom			1-krat na dan	1-krat na 31 dni	6 × 12
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza			1-krat na dan	1-krat na 31 dni	6 × 12

Pripomba: V Brežicah se vzorčijo zgolj aktivna črpališča, ki napajajo vodovodno omrežje.

5. PADAVINE IN USEDI

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Stara vas 2. Brege 3. Dobova	sestavljen vzorec, neprekinjeno zbiranje 31 dni	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	3 × 12
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom					3 × 12
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza					3 × 12

ZR = zračna razdalja

6. USEDI – VAZELINSKE PLOŠČE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	7 vzorčevalnih mest pri črpalkah za jod in sadovnjak ob NEK, 3 skupine lokacij	sestavljeni mesečni vzorec iz 3 skupin lokacij ali celomesečni vzorec iz posamezne lokacije pri povišanih vrednostih	neprekinjeno zbiranje vzorca 31 dni	1-krat na 31 dni	3 × 12

7. ZRAK

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Meritev I-131 (spektrometrija gama)	1. Sp. Stari Grad *ZR* = 1,8 km, 4C1 2. Stara vas (Krško) *ZR* = 1,8 km, 16C 3. Leskovec *ZR* = 3 km, 13D 4. Brege *ZR* = 2,3 km, 10C 5. Vihre *ZR* = 2 km, 8D 6. Gornji Lenart *ZR* = 5,9 km, 6E 7. Spodnja Libna *ZR* = 1,3 km, 2B	neprekinjeno črpanje skozi filter iz steklenih vlaken in skozi oglen filter (15 dni)	1-krat na 15 dni	1-krat na 15 dni	7 × 24
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	1. Libna ali Stara vas *ZR* = 1,4 km oz. 1,8 km	ostanek na filtru neprekinjeno črpanje skozi aerosolni filter	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4
Izotopska analiza partikulatov in aerosolov s spektrometrijo gama	1. Sp. Stari Grad *ZR* = 1,8 km, 4C1 2. Stara vas (Krško) *ZR* = 1,8 km, 16C 3. Leskovec *ZR* = 3 km, 13D 4. Brege *ZR* = 2,3 km, 10C 5. Vihre *ZR* = 2 km, 8D 6. Gornji Lenart *ZR* = 5,9 km, 6E 7. Spodnja Libna *ZR* = 1,3 km, 2B 8. Dobova *ZR* = 12,0 km, 6F	neprekinjeno črpanje skozi aerosolni filter (menjava filtra glede na zamašitev oziroma na 31 dni)	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	7 × 12
C-14 v CO_2 v zraku	2 lokaciji znotraj ograje NEK	CO_2 absorbiran na NaOH kot Na_2CO_3	1-krat na 2 meseca		2 × 6

8. DOZA IN HITROST DOZE ZUNANJEGA SEVANJA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITEV	LETNO ŠT. MERITEV
Doza z okoljskimi TL-dozimetri v pasu okoli elektrarne	67 merilnih točk v Sloveniji, od tega 57 merilnih točk, razporejenih v krogih v pasu od 1,5–10 km okoli elektrarne, 9 merilnih točk na ograji NEK-a – skupaj 66 merilnih točk v okolici NEK in 1 merilna točka na IJS v Ljubljani; 10 na Hrvaškem	TL-dozimeter, najmanj 2 na merilno mesto	1-krat na 182 dni	1-krat na 182 dni	134 v Sloveniji 20 na Hrvaškem
Meritev hitrosti doze sevanja gama	najmanj 10 merilnih mest, ki obkrožajo lokacijo NEK	omrežje z avtomatskim delovanjem		stalna meritev	stalni nadzor

Opomba: NEK izvaja meritve doze z OSL-dozimetri na šestih mestih na ograji objekta.

9. ZEMLJA

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Amerika, *ZR* = 3,2 km, poplavno področje, rjava naplavina 2. Trnje (Kusova Vrbina), *ZR* = 8,5 km, poplavno področje, borovina 3. Gmajnice (Vihre) *ZR* = 2,6 km, poplavno področje, rjava naplavina	posamični vzorec zemlje iz 4 globin 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm, 15–30 cm posamični vzorci: naplavine, pašnik ali obdelovalna zemlja	1-krat v 6 mesecih	1-krat v 6 mesecih	2 × (3 × 4)
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza (radiokemična izolacija Sr-90/Sr-89, detekcija s proporcionalnim števcem)					2 × (3 × 4)

10. HRANA – MLEKO

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	1. Pesje 2. Drnovo 3. Skopice	posamični vzorec vsakih 31 dni	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	3 × 12
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza		posamični vzorec vsakih 31 dni			3 × 12
I-131, specifična analiza		posamični vzorec vsakih 31 dni med pašo – 8 mesecev			3 × 8

11. HRANA – SADJE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	Izbrani kraji na krško-brežiškem polju: sadovnjaki pri NEK, Sremič, Leskovec	posamični sezonski vzorci raznega sadja: jabolka, hruške, ribez, jagode, grozdje (vino)	1-krat na 365 dni	1-krat na 365 dni	10
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza					10

12. HRANA – POVRTNINE IN POLJŠČINE

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	izbrani kraji na krško-brežiškem polju: Brege, Žadovinek, Vrbina, Sp. Stari Grad, Trnje	posamični sezonski vzorci širokolistnatih povrtnin in poljščin: solata, zelje, korenje, krompir, paradižnik, peteršilj, fižol, čebula, pšenica, ječmen, koruza, hmelj	1-krat na 365 dni	1-krat na 365 dni	20
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza					20

13. HRANA – MESO, PERUTNINA, JAJCA

VRSTA IN OPIS MERITEV	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza s spektrometrijo gama	Izbrani kraji na krško-brežiškem polju: Žadovinek, Vrbina, Spodnji Stari Grad, Pesje	posamični vzorci raznega mesa in jajc	1-krat na 365 dni	1-krat na 365 dni	6
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza					6

13. HRANA – MERITVE C-14

VRSTA IN OPIS MERITEV	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	POGOSTOST MERITVE	LETNO ŠT. MERITEV
C-14	Izbrani kraji na krško-brežiškem polju: sadovnjaki pri NEK, Vrbina, Žadovinek, Brege, Spodnji Stari Grad, Dobova* (17 lokacij)	sezonski vzorci povrtnine, poljščine in razno sadje	2-krat na 365 dni	2-krat na 365 dni	35

* Dobova je referenčno mesto vzorčenja.

PROGRAM PRIMERJALNIH MERITEV V LETU 2024

Program primerjalnih meritev, ki ga izvajajo laboratoriji, vključeni v radiološki nadzor za NE Krško, obsega mednarodne ali medsebojne medlaboratorijske primerjave naslednjih vzorcev (vsaj 5 vzorcev letno):

- voda (sevalci gama, H-3, Sr-90)
- zračni filter (sevalci gama)
- zemlja ali sediment (sevalci gama)
- vegetacija ali hrana (sevalci gama)
- mleko (sevalci gama, I-131, Sr-89, Sr-90)

Rezultati vseh mednarodnih primerjalnih meritev morajo biti vključeni v zbirno letno poročilo. V poročilu mora biti navedeno, kateri laboratoriji so uspešno prestali preskuse in zadoščajo postavljenim merilom. Ustreznost laboratorija se izkazuje s primerjalnim indeksom glede na certificirano vrednost in z ovrednotenjem rezultata (sprejemljivo, sprejemljivo z opozorilom ter nesprejemljivo).

ENOTE IN NAZIVI KOLIČIN

V tabelah so dosledno uporabljene enote in oznake, ki naj bi najbolj neposredno "omogočale izračun" obremenitve človeka in so v skladu z zakonodajnimi podatki (Uradni list).

1 **VODE** (Sava, vodovod, zajetja, vrtine)

1.1 Koncentracija aktivnosti se navaja v enotah: Bq/m^3
($1\ Bq/m^3 = 1E{-}3\ Bq/kg = 1E{-}3\ Bq/L$).
približek velja ob predpostavki, da je $1\ dm^3$ vode = 1 L vode = 1 kg vode).

1.2 Izraz "suspendirana snov" velja za ostanek filtracije delcev nad 0,45 μm:
- koncentracija aktivnosti se navaja v enotah Bq/m^3 prefiltrirane vode;
  izraz "groba suspendirana snov" (filtrski ostanek) velja za filtriranje skozi črni trak oziroma velikosti delcev nad 6 μm;
- koncentracija aktivnosti se navaja v enotah Bq/m^3 prefiltrirane vode, ki je dala ta filtrski ostanek.

1.3 **H-3** iz vode
Koncentracija aktivnosti tritija v vodi se navaja v enotah Bq/m^3.

2 **USEDI** (padavine): aktivnost se podaja z dvema podatkoma:

- Koncentracija aktivnosti useda na vodoravni prestrezni površini se navaja v enotah Bq/m^2.
- Koncentracija aktivnosti tekočih padavin se podaja v enotah Bq/m^3.

3 **HRANA**

Specifična aktivnost mase dejanskega vzorca se navaja v Bq/kg z navedbo masnega deleža (%) suhe snovi v dejanskem vzorcu, kadar se pri meritvah uporablja suha snov; le-to smo ugotavljali s suhim sušenjem na temperaturi od 60 ºC do 80 ºC.

4 **BIOLOŠKI VZORCI**

Specifična aktivnost se za sveže ribe navaja v Bq/kg, navede se tudi masni delež (%) suhe snovi v ribi; za mahove, ribjo hrano in drugo se podaja specifična aktivnost mase suhe snovi v Bq/kg z navedbo deleža suhe snovi v vzorcu (%), kadar je to smiselno.

Specifična aktivnost C-14 v biološkem materialu se podaja kot specifična aktivnost C-14 v Bq na kilogram ogljika ali kot relativna specifična aktivnost v pMC (percent of Modern Carbon),
100 pMC = 226 Bq na kilogram ogljika.

5 **ZRAK**

Koncentracija aktivnosti se podaja za aerosole in jod v Bq/m^3 (pri približno normalnih razmerah).

Koncentracija aktivnosti C-14 v atmosferskem zraku se navaja kot relativna specifična aktivnost C-14 v pMC ali kot koncentracija aktivnosti C-14 v zraku v Bq/m^3 ob predpostavki, da je koncentracija CO_2 v zraku 384 μg/g, 100 pMC = 46 E–3 Bq/m^3.

6 **ZEMLJA**

Specifična aktivnost zračno suhe zemlje se podaja v Bq/kg (sušenje pri sobni temperaturi) in v Bq/m^2.

7 **ZUNANJE SEVANJE**
Doza zaradi zunanjega obsevanja se podaja z okoljskim doznim ekvivalentom $H^*(10)$ v Sv.

TABELA RADIONUKLIDOV

Seznam imen radioaktivnih izotopov, ki jih omenja poročilo o meritvah radioaktivnosti v okolici NEK ter njihovih simbolov in razpolovnih časov. Podatki o razpolovnih časih so vzeti iz E. Browne, R. B. Firestone, Table of Radioactive isotopes, John Wiley and Sons, 1986.

Element	Simbol izotopa ali izomera	Razpolovni čas
tritij	H-3	12,33 let
berilij	Be-7	53,29 dni
ogljik	C-14	5 730 let
natrij	Na-22	2,602 let
natrij	Na-24	14,66 ur
kalij	K-40	1,277 10^9 let
argon	Ar-41	1,827 ure
krom	Cr-51	27,70 dni
mangan	Mn-54	312,2 dni
železo	Fe-55	2,73 let
kobalt	Co-57	271,77 dni
kobalt	Co-58	70,916 dni
železo	Fe-59	44,47 dni
kobalt	Co-60	5,271 let
cink	Zn-65	244,1 dni
stroncij	Sr-89	50,55 dni
stroncij	Sr-90	28,5 let
itrij	Y-90	2,671 dni
cirkonij	Zr-95	64,02 dni
niobij	Nb-95	34,97 dni
niobij	Nb-97	1,202 ure
molibden	Mo-99	2,748 dni
rutenij	Ru-103	39,254 dni
rutenij	Ru-106	1,020 leto
srebro	Ag-110m	249,76 dni
kositer	Sn-113	115,09 dni
kositer	Sn-117m	13,61 dni
telur	Te-123m	119,7 dni
antimon	Sb-124	60,20 dni
antimon	Sb-125	2,73 let
telur	Te-125m	57,4 dni
jod	I-125	60,14 dni
telur	Te-127m	109 dni
telur	Te-129m	33,6 dni
jod	I-131	8,040 dni
ksenon	Xe-131 m	11,9 dni
telur	Te-132	2,36 dni
ksenon	Xe-133	2,19 dni
jod	I-133	20,8 ur
cezij	Cs-134	2,062 let
ksenon	Xe-135	9,104 dni
cezij	Cs-137	30,0 let
barij	Ba-140	12,746 dni
lantan	La-140	1,678 dni
cerij	Ce-141	32,50 dni
cerij	Ce-144	284,9 dni
lutecij	Lu-177	6,647 dni
živo srebro	Hg-203	46,60 dni
svinec	Pb-210	22,3 let
radon	Rn-222	3,835 dni
radij	Ra-226	1 600 let
radij	Ra-228	5,75 let
torij	Th-228	1,913 let
uran	U-238	4,468 10^9 let

MERSKE METODE

Koncentracije radionuklidov v okolju se merijo s specifičnimi metodami, ki omogočajo njihovo kvalitativno in kvantitativno ugotavljanje. Uporaba nespecifičnih metod je dopustna le v primeru, ko je sestava radionuklidov dobro znana in se s časom ne spreminja. Metode morajo omogočiti določitev radionuklidov, ki povzročijo manj kot tretjino avtorizirane mejne doze. Detekcijske meje metod, s katerimi se določajo posamezne koncentracije aktivnosti radionuklidov v vzorcih iz okolja, morajo biti manjše od aktivnosti, ki povzroči tridesetino avtorizirane dozne meje za posamezne radionuklide.

Seznam radionuklidov, katerih aktivnosti se merijo v okolju, mora ustrezati podatkom o emisiji in mora vsebovati najbolj radiotoksične radionuklide. Navadno se v vzorcih iz okolja radionuklidi določajo s spektrometri gama, kjer so aktivnosti posameznih radionuklidov določene z intenziteto vrhov v spektru, njihova identifikacija pa z energijo. Aktivnosti radionuklidov, ki ne sevajo žarkov gama, se določajo z metodami, ki vključujejo njihovo radiokemično separacijo. V okviru meritev radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško se po kemijski separaciji določajo aktivnosti tritija H-3 in stroncijevih izotopov Sr-90/Sr-89 oziroma Sr-89 in Sr-90, če bi bil Sr-89 prisoten. V emisijah iz jedrske elektrarne se radiokemična separacija uporablja tudi za določanje C-14.

Pri izvedbi meritev sodeluje več institucij, vsaka institucija izvaja meritve po svojih merskih metodah in postopkih. V nadaljevanju poglavja so opisane merske metode, ki jih uporabljajo posamezni izvajalci pri meritvah.

INSTITUT "JOŽEF STEFAN"

Institut "Jožef Stefan", Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (Odsek F-2), *Laboratorij za meritve radioaktivnosti,* je od marca 2003 akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025). Laboratorijske meritve aktivnosti sevalcev gama in rentgenskih žarkov opravljamo z visokoločljivostno spektrometrijo gama v energijskem območju od 5 keV do 3000 keV v cilindričnih vzorcih z največjim premerom 12 cm in največjo debelino 6 cm. Vzorci morajo biti homogeni, kar pomeni, da so sevalci gama enakomerno porazdeljeni v vzorcu in da je matrika vzorca homogena. Vzorec se obravnava kot homogen, če je karakteristična dolžina, ki opisuje strukturo vzorca (npr. premer zrn ali debelina plasti), manjša od razdalje, na kateri se izkoristek za točkast vir spremeni za 2 %, ali pa če je najmanj desetkrat manjša od dimenzije vzorca.

Institut "Jožef Stefan", Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo, je od oktobra 2008 akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025). Laboratorijske meritve tritija opravljamo s tekočinskoscintilacijsko spekrometrijo v vzorcih vode in urina po direktni metodi in metodi z elektrolitsko obogatitvijo. Od leta 2018 je laboratorij akreditiran tudi za ugotavljanje aktivnosti C-14 v tekočih, plinastih in trdnih vzorcih.

Institut "Jožef Stefan", Laboratorij za dozimetrijo je od julija 2005 akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-022 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC 17025) za meritve doz $H_p(10)$, $H^*(10)$, kerme v zraku in $H_p(0{,}07)$ s termoluminiscen-čnimi dozimetri TLD-400 (CaF_2:Mn) in TLD-100H/MCPN (LiF:Mg,Cu,P) za uporabo v osebni in okoljski dozimetriji v energijskem območju od 40 keV do 1,2 MeV in v območju doz od 7,5 µSv do 5 Sv.

Celovito poročilo o vseh meritvah, opravljenih na IJS v okviru pogodbe NEK št. 3240052 z dne 24. 1. 2024, napisano v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2017, smo izdali ločeno pod zaporedno številko 14/2024. En izvod tega poročila je poslan naročniku, en izvod pa arhiviran na IJS. V tem poročilu ob posameznih rezultatih nista podani niti znak akreditacije niti besedilo, da je rezultat dobljen v okviru akreditirane metode.

Institut "Jožef Stefan", Odsek za znanosti o okolju (Odsek O-2), je od junija 2009 dalje akreditiran pri Slovenski akreditaciji s številko akreditacije LP-090 na področju preskušanja (SIST EN ISO/IEC

17025) za meritve stroncija, tritija in C-14. Sr-90, Sr-89 ali Sr-90/Sr-89 se lahko določa v tekočinah, trdnem stanju ali usedlinah na zračnem filtru. Specifična aktivnost tritija v vodi se ugotavlja z direktno metodo ali z elektrolitsko obogatitvijo. Specifična aktivnost C-14 se določa v bazični raztopini. Specifične aktivnosti navedenih radionuklidov v prinesenih vzorcih so izražene v Bq/kg ali Bq/g.

a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA (Odsek F-2)

Aktivnosti sevalcev žarkov gama in rentgenskih žarkov (to so vsi radionuklidi, navedeni v tabelah, razen H-3, C-14, Sr-89, Sr-90) so bile izmerjene s spektrometrijo gama. Vsi spektrometri gama, ki so bili uporabljeni za meritve in razmere v okolju, v katerem delujejo, ustrezajo merilom, ki so navedena v [i]. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v [ii]. Rezultati meritev so sledljivi k aktivnostim primarnih standardov v primarnem laboratoriju NIST, ZDA. Sistematski vplivi geometrije vzorca, matrike vzorca, gostote vzorca, koincidenčnih korekcij in hitrosti štetja na rezultate so upoštevani pri računu vseh aktivnosti. Negotovosti rezultatov so ocenjene v skladu z vodilom [iii] in postopkom [iv]. Poleg statistične negotovosti prispevajo k negotovosti rezultatov še negotovosti predpostavk pri računu ploščin vrhov, kalibracije detektorjev, lastnosti vzorca, razpadnih konstant, merjenja količine vzorca in trajanja meritve. Najmanjša negotovost aktivnosti, ki je dosegljiva pri rutinskih meritvah in v ugodnih merskih razmerah, je 5 %.

ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VLG-SPEKTROMETRIJO

Medij	ZRAK	DEŽEVNICA	ZEMLJA	SEDIMENT	MESO	MLEKO	SADJE	SOLATA
Enota	Bq/m^3		Bq/kg					
Količina vzorca (*)	10 000 m^3	0,05 m^3	0,5 kg	0,1 kg	1 kg	4 kg	2 kg	4 kg
Be-7	1,93E–05	2,05E+00	1,58E+00	4,37E+00	3,96E–01	1,04E–01	2,48E–01	2,31E–01
Na-22	1,69E–06	3,28E–01	2,46E01	2,06E–01	8,68E–02	2,26E–02	2,62E–02	2,57E–02
K-40	3,87E–04	3,79E+00	2,80E+00	3,04E+00	7,42E–01	1,60E–01	2,07E–01	9,34E–02
Cr-51	8,96E–06	2,16E+00	1,51E+00	1,85E+00	3,76E–01	8,77E–02	1,05E–01	8,77E–02
Mn-54	1,19E–06	1,47E–01	4,30E–01	2,35E–01	5,39E–02	1,21E–02	1,77E–02	2,05E–02
Co-57	6,48E–06	6,82E–02	6,92E–01	3,06E–01	2,42E–02	7,94E–03	1,67E–02	1,15E–02
Co-58	1,35E–06	1,63E–01	2,57E–01	1,98E–01	5,92E–02	1,30E–02	1,83E–02	1,56E–02
Fe-59	3,17E–06	3,40E–01	6,24E–01	6,17E–01	2,19E–01	2,88E–02	5,44E–02	3,73E–02
Co-60	1,46E–06	3,00E–01	1,95E–01	1,55E–01	6,80E–02	1,58E–02	2,36E–02	1,67E–02
Zn-65	1,03E–05	1,42E+00	7,97E–01	1,12E+00	6,64E–01	2,13E–01	1,80E–01	1,23E–01
Zr-95	3,13E–06	2,39E–01	5,12E–01	3,05E–01	8,23E–02	1,71E–02	2,50E–02	3,04E–02
Nb-95	1,77E–06	2,59E–01	2,22E–01	2,66E–01	6,96E–02	2,18E–02	1,93E–02	1,64E–02
Ru-103	4,49E–06	6,22E–01	3,46E–01	5,04E–01	1,60E–01	1,18E–02	3,92E–02	3,77E–02
Ru-106	1,38E–05	1,90E+00	2,13E+00	1,67E+00	5,45E–01	1,02E–01	1,60E–01	1,40E–01
Sb-124	1,66E–06	1,70E–01	2,33E–01	1,98E–01	4,95E–02	1,22E–02	1,69E–02	1,36E–02
Sb-125	1,65E–06	1,04E–01	3,88E–01	4,27E–01	5,93E–02	1,55E–02	1,99E–02	8,00E–03
I-131	4,76E–06	1,25E+00	8,02E–01	4,26E+00	1,16E–01	2,27E–02	3,12E–02	2,56E–02
Cs-134	1,11E–06	1,24E–01	1,42E–01	1,52E–01	3,58E–02	7,85E–03	1,64E–02	9,59E–03
Cs-137	2,77E–06	2,77E–01	7,68E–01	9,38E–01	1,23E–01	1,67E–02	1,75E–02	1,39E–02
Ba-140	1,03E–05	1,39E+00	2,34E+00	2,23E+00	3,13E–01	4,85E–02	7,03E–02	5,26E–02
Pb-210	5,03E–05	2,57E+00	7,41E+00	7,70E+00	4,08E–01	1,55E–01	2,58E–01	2,47E–01
Ra-226	1,25E–04	1,55E+00	4,51E+00	4,70E+00	6,33E–01	3,33E–01	4,17E–01	4,70E–01
Ra-228	1,01E–05	6,62E–01	2,79E+00	1,72E+00	1,56E–01	3,51E–02	4,91E–02	3,32E–02
Th-228	1,39E–05	3,97E–01	3,38E+00	7,66E+00	1,13E–01	1,57E–02	2,88E–02	2,46E–02
U-238	3,63E–05	4,58E+00	9,21E+00	1,05E+01	1,00E+00	1,68E–01	2,66E–01	1,70E–01

(*) Količina vzorca, podana v enotah druge vrstice, velja za sveže vzorce, razen pri zemlji in sedimentih, kjer velja za suhi vzorec.

Tabelirane orientacijske spodnje detekcijske meje z intervalom zaupanja 95 % za identificirane radionuklide so izračunane iz rezultatov analize vrhov po postopkih, opisanih v:

– M. Korun, B. Vodenik, B. Zorko, *Calculation of decision thresholds in gamma-ray spectrometry*, Appl. Radiat. Isot. 94 (2014) 221–229

- M. Korun, B. Vodenik, B. Zorko, *Calculation of decision thresholds for radionuclides identified in gamma-ray spectra by post-processing peak analysis results*, Nucl. Instr. And Meth. A, 813 (2016) 102–110
- D. Glavič-Cindro, M. Korun, B. Vodenik, B. Zorko, *Calculation of the detection limits by explicit expressions*, Appl. Radiat. Isot. 126 (2017) 267–269
- M. Korun, B. Vodenik, B. Zorko, *Calculation of detection limits for radionuclides identified in gamma-ray spectra based on post-processing peak analysis results*, Appl. Radiat. Isot. 133 (2018) 22–30
- M. Korun, T. Petrovič, B. Vodenik, B. Zorko, *Calculation of the decision threshold and detection limit in high-resolution gamma-ray spectrometry*, Nucl. Instr. and Meth. 1014 (2021) 165684

Detekcijske meje za neidentificirane radionuklide so izračunane s prilagoditvijo pričakovanega odziva spektrometra na žarke gama z energijo, ki jo seva neidentificirani sevalec gama.

Reference:

[i] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10), Uradni list RS 20 (2007) 2509
[ii] *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10*), izdaja 14, dec. 2021, IJS
[iii] Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), JCGM 100:2008
[iv] *Ocena merilne negotovosti (LMR-RP-05)*, izdaja 04, maj 2021, IJS

b) RADIOKEMIJSKA ANALIZA Sr-90/Sr-89 (Odsek O-2)

Določanje stroncija v okoljskih vzorcih (voda, hrana in krma, tla in sedimenti) temelji na raztapljanju vzorca v ustreznih raztopinah [v, vi]. Radiokemična separacija temelji na ločitvi stroncija od kalcija s kadečo dušikovo kislino. Izkoristek separacije določimo gravimetrično s tehtanjem oborine $SrCO_3$. Aktivnosti beta izmerimo na proporcionalnem števcu beta s pretokom plina, mešanice 90 % Ar in 10 % CH_4. Izkoristek proporcionalnega števca FHT 770 T-6, Eberline, za izbrane radionuklide ugotavljamo s kalibracijskimi certificiranimi standardi Eckert & Ziegler Analytics.

V primerih, ko je potrebna določitev Sr-89, se izvrši separacija stroncija Sr-90/Sr-89 ter po vzpostavljenem ravnotežju Sr-90/Y-90 izolacija itrija. Iz prve meritve $SrCO_3$ izmerimo skupno aktivnost obeh, Sr-90/Sr-89; iz meritve Y-90 pa najprej izračunamo aktivnost Sr-90 ter nato še aktivnost Sr-89.

Natančni postopek določanja Sr-90/Sr-89 z beta štetjem je opisan v standardnem delovnem navodilu SDN-O2-STC(01) [vi] in v delovnem navodilu DP-O2-STC(01) [vii], izračun merilne negotovosti je opisan v [vi].

Reference:

[v] B. Vokal, Š. Fedina, J. Burger, I. Kobal, *Ten year Sr-90 survey at the Krško Nuclear Power Plant*, Annali di Chimica, 88 (1998), 731
[vi] *Določanje stroncija z beta štetjem*, SDN-O2-STC(01), 10. izdaja, okt. 2020 in 11. izdaja, jun. 2023, IJS
[vii] *Navodilo za uporabo proporcionalnega števca FHT 770T-6, Eberline*, DP-O2-STC(01), 5. izdaja, feb. 2020, IJS

c) RADIOKEMIJSKA ANALIZA H-3 (Odsek O-2)

Tritij določamo v desorbirani vodi iz adsorbentov in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v [viii]–[x]. Vzorce vode najprej destiliramo in nato izvedemo elektrolizo. Po končani elektrolizi s tritijem obogateni preostanek destiliramo, odvzamemo alikvot in dodamo koktajl ULTIMA GOLD LLT. Aktivnost tritija merimo z instrumentom Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintilation Analyzer (Canberra Packard) ali Quantulus 1220. Izkoristek števca za H-3 ugotavljamo s kalibracijskim certificiranim standardom proizvajalca NIST.

Reference:

[viii] *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem*, SDN-O2-STC(02), 10. izdaja, okt. 2020 in 11. izdaja, jun. 2023, IJS
[ix] *Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca TRICARB 3170 TR/SL*, DP-O2-STC(02), 6. izdaja, feb. 2020, IJS
[x] *Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca Quantulus 1220*, DP-O2-STC(04), 2. izdaja, feb. 2020, IJS

č) RADIOKEMIJSKA ANALIZA H-3 (Odsek F-2)

Na *Odseku F-2* poteka določitev tritija v vzorcih vod z elektrolitsko obogatitvijo in tekočinsko-scintilacijskim štetjem.

Vzorce destiliramo, preverimo pH destilata in mu dodamo natrijev peroksid. Pol litra vzorca elektrolitsko obogatimo, preostanku dodamo svinčev klorid in opravimo drugo destilacijo. V tekočinskoscintilacijskem števcu Quantulus 1220 (Wallac, PerkinElmer) merimo merjence, pripravljene iz destilata vzorca in scintilacijskega koktajla po postopkih *LSC-DN-06, LSC-DN-07* in *LSC-DN-08*. Za kalibracijo števca in pripravo krivulje dušenja uporabljamo certificiran NIST-ov standard, za dodatno kontrolo pa certificirane pripravke Perkin Elmerja.

Reference:

[xi] *Umeritvene krivulje za tekočinsko scintilacijski spektrometer (LSC-DN-05)*, izdaja 03, dec. 2019, IJS
[xii] *Vzorčenje in priprava vzorcev za določitev tritija (LSC-DN-06),* izdaja 06, jun. 2021, IJS
[xiii] *Analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07),* izdaja 07, jun. 2020 in izdaja 08, apr. 2023, IJS
[xiv] *Meritve vsebnosti radionuklidov s tekočinskoscintilacijskim števcem Quantulus (LSC-DN-08)*, izdaja 02, jun. 2020, IJS

d) RADIOKEMIJSKA ANALIZA C-14 (Odsek O-2)

Ogljik C-14 določamo v bazični raztopini po postopku, ki je opisan v [xv–xviii]. Raztopljeni $^{14}CO_2$ oborimo z $BaCl_2$ iz bazične raztopine. Uprašeni oborini $BaCO_3$ dodamo scintilacijski koktajl Insta-gel in destilirano vodo. Aktivnost C-14 merimo z instrumentom Tri Carb 3170 TR/SL, Super Low Level Liquid Scintilation Analyzer (Canberra Packard) ali Quantulus 1220. Izkoristek števca za C-14 določamo s certificiranim kalibracijskim standardom proizvajalca Eckert & Ziegler Analytics.

Reference:

[xv] Woo H. J., Chun S. K., Cho S. Y., Kim Y. S., Kang D. W., Kim E. H., *Optimization of liquid scintillation counting techniques for the determination of carbon-14 in environmental samples*, Radional. Nucl. Cem., 239 (1999) 3, 649–655
[xvi] *Določanje ^{14}C v bazični raztopini*, SDN-O2-STC(03), 10. izdaja, okt. 2020 in 11. izdaja, jun. 2023 , IJS
[xvii] *Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca TRICARB 3170 TR/SL*, D-O2-STC(02), 6. izdaja, feb. 2020, IJS
[xviii] *Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca Quantulus 1220*, DP-O2-STC(04), 2. izdaja, feb. 2020, IJS

e) RADIOKEMIJSKA ANALIZA C-14 (Odsek F-2)

Ogljik C-14 v bioloških vzorcih določamo po postopku LSC-DN-13 [xix]. Biološke vzorce posušimo na 60 °C do konstantne teže, homogeniziramo in zmeljemo. Tako pripravljen vzorec sežgemo v sežigalni napravi ob dodatku kisika in nastali CO_2 vežemo na zmes CarbonTrap-a in CarbonCount-a (Meridian). Aktivnost C-14 merimo z tekočinskoscintilacijskim števcem Quantulus 1220 (PerkinElmer) [xx]. Za kalibracijo števca uporabljamo certificiran standard proizvajalca Eckert&Ziegler Analytics, za dodatno kontrolo pa certificirane pripravke Perkin Elmerja.

Reference:

[xix] *Določitev vsebnosti C-14 (LSC-DN-13)*, izdaja 02, dec. 2017, IJS
[xx] *Meritve vsebnosti radionuklidov s tekočinskoscintilacijskim števcem Quantulus(LSC-DN-08)*, izdaja 02, jun. 2020, IJS

f) TERMOLUMINISCENČNA DOZIMETRIJA (Odsek F-2)

Sistem za termoluminiscenčno (TL) dozimetrijo sestavljajo računalniško kontroliran merilni sistem MR 200 C, veliko število dozimetrov in pečica za brisanje dozimetrov. Sistem omogoča enostavno, hitro in natančno merjenje doz sevanja v okolju in osebni dozimetriji. Za okoljske dozimetre uporabljamo dozimetre tipa TLD-IJS-05 (iz CaF_2:Mn) z odličnimi odzivnimi lastnostmi, saj lahko merimo zelo nizke doze (pod 20 μSv).

Meritve zunanje doze so bile opravljene po postopku, opisanem v *TLD-DN-02* [xxiii]. Karakteristike sistema za TL-dozimetrijo so podrobno opisane v delovnih poročilih IJS [xxi, xxii].

Reference:

[xxi] *Validacija termoluminiscenčnega sistema TLD IJS MR 200 C po standardu IEC/CEI 61066*, IJS-DP-10126, feb. 2009
[xxii] *Validacija termoluminiscenčnega sistema TLD IJS MR 200 C po standardu IEC/CEI 62387*, IJS-DP-11217, jan. 2013
[xxiii] *Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD) (TLD-DN-02)*, izdaja 12, apr. 2020, IJS

INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ

Institut Ruđer Bošković, *Laboratorij za radioekologijo* je novembra 2008 prejel prvo akreditacijo po standardu HRN EN ISO/IEC 17025:2007 pod številko 1162 pri Hrvatski akreditacijski agenciji (HAA). Novembra 2020 je potrdil usposobljenost skladno z novo izdajo standarda HRN EN ISO/IEC 17025:2017 pod isto zaporedno številko 1162 za določanje vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama in vsebnosti Sr-89/Sr-90 po radiokemijski metodi v vzorcih iz okolja in proizvodih, vključno s hrano in pitno vodo ter za določanje tritija, skupne aktivnosti sevalcev alfa in beta ter Fe-55 v vodnih vzorcih.

Referenca:

[xxiv] Priručnik sustava upravljanja kvalitetom PK (izdaja 2), Institut Ruđer Bošković, 2021

a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA

Spektre gama merimo z germanijevimi detektorji, in sicer:

- z germanijevim detektorjem BE3830 z ločljivostjo 0,38 keV pri 5,9 keV (Fe-55), 0,55 keV pri 59,5 keV (Am-241), 0,69 keV pri 122 keV (Co-57) in 2,05 keV pri 1 332,5 keV (Co-60);
- z germanijevim detektorjem BE5030P z ločljivostjo 0,334 keV pri 5,9 keV (Fe-55), 0,568 keV pri 122 keV (Co-57) in 1,748 keV pri 1 332,5 keV (Co-60);
- z germanijevim detektorjem GR2520 z izkoristkom 25 % glede na izkoristek detektorja z natrijevim jodidom; germanijev detektor ima ločljivost 0,8 keV pri 122 keV in 1,81 keV pri 1 332,5 keV.

Germanijevi detektorji so povezani z računalnikom s programsko opremo GENIE 2000. Ta programska oprema se uporablja za analizo izmerjenih spektrov skladno s postopki, opisanimi v PS 7.2/1 [xxv]. Izkoristke detektorjev merimo s certificiranim standardi ČMI, ANALYTICS in LEA-CERCA, skladno z zahtevami, predpisanimi v postopkih in delovnih navodilih PS 7.2/1 in RU 7.2/1-1 [xxv, xxvi] ali matematično z uporabo programske opreme ISOX/LABSOCS. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v PS 7.2/1 in RU 7.2/1-1. Negotovosti rezultatov so ocenjene v skladu s postopkoma PS 7.6/1 [xxvii] in PS 7.2/1 [xxv].

Spodnja meja detekcije in minimalna aktivnost, ki so določene z intervalom zaupanja 95 %, je za izmerjene vzorce opisana v PS 7.2/1, izdaji 1, in RU 7.2/1-1, izdaji 2.

ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE (*MDA*) ZA SPEKTROMETRIJO GAMA ZA DVA DETEKTORJA*

Detektor		**BE3830**			**GR2520**	
Medij	**RIBE**	**VODA**	**SEDIMENT**	**RIBE**	**VODA**	**SEDIMENT**
Enota	kg	m^3	kg	kg	m^3	kg
Količina vzorca (**)	0,4	0,05	0,175	0,4	0,05	0,175
Radionuklid	Bq/kg	Bq/m^3	Bq/kg	Bq/kg	Bq/m^3	Bq/kg
Be-7	0,20	0,40	0,4	0,24	0,41	0,50
K-40	1,50	2,92	2,7	9,61	18,8	19,3
Mn-54	0,008	0,01	0,017	0,06	0,12	0,13
Co-58	0,02	0,02	0,04	0,04	0,08	0,09
Co-60	0,04	0,07	0,06	0,05	0,08	0,09
Zn-65	0,02	0,02	0,04	0,10	0,19	0,19
Ru-103	0,004	0,005	0,01	0,05	0,09	0,11
Sb-124	0,03	0,04	0,06	0,15	0,28	0,30
Sb-125	0,01	0,01	0,03	0,10	0,16	0,20
I-131	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
Cs-134	0,04	0,04	0,08	0,03	0,05	0,05
Cs-137	0,02	0,04	0,05	0,01	0,02	0,24
Bi-214	0, 11	0,10	0,2	0,80	1,34	1,90
Ra-228	0, 20	0,07	0,6	1,00	1,80	2,02
Ra-226	0,11	0,10	0,2	0,80	1,34	1,90
U-238	1,40	2,30	2,8	5,91	10,4	9,74
Am-241	0,002	2,30	0,008	0,06	0,06	0,01

* Spodnje meje detekcije se lahko spreminjajo v odvisnosti od razmer pri meritvah (števni čas, masa, statistične fluktuacije sevanja ipd.).

Reference:

[xxv] SUK PS 7.2/1, Gama spektrometrijska određivanja, Institut Ruđer Bošković, izdaja 1, 2020
[xxvi] SUK RU 7.2/1-1, Gama spektrometrijska određivanja, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2022
[xxvii] SUK PS 7.6/1, Vrednovanje mjerne nesigurnosti, izdaja 1, 2020

b) RADIOKEMIJSKA ANALIZA Sr-90/Sr-89

Določanje stroncija v okoljskih vzorcih (voda, hrana in krma, tla in sedimenti) temelji na raztapljanju vzorca v ustreznih raztopinah in uporabi ionskih izmenjevalcev [xxviii, xxix]. Radiokemična separacija temelji na ločitvi stroncija od kalcija na koloni, napolnjeni z anionskim izmenjevalcem Serdolite CG-400, Dowex1x8 ali drugim primernim in raztopino 0,25 M HNO_3 v metanolu [xxx]. Izkoristek separacije določimo gravimetrično s tehtanjem oborine $SrCO_3$. Aktivnosti beta izmerimo s proporcionalnim števcem s silicijevim detektorjem i-Matic, Canberra.

V primerih, ko je potrebna določitev Sr-89, se izvrši separacija stroncija in izolacija itrija. Iz prve meritve na $SrCO_3$ izmerimo aktivnost obeh, Sr-89 in Sr-90; iz meritve Y-90 pa določimo aktivnost Sr-90. Natančni postopek določanja Sr-90/Sr-89 z beta štetjem je opisan v postopku PS 7.2/2 [xxxi] in v delovnem navodilu RU 7.2/2-1 [xxxii], izračun merilne negotovosti pa je opisan v PS 7.2/2 in PS 7.6/1 [xxxi, xxvii].

Reference:

[xxviii] IAEA, Technical Reports Series No. 295, Measurement of radionuclides in food and the environment, 1989
[xxix] Ž. Grahek, K. Košutić, M. Rožmarić - Mačefat, *Strontium isolation from natural samples with Sr resin and subsequent determination of Sr-90*, Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry, 268 (2006), 179–190
[xxx] Ž. Grahek et al, *Improved methods for the radioactive strontium determination*, Journal Radioanal. Nucl. Chem., 242 (1999), 33–40
[xxxi] SUK PS 7.2/2, Određivanje ^{89,90}Sr, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2023
[xxxii] SUK RU 7.2/2-1, Određivanje ^{89,90}Sr, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2023

c) RADIOKEMIJSKA ANALIZA H-3

Tritij določamo v zračnih izpustih in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v referencah [xxxiii–xxxvii]. Vzorec vode se predestilira z dodatkom $KMnO_4$. 250 mL destilirane vode se elektrolitsko obogati. Koncentracijo H-3 določamo tako, da merimo 7 mL vodne raztopine, ki smo ji dodali 13 mL scintilatorja (ULTIMA GOLD) v polietilenski plastični posodici volumna 20 mL (Low diffusion plastic vial), na scintilacijskem števcu Liquid scintillation Analyser TriCarb 3180 TR/SL ali QuantulusTM GCT 6220 (Perkin Elmer). Ozadje je nižje od 3 sunkov na minuto. Izkoristek določamo z uporabo certificiranih "quench" standardov H-3 (Perkin Elmer).

Reference:

[xxxiii] Reference Manual TRI-CARB Liquid Scintillation Analyzer, Model 3180 TR/SL Series, Perkin Elmer, 2011; Model QuantulusTM GCT 6220, Perkin Elmer, 2019
[xxxiv] IAEA, Technical Reports Series No. 295, Measurement of radionuclides in food and the environment, 1989
[xxxv] SUK PS 7.6/1, Vrednovanje mjerne nesigurnosti, izdaja 1, 2020
[xxxvi] SUK PS 7.2/3, Određivanje tritija, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2023
[xxxvii] SUK RU 7.2/3-1, Određivanje tritija, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2022

č) DOLOČANJE Fe-55

Fe-55 se določa z izolacijo Fe-55 na koloni, napolnjeni s smolo TRU. Podrobnosti so opisane v sistemskem postopku PS 7.2/4 in delovnem navodilu RU 7.2/4-1 [xxxviii, xxxix]. Aktivnost Fe-55 v vzorcih se izmeri s spektrometrom Liquid Scintilation Spectrometra TriCarb 3180 TR/SL ali QuantulusTM GCT 6220 (Perkin Elmer). Aktivnost se izračuna iz dobljenega neto števila sunkov in izkoristka, ki se določi iz spektralnega indeksa iz "quench-krivulje" ter izkoristka izolacije, dobljenega z merjenjem koncentracije Fe z AAS Perkin Elmer AAnalyst 400. Postopek določanja aktivnosti in merske negotovosti je opisan sistemskih postopkih in delovnih navodilih PS 7.2/4, RU 7.2/4-1 ter v referencah [xl, xli].

Reference:
[xxxviii] SUK PS 7.2/4, Određivanje ^{55}Fe, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2023
[xxxix] SUK RU 7.2/4-1, Određivanje ^{55}Fe, Institut Ruđer Bošković, izdaja 2, 2023
[xl] Ž. Grahek, M. Rožmarić, *Extraction chromatographic separation of iron from complex liquid samples and the determination of Fe-55*, Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry, 267 (2006) 1, 131–137
[xli] Ž. Grahek, M. Rožmarić, *Isolation of iron and strontium from liquid samples and the determination of ^{55}Fe and ^{89,90}Sr in liquid radioactive waste,* Analytica Chimica Acta*,* 511 (2004), 339–348

d) TERMOLUMINISCENČNA IN RADIOFOTOLUMINISCENČNA DOZIMETRIJA

Meritve zunanje doze na 10 lokacijah na Hrvaškem so opravljene s termoluminiscenčnimi (TLD) in radiofotoluminiscenčnimi (RPL) dozimetri. Rezultati so obdelani skladno s postopkom *PS 5.4/1 Mjerenje doze u okolini TLD i RPL dozimetrima*.

Vsi dozimetri TL in RPL so kalibrirani v laboratoriju za sekundarne dozimetrične standarde (SSDL) na Institutu Ruđer Bošković. Laboratorij je opremljen skladno s priporočili mednarodne agencije za atomsko energijo MAAE in ima opremo za vzdrževanje sledljivosti dozimetričnih veličin v skladu z mednarodnimi standardi.

Za kalibracijo se uporablja oprema Hopewell Designs, Inc., ZDA in vir Cs-137 (serijska št. 1234, februarja 2004 je bila aktivnost vira 740 GBq). Hitrost doze v polju kalibracijskega vira Cs-137 je določena z referenčno ionizacijsko celico LS-01 (PTW 32002), ki je bila umerjena avgusta 2021 v dozimetričnem laboratoriju PTB z meroslovno sledljivosjo k primarnom standardu. Hitrost doze je izmerjena v enotah kerma v zraku ter preračunana v enote $H^*(10)$ v skladu s standardom ISO 4037 (2019). Umerjanje se izvaja skladno s standardom *IAEA SRS 16:2000.*

Reference:
[xlii] IEC 62387:2020, *Radiation Protection Instrumentation – Dosimetry Systems with Integrating Passive Detectors for Individual, Workplace and Environmental Monitoring of Photon and Beta Radiation,* International Electrotechnical Commission, Geneva
[xliii] M. Ranogajec Komor, *Passive solid state dosimeters in environmental monitoring,* G. A. Aycik (Ed.), New Techniques for the Detection of Nuclear and Radioactive Agents, NATO Security through Science Series B: Physics and Biophysics, 2009
[xliv] Ž. Knežević, M. Majer, Z. Baranowska, O. Ciraj Bjelac, G. Iurlaro, N. Kržanović, F. Mariotti, M. Nodilo, S. Neumaier, K.Wołoszczuk, M. Živanović, *Investigations into the basic properties of different passive dosimetry systems used in environmental radiation monitoring in the aftermath of a nuclear or radiological event,* 146 (2021) 106615 doi:10.1016/j.radmeas.2021.106615

e) RADIOKEMIJSKA ANALIZA C-14

Radiokemijsko analizo ogljika C-14 opravlja *Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivnosti, Zavod za eksperimentalnu fiziku*, IRB. *Laboratorij* je v juliju 2021 pridobil akreditacijo pri Hrvatski akreditacijski agenciji (HAA) v skladu s standardom HRN EN ISO/IEC 17025:2017 pod zaporedno številko 1667 za določanje relativne specifične aktivnosti ^{14}C in datiranje z uporabo ^{14}C [xlv].

Ogljik C-14 v biološkem materialu

Biološki vzorci se sušijo v sušilniku pri 100 °C, nato se karbonizirajo 15 min pri temperaturi 600 °C v peči brez prisotnosti zraka. Karbonizirani vzorci se žgejo v toku prečiščenega kisika v posebni, predhodno izčrpani stekleni aparaturi. Nastali CO_2 iz vzorca se absorbira v zmesi Carbosorba®E (10 mL) in Permafluora®E (10 mL) [xlvi–l]. Masa absorbiranega CO_2 se določa s tehtanjem

steklenice, v kateri se absorbira zmes, pred postopkom absorpcije in po njem. Postopek absorpcije se za vsak vzorec in pripadajoče standarde dvakrat ponovi. Aktivnost C-14 se meri v tekočinskoscintilacijskem števcu Quantulus 1220, Ultra Low Level Liquid Scintillation Counter (Perkin Elmer). Števec je umerjen s certificiranim standardom proizvajalca Perkin Elmer. Najnižja aktivnost ^{14}C, ki jo lahko izmerimo preko meritve absorbiranega CO_2, je 4,9 pMC. Skupna merilna negotovost je okoli 4,9 pMC.

Ogljik C-14 v atmosferskem CO_2

Atmosferski CO_2 se zbira na dveh lokacijah znotraj ograje NE Krško. Vzorčevalnik je sestavljen iz plitve plastične posode s površino 3–4 dm^2, kamor se vlije 100 mL zasičene raztopine NaOH. Na_2CO_3, ki se zbere v vzorčevalniku, se v laboratoriju v posebni stekleni aparaturi raztaplja z reakcijo s HCl v inertni dušikovi atmosferi. Tako dobljen CO_2 se uporabi za pripravo benzena [xlv, xlvi, li, lii]. Meritve se izvajajo v tekočinskoscintilacijskem števcu (LSC*)* Quantulus 1220. Vzorci benzena z maso 4 g se merijo v steklenih ampulah z volumnom 7 mL. Za vse meritve C-14 se uporablja standardni referenčni material Oxalic Acid II, NIST SRM-4990C. Pred vsako posamezno meritvijo aktivnosti ^{14}C se kontrolira čistoča vzorca z meritvijo SQP-parametra (SQP = Standard Quench Parameter), s katerim se opravi korekcija zaradi dušenja. Najniža aktivnost ^{14}C, ki jo lahko določimo v vzorcih benzena, je 0,29 pMC, skupna merilna negotovost za vzorce iz okolja pa je 0,5 pMC.

Reference:

[xlv] LNA-PS 7.2/1 Određivanje relativne specifične aktivnosti ^{14}C/starosti tehnikom LSC, Izdanje 3, Institut Ruđer Bošković, 2022

[xlvi] N. Horvatinčić, J. Barešić, I. Krajcar Bronić, B. Obelić, *Measurements of low ^{14}C activities in a liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory*, Radiocarbon 2004; 46/1:105–116

[xlvii] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, J. Barešić, B. Obelić, *Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting*, Applied Radiation and Isotopes 2009;. 67:800–8

[xlviii] J. Barešić, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić, *Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka pripremljenih metodom apsorpcije CO_2*, U: I. Krajcar Bronić, S. Miljanić, B. Obelić, ur. Zbornik radova Petog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 9.-–11. travnja 2003; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2003, 267–272

[xlix] LNA-RU 7.2/1-3 Spaljivanje organskog uzorka, Izdanje 1, Institut Ruđer Bošković, 2020.

[l] LNA-RU 7.2/1-5 Apsorpcija CO_2, Izdanje 1, Institut Ruđer Bošković, 2020.

[li] J. Barešić, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić, *Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka u obliku benzena u tekućinskom scintilacijskom brojaču*, U: V. Garaj - Vrhovac, N. Kopjar, S. Miljanić, ur. Zbornik radova Šestog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 18.–20. travnja 2005; Stubičke Toplice, Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2005, 158–163

[lii] LNA-RU 7.2/1-6 Sinteza benzena, Izdanje 1, Institut Ruđer Bošković, 2020.

ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU

Zavod za varstvo pri delu, *Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov* je marca 2004 pridobil akreditacijo za izvajanje visokoločljivostne spektrometrije gama v skladu s standardom SIST EN ISO/IEC 17025:2017 pod zaporedno številko LP-032. Akreditacija zajema meritve vzorcev zemlje, sedimentov, zraka, padavin ter živil živalskega in rastlinskega porekla. Metoda ugotavljanja stroncija je akreditirana od februarja 2009 dalje pri Slovenski akreditaciji (SA) pod zaporedno številko LP-032.

Celovito *Poročilo o izvajanju monitoringa radioaktivnosti v okolici NE Krško v letu 2022* z oznako LMSAR-20220014-5-PJ z dne 13. 2. 2023 o vseh meritvah, opravljenih na ZVD v okviru pogodb NEK št. 3212112 z dne 28. 1. 2022 in NEK št. 3220387 in HESS 45/2022 z dne 13. 4. 2022 ter napisano v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2017, smo izdali ločeno. En izvod tega poročila smo poslali naročniku, po en izvod pa arhivirali na ZVD in IJS.

a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA

Omenjena metoda je v laboratoriju LMSAR podrobno opisana v dokumentu DP-LMSAR-09, in sicer v petih sklopih: energijska kalibracija, izkoristek detektorja, izračun lokacije in ploščine vrha, identifikacija radionuklida ter izračun specifične aktivnosti in merilne negotovosti rezultata. Vse naštete korake izvajamo s programsko opremo GENIE 2000, katere algoritmi so opisani v knjigi GENIE 2000 – Customization Tools Manual. Opora temu programskemu paketu pa so naslednji mednarodni standardi:

- IEC-1452: Nuclear instrumentation - Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides-Calibration and use of germanium spectrometers
- IEC-973: Test procedures for germanium gamma-ray detectors
- IEC-759: Standard test procedures for semiconductor X-ray energy spectrometers
- IEC-61976: Nuclear instrumentation-Spectrometry - Characterization of the spectrum background in HPGe gamma-ray spectrometry
- ISO-11929-3: Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements

Sledljivost rezultatov dosegamo s kalibracijskimi standardi specifičnih geometrij in matrik, ki so podobne vzorcem, ki jih merimo za naše naročnike. Te standarde naročamo pri organizacijah, ki so akreditirane za pripravo teh standardov (npr. Eckert Ziegler Analytics iz ZDA in AEA Technology QSA GmbH iz Nemčije).

Vse sistematske vplive, kot so razlike v gostoti vzorcev, parametri, ki vplivajo na atenuacijo gama sevanja v matriki in odmike od geometrije vzorca glede na standardne vzorce, izračunavamo z validirano programsko opremo Canberra, ki je navedena v dokumentu: Model S573/S574 ISOCS/LabSOCS, Validation & Verification Manual.

ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE ZA VLG-SPEKTROMETRIJO (*)

Medij	BIOLOŠKI VZORCI	ZEMLJA	VODA	SEDIMENT	ZRAK
Enota	kg	kg	m^3	kg	m^3
Količina vzorca (**)	3	0,15	0,1	0,05	10 000
Radionuklid	Bq/kg	Bq/kg	Bq/m^3	Bq/kg	Bq/m^3
K-40	0,2	4,7	4,7	5,8	4,0 E-05
Mn-54	0,03	0,7	0,9	0,8	6,0 E-06
Co-57	0,01	0,4	0,3	0,8	2,0 E-06
Co-58	0,03	0,8	1,2	1,0	7,0 E-06
Co-60	0,03	0,7	0,7	0,8	6,0 E-06
Zn-65	0,06	1,5	2,0	1,8	1,0 E-05
Ru-103	0,10	0,9	1,6	1,0	7,0 E-06
Sb-124	0,03	0,8	1,2	1,0	7,0 E-06
Sb-125	0,06	1,7	1,8	2,0	1,0 E-05
I-131	0,20	5,0	1,5	6,0	4,0 E-05
Cs-134	0,03	0,6	0,7	0,8	5,0 E-06
Cs-137	0,03	0,7	0,7	0,8	5,0 E-06
Pb-210	0,20	8,0	3,3	8,0	4,0 E-05
Ra-228	0,07	2,0	2,0	2,0	2,0 E-05
Th-228	0,06	2,0	1,2	2,0	1,0 E-05
Ra-226	0,5	4,0	2,0	4,0	8,0 E-06
U-238	0,1	4,0	3,0	4,0	2,0 E-05
Am-241	0,0	1,0	0,7	1,0	5,0 E-06

(*) Tabelirane spodnje detekcijske meje so podane z intervalom zaupanja 68 %.

(**) Količina vzorca, podana v enotah druge vrstice, velja za sveže vzorce, razen pri zemlji in sedimentih, kjer velja za suhi vzorec.

b) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-89/Sr-90 IN I-131

Natančen opis metod določitve Sr-89/90 v različnih vzorcih in določitve I-131 v mleku, kakor tudi vzorčenje in priprava vzorcev so predstavljeni v naslednjih internih delovnih postopkih:

- Vzorčenje, pakiranje, pošiljanje vzorcev iz biosfere, hrane in drugih bioloških vzorcev (DP-LMSAR-02)
- Priprava bioloških in nebioloških vzorcev za gamaspektrometrično in radiokemično analizo (DP-LMSAR-03)
- Opis metode za določitev aktivnosti Sr-89/90 v vzorcih iz okolja (DP-LMSAR-4.01)
- Kemijska obdelava vzorcev in merjenje aktivnosti Sr-89/90 (DP-LMSAR-4.02)
- Izračun specifične aktivnosti Sr-89/90 in merilna negotovost (DP-LMSAR-4.03)
- Zagotavljanje kakovosti meritev aktivnosti Sr-89/90 (DP-LMSAR-4.04)
- Določitev specifične aktivnosti I-131 v mleku (DP-LMSAR-16)
- Kalibracija beta števca za določitev specifične aktivnosti I-131 (DP-LMSAR-18)

Sledljivost rezultatov je dosežena z redno kalibracijo instrumentov BERTHOLD LB770 in PROTEAN INSTRUMENTS CORPORATION MDS MPC-9604 s standardnimi raztopinami proizvajalca Amersham, QSA Global ali PTB. Postopek kalibracije je opisan v delovnih postopkih DP-LMSAR-4.03 in DP-LMSAR-18.

TABELARIČNI ZAPISI MERITEV

Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10) določa zasnovo programa nadzora radioaktivnosti, načina in obsega nadzora radioaktivnosti okolja ter obratovalnega nadzora radioaktivnosti, vrste meritev ter metode vzorčevanja in merjenja radioaktivnosti, kakovost merilne opreme radioaktivnosti, način rednega obveščanja javnosti o rezultatih merjenja radioaktivnosti ter obseg in način priprave in sprejema programov izvajanja nadzora radioaktivnosti. Program nadzora radioaktivnosti je določen v skladu z Direktivo Sveta 2013/59/EURATOM z dne 5. decembra 2013 o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja, Priporočilom komisije 2000/473/EURATOM z dne 8. junija 2000 o uporabi členov 35 in 36 Pogodbe Euratom o nadzoru stopnje radioaktivnosti v okolju za namene ocenjevanja izpostavljenosti prebivalstva kot celote (Ur. l. št. 191, z dne 27. 7. 2000, str. 37) in Priporočilom komisije 2004/2/EURATOM z dne 18. decembra 2003 o standardiziranih podatkih o atmosferskih in tekočinskih radioaktivnih izpustih v okolje iz reaktorjev jedrskih elektrarn in obratov za predelavo med normalnim obratovanjem (Ur. l. št. 2, z dne 6. 1. 2004, str. 36).

V priporočilu komisije 2004/2/EURATOM se kot vodilo za poročanje merskih izidov omenja standard *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application* (ISO 11929:2010). Pri tem je posebna pozornost namenjena poročanju merskih rezultatov v bližini meje detekcije oziroma meje kvantifikacije.

Poleg omenjenih priporočil komisije se s poročanjem in ocenjevanjem izpostavitve prebivalcev notranjemu in zunanjemu ionizirajočemu sevanju ter negotovosti ukvarja skupina MODARIA pod pokroviteljstvom MAAE (IAEA). Delovna skupina *Working Group (WG) 5 - Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides*, katere člani so tudi sodelavci Odseka F2, se posebej ukvarja z oceno negotovosti doze ionizirajočega sevanja pri nadzoru radioaktivnosti. Delo je bilo končano s skupno objavo v znanstveni reviji (B. Zorko, M. Korun, J. C. M. Canadas, V. Nicoulaud Gouin, P. Chyly, A. M. Blixt Buhr, C. Lager, K. Aquilonius and P. Krajewski, *Systematic influences of gamma-ray spectrometry data near the decision treshold for radioactivity measurements in the environment*, Journal of Environmental Radioactivity, 158−159 (2016), 119−128).

Izmerki v tabelah in posredno v preglednicah so zapisani po naslednjih pravilih:

1. Specifične aktivnosti sevalcev gama pri posamično odvzetih vzorcih so preračunane na datum vzorčevanja.

   Specifične aktivnosti sevalcev gama pri neprekinjeno zbiranih vzorcih so izračunane pri predpostavki, da sta bili hitrost zbiranja vzorca in kontaminacija konstantni v času vzorčevanja.

2. Pri IJS so rezultati meritev z visokoločljivostno spektrometrijo gama izraženi kot neposredni merski rezultati, $y \pm u(y)$, pri čemer je $u(y)$ združena standardna negotovost specifične aktivnosti in se nanaša na interval zaupanja z 68-odstotno zanesljivostjo (faktor pokritja $k = 1$).

   Združena standardna negotovost pri rutinskih meritvah na visokoločljivostni spektrometriji gama vključuje statistično negotovost števila sunkov v vrhovih v spektru, negotovost metode določanja števila sunkov v vrhovih, ozadja, umeritve spektrometra, jedrskih podatkov in količine vzorca. Negotovosti, ki izvirajo iz vzorčevanja, razen količine vzorca, niso upoštevane.

   Pri radiokemičnih meritvah vsebuje merska negotovost statistično negotovost meritve (negotovost tipa A) in druge ocenjene negotovosti tipa A in B, ki sledijo iz postopka in so bolj ali manj za določen postopek stalne. Negotovost tipa A ovrednotimo s statističnimi metodami, medtem ko negotovosti tipa B ovrednotimo s kritično presojo podatkov.

   Poročane negotovosti so izračunane v skladu z vodili GUM (2008).

3. Pri IRB so primarni rezultati meritev z visokoločljivostno spektrometrijo gama izraženi kot $y \pm U(y)$, kjer je $U(y) = k \cdot u(y)$ razširjena merska negotovost s faktorjem pokritja $k = 2$. Če je $U(y) \geq 0{,}9\ y$, se pojmuje, da je rezultat pod mejo kvantifikacije in rezultat meritve ni zapisan v

tabeli. Na isti način so poročani tudi rezultati meritev Sr-90 in H-3. Ta način poročanja o rezultatih se nanaša na nizke aktivnosti, ki se določajo v bližini meje kvantifikacije (< 5 Bq/kg za Cs-137).

4. Če je pri detektirani prisotnosti radionuklida negotovost aktivnosti večja od 80 % vrednosti izmerka, poročamo o neposrednem merskem rezultatu, ki ga označimo z znakom "‡", pod tabelo pa dopišemo, da gre za merski rezultat pod mejo kvantifikacije; v prejšnjih poročilih se je vrednost izmerka prištela k razširjeni negotovosti ($k = 2$), rezultat pa smo označili kot manjši (<) od dobljene številčne vrednosti.
5. V tabele ne pišemo spodnjih **detekcijskih mej**, ki so ocenjene iz velikosti ozadja, verjetnosti za detekcijo in količine vzorca.

   O spodnji meji aktivnosti se zaradi visoke detekcijske meje poroča za Pb-210, ki je zaradi visokega doznega faktorja pomemben pri oceni doz. Skladno s standardom *Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements - Part 7: Fundamentals and general applications (ISO 11929-7:2005)* se številska vrednost spodnje meje aktivnosti pri danih razmerah pri meritvi nanaša na interval zaupanja s 95 % zanesljivostjo.

   Kadar se poroča o meji detekcije (največkrat pri Pb-210, H-3, Sr-90 itd.), se na podlagi priporočila Evropske komisije (*European Commission recommendation on standardized in formation on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation*, Euratom Off. J. Eur. Union. 2004; str. L2:32; odstavka 6 in 7) v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Te vrednosti ne podajamo s pripadajočo negotovostjo, v tabelah pa so označene z znakom "†". Zaradi tega tudi negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajamo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo (tj. upoštevamo stresanje vrednosti). Takšni zapisi so v tabelah označeni z "x". Na ta način smo poenotili tudi merske izide vseh sodelujočih organizacij in odsekov: IJS-F2, IJS-O2, IRB in ZVD.

   Pri drugih nedetektiranih radionuklidih zaradi preglednosti njihove spodnje meje aktivnosti v tabele ne pišemo. Pri izračunih mesečnih povprečij se prazna polja upoštevajo kot ničle.

6. Pri računu doz za neko časovno obdobje T (npr. dan, mesec, leto) predpostavljamo, da poteka vnos medija (npr. vode, zraka) v organizem s stalno hitrostjo $\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = \dot{V} = konst.$ Ta predpostavka nam omogoča, da v organizem vneseno aktivnost A posameznih radionuklidov izrazimo s:
   - časovnim integralom specifične aktivnosti (s časovnim integralom koncentracije aktivnosti) ali s
   - povprečno specifično aktivostjo v obdobju T, ki je enaka specifični aktivnosti sestavljenega vzorca, zbranega v obobju T.

   Velja namreč:

$$A\,/\,(\mathrm{Bq}) = \int_0^T \dot{V}\,/\,(\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}})\cdot a(t)\,/\,(\frac{\mathrm{Bq}}{\mathrm{m}^3})\cdot \mathrm{d}t\,/\,(\mathrm{s}) = \left(\dot{V}\cdot T\right)\frac{1}{T}\int_0^T a(t)\cdot \mathrm{d}t = V_T\cdot\left\langle a(t)\right\rangle = V_T\cdot a_T$$

   kjer sta $V_T = \left(\dot{V}\cdot T\right)$ v času T vnesena količina (volumen) medija v organizem in $\left\langle a(t)\right\rangle = a_T$ povprečna specifična aktivnost v obdobju T, ki je enaka specifični aktivnosti sestavljenega vzorca a_T, zbranega iz enako velikih delnih vzorcev (volumnov) v obdobju T. To je primer neprekinjenega vzorčevanja vzorcev reke Save, saj se vzorec zbira dnevno, meritev sestavljenega vzorca pa je opravljena le enkrat mesečno. S takšnim načinom vzorčevanja in periode izvajanja meritev lahko izgubimo informacijo o morebitnih izpustih iz opazovanega objekta. Res je, da neprekinjeno zbiranje vzorca v Brežicah omogoča retrospektivno analizo za tri dni nazaj, medtem ko vzorčevanje reke Save v Krškem tega ne omogoča.

   Če bi vzorec torej samo zbirali v obdobju T (npr. vse leto), bi bila a_T letna povprečna specifična aktivnost po eni sami meritvi za zbrani vzorec. Ker pa vzorec zbiramo in merimo periodično (npr. mesečno), je letna aktivnost A letna vsota (integral) obdobnih (npr. mesečnih) specifičnih aktivnostih $a(t)$. Ob predpostavki, da je vnos v organizem konstanten, potem sicer lahko govorimo

o letni aritmetični srednji vrednosti (navadno ali neuteženo povprečje) specifične aktivnosti, vendar se je treba zavedati, da gre za letno vsoto obdobnih specifičnih aktivnosti, deljeno s številom meritev.

Program nadzora radioaktivnosti v mediju mora omogočati dovolj dobro retrospektivno sliko v nekem obdobju, zato samo zbiranje vzorca v daljšem obdobju in redke meritve niso pokazatelj dobrega nadzora radioaktivnosti.

Slednja enakost velja tudi za diskretno zbiranje sestavljenega vzorca, ko v enakih časovnih presledkih (v obdobju T) naberemo N delnih vzorcev z volumnom v:

$$a_T = \frac{1}{N \cdot \nu} \cdot \sum_{j=1}^{N} \nu \cdot a_j = \langle a \rangle$$

Kadar računamo vneseno aktivnost za neko obdobje (npr. leto) iz zaporedja ločenih (diskretnih) meritev (npr. mesečnih sestavljenih vzorcev; T = mesec), nadomestimo zgornji izraz z vsoto:

$$A_{\text{leto}} = \sum_{i=1}^{12} V_{\text{mes}} \cdot a_{\text{mes},i} = V_{\text{mes}} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i} = \left(V_{\text{mes}} \cdot 12\right) \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i}$$

$$A_{\text{leto}} = V_{\text{leto}} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i}$$

kjer je pomen veličin isti kot zgoraj.

7. Ocena negotovosti oziroma stresanja letne doze:

Letna efektivna doza E_j j-tega radionuklida je sorazmerna z mesečno aritmetično srednjo vrednostjo obdobnih specifičnih aktivnosti (navadno ali neuteženo povprečje) in porabi (ventiliran zrak, masa popite vode ali zaužite hrane itd.):

$$\left(E\right)_j = h(g)_{j,\text{ing, inh}} \cdot V_{\text{leto}} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left(a_{\text{mes},i}\right)_j$$

kjer je $h(g)_{j,\text{ing, inh}}$ predvidena efektivna doza na enoto vnosa j-tega radionuklida zaradi zaužitja ali vdihavanja, izražena v Sv/Bq.

Relativna negotovost mesečne efektivne doze j-tega radionuklida je potem:

$$\frac{\left(\delta E_{\text{mes}}\right)_j}{\left(E_{\text{mes}}\right)_j} = \sqrt{\left(\frac{\delta h(g)_{j,\text{ing, inh}}}{h(g)_{j,\text{ing, inh}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_{\text{mes}}}{V_{\text{mes}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta\left(a_{\text{mes}}\right)_j}{\left(a_{\text{mes}}\right)_j}\right)^2}$$

Negotovost letne efektivne doze, sešteta po vseh radionuklidih, je:

$$\delta E = \sqrt{\sum_{j,\text{mes}} \left(\delta E_{\text{mes}}\right)_j^{\,2}}$$

Letno efektivno dozo za določeno prenosno pot zapišemo potem kot $E \pm \delta E$. Stresanje mesečnih merskih rezultatov pa lahko zapišemo kot:

$$\Delta E = \sqrt{\sum_j \frac{\sum_{\text{mes}} \left(E_{\text{mes}} - E\right)_j^2}{11}}$$

pri čemer je ta vrednost zapisana ločeno, brez predznaka ±.

8. Ocena negotovosti mesečne aritmetične srednje vrednosti, ali krajše mesečnega povprečja specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\overline{a}_{\text{leto},j}$ za j-ti radionuklid v določenem letu:

$\overline{a}_{\text{leto},\,j} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} a_{i,j}$, kjer je N število meritev v enem letu (i = 1…N).

Obdobni neposredni rezultat meritve j-tega radionuklida (mesečno, trimesečno itd.) se podaja kot:

$a_{i,j} \pm \delta a_{i,j}$

kjer je $a_{i,j}$ izmerjena vrednost, $\delta a_{i,j}$ pa njena negotovost.

Apriorna negotovost povprečja (aritmetične sredine) specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\delta\,\overline{a}_{\text{leto},\,j}$ za j-ti radionuklid v določenem letu:

$$\delta\overline{a}_{\text{leto},\,j} = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_i \left(\delta\, a_i\right)_j^{\,2}}$$

Standardna deviacija $\sigma_{\text{leto},\,j}$ ali stresanje obdobnih merskih rezultatov za j-ti radionuklid v določenem letu:

$\sigma_{\text{leto},\,j} = \sqrt{\frac{\sum_i \left(a_i - \overline{a}_{\text{leto}}\right)_j^{\,2}}{N-1}}$; excelova funkcija "STDEV"

Aposteriorna negotovost povprečja (aritmetične srednje vrednosti) specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\delta\,\overline{a}_{\text{leto},\,j}$ zaradi stresanja podatkov v določenem letu:

$\delta\overline{a}_{\text{leto},\,j} = \sqrt{\frac{\sum_i \left(a_i - \overline{a}_{\text{leto}}\right)^2}{N(N-1)}}$; excelova funkcija "STDEV" deljeno s korenom iz števila meritev

Negotovost letne vsote useda j-tega radionuklida, $\delta a_{\text{used, leto},\,j}$ pa podajamo kot:

$$\delta a_{\text{used, leto},\,j} = \sqrt{\sum_i \left(\delta a_{\text{used},\,i}\right)_j^{\,2}}$$

9. Pri evalvaciji podatkov se za mesečno povprečje (aritmetično srednjo vrednost) specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\overline{a}_{\text{leto},\,j}$ za j-ti radionuklid v določenem letu uporabljata zapisa:

   i) $(\overline{a}_{\text{leto},\,j} \pm \delta\overline{a}_{\text{leto},\,j})$ v primeru uporabe apriorne negotovosti povprečja (aritmetične srednje vrednosti)

   ii) $(\overline{a}_{\text{leto},\,j}\,;\ \delta\overline{a}_{\text{leto},\,j})$ v primeru uporabe aposteriorne negotovosti povprečja (aritmetične srednje vrednosti) zaradi stresanja merskih podatkov

10. Aktivnost Ra-226 je določena iz aktivnosti kratkoživih radonovih potomcev (Pb-214 in Bi-214). Faktor, ki opisuje ravnovesje med radijem in radonovimi potomci, določimo iz faktorja za izhajanje radona iz vzorca in časovnega intervala med pripravo in meritvijo vzorca.

11. Aktivnost urana je določena pri predpostavki, da je U-238 v ravnovesju s potomci Th-234 in Pa-234m ter da sta koncentraciji izotopov U-235 in U-238 v naravnem razmerju.

12. Notranje doze so izračunane iz vsebnosti radionuklidov v mediju, doznih faktorjev in iz predpostavljene porabe hrane, vode ali frekvence vdihovanja zraka. Negotovosti doz so izračunane iz negotovosti vsebnosti radionuklidov, povprečenih preko celega leta. Negotovosti porabe in doznih faktorjev v negotovostih doz niso upoštevane.

13. Označba Sr-90/Sr-89 pomeni, da ni bila narejena analiza na Y-90. Ločitev za Y-90 se izvede samo v primerih, ko iz ponovitve meritve Sr-90/Sr-89 ugotovimo, da je izmerjena hitrost štetja manjša od predhodno določene in je ta razlika hitrosti štetja posledica radioaktivnega razpada Sr-89.

SEZNAM TABEL MERITEV IZ PROGRAMA IMISIJSKIH MERITEV

OBRATOVALNI MONITORING RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NEK

		Tabele	Stran
1.	**REKA SAVA - sestavljeni mesečni vzorci filtrirane vode in filtrskega ostanka** – izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3		
	KRŠKO	T – 1, 2	M–2
	BREŽICE	T – 3, 4	M–3
	JESENICE na Dolenjskem	T – 5, 6	M–6
1.	**REKA SAVA – posamični vzorci nefiltrirane vode** – izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 in H-3		
	KRŠKO	T – 7	M–8
	BREŽICE	T – 9	M–9
	JESENICE na Dolenjskem	T – 10	M–9
	PODSUSED (R Hrvaška)	T – 11	M–10
2.	**REKA SAVA – sedimenti** – izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89		
	KRŠKO	T – 12	M–10
	BREŽICE	T – 13	M–11
	JESENICE na Dolenjskem	T – 14	M–11
	KRŠKO pod mostom	T – 15/p	M–12
	pod jezom NEK	T – 16/p1	M–12
	PESJE	T – 16/p2	M–13
	BREŽICE	T – 16/p3	M–13
	JESENICE na Dolenjskem	T – 17/p	M–14
	PODSUSED (R Hrvaška)	T – 18	M–14
2.	**REKA SAVA – vodna biota – ribe** – izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89		
	KRŠKO	T – 19	M–15
	BREŽICE	T – 21	M–15
	JESENICE na Dolenjskem	T – 22	M–16
	JESENICE na Dolenjskem	T – 22/p1	M–16
	OTOK (R Hrvaška)	T – 24	M–17
	PODSUSED (R Hrvaška)	T – 25	M–17

3. VODOVODI – posamični vzorci pitne vode
– izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

vodovod KRŠKO	T – 28	M–20
vodovod BREŽICE	T – 29	M–20
vrtina E1 v NEK	T – V1	M–21
vrtina VOP-4 v Vrbini	T – V2	M–21

4. ČRPALIŠČA VODOVODOV – sestavljeni mesečni vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

vodovod BREŽICE	T – 30	M–22
črpališče BREGE	T – 31	M–23
črpališče RORE	T – 32	M–24
vodovod SPODNJI STARI GRAD	T – 33	M–25
črpališče BREŽICE - Glogov Brod	T – 34	M–26

4. PODTALNICE – posamični ali sestavljeni mesečni vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

MEDSAVE (R Hrvaška)	T – V3	M–27
ŠIBICE (R Hrvaška)	T – V4	M–28
PETRUŠEVEC (R Hrvaška)	T – 36	M–29

5. PADAVINE – mesečni vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

BREGE	T – 37	M–32
KRŠKO	T – 38	M–34
DOBOVA	T – 39	M–36
LJUBLJANA *)	T – 40	M–38
PREGLED SPECIFIČNIH ANALIZ H-3 V DEŽEVNICI	T – 41	M–40

6. SUHI USEDI – mesečni vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama

SUHI USED – vazelinske plošče	T – 42	M–41

*) Meritve iz lastne raziskovalne dejavnosti, ki niso bile financirane iz programov nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju RS ali NEK

7. ZRAK – zračni jod ter aerosoli
– izotopska analiza sevalcev gama

PREGLED MERITEV JODA V ZRAKU	T – 43	M–46
SPODNJI STARI GRAD	T – 44	M–47
STARA VAS	T – 45	M–48
LESKOVEC	T – 46	M–49
BREGE	T – 47	M–50
VIHRE	T – 48	M–51
GORNJI LENART	T – 49	M–52
LIBNA	T – 50	M–53
DOBOVA	T – 51	M–54
STARA VAS (Sr-89/Sr-90)	T – 45	M–55
LJUBLJANA *)	T – 52	M–56

8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA

TL-dozimetri v okolici NEK in na ograji NEK	T – 53	M–58
TL-dozimetri v Republiki Sloveniji	T – 54	M–62
TL-dozimetri v Republiki Hrvaški	T – 55	M–64
Merilniki hitrosti doze z neprekinjenim zbiranjem	T – 56	M–65
Izračun razredčitvenih in depozicijskih koeficientov po Lagrangeevem modelu (MEIS storitve za okolje)		M–68

9. ZEMLJA – posamični vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89

GMAJNICE – neobdelana zemlja	T – 57	M–72
KUSOVA VRBINA – neobdelana zemlja	T – 59	M–74
AMERIKA – neobdelana zemlja	T – 60	M–76

10. MLEKO – posamični ali sestavljeni mesečni vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in I-131

PESJE	T – 61	M–80
DOLENJE SKOPICE	T – 62	M–81
BREGE	T – 63	M–82
PESJE, DOLENJE SKOPICE, BREGE (I-131)	T – 64	M–83

11. SADJE – posamični vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89

JABOLKA	T – 65	M–83
HRUŠKE	T – 66	M–84
JAGODE	T – 67	M–84
RDEČE IN BELO GROZDJE TER BEZEG	T – 68	M–85

*) Iz programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju RS

12. POVRTNINE IN POLJŠČINE – posamični vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in
specifična analiza Sr-90/Sr-89

POR, FIŽOL, KUMARE, PAPRIKA	T – 69	M–85
SOLATA, ZELJE, KROMPIR, BLITVA	T – 70	M–86
FEFERONI, PARADIŽNIK, KORENJE, PETERŠILJ (LISTI)	T – 71	M–86
RDEČA PESA, BUČKE, ČEBULA, JEČMEN	T – 72	M–87
KORUZA, OVES, JEČMEN, KORUZA	T – 73	M–87

13. MESO IN KOKOŠJA JAJCA – posamični vzorci
– izotopska analiza sevalcev gama in
specifična analiza Sr-90/Sr-89

KOKOŠJE MESO IN JAJCA	T – 74	M–88
SVINJSKO, GOVEJE IN DIVJAČINSKO MESO	T – 75	M–88

OBRATOVALNI MONITORING RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NEK ZARADI HE BREŽICE

1. REKA SAVA - sestavljeni mesečni vzorci filtrirane vode in filtrskega ostanka
– izotopska analiza sevalcev gama in
specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

HE BREŽICE, nad jezom	T – HE 1, 2	M–90

1. REKA SAVA - sestavljeni mesečni vzorci filtrirane vode
– izotopska analiza sevalcev gama in
specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

HE BREŽICE, levi breg	T – HE 3	M–92
HE BREŽICE, desni breg	T – HE 4	M–93

1. REKA SAVA – posamični vzorci nefiltrirane vode
– izotopska analiza sevalcev gama in
specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

HE BREŽICE, nad jezom	T – HE 5	M–94
HE BREŽICE, nadomestni habitat NH1	T – HE 6	M–94

2. REKA SAVA – sedimenti
– izotopska analiza sevalcev gama in
specifična analiza Sr-90/Sr-89

HE BREŽICE, nad jezom	T – HE 7	M–96
HE BREŽICE, levi breg	T – HE 8	M–97
HE BREŽICE, desni breg	T – HE 9	M–98

2. REKA SAVA – vodna biota – ribe
– izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89

HE BREŽICE, nad jezom	T – HE 10	M–99
HE BREŽICE, nad jezom v akumulaciji	T – HE 11	M–99

3. PODTALNICA – posamični vzorci vode
specifična analiza H-3

Vrbina - vrtina VOP-1/06	T – HE 12	M–100
Amerika - vrtina V-12/77	T – HE 13	M–100
Gmajnice - vrtina V-7/77	T – HE 14	M–100

TABELE REZULTATOV PRIMERJALNIH MERITEV M–101

1. VODA - REKA SAVA

VODA - SESTAVLJENI MESEČNI VZORCI
VODA - POSAMIČNI VZORCI

2. SEDIMENTI
VODNA BIOTA – RIBE

LETO 2024 T - 1a

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	januar - marec	april - junij	julij - september	oktober - december	
Kol. vzorca (L)	146,11	146,45	150,60	144,75	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Pretok (m^3 /s)	284,0	264,0	161,0	247,0	
Oznaka vzorca	NEKVKKK124	NEKVKKK224	NEKVKKK324	NEKVKKK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238	1,6E+00 ± 9E-01	3,0E+00 ± 7E-01	3,1E+00 ± 1E+00	4,9E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 6E-01
Ra-226	1,1E+00 ± 1E-01	9,1E-01 ± 8E-02	6,7E-01 ± 1E-01	8,8E-01 ± 2E-01	8,9E-01 ± 7E-02
Pb-210	4,5E+00 ± 8E-01	1,4E+01 ± 1E+00	2,3E+00 ± 1E+00	9,4E+00 ± 1E+00	7,4E+00 ± 6E-01
Ra-228	1,0E+00 ± 2E-01	1,1E+00 ± 1E-01	1,4E+00 ± 3E-01	8,8E-01 ± 3E-01	1,1E+00 ± 1E-01
Th-228	9,8E-01 ± 2E-01	5,4E-01 ± 1E-01	1,4E+00 ± 4E-01	1,7E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 1E-01
Th-230					
K-40	3,3E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 2E+00	3,7E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 1E+00
Be-7	1,6E+01 ± 1E+00	4,0E+01 ± 2E+00	9,1E+00 ± 1E+00	1,5E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 8E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	2,7E-01 ± 5E-02	2,4E-01 ± 4E-02	2,5E-01 ± 8E-02	4,5E-01 ± 2E-01	3,0E-01 ± 5E-02
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	5,6E-02 ± 2E-02	6,4E-01 ± 1E-01	3,5E-01 ± 4E-02	6,8E-01 ± 7E-02	4,3E-01 ± 3E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 2a

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	januar - marec	april - junij	julij - september	oktober - december	
Kol. vzorca (L)	145,60	145,60	137,20	147,20	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Susp. snov (g/m^3)	133,24	6,45	11,31	5,98	
Oznaka vzorca	NEKFKKK124	NEKFKKK224	NEKFKKK324	NEKFKKK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238	9,9E-01 ± 5E-01	7,3E-01 ± 6E-01			4,3E-01 ± 2E-01
Ra-226	3,4E-01 ± 8E-02	1,2E-01 ± 1E-01			1,2E-01 ± 4E-02
Pb-210					
Ra-228	4,9E-01 ± 3E-01	4,6E-01 ± 2E-01		7,2E-01 ± 4E-01	4,2E-01 ± 1E-01
Th-228		3,6E-01 ± 1E-01	4,0E-01 ± 1E-01		1,9E-01 ± 5E-02
Th-230					
K-40		3,4E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 6E-01		1,1E+00 ± 3E-01
Be-7	9,8E-01 ± 2E-01		1,8E+00 ± 4E-01		7,0E-01 ± 1E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 1b

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	1.1.2024 - 31.1.2024	1.2.2024 - 29.2.2024	1.3.2024 - 31.3.2024	1.4.2024 - 30.4.2024	1.5.2024 - 31.5.2024	1.6.2024 - 30.6.2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum meritve	21.2.2024	16.4.2024	22.4.2024	10.7.2024	10.7.2024	17.7.2024	
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	NEKVKK0124	NEKVKK0224	NEKVKK0324	NEKVKK0424	NEKVKK0524	NEKVKK0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
H-3	4,2E+02 ± 8E+01	3,2E+02 ± 8E+01	4,2E+02 ± 9E+01	4,4E+02 ± 9E+01	6,1E+02 ± 9E+01	6,7E+02 ± 9E+01	4,8E+02 ± 3E+01

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	1.7.2024 - 31.7.2024	1.8.2024 - 31.8.2024	1.9.2024 - 30.9.2024	1.10.2024 - 31.10.2024	1.11.2024 - 30.11.2024	1.12.2024 - 31.12.2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum meritve	2.9.2024	3.10.2024	22.10.2024	27.11.2024	18.12.2024	23.1.2025	
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	NEKVKK0724	NEKVKK0824	NEKVKK0924	NEKVKK1024	NEKVKK1124	NEKVKK1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
H-3	4,8E+02 ± 8E+01	5,6E+02 ± 9E+01	7,1E+02 ± 9E+01	6,2E+02 ± 9E+01	5,9E+02 ± 9E+01	5,0E+02 ± 8E+01	5,3E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T - 4c

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

ZVD Zavod za varstvo pri delu

Specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brežice				
Datum vzor.	januar - marec	april - junij	julij - september	oktober - december	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	250,13	217,92	230,06	212,44	
Susp. snov (g/m^3)	17,44	0,95	2,17	1,30	
Oznaka vzorca	NEKFBRK124	NEKFBRK224	NEKFBRK324	NEKFBRK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
Sr-90	3,4E-01 ± 4E-02	2,4E-02 ± 1E-02	2,2E-02 ± 9E-03	2,4E-02 ± 1E-02	1,0E-01 ± 1E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – 3a
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Brežice						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	47,16	46,10	49,55	46,45	48,90	47,90	
Pretok (m^3 /s)	301,0	252,0	299,0	232,0	258,0	302,0	
Oznaka vzorca	NEKVBR0124	NEKVBR0224	NEKVBR0324	NEKVBR0424	NEKVBR0524	NEKVBR0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238					3,3E+00 ± 2E+00		5,5E-01 ± 4E-01
Ra-226	8,5E-01 ± 4E-01	5,2E-01 ± 4E-01	4,5E-01 ± 3E-01		1,1E+00 ± 4E-01		4,9E-01 ± 1E-01
Pb-210	9,0E+00 ± 2E+00	1,3E+01 ± 2E+00	3,4E+00 ± 1E+00	5,4E+01 ± 1E+01	3,0E+00 ± 2E+00	2,0E+01 ± 1E+00	1,7E+01 ± 2E+00
Ra-228			1,6E+00 ± 5E-01	3,6E+00 ± 1E+00			8,7E-01 ± 2E-01
Th-228	1,2E+00 ± 6E-01		9,8E-01 ± 5E-01		1,2E+00 ± 7E-01	4,3E-01 ± 2E-01	6,3E-01 ± 2E-01
Th-230							
K-40	3,4E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 5E+00	1,9E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 6E+00	2,3E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 2E+00
Be-7	1,7E+01 ± 2E+00	7,0E+01 ± 4E+00	8,4E+00 ± 1E+00	9,5E+01 ± 9E+00		5,7E+01 ± 2E+00	4,1E+01 ± 2E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	5,9E-01 ± 2E-01	9,0E-01 ± 4E-01	5,8E-01 ± 2E-01	1,2E+00 ± 5E-01	7,3E-01 ± 3E-01	1,7E-01 ± 7E-02	6,9E-01 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,2E-01 ± 5E-02	1,5E+00 ± 3E-01	1,3E+00 ± 2E-01	5,6E-01 ± 2E-01	7,7E-01 ± 1E-01	1,4E+00 ± 2E-01	9,5E-01 ± 7E-02
H-3	1,3E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 1E+02	3,0E+03 ± 2E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,1E+03 ± 1E+02	6,8E+02 ± 9E+01	1,6E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD. Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T - 4a
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Brežice						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	89,23	77,83	83,07	74,36	72,80	70,76	
Susp. snov (g/m^3)	0,20	0,86	16,38	0,26	0,34	0,36	
Oznaka vzorca	NEKFBR0124	NEKFBR0224	NEKFBR0324	NEKFBR0424	NEKFBR0524	NEKFBR0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238							
Ra-226		6,5E-01 ± 3E-01	1,1E+00 ± 2E-01	5,1E+00 ± 4E+00			1,1E+00 ± 7E-01
Pb-210	1,1E+01 ± 5E+00	2,2E+00 ± 2E+00	1,4E+01 ± 6E+00	2,1E+00 ± 2E+00	1,7E+01 ± 7E+00	5,6E+00 ± 1E+00	8,7E+00 ± 2E+00
Ra-228	1,3E+00 ± 9E-01		1,0E+00 ± 6E-01				3,8E-01 ± 2E-01
Th-228	1,2E+00 ± 6E-01			3,7E+00 ± 5E-01		6,4E-01 ± 4E-01	9,3E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	7,7E+00 ± 3E+00	1,2E+01 ± 3E+00	1,2E+01 ± 3E+00			4,8E+00 ± 3E+00	6,1E+00 ± 1E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 3b

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Brežice						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	49,50	49,50	47,85	48,85	47,75	49,30	
Pretok (m^3 /s)	129,0	88,0	268,0	460,0	150,0	128,0	
Oznaka vzorca	NEKVBR0724	NEKVBR0824	NEKVBR0924	NEKVBR1024	NEKVBR1124	NEKVBR1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238		2,2E+00 ± 2E+00			2,9E+01 ± 2E+01		2,8E+00 ± 2E+00
Ra-226	8,5E-01 ± 4E-01	6,5E+00 ± 2E+00	1,4E+00 ± 2E-01	8,0E-01 ± 7E-01 ‡			1,0E+00 ± 2E-01
Pb-210	7,7E+00 ± 2E+00	1,6E+01 ± 2E+00	1,9E+00 ± 8E-01	1,2E+01 ± 2E+00	6,9E+00 ± 2E+00	2,9E+01 ± 2E+00	1,5E+01 ± 1E+00
Ra-228				3,5E+00 ± 9E-01	1,8E+00 ± 6E-01		8,8E-01 ± 2E-01
Th-228					5,1E+00 ± 2E+00		7,5E-01 ± 2E-01
Th-230							
K-40	2,4E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 4E+00	1,9E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 1E+00
Be-7	3,1E+01 ± 3E+00	8,1E+01 ± 4E+00		5,9E+01 ± 3E+00	6,3E+01 ± 2E+00	1,1E+02 ± 4E+00	4,9E+01 ± 1E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	8,4E-01 ± 3E-01	6,1E-01 ± 3E-01	3,0E-01 ± 1E-01	7,1E-01 ± 3E-01	1,8E-01 ± 7E-02	8,3E-01 ± 3E-01	6,3E-01 ± 8E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,6E-01 ± 6E-02	1,2E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 2E-01	1,1E-01 ± 4E-02	5,6E-01 ± 2E-01	9,2E-01 ± 5E-02
H-3	1,0E+03 ± 1E+02	1,0E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	6,6E+02 ± 9E+01	1,4E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD, radiokemijske analize H-3 pa na IJS na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 4b

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Brežice						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	74,80	76,42	78,84	73,12	70,26	69,06	
Susp. snov (g/m^3)	0,55	0,43	1,19	0,49	0,36	0,45	
Oznaka vzorca	NEKFBR0724	NEKFBR0824	NEKFBR0924	NEKFBR1024	NEKFBR1124	NEKFBR1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	2,6E+01 ± 2E+01			2,1E+01 ± 2E+01 ‡			4,0E+00 ± 2E+00
Ra-226	1,3E+00 ± 6E-01		1,2E+00 ± 3E-01	6,6E-01 ± 4E-01	5,3E+00 ± 2E+00		1,3E+00 ± 4E-01
Pb-210	4,3E+00 ± 2E+00	3,4E+00 ± 1E+00	1,5E+01 ± 6E+00	3,6E+00 ± 1E+00	4,3E+00 ± 2E+00	5,1E+00 ± 4E+00 ‡	7,3E+00 ± 1E+00
Ra-228		9,0E-01 ± 5E-01	1,0E+00 ± 8E-01	1,1E+00 ± 5E-01		1,8E+00 ± 6E-01	5,9E-01 ± 1E-01
Th-228				1,0E+00 ± 5E-01		3,3E+00 ± 3E+00 ‡	8,2E-01 ± 3E-01
Th-230							
K-40	6,2E+00 ± 3E+00			1,2E+01 ± 3E+00			4,5E+00 ± 6E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 5a
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzor. (L)	279,00	261,00	279,00	265,00	270,00	270,00	
Pretok (m^3 /s)	522,0	469,0	165,0	226,0	648,0	234,0	
Oznaka vzorca	JFV01-24	JFV02-24	JFV03-24	JFV04-24	JFV05-24	JFV06-24	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	4,9E+00 ± 1E+00	6,3E+00 ± 1E+00	5,5E+00 ± 1E+00	5,3E+00 ± 1E+00	7,2E+00 ± 1E+00	7,0E+00 ± 1E+00	6,0E+00 ± 5E-01
Ra-226	1,6E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 4E-01	1,1E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 1E-01
Pb-210							
Ra-228	8,1E-01 ± 4E-01	1,0E+00 ± 5E-01	1,1E+00 ± 4E-01	7,9E-01 ± 4E-01	8,3E-01 ± 4E-01	1,4E+00 ± 5E-01	9,9E-01 ± 2E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	2,0E+01 ± 3E+00	2,3E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 6E+00	1,9E+01 ± 3E+00	1,2E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 2E+00
Be-7	2,2E+00 ± 1E+00		2,3E+00 ± 8E-01		3,3E+00 ± 9E-01	5,1E+00 ± 1E+00	2,2E+00 ± 3E-01
I-131			2,8E+00 ± 7E-01			1,1E+00 ± 5E-01	6,5E-01 ± 1E-01
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,2E+00 ± 2E-01	1,9E+00 ± 2E-01	2,2E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 2E-01	2,0E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 2E-01	2,2E+00 ± 8E-02
H-3	1,2E+03 ± 2E+02	1,2E+03 ± 2E+02	2,7E+03 ± 3E+02	1,6E+03 ± 2E+02	8,6E+02 ± 2E+02	5,9E+02 ± 1E+02	1,4E+03 ± 8E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 6a
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzor. (L)	279,00	261,00	279,00	265,00	270,00	270,00	
Susp. snov (g/m^3)	10,0	6,6	1,3	2,4	11,7	4,0	
Oznaka vzorca	JST01-24	JST02-24	JST03-24	JST04-24	JST05-24	JST06-24	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238			1,1E+00 ± 7E-01		1,8E+00 ± 8E-01	7,9E-01 ± 6E-01	6,2E-01 ± 2E-01
Ra-226	2,5E-01 ± 2E-01	5,2E-01 ± 4E-01	3,4E-01 ± 2E-01	5,7E-01 ± 2E-01		3,5E-01 ± 2E-01	3,4E-01 ± 9E-02
Pb-210							
Ra-228				6,9E-01 ± 4E-01		1,6E+00 ± 5E-01	3,8E-01 ± 1E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	3,3E+00 ± 2E+00		6,7E+00 ± 2E+00	5,4E+00 ± 2E+00		8,7E+00 ± 3E+00	4,0E+00 ± 8E-01
Be-7					1,8E+00 ± 9E-01	4,9E+00 ± 1E+00	1,1E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137		2,1E-01 ± 1E-01	9,8E-02 ± 7E-02		9,3E-02 ± 7E-02	2,5E-01 ± 9E-02	1,1E-01 ± 3E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 5b

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	
Kol. vzor. (L)	279,00	270,00	243,00	279,00	270,00	279,00	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Pretok (m^3 /s)	134,0	109,0	80,0	129,0	228,0	327,0	
Oznaka vzorca	JFV07-24	JFV08-24	JFV09-24	JFV10-24	JFV11-24	JFV12-24	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	5,6E+00 ± 1E+00	6,1E+00 ± 1E+00	7,7E+00 ± 1E+00	5,6E+00 ± 1E+00	6,7E+00 ± 1E+00	8,7E+00 ± 2E+00	6,4E+00 ± 4E-01
Ra-226	1,1E+00 ± 3E-01	1,5E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 3E-01	8,5E-01 ± 2E-01	9,1E-01 ± 3E-01	7,2E-01 ± 2E-01	1,2E+00 ± 8E-02
Pb-210							
Ra-228	1,0E+00 ± 4E-01	1,0E+00 ± 5E-01	1,2E+00 ± 5E-01	8,4E-01 ± 4E-01	5,9E-01 ± 4E-01	9,5E-01 ± 4E-01	9,6E-01 ± 1E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	5,4E+01 ± 7E+00	4,1E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 5E+00	2,5E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 4E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 1E+00
Be-7	2,3E+00 ± 8E-01	1,9E+00 ± 8E-01	1,6E+00 ± 8E-01		1,3E+00 ± 7E-01	1,7E+00 ± 6E-01	1,8E+00 ± 2E-01
I-131			2,8E+00 ± 1E+00		2,2E+00 ± 1E+00	1,7E+00 ± 5E-01	8,8E-01 ± 2E-01
Cs-134							
Cs-137	1,3E-01 ± 7E-02			1,5E-01 ± 6E-02	7,9E-02 ± 6E-02	1,1E-01 ± 6E-02	3,8E-02 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,6E+00 ± 2E-01	1,9E+00 ± 2E-01	2,4E+00 ± 2E-01	2,2E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 6E-02
H-3	1,0E+03 ± 2E+02	1,1E+03 ± 2E+02	9,7E+02 ± 2E+02	8,3E+02 ± 1E+02	7,1E+02 ± 2E+02	8,2E+02 ± 2E+02	1,1E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 6b

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	
Kol. vzor. (L)	279,00	270,00	243,00	279,00	270,00	279,00	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Susp. snov (g/m^3)	4,7	1,9	1,7	2,6	3,0	4,3	
Oznaka vzorca	JST07-24	JST08-24	JST09-24	JST10-24	JST11-24	JST12-24	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238		7,8E-01 ± 6E-01		1,1E+00 ± 6E-01	1,2E+00 ± 7E-01		5,7E-01 ± 1E-01
Ra-226				7,0E-01 ± 2E-01			2,3E-01 ± 5E-02
Pb-210							
Ra-228				1,5E+00 ± 5E-01			3,1E-01 ± 7E-02
Th-228							
Th-230							
K-40				1,7E+01 ± 3E+00			3,5E+00 ± 5E-01
Be-7	4,6E+00 ± 1E+00	2,4E+00 ± 9E-01	1,3E+00 ± 8E-01				1,2E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,1E-01 ± 7E-02	8,1E-02 ± 7E-02		4,9E-01 ± 1E-01		1,7E-01 ± 8E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 6a, 6b
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	januar - marec	april - junij	julij - september	oktober - december	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	819,00	805,00	792,00	828,00	
Susp. snov (g/m^3)	5,9	6,1	2,8	3,3	
Oznaka vzorca	JST-I-24	JST-II-24	JST-III-24	JST-IV-24	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
Sr-90	2,7E-03	2,3E-03	2,6E-03	2,3E-03	2,5E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 7
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	44,15	48,10	48,20	47,20	
Oznaka vzorca	RSKKK124	RSKKK224	RSKKK324	RSKKK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238	4,3E+00 ± 3E+00				1,1E+00 ± 7E-01
Ra-226	1,9E+00 ± 4E-01	2,9E+00 ± 2E+00	7,6E-01 ± 3E-01	7,7E-01 ± 5E-01	1,6E+00 ± 5E-01
Pb-210	1,1E+01 ± 2E+00	2,7E+00 ± 2E+00 ‡	3,3E+01 ± 2E+00	4,9E+00 ± 2E+00	1,3E+01 ± 1E+00
Ra-228	1,9E+00 ± 8E-01	9,7E-01 ± 6E-01	3,1E+00 ± 6E-01	1,8E+00 ± 1E+00 ‡	1,9E+00 ± 5E-01
Th-228	1,1E+00 ± 6E-01		8,0E-01 ± 5E-01		4,8E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	3,3E+01 ± 5E+00	1,1E+01 ± 4E+00	4,9E+01 ± 4E+00	1,9E+01 ± 5E+00	2,8E+01 ± 2E+00
Be-7	3,2E+01 ± 2E+00		8,9E+01 ± 3E+00		3,0E+01 ± 1E+00
I-131			4,6E+00 ± 3E-01		1,2E+00 ± 7E-02
Cs-134					
Cs-137	9,1E-01 ± 4E-01	5,7E-01 ± 2E-01	4,2E-01 ± 1E-01	8,5E-01 ± 3E-01	6,9E-01 ± 1E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,8E+00 ± 4E-01	8,5E+00 ± 2E+00	1,4E+00 ± 2E-01	7,8E-01 ± 2E-01	3,1E+00 ± 4E-01
H-3*	6,5E+02 ± 6E+01	5,8E+02 ± 7E+01	9,3E+03 ± 4E+02	5,0E+02 ± 6E+01	2,8E+03 ± 1E+02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijska analiza Sr-90/Sr-89 sta bili opravljeni na ZVD, analiza H-3 pa na IJS na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 9

1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Brežice				
Datum vzor.	28. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzorca (L)	50,70	54,10	51,75	48,75	
Oznaka vzorca	RSBRK124	RSBRK224	RSBRK324	RSBRK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238			5,4E+00 ± 2E+00		1,3E+00 ± 5E-01
Ra-226	1,1E+00 ± 2E-01	5,9E-01 ± 3E-01	5,7E-01 ± 2E-01		5,6E-01 ± 1E-01
Pb-210	2,6E+00 ± 2E+00 ‡	4,3E+00 ± 2E+00	3,7E+01 ± 3E+00	7,7E+00 ± 1E+00	1,3E+01 ± 1E+00
Ra-228	1,2E+00 ± 5E-01		2,2E+00 ± 6E-01		8,6E-01 ± 2E-01
Th-228	1,0E+00 ± 5E-01	1,0E+00 ± 6E-01	5,3E+00 ± 2E+00	8,3E-01 ± 3E-01	2,0E+00 ± 5E-01
Th-230					
K-40	3,0E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 2E+00
Be-7	1,4E+01 ± 2E+00	7,3E+00 ± 1E+00	1,4E+02 ± 6E+00	1,2E+01 ± 1E+00	4,3E+01 ± 2E+00
I-131		3,2E+00 ± 5E-01			8,0E-01 ± 1E-01
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,6E-01 ± 7E-02	1,5E+00 ± 3E-01	3,4E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 1E-01
H-3*	1,7E+04 ± 7E+02	2,4E+03 ± 1E+02	6,5E+02 ± 6E+01	7,6E+02 ± 7E+01	5,2E+03 ± 2E+02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijska analiza Sr-90/Sr-89 sta bili opravljeni na ZVD, analiza H-3 pa na IJS na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 10

1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzorca (L)	44,85	43,10	44,15	44,95	
Oznaka vzorca	RSJEK124	RSJEK224	RSJEK324	RSJEK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238				2,6E+00 ± 2E+00 ‡	6,5E-01 ± 5E-01
Ra-226	2,2E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 2E+00 ‡			1,1E+00 ± 5E-01
Pb-210	1,3E+01 ± 1E+00	7,2E+00 ± 2E+00	1,2E+01 ± 1E+00	4,2E+00 ± 2E+00	9,1E+00 ± 8E-01
Ra-228				2,3E+00 ± 7E-01	5,8E-01 ± 2E-01
Th-228	2,0E+00 ± 3E-01			6,2E-01 ± 6E-01 ‡	6,6E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	4,8E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 5E+00	3,0E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 4E+00	3,5E+01 ± 2E+00
Be-7	3,1E+01 ± 2E+00	8,6E+00 ± 2E+00	3,5E+01 ± 2E+00	4,8E+00 ± 2E+00	2,0E+01 ± 9E-01
I-131		1,8E+00 ± 6E-01			4,5E-01 ± 1E-01
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	9,4E-01 ± 2E-01	1,6E+00 ± 5E-01	1,4E+00 ± 2E-01	1,4E+00 ± 3E-01	1,3E+00 ± 2E-01
H-3*	6,4E+02 ± 6E+01	3,5E+03 ± 2E+02	6,8E+02 ± 6E+01	6,2E+02 ± 7E+01	1,4E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijska analiza Sr-90/Sr-89 sta bili opravljeni na ZVD, analiza H-3 pa na IJS na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 11
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Specifična analiza H-3

Vzorč. mesto	Podsused (R Hrvaška)				
Datum vzor. Oznaka vzorca	januar - marec PO-I-24	april - junij PO-II-24	julij - september PO-III-24	oktober - december PO-IV-24	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
H-3	7,0E+02 ± 1E+02	5,0E+02 ± 1E+02	6,9E+02 ± 2E+02	6,4E+02 ± 1E+02	6,3E+02 ± 7E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 12
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor. Kol. vzor. (g) Oznaka vzorca	26. 3. 2024 532,40 SDKKK124	29. 5. 2024 250,80 SDKKK224	25. 9. 2024 896,00 SDKKK324	14. 11. 2024 392,60 SDKKK424	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,9E+01 ± 5E+00	2,2E+01 ± 5E+00	2,1E+01 ± 5E+00	2,7E+01 ± 6E+00	2,5E+01 ± 3E+00
Ra-226	3,1E+01 ± 6E-01	2,4E+01 ± 6E-01	2,7E+01 ± 6E-01	2,9E+01 ± 8E-01	2,8E+01 ± 3E-01
Pb-210	4,6E+01 ± 4E+00	5,7E+01 ± 5E+00	7,9E+01 ± 8E+00	6,3E+01 ± 6E+00	6,1E+01 ± 3E+00
Ra-228	3,4E+01 ± 9E-01	2,4E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 5E-01
Th-228	2,9E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 2E+00	2,8E+01 ± 7E-01
Th-230					
K-40	4,3E+02 ± 2E+01	3,1E+02 ± 2E+01	3,7E+02 ± 2E+01	4,3E+02 ± 3E+01	3,9E+02 ± 1E+01
Be-7	2,8E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 2E+00		2,2E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 9E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	4,1E+00 ± 2E-01	3,7E+00 ± 3E-01	5,0E+00 ± 4E-01	4,9E+00 ± 4E-01	4,4E+00 ± 2E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	2,6E-01 ± 2E-01	1,7E-01 ± 7E-02	1,1E-01 ± 4E-02	5,2E-02 ± 2E-02	1,5E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 13
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brežice				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzor. (g)	270,80	246,70	218,00	196,10	
Oznaka vzorca	SDBRK124	SDBRK224	SDBRK324	SDBRK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,8E+01 ± 6E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 5E+00	2,5E+01 ± 2E+00
Ra-226	3,5E+01 ± 7E-01	2,5E+01 ± 5E-01	2,5E+01 ± 5E-01	2,8E+01 ± 6E-01	2,8E+01 ± 3E-01
Pb-210	5,2E+01 ± 5E+00	4,8E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	9,1E+01 ± 8E+00	5,9E+01 ± 3E+00
Ra-228	4,1E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 7E-01	2,5E+01 ± 8E-01	2,8E+01 ± 9E-01	2,9E+01 ± 5E-01
Th-228	3,6E+01 ± 1E+00	1,8E+01 ± 7E-01	2,2E+01 ± 9E-01	2,8E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 5E-01
Th-230					
K-40	5,4E+02 ± 3E+01	2,8E+02 ± 1E+01	2,7E+02 ± 1E+01	3,7E+02 ± 2E+01	3,7E+02 ± 1E+01
Be-7	7,3E+00 ± 1E+00	1,4E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	1,1E+02 ± 4E+00	3,8E+01 ± 1E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	8,9E+00 ± 3E-01	2,3E+00 ± 1E-01	2,3E+00 ± 2E-01	2,9E+00 ± 2E-01	4,1E+00 ± 1E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,5E-01 ± 6E-02	3,4E-01 ± 1E-01	1,2E-01 ± 5E-02	4,4E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 14
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzor. (g)	387,40	413,30	213,10	506,20	
Oznaka vzorca	SDJEK124	SDJEK224	SDJEK324	SDJEK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	1,9E+01 ± 4E+00	1,7E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 5E+00	2,1E+01 ± 4E+00	1,9E+01 ± 2E+00
Ra-226	2,3E+01 ± 5E-01	2,3E+01 ± 6E-01	2,1E+01 ± 6E-01	2,0E+01 ± 4E-01	2,2E+01 ± 3E-01
Pb-210	2,9E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 2E+00
Ra-228	2,1E+01 ± 7E-01	1,9E+01 ± 9E-01	2,2E+01 ± 1E+00	1,9E+01 ± 6E-01	2,0E+01 ± 4E-01
Th-228	1,9E+01 ± 8E-01	1,9E+01 ± 1E+00	2,2E+01 ± 1E+00	1,7E+01 ± 7E-01	1,9E+01 ± 5E-01
Th-230					
K-40	2,4E+02 ± 1E+01	2,7E+02 ± 1E+01	2,4E+02 ± 1E+01	2,4E+02 ± 1E+01	2,5E+02 ± 7E+00
Be-7	5,5E+00 ± 9E-01	1,6E+01 ± 2E+00	1,3E+01 ± 2E+00	4,6E+00 ± 8E-01	9,8E+00 ± 8E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	1,8E+00 ± 1E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,1E+00 ± 2E-01	1,6E+00 ± 1E-01	1,5E+00 ± 8E-02
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,2E-01 ± 5E-02	3,0E-01 ± 2E-01	1,6E-01 ± 7E-02	6,5E-02 ± 3E-02	1,6E-01 ± 6E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 15/p
2. REKA SAVA – SEDIMENTI

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Krško pod mostom				
Datum vzor.	6. 2. 2024	15. 5. 2024	19. 8. 2024	7. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	163,2	165,7	190,1	180,3	
Oznaka vzorca	SIZ02-24	SIZ05-24	SIZ08-24	SIZ11-24	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	4,0E+01 ± 1E+01	3,8E+01 ± 9E+00	2,7E+01 ± 7E+00	3,4E+01 ± 8E+00	3,5E+01 ± 5E+00
Ra-226	4,0E+01 ± 5E+00	4,1E+01 ± 5E+00	2,9E+01 ± 4E+00	3,3E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	4,4E+01 ± 7E+00	4,5E+01 ± 7E+00	3,4E+01 ± 5E+00	3,2E+01 ± 5E+00	3,9E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	4,9E+02 ± 5E+01	5,0E+02 ± 6E+01	4,2E+02 ± 5E+01	4,4E+02 ± 5E+01	4,6E+02 ± 3E+01
Be-7	2,6E+01 ± 8E+00	5,1E+01 ± 9E+00	3,1E+01 ± 8E+00	2,1E+01 ± 9E+00	3,2E+01 ± 4E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	4,9E+00 ± 1E+00	5,2E+00 ± 1E+00	3,1E+00 ± 7E-01		3,3E+00 ± 4E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 16/p1
2. REKA SAVA – SEDIMENTI

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Krško pod jezom NEK				
Datum vzor.	6. 2. 2024	15. 5. 2024	19. 8. 2024	7. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	189,1	186,5	152,6	161,8	
Oznaka vzorca	SIS02-24	SIS05-24	SIS08-24	SIS11-24	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,9E+01 ± 1E+01	3,4E+01 ± 9E+00	4,2E+01 ± 1E+01	3,6E+01 ± 9E+00	3,8E+01 ± 5E+00
Ra-226	3,6E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 4E+00	4,4E+01 ± 5E+00	3,6E+01 ± 4E+00	3,7E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	3,9E+01 ± 6E+00	3,8E+01 ± 6E+00	4,8E+01 ± 7E+00	4,0E+01 ± 6E+00	4,1E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	4,4E+02 ± 5E+01	4,8E+02 ± 5E+01	5,8E+02 ± 6E+01	5,0E+02 ± 6E+01	5,0E+02 ± 3E+01
Be-7			5,0E+01 ± 1E+01	2,6E+01 ± 9E+00	1,9E+01 ± 3E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	2,9E+00 ± 7E-01	3,8E+00 ± 8E-01	8,9E+00 ± 1E+00		3,9E+00 ± 4E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 16/p2
2. REKA SAVA – SEDIMENTI

Institut Ruđer Bošković

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Pesje				
Datum vzor.	6. 2. 2024	15. 5. 2024	19. 8. 2024	7. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzor. (g)	170,6	163,5	128,7	111,3	
Oznaka vzorca	SPE02-24	SPE05-24	SPE08-24	SPE11-24	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	4,2E+01 ± 1E+01	4,1E+01 ± 1E+01	2,8E+01 ± 9E+00	3,3E+01 ± 1E+01	3,6E+01 ± 5E+00
Ra-226	3,9E+01 ± 5E+00	4,0E+01 ± 5E+00	2,7E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	3,8E+01 ± 6E+00	4,3E+01 ± 6E+00	3,9E+01 ± 6E+00	4,4E+01 ± 7E+00	4,1E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	5,1E+02 ± 6E+01	5,0E+02 ± 6E+01	4,3E+02 ± 5E+01	4,9E+02 ± 6E+01	4,8E+02 ± 3E+01
Be-7	1,3E+01 ± 6E+00	1,8E+01 ± 6E+00	1,2E+02 ± 2E+01	8,1E+01 ± 2E+01	5,8E+01 ± 6E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	6,1E+00 ± 1E+00	7,1E+00 ± 1E+00	7,5E+00 ± 1E+00	1,0E+01 ± 2E+00	7,8E+00 ± 6E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 16/p3
2. REKA SAVA – SEDIMENTI

Institut Ruđer Bošković

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Brežice				
Datum vzor.	6. 2. 2024	15. 5. 2024	19. 8. 2024	7. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzor. (g)	198,9	192,3	157,1	188,5	
Oznaka vzorca	SBR02-24	SBR05-24	SBR08-24	SBR11-24	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,8E+01 ± 7E+00	3,8E+01 ± 1E+01	3,7E+01 ± 9E+00	2,7E+01 ± 7E+00	3,3E+01 ± 4E+00
Ra-226	2,8E+01 ± 4E+00	3,3E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 4E+00	3,2E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	2,4E+01 ± 4E+00	3,2E+01 ± 5E+00	4,2E+01 ± 8E+00	2,9E+01 ± 5E+00	3,2E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	3,0E+02 ± 3E+01	4,2E+02 ± 5E+01	4,9E+02 ± 6E+01	3,5E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 2E+01
Be-7		2,1E+01 ± 6E+00			5,1E+00 ± 1E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	2,8E+00 ± 7E-01	3,8E+00 ± 8E-01	7,0E+00 ± 1E+00	2,1E+00 ± 7E-01	3,9E+00 ± 4E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 17/p
2. REKA SAVA – SEDIMENTI

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	6. 2. 2024	15. 5. 2024	19. 8. 2024	7. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	206,1	205,6	195,0	192,1	
Oznaka vzorca	SJE02-24	SJE05-24	SJE08-24	SJE11-24	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,3E+01 ± 9E+00	2,6E+01 ± 8E+00	2,6E+01 ± 7E+00	3,2E+01 ± 8E+00	2,7E+01 ± 4E+00
Ra-226	2,3E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	1,9E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,7E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 2E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	1,4E+02 ± 2E+01	2,3E+02 ± 3E+01	2,5E+02 ± 3E+01	3,2E+02 ± 4E+01	2,4E+02 ± 1E+01
Be-7		1,1E+01 ± 4E+00	1,2E+01 ± 5E+00	7,6E+00 ± 6E+00	7,6E+00 ± 2E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	7,5E-01 ± 3E-01	1,6E+00 ± 5E-01	1,5E+00 ± 6E-01		9,5E-01 ± 2E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 18
2. REKA SAVA – SEDIMENTI

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Podsused (R Hrvaška)				
Datum vzor.	6. 2. 2024	15. 5. 2024	19. 8. 2024	7. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	211,2	213,7	211,6	211,6	
Oznaka vzorca	SPO02-24	SPO05-24	SPO08-24	SPO11-24	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,8E+01 ± 1E+01	2,5E+01 ± 8E+00	1,9E+01 ± 6E+00	1,2E+01 ± 5E+00	2,4E+01 ± 4E+00
Ra-226	3,8E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 3E+00	1,8E+01 ± 2E+00	2,5E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	3,1E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 3E+00	1,5E+01 ± 3E+00	2,2E+01 ± 2E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	1,5E+02 ± 2E+01	2,0E+02 ± 2E+01	1,6E+02 ± 2E+01	2,0E+02 ± 3E+01	1,8E+02 ± 1E+01
Be-7			7,5E+00 ± 3E+00		1,9E+00 ± 9E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	6,7E-01 ± 3E-01	9,4E-01 ± 5E-01	7,9E-01 ± 4E-01		6,0E-01 ± 2E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	< 2,9E-01	< 1,6E-01	< 1,7E-01	< 1,7E-01	2,0E-01 ± 3E-02 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 19
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Vrsta vzorca	Som	Klen	Klen	Klen	
Datum vzor.	2. 7. 2024	8. 1. 2025	10. 1. 2025	22. 1. 2025	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Masa vzorca (g)	472	660	442	508	
Oznaka vzorca	RIKKK124	RIKKK224	RIKKK324	RIKKK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238		2,2E-01 ± 2E-01 ‡			5,5E-02 ± 5E-02
Ra-226			2,5E-01 ± 5E-02	1,0E-01 ± 2E-02	8,7E-02 ± 1E-02
Pb-210	7,7E-01 ± 3E-01	4,7E-01 ± 2E-01	8,2E-01 ± 3E-01	2,9E-01 ± 1E-01	5,9E-01 ± 1E-01
Ra-228	2,9E-01 ± 1E-01	1,5E-01 ± 5E-02			1,1E-01 ± 4E-02
Th-228		7,1E-02 ± 5E-02		2,0E-01 ± 4E-02	6,9E-02 ± 2E-02
Th-230					
K-40	4,3E+01 ± 3E+00	5,7E+01 ± 3E+00	9,4E+01 ± 7E+00	1,1E+02 ± 8E+00	7,7E+01 ± 3E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	2,0E-02 ± 8E-03	5,0E-02 ± 3E-02	1,8E-02 ± 7E-03	2,9E-02 ± 1E-02	2,9E-02 ± 8E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 21
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brežice				
Vrsta vzorca	Klen	Klen	Podust	Klen	
Datum vzor.	19. 8. 2024	13. 11. 2024	8. 1. 2025	10. 1. 2025	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Masa vzorca (g)	626	342	492	466	
Oznaka vzorca	RIBRK124	RIBRK224	RIBRK324	RIBRK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226	3,8E-02 ± 2E-02	2,4E-01 ± 6E-02	2,1E-01 ± 2E-02		1,2E-01 ± 2E-02
Pb-210	5,9E-01 ± 2E-01	9,3E-01 ± 4E-01	3,6E-01 ± 1E-01	4,4E-01 ± 2E-01	5,8E-01 ± 1E-01
Ra-228	9,4E-02 ± 5E-02	4,5E-01 ± 1E-01			1,4E-01 ± 3E-02
Th-228	1,6E-01 ± 5E-02			2,5E-01 ± 5E-02	1,0E-01 ± 2E-02
Th-230					
K-40	3,7E+01 ± 2E+00	1,2E+02 ± 6E+00	9,6E+01 ± 7E+00	1,5E+02 ± 1E+01	1,0E+02 ± 4E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	3,6E-02 ± 2E-02	1,8E-02 ± 8E-03	6,1E-02 ± 4E-02	7,8E-02 ± 5E-02	4,8E-02 ± 2E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – 22
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Vrsta vzorca	Krap	Podust	Klen	Krap	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	29. 3. 2024	12. 6. 2024	20. 9. 2024	21. 10. 2024	
Masa vzorca (g)	686	428	411	509	
Oznaka vzorca	RIJEK124	RIJEK224	RIJEK324	RIJEK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226	1,3E-01 ± 2E-02	1,2E-01 ± 1E-01 ‡	4,4E-01 ± 6E-02	5,7E-02 ± 5E-02 ‡	1,9E-01 ± 3E-02
Pb-210					
Ra-228		2,6E-01 ± 1E-01		2,1E-01 ± 9E-02	1,2E-01 ± 4E-02
Th-228	1,8E-01 ± 3E-02		3,5E-01 ± 9E-02	1,1E-01 ± 8E-02	1,6E-01 ± 3E-02
Th-230					
K-40	5,7E+01 ± 3E+00	1,1E+02 ± 9E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,3E+02 ± 9E+00	1,0E+02 ± 4E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	2,5E-02 ± 1E-02	2,0E-02 ± 8E-03	7,5E-02 ± 5E-02	5,1E-02 ± 3E-02	4,3E-02 ± 1E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 22/p1
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Vrsta vzorca	Klen *Leuciscus cephalus*	Nosara *Vimba vimba*	Babuška *Carassius gibelio*	Nosara *Vimba vimba*	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	17. 6. 2024	17. 6. 2024	5. 11. 2024	5. 11. 2024	
Kol. vzor. (kg)	0,501	0,508	0,473	0,463	
Odstotek suhe snovi	23,36	28,80	25,50	29,90	
Oznaka vzorca	JE0624R1	JE0624R2	JE1124R1	JE1124R2	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238		2,1E+00 2E+00		3,9E+00 ± 2E+00	1,5E+00 ± 7E-01
Ra-226					
Pb-210					
Ra-228				6,6E-01 ± 5E-01	1,7E-01 ± 1E-01
Th-228					
Th-230					
K-40	1,1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01	9,1E+01 ± 1E+01	1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 6E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 24
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Otok (R Hrvaška)				
Vrsta vzorca	Štuka *Esox lucius*	Podust *Chondrostoma nasus*	Štuka *Esox lucius*	Podust *Chondrostoma nasus*	
Datum vzor.	17. 6. 2024	17. 6. 2024	5. 11. 2024	5. 11. 2024	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Kol. vzor. (kg)	0,651	0,573	0,564	0,444	
Odstotek suhe snovi	18,93	18,50	25,96	26,82	
Oznaka vzorca	OT0624R1	OT0624R2	OT1124R1	OT1124R2	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226					
Pb-210					
Ra-228					
Th-228					
Th-230					
K-40	9,5E+01 ± 1E+01	9,3E+01 ± 1E+01	1,3E+02 ± 1E+01	1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 6E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 25
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Podsused (R Hrvaška)				
Vrsta vzorca	Mrena *Barbus barbus*	Plotica *Rutilus pigus virgo*	Grgeč *Perca fluviatilis*	Plotica *Rutilus pigus virgo*	
Datum vzor.	17. 6. 2024	17. 6. 2024	5. 11. 2024	5. 11. 2024	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Kol. vzor. (kg)	0,479	0,486	0,397	0,492	
Odstotek suhe snovi	24,16	26,73	29,44	30,39	
Oznaka vzorca	PO0624R1	PO0624R2	PO1124R1	PO1124R2	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226					
Pb-210					
Ra-228			9,3E-01 ± 6E-01		2,3E-01 ± 1E-01
Th-228					
Th-230					
K-40	1,1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 7E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

VODOVODI, ČRPALIŠČA in ZAJETJA

3. POSAMIČNI VZORCI PITNE VODE PODTALNICE

4. ČRPALIŠČA VODOVODA KRŠKO IN BREŽICE

LETO 2024 T - 28
3. VODOVOD KRŠKO – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Krško (Petrol)				
Datum vzor.	12.2.2024	29.5.2024	23.9.2024	14.11.2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzorca (L)	52,02	53,73	52,05	51,52	
Oznaka vzorca	K24VD121	K24VD151	K24VD191	K24VD1B1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238	3,8E+00 ± 1E+00	2,3E+00 ± 1E+00	2,6E+00 ± 1E+00	4,6E+00 ± 2E+00	3,3E+00 ± 7E-01
Ra-226	1,9E+00 ± 4E-01	1,6E+00 ± 5E-01	1,4E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 5E-01	1,7E+00 ± 2E-01
Pb-210	6,1E-01 ± 3E+00 ‡	1,7E+00 ± 3E+00 ‡	9,1E-01 ± 3E+00 ‡	4,5E-01 †	9,1E-01 ± 3E-01 x
Ra-228	8,7E-01 ± 4E-01	7,4E-01 ± 5E-01	1,1E+00 ± 6E-01	9,3E-01 ± 4E-01	9,1E-01 ± 2E-01
Th-228	1,5E-01 ± 2E-01 ‡	3,1E-01 ± 1E-01	1,7E-01 ± 2E-01 ‡	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	2,1E-01 ± 8E-02
Th-230					
K-40	4,4E+01 ± 3E+00	3,4E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 1E+00
Be-7	6,4E+00 ± 7E-01	1,3E+00 ± 9E-01	1,6E+00 ± 8E-01	1,4E+00 ± 7E-01	2,7E+00 ± 4E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-89/Sr-90	8,4E-01 ± 1E-01	8,1E-01 ± 9E-02	9,0E-01 ± 1E-01	8,5E-01 ± 8E-02	8,5E-01 ± 5E-02
H-3	1,7E+03 ± 1E+02	5,0E+02 ± 8E+01	7,9E+02 ± 1E+02	5,9E+02 ± 9E+01	9,0E+02 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 29
3. VODOVOD BREŽICE – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Brežice (Petrol)				
Datum vzor.	12.2.2024	29.5.2024	23.9.2024	14.11.2024	četrtletno povprečje (za celo leto)(*)
Kol. vzorca (L)	52,63	53,41	52,56	52,00	
Oznaka vzorca	K24VD321	K24VD351	K24VD391	K24VD3B1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238	2,1E+00 ± 1E+00		1,5E+00 ± 2E+00 ‡	4,0E+00 ± 2E+00	1,9E+00 ± 8E-01
Ra-226	2,0E+00 ± 5E-01	2,0E+00 ± 1E+00	2,3E-01 ± 4E-01 ‡	6,6E+00 ± 1E+00	2,7E+00 ± 4E-01
Pb-210	1,0E+00 ± 1E+00 ‡	4,2E-01 †	3,8E+00 ± 2E+00	5,0E-01 †	1,4E+00 ± 8E-01 x
Ra-228	7,6E-02 ± 4E-01 ‡	1,2E-01 ± 3E-01 ‡	9,0E-01 ± 8E-01 ‡		2,7E-01 ± 2E-01
Th-228	1,5E-01 ± 3E-01 ‡	2,7E-01 ± 1E-01	1,0E+00 ± 1E+00 ‡	2,5E-01 ± 7E-01 ‡	4,3E-01 ± 3E-01
Th-230					
K-40	2,3E+01 ± 2E+00	1,8E+01 ± 1E+00	1,8E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 9E-01
Be-7	9,3E+00 ± 1E+00				2,3E+00 ± 3E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-89/Sr-90	1,9E-01 ± 6E-02	4,0E-02 †	2,6E-01 ± 7E-02	2,7E-01 ± 7E-02	1,9E-01 ± 5E-02 x
H-3	5,0E+01 †	5,0E+01 †	2,7E+02 ± 8E+01	5,0E+01 †	1,1E+02 ± 6E+01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - V1
3. VRTINA E1 V NEK – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	NEK - vrtina E1				
Datum vzor.	12. 2. 2024	29. 5. 2024	23. 9. 2024	14. 11. 2024	četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	49,68	49,96	49,33	48,65	
Oznaka vzorca	K24VRE121	K24VRE151	K24VRE191	K24VRE1B1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
U-238	3,1E+00 ± 2E+00	4,9E+00 ± 2E+00	5,8E-01 ± 6E-01 ‡	4,1E+00 ± 7E-01	3,2E+00 ± 7E-01
Ra-226	3,5E+00 ± 5E-01	3,9E+00 ± 7E-01	5,3E+00 ± 1E+00	3,5E+00 ± 5E-01	4,0E+00 ± 4E-01
Pb-210	1,4E+00 ± 3E+00 ‡	1,7E+00 ± 2E+00 ‡	3,4E+00 ± 8E-01	3,8E+00 ± 5E-01	2,5E+00 ± 8E-01
Ra-228	2,1E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 5E-01	2,1E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 2E-01	2,0E+00 ± 2E-01
Th-228	3,3E-01 ± 2E-01	6,6E-01 ± 9E-01 ‡	5,1E-01 ± 2E-01	6,7E-01 ± 8E-02	5,4E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	1,1E+02 ± 5E+00	9,5E+01 ± 6E+00	1,1E+02 ± 4E+00	1,1E+02 ± 6E+00	1,1E+02 ± 3E+00
Be-7			2,8E-01 ± 6E-01 ‡		7,1E-02 ± 2E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137		4,0E-02 ± 1E-01 ‡			1,0E-02 ± 3E-02
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-89/Sr-90	4,0E+00 ± 2E-01	3,8E+00 ± 2E-01	4,1E+00 ± 3E-01	4,1E+00 ± 2E-01	4,0E+00 ± 1E-01
H-3	1,9E+03 ± 2E+02	1,9E+03 ± 2E+02	2,6E+03 ± 2E+02	1,8E+03 ± 1E+02	2,1E+03 ± 8E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - V2
3. VRTINA VOP-4 V VRBINI – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	Vrbina - vrtina VOP-4						
Datum vzor.	28. 12. 2023	1. 2. 2024	4. 3. 2024	2. 4. 2024	6. 5. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP411	K24VRP421	K24VRP431	K24VRP441	K24VRP451	K24VRP461	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
H-3	1,9E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	2,3E+03 ± 2E+02	1,9E+03 ± 2E+02	9,6E+02 ± 1E+02	1,7E+03 ± 6E+01

Vzorč. mesto	Vrbina - vrtina VOP-4						
Datum vzor.	2. 7. 2024	1. 8. 2024	2. 9. 2024	1. 10. 2024	4. 11. 2024	2. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP471	K24VRP481	K24VRP491	K24VRP4A1	K24VRP4B1	K24VRP4C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
H-3	6,9E+02 ± 9E+01	7,6E+02 ± 9E+01	8,9E+02 ± 1E+02	8,4E+02 ± 1E+02	8,9E+02 ± 1E+02	8,2E+02 ± 9E+01	1,3E+03 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku F-2.

LETO 2024 T - 30a
4. VODOVOD BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Brežice						
Datum vzor.	18.12.2023 - 18.1.2024	18.1.2024 - 15.2.2024	15.2.2024 - 18.3.2024	18.3.2024 - 16.4.2024	16.4.2024 - 16.5.2024	16.5.2024 - 17.6.2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	46,29	48,96	42,58	45,77	41,70	46,29	
Oznaka vzorca	K24VC3111	K24VC3121	K24VC3131	K24VC3141	K24VC3151	K24VC3161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	4,2E+00 ± 2E+00	6,1E+00 ± 8E-01	3,0E+00 ± 6E-01	2,7E+00 ± 6E-01	2,8E+00 ± 2E+00	1,6E+00 ± 6E-01	3,4E+00 ± 5E-01
Ra-226	3,5E-01 ± 5E-01 ‡	6,2E-01 ± 3E-01	7,5E-01 ± 3E-01	1,2E+00 ± 2E-01	1,9E+00 ± 1E+00	3,9E-01 ± 2E-01	8,7E-01 ± 2E-01
Pb-210	3,2E+00 ± 2E+00	1,5E+01 ± 1E+00	2,1E+00 ± 4E-01	2,2E+00 ± 3E-01	5,8E+00 ± 3E+00	4,2E-01 ± 4E-01 ‡	4,7E+00 ± 6E-01
Ra-228	1,1E+00 ± 5E-01			3,9E-01 ± 2E-01	3,3E-01 ± 9E-01 ‡		3,0E-01 ± 2E-01
Th-228	4,9E-01 ± 2E-01	2,3E-01 ± 6E-02	5,9E-02 ± 2E-01 ‡	1,7E-01 ± 1E-01	2,9E-01 ± 3E-01 ‡	2,4E-01 ± 1E-01	2,5E-01 ± 8E-02
Th-230							
K-40	2,7E+01 ± 3E+00	1,7E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 1E+00	1,8E+01 ± 3E+00	1,7E+01 ± 2E+00	2,1E+01 ± 8E-01
Be-7	5,4E-01 ± 1E+00 ‡	4,0E+00 ± 8E-01			4,8E-01 ± 2E+00 ‡		8,4E-01 ± 4E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137			5,8E-02 ± 8E-02 ‡				9,7E-03 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	4,4E-02 †	3,9E-02 †	4,6E-02 †	4,0E-02 †	4,6E-02 †	4,6E-02 †	4,4E-02 ± 1E-03 x
H-3	6,8E+01 ± 5E+01	1,6E+02 ± 5E+01	9,6E+01 ± 4E+01	9,4E+01 ± 6E+01	1,1E+02 ± 5E+01	1,1E+02 ± 5E+01	1,1E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 30b
4. VODOVOD BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Brežice						
Datum vzor.	17.6.2024 - 16.7.2024	16.7.2024 - 19.8.2024	19.8.2024 - 16.9.2024	16.9.2024 - 16.10.2024	16.10.2024 - 18.11.2024	18.11.2024 - 16.12.2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	41,73	46,47	45,96	42,54	39,87	41,61	
Oznaka vzorca	K24VC3171	K24VC3181	K24VC3191	K24VC31A1	K24VC31B1	K24VC31C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	3,3E+00 ± 2E+00	8,2E-01 ± 4E-01	1,5E+00 ± 2E+00 ‡	2,5E+00 ± 7E-01		1,3E+00 ± 7E-01	2,5E+00 ± 4E-01
Ra-226		2,0E-02 ± 5E-02 ‡	5,5E-01 ± 8E-01 ‡	1,5E+00 ± 7E-01	1,7E+00 ± 2E+00 ‡	1,8E+00 ± 8E-01	9,0E-01 ± 2E-01
Pb-210	4,3E+00 ± 3E+00	6,5E-01 ± 5E-01 ‡	5,1E-01 †	1,5E+00 ± 5E-01	7,8E-01 †	2,0E-01 ± 7E-01 ‡	3,0E+00 ± 1E+00 x
Ra-228	6,1E-01 ± 5E-01 ‡	6,4E-01 ± 5E-01 ‡	4,8E-01 ± 5E-01 ‡	4,2E-01 ± 2E-01		4,5E-01 ± 3E-01	3,7E-01 ± 1E-01
Th-228	5,0E-01 ± 3E-01	8,3E-01 ± 2E-01	8,2E-02 ± 2E-01 ‡	2,0E-01 ± 9E-02	3,5E-01 ± 9E-01 ‡	7,1E-01 ± 2E-01	3,5E-01 ± 9E-02
Th-230							
K-40	2,9E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 1E+00	1,9E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 2E+00	2,1E+01 ± 1E+00	2,2E+01 ± 6E-01
Be-7		4,9E-01 ± 1E+00 ‡					4,6E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							4,9E-03 ± 7E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	5,3E-02 †	5,1E-02 †	4,1E-02 †	4,9E-02 †	4,8E-02 †	4,7E-02 †	4,6E-02 ± 1E-03 x
H-3	1,3E+01 †	1,2E+01 †	1,8E+02 ± 5E+01	1,7E+02 ± 3E+01	1,3E+02 ± 4E+01	1,5E+02 ± 2E+01	1,1E+02 ± 2E+01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 31a
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Brege						
Datum vzor.	18.12.2023 - 18.1.2024	18.1.2024 - 15.2.2024	15.2.2024 - 18.3.2024	18.3.2024 - 16.4.2024	16.4.2024 - 16.5.2024	16.5.2024 - 17.6.2024	
Kol. vzorca (L)	51,55	51,39	49,83	45,02	46,54	51,00	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Oznaka vzorca	K24VC1111	K24VC1121	K24VC1131	K24VC1141	K24VC1151	K24VC1161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238		5,2E-01 ± 8E-01 ‡	2,6E+00 ± 2E+00 ‡	1,3E-01 ± 1E+00 ‡	1,4E+00 ± 1E+00 ‡	1,6E-01 ± 2E+00 ‡	7,9E-01 ± 6E-01
Ra-226	3,7E+00 ± 1E+00	6,2E-01 ± 6E-01 ‡	3,0E+00 ± 8E-01	1,4E+00 ± 4E-01	3,5E-01 ± 4E-01 ‡		1,5E+00 ± 3E-01
Pb-210	7,2E-01 †	2,1E+00 ± 2E+00 ‡	6,4E-01 †	1,4E+00 ± 4E+00 ‡	5,4E-01 ± 1E+00 ‡	4,4E-01 †	9,8E-01 ± 3E-01 x
Ra-228	1,0E+00 ± 5E-01	7,4E-01 ± 5E-01	9,3E-01 ± 5E-01	1,1E+00 ± 5E-01	6,0E-01 ± 4E-01	2,4E-01 ± 5E-01 ‡	7,6E-01 ± 2E-01
Th-228	6,1E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 1E-01 ‡	5,9E-01 ± 2E-01	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	3,8E-01 ± 3E-01	3,7E-01 ± 6E-01 ‡	3,8E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	7,0E+01 ± 4E+00	6,5E+01 ± 3E+00	5,0E+01 ± 3E+00	7,1E+01 ± 3E+00	3,6E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 2E+00	5,3E+01 ± 1E+00
Be-7	4,3E+00 ± 2E+00	3,8E-01 ± 2E+00 ‡		2,9E+00 ± 1E+00	4,2E-01 ± 1E+00 ‡		1,3E+00 ± 5E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	7,4E-01 ± 8E-02	6,5E-01 ± 7E-02	6,5E-01 ± 9E-02	5,5E-01 ± 9E-02	3,8E-01 ± 7E-02	4,2E-02 †	5,0E-01 ± 1E-01 x
H-3	1,9E+03 ± 1E+02	2,0E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 1E+02	1,8E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 31b
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Brege						
Datum vzor.	17.6.2024 - 16.7.2024	16.7.2024 - 19.8.2024	19.8.2024 - 16.9.2024	16.9.2024 - 16.10.2024	16.10.2024 - 18.11.2024	18.11.2024 - 16.12.2024	
Kol. vzorca (L)	49,26	52,24	51,70	46,59	51,58	43,97	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Oznaka vzorca	K24VC1171	K24VC1181	K24VC1191	K24VC11A1	K24VC11B1	K24VC11C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	3,2E+00 ± 2E+00	5,4E+00 ± 9E-01	2,7E+00 ± 1E+00	5,1E-01 ± 6E-01 ‡	4,1E+00 ± 1E+00	4,1E-01 ± 9E-01 ‡	1,7E+00 ± 4E-01
Ra-226	1,1E+00 ± 5E-01	6,3E+00 ± 1E+00	2,1E+00 ± 4E-01	2,9E+00 ± 1E+00	1,5E+00 ± 7E-01	9,7E-01 ± 5E-01	2,0E+00 ± 2E-01
Pb-210	5,9E-01 ± 4E+00 ‡	8,4E+00 ± 9E-01	1,0E+00 ± 2E+00 ‡	3,7E+00 ± 1E+00	4,4E+00 ± 1E+00	1,9E+00 ± 7E-01	2,2E+00 ± 7E-01 x
Ra-228	6,3E-01 ± 5E-01	2,0E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 3E-01	4,5E-01 ± 4E-01			7,6E-01 ± 1E-01
Th-228	1,9E-01 ± 2E-01 ‡	1,1E+00 ± 1E-01	9,0E-02 ± 2E-01 ‡	4,6E-01 ± 2E-01	4,3E-01 ± 2E-01	3,2E-01 ± 9E-02	4,0E-01 ± 7E-02
Th-230							
K-40	6,5E+01 ± 3E+00	6,2E+01 ± 4E+00	6,5E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 2E+00	6,4E+01 ± 3E+00	4,0E+01 ± 3E+00	5,5E+01 ± 9E-01
Be-7	1,0E+00 ± 1E+00 ‡	1,8E+00 ± 1E+00		1,4E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 2E+00	2,9E+00 ± 2E+00	1,6E+00 ± 4E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	5,1E-01 ± 8E-02	9,5E-01 ± 1E-01	6,1E-01 ± 8E-02	5,2E-01 ± 9E-02	5,6E-01 ± 1E-01	3,5E-01 ± 9E-02	5,4E-01 ± 6E-02 x
H-3	1,8E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,8E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 5E+01	1,8E+03 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 32a
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Rore						
Datum vzor.	18.12.2023 - 18.1.2024	18.1.2024 - 15.2.2024	15.2.2024 - 18.3.2024	18.3.2024 - 16.4.2024	16.4.2024 - 16.5.2024	16.5.2024 - 17.6.2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	51,73	51,91	51,93	51,77	51,84	51,90	
Oznaka vzorca	K24VC1411	K24VC1421	K24VC1431	K24VC1441	K24VC1451	K24VC1461	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	3,9E-01 ± 6E-01 ‡	1,6E+00 ± 1E+00 ‡	8,8E-01 ± 5E+00 ‡	2,3E+00 ± 4E+00 ‡	3,7E+00 ± 2E+00	1,0E+00 ± 4E-01	1,6E+00 ± 1E+00
Ra-226	1,9E+00 ± 4E-01	2,3E+00 ± 1E+00	1,3E+00 ± 5E-01	1,2E+00 ± 5E-01	8,0E-01 ± 7E-01 ‡	1,6E+00 ± 4E-01	1,5E+00 ± 3E-01
Pb-210	1,7E+00 ± 6E-01	3,9E+00 ± 2E+00	2,3E+00 ± 2E+00 ‡	2,7E+00 ± 2E+00 ‡	5,1E-01 †	1,7E+00 ± 4E-01	2,1E+00 ± 5E-01 x
Ra-228	4,5E-01 ± 3E-01	1,2E+00 ± 5E-01	6,4E-01 ± 4E-01	6,0E-02 ± 1E-01 ‡	7,2E-01 ± 4E-01	8,8E-01 ± 2E-01	6,7E-01 ± 2E-01
Th-228	8,7E-01 ± 9E-02	4,9E-01 ± 2E-01	1,4E-01 ± 2E-01 ‡	6,0E-01 ± 4E-01	1,0E-01 ± 1E-01 ‡	4,1E-01 ± 1E-01	4,3E-01 ± 9E-02
Th-230							
K-40	2,3E+01 ± 9E+00	3,8E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 2E+00	2,8E+01 ± 4E+00	1,5E+01 ± 5E+00	2,6E+01 ± 1E+00	2,7E+01 ± 2E+00
Be-7	2,0E+00 ± 1E+00		1,5E+00 ± 1E+00			1,4E+00 ± 7E-01	8,3E-01 ± 3E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	7,7E-01 ± 1E-01	8,6E-01 ± 1E-01	8,0E-01 ± 8E-02	8,8E-01 ± 9E-02	6,6E-01 ± 9E-02	6,3E-01 ± 9E-02	7,7E-01 ± 4E-02
H-3	5,3E+02 ± 6E+01	5,1E+02 ± 6E+01	4,5E+02 ± 6E+01	4,8E+02 ± 7E+01	4,9E+02 ± 7E+01	5,5E+02 ± 6E+01	5,0E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 32b
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Rore						
Datum vzor.	17.6.2024 - 16.7.2024	16.7.2024 - 19.8.2024	19.8.2024 - 16.9.2024	16.9.2024 - 16.10.2024	16.10.2024 - 18.11.2024	18.11.2024 - 16.12.2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	51,87	51,89	51,98	51,88	50,32	40,18	
Oznaka vzorca	K24VC1471	K24VC1481	K24VC1491	K24VC14A1	K24VC14B1	K24VC14C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	6,2E-01 ± 2E+00 ‡	3,0E+00 ± 1E+00	8,3E+00 ± 4E+00	1,1E+00 ± 6E-01	3,7E+00 ± 2E+00	5,7E-01 ± 1E+00 ‡	2,3E+00 ± 8E-01
Ra-226	4,6E-01 ± 4E-01 ‡	1,4E+00 ± 6E-01		1,4E+00 ± 2E-01	1,2E+00 ± 7E-01	1,8E+00 ± 9E-01	1,3E+00 ± 2E-01
Pb-210	1,1E+00 ± 2E+00 ‡	4,2E-01 †	4,9E-01 †	5,4E+00 ± 6E-01	4,9E-01 †	5,7E-01 ± 3E+00 ‡	1,8E+00 ± 5E-01 x
Ra-228	1,6E+00 ± 4E-01	7,7E-01 ± 4E-01	6,8E-01 ± 3E-01	7,1E-01 ± 3E-01	5,3E-02 ± 5E-01 ‡	7,3E-01 ± 5E-01	7,1E-01 ± 1E-01
Th-228	2,1E-01 ± 3E-01 ‡	1,6E-01 ± 2E-01 ‡	1,3E-01 ± 1E-01 ‡		1,4E-01 ± 2E-01 ‡	9,0E-01 ± 3E-01	3,4E-01 ± 6E-02
Th-230							
K-40	3,2E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 2E+00	2,7E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 4E+00	2,7E+01 ± 1E+00
Be-7			2,2E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 1E+00		2,4E+00 ± 1E+00	1,1E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	7,5E-01 ± 8E-02	6,6E-01 ± 8E-02	6,6E-01 ± 8E-02	8,0E-01 ± 8E-02	7,4E-01 ± 9E-02	7,0E-01 ± 1E-01	7,4E-01 ± 3E-02
H-3	4,5E+02 ± 6E+01	3,4E+02 ± 6E+01	4,5E+02 ± 6E+01	4,9E+02 ± 3E+01	5,3E+02 ± 6E+01	4,6E+02 ± 3E+01	4,8E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 33a
4. ZAJETJE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Spodnji Stari Grad						
Datum vzor.	18.12.2023 - 18.1.2024	18.1.2024 - 15.2.2024	15.2.2024 - 18.3.2024	18.3.2024 - 16.4.2024	16.4.2024 - 16.5.2024	16.5.2024 - 17.6.2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	47,28	42,43	48,98	44,20	45,26	48,15	
Oznaka vzorca	K24VC211	K24VC221	K24VC231	K24VC241	K24VC251	K24VC261	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	4,3E+00 ± 2E+00	1,3E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 5E-01	1,2E+00 ± 1E+00 ‡	1,6E+00 ± 5E-01	4,3E+00 ± 2E+00	2,4E+00 ± 5E-01
Ra-226	1,4E+00 ± 5E-01	1,5E+00 ± 5E-01	2,5E+00 ± 6E-01	8,9E-01 ± 4E-01	6,0E-01 ± 2E-01	1,9E-01 ± 5E-01 ‡	1,2E+00 ± 2E-01
Pb-210	7,1E-01 †	1,6E+00 ± 5E-01	3,5E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 2E+00 ‡	3,5E+00 ± 5E-01	4,7E-01 †	1,8E+00 ± 5E-01 x
Ra-228	1,1E+00 ± 5E-01	9,3E-01 ± 2E-01	7,1E-01 ± 4E-01	1,3E+00 ± 5E-01	3,5E-01 ± 3E-01	9,1E-01 ± 4E-01	8,8E-01 ± 2E-01
Th-228	5,0E-01 ± 2E-01	2,9E-01 ± 1E-01	5,2E-01 ± 2E-01	4,3E-01 ± 5E-01 ‡	1,4E-02 ± 1E-01 ‡	2,4E-01 ± 2E-01	3,3E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	6,6E+01 ± 8E+00	6,5E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	1,8E+01 ± 4E+00	1,3E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 2E+00	3,7E+01 ± 2E+00
Be-7					3,7E+00 ± 1E+00	1,3E+00 ± 2E+00 ‡	8,3E-01 ± 4E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137		6,1E-03 ± 8E-02 ‡					1,0E-03 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	8,0E-01 ± 9E-02	5,9E-01 ± 8E-02	5,3E-01 ± 7E-02	7,4E-01 ± 9E-02	3,9E-01 ± 8E-02	4,9E-01 ± 9E-02	5,9E-01 ± 3E-02
H-3	1,7E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 9E+01	7,0E+02 ± 8E+01	5,8E+02 ± 6E+01	8,9E+02 ± 7E+01	1,2E+03 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 33b
4. ZAJETJE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Spodnji Stari Grad						
Datum vzor.	17.6.2024 - 16.7.2024	16.7.2024 - 19.8.2024	19.8.2024 - 16.9.2024	16.9.2024 - 16.10.2024	16.10.2024 - 18.11.2024	18.11.2024 - 16.12.2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	43,37	51,02	41,92	45,16	50,36	42,71	
Oznaka vzorca	K24VC271	K24VC281	K24VC291	K24VC2A1	K24VC2B1	K24VC2C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	6,3E+00 ± 2E+00	1,6E+00 ± 1E+00 ‡	2,3E+00 ± 9E-01	2,5E+00 ± 6E-01	8,5E+00 ± 8E-01	5,6E+00 ± 3E+00	3,4E+00 ± 4E-01
Ra-226	1,8E+00 ± 7E-01	1,5E+00 ± 6E-01	9,9E-02 ± 2E-01 ‡	1,4E+00 ± 2E-01	5,1E+00 ± 7E-01	1,6E+00 ± 8E-01	1,5E+00 ± 2E-01
Pb-210	4,0E+00 ± 2E+00	2,7E+00 ± 2E+00	8,0E-01 ± 6E-01	2,0E+00 ± 5E-01	7,0E+00 ± 7E-01	9,0E-02 ± 3E+00 ‡	2,3E+00 ± 6E-01 x
Ra-228	1,9E+00 ± 6E-01	5,3E-01 ± 5E-01 ‡		6,4E-01 ± 3E-01	1,8E+00 ± 2E-01	3,4E-01 ± 3E-01 ‡	8,8E-01 ± 1E-01
Th-228	2,5E-01 ± 3E-01 ‡			1,4E-01 ± 6E-02	4,4E-01 ± 7E-02	2,2E-01 ± 3E-01 ‡	2,5E-01 ± 6E-02
Th-230							
K-40	2,5E+01 ± 3E+00	6,4E+01 ± 5E+00	4,0E+01 ± 3E+00	4,7E+01 ± 3E+00	6,2E+01 ± 3E+00	5,6E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 1E+00
Be-7	3,6E-01 ± 2E+00 ‡	2,1E+00 ± 1E+00			3,1E+00 ± 1E+00		8,8E-01 ± 3E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							5,1E-04 ± 7E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	8,1E-01 ± 9E-02	6,0E-01 ± 7E-02	2,3E-01 ± 8E-02	5,1E-01 ± 7E-02	1,0E+00 ± 1E-01	6,0E-01 ± 9E-02	6,1E-01 ± 2E-02
H-3	1,7E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 9E+01	1,6E+03 ± 5E+01	1,4E+03 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 34a
4. ČRPALIŠČE VODOVODA BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Brežice (Glogov Brod)						
Datum vzor.	18.12.2023 - 18.1.2024	18.1.2024 - 15.2.2024	15.2.2024 - 18.3.2024	18.3.2024 - 16.4.2024	16.4.2024 - 16.5.2024	16.5.2024 - 17.6.2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	42,70	38,47	44,06	39,84	41,28	43,92	
Oznaka vzorca	K24VC3211	K24VC3221	K24VC3231	K24VC3241	K24VC3251	K24VC3261	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	3,1E+00 ± 6E-01	4,0E+00 ± 2E+00	1,2E+00 ± 7E-01	2,1E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 1E+00	3,6E+00 ± 2E+00	2,8E+00 ± 6E-01
Ra-226	2,1E+00 ± 6E-01	2,5E+00 ± 3E+00 ‡	2,3E+00 ± 9E-01	8,1E+00 ± 1E+00		1,3E+00 ± 5E-01	2,7E+00 ± 5E-01
Pb-210	2,1E+01 ± 1E+00	3,9E+00 ± 4E+00 ‡	8,9E+00 ± 8E-01		7,9E+00 ± 2E+00	6,1E+00 ± 2E+00	8,0E+00 ± 8E-01
Ra-228	5,7E-01 ± 3E-01				2,6E-01 ± 5E-01 ‡	8,4E-01 ± 5E-01	2,8E-01 ± 1E-01
Th-228	9,2E-01 ± 2E-01	4,2E-01 ± 2E-01	6,6E-01 ± 9E-02		6,1E-01 ± 4E-01	2,7E-01 ± 2E-01 ‡	4,8E-01 ± 9E-02
Th-230							
K-40	2,2E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 4E+00	1,4E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 4E+00	2,7E+01 ± 2E+00	2,1E+01 ± 1E+00
Be-7	5,2E+00 ± 8E-01				8,0E-01 ± 8E-01 ‡	8,9E-01 ± 9E-01 ‡	1,1E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137		1,2E-01 ± 1E-01 ‡					2,0E-02 ± 2E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	4,7E-02 †	5,6E-02 †	4,3E-02 †	5,8E-02 †	4,5E-02 †	4,6E-02 †	4,9E-02 ± 3E-03 x
H-3	1,1E+02 ± 5E+01	2,2E+02 ± 5E+01	1,4E+02 ± 4E+01	1,3E+02 ± 6E+01	1,2E+02 ± 5E+01	1,2E+02 ± 3E+01	1,4E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 34b
4. ČRPALIŠČE VODOVODA BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Brežice (Glogov Brod)						
Datum vzor.	17.6.2024 - 16.7.2024	16.7.2024 - 19.8.2024	19.8.2024 - 16.9.2024	16.9.2024 - 16.10.2024	16.10.2024 - 18.11.2024	18.11.2024 - 16.12.2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	39,71	46,70	38,30	45,21	45,61	38,53	
Oznaka vzorca	K24VC3271	K24VC3281	K24VC3291	K24VC32A1	K24VC32B1	K24VC32C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	2,1E+00 ± 5E-01	9,9E-01 ± 4E-01	4,3E+00 ± 4E+00 ‡	3,2E+00 ± 5E-01	1,0E+01 ± 3E+00	1,1E+00 ± 7E-01	3,2E+00 ± 5E-01
Ra-226	2,9E-01 ± 3E-01 ‡	1,0E+00 ± 3E-01		5,4E-01 ± 2E-01	4,7E-01 ± 5E-01 ‡	2,7E+00 ± 6E-01	1,8E+00 ± 3E-01
Pb-210	8,8E+00 ± 7E-01	4,5E+00 ± 7E-01	7,2E-01 †	6,1E+00 ± 5E-01	7,8E+00 ± 1E+00	1,4E+00 ± 8E-01	6,4E+00 ± 2E+00 x
Ra-228	3,0E-01 ± 2E-01 ‡	9,6E-01 ± 4E-01		4,4E-01 ± 2E-01	6,8E-01 ± 4E-01	8,2E-01 ± 4E-01	4,1E-01 ± 9E-02
Th-228	4,8E-01 ± 2E-01	2,9E-01 ± 1E-01	7,6E-02 ± 2E-01 ‡	2,9E-01 ± 1E-01	4,3E-01 ± 2E-01	8,6E-01 ± 2E-01	4,4E-01 ± 6E-02
Th-230							
K-40	2,1E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 2E+00	8,8E+00 ± 8E-01	2,7E+01 ± 3E+00	1,2E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 6E-01
Be-7		4,3E+00 ± 1E+00		8,1E-01 ± 5E-01			1,0E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137					7,6E-02 ± 1E-01 ‡	2,0E-02 ± 1E-01 ‡	1,8E-02 ± 2E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	6,0E-02 †	3,7E-02 †	5,6E-02 †	4,6E-02 †	4,7E-02 †	6,0E-02 †	5,0E-02 ± 2E-03 x
H-3	1,5E+01 †	1,2E+01 †	2,0E+02 ± 3E+01	1,7E+02 ± 3E+01	1,5E+02 ± 4E+01	1,5E+02 ± 2E+01	1,3E+02 ± 2E+01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T – V3a
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	MEDSAVE (R Hrvaška)						
Datum vzor.	11. 1. 2024	5. 2. 2024	1. 3. 2024	4. 4. 2024	2. 5. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	56,75	53,88	55,72	53,82	57,09	54,13	
Oznaka vzorca	MED01-24	MED02-24	MED03-24	MED04-24	MED05-24	MED06-24	
	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	3,3E+00 ± 2E+00	5,7E+00 ± 2E+00	7,5E+00 ± 6E+00	1,9E+00 ± 1E+00	6,2E+00 ± 2E+00	5,4E+00 ± 2E+00	5,0E+00 ± 1E+00
Ra-226			1,3E+00 ± 7E-01	1,2E+00 ± 5E-01	1,6E+00 ± 5E-01		6,9E-01 ± 2E-01
Pb-210							
Ra-228					1,0E+00 ± 6E-01		1,7E-01 ± 1E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	2,2E+01 ± 6E+00	1,4E+01 ± 5E+00	4,8E+01 ± 9E+00	3,2E+01 ± 7E+00	4,2E+01 ± 7E+00	4,2E+01 ± 8E+00	3,3E+01 ± 3E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,3E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 2E-01	1,6E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 8E-02
H-3	9,5E+02 ± 2E+02	1,1E+03 ± 2E+02	7,6E+02 ± 1E+02	1,4E+03 ± 2E+02	1,2E+03 ± 2E+02	6,6E+02 ± 1E+02	9,9E+02 ± 7E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – V3b
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	MEDSAVE (R Hrvaška)						
Datum vzor.	1. 7. 2024	7. 8. 2024	3. 9. 2024	1. 10. 2024	5. 11. 2024	2. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	54,61	54,27	55,46	55,89	58,30	57,99	
Oznaka vzorca	MED07-24	MED08-24	MED09-24	MED10-24	MED11-24	MED12-24	
	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	3,8E+00 ± 2E+00	9,0E+00 ± 2E+00	5,1E+00 ± 2E+00	8,2E+00 ± 3E+00	7,3E+00 ± 2E+00	8,9E+00 ± 2E+00	6,0E+00 ± 8E-01
Ra-226				2,1E-01 ± 1E-01		3,4E-01 ± 1E-01	5,9E-01 ± 2E-01
Pb-210							
Ra-228							8,3E-02 ± 5E-02
Th-228							
Th-230							
K-40	2,7E+01 ± 6E+00	5,7E+01 ± 9E+00	5,2E+01 ± 8E+00	2,4E+01 ± 6E+00	2,8E+01 ± 6E+00	1,4E+01 ± 5E+00	3,3E+01 ± 2E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,0E+00 ± 2E-01	2,2E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 2E-01	1,4E+00 ± 2E-01	1,3E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 6E-02
H-3	8,3E+02 ± 2E+02	1,1E+03 ± 2E+02	1,1E+03 ± 1E+02	6,4E+02 ± 1E+02	7,7E+02 ± 2E+02	5,0E+02 ± 1E+02	9,1E+02 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – V4a
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	ŠIBICE (R Hrvaška)						
Datum vzor.	11. 1. 2024	5. 2. 2024	1. 3. 2024	4. 4. 2024	2. 5. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	56,36	52,57	51,97	51,80	52,02	57,04	
Oznaka vzorca	SIB01-24	SIB02-24	SIB03-24	SIB04-24	SIB05-24	SIB06-24	
	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	9,0E+00 ± 3E+00	6,5E+00 ± 2E+00		5,9E+00 ± 2E+00	8,2E+00 ± 2E+00	9,4E+00 ± 3E+00	6,5E+00 ± 9E-01
Ra-226	1,4E+00 5E-01	8,3E-01 ± 5E-01	4,1E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 6E-01	6,3E-01 ± 4E-01		1,5E+00 ± 2E-01
Pb-210							
Ra-228	2,2E+00 ± 1E+00	2,2E+00 ± 1E+00		1,7E+00 ± 9E-01	1,2E+00 ± 7E-01		1,2E+00 ± 3E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	1,0E+02 ± 1E+01	5,8E+01 ± 9E+00	7,6E+01 ± 1E+01	9,0E+01 ± 1E+01	5,4E+01 ± 9E+00	6,5E+01 ± 1E+01	7,5E+01 ± 5E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,5E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 3E-01	2,3E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 3E-01	1,5E+00 ± 3E-01	1,6E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 1E-01
H-3	8,5E+02 ± 2E+02	7,8E+02 ± 2E+02	1,5E+03 ± 2E+02	7,8E+02 ± 2E+02	6,7E+02 ± 1E+02	7,2E+02 ± 1E+02	8,8E+02 ± 7E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – V4b
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	ŠIBICE (R Hrvaška)						
Datum vzor.	1. 7. 2024	7. 8. 2024	3. 9. 2024	1. 10. 2024	5. 11. 2024	2. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	53,61	57,03	55,62	56,80	57,90	59,31	
Oznaka vzorca	SIB07-24	SIB08-24	SIB09-24	SIB10-24	SIB11-24	SIB12-24	
	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	8,7E+00 ± 3E+00	8,5E+00 ± 3E+00	1,2E+01 ± 3E+00	1,2E+01 ± 3E+00	9,3E+00 ± 3E+00	7,0E+00 ± 2E+00	8,0E+00 ± 7E-01
Ra-226				5,4E-01 ± 4E-01			7,9E-01 ± 1E-01
Pb-210							
Ra-228	8,4E-01 ± 7E-01	1,0E+00 ± 6E-01	1,5E+00 ± 8E-01	2,2E+00 ± 9E-01	2,2E+00 ± 9E-01	8,3E-01 ± 6E-01	1,3E+00 ± 2E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	5,9E+01 ± 1E+01	9,8E+01 ± 1E+01	6,3E+01 ± 1E+01	6,2E+01 ± 1E+01	8,0E+01 ± 1E+01	8,9E+01 ± 1E+01	7,5E+01 ± 3E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137						1,5E-01 ± 1E-01	1,2E-02 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,0E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 3E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,3E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 8E-02
H-3	6,3E+02 ± 1E+02	7,3E+02 ± 2E+02	7,7E+02 ± 2E+02	6,6E+02 ± 2E+02	6,1E+02 ± 1E+02	6,2E+02 ± 1E+02	7,7E+02 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 36a
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	Petruševec						
Datum vzor.	1. 1. - 31. 1. 2024	1. 2. - 29. 2. 2024	1. 3. - 31. 3. 2024	1. 4. - 30. 4. 2024	1. 5. - 31. 5. 2024	1. 6. - 30. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	108,28	94,74	107,89	110,96	106,62	104,61	
Oznaka vzorca	PET01-24	PET02-24	PET03-24	PET04-24	PET05-24	PET06-24	
	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	5,5E+00 ± 2E+00	5,9E+00 ± 3E+00	5,3E+00 ± 1E+00	4,6E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 1E+00	4,9E+00 ± 8E-01
Ra-226	5,8E-01 ± 3E-01	9,9E-01 ± 4E-01	4,5E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 3E-01			5,5E-01 ± 1E-01
Pb-210							
Ra-228	6,4E-01 ± 4E-01	7,0E-01 ± 6E-01				8,9E-01 ± 5E-01	3,7E-01 ± 1E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	3,0E+01 ± 5E+00	1,3E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 5E+00	2,3E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 4E+00	2,3E+01 ± 2E+00
Be-7					1,6E+00 ± 9E-01		2,7E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137				2,0E-01 ± 1E-01		3,9E-01 ± 1E-01	9,8E-02 ± 3E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	9,2E-01 ± 2E-01	8,6E-01 ± 1E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,6E+00 ± 2E-01	9,5E-01 ± 3E-01	1,2E+00 ± 2E-01	1,2E+00 ± 8E-02
H-3	2,1E+03 ± 2E+02	2,4E+03 ± 3E+02	2,8E+03 ± 3E+02	2,6E+03 ± 3E+02	2,4E+03 ± 3E+02	2,2E+03 ± 2E+02	2,4E+03 ± 1E+02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T - 36b
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - posamični vzorci nefiltrirane vode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	Petruševec						
Datum vzor.	1. 7. - 31. 7. 2024	1. 8. - 31. 8. 2024	1. 9. - 30. 9. 2024	1. 10. - 31. 10. 2024	1. 11. - 30. 11. 2024	1. 12. - 31. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	106,14	105,51	111,60	116,45	121,45	119,91	
Oznaka vzorca	PET07-24	PET08-24	PET09-24	PET10-24	PET11-24	PET12-24	
	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	4,3E+00 ± 1E+00	4,3E+00 ± 1E+00	5,9E+00 ± 1E+00	3,9E+00 ± 1E+00	4,4E+00 ± 1E+00	5,2E+00 1E+00	4,8E+00 ± 5E-01
Ra-226		1,1E-01 ± 9E-02					2,8E-01 ± 5E-02
Pb-210							
Ra-228							1,9E-01 ± 7E-02
Th-228							
Th-230							
K-40	2,8E+01 ± 5E+00	2,6E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 4E+00	1,2E+01 ± 3E+00	2,0E+01 ± 4E+00	2,0E+01 4E+00	2,2E+01 ± 1E+00
Be-7							1,4E-01 ± 8E-02
I-131							
Cs-134							
Cs-137							4,9E-02 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	9,7E-01 ± 2E-01	9,7E-01 ± 2E-01	1,0E+00 ± 2E-01	7,2E-01 ± 2E-01	5,8E-01 ± 2E-01	6,5E-01 ± 2E-01	1,0E+00 ± 5E-02
H-3	2,1E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 2E+02	1,5E+03 ± 2E+02	1,5E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 7E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

5. PADAVINE IN USEDI

6. USEDI – VAZELINSKE PLOŠČE

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	19,75	7,20	31,24	16,69	39,28	41,02	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Padavine (mm)***	86,20	21,70	109,00	72,80	102,40	195,00	
Oznaka vzorca	K24PD211	K24PD221	K24PD231	K24PD241	K24PD251	K24PD261	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22					4,9E-01 ± 2E-01	4,1E-01 ± 2E-01	1,5E-01 ± 5E-02
U-238	4,0E+00 ± 5E+00 ‡	4,4E+00 ± 2E+01 ‡	2,7E+00 ± 5E+00 ‡	7,0E+00 ± 4E+00	3,2E+00 ± 2E+00		3,6E+00 ± 3E+00
Ra-226	6,8E-01 ± 2E+00 ‡	8,3E+00 ± 6E+00		1,5E+00 ± 1E+00	6,3E-01 ± 5E-01	1,0E+01 ± 1E+01 ‡	3,5E+00 ± 2E+00
Pb-210	5,9E+02 ± 5E+01	3,6E+01 ± 1E+01	2,1E+01 ± 3E+00	7,4E+01 ± 2E+01	4,4E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 5E+00	1,4E+02 ± 9E+00
Ra-228	2,3E+00 ± 1E+00	2,5E+00 ± 4E+00 ‡	8,7E-01 ± 7E-01 ‡	1,9E+00 ± 1E+00	1,3E+00 ± 6E-01		1,5E+00 ± 7E-01
Th-230							
Th-228	2,0E+00 ± 5E-01	1,0E+00 ± 1E+00 ‡	4,9E-01 ± 3E-01	1,1E+00 ± 4E-01	1,7E-01 ± 2E-01 ‡	5,3E-01 ± 2E-01	8,8E-01 ± 3E-01
K-40	3,7E+01 ± 6E+00	1,4E+01 ± 2E+01 ‡	1,5E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 8E+00	7,0E+00 ± 3E+00	1,7E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 3E+00
Be-7	6,8E+02 ± 3E+01	7,2E+01 ± 1E+01	1,1E+02 ± 6E+00	1,6E+02 ± 8E+00	1,8E+02 ± 7E+00	4,4E+02 ± 2E+01	2,7E+02 ± 6E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,6E+00 ± 5E-01			7,2E-02 ± 3E-01 ‡	2,2E-01 ± 1E-01	2,4E-01 ± 2E-01	3,6E-01 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	6,2E-01 ± 2E-01	3,1E-01 †	6,4E-02 †	1,3E-01 †	5,6E-02 †	5,8E-02 †	2,1E-01 ± 9E-02 x
H-3	1,4E+03 ± 1E+02	1,0E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	4,1E+03 ± 3E+02	1,5E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	1,8E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	19,8	7,2	31,2	16,7	39,3	41,0	Polletni used (*)
Padavine (mm)***	86,2	21,7	109,0	72,8	102,4	195,0	
Oznaka vzorca	K24PD211	K24PD221	K24PD231	K24PD241	K24PD251	K24PD261	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22					5,0E-02 ± 2E-02	8,0E-02 ± 4E-02	1,3E-01 ± 4E-02
U-238	3,5E-01 ± 4E-01 ‡	9,6E-02 ± 4E-01 ‡	3,0E-01 ± 5E-01 ‡	5,1E-01 ± 3E-01	3,3E-01 ± 2E-01		1,6E+00 ± 9E-01
Ra-226	5,9E-02 ± 2E-01 ‡	1,8E-01 ± 1E-01		1,1E-01 ± 7E-02	6,4E-02 ± 5E-02	1,9E+00 ± 2E+00 ‡	2,4E+00 ± 2E+00
Pb-210	5,1E+01 ± 4E+00	7,8E-01 ± 3E-01	2,3E+00 ± 3E-01	5,4E+00 ± 1E+00	4,5E+00 ± 4E-01	8,7E+00 ± 9E-01	7,3E+01 ± 4E+00
Ra-228	2,0E-01 ± 1E-01	5,4E-02 ± 8E-02 ‡	9,4E-02 ± 8E-02 ‡	1,4E-01 ± 1E-01	1,4E-01 ± 6E-02		6,2E-01 ± 2E-01
Th-230							
Th-228	1,7E-01 ± 4E-02	2,3E-02 ± 3E-02 ‡	5,4E-02 ± 3E-02	7,7E-02 ± 3E-02	1,8E-02 ± 2E-02 ‡	1,0E-01 ± 3E-02	4,4E-01 ± 8E-02
K-40	3,2E+00 ± 5E-01	3,1E-01 ± 3E-01 ‡	1,6E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 6E-01	7,2E-01 ± 4E-01	3,4E+00 ± 4E-01	1,1E+01 ± 1E+00
Be-7	5,9E+01 ± 2E+00	1,6E+00 ± 2E-01	1,2E+01 ± 7E-01	1,2E+01 ± 6E-01	1,8E+01 ± 7E-01	8,7E+01 ± 4E+00	1,9E+02 ± 5E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,4E-01 ± 4E-02			5,3E-03 ± 2E-02 ‡	2,2E-02 ± 1E-02	4,8E-02 ± 3E-02	2,1E-01 ± 6E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	5,3E-02 ± 2E-02	6,8E-03 †	7,0E-03 †	9,3E-03 †	5,8E-03 †	1,1E-02 †	9,4E-02 ± 2E-02 x
H-3	1,2E+02 ± 1E+01	2,3E+01 ± 2E+00	1,4E+02 ± 1E+01	2,9E+02 ± 2E+01	1,5E+02 ± 1E+01	2,6E+02 ± 2E+01	9,9E+02 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti letnega useda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	28,55	25,88	44,86	41,82	19,46	9,58	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)***	82,20	122,60	138,70	133,20	72,60	34,00	
Oznaka vzorca	K24PD271	K24PD281	K24PD291	K24PD2A1	K24PD2B1	K24PD2C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22	2,7E-01 ± 4E-01 ‡		2,8E-01 ± 2E-01				1,2E-01 ± 4E-02
U-238			1,8E+00 ± 2E+00 ‡		3,0E+00 ± 6E+00 ‡	2,9E+01 ± 3E+01 ‡	4,6E+00 ± 3E+00
Ra-226	1,1E+00 ± 1E+00 ‡	1,7E+00 ± 1E+00		1,7E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 1E+00 ‡	2,0E+00 ± 6E+00 ‡	2,4E+00 ± 1E+00
Pb-210	6,8E+01 ± 4E+00	1,2E+02 ± 9E+00	1,7E+02 ± 8E+00	1,1E+01 ± 8E-01	2,6E+01 ± 5E+00	2,5E+01 ± 1E+01	1,0E+02 ± 5E+00
Ra-228	1,6E+00 ± 1E+00 ‡		7,3E-01 ± 5E-01		2,3E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 2E+00	1,4E+00 ± 4E-01
Th-230					5,3E+01 ± 2E+01		4,4E+00 ± 2E+00
Th-228	8,9E-01 ± 7E-01	4,8E-01 ± 3E-01	5,8E-01 ± 3E-01	1,2E-01 ± 5E-02	5,0E-01 ± 5E-01 ‡	1,4E-01 ± 1E+00 ‡	6,7E-01 ± 2E-01
K-40	3,6E+01 ± 7E+00	2,6E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 3E+00	5,9E+00 ± 3E+00	1,8E+01 ± 1E+01	3,0E+01 ± 1E+01	2,1E+01 ± 2E+00
Be-7	2,8E+02 ± 1E+01	5,6E+02 ± 2E+01	3,4E+02 ± 2E+01	2,9E+01 ± 2E+00	4,6E+01 ± 5E+00	3,4E+01 ± 6E+00	2,4E+02 ± 4E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137							1,8E-01 ± 5E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,0E-01 †	3,7E-01 ± 1E-01	2,1E-01 ± 6E-02	4,5E-02 †	1,1E-01 †	2,6E-01 †	1,9E-01 ± 5E-02 x
H-3	1,1E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	2,3E+03 ± 2E+02	2,5E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	28,6	25,9	44,9	41,8	19,5	9,6	Letni used (*)
Padavine (mm)***	82,2	122,6	138,7	133,2	72,6	34,0	
Oznaka vzorca	K24PD271	K24PD281	K24PD291	K24PD2A1	K24PD2B1	K24PD2C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^2)						
Na-22	2,3E-02 ± 3E-02 ‡		3,9E-02 ± 2E-02				1,9E-01 ± 6E-02
U-238			2,5E-01 ± 3E-01 ‡		2,2E-01 ± 5E-01 ‡	9,8E-01 ± 9E-01 ‡	3,0E+00 ± 1E+00
Ra-226	8,7E-02 ± 8E-02 ‡	2,1E-01 ± 1E-01		2,3E-01 ± 4E-02	8,5E-02 ± 1E-01 ‡	6,8E-02 ± 2E-01 ‡	3,0E+00 ± 2E+00
Pb-210	5,6E+00 ± 4E-01	1,5E+01 ± 1E+00	2,3E+01 ± 1E+00	1,5E+00 ± 1E-01	1,9E+00 ± 4E-01	8,4E-01 ± 4E-01	1,2E+02 ± 5E+00
Ra-228	1,3E-01 ± 1E-01 ‡		1,0E-01 ± 7E-02		1,7E-01 ± 1E-01	1,1E-01 ± 7E-02	1,1E+00 ± 3E-01
Th-230					3,8E+00 ± 2E+00		3,8E+00 ± 2E+00
Th-228	7,4E-02 ± 5E-02	5,9E-02 ± 4E-02	8,1E-02 ± 3E-02	1,6E-02 ± 7E-03	3,6E-02 ± 3E-02 ‡	4,6E-03 ± 5E-02 ‡	7,1E-01 ± 1E-01
K-40	3,0E+00 ± 5E-01	3,2E+00 ± 4E-01	3,4E+00 ± 4E-01	7,8E-01 ± 5E-01	1,3E+00 ± 1E+00	1,0E+00 ± 3E-01	2,4E+01 ± 2E+00
Be-7	2,3E+01 ± 9E-01	6,9E+01 ± 3E+00	4,7E+01 ± 2E+00	3,8E+00 ± 3E-01	3,3E+00 ± 4E-01	1,1E+00 ± 2E-01	3,4E+02 ± 6E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137							2,1E-01 ± 6E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	8,5E-03 †	4,5E-02 ± 1E-02	2,9E-02 ± 9E-03	6,0E-03 †	8,3E-03 †	8,8E-03 †	2,0E-01 ± 2E-02 x
H-3	9,4E+01 ± 9E+00	2,0E+02 ± 2E+01	2,1E+02 ± 2E+01	1,8E+02 ± 2E+01	1,6E+02 ± 1E+01	8,4E+01 ± 6E+00	1,9E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	23,30	9,78	39,43	17,41	41,51	35,87	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Padavine (mm)	70,50	28,10	113,50	40,10	136,40	141,20	
Oznaka vzorca	K24PD311	K24PD321	K24PD331	K24PD341	K24PD351	K24PD361	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22			1,9E-01 ± 1E-01		1,7E-01 ± 1E-01 ‡	5,4E-01 ± 2E-01	1,5E-01 ± 4E-02
U-238		8,5E+00 ± 1E+01 ‡	8,9E-01 ± 2E+00 ‡	5,3E-02 ± 5E-01 ‡	1,4E+00 ± 3E+00 ‡	1,4E+00 ± 4E+00 ‡	2,0E+00 ± 2E+00
Ra-226	4,3E+00 ± 1E+00		8,0E-01 ± 4E-01		1,2E+00 ± 8E-01	4,5E-02 ± 1E-01 ‡	1,0E+00 ± 2E-01
Pb-210	5,0E+02 ± 1E+02	9,6E+01 ± 1E+01	3,2E+01 ± 4E+00	1,3E+02 ± 2E+01	1,3E+01 ± 3E+01 ‡	4,8E+01 ± 4E+00	1,4E+02 ± 2E+01
Ra-228		3,6E+00 ± 4E+00 ‡	7,4E-01 ± 4E-01		6,7E-01 ± 5E-01		8,3E-01 ± 6E-01
Th-230							
Th-228	1,1E+00 ± 7E-01	9,1E-02 ± 1E+00 ‡	4,3E-01 ± 2E-01	3,5E-01 ± 3E-01 ‡	4,2E-01 ± 2E-01	1,2E-01 ± 3E-01 ‡	4,1E-01 ± 2E-01
K-40	1,3E+00 ± 2E+00 ‡	1,2E+01 ± 1E+01 ‡	5,2E+00 ± 1E+00	4,1E+01 ± 3E+00	1,1E+01 ± 2E+00	6,8E+00 ± 3E+00	1,3E+01 ± 2E+00
Be-7	8,4E+02 ± 4E+01	2,1E+02 ± 1E+01	1,7E+02 ± 8E+00	5,4E+02 ± 2E+01	2,7E+02 ± 1E+01	3,4E+02 ± 2E+01	4,0E+02 ± 8E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,1E-01 †	2,2E-01 †	6,4E-02 †	1,2E-01 †	5,6E-02 †	7,3E-02 †	1,1E-01 ± 3E-02 x
H-3	1,1E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 1E+02	9,1E+02 ± 1E+02	1,2E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	23,3	9,8	39,4	17,4	41,5	35,9	Polletni used (*)
Padavine (mm)	70,5	28,1	113,5	40,1	136,4	141,2	
Oznaka vzorca	K24PD311	K24PD321	K24PD331	K24PD341	K24PD351	K24PD361	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22			2,1E-02 ± 1E-02		2,3E-02 ± 2E-02 ‡	7,6E-02 ± 3E-02	1,2E-01 ± 4E-02
U-238		2,4E-01 ± 3E-01 ‡	1,0E-01 ± 2E-01 ‡	2,1E-03 ± 2E-02 ‡	1,8E-01 ± 4E-01 ‡	2,0E-01 ± 5E-01 ‡	7,3E-01 ± 7E-01
Ra-226	3,0E-01 ± 8E-02		9,1E-02 ± 5E-02		1,6E-01 ± 1E-01	6,3E-03 ± 2E-02 ‡	5,6E-01 ± 1E-01
Pb-210	3,5E+01 ± 7E+00	2,7E+00 ± 4E-01	3,6E+00 ± 5E-01	5,2E+00 ± 1E+00	1,8E+00 ± 4E+00 ‡	6,8E+00 ± 6E-01	5,5E+01 ± 8E+00
Ra-228		1,0E-01 ± 1E-01 ‡	8,4E-02 ± 5E-02		9,1E-02 ± 7E-02		2,8E-01 ± 1E-01
Th-230							
Th-228	7,5E-02 ± 5E-02	2,6E-03 ± 3E-02 ‡	4,9E-02 ± 2E-02	1,4E-02 ± 1E-02 ‡	5,8E-02 ± 3E-02	1,7E-02 ± 4E-02 ‡	2,2E-01 ± 8E-02
K-40	9,2E-02 ± 2E-01 ‡	3,4E-01 ± 3E-01 ‡	5,8E-01 ± 2E-01	1,6E+00 ± 1E-01	1,6E+00 ± 2E-01	9,6E-01 ± 4E-01	5,2E+00 ± 6E-01
Be-7	5,9E+01 ± 3E+00	5,9E+00 ± 4E-01	1,9E+01 ± 9E-01	2,2E+01 ± 9E-01	3,7E+01 ± 1E+00	4,8E+01 ± 2E+00	1,9E+02 ± 4E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	7,6E-03 †	6,3E-03 †	7,3E-03 †	5,0E-03 †	7,7E-03 †	1,0E-02 †	4,4E-02 x
H-3	8,0E+01 ± 8E+00	4,1E+01 ± 3E+00	1,0E+02 ± 1E+01	5,0E+01 ± 5E+00	1,6E+02 ± 2E+01	1,8E+02 ± 2E+01	6,2E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti letnega useda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	28,22	33,23	45,47	39,29	19,87	9,59	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)	131,70	108,10	135,90	117,60	66,10	33,80	
Oznaka vzorca	K24PD371	K24PD381	K24PD391	K24PD3A1	K24PD3B1	K24PD3C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22						1,4E+00 ± 1E+00	1,9E-01 ± 9E-02
U-238	2,2E+00 ± 3E+00 ‡			1,3E+00 ± 2E+00 ‡		2,5E+01 ± 1E+01	3,4E+00 ± 1E+00
Ra-226	6,2E-01 ± 4E-01				3,4E+00 ± 2E+00		8,6E-01 ± 2E-01
Pb-210	9,5E+01 ± 5E+00	7,4E+01 ± 6E+00	6,5E+01 ± 5E+00	1,5E+01 ± 2E+00	9,6E+01 ± 5E+00	4,2E+01 ± 1E+01	1,0E+02 ± 9E+00
Ra-228	1,7E-01 ± 3E-01 ‡	7,8E-01 ± 5E-01	2,7E-01 ± 3E-01 ‡	9,4E-01 ± 7E-01	8,7E-01 ± 7E-01 ‡	7,1E-01 ± 2E+00 ‡	7,3E-01 ± 4E-01
Th-230				1,1E+01 ± 1E+01 ‡			9,0E-01 ± 8E-01
Th-228	2,3E-01 ± 9E-02	3,7E-01 ± 2E-01	4,4E-01 ± 3E-01	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	4,6E-01 ± 5E-01 ‡	2,8E+00 ± 5E+00 ‡	5,8E-01 ± 4E-01
K-40	9,1E+00 ± 2E+00	5,5E+00 ± 1E+00	1,2E+01 ± 3E+00	4,0E+00 ± 2E+00	4,2E+00 ± 2E+00	1,4E+01 ± 2E+01 ‡	1,1E+01 ± 2E+00
Be-7	4,5E+02 ± 3E+01	3,5E+02 ± 1E+01	1,9E+02 ± 8E+00	5,5E+01 ± 3E+00	2,6E+02 ± 1E+01	1,0E+02 ± 1E+01	3,2E+02 ± 5E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	4,3E-02 ± 1E-01 ‡				2,2E-01 ± 2E-01 ‡		2,2E-02 ± 2E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	7,7E-02 †	3,0E-01 ± 8E-02	5,1E-02 †	6,5E-02 †	1,0E-01 †	2,4E-01 †	1,2E-01 ± 2E-02 x
H-3	1,4E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 1E+02	8,9E+02 ± 1E+02	1,1E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	28,2	33,2	45,5	39,3	19,9	9,6	Letni used (*)
Padavine (mm)	131,7	108,1	135,9	117,6	66,1	33,8	
Oznaka vzorca	K24PD371	K24PD381	K24PD391	K24PD3A1	K24PD3B1	K24PD3C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22						4,6E-02 ± 3E-02	1,7E-01 ± 5E-02
U-238	2,9E-01 ± 4E-01 ‡			1,6E-01 ± 2E-01 ‡		8,6E-01 ± 4E-01	2,0E+00 ± 1E+00
Ra-226	8,2E-02 ± 5E-02				2,2E-01 ± 2E-01		8,6E-01 ± 2E-01
Pb-210	1,3E+01 ± 7E-01	8,0E+00 ± 6E-01	8,8E+00 ± 7E-01	1,8E+00 ± 3E-01	6,3E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 3E-01	9,4E+01 ± 8E+00
Ra-228	2,3E-02 ± 4E-02 ‡	8,4E-02 ± 6E-02	3,6E-02 ± 4E-02 ‡	1,1E-01 ± 8E-02	5,7E-02 ± 5E-02 ‡	2,4E-02 ± 5E-02 ‡	6,1E-01 ± 2E-01
Th-230				1,3E+00 ± 1E+00 ‡			1,3E+00 ± 1E+00
Th-228	3,1E-02 ± 1E-02	4,0E-02 ± 2E-02	6,0E-02 ± 4E-02	2,5E-02 ± 3E-02 ‡	3,0E-02 ± 3E-02 ‡	9,4E-02 ± 2E-01 ‡	5,0E-01 ± 2E-01
K-40	1,2E+00 ± 3E-01	6,0E-01 ± 1E-01	1,7E+00 ± 4E-01	4,8E-01 ± 3E-01	2,8E-01 ± 1E-01	4,9E-01 ± 8E-01 ‡	9,9E+00 ± 1E+00
Be-7	6,0E+01 ± 4E+00	3,8E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 1E+00	6,5E+00 ± 4E-01	1,7E+01 ± 7E-01	3,4E+00 ± 3E-01	3,4E+02 ± 6E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	5,6E-03 ± 1E-02 ‡				1,4E-02 ± 1E-02 ‡		2,0E-02 ± 2E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,0E-02 †	3,2E-02 ± 9E-03	7,0E-03 †	7,7E-03 †	6,9E-03 †	8,0E-03 †	1,2E-01 ± 9E-03 x
H-3	1,8E+02 ± 2E+01	1,5E+02 ± 1E+01	1,6E+02 ± 2E+01	1,0E+02 ± 1E+01	7,3E+01 ± 7E+00	4,8E+01 ± 4E+00	1,3E+03 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti letnega useda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Dobova						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	23,37	6,03	36,08	17,41	35,80	45,91	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Padavine (mm)	50,50	24,50	109,80	56,80	111,50	154,80	
Oznaka vzorca	K24PD411	K24PD421	K24PD431	K24PD441	K24PD451	K24PD461	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22			6,9E-02 ± 1E-01 ‡		2,6E-01 ± 2E-01		5,5E-02 ± 4E-02
U-238	4,5E-01 ± 1E+01 ‡	1,4E+01 ± 1E+01	1,4E+00 ± 2E+00 ‡	1,1E+00 ± 4E+00 ‡		1,5E+00 ± 2E+00 ‡	3,1E+00 ± 3E+00
Ra-226		3,9E+00 ± 3E+00	6,1E-01 ± 7E-01 ‡		5,1E-02 ± 6E-01 ‡	4,3E-01 ± 5E-01 ‡	8,4E-01 ± 5E-01
Pb-210	5,6E+01 ± 8E+00	2,7E+01 ± 2E+01 ‡	6,0E+01 ± 5E+00	1,1E+02 ± 6E+00	2,6E+01 ± 1E+00	2,7E+01 ± 4E+00	5,1E+01 ± 4E+00
Ra-228		3,8E+00 ± 4E+00 ‡	3,9E-01 ± 4E-01 ‡		6,0E-01 ± 4E-01	5,4E-01 ± 6E-01 ‡	8,8E-01 ± 6E-01
Th-230							
Th-228	4,4E-01 ± 7E-01 ‡	1,1E+00 ± 1E+00 ‡	5,1E-01 ± 2E-01	1,2E-01 ± 2E-01 ‡	1,8E-01 ± 2E-01 ‡	4,7E-01 ± 4E-01 ‡	4,7E-01 ± 3E-01
K-40	3,0E+00 ± 4E+00 ‡	1,9E+01 ± 2E+01 ‡	8,2E+00 ± 2E+00	2,2E+01 ± 6E+00	8,5E+00 ± 1E+00	7,5E-01 ± 3E+00 ‡	1,0E+01 ± 3E+00
Be-7	4,9E+02 ± 2E+01	6,9E+01 ± 1E+01	2,7E+02 ± 1E+01	1,5E+02 ± 1E+01	2,1E+02 ± 9E+00	1,7E+02 ± 6E+00	2,3E+02 ± 5E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,3E-01 ± 5E-01 ‡		4,2E-01 ± 2E-01			8,4E-02 ± 1E-01 ‡	1,2E-01 ± 9E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,0E-01 †	4,1E-01 †	5,9E-02 †	1,3E-01 †	5,6E-02 †	5,7E-02 †	1,4E-01 ± 6E-02 x
H-3	7,3E+02 ± 9E+01	1,1E+03 ± 1E+02	5,9E+02 ± 9E+01	1,1E+03 ± 1E+02	1,1E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 1E+02	9,6E+02 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Dobova						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	23,4	6,0	36,1	17,4	35,8	45,9	Polletni used (*)
Padavine (mm)	50,5	24,5	109,8	56,8	111,5	154,8	
Oznaka vzorca	K24PD411	K24PD421	K24PD431	K24PD441	K24PD451	K24PD461	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22			7,6E-03 ± 1E-02 ‡		2,9E-02 ± 2E-02		3,7E-02 ± 3E-02
U-238	2,3E-02 ± 5E-01 ‡	3,5E-01 ± 3E-01	1,5E-01 ± 2E-01 ‡	6,2E-02 ± 2E-01 ‡		2,3E-01 ± 3E-01 ‡	8,1E-01 ± 7E-01
Ra-226		9,6E-02 ± 8E-02	6,7E-02 ± 7E-02 ‡		5,6E-03 ± 7E-02 ‡	6,7E-02 ± 8E-02 ‡	2,4E-01 ± 1E-01
Pb-210	2,8E+00 ± 4E-01	6,6E-01 ± 6E-01 ‡	6,6E+00 ± 5E-01	6,1E+00 ± 3E-01	2,9E+00 ± 2E-01	4,2E+00 ± 6E-01	2,3E+01 ± 1E+00
Ra-228		9,2E-02 ± 9E-02 ‡	4,3E-02 ± 4E-02 ‡		6,7E-02 ± 4E-02	8,3E-02 ± 9E-02 ‡	2,9E-01 ± 1E-01
Th-230							
Th-228	2,2E-02 ± 3E-02 ‡	2,7E-02 ± 3E-02 ‡	5,6E-02 ± 3E-02	6,9E-03 ± 1E-02 ‡	2,0E-02 ± 2E-02 ‡	7,3E-02 ± 7E-02 ‡	2,1E-01 ± 9E-02
K-40	1,5E-01 ± 2E-01 ‡	4,7E-01 ± 4E-01 ‡	9,0E-01 ± 3E-01	1,2E+00 ± 3E-01	9,5E-01 ± 1E-01	1,2E-01 ± 4E-01 ‡	3,8E+00 ± 7E-01
Be-7	2,5E+01 ± 1E+00	1,7E+00 ± 3E-01	3,0E+01 ± 2E+00	8,6E+00 ± 6E-01	2,3E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00	1,1E+02 ± 2E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,2E-02 ± 2E-02 ‡		4,6E-02 ± 2E-02			1,3E-02 ± 2E-02 ‡	7,0E-02 ± 3E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	5,1E-03 †	1,0E-02 †	6,5E-03 †	7,6E-03 †	6,3E-03 †	8,8E-03 †	4,4E-02 x
H-3	3,7E+01 ± 5E+00	2,6E+01 ± 3E+00	6,4E+01 ± 1E+01	6,5E+01 ± 6E+00	1,2E+02 ± 1E+01	1,9E+02 ± 2E+01	4,9E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti letnega useda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Dobova						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	12,22	30,37	46,15	29,04	18,24	8,92	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)	56,00	108,30	157,00	116,50	74,30	29,00	
Oznaka vzorca	K24PD471	K24PD481	K24PD491	K24PD4A1	K24PD4B1	K24PD4C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							2,7E-02 ± 2E-02
U-238				2,7E+00 ± 3E+00 ‡	5,6E+00 ± 4E+00		2,2E+00 ± 1E+00
Ra-226		1,9E+00 ± 5E-01		1,1E+00 ± 8E-01	1,7E+00 ± 2E+00 ‡		8,1E-01 ± 3E-01
Pb-210	3,0E+02 ± 2E+01	3,6E+02 ± 2E+01	7,1E+01 ± 5E+00	2,0E+01 ± 6E+00	2,0E+01 ± 8E+00	3,3E+02 ± 3E+01	1,2E+02 ± 4E+00
Ra-228		4,2E-01 ± 5E-01 ‡	6,3E-01 ± 7E-01 ‡	8,4E-01 ± 9E-01 ‡	1,9E+00 ± 1E+00		7,6E-01 ± 4E-01
Th-230							
Th-228	1,7E+00 ± 9E-01	1,4E+00 ± 4E-01		1,2E-01 ± 5E-01 ‡	1,4E+00 ± 5E-01	1,6E+00 ± 1E+00	7,5E-01 ± 2E-01
K-40	2,1E+01 ± 6E+00	2,1E+01 ± 2E+00	5,5E+00 ± 5E+00 ‡	4,0E+00 ± 3E+00	7,2E+00 ± 8E+00 ‡	4,3E+01 ± 8E+00	1,4E+01 ± 2E+00
Be-7	1,1E+03 ± 5E+01	9,3E+02 ± 6E+01	3,2E+02 ± 2E+01	7,8E+01 ± 4E+00	1,5E+02 ± 8E+00	2,8E+02 ± 4E+01	3,5E+02 ± 8E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137		2,3E-01 ± 2E-01 ‡					8,0E-02 ± 5E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,8E-01 †	1,2E+00 ± 2E-01	2,0E-01 ± 6E-02	7,2E-02 †	1,3E-01 †	2,6E-01 †	2,4E-01 ± 1E-01 x
H-3	1,1E+03 ± 1E+02	9,6E+02 ± 1E+02	8,6E+02 ± 1E+02	5,9E+02 ± 9E+01	4,7E+02 ± 8E+01	7,5E+02 ± 9E+01	8,8E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Dobova						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	12,2	30,4	46,2	29,0	18,2	8,9	Letni used (*)
Padavine (mm)	56,0	108,3	157,0	116,5	74,3	29,0	
Oznaka vzorca	K24PD471	K24PD481	K24PD491	K24PD4A1	K24PD4B1	K24PD4C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22							3,7E-02 ± 3E-02
U-238				3,2E-01 ± 3E-01 ‡	4,2E-01 ± 3E-01		1,5E+00 ± 9E-01
Ra-226		2,0E-01 ± 5E-02		1,3E-01 ± 9E-02	1,3E-01 ± 1E-01 ‡		6,9E-01 ± 2E-01
Pb-210	1,7E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 8E-01	2,4E+00 ± 7E-01	1,5E+00 ± 6E-01	9,5E+00 ± 7E-01	1,0E+02 ± 3E+00
Ra-228		4,6E-02 ± 6E-02 ‡	9,9E-02 ± 1E-01 ‡	9,8E-02 ± 1E-01 ‡	1,4E-01 ± 1E-01		6,7E-01 ± 2E-01
Th-230							
Th-228	9,7E-02 ± 5E-02	1,5E-01 ± 4E-02		1,4E-02 ± 5E-02 ‡	1,0E-01 ± 4E-02	4,6E-02 ± 3E-02	6,1E-01 ± 1E-01
K-40	1,2E+00 ± 3E-01	2,3E+00 ± 3E-01	8,6E-01 ± 7E-01 ‡	4,6E-01 ± 4E-01	5,4E-01 ± 6E-01 ‡	1,3E+00 ± 2E-01	1,0E+01 ± 1E+00
Be-7	6,3E+01 ± 3E+00	1,0E+02 ± 7E+00	5,1E+01 ± 3E+00	9,1E+00 ± 4E-01	1,1E+01 ± 6E-01	8,1E+00 ± 1E+00	3,6E+02 ± 8E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137		2,5E-02 ± 3E-02 ‡					9,6E-02 ± 4E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,0E-02 †	1,3E-01 ± 2E-02	3,1E-02 ± 1E-02	8,4E-03 †	9,3E-03 †	7,5E-03 †	2,4E-01 ± 2E-02 x
H-3	6,3E+01 ± 6E+00	1,0E+02 ± 1E+01	1,4E+02 ± 2E+01	6,9E+01 ± 1E+01	3,5E+01 ± 6E+00	2,2E+01 ± 3E+00	9,2E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti letnega useda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	33,86	20,35	37,09	21,93	53,94	49,03	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Padavine (mm)***	128,20	69,00	127,20	82,60	238,20	179,70	
Oznaka vzorca	L24PD111	L24PD121	L24PD131	L24PD141	L24PD151	L24PD161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22			1,2E-02 ± 1E-01 ‡			3,9E-01 ± 2E-01	6,7E-02 ± 3E-02
U-238	7,5E-01 ± 9E-01 ‡		1,1E+00 ± 7E-01			3,5E+00 ± 2E+00	8,8E-01 ± 3E-01
Ra-226	2,9E-01 ± 3E-01 ‡	2,3E+00 ± 1E+00	5,6E-01 ± 3E-01	4,8E-01 ± 9E-01 ‡	3,7E+00 ± 1E+00	1,5E+00 ± 5E-01	1,5E+00 ± 3E-01
Pb-210	2,8E+01 ± 2E+00	3,9E+01 ± 2E+00	5,7E+01 ± 3E+00	5,4E+01 ± 6E+00	2,9E+01 ± 5E+00	1,2E+02 ± 7E+00	5,5E+01 ± 2E+00
Ra-228	5,6E-01 ± 3E-01	4,5E-01 ± 1E+00 ‡	2,9E-01 ± 3E-01 ‡	1,2E-01 ± 3E-01 ‡		7,6E-01 ± 5E-01	3,6E-01 ± 2E-01
Th-230							
Th-228	2,1E-01 ± 8E-02	7,5E-01 ± 3E-01	4,9E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 3E-01 ‡	7,1E-01 ± 5E-01	4,0E-01 ± 2E-01	4,5E-01 ± 1E-01
K-40	2,5E+00 ± 3E+00 ‡		7,0E+00 ± 3E+00	2,5E+01 ± 4E+00	2,9E+00 ± 1E+00	9,6E+00 ± 5E+00	7,8E+00 ± 1E+00
Be-7	6,2E+01 ± 4E+00	1,2E+02 ± 6E+00	2,3E+02 ± 2E+01	2,0E+02 ± 8E+00	2,5E+02 ± 1E+01	5,5E+02 ± 2E+01	2,4E+02 ± 5E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137				2,6E-01 ± 2E-01	1,1E-02 ± 8E-02 ‡	7,4E-02 ± 2E-01 ‡	5,8E-02 ± 5E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
H-3	3,4E+02 ± 5E+01	5,2E+02 ± 6E+01	6,1E+02 ± 7E+01	8,4E+02 ± 8E+01	9,4E+02 ± 6E+01	1,0E+03 ± 7E+01	7,1E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize H-3 pa na Odseku O-2. Ker je bilo v februarju premalo vzorca (dežja), meritev H-3 ni bila opravljena.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	
Kol. vzorca (L)	33,9	20,4	37,1	21,9	53,9	49,0	Polletni used (*)
Padavine (mm)***	128,2	69,0	127,2	82,6	238,2	179,7	
Oznaka vzorca	L24PD111	L24PD121	L24PD131	L24PD141	L24PD151	L24PD161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22			1,5E-03 ± 2E-02 ‡			7,0E-02 ± 3E-02	7,1E-02 ± 3E-02
U-238	9,6E-02 ± 1E-01 ‡		1,4E-01 ± 8E-02			6,2E-01 ± 3E-01	8,6E-01 ± 3E-01
Ra-226	3,7E-02 ± 4E-02 ‡	1,6E-01 ± 8E-02	7,1E-02 ± 3E-02	4,0E-02 ± 8E-02 ‡	8,8E-01 ± 3E-01	2,6E-01 ± 9E-02	1,4E+00 ± 3E-01
Pb-210	3,6E+00 ± 2E-01	2,7E+00 ± 2E-01	7,2E+00 ± 4E-01	4,5E+00 ± 5E-01	6,9E+00 ± 1E+00	2,2E+01 ± 1E+00	4,7E+01 ± 2E+00
Ra-228	7,2E-02 ± 4E-02	3,1E-02 ± 7E-02 ‡	3,7E-02 ± 4E-02 ‡	9,7E-03 ± 2E-02 ‡		1,4E-01 ± 9E-02	2,9E-01 ± 1E-01
Th-230							
Th-228	2,7E-02 ± 1E-02	5,2E-02 ± 2E-02	6,2E-02 ± 2E-02	1,1E-02 ± 2E-02 ‡	1,7E-01 ± 1E-01	7,2E-02 ± 4E-02	3,9E-01 ± 1E-01
K-40	3,2E-01 ± 4E-01 ‡		8,9E-01 ± 4E-01	2,1E+00 ± 3E-01	6,8E-01 ± 3E-01	1,7E+00 ± 9E-01	5,7E+00 ± 1E+00
Be-7	7,9E+00 ± 5E-01	8,3E+00 ± 4E-01	2,9E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 7E-01	6,0E+01 ± 3E+00	9,9E+01 ± 4E+00	2,2E+02 ± 5E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137				2,2E-02 ± 1E-02	2,6E-03 ± 2E-02 ‡	1,3E-02 ± 4E-02 ‡	3,8E-02 ± 5E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
H-3	4,4E+01 ± 6E+00	3,6E+01 ± 4E+00	7,7E+01 ± 9E+00	6,9E+01 ± 7E+00	2,2E+02 ± 2E+01	1,9E+02 ± 1E+01	6,4E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize H-3 pa na Odseku O-2. Ker je bilo v februarju premalo vzorca (dežja), meritev H-3 ni bila opravljena.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	21,56	21,08	62,43	49,78	15,66	13,59	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)***	73,50	98,40	247,50	184,70	64,00	59,60	
Oznaka vzorca	L24PD171	L24PD181	L24PD191	L24PD1A1	L24PD1B1	L24PD1C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22				1,9E-01 ± 1E-01			4,9E-02 ± 2E-02
U-238		3,8E+00 ± 5E+00 ‡		1,8E+00 ± 1E+00	3,8E+00 ± 2E+00	1,4E+01 ± 7E+00	2,4E+00 ± 8E-01
Ra-226		1,7E+00 ± 2E+00 ‡	4,4E-01 ± 3E-01	5,6E-01 ± 4E-01			9,5E-01 ± 2E-01
Pb-210	8,2E+01 ± 8E+00	1,2E+02 ± 7E+00	2,2E+02 ± 1E+01	5,3E+01 ± 6E+00	1,0E+02 ± 6E+00	8,5E+01 ± 1E+01	8,2E+01 ± 2E+00
Ra-228		1,2E+00 ± 1E+00 ‡	3,5E-01 ± 2E-01	4,1E-01 ± 4E-01 ‡			3,4E-01 ± 1E-01
Th-230							
Th-228	1,3E-01 ± 2E+00 ‡	5,7E-01 ± 6E-01 ‡	6,4E-01 ± 1E-01	3,4E-01 ± 2E-01	1,8E-01 ± 2E-01 ‡	1,3E+00 ± 5E-01	4,9E-01 ± 2E-01
K-40	9,2E+00 ± 4E+00	1,4E+01 ± 5E+00	5,6E+00 ± 8E-01	2,4E+00 ± 2E+00	1,5E+01 ± 9E+00	1,3E+01 ± 9E+00	8,8E+00 ± 1E+00
Be-7	3,5E+02 ± 2E+01	4,8E+02 ± 3E+01	4,6E+02 ± 2E+01	2,9E+02 ± 1E+01	2,7E+02 ± 2E+01	2,6E+02 ± 1E+01	2,9E+02 ± 4E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137			8,1E-02 ± 5E-02			1,7E-01 ± 3E-01 ‡	5,0E-02 ± 4E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
H-3	1,0E+03 ± 7E+01	1,1E+03 ± 7E+01	5,8E+02 ± 3E+01	4,1E+02 ± 5E+01	3,5E+02 ± 2E+01	3,8E+02 ± 2E+01	6,8E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize H-3 pa na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza H-3 (**), preračunane na ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	
Kol. vzorca (L)	21,6	21,1	62,4	49,8	15,7	13,6	Letni used (*)
Padavine (mm)***	73,5	98,4	247,5	184,7	64,0	59,6	
Oznaka vzorca	L24PD171	L24PD181	L24PD191	L24PD1A1	L24PD1B1	L24PD1C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)						
Na-22				3,5E-02 ± 2E-02			1,1E-01 ± 4E-02
U-238		3,8E-01 ± 5E-01 ‡		3,4E-01 ± 3E-01	2,4E-01 ± 1E-01	8,3E-01 ± 4E-01	2,6E+00 ± 8E-01
Ra-226		1,6E-01 ± 2E-01 ‡	1,1E-01 ± 7E-02	1,0E-01 ± 8E-02			1,8E+00 ± 4E-01
Pb-210	6,0E+00 ± 6E-01	1,2E+01 ± 7E-01	5,4E+01 ± 3E+00	9,8E+00 ± 1E+00	6,4E+00 ± 4E-01	5,1E+00 ± 6E-01	1,4E+02 ± 4E+00
Ra-228		1,1E-01 ± 9E-02 ‡	8,6E-02 ± 5E-02	7,5E-02 ± 7E-02 ‡			5,6E-01 ± 2E-01
Th-230							
Th-228	9,5E-03 ± 2E-01 ‡	5,6E-02 ± 6E-02 ‡	1,6E-01 ± 3E-02	6,2E-02 ± 3E-02	1,2E-02 ± 1E-02 ‡	7,8E-02 ± 3E-02	7,7E-01 ± 2E-01
K-40	6,7E-01 ± 3E-01	1,4E+00 ± 5E-01	1,4E+00 ± 2E-01	4,4E-01 ± 3E-01	9,3E-01 ± 6E-01	8,0E-01 ± 6E-01	1,1E+01 ± 2E+00
Be-7	2,5E+01 ± 1E+00	4,7E+01 ± 3E+00	1,1E+02 ± 5E+00	5,3E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 1E+00	1,6E+01 ± 7E-01	4,9E+02 ± 8E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137			2,0E-02 ± 1E-02			1,0E-02 ± 2E-02 ‡	6,8E-02 ± 5E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
H-3	7,6E+01 ± 5E+00	1,1E+02 ± 7E+00	1,4E+02 ± 7E+00	7,6E+01 ± 1E+01	2,3E+01 ± 1E+00	2,3E+01 ± 1E+00	1,1E+03 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize H-3 pa na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 41

5. PREGLED SPECIFIČNIH ANALIZ H-3 V DEŽEVNICI V LETU 2024

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza H-3 (**) preračunana na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN in ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Krško			Brege			Dobova			Ljubljana - ZVD				Ljubljana - IJS			
Mesec vzorčevanja	Padavine***	Koncentracija aktivnosti		Padavine***	Koncentracija aktivnosti		Padavine***	Koncentracija aktivnosti		Padavine***	Koncentracija aktivnosti			Padavine***	Koncentracija aktivnosti		
	mm	kBq/m³	kBq/m²	mm	kBq/m³	kBq/m²	mm	kBq/m³	kBq/m²	mm	kBq/m³		kBq/m²	mm	kBq/m³		kBq/m²
Januar	70,5	1,1E+00	8,0E-02	86,2	1,37E+00	1,2E-01	50,5	7,3E-01	3,7E-02	128,1	3,6E-01	7,9E-02	4,6E-02	128,2	3,4E-01	4,8E-02	4,4E-02
Februar	28,1	1,5E+00	4,1E-02	21,7	1,04E+00	2,3E-02	24,5	1,1E+00	2,6E-02	58,7	5,2E-01	8,2E-02	3,0E-02	69,0	5,2E-01	5,5E-02	3,6E-02
Marec	113,5	9,1E-01	1,0E-01	109,0	1,29E+00	1,4E-01	109,8	5,9E-01	6,4E-02	129,1	5,5E-01	8,7E-02	7,0E-02	127,2	6,1E-01	6,7E-02	7,7E-02
April	40,1	1,2E+00	5,0E-02	72,8	4,05E+00	2,9E-01	56,8	1,1E+00	6,5E-02	71,4	5,9E-01	9,1E-02	4,2E-02	82,6	8,4E-01	8,1E-02	6,9E-02
Maj	136,4	1,2E+00	1,6E-01	102,4	1,50E+00	1,5E-01	111,5	1,1E+00	1,2E-01	200,0	8,6E-01	9,9E-02	1,7E-01	238,2	9,4E-01	6,3E-02	2,2E-01
Junij	141,2	1,3E+00	1,8E-01	195,0	1,32E+00	2,6E-01	154,8	1,2E+00	1,9E-01	185,8	7,2E-01	8,9E-02	1,3E-01	179,7	1,0E+00	6,6E-02	1,9E-01
Julij	131,7	1,4E+00	1,8E-01	82,2	1,14E+00	9,4E-02	56,0	1,1E+00	6,3E-02	125,2	1,2E+00	1,1E-01	1,5E-01	73,5	1,0E+00	7,0E-02	7,6E-02
Avgust	108,1	1,4E+00	1,5E-01	122,6	1,61E+00	2,0E-01	108,3	9,6E-01	1,0E-01	98,4	1,1E+00	1,1E-01	1,1E-01	98,4	1,1E+00	6,9E-02	1,1E-01
September	135,9	1,2E+00	1,6E-01	138,7	1,50E+00	2,1E-01	157,0	8,6E-01	1,4E-01	247,5	6,3E-01	8,7E-02	1,6E-01	247,5	5,8E-01	3,0E-02	1,4E-01
Oktober	117,6	8,9E-01	1,0E-01	133,2	1,32E+00	1,8E-01	116,5	5,9E-01	6,9E-02	184,4	4,2E-01	8,6E-02	7,7E-02	184,7	4,1E-01	5,2E-02	7,6E-02
November	66,1	1,1E+00	7,3E-02	72,6	2,27E+00	1,6E-01	74,3	4,7E-01	3,5E-02	64,3	2,7E-01	7,8E-02	1,7E-02	64,0	3,5E-01	2,3E-02	2,3E-02
December	33,8	1,4E+00	4,8E-02	34,0	2,47E+00	8,4E-02	29,0	7,5E-01	2,2E-02	59,6	4,8E-01	7,8E-02	2,9E-02	59,6	3,8E-01	2,2E-02	2,3E-02
Mesečno povprečje (za celo leto) (kBq/m³)	1,21	±	3,3E-02	1,74E+00	±	4,2E-02	8,78E-01	±	2,9E-02	6,40E-01	±		2,6E-02	6,76E-01	±		1,6E-02
Celotna vrednost	1123		1,3E+00	1170		1,9E+00	1049		9,2E-01	1553			1,0E+00	1553			1,1E+00
	mm		kBq/m²	mm		kBq/m²	mm		kBq/m²	mm			kBq/m²	mm			kBq/m²

(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku O-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

LETO 2024 T - 42/1a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	širša okolica NEK (2-5)							
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Polletna vsota	Polletni used (*)
Kol. vzorca (g)	62,3	58,4	60,1	54,3	40,4	30,4		
Padavine (mm)***	78,4	24,9	111,3	56,5	119,4	168,1		
Oznaka vzorca	K24PV211	K24PV221	K24PV231	K24PV241	K24PV251	K24PV261		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22								
U-238	1,4E-02 ± 2E-01 ‡			9,8E-02 ± 4E-02	9,7E-02 ± 4E-02	2,0E-01 ± 9E-02	4,1E-01 ± 2E-01	2,1E+00 ± 1E+00
Ra-226	6,0E-01 ± 3E-01	2,2E-01 ± 8E-02	2,8E-01 ± 1E-01	1,9E-01 ± 9E-02	2,2E-02 ± 5E-02 ‡	5,7E-02 ± 3E-02	1,4E+00 ± 4E-01	6,8E+00 ± 2E+00
Pb-210	1,2E+00 ± 2E-01	9,9E-01 ± 2E-01	2,5E+00 ± 4E-01	6,3E+00 ± 3E-01	1,0E+01 ± 7E-01	6,5E+00 ± 4E-01	2,8E+01 ± 1E+00	1,4E+02 ± 5E+00
Ra-228				5,3E-02 ± 2E-02		6,6E-02 ± 3E-02	1,2E-01 ± 4E-02	5,9E-01 ± 2E-01
Th-230								
Th-228	4,0E-02 ± 1E-02	1,7E-02 ± 5E-02 ‡	3,9E-02 ± 2E-02	7,9E-02 ± 8E-03	2,3E-02 ± 1E-02	5,2E-02 ± 1E-02	2,5E-01 ± 5E-02	1,2E+00 ± 3E-01
K-40	2,9E-02 ± 9E-02 ‡	1,8E-01 ± 1E-01	2,2E-01 ± 1E-01	8,6E-01 ± 9E-02	1,6E-01 ± 1E-01	5,1E-01 ± 1E-01	2,0E+00 ± 3E-01	9,8E+00 ± 1E+00
Be-7	7,0E+00 ± 5E-01	1,5E+01 ± 7E-01	2,9E+01 ± 1E+00	5,0E+01 ± 3E+00	7,6E+01 ± 5E+00	6,7E+01 ± 3E+00	2,4E+02 ± 7E+00	1,2E+03 ± 3E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137			4,9E-03 ± 8E-03 ‡	1,7E-02 ± 5E-03	6,5E-03 ± 5E-03 ‡		2,9E-02 ± 1E-02	1,4E-01 ± 5E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 42/1b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	širša okolica NEK (2-5)							
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Letna vsota	Letni used (*)
Kol. vzorca (g)	66,4	50,6	47,2	63,6	108,8	145,6		
Padavine (mm)***	107,0	115,4	137,3	125,4	69,4	33,9		
Oznaka vzorca	K24PV271	K24PV281	K24PV291	K24PV2A1	K24PV2B1	K24PV2C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22								
U-238	7,6E-02 ± 1E-01 ‡			2,5E-02 ± 2E-01 ‡	2,6E-01 ± 2E-01		7,7E-01 ± 4E-01	3,9E+00 ± 2E+00
Ra-226	5,3E-02 ± 3E-02	4,7E-01 ± 2E-01		1,4E-01 ± 3E-02	4,0E-02 ± 7E-02 ‡	5,3E-02 ± 1E-01 ‡	2,1E+00 ± 4E-01	1,1E+01 ± 2E+00
Pb-210	3,6E+00 ± 2E-01	8,8E+00 ± 7E-01	1,1E+01 ± 1E+00	5,8E+00 ± 3E-01	4,7E+00 ± 3E-01	2,4E+00 ± 1E-01	6,3E+01 ± 2E+00	3,2E+02 ± 9E+00
Ra-228	1,7E-02 ± 2E-02 ‡			5,5E-02 ± 6E-02 ‡	5,9E-02 ± 5E-02	6,2E-03 ± 4E-02 ‡	2,6E-01 ± 9E-02	1,3E+00 ± 5E-01
Th-230								
Th-228	5,1E-02 ± 2E-02	6,0E-02 ± 3E-02	8,1E-03 ± 2E-02 ‡	7,0E-02 ± 4E-02	9,8E-02 ± 2E-02	8,0E-03 ± 5E-02 ‡	5,5E-01 ± 1E-01	2,7E+00 ± 5E-01
K-40	4,2E-01 ± 7E-02	5,4E-01 ± 2E-01	3,7E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 2E-01 ‡		5,0E-03 ± 5E-02 ‡	3,4E+00 ± 4E-01	1,7E+01 ± 2E+00
Be-7	2,1E+01 ± 9E-01	3,1E+01 ± 1E+00	5,2E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 1E+00	8,5E+00 ± 4E-01	4,1E+02 ± 8E+00	2,1E+03 ± 4E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,2E-02 ± 6E-03			7,1E-03 ± 8E-03 ‡			4,8E-02 ± 1E-02	2,4E-01 ± 7E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 42/2a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	daljna okolica NEK							
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Polletna vsota	Polletni used (*)
Kol. vzorca (g)	20,0	25,1	16,3	12,7	11,1	9,1		
Padavine (mm)	50,5	24,5	109,8	56,8	111,5	154,8		
Oznaka vzorca	K24PV2611	K24PV2621	K24PV2631	K24PV2641	K24PV2651	K24PV2661		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22								
U-238	9,5E-02 ± 1E-01 ‡	1,9E-01 ± 1E-01	3,2E-01 ± 3E-01 ‡	1,7E-01 ± 2E-01 ‡			7,7E-01 ± 4E-01	3,9E+00 ± 2E+00
Ra-226	3,4E-01 ± 2E-01	7,7E-02 ± 7E-02 ‡	2,2E-01 ± 2E-01	1,0E-01 ± 2E-01 ‡	1,9E-01 ± 4E-01 ‡	6,2E-02 ± 4E-02	1,0E+00 ± 5E-01	5,0E+00 ± 3E+00
Pb-210	2,0E+00 ± 3E-01	2,5E+00 ± 2E-01	3,1E+00 ± 5E-01	5,6E+00 ± 5E-01	1,1E+01 ± 1E+00	5,3E+00 ± 3E-01	3,0E+01 ± 2E+00	1,5E+02 ± 8E+00
Ra-228				1,4E-01 ± 1E-01		9,2E-02 ± 6E-02	2,3E-01 ± 1E-01	1,2E+00 ± 6E-01
Th-230								
Th-228	7,0E-02 ± 2E-02	3,3E-02 ± 2E-02	5,4E-02 ± 5E-02 ‡	4,8E-02 ± 3E-02		6,6E-02 ± 3E-02	2,7E-01 ± 7E-02	1,3E+00 ± 4E-01
K-40	1,7E-02 ± 2E-01 ‡		5,9E-01 ± 5E-01	6,3E-01 ± 3E-01	1,2E-01 ± 3E-01 ‡	3,4E-01 ± 2E-01	1,7E+00 ± 7E-01	8,5E+00 ± 3E+00
Be-7	4,4E+00 ± 4E-01	1,3E+01 ± 9E-01	3,1E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00	6,8E+01 ± 3E+00	6,2E+01 ± 3E+00	2,2E+02 ± 5E+00	1,1E+03 ± 2E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137		2,0E-02 ± 2E-02 ‡	1,3E-02 ± 3E-02 ‡	1,8E-02 ± 2E-02 ‡			5,1E-02 ± 4E-02	2,5E-01 ± 2E-01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 42/2b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	daljna okolica NEK							
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Letna vsota	Letni used (*)
Kol. vzorca (g)	15,4	13,6	16,6	12,5	18,1	30,5		
Padavine (mm)	56,0	108,3	157,0	116,5	74,3	29,0		
Oznaka vzorca	K24PV2671	K24PV2681	K24PV2691	K24PV26A1	K24PV26B1	K24PV26C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22								
U-238	1,1E-01 ± 4E-01 ‡	4,7E-01 ± 4E-01 ‡	6,2E-01 ± 4E-01		8,0E-01 ± 3E-01	2,5E-01 ± 6E-01 ‡	3,0E+00 ± 1E+00	1,5E+01 ± 5E+00
Ra-226	8,5E-03 ± 8E-02 ‡	8,4E-02 ± 2E-01 ‡	4,6E-01 ± 3E-01	6,5E-02 ± 5E-02 ‡	2,4E-01 ± 1E-01		1,9E+00 ± 7E-01	9,3E+00 ± 3E+00
Pb-210	3,7E+00 ± 5E-01	5,5E+00 ± 6E-01	5,8E+00 ± 5E-01	5,1E+00 ± 3E-01	3,4E+00 ± 5E-01	1,9E-01 †	5,3E+01 ± 2E+00 x	2,7E+02 ± 1E+01 x
Ra-228	9,2E-02 ± 1E-01 ‡		1,8E-01 ± 1E-01		1,5E-01 ± 1E-01		6,6E-01 ± 2E-01	3,3E+00 ± 1E+00
Th-230								
Th-228	8,5E-02 ± 1E-01 ‡	9,6E-02 ± 5E-02	1,0E-01 ± 5E-02	7,5E-02 ± 3E-02	1,5E-01 ± 5E-02	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	9,8E-01 ± 2E-01	4,9E+00 ± 1E+00
K-40	3,2E-01 ± 4E-01 ‡	1,8E-01 ± 3E-01 ‡		2,3E-01 ± 2E-01 ‡			2,4E+00 ± 9E-01	1,2E+01 ± 5E+00
Be-7	1,7E+01 ± 1E+00	1,6E+01 ± 2E+00	4,2E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 9E-01	9,9E+00 ± 6E-01	2,9E+00 ± 5E-01	3,3E+02 ± 6E+00	1,6E+03 ± 3E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137		2,6E-02 ± 3E-02 ‡					7,7E-02 ± 5E-02	3,8E-01 ± 3E-01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti letnega useda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 42/3a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	ožja okolica NEK (mesta 1, 7, 8)							
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Polletna vsota	Polletni used (*)
Kol. vzorca (g)	45,5		44,7	41,5	23,6	23,5		
Padavine (mm)	70,5	28,1	113,5	40,1	136,4	141,2		
Oznaka vzorca	K24PV311	K24PV321	K24PV331	K24PV341	K24PV351	K24PV361		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22			1,8E-02 ± 2E-02 ‡				1,8E-02 ± 2E-02	9,1E-02 ± 1E-01
U-238		9,7E-02 ± 2E-01 ‡	1,4E-01 ± 2E-01 ‡		1,2E-01 ± 2E-01 ‡	1,1E-01 ± 2E-01 ‡	4,7E-01 ± 4E-01	2,3E+00 ± 2E+00
Ra-226	9,9E-01 ± 5E-01	6,3E-02 ± 6E-02 ‡	6,5E-02 ± 9E-02 ‡	8,7E-01 ± 4E-01	2,9E-01 ± 2E-01	4,3E-02 ± 3E-02 ‡	2,3E+00 ± 7E-01	1,2E+01 ± 3E+00
Pb-210	2,9E+00 ± 2E-01	1,1E+00 ± 2E-01	3,4E+00 ± 3E-01	6,1E+00 ± 4E-01	8,2E+00 ± 4E-01	6,1E+00 ± 4E-01	2,8E+01 ± 8E-01	1,4E+02 ± 4E+00
Ra-228	9,3E-02 ± 9E-02 ‡	1,0E-02 ± 4E-02 ‡			6,1E-02 ± 4E-02	6,4E-02 ± 5E-02	2,3E-01 ± 1E-01	1,1E+00 ± 6E-01
Th-230								
Th-228	8,3E-02 ± 2E-02	2,9E-02 ± 3E-02 ‡	5,6E-02 ± 3E-02	3,0E-03 ± 2E-02 ‡	8,2E-02 ± 2E-02	3,8E-02 ± 2E-02	2,9E-01 ± 5E-02	1,5E+00 ± 3E-01
K-40	2,0E+00 ± 3E-01	8,2E-02 ± 2E-01 ‡	3,1E-01 ± 4E-01 ‡	4,5E-01 ± 1E-01	4,6E-01 ± 2E-01	1,2E+00 ± 3E-01	4,5E+00 ± 6E-01	2,2E+01 ± 3E+00
Be-7	8,2E+00 ± 5E-01	7,4E+00 ± 4E-01	3,1E+01 ± 1E+00	4,2E+01 ± 2E+00	5,7E+01 ± 3E+00	6,5E+01 ± 2E+00	2,1E+02 ± 4E+00	1,1E+03 ± 2E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	3,1E-02 ± 1E-02	5,7E-04 ± 6E-03 ‡		1,1E-02 ± 1E-02 ‡		1,3E-02 ± 1E-02 ‡	5,5E-02 ± 2E-02	2,8E-01 ± 1E-01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 42/3b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	ožja okolica NEK (mesta 1, 7, 8)							
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Letna vsota	Letni used (*)
Kol. vzorca (g)	41,0	36,4	34,1	43,6	74,9	56,7		
Padavine (mm)	131,7	108,1	135,9	117,6	66,1	33,8		
Oznaka vzorca	K24PV371	K24PV381	K24PV391	K24PV3A1	K24PV3B1	K24PV3C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22							1,8E-02 ± 2E-02	9,1E-02 ± 1E-01
U-238	4,1E-03 ± 3E-02 ‡	4,4E-01 ± 2E-01	1,9E-01 ± 1E-01	5,3E-01 ± 1E-01			1,6E+00 ± 5E-01	8,2E+00 ± 2E+00
Ra-226		2,0E-01 ± 1E-01	3,1E-01 ± 2E-01	8,2E-02 ± 3E-02	4,3E-01 ± 2E-01	3,8E-02 ± 4E-02 ‡	3,4E+00 ± 7E-01	1,7E+01 ± 4E+00
Pb-210	3,6E+00 ± 3E-01	6,1E+00 ± 4E-01	8,6E+00 ± 4E-01	5,8E+00 ± 5E-01	4,9E+00 ± 4E-01	9,8E-01 ± 1E-01	5,8E+01 ± 1E+00	2,9E+02 ± 6E+00
Ra-228		7,5E-02 ± 6E-02	1,4E-02 ± 5E-02 ‡	2,8E-02 ± 2E-02 ‡			3,5E-01 ± 1E-01	1,7E+00 ± 7E-01
Th-230						6,0E-01 ± 4E-01	6,0E-01 ± 4E-01	3,0E+00 ± 2E+00
Th-228	1,5E-02 ± 2E-02 ‡	8,5E-02 ± 3E-02	1,7E-01 ± 2E-02	4,4E-02 ± 3E-02	8,9E-02 ± 2E-02	3,0E-03 ± 7E-03 ‡	6,9E-01 ± 8E-02	3,5E+00 ± 4E-01
K-40	5,0E-01 ± 3E-01	2,3E+00 ± 4E-01	2,3E-01 ± 2E-01	3,2E-01 ± 8E-02	7,3E-02 ± 2E-01 ‡	2,6E-02 ± 1E-01 ‡	7,9E+00 ± 8E-01	4,0E+01 ± 4E+00
Be-7	1,9E+01 ± 8E-01	2,1E+01 ± 1E+00	5,1E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 1E+00	3,1E+00 ± 2E-01	3,5E+02 ± 5E+00	1,8E+03 ± 3E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137							5,5E-02 ± 2E-02	2,8E-01 ± 1E-01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 42/4a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS							
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Polletna vsota	Polletni used
Kol. vzorca (g)	14,7		14,9	16,6	8,3	11,8		
Padavine (mm)***	128,2	69,0	127,2	82,6	238,2	179,7		
Oznaka vzorca	L24PV111	L24PV121	L24PV131	L24PV141	L24PV151	L24PV161		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22								
U-238		1,2E-01 ± 4E-01 ‡	6,0E-01 ± 3E-01	4,5E-02 ± 4E-01 ‡		1,2E+00 ± 1E+00 ‡	2,0E+00 ± 1E+00	1,0E+01 ± 7E+00
Ra-226	1,2E+00 ± 7E-01			3,2E-01 ± 2E-01	1,7E-01 ± 1E-01		1,7E+00 ± 8E-01	8,6E+00 ± 4E+00
Pb-210	1,6E+00 ± 3E-01	3,3E+00 ± 1E+00	3,8E+00 ± 5E-01	7,7E+00 ± 5E-01	4,2E+00 ± 5E-01	3,5E+00 ± 4E-01	2,4E+01 ± 1E+00	1,2E+02 ± 7E+00
Ra-228		8,6E-02 ± 2E-01 ‡	1,6E-01 ± 2E-01 ‡			2,5E-01 ± 1E-01	5,0E-01 ± 3E-01	2,5E+00 ± 1E+00
Th-230								
Th-228	4,6E-02 ± 4E-02 ‡	3,5E-02 ± 4E-02 ‡	2,8E-02 ± 4E-02 ‡	1,3E-01 ± 1E-01 ‡	1,4E-01 ± 1E-01 ‡	7,4E-03 ± 4E-02 ‡	3,9E-01 ± 2E-01	1,9E+00 ± 1E+00
K-40				1,2E+00 ± 4E-01	4,9E-02 ± 3E-01 ‡	6,1E-01 ± 5E-01 ‡	1,9E+00 ± 7E-01	9,5E+00 ± 4E+00
Be-7	2,9E+00 ± 3E-01	2,0E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 2E+00	5,2E+01 ± 3E+00	5,2E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00	2,0E+02 ± 4E+00	9,8E+02 ± 2E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137				1,9E-03 ± 3E-02 ‡	7,8E-03 ± 3E-02 ‡		9,7E-03 ± 4E-02	4,8E-02 ± 2E-01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 42/4b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS							
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Letna vsota	Letni used
Kol. vzorca (g)	14,8	14,3	13,8	14,6	30,9	27,1		
Padavine (mm)***	73,5	98,4	247,5	184,7	64,0	59,6		
Oznaka vzorca	L24PV171	L24PV181	L24PV191	L24PV1A1	L24PV1B1	L24PV1C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
Na-22								
U-238	5,7E-02 ± 4E-01 ‡	2,0E-01 ± 3E-01 ‡	1,2E+00 ± 2E+00 ‡	8,1E-02 ± 4E-01 ‡	5,7E-01 ± 3E-01	3,5E-01 ± 4E-01 ‡	4,5E+00 ± 2E+00	2,2E+01 ± 1E+01
Ra-226	5,6E-01 ± 4E-01			3,8E-01 ± 9E-02	1,9E-01 ± 3E-01 ‡		2,8E+00 ± 9E-01	1,4E+01 ± 5E+00
Pb-210	8,7E+00 ± 6E-01	7,1E+00 ± 1E+00	4,8E+00 ± 6E-01	7,4E+00 ± 2E+00	3,6E+00 ± 4E-01	4,1E-01 ± 6E-01 ‡	5,6E+01 ± 3E+00	2,8E+02 ± 2E+01
Ra-228			1,2E-01 ± 1E-01 ‡			6,0E-02 ± 1E-01 ‡	6,7E-01 ± 3E-01	3,4E+00 ± 2E+00
Th-230								
Th-228	8,9E-02 ± 8E-02 ‡	4,8E-02 ± 3E-02	5,1E-02 ± 4E-02		1,1E-01 ± 9E-02	4,8E-02 ± 3E-02	7,4E-01 ± 2E-01	3,7E+00 ± 1E+00
K-40	1,7E-01 ± 8E-01 ‡					2,5E-01 ± 6E-01 ‡	2,3E+00 ± 1E+00	1,2E+01 ± 6E+00
Be-7	3,9E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00	2,7E+01 ± 1E+00	1,7E+01 ± 9E-01	2,1E+01 ± 1E+00	3,3E+00 ± 5E-01	3,5E+02 ± 5E+00	1,7E+03 ± 3E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137		1,0E-02 ± 4E-02 ‡	2,2E-02 ± 2E-02 ‡				4,2E-02 ± 6E-02	2,1E-01 ± 3E-01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

(*) Ocena je narejena ob upoštevanju 20-odstotnega zbiralnega izkoristka vazelinskih plošč.
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

7. ZRAK

I-131 V ZRAKU
AEROSOLI

7. ZRAK - PREGLED MERITEV JODA I-131 V ZRAKU V LETU 2024

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza I-131 v zraku (aerosolni, atomski, CH_3I) (**)

Vzorč. mesto		Spodnji Stari Grad		Stara vas		Leskovec		Brege		Vihre		Gornji Lenart		Libna	
Datum vzor.		Volumen prečrpanega zraka V (m^3) in koncentracija aktivnosti KA (Bq/m^3)													
od	do	V	KA	V	KA	V	KA	V	KA	V	KA	V	KA	V	KA
28. 12. 2023	18. 1. 2024	1567,5	< 9E-05	1937,0	< 2E-05	1738,0	< 2E-05	1635,8	< 1E-05	1813,9	< 9E-06	1776,2	< 2E-05	1808,0	< 3E-05
18. 1. 2024	1. 2. 2024	1027,8	< 2E-05	1280,5	< 3E-05	1125,9	< 3E-05	1109,6	< 4E-05	1230,7	< 3E-05	1159,5	< 2E-05	1171,1	< 2E-05
1. 2. 2024	15. 2. 2024	1021,1	< 2E-05	1262,6	< 2E-05	1148,4	< 3E-05	1149,1	< 2E-05	1229,3	< 2E-05	1179,4	< 2E-05	1199,1	< 2E-05
15. 2. 2024	4. 3. 2024	1379,4	< 3E-05	1664,3	< 2E-05	1414,8	< 4E-05	1401,7	< 3E-05	1547,0	< 1E-05	1523,8	< 2E-05	1522,9	< 2E-05
4. 3. 2024	18. 3. 2024	1051,9	< 2E-05	1279,4	< 9E-06	1153,1	< 6E-05	1146,4	< 3E-05	1218,6	< 2E-05	1189,1	< 5E-05	1163,4	< 3E-05
18. 3. 2024	2. 4. 2024	1149,9	< 3E-05	1376,6	< 2E-05	1269,7	< 3E-05	1212,4	< 2E-05	1246,9	< 2E-05	1279,7	< 4E-05	1249,4	< 3E-05
2. 4. 2024	16. 4. 2024	1076,3	< 3E-05	1283,8	< 2E-05	1159,0	< 1E-05	1147,7	< 2E-05	1213,4	< 2E-05	1228,4	< 4E-05	1097,7	< 4E-05
16. 4. 2024	6. 5. 2024	1561,2	< 9E-06	1834,7	< 2E-05	1685,2	< 6E-05	1574,4	< 1E-05	1725,4	< 2E-05	1694,3	< 1E-05	1573,5	< 3E-05
6. 5. 2024	16. 5. 2024	767,5	< 2E-05	924,4	< 2E-05	840,6	< 4E-05	774,4	< 2E-05	822,1	< 3E-05	847,4	< 3E-05	793,5	< 1E-05
16. 5. 2024	3. 6. 2024	1327,5	< 2E-05	1584,6	< 2E-05	1478,2	< 1E-05	1380,8	< 2E-05	1536,4	< 2E-05	1506,9	< 2E-05	1366,0	< 6E-05
3. 6. 2024	17. 6. 2024	1009,4	< 4E-05	1250,0	< 3E-05	1215,4	< 4E-05	1116,9	< 2E-05	1182,3	< 4E-05	1196,1	< 3E-05	1109,9	< 3E-05
17. 6. 2024	2. 7. 2024	1163,1	< 3E-05	1351,9	< 9E-06	1252,9	< 1E-05	1213,4	< 1E-05	1255,7	< 3E-05	1229,2	< 2E-05	1168,9	< 3E-05
2. 7. 2024	16. 7. 2024	1091,3	< 2E-05	1278,2	< 2E-05	1160,6	< 1E-05	1035,8	< 4E-05	1135,7	< 3E-05	1172,4	< 9E-06	1064,6	< 2E-05
16. 7. 2024	1. 8. 2024	1234,2	< 3E-05	1360,6	< 3E-05	1364,6	< 2E-05	1182,6	< 5E-05	1300,0	< 3E-05	1368,2	< 2E-05	1208,6	< 5E-05
1. 8. 2024	19. 8. 2024	1413,0	< 2E-05	1673,1	< 1E-05	1531,6	< 3E-05	1311,4	< 4E-05	1424,9	< 3E-05	1463,6	< 3E-05	1337,3	< 3E-05
19. 8. 2024	2. 9. 2024	1088,7	< 6E-05	1260,0	< 3E-05	1195,5	< 3E-05	1090,2	< 2E-05	1158,3	< 3E-05	1243,5	< 9E-06	1064,2	< 3E-05
2. 9. 2024	16. 9. 2024	1092,9	< 4E-05	1268,0	< 1E-05	1191,1	< 4E-05	1137,8	< 2E-05	1117,1	< 5E-05	1259,6	< 2E-05	1148,7	< 2E-05
16. 9. 2024	1. 10. 2024	1189,6	< 3E-05	1407,6	< 9E-06	1246,2	< 4E-05	1208,8	< 1E-05	1280,4	< 2E-05	1330,3	< 2E-05	1222,8	< 3E-05
1. 10. 2024	16. 10. 2024	1184,1	< 2E-05	1323,2	< 2E-05	1283,9	< 6E-06	1244,4	< 8E-06	1303,2	< 2E-05	1309,0	< 2E-05	1218,7	< 7E-04
16. 10. 2024	4. 11. 2024	1487,3	< 2E-05	1758,3	< 9E-06	1614,2	< 3E-05	1550,0	< 3E-05	1617,8	< 2E-05	1679,4	< 2E-05	1529,3	< 3E-05
4. 11. 2024	18. 11. 2024	1087,5	< 1E-05	1251,1	< 4E-05	1122,0	< 3E-05	1103,6	< 2E-05	1242,5	< 1E-05	1206,6	< 3E-05	1111,9	< 2E-05
18. 11. 2024	2. 12. 2024	1073,2	< 3E-05	1299,6	< 4E-05	1121,7	< 2E-05	1146,1	< 1E-05	1244,5	< 3E-05	1202,4	< 2E-05	1145,2	< 4E-05
2. 12. 2024	16. 12. 2024	1051,8	< 4E-05	1305,5	< 5E-05	1135,4	< 2E-05	1157,0	< 3E-05	1240,6	< 2E-05	1223,7	< 1E-05	1152,4	< 3E-05
16. 12. 2024	30. 12. 2024	1020,9	< 5E-05	1310,6	< 2E-05	1140,4	< 9E-06	1029,0	< 2E-05	1231,9	< 2E-05	1194,6	< 4E-05	1133,6	< 7E-06

(**) Specifična analiza I-131 je bila opravljena z visokoločljivostno spektrometrijo gama na Odseku F-2.

LETO 2024 T - 44a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m^3)	11903,76	11043,89	9929,75	11813,65	9702,89	10089,50	
Oznaka vzorca	K24AE11S	K24AE12S	K24AE13S	K24AE14S	K24AE15S	K24AE16S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22				1,3E-07 ± 6E-07 ‡			2,2E-08 ± 9E-08
U-238	9,5E-06 ± 7E-06			4,3E-06 ± 4E-06 ‡	2,0E-05 ± 1E-05		5,6E-06 ± 3E-06
Ra-226			1,1E-04 ± 9E-05				1,8E-05 ± 1E-05
Pb-210	5,0E-04 ± 3E-05	5,1E-04 ± 4E-05	1,8E-04 ± 3E-05	2,8E-04 ± 1E-05	2,7E-04 ± 3E-05	4,2E-04 ± 3E-05	3,6E-04 ± 1E-05
Ra-228	4,7E-06 ± 2E-06	3,6E-06 ± 2E-06	1,2E-05 ± 4E-06	5,1E-06 ± 1E-06	6,3E-06 ± 2E-06	7,8E-06 ± 4E-06	6,7E-06 ± 1E-06
Th-230							
Th-228	3,9E-06 ± 1E-06	2,0E-06 ± 1E-06	1,1E-05 ± 3E-06	7,4E-06 ± 1E-06	1,0E-05 ± 2E-06	6,5E-06 ± 2E-06	6,8E-06 ± 8E-07
K-40							
Be-7	1,7E-03 ± 7E-05	1,7E-03 ± 6E-05	1,8E-03 ± 8E-05	2,0E-03 ± 8E-05	2,4E-03 ± 1E-04	2,7E-03 ± 1E-04	2,0E-03 ± 4E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137	8,3E-07 ± 9E-07 ‡						1,4E-07 ± 2E-07
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 44b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m^3)	10360,57	11052,84	9944,02	11565,08	9307,41	9269,78	
Oznaka vzorca	K24AE17S	K24AE18S	K24AE19S	K24AE1AS	K24AE1BS	K24AE1CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22							1,1E-08 ± 5E-08
U-238	1,4E-05 ± 8E-06	8,6E-06 ± 8E-06 ‡		1,9E-05 ± 7E-06	1,5E-05 ± 7E-06	2,8E-05 ± 1E-05	9,9E-06 ± 2E-06
Ra-226							9,1E-06 ± 7E-06
Pb-210	3,9E-04 ± 3E-05	4,8E-04 ± 4E-05	4,8E-04 ± 3E-05	6,0E-04 ± 3E-05	7,0E-04 ± 4E-05	5,8E-04 ± 5E-05	4,5E-04 ± 1E-05
Ra-228	1,1E-05 ± 4E-06	7,4E-06 ± 2E-06	8,2E-06 ± 3E-06	6,4E-06 ± 2E-06	1,1E-05 ± 3E-06	4,9E-06 ± 4E-06	7,4E-06 ± 8E-07
Th-230							
Th-228	4,7E-06 ± 4E-06 ‡	9,1E-06 ± 1E-06	6,7E-06 ± 2E-06	7,4E-06 ± 1E-06	1,2E-05 ± 3E-06	5,1E-06 ± 3E-06	7,1E-06 ± 7E-07
K-40							
Be-7	2,7E-03 ± 1E-04	2,9E-03 ± 1E-04	2,3E-03 ± 9E-05	1,4E-03 ± 5E-05	1,2E-03 ± 5E-05	1,3E-03 ± 5E-05	2,0E-03 ± 3E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137		3,2E-07 ± 5E-07 ‡	1,3E-06 ± 8E-07	6,1E-07 ± 4E-07			2,6E-07 ± 1E-07
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 45a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Stara vas						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m^3)	14802,99	13564,28	12019,63	14078,23	11509,25	11545,51	
Oznaka vzorca	K24AE21S	K24AE22S	K24AE23S	K24AE24S	K24AE25S	K24AE26S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22							
U-238	6,6E-06 ± 6E-06 ‡	1,7E-05 ± 4E-06		6,2E-06 ± 8E-06 ‡		2,4E-05 ± 1E-05	8,9E-06 ± 3E-06
Ra-226							
Pb-210	8,5E-04 ± 6E-05	6,8E-04 ± 1E-04	4,6E-04 ± 2E-05	4,5E-04 ± 2E-05	4,3E-04 ± 4E-05	6,2E-04 ± 3E-05	5,8E-04 ± 2E-05
Ra-228	2,7E-06 ± 2E-06 ‡	4,9E-06 ± 3E-06	4,0E-06 ± 3E-06	5,3E-06 ± 2E-06	6,0E-06 ± 3E-06	1,1E-05 ± 3E-06	5,6E-06 ± 1E-06
Th-230							
Th-228	7,1E-07 ± 1E-06 ‡	1,6E-06 ± 1E-06	5,4E-06 ± 2E-06	6,8E-06 ± 1E-06	6,3E-06 ± 1E-06	6,3E-06 ± 2E-06	4,5E-06 ± 5E-07
K-40							
Be-7	2,6E-03 ± 1E-04	2,6E-03 ± 1E-04	2,8E-03 ± 1E-04	3,2E-03 ± 2E-04	4,1E-03 ± 1E-04	4,4E-03 ± 2E-04	3,3E-03 ± 6E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 45b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Stara vas						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m^3)	12041,03	12887,41	11944,63	14299,65	11710,08	11797,42	
Oznaka vzorca	K24AE27S	K24AE28S	K24AE29S	K24AE2AS	K24AE2BS	K24AE2CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22				3,5E-07 ± 2E-06 ‡			3,0E-08 ± 1E-07
U-238	2,1E-05 ± 9E-06	4,5E-06 ± 5E-06 ‡	2,5E-05 ± 1E-05	3,0E-06 ± 4E-06 ‡	4,6E-06 ± 3E-06	1,1E-05 ± 1E-05 ‡	1,0E-05 ± 2E-06
Ra-226							
Pb-210	5,9E-04 ± 1E-04	8,0E-04 ± 1E-04	8,1E-04 ± 4E-05	9,6E-04 ± 6E-05	1,0E-03 ± 4E-05	8,8E-04 ± 1E-04	7,1E-04 ± 2E-05
Ra-228	5,8E-06 ± 2E-06	7,9E-06 ± 3E-06	8,8E-06 ± 5E-06	6,5E-06 ± 2E-06	6,1E-06 ± 1E-06	6,0E-06 ± 3E-06	6,2E-06 ± 8E-07
Th-230							
Th-228	6,1E-06 ± 1E-06	6,3E-06 ± 1E-06	5,7E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 1E-06	8,3E-06 ± 2E-06	8,6E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 4E-07
K-40							
Be-7	4,5E-03 ± 2E-04	4,9E-03 ± 2E-04	3,8E-03 ± 2E-04	2,3E-03 ± 2E-04	1,9E-03 ± 8E-05	2,1E-03 ± 6E-05	3,3E-03 ± 4E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,0E-07 ± 6E-07 ‡	3,6E-07 ± 9E-07 ‡			4,7E-07 ± 4E-07		8,5E-08 ± 1E-07
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 46a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Leskovec						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m³)	13157,87	12225,26	10971,12	13064,09	9725,35	11747,75	
Oznaka vzorca	K24AE31S	K24AE32S	K24AE33S	K24AE34S	K24AE35S	K24AE36S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							
U-238	4,9E-07 ± 4E-06 ‡		3,3E-06 ± 6E-06 ‡			7,8E-06 ± 5E-06	1,9E-06 ± 2E-06
Ra-226		1,0E-05 ± 3E-05 ‡					1,7E-06 ± 5E-06
Pb-210	8,0E-04 ± 4E-05	7,5E-04 ± 7E-05	4,9E-04 ± 3E-05	5,1E-04 ± 3E-05	5,7E-04 ± 4E-05	5,8E-04 ± 3E-05	6,2E-04 ± 2E-05
Ra-228	1,9E-06 ± 2E-06 ‡	1,6E-06 ± 1E-06 ‡	6,5E-06 ± 2E-06	1,2E-06 ± 2E-06 ‡	7,4E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 2E-06	4,0E-06 ± 8E-07
Th-230							
Th-228	1,2E-06 ± 8E-07	2,5E-06 ± 1E-06	7,7E-06 ± 1E-06	3,0E-06 ± 2E-06	1,3E-05 ± 2E-06	6,5E-06 ± 1E-06	5,6E-06 ± 5E-07
K-40							
Be-7	2,7E-03 ± 2E-04	2,7E-03 ± 1E-04	2,9E-03 ± 2E-04	3,0E-03 ± 1E-04	4,4E-03 ± 2E-04	4,0E-03 ± 3E-04	3,3E-03 ± 7E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137	7,0E-07 ± 6E-07 ‡						1,2E-07 ± 1E-07
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 46b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Leskovec						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m³)	11210,17	11982,28	10800,94	12642,23	10280,12	10392,03	
Oznaka vzorca	K24AE37S	K24AE38S	K24AE39S	K24AE3AS	K24AE3BS	K24AE3CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							
U-238		3,1E-06 ± 5E-06 ‡		2,4E-06 ± 3E-06 ‡	1,6E-06 ± 7E-06 ‡	2,0E-05 ± 1E-05	3,2E-06 ± 1E-06
Ra-226	1,9E-05 ± 4E-05 ‡						2,4E-06 ± 4E-06
Pb-210	7,2E-04 ± 5E-05	1,1E-03 ± 6E-05	8,8E-04 ± 6E-05	8,6E-04 ± 4E-05	1,2E-03 ± 7E-05	9,0E-04 ± 6E-05	7,8E-04 ± 1E-05
Ra-228	1,1E-05 ± 8E-06	5,8E-06 ± 2E-06	3,2E-06 ± 3E-06 ‡	6,5E-06 ± 1E-06	3,4E-06 ± 3E-06 ‡	6,4E-06 ± 3E-06	5,0E-06 ± 9E-07
Th-230							
Th-228	7,9E-06 ± 2E-06	1,0E-05 ± 1E-06	5,6E-06 ± 1E-06	6,6E-06 ± 9E-07	5,2E-06 ± 2E-06	6,6E-06 ± 2E-06	6,3E-06 ± 4E-07
K-40							
Be-7	4,5E-03 ± 2E-04	5,1E-03 ± 2E-04	3,8E-03 ± 2E-04	2,3E-03 ± 1E-04	2,0E-03 ± 9E-05	2,0E-03 ± 8E-05	3,3E-03 ± 5E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137				3,0E-07 ± 3E-07 ‡			8,3E-08 ± 6E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 47a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m³)	12350,77	11465,23	10324,30	11493,77	9558,65	9704,37	
Oznaka vzorca	K24AE41S	K24AE42S	K24AE43S	K24AE44S	K24AE45S	K24AE46S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							
U-238	1,4E-06 ± 1E-05 ‡	1,1E-05 ± 1E-05 ‡	6,5E-06 ± 1E-05 ‡	5,0E-06 ± 8E-06 ‡	1,2E-06 ± 1E-05 ‡	1,3E-05 ± 2E-05 ‡	6,4E-06 ± 5E-06
Ra-226							
Pb-210	5,2E-04 ± 5E-05	5,4E-04 ± 2E-05	2,9E-04 ± 2E-05	2,6E-04 ± 2E-05	2,9E-04 ± 2E-05	3,8E-04 ± 3E-05	3,8E-04 ± 1E-05
Ra-228	1,2E-06 ± 3E-06 ‡	1,4E-06 ± 2E-06 ‡	9,6E-06 ± 4E-06	6,2E-06 ± 2E-06	7,0E-06 ± 2E-06	1,2E-05 ± 4E-06	6,2E-06 ± 1E-06
Th-230							
Th-228	3,3E-06 ± 2E-06	2,7E-06 ± 2E-06	7,4E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 1E-06	1,1E-05 ± 2E-06	8,4E-06 ± 2E-06	6,5E-06 ± 7E-07
K-40							
Be-7	1,6E-03 ± 9E-05	1,6E-03 ± 8E-05	1,6E-03 ± 6E-05	1,7E-03 ± 8E-05	2,4E-03 ± 1E-04	2,4E-03 ± 9E-05	1,9E-03 ± 4E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 47b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m³)	9997,62	10829,23	9891,21	11849,69	9822,94	9885,07	
Oznaka vzorca	K24AE47S	K24AE48S	K24AE49S	K24AE4AS	K24AE4BS	K24AE4CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							
U-238	1,0E-06 ± 1E-05 ‡	1,7E-05 ± 9E-06	1,5E-05 ± 1E-05	3,0E-06 ± 9E-06 ‡	1,1E-05 ± 1E-05 ‡	2,2E-05 ± 1E-05	9,0E-06 ± 3E-06
Ra-226							
Pb-210	4,0E-04 ± 2E-05	5,8E-04 ± 3E-05	4,9E-04 ± 3E-05	5,8E-04 ± 4E-05	6,8E-04 ± 3E-05	5,6E-04 ± 5E-05	4,6E-04 ± 9E-06
Ra-228	9,2E-06 ± 3E-06	5,9E-06 ± 2E-06	1,1E-05 ± 3E-06	9,7E-06 ± 4E-06	9,4E-06 ± 2E-06	7,6E-06 ± 3E-06	7,5E-06 ± 9E-07
Th-230							
Th-228	7,0E-06 ± 2E-06	8,6E-06 ± 2E-06	6,9E-06 ± 2E-06	9,2E-06 ± 1E-06	6,4E-06 ± 2E-06	4,3E-06 ± 2E-06	6,8E-06 ± 5E-07
K-40							
Be-7	2,6E-03 ± 1E-04	2,7E-03 ± 1E-04	2,3E-03 ± 1E-04	1,3E-03 ± 6E-05	1,2E-03 ± 6E-05	1,1E-03 ± 5E-05	1,9E-03 ± 3E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost)
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 48a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Vihre						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m^3)	13233,60	11979,21	10642,22	12370,35	10000,90	10283,84	
Oznaka vzorca	K24AE51S	K24AE52S	K24AE53S	K24AE54S	K24AE55S	K24AE56S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22							
U-238		2,7E-07 ± 3E-06 ‡	8,1E-06 ± 6E-06	1,9E-05 ± 7E-06	2,6E-06 ± 4E-06 ‡	4,0E-06 ± 5E-06 ‡	5,7E-06 ± 2E-06
Ra-226				1,7E-06 ± 3E-05 ‡			2,8E-07 ± 4E-06
Pb-210	3,0E-04 ± 3E-05	3,4E-04 ± 2E-05	1,6E-04 ± 1E-05	1,9E-04 ± 1E-05	1,7E-04 ± 1E-05	1,6E-04 ± 1E-05	2,2E-04 ± 7E-06
Ra-228	1,7E-06 ± 3E-06 ‡	1,7E-06 ± 1E-06	8,9E-06 ± 2E-06	5,1E-06 ± 2E-06	7,4E-06 ± 1E-06	6,5E-06 ± 2E-06	5,2E-06 ± 8E-07
Th-230							
Th-228	1,3E-06 ± 1E-06 ‡	2,2E-06 ± 9E-07	7,3E-06 ± 2E-06	5,0E-06 ± 2E-06	8,0E-06 ± 1E-06	7,8E-06 ± 1E-06	5,3E-06 ± 5E-07
K-40							
Be-7	8,2E-04 ± 4E-05	1,0E-03 ± 7E-05	1,0E-03 ± 5E-05	1,2E-03 ± 5E-05	1,2E-03 ± 8E-05	1,1E-03 ± 5E-05	1,1E-03 ± 2E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137			6,1E-07 ± 6E-07 ‡				1,0E-07 ± 1E-07
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 48b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Vihre						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 10. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m^3)	10501,29	11096,74	10294,59	12337,52	10427,65	10591,02	
Oznaka vzorca	K24AE57S	K24AE58S	K24AE59S	K24AE5AS	K24AE5BS	K24AE5CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
Na-22							
U-238	7,2E-06 ± 5E-06	2,0E-05 ± 1E-05	2,0E-05 ± 1E-05	2,3E-06 ± 7E-06 ‡	1,4E-05 ± 9E-06	3,0E-05 ± 1E-05	1,1E-05 ± 2E-06
Ra-226							1,4E-07 ± 2E-06
Pb-210	1,9E-04 ± 1E-05	2,5E-04 ± 2E-05	1,9E-04 ± 2E-05	2,3E-04 ± 1E-05	3,0E-04 ± 2E-05	2,2E-04 ± 2E-05	2,2E-04 ± 5E-06
Ra-228	7,7E-06 ± 2E-06		8,5E-06 ± 4E-06	5,1E-06 ± 2E-06	7,0E-06 ± 3E-06	3,0E-06 ± 3E-06 ‡	5,2E-06 ± 7E-07
Th-230							
Th-228	6,3E-06 ± 1E-06	4,6E-06 ± 2E-06	6,3E-06 ± 2E-06	5,6E-06 ± 2E-06	7,8E-06 ± 2E-06	6,3E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 4E-07
K-40							
Be-7	1,2E-03 ± 8E-05	1,1E-03 ± 5E-05	9,0E-04 ± 4E-05	5,2E-04 ± 3E-05	5,3E-04 ± 2E-05	5,6E-04 ± 3E-05	9,3E-04 ± 1E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							5,1E-08 ± 5E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 49a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Gornji Lenart						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m³)	12410,75	11420,98	10358,45	12161,34	9690,83	9728,58	
Oznaka vzorca	K24AE61S	K24AE62S	K24AE63S	K24AE64S	K24AE65S	K24AE66S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							
U-238			2,8E-05 ± 1E-05	8,6E-06 ± 7E-06	9,0E-06 ± 9E-06 ‡	9,5E-06 ± 1E-05 ‡	9,2E-06 ± 3E-06
Ra-226			9,4E-05 ± 8E-05				1,6E-05 ± 1E-05
Pb-210	3,0E-04 ± 2E-05	3,4E-04 ± 3E-05	2,1E-04 ± 2E-05	1,6E-04 ± 1E-05	1,8E-04 ± 2E-05	2,8E-04 ± 2E-05	2,4E-04 ± 8E-06
Ra-228	3,5E-06 ± 5E-06 ‡	5,7E-07 ± 2E-06 ‡	7,2E-06 ± 4E-06	6,1E-06 ± 2E-06	8,4E-06 ± 2E-06	5,9E-06 ± 5E-06	5,3E-06 ± 1E-06
Th-230							
Th-228	1,0E-06 ± 2E-06 ‡		6,0E-06 ± 3E-06	4,1E-06 ± 1E-06	8,5E-06 ± 1E-06	7,3E-06 ± 4E-06	4,5E-06 ± 1E-06
K-40			5,5E-06 ± 1E-04 ‡			7,4E-06 ± 1E-04 ‡	2,1E-06 ± 2E-05
Be-7	9,6E-04 ± 4E-05	9,0E-04 ± 4E-05	1,1E-03 ± 5E-05	1,1E-03 ± 7E-05	1,4E-03 ± 5E-05	1,6E-03 ± 7E-05	1,2E-03 ± 2E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 49b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Gornji Lenart						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m³)	10101,54	11051,56	10223,43	11826,47	9720,45	9743,88	
Oznaka vzorca	K24AE67S	K24AE68S	K24AE69S	K24AE6AS	K24AE6BS	K24AE6CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22	1,5E-06 ± 1E-06						1,2E-07 ± 9E-08
U-238	1,7E-05 ± 1E-05	1,0E-05 ± 1E-05 ‡		1,2E-05 ± 5E-06	1,3E-05 ± 1E-05 ‡	1,5E-05 ± 2E-05 ‡	1,0E-05 ± 3E-06
Ra-226							7,8E-06 ± 6E-06
Pb-210	2,6E-04 ± 2E-05	4,2E-04 ± 4E-05	3,0E-04 ± 2E-05	3,5E-04 ± 3E-05	4,0E-04 ± 2E-05	3,7E-04 ± 3E-05	3,0E-04 ± 7E-06
Ra-228	6,1E-06 ± 3E-06	1,3E-06 ± 4E-06 ‡	5,9E-06 ± 2E-06	6,7E-06 ± 2E-06	5,8E-06 ± 2E-06	6,1E-06 ± 8E-06 ‡	5,3E-06 ± 1E-06
Th-230							
Th-228	4,1E-06 ± 2E-06	6,2E-06 ± 3E-06	7,5E-06 ± 1E-06	7,4E-06 ± 1E-06	9,3E-06 ± 2E-06	7,2E-07 ± 5E-06 ‡	5,2E-06 ± 7E-07
K-40							1,1E-06 ± 1E-05
Be-7	1,7E-03 ± 7E-05	1,9E-03 ± 8E-05	1,4E-03 ± 6E-05	8,8E-04 ± 4E-05	7,1E-04 ± 4E-05	8,0E-04 ± 4E-05	1,2E-03 ± 2E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 50a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Libna						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m³)	12159,30	10895,32	9813,74	12951,54	10371,28	10821,10	
Oznaka vzorca	K24AE71S	K24AE72S	K24AE73S	K24AE74S	K24AE75S	K24AE76S	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22					1,9E-07 ± 3E-07 ‡		3,2E-08 ± 6E-08
U-238			6,8E-07 ± 7E-06 ‡	3,0E-06 ± 6E-06 ‡	2,1E-06 ± 4E-06 ‡	1,2E-05 ± 2E-05 ‡	3,0E-06 ± 3E-06
Ra-226				5,8E-07 ± 2E-05 ‡			9,7E-08 ± 3E-06
Pb-210	6,7E-04 ± 6E-05	8,4E-04 ± 4E-05	3,8E-04 ± 2E-05	3,5E-04 ± 5E-05	3,9E-04 ± 2E-05	4,2E-04 ± 4E-05	5,1E-04 ± 2E-05
Ra-228			4,1E-06 ± 4E-06 ‡	4,8E-06 ± 3E-06	6,3E-06 ± 2E-06	2,1E-06 ± 4E-06 ‡	2,9E-06 ± 1E-06
Th-230							
Th-228	2,4E-06 ± 1E-06	2,3E-06 ± 2E-06 ‡	8,9E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 1E-06	7,6E-06 ± 1E-06	5,6E-06 ± 1E-06	5,4E-06 ± 7E-07
K-40							
Be-7	2,7E-03 ± 1E-04	2,8E-03 ± 1E-04	2,4E-03 ± 1E-04	2,5E-03 ± 1E-04	3,4E-03 ± 1E-04	3,5E-03 ± 1E-04	2,9E-03 ± 5E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 50b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Libna						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	2. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m³)	10856,58	11773,69	11225,53	13363,36	10960,15	11070,89	
Oznaka vzorca	K24AE77S	K24AE78S	K24AE79S	K24AE7AS	K24AE7BS	K24AE7CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22							1,6E-08 ± 3E-08
U-238	6,6E-06 ± 8E-06 ‡	7,2E-06 ± 4E-06	1,7E-06 ± 1E-05 ‡	2,1E-05 ± 1E-05		7,9E-06 ± 1E-05 ‡	5,2E-06 ± 2E-06
Ra-226				6,8E-07 ± 2E-05 ‡			1,1E-07 ± 3E-06
Pb-210	5,2E-04 ± 2E-05	8,3E-04 ± 4E-05	7,0E-04 ± 5E-05	7,8E-04 ± 6E-05	1,1E-03 ± 7E-05	6,6E-04 ± 3E-05	6,4E-04 ± 1E-05
Ra-228	4,8E-06 ± 2E-06	5,7E-06 ± 2E-06	9,9E-06 ± 3E-06	4,3E-06 ± 3E-06	6,2E-06 ± 2E-06	3,2E-06 ± 2E-06	4,3E-06 ± 7E-07
Th-230							
Th-228	7,6E-06 ± 2E-06	5,3E-06 ± 1E-06	5,2E-06 ± 2E-06	7,9E-06 ± 2E-06	7,7E-06 ± 1E-06	5,0E-06 ± 2E-06	5,9E-06 ± 5E-07
K-40							
Be-7	3,9E-03 ± 2E-04	4,2E-03 ± 3E-04	3,3E-03 ± 1E-04	1,9E-03 ± 1E-04	1,7E-03 ± 7E-05	1,7E-03 ± 7E-05	2,8E-03 ± 4E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137						1,3E-06 ± 7E-07	1,1E-07 ± 6E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 51a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Dobova						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 4. 2024 - 6. 5. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m³)	138029,0	147704,1	139581,8	163479,6	136317,4	131202,0	
Oznaka vzorca	K24AE811	K24AE821	K24AE831	K24AE841	K24AE851	K24AE861	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22		1,2E-07 ± 2E-07 ‡	2,8E-07 ± 2E-07	4,7E-07 ± 1E-07	2,7E-07 ± 2E-07	4,3E-07 ± 2E-07	2,6E-07 ± 6E-08
U-238						1,9E-06 ± 3E-06 ‡	3,2E-07 ± 6E-07
Ra-226							
Pb-210	8,2E-04 ± 2E-04	8,0E-04 ± 3E-05	4,9E-04 ± 3E-05	4,7E-04 ± 3E-05	5,2E-04 ± 3E-05	6,3E-04 ± 2E-05	6,2E-04 ± 4E-05
Ra-228							
Th-230							
Th-228		1,6E-06 ± 5E-07	2,2E-06 ± 5E-07	1,4E-06 ± 3E-07	1,3E-06 ± 4E-07	1,3E-06 ± 4E-07	1,3E-06 ± 2E-07
K-40							
Be-7	2,7E-03 ± 1E-04	2,9E-03 ± 1E-04	2,8E-03 ± 1E-04	3,3E-03 ± 2E-04	4,2E-03 ± 3E-04	4,2E-03 ± 1E-04	3,4E-03 ± 7E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,1E-06 ± 2E-07	8,1E-07 ± 1E-07	9,5E-07 ± 2E-07	3,9E-07 ± 6E-08		3,0E-07 ± 1E-07	6,0E-07 ± 5E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 51b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Dobova						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m³)	144594,6	155323,4	139958,3	158076,3	121196,4	118563,2	
Oznaka vzorca	K24AE871	K24AE881	K24AE891	K24AE8A1	K24AE8B1	K24AE8C1	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22	7,4E-07 ± 1E-07		1,9E-07 ± 1E-07	1,1E-07 ± 7E-08	2,6E-08 ± 2E-07 ‡		2,2E-07 ± 4E-08
U-238		1,4E-06 ± 3E-06 ‡	9,5E-07 ± 4E-06 ‡			5,4E-07 ± 3E-06 ‡	4,0E-07 ± 5E-07
Ra-226							
Pb-210	8,2E-04 ± 4E-05	1,2E-03 ± 5E-05	7,3E-04 ± 5E-05	8,3E-04 ± 3E-05	1,3E-03 ± 7E-05	8,2E-04 ± 3E-05	7,8E-04 ± 2E-05
Ra-228					4,9E-09 ± 1E-06 ‡		4,1E-10 ± 9E-08
Th-230							
Th-228	1,5E-06 ± 4E-07	1,7E-06 ± 5E-07	1,3E-06 ± 5E-07	1,4E-06 ± 4E-07	1,2E-06 ± 5E-07	1,2E-06 ± 4E-07	1,3E-06 ± 1E-07
K-40							
Be-7	5,0E-03 ± 2E-04	5,4E-03 ± 2E-04	3,8E-03 ± 2E-04	2,3E-03 ± 9E-05	1,9E-03 ± 8E-05	2,1E-03 ± 8E-05	3,4E-03 ± 5E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,6E-07 ± 8E-08		4,8E-07 ± 1E-07	4,7E-07 ± 9E-08	6,2E-07 ± 2E-07	1,3E-06 ± 1E-07	5,7E-07 ± 4E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 45a, 45b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Stara vas				
Datum vzor. Kol. vzorca (m^3) Oznaka vzorca	28. 12. 2023 - 2. 4. 2024 40387,4 K24AE2D1	2. 4. 2024 - 2. 7. 2024 37133,0 K24AE2E1	2. 7. 2024 - 1. 10. 2024 36873,1 K24AE2F1	1. 10. 2024 - 30. 12. 2024 37807,2 K24AE2G1	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
Sr-89/Sr-90	6,1E-08 ± 6E-08 ‡	6,0E-08 ± 6E-08 ‡	7,0E-08 ± 7E-08 ‡	5,5E-08 ± 6E-08 ‡	6,1E-08 ± 3E-08

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na IJS na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 52a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						
Datum vzor.	28. 12. 2023 - 1. 2. 2024	1. 2. 2024 - 4. 3. 2024	4. 3. 2024 - 2. 4. 2024	2. 9. 2024 - 20. 9. 2024	6. 5. 2024 - 3. 6. 2024	3. 6. 2024 - 2. 7. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m³)	134850,1	119199,7	127189,1	202976,1	127698,1	132176,0	
Oznaka vzorca	RP24AE111	RP24AE121	RP24AE131	RP24AE141	RP24AE151	RP24AE161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22	3,7E-07 ± 2E-07		3,6E-07 ± 9E-08		7,8E-07 ± 2E-07	6,5E-07 ± 1E-07	3,6E-07 ± 5E-08
U-238							
Ra-226							
Pb-210	8,6E-04 ± 4E-05	1,1E-03 ± 6E-05	3,7E-04 ± 1E-04	7,7E-04 ± 3E-05	5,1E-04 ± 2E-05	3,3E-04 ± 3E-05	6,6E-04 ± 3E-05
Ra-228							
Th-230							
Th-228	1,5E-06 ± 5E-07	1,7E-06 ± 5E-07	1,6E-06 ± 4E-07	2,3E-04 ± 6E-06	1,3E-06 ± 5E-07	1,5E-06 ± 4E-07	4,0E-05 ± 1E-06
K-40							
Be-7	2,7E-03 ± 1E-04	2,8E-03 ± 2E-04	2,7E-03 ± 1E-04	3,8E-03 ± 1E-04	4,0E-03 ± 1E-04	4,4E-03 ± 2E-04	3,4E-03 ± 6E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,2E-06 ± 2E-07	1,9E-06 ± 2E-07	5,4E-07 ± 1E-07	1,7E-07 ± 1E-07		3,0E-07 ± 9E-08	8,4E-07 ± 5E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.

LETO 2024 T - 52b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						
Datum vzor.	2. 7. 2024 - 1. 8. 2024	1. 8. 2024 - 2. 9. 2024	2. 9. 2024 - 1. 10. 2024	1. 10. 2024 - 4. 11. 2024	4. 11. 2024 - 2. 12. 2024	2. 12. 2024 - 30. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m³)	136327,5	144247,0	130974,1	148760,9	113525,0	115887,7	
Oznaka vzorca	RP24AE171	RP24AE181	RP24AE19P	RP24AE1A1	RP24AE1B1	RP24AE1C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
Na-22	7,2E-07 ± 2E-07	5,7E-07 ± 5E-07 ‡					2,9E-07 ± 5E-08
U-238	3,6E-06 ± 4E-06 ‡	1,1E-06 ± 2E-06 ‡		3,8E-07 ± 3E-06 ‡	5,1E-06 ± 5E-06 ‡	3,6E-06 ± 3E-06 ‡	1,2E-06 ± 7E-07
Ra-226							
Pb-210	8,9E-04 ± 4E-05	1,2E-03 ± 6E-05	7,7E-04 ± 3E-05	9,6E-04 ± 5E-05	1,1E-03 ± 9E-05	1,0E-03 ± 5E-05	8,2E-04 ± 2E-05
Ra-228		2,4E-08 ± 8E-07 ‡					2,0E-09 ± 7E-08
Th-230							
Th-228	1,3E-06 ± 5E-07	1,3E-06 ± 4E-07	2,3E-04 ± 6E-06	1,3E-06 ± 4E-07	1,2E-06 ± 6E-07	1,7E-06 ± 4E-07	4,0E-05 ± 7E-07
K-40							
Be-7	5,1E-03 ± 2E-04	5,5E-03 ± 4E-04	3,8E-03 ± 1E-04	2,2E-03 ± 1E-04	2,3E-03 ± 9E-05	2,0E-03 ± 7E-05	3,4E-03 ± 5E-05
I-131							
Cs-134							
Cs-137		2,9E-07 ± 2E-07	1,7E-07 ± 1E-07	9,9E-07 ± 1E-07	1,4E-06 ± 1E-07	2,2E-06 ± 1E-07	8,5E-07 ± 4E-08
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

8. DOZA IN HITROST DOZE ZUNANJEGA SEVANJA

DOZA Z OKOLJSKIMI TL-DOZIMETRI
MERITVE HITROSTI DOZE SEVANJA GAMA

Institut
"Jožef Stefan"
Ljubljana, Slovenija

SEZNAM DOZIMETROV TLD V OKOLICI NEK

Sektor	št.	Oznaka	GEOGRAFSKE KOORDINATE	*d* /km	Kraj in naslov
1	60	T1B1	45°56'54" / 15°30'56"	1,2	Spodnja Libna 5, M. Klinec (ob cesti)
N	1	T1C1	45°57'09" / 15°30'49"	1,7	Libna 2, Andrej Peršolja
	2	T1F1	46°01'45" / 15°30'42"	10	Mali Kamen 32, Anton Brljavec
2	3	T2B1	45°56'46" / 15°31'20"	0,79	Spodnji Stari Grad 1
NNE	4	T2B2	45°57'00" / 15°31'23"	1,4	Libna 8, Jože Pogačar
	5	T2D1	45°58'12" / 15°31'50"	3,75	Pleterje 16a, Maks Urek
	6	T2E1	46°00'44" / 15°34'41"	9,72	Pečice 33, KS Križe
3	61	T3C1	45°57'04" / 15°32'07"	2,1	Libna 33, Božidar Volčanšek
NE	7	T3E1	45°58'27" / 15°33'38"	5,42	Zgornja Pohanca 3, Silvester Kunej
	8	T3E2	45°59'21" / 15°35'39"	8,4	Sromlje 13, Ivan Bartole
4	9	T4B1	45°56'35" / 15°31'53"	1,37	Spodnji Stari Grad 27, Mitja Stergar
ENE	62	T4D1	45°56'50" / 15°32'45"	2,7	Dolenja vas pri Krškem 51, Jože Gorišek
	10	T4E1	45°57'11" / 15°35'44"	6,4	Glogov Brod 1, Milan Rožman
	11	T4F1	45°59'05" / 15°37'53"	10,45	Dednja vas 8, Ivan Dušič
5	12	T5B1	45°56'06" / 15°31'56"	1,25	Spodnji Stari Grad - Gmajna
E	13	T5D1	45°56'24" / 15°33'16"	3,1	Pesje 1, Jože Gerjevič
	14	T5D2	45°55'47" / 15°34'24"	4,55	Gornji Lenart 21, Josip Kunej
	15	T5E1	45°56'46" / 15°38'22"	9,67	Globoko 21, Jože Hotko
6	16	T6B1	45°55'52" / 15°31'30"	1,25	VOP-4
ESE	63	T6D1	45°55'49" / 15°33'10"	3,2	Pesje 23 (Amerika), Angela Slivšek
	17	T6E1	45°53'56" / 15°37'38"	9,65	Mostec 45, Jožefa Žibert
	18	T6E2	45°54'32" / 15°35'23"	6,72	Brežice, Nad Vrbino 3
	19	T6E3	45°54'56" / 15°35'13"	6	Brežice, Čolnarska 9, F. Vinpolšek
7	59	T7D1	45°55'10" / 15°32'37"	3,2	Gmajnice, bivše vojaško skladišče
SE	20	T7E1	45°53'25" / 15°33'40"	6,42	Krška vas 34, Franc Tomše
	21	T7E2	45°53'50" / 15°35'43"	7,8	Brežice, Prešernova cesta 25, Sobak
8	22	T8D1	45°54'50" / 15°31'30"	2,7	Vihre 17, Martin Račič
SSE	58	T8E1	45°53'16" / 15°32'52"	6,1	Boršt 1, Alojz Zofič
9	23	T9D1	45°53'41" / 15°30'33"	5	Črešnjice 30a, Avgust Kovač
S	24	T9D2	45°54'52" / 15°30'57"	2,6	Mrtvice 27, Vili Kuhar
10	57	T10E1	45°53'46" / 15°29'34"	5	Hrastje pri Cerkljah 33a, Leopold Jerele
SSW	26	T10C1	45°55'13" / 15°30'05"	2,3	Brege 17a, Smiljana Jurečič
11	25	T11D2	45°55'11" / 15°29'50"	2,62	Brege 52, Franc Škofljanc (met. postaja)
SW	27	T11D1	45°55'05" / 15°29'10"	3,2	Drnovo 62, Fanika Bizjak
	28	T11E1	45°53'49" / 15°27'26"	6,2	Veliki Podlog 56, Ivan Arh
12	29	T12C1	45°56'03" / 15°29'44"	1,57	Žadovinek 20a, Anton Dušič
WSW	30	T12E1	45°54'37" / 15°24'11"	9,35	Zaloke 10, Martin Tomažin
13	31	T13C1	45°56'19" / 15°29'31"	1,87	Žadovinek 10, Marjan Pešec
W	32	T13D1	45°56'15" / 15°28'23"	3,2	Leskovec, Cesta ob gaju 17, Martina Strgar
	33	T13E1	45°56'27" / 15°25'07"	7,37	Drenovec 8, Ivan Zupančič
	34	T13E2	45°55'41" / 15°23'30"	9,72	Raka 1, Emil Vehovar, nad vodnjakom

SEZNAM DOZIMETROV TLD V OKOLICI NEK

Sektor	št.	Oznaka	GEOGRAFSKE KOORDINATE	*d*/km	Kraj in naslov
14 WNW	35	T14D1	45°56'57" / 15°28'40"	2,9	Klet Leskovec, Rostoharjeva 15a
	36	T14E1	45°57'34" / 15°25'10"	7,85	Kalce 4, Franc Tomažin
	37	T14E2	45°57'54" / 15°23'52"	9,72	Veliki trn 6, Janc
15 NW	38	T15C1	45°57'02" / 15°30'02"	1,9	Krško, Ob Potočnici
	39	T15B1	45°56'36" / 15°30'18"	1	Vrbina 2, Milka Filej
	40	T15D1	45°57'55" / 15°29'03"	4,37	Krško, Bohoričeva 5
	41	T15D2	45°57'32" / 15°28'59"	3,12	Trška gora, vinograd ob cesti, desno
	42	T15D3	45°57'22" / 15°29'22"	2,81	Krško, Ribiška 3, Emil Gelb
	43	T15E1	45°59'11" / 15°28'03"	6,6	Gunte 6
	44	T15F1	46°00'36" / 15°25'40"	10,5	Presladol 74, Jane Radej
16 NNW	45	T16B1	45°56'54" / 15°30'22"	1,3	Vrbina, Hladilnica Evrosad
	46	T16C1	45°57'04" / 15°30'10"	1,9	Krško, Cesta 4. julija 112, Edvin Kocjan
	47	T16D1	45°57'48" / 15°29'48"	3,12	Krško, Sremiška 29b, S. Valentinčič
	48	T16D2	45°58'32" / 15°29'22"	4,55	Sremič 13, Topolovšek
	49	T16D3	45°57'40" / 15°29'44"	2,9	Krško, Stritarjeva 5, Martin Založnik
	50	T16E1	46°00'20" / 15°28'41"	8,1	Senovo, Titova 2, Antonija Hodnik

DOZIMETRI, RAZPOREJENI NA OGRAJI NEK

št.	Oznaka	Smer	Geografske koordinate	Kraj postavitve
51	T6A1	ESE	45°56'13" / 15°31'08"	sredina ograje
52	T8A1	SE	45°56'11" / 15°31'00"	hladilni stolpi
53	T11A1	SW	45°56'15" / 15°30'51"	vhod bistvene vode
54	T13A1	W	45°56'18" / 15°30'47"	zahodna stran ograje
55	T3A1	NE	45°56'23" / 15°31'03"	vratarnica
56	T15A1	NNW	45°56'23" / 15°30'52"	severna ograja zahodno od stikalne postaje
65	T2A1	WSW	45°56'17" / 15°30'47"	zahodna stran ograje levo od 54
66	T1A1	W	45°56'19" / 15°30'47"	zahodna stran ograje desno od 54
67	T2A2	NNE	45°56'25" / 15°31'02"	severna ograja ob stikalni postaji

DOZIMETRI, RAZPOREJENI NA OGRAJI SUHO SKLADIŠČE NEK

št.	Oznaka	Smer	Geografske koordinate	Kraj postavitve
S1	TLD 1		45°56'19" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54
S2	TLD 2		45°56'19" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54
S3	TLD 3		45°56'19" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54
S4	TLD 4		45°56'20" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54
S5	TLD 5		45°56'20" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54
S6	TLD 6		45°56'20" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54
S7	TLD 7		45°56'21" / 15°30'47"	zahodna stran ograje, v bližini 54

LETO 2024 T - 53/b

8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA – TL-DOZIMETRI

Krajevna porazdelitev doz zunanjega sevanja *H(10) (mSv) v posameznih obdobjih v letu 2024**

Obdobje ekspozicije	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	Letna doza	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	Letna doza	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	Letna doza	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	Letna doza	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	Letna doza
Pas (km)	**ograja znotraj NEK**			**do 1,5 km**			**1,5 km do 5,0 km**			**5,0 km do 10,0 km**			**Povprečje po sektorjih**		
	št.			št.			št.			št.					
N 1				60 0,307	0,313	0,620	1 0,348	0,379	0,727	2 0,416	0,462	0,878	0,357	0,385	0,742
NNE 2	67 0,251	0,274	0,525	3 0,373	0,400	0,773	5 0,357	0,359	0,716	6 0,350	0,365	0,715	0,400	0,422	0,822
				4 0,519	0,564	1,083									
NE 3	55 0,282	0,317	0,599				61 0,451	0,457	0,908	7 0,409	0,401	0,811	0,405	0,408	0,813
										8 0,354	0,365	0,719			
ENE 4				9 0,360	0,384	0,744	62 0,450	0,461	0,911	10 0,442	0,438	0,880	0,416	0,434	0,849
										11 0,410	0,452	0,862			
E 5				12 0,355	0,335	0,690	13 0,390	0,389	0,779	15 0,383	0,401	0,784	0,372	0,381	0,753
							14 0,361	0,399	0,760						
ESE 6	51 0,285	0,278	0,563	16 0,320	0,338	0,658	63 0,368	0,373	0,741	17 0,307	0,320	0,627	0,351	0,378	0,729
										18 0,382	0,392	0,774			
										19 0,380	0,468	0,847			
SE 7							59 0,337	0,358	0,695	20 0,398	0,420	0,817	0,356	0,383	0,739
										21 0,333	0,373	0,706			
SSE 8	52 0,239	0,244	0,483				22 0,353	0,400	0,753	58 0,440	0,465	0,905	0,397	0,433	0,829
S 9										23 0,453	0,482	0,935	0,420	0,446	0,867
							24 0,388	0,410	0,798						
SSW 10							26 0,396	0,403	0,799	57 0,471	0,489	0,960	0,433	0,446	0,880
SW 11	53 0,270	0,289	0,559				25 0,328	0,333	0,661	28 0,349	0,376	0,725	0,344	0,371	0,715
							27 0,355	0,403	0,758						
WSW 12	65 0,280	0,311	0,591				29 0,345	0,351	0,696	30 0,385	0,372	0,757	0,365	0,361	0,726
W 13	54 0,288	0,328	0,616				31 0,274	0,335	0,609	33 0,391	0,412	0,803	0,351	0,388	0,739
	66 0,275	0,299	0,574				32 0,375	0,411	0,786	34 0,363	0,394	0,757			
WNW 14							35 0,363	0,367	0,730	36 0,355	0,369	0,724	0,366	0,380	0,746
										37 0,380	0,405	0,785			
NW 15	56 0,216	0,275	0,491	39 0,384	0,418	0,801	38 0,298	0,328	0,625	43 0,412	0,417	0,829	0,336	0,358	0,694
							40 0,287	0,327	0,614	44 0,319	0,337	0,655			
							41 0,336	0,356	0,692						
							42 0,316	0,327	0,642						
NNW 16				45 0,292	0,311	0,603	46 0,440	0,458	0,898	50 0,341	0,343	0,684	0,386	0,404	0,791
							47 0,431	0,443	0,874						
							48 0,432	0,460	0,892						
							49 0,382	0,411	0,793						
Povprečje po pasovih	(9) 0,265 ± 0,025	0,291 0,026	0,556 0,047	(8) 0,364 ± 0,071	0,383 0,083	0,747 0,153	(25) 0,366 ± 0,049	0,388 0,044	0,754 0,092	(24) 0,384 ± 0,042	0,405 0,047	0,789 0,087	(57) 0,374 ± 0,050	0,394 0,052	0,768 0,100
Ljubljana													št. 64 0,375	0,406	0,781

Suho skladišče NEK - doze zunanjega sevanja *H(10) (mSv)**

v posameznih obdobjih v letu 2024

Obdobje ekspozicije				od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	Letna doza
Pas	**ograja znotraj NEK**					
	št.					
W 13	S1	TLD 1	G-N4-30-J	0,288	0,320	0,609
	S2	TLD 2	G-N4-20-J	0,289	0,335	0,624
	S3	TLD 3	G-N4-10-J	0,284	0,330	0,614
	S4	TLD 4	G-N4	0,300	0,312	0,613
	S5	TLD 5	G-N4-10-S	0,298	0,297	0,595
	S6	TLD 6	G-N4-20-S	0,254	0,305	0,560
	S7	TLD 7	G-N4-30-S	0,300	0,307	0,607
Povprečje po pasovih				(7) 0,288	0,315	0,603
				± 0,016	0,014	0,021

št. – številka merilnega mesta (glej tabelo T – 53/a)
( ) – število merilnih mest upoštevanih v povprečju posameznega pasu
± – pomeni standardno deviacijo porazdelitve doz v pasu

LETO 2024 T - 53/c

8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA – TL-DOZIMETRI

Povprečna mesečna doza *H(10) (mSv na mesec) za 6-mesečni obdobji in povprečna mesečna doza *H**(10) (mSv na mesec) v letu 2024**

Obdobje ekspozicije	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024
Pas (km)	**ograja znotraj NEK**			**do 1,5 km**			**1,5 km do 5,0 km**			**5,0 km do 10,0 km**			**Povprečje po sektorjih**		
	št.			št.			št.			št.					
N 1				60 0,051	0,052	0,052	1 0,058	0,063	0,061	2 0,070	0,076	0,073	0,060	0,064	0,062
NNE 2	67 0,042	0,045	0,044	3 0,062	0,066	0,064	5 0,060	0,059	0,060	6 0,059	0,060	0,060	0,067	0,070	0,068
				4 0,087	0,093	0,090									
NE 3	55 0,047	0,052	0,050				61 0,075	0,076	0,076	7 0,068	0,066	0,068	0,068	0,067	0,068
										8 0,059	0,060	0,060			
ENE 4				9 0,060	0,064	0,062	62 0,075	0,076	0,076	10 0,074	0,072	0,073	0,069	0,072	0,071
										11 0,069	0,075	0,072			
E 5				12 0,059	0,055	0,057	13 0,065	0,064	0,065	15 0,064	0,066	0,065	0,062	0,063	0,063
							14 0,060	0,066	0,063						
ESE 6	51 0,048	0,046	0,047	16 0,054	0,056	0,055	63 0,061	0,062	0,062	17 0,051	0,053	0,052	0,059	0,062	0,061
										18 0,064	0,065	0,064			
										19 0,063	0,077	0,071			
SE 7							59 0,056	0,059	0,058	20 0,066	0,069	0,068	0,061	0,066	0,062
										21 0,056	0,062	0,059			
SSE 8	52 0,040	0,040	0,040				22 0,059	0,066	0,063	58 0,074	0,077	0,075	0,066	0,072	0,069
S 9										23 0,076	0,080	0,078	0,070	0,074	0,072
							24 0,065	0,068	0,067						
SSW 10							26 0,066	0,067	0,067	57 0,079	0,081	0,080	0,072	0,074	0,073
SW 11	53 0,045	0,048	0,047				25 0,055	0,055	0,055	28 0,058	0,062	0,060	0,058	0,061	0,060
							27 0,059	0,067	0,063						
WSW 12	65 0,047	0,051	0,049				29 0,058	0,058	0,058	30 0,064	0,062	0,063	0,061	0,060	0,061
W 13	54 0,048	0,054	0,051				31 0,046	0,055	0,051	33 0,065	0,068	0,067	0,059	0,064	0,062
	66 0,046	0,049	0,048				32 0,063	0,068	0,066	34 0,061	0,065	0,063			
WNW 14							35 0,061	0,061	0,061	36 0,059	0,061	0,060	0,061	0,063	0,062
										37 0,063	0,067	0,065			
NW 15	56 0,036	0,045	0,041	39 0,064	0,069	0,067	38 0,050	0,054	0,052	43 0,069	0,069	0,069	0,056	0,059	0,058
							40 0,048	0,054	0,051	44 0,053	0,056	0,055			
							41 0,056	0,059	0,058						
							42 0,053	0,054	0,054						
NNW 16				45 0,049	0,051	0,050	46 0,073	0,076	0,075	50 0,057	0,057	0,057	0,065	0,067	0,066
							47 0,072	0,073	0,073						
							48 0,072	0,076	0,074						
							49 0,064	0,068	0,066						
Povprečje po pasovih	(9) 0,044	0,048	0,046	(8) 0,061	0,063	0,062	(25) 0,061	0,064	0,063	(24) 0,064	0,067	0,066	(57) 0,063	0,065	0,064
	± 0,004	0,004	0,004	± 0,012	0,014	0,013	± 0,008	0,007	0,008	± 0,007	0,008	0,007	± 0,008	0,009	0,008
Ljubljana													št.		
													64 0,063	0,067	0,065

Suho skladišče NEK - povprečna mesečna doza H*(10) (mSv na mesec) za 6-mesečni obdobji in povprečna mesečna doza H*(10) (mSv na mesec) v letu 2024

Obdobje ekspozicije			od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024
Pas (km)	**ograja znotraj NEK**				
	št.				
W 13	S1	TLD 1 G-N4-30-J	0,048	0,053	0,051
	S2	TLD 2 G-N4-20-J	0,048	0,055	0,052
	S3	TLD 3 G-N4-10-J	0,047	0,054	0,051
	S4	TLD 4 G-N4	0,050	0,052	0,051
	S5	TLD 5 G-N4-10-S	0,050	0,049	0,050
	S6	TLD 6 G-N4-20-S	0,043	0,050	0,047
	S7	TLD 7 G-N4-30-S	0,050	0,051	0,051
Povprečje po pasovih			(7) 0,048	0,052	0,050
			± 0,003	0,002	0,002

št. – številka merilnega mesta (glej tabelo T – 53/a)
( ) – število merilnih mest, upoštevanih v povprečju posameznega pasu
± – pomeni standardno deviacijo porazdelitve doz v pasu

LETO 2024 T - 54/a

8. SEZNAM TL-DOZIMETROV V REPUBLIKI SLOVENIJI

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Št.	KRAJ	GPS-KOORDINATE
1	KOČEVJE DOLENJA VAS*	45°38'46" / 14°51'01" 45°42'52" / 14°44'44"*
2	DVOR PRI ŽUŽEMBERKU	45°48'29" / 14°57'42"
3	DOBLIČE (ČRNOMELJ)	45°33'36" / 15°08'46"
4	DRAŠIČI (METLIKA)	45°39'55" / 15°22'34"
5	NOVO MESTO	45°48'07" / 15°10'39"
6	MALKOVEC (MOKRONOG)	45°57'11" / 15°12'18"
7	LISCA	46°04'04" / 15°17'06"
8	CELJE	46°14'12" / 15°13'33"
9	ROGAŠKA SLATINA	46°14'40" / 15°37'41"
10	SLOVENSKE KONJICE	46°20'42" / 15°25'03"
11	ROGLA	46°26'46" / 15°19'23"
12	MARIBOR AERODROM	46° 28' 46" / 15° 40' 54"
13	PTUJ	46°25'48" / 15°52'58"
14	JERUZALEM (ORMOŽ)	46°28'34" / 16°11'15"
15	LENDAVA	46°33'25" / 16°28'20"
16	MURSKA SOBOTA (RAKIČAN)	46°39'08" / 16°11'29"
17	GORNJI PETROVCI	46°48'13" / 16°12'53"
18	GORNJA RADGONA	46°40'49" / 15°58'44"
19	SVEČINA (PLAČ)	46°39'49" / 15°35'29"
20	RIBNICA NA POHORJU	46°32'30" / 15°17'30"
21	KOTLJE	46°31'17" / 14°58'54"
22	VELENJE	46°21'37" / 15°06'42"
23	NAZARJE (MOZIRJE)	46°19'23" / 14°56'58"
24	LUČE OB SAVINJI	46°21'15" / 14°44'48"
25	VAČE	46°07'06" / 14°50'23"
26	LJUBLJANA - BEŽIGRAD (ARSO)	46°03'56" / 14°30'45"
27	BRNIK - AERODROM	46°13'03" / 14°28'23"
28	JEZERSKO (ZGORNJE JEZERSKO)	46°23'53" / 14°30'14"
29	PODLJUBELJ	46°23'58" / 14°17'03"
30	LESCE VRBNJE	46°21'04" / 14°11'31"
31	PLANINA POD GOLICO	46°28'03" / 14°03'09"
32	ZDENSKA VAS	45°51'28" / 14°42'28"
33	RATEČE	46°29'49" / 13°42'46"
34	TRENTA	46°22'56" / 13°45'13"
35	LOG POD MANGARTOM	46°24'25" / 13°36'10"
36	BOVEC	46°20'05" / 13°32'55"
37	TOLMIN	46°10'46" / 13°43'54"
38	BILJE (NOVA GORICA)	45°53'44" / 13°37'27"
39	VEDRIJAN (KOJSKO)	46°00'50" / 13°32'29"
40	LOKEV PRI LIPICI	45°39'49" / 13°55'19"
41	PORTOROŽ - AERODROM	45°28'30" / 13°37'02"
42	KOSEZE (ILIRSKA BISTRICA)	45°33'11" / 14°14'08"
43	ZALOG (POSTOJNA)	45°45'58" / 14°11'36"
44	NOVA VAS NA BLOKAH NOVA VAS NA BLOKAH	45°46'23" / 14°30'34 " 45°46'21" / 14°30'42 "**
45	VRHNIKA	45°57'42" / 14°16'26"
46	VOJSKO	46°01'32" / 13°54'08"
47	SORICA	46°13'19" / 14°01'41"
48	STARA FUŽINA	46°17'21" / 13°53'36"
49	JELENJA VAS (ISKRBA, KOČEVSKA REKA)	45°33'40" / 14°51'28"
50	KREDARICA	46°22'43" / 13°50'57"

* nova lokacija TL- dozimetra od 21. novembra 2024 dalje

** nova lokacija TL- dozimetra od 30. julija 2024 dalje

LETO 2024 T - 54/b

8. TLD polletne meritve (**)

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Št. TLD	Mesto postavitve	Izmerjena doza $H^*(10)$ (mSv) v obdobju		Letna doza $H^*(10)$ (mSv)	Povprečna mesečna doza $H^*(10)$ (mSv na mesec) v obdobju		Povprečna mesečna doza $H^*(10)$ (mSv na mesec)
		od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024	od 1. 1. 2024 do 1. 7. 2024	od 1. 7. 2024 do 1. 1. 2025	v 2024
1	DOLENJA VAS	0,431 ± 0,086	0,501 ± 0,100	0,931 ± 0,132	0,072 ± 0,014	0,083 ± 0,017	0,078 ± 0,022
2	DVOR PRI ŽUŽEMBERKU	0,503 ± 0,101	0,536 ± 0,107	1,039 ± 0,147	0,084 ± 0,017	0,089 ± 0,018	0,087 ± 0,024
3	DOBLIČE ČRNOMELJ	0,571 ± 0,114	0,561 ± 0,112	1,132 ± 0,160	0,095 ± 0,019	0,093 ± 0,019	0,094 ± 0,027
4	DRAŠIČI METLIKA	0,412 ± 0,082	0,439 ± 0,088	0,851 ± 0,120	0,069 ± 0,014	0,073 ± 0,015	0,071 ± 0,020
5	NOVO MESTO	0,344 ± 0,069	0,364 ± 0,073	0,708 ± 0,100	0,057 ± 0,011	0,060 ± 0,012	0,059 ± 0,017
6	MALKOVEC MOKRONOG	0,380 ± 0,076	0,386 ± 0,077	0,766 ± 0,108	0,064 ± 0,013	0,064 ± 0,013	0,064 ± 0,018
7	LISCA	0,378 ± 0,076	0,355 ± 0,071	0,733 ± 0,104	0,063 ± 0,013	0,059 ± 0,012	0,061 ± 0,017
8	CELJE	0,402 ± 0,080	0,400 ± 0,080	0,802 ± 0,113	0,067 ± 0,013	0,066 ± 0,013	0,067 ± 0,019
9	ROGAŠKA SLATINA	0,376 ± 0,075	0,411 ± 0,082	0,786 ± 0,111	0,063 ± 0,013	0,068 ± 0,014	0,066 ± 0,018
10	SLOVENSKE KONJICE	0,425 ± 0,085	0,413 ± 0,083	0,839 ± 0,119	0,071 ± 0,014	0,068 ± 0,014	0,070 ± 0,020
11	ROGLA	0,550 ± 0,110 *	0,556 ± 0,111	1,107 ± 0,156 *	0,092 ± 0,018	0,092 ± 0,018	0,092 ± 0,026 *
12	MARIBOR AERODROM	0,405 ± 0,081	0,403 ± 0,081	0,808 ± 0,114	0,068 ± 0,014	0,067 ± 0,013	0,067 ± 0,019
13	PTUJ	0,383 ± 0,077	0,396 ± 0,079	0,780 ± 0,110	0,064 ± 0,013	0,065 ± 0,013	0,065 ± 0,018
14	JERUZALEM ORMOŽ	0,366 ± 0,073	0,401 ± 0,080	0,767 ± 0,109	0,061 ± 0,012	0,066 ± 0,013	0,064 ± 0,018
15	LENDAVA	0,412 ± 0,082	0,444 ± 0,089	0,856 ± 0,121	0,069 ± 0,014	0,073 ± 0,015	0,071 ± 0,020
16	MURSKA SOBOTA	0,398 ± 0,080	0,402 ± 0,080	0,800 ± 0,113	0,066 ± 0,013	0,066 ± 0,013	0,067 ± 0,019
17	GORNJI PETROVCI	0,411 ± 0,082	0,436 ± 0,087	0,847 ± 0,120	0,069 ± 0,014	0,072 ± 0,014	0,071 ± 0,020
18	GORNJA RADGONA	0,401 ± 0,080	0,368 ± 0,074	0,769 ± 0,109	0,067 ± 0,013	0,061 ± 0,012	0,064 ± 0,018
19	SVEČINA PLAČ	0,457 ± 0,091	0,480 ± 0,096	0,937 ± 0,133	0,076 ± 0,015	0,079 ± 0,016	0,078 ± 0,022
20	RIBNICA NA POHORJU	0,442 ± 0,088	0,443 ± 0,089	0,885 ± 0,125	0,074 ± 0,015	0,073 ± 0,015	0,074 ± 0,021
21	KOTLJE	0,424 ± 0,085	0,456 ± 0,091	0,880 ± 0,125	0,071 ± 0,014	0,075 ± 0,015	0,073 ± 0,021
22	VELENJE	0,378 ± 0,076	0,372 ± 0,074	0,750 ± 0,106	0,063 ± 0,013	0,061 ± 0,012	0,063 ± 0,018
23	NAZARJE MOZIRJE	0,412 ± 0,082	0,406 ± 0,081	0,818 ± 0,116	0,069 ± 0,014	0,067 ± 0,013	0,068 ± 0,019
24	LUČE OB SAVINJI	0,421 ± 0,084	0,421 ± 0,084	0,842 ± 0,119	0,070 ± 0,014	0,070 ± 0,014	0,070 ± 0,020
25	VAČE	0,392 ± 0,078	0,452 ± 0,090	0,844 ± 0,120 *	0,065 ± 0,013	0,075 ± 0,015	0,070 ± 0,020
26	LJUBLJANA BEŽIGRAD	0,406 ± 0,081	0,344 ± 0,069	0,751 ± 0,107	0,068 ± 0,014	0,057 ± 0,011	0,063 ± 0,018
27	BRNIK AERODROM	0,506 ± 0,101	0,702 ± 0,140	1,208 ± 0,173	0,085 ± 0,017	0,116 ± 0,023	0,101 ± 0,029
28	JEZERSKO	0,510 ± 0,102	0,505 ± 0,101	1,015 ± 0,144	0,085 ± 0,017	0,084 ± 0,017	0,085 ± 0,024
29	PODLJUBELJ	0,368 ± 0,074	0,368 ± 0,074	0,736 ± 0,104	0,061 ± 0,012	0,061 ± 0,012	0,061 ± 0,017
30	LESCE VRBNJE	0,362 ± 0,072	0,365 ± 0,073	0,726 ± 0,103	0,060 ± 0,012	0,060 ± 0,012	0,061 ± 0,017
31	PLANINA POD GOLICO	0,486 ± 0,097	0,518 ± 0,104	1,004 ± 0,142	0,081 ± 0,016	0,086 ± 0,017	0,084 ± 0,024
32	ZDENSKA VAS	0,450 ± 0,090	0,482 ± 0,096	0,932 ± 0,132	0,075 ± 0,015	0,080 ± 0,016	0,078 ± 0,022
33	RATEČE	0,439 ± 0,088	0,449 ± 0,090	0,888 ± 0,126	0,073 ± 0,015	0,074 ± 0,015	0,074 ± 0,021
34	TRENTA	0,291 ± 0,058	0,292 ± 0,058	0,583 ± 0,082	0,049 ± 0,010	0,048 ± 0,010	0,049 ± 0,014
35	LOG POD MANGARTOM	0,409 ± 0,082	0,413 ± 0,083 *	0,822 ± 0,116	0,068 ± 0,014	0,068 ± 0,014 *	0,069 ± 0,019 *
36	BOVEC	0,364 ± 0,073	0,383 ± 0,077	0,747 ± 0,106	0,061 ± 0,012	0,063 ± 0,013	0,062 ± 0,018
37	TOLMIN	0,371 ± 0,074	0,395 ± 0,079	0,766 ± 0,108	0,062 ± 0,012	0,065 ± 0,013	0,064 ± 0,018
38	BILJE NOVA GORICA	0,308 ± 0,062	0,320 ± 0,064	0,628 ± 0,089	0,051 ± 0,010	0,053 ± 0,011	0,052 ± 0,015
39	VEDRIJAN KOJSKO	0,409 ± 0,082	0,430 ± 0,086	0,839 ± 0,119	0,068 ± 0,014	0,071 ± 0,014	0,070 ± 0,020
40	LOKEV PRI LIPICI	0,460 ± 0,092	0,471 ± 0,094	0,931 ± 0,132	0,077 ± 0,015	0,078 ± 0,016	0,078 ± 0,022
41	SEČOVLJE AERODROM	0,325 ± 0,065	0,353 ± 0,071	0,678 ± 0,096	0,054 ± 0,011	0,058 ± 0,012	0,057 ± 0,016
42	KOSEZE IL. BISTRICA	0,411 ± 0,082	0,416 ± 0,083	0,827 ± 0,117	0,069 ± 0,014	0,069 ± 0,014	0,069 ± 0,019
43	ZALOG POSTOJNA	0,426 ± 0,085	0,450 ± 0,090	0,876 ± 0,124	0,071 ± 0,014	0,074 ± 0,015	0,073 ± 0,021
44	NOVA VAS NA BLOKAH	0,544 ± 0,109	0,531 ± 0,106	1,075 ± 0,152	0,091 ± 0,018	0,088 ± 0,018	0,090 ± 0,025
45	VRHNIKA	0,635 ± 0,127	0,651 ± 0,130	1,286 ± 0,182	0,106 ± 0,021	0,108 ± 0,022	0,107 ± 0,030
46	VOJSKO	0,402 ± 0,080	0,415 ± 0,083	0,816 ± 0,115	0,067 ± 0,013	0,069 ± 0,014	0,068 ± 0,019
47	SORICA	0,369 ± 0,074	0,365 ± 0,073	0,734 ± 0,104	0,062 ± 0,012	0,060 ± 0,012	0,061 ± 0,017
48	STARA FUŽINA	0,321 ± 0,064	0,322 ± 0,064	0,643 ± 0,091	0,054 ± 0,011	0,053 ± 0,011	0,054 ± 0,015
49	JELENJA VAS ISKRBA	0,629 ± 0,126	0,649 ± 0,130	1,279 ± 0,181	0,105 ± 0,021	0,107 ± 0,021	0,107 ± 0,030
50	KREDARICA	0,377 ± 0,075	0,397 ± 0,079	0,774 ± 0,109	0,063 ± 0,013	0,066 ± 0,013	0,064 ± 0,018
	Število merilnih mest	50 št.	50 št.	50 št.	50 št.	50 št.	50 št.
	Povprečje - merilna mesta	0,421 ± 0,085	0,436 ± 0,089	0,857 ± 0,154	0,070 ± 0,014	0,072 ± 0,015	0,071 ± 0,020
	Najvišja doza	0,635 ± 0,127 (45)	0,702 ± 0,140 (27)	1,286 ± 0,182 (45)	0,106 ± 0,021 (45)	0,116 ± 0,023 (27)	0,107 ± 0,030 (45)
	Najnižja doza	0,291 ± 0,058 (34)	0,292 ± 0,058 (34)	0,583 ± 0,082 (34)	0,049 ± 0,010 (34)	0,048 ± 0,010 (34)	0,049 ± 0,014 (34)

(**) Meritve doze zunanjega sevanja s TL-dozimetri so opravljene na Odseku F-2. Negotovost rezultatov meritev so podane z intervalom zaupanja 95 % .

8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA – TL-DOZIMETRI (HRVAŠKA) *

	Polletne doze		Letna doza
	12. 1. 2024 - 2. 7. 2024	2. 7. 2024 – 14. 1. 2025	
Vzorč. mesto	H*(10) (mSv)		
Bistra	0,38	0,41	0,79
Bregana	0,33	0,42	0,75
Harmica	0,42	0,50	0,92
Jastrebarsko	0,33	0,40	0,73
Klanjec	0,27	0,34	0,61
Novaki	0,30	0,36	0,66
Oroslavlje	0,41	0,50	0,91
Samobor	0,35	0,38	0,73
Zagreb (IRB)	0,33	0,37	0,70
Zaprešić	0,32	0,35	0,67

LETO 2024 T - 56/a

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2024 V REPUBLIKI SLOVENIJI – 1. polovica / 1. polletje

2024	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Polletno povprečje (nSv/h)	Polletna doza (mSv)
	Januar				Februar				Marec				April				Maj				Junij					
Lokacija	Povprečna vrednost	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	Sigma	Min	Maks		
Lendava	73 ± 13	35	150	74 ± 10	31	131	74 ± 7	59	136	74 ± 6	58	132	75 ± 8	57	134	75 ± 6	57	110	74,3 ± 3,0	0,34 ± 0,01						
Gornja Radgona	82 ± 6	65	120	82 ± 5	65	107	81 ± 5	67	117	81 ± 5	66	123	80 ± 6	62	129	80 ± 5	63	112	81,0 ± 2,2	0,37 ± 0,01						
Krvavec	101 ± 12	79	152	100 ± 10	85	142	98 ± 9	81	143	111 ± 8	90	142	117 ± 9	96	168	114 ± 7	97	151	108,4 ± 3,6	0,49 ± 0,02						
Dvor	75 ± 10	51	154	76 ± 7	60	120	75 ± 8	50	141	74 ± 6	58	114	73 ± 9	56	138	73 ± 7	56	125	74,3 ± 3,1	0,34 ± 0,01						
Hrastje	57 ± 11	38	150	57 ± 6	41	101	56 ± 8	40	115	55 ± 6	39	106	55 ± 10	36	145	54 ± 8	38	122	55,7 ± 3,1	0,25 ± 0,01						
Bovec	62 ± 14	44	170	64 ± 15	39	155	62 ± 11	44	133	59 ± 8	42	148	61 ± 12	41	139	59 ± 9	43	127	60,4 ± 4,4	0,27 ± 0,02						
Postojna	84 ± 10	61	143	86 ± 9	66	130	84 ± 8	64	131	83 ± 8	66	130	83 ± 12	63	185	83 ± 9	62	142	83,9 ± 3,7	0,38 ± 0,02						
Ljubljana - Bežigrad	83 ± 11	56	169	84 ± 7	67	132	80 ± 9	59	143	78 ± 7	62	129	78 ± 12	60	213	77 ± 8	61	147	80,1 ± 3,5	0,36 ± 0,02						
Levec	79 ± 9	55	132	80 ± 6	63	121	79 ± 6	63	125	79 ± 7	62	132	80 ± 8	64	148	79 ± 7	63	143	79,3 ± 2,8	0,36 ± 0,01						
Rateče	78 ± 12	56	149	84 ± 11	60	144	104 ± 8	82	175	103 ± 8	79	156	104 ± 9	86	161	104 ± 8	85	172	99,1 ± 3,7	0,45 ± 0,02						
Krško - Videm	76 ± 8	64	134	75 ± 8	63	119	72 ± 6	63	126	71 ± 4	61	108	71 ± 7	63	118	71 ± 5	61	109	71,9 ± 2,3	0,32 ± 0,01						
Podbočje	71 ± 8	53	117	71 ± 5	55	99	70 ± 6	54	108	69 ± 6	55	115	69 ± 7	33	126	69 ± 8	52	180	69,9 ± 2,6	0,32 ± 0,01						
Sevno	85 ± 10	56	242	87 ± 6	64	173	86 ± 8	58	179	85 ± 8	53	145	84 ± 11	47	180	82 ± 8	50	138	85,2 ± 3,3	0,38 ± 0,01						
Brežice	84 ± 6	72	120	85 ± 4	76	104	85 ± 5	75	119	84 ± 4	72	113	84 ± 5	75	117	84 ± 4	74	112	84,3 ± 1,8	0,38 ± 0,01						
Velenje	80 ± 12	56	172	81 ± 6	59	124	81 ± 8	64	152	80 ± 7	62	139	79 ± 9	61	158	79 ± 7	63	136	80,1 ± 3,1	0,36 ± 0,01						
Idrija	101 ± 5	91	111	102 ± 7	86	137	101 ± 11	82	172	99 ± 17	53	235	100 ± 11	77	160	99 ± 9	65	213	100,8 ± 3,3	0,45 ± 0,01						
Maribor - Vrbanski plato	98 ± 11	68	198	99 ± 6	78	147	99 ± 8	75	176	99 ± 8	74	164	98 ± 11	69	202	97 ± 8	57	182	98,5 ± 3,3	0,44 ± 0,01						
Maribor - Slivnica	79 ± 11	57	159	79 ± 6	63	120	79 ± 7	59	137	80 ± 8	64	150	80 ± 12	63	167	79 ± 8	61	162	79,2 ± 3,3	0,36 ± 0,01						
Vnajnarje	104 ± 15	55	298	106 ± 9	55	157	107 ± 10	66	268	108 ± 10	38	163	106 ± 12	59	358	107 ± 10	63	209	106,6 ± 4,3	0,48 ± 0,02						
Ptuj	83 ± 13	43	178	84 ± 7	41	166	84 ± 9	52	151	84 ± 8	53	152	84 ± 11	48	187	83 ± 8	65	150	83,7 ± 3,6	0,38 ± 0,02						
Rudno polje	65 ± 9	48	117	65 ± 9	44	121	64 ± 8	47	107	74 ± 8	52	149	80 ± 9	61	166	79 ± 7	63	123	71,7 ± 3,4	0,32 ± 0,02						
Kum	59 ± 12	37	146	59 ± 7	43	116	60 ± 8	44	106	57 ± 7	42	110	59 ± 10	42	131	57 ± 7	42	147	58,3 ± 3,3	0,26 ± 0,01						
Lesce	74 ± 11	53	168	75 ± 11	58	174	74 ± 9	57	147	72 ± 8	57	146	73 ± 12	52	175	72 ± 7	55	132	73,0 ± 3,7	0,33 ± 0,02						
Iskrba	135 ± 11	102	180	138 ± 10	113	174	136 ± 17	94	423	134 ± 10	114	184	134 ± 13	109	277	134 ± 11	111	201	135,2 ± 4,7	0,61 ± 0,02						
Lisca	71 ± 10	40	124	74 ± 6	46	116	74 ± 7	41	121	73 ± 6	45	117	74 ± 10	40	180	73 ± 7	39	118	73,3 ± 2,9	0,33 ± 0,01						
Krško-NEK	63 ± 19	24	134	65 ± 16	26	107	67 ± 15	23	138	72 ± 6	58	129	72 ± 8	56	148	72 ± 7	55	134	71,0 ± 3,7	0,32 ± 0,02						
Brege	103 ± 15	83	181	101 ± 5	82	128	101 ± 7	85	157	100 ± 6	87	148	102 ± 8	86	154	102 ± 8	88	168	101,1 ± 2,8	0,46 ± 0,01						
Loče	101 ± 9	81	157	103 ± 6	90	136	103 ± 6	88	136	103 ± 6	88	141	102 ± 9	86	169	103 ± 7	86	133	102,7 ± 2,8	0,46 ± 0,01						
Dolenje	59 ± 8	35	126	59 ± 6	42	104	58 ± 6	28	109	57 ± 6	42	100	57 ± 7	42	112	56 ± 6	43	101	57,6 ± 2,6	0,26 ± 0,01						
Iška vas	94 ± 11	73	162	94 ± 7	76	126	93 ± 9	78	167	91 ± 8	75	137	92 ± 10	79	163	92 ± 8	77	155	92,7 ± 3,5	0,42 ± 0,02						
Krško	96 ± 7	79	130	96 ± 6	81	141	96 ± 6	81	146	94 ± 5	80	118	94 ± 7	79	132	94 ± 6	82	137	94,9 ± 2,5	0,43 ± 0,01						
Dobliče	118 ± 11	87	175	118 ± 8	98	148	118 ± 10	58	193	121 ± 9	98	163	120 ± 11	98	204	120 ± 9	98	174	119,2 ± 3,9	0,54 ± 0,02						
Sečovlje	81 ± 8	66	138	81 ± 7	68	126	79 ± 6	66	117	81 ± 8	69	156	81 ± 8	68	132	80 ± 6	67	111	80,3 ± 2,9	0,36 ± 0,01						
Koper	67 ± 7	51	141	67 ± 6	51	109	65 ± 6	49	108	67 ± 7	49	112	66 ± 8	49	124	66 ± 5	51	97	66,3 ± 2,6	0,30 ± 0,01						
Kamnik	81 ± 8	65	147	82 ± 6	70	124	82 ± 7	67	123	80 ± 5	65	104	80 ± 6	67	111	80 ± 5	68	100	80,7 ± 2,4	0,36 ± 0,01						

Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doz so povzeti s spletnega portala **www.radioaktivnost.si**, ki ga vodi URSJV, Ministrstvo za okolje in prostor.
Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doze v okolici NEK, so poudarjene z zeleno barvo.

LETO 2024 T - 56/b

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2024 V REPUBLIKI SLOVENIJI – 1. polovica / 2. polletje

2024	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Letno povprečje (nSv/h)			Letna doza (mSv)		
	Julij					Avgust					September					Oktober					November					December						
Lokacija	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks					
Lendava	80	±	7	63	144	82	±	6	64	143	79	±	9	60	156	79	±	8	61	151	81	±	7	62	133	80	±	5	64	98	77,7	±	2,0	0,68	±	0,02
Gornja Radgona	81	±	6	66	142	82	±	6	65	209	82	±	7	66	155	80	±	6	50	126	82	±	6	58	122	82	±	5	59	114	81,2	±	1,6	0,71	±	0,01
Krvavec	115	±	9	101	216	87	±	12	47	209	88	±	12	40	190	86	±	10	41	152	83	±	9	51	136	74	±	7	49	112	98,5	±	2,6	0,86	±	0,02
Dvor	75	±	8	60	145	77	±	7	50	146	77	±	11	58	200	75	±	10	40	126	76	±	7	45	133	75	±	8	35	127	75,0	±	2,3	0,66	±	0,02
Hrastje	56	±	10	42	158	57	±	14	38	284	58	±	14	40	193	55	±	10	37	117	56	±	6	18	94	56	±	7	38	120	55,8	±	2,3	0,49	±	0,02
Bovec	60	±	7	41	145	60	±	9	45	238	63	±	18	42	215	62	±	15	35	149	58	±	6	39	111	58	±	8	30	132	59,7	±	2,7	0,52	±	0,02
Postojna	90	±	9	68	180	93	±	10	69	153	88	±	13	63	180	83	±	10	55	159	84	±	8	59	134	81	±	11	50	144	85,1	±	2,7	0,75	±	0,02
Ljubljana -Bežigrad	80	±	9	60	169	82	±	14	62	292	81	±	14	50	196	77	±	10	51	145	78	±	7	43	117	78	±	8	56	135	79,5	±	2,6	0,70	±	0,02
Levec	81	±	11	58	214	82	±	9	61	185	82	±	12	62	190	79	±	8	55	138	80	±	7	52	131	80	±	6	59	144	79,8	±	2,2	0,70	±	0,02
Rateče	109	±	9	83	188	110	±	8	79	227	109	±	11	80	190	104	±	10	69	166	103	±	7	68	156	94	±	10	70	149	102,1	±	2,6	0,89	±	0,02
Krško-Videm	72	±	6	63	145	73	±	8	65	146	73	±	8	62	124	71	±	8	60	132	72	±	6	62	105	71	±	5	60	104	71,9	±	1,8	0,63	±	0,02
Podbočje	67	±	6	50	146	70	±	8	54	138	69	±	8	45	118	66	±	7	45	113	70	±	7	51	119	70	±	7	40	124	69,3	±	1,9	0,61	±	0,02
Sevno	83	±	11	50	301	83	±	11	46	209	86	±	13	52	213	84	±	9	54	138	86	±	7	60	134	85	±	6	59	134	85,0	±	2,4	0,74	±	0,02
Brežice	86	±	5	77	138	87	±	6	74	141	86	±	6	76	118	84	±	7	71	129	85	±	5	74	114	85	±	4	73	106	84,8	±	1,4	0,74	±	0,01
Velenje	81	±	13	55	249	81	±	10	62	200	82	±	12	54	178	80	±	9	58	133	80	±	7	56	148	80	±	7	53	151	80,2	±	2,4	0,70	±	0,02
Idrija	100	±	8	84	139						103	±	15	69	194	93	±	12	71	162	92	±	10	70	143	90	±	12	58	148	99,2	±	2,7	0,87	±	0,02
Maribor - Vrbanski plato	102	±	13	79	295	101	±	11	80	247	96	±	19	24	193	97	±	9	70	178	99	±	8	71	159	98	±	6	65	146	98,5	±	2,5	0,86	±	0,02
Maribor - Slivnica	82	±	10	61	176	83	±	9	64	174	84	±	14	61	212	79	±	9	62	144	81	±	8	61	154	79	±	6	63	127	79,9	±	2,4	0,70	±	0,02
Vnajnarje	113	±	12	68	221	114	±	10	66	187	113	±	14	57	215	107	±	11	47	174	107	±	10	66	168	105	±	8	53	160	107,8	±	3,0	0,94	±	0,03
Ptuj	86	±	9	68	169	89	±	10	49	202	89	±	11	66	164	83	±	8	65	140	84	±	7	66	140	84	±	6	67	139	84,5	±	2,4	0,74	±	0,02
Rudno polje	79	±	8	63	183	78	±	7	61	168	81	±	10	64	143	80	±	10	53	140	76	±	7	53	134	70	±	7	42	130	74,3	±	2,3	0,65	±	0,02
Kum	58	±	8	43	152	57	±	8	44	156	59	±	11	42	131	57	±	8	41	104	56	±	6	41	95	55	±	7	38	91	57,4	±	2,3	0,50	±	0,02
Lesce	75	±	10	58	169	77	±	7	61	137	77	±	14	55	204	74	±	11	56	149	73	±	7	53	129	73	±	7	56	144	73,8	±	2,5	0,65	±	0,02
Iskrba	146	±	13	116	212	150	±	15	118	309	140	±	16	111	298	135	±	13	107	206	136	±	13	97	196	129	±	12	98	176	136,6	±	3,6	1,20	±	0,03
Lisca	73	±	9	43	184	73	±	9	45	160	75	±	11	44	191	72	±	8	38	130	72	±	7	42	118	69	±	8	39	126	72,8	±	2,2	0,64	±	0,02
Krško - NEK	75	±	9	57	220	76	±	11	58	166	76	±	11	57	155	73	±	10	53	145	74	±	7	54	120	74	±	7	57	118	72,8	±	2,5	0,64	±	0,02
Brege	103	±	9	86	226	104	±	9	89	168	104	±	10	87	171	100	±	9	84	169	101	±	8	84	146	100	±	7	87	145	101,3	±	2,2	0,89	±	0,02
Loče	105	±	8	88	173	105	±	8	87	188	105	±	10	88	169	101	±	7	82	138	88	±	14	54	125	80	±	6	49	127	99,8	±	2,1	0,87	±	0,02
Dolenje	58	±	6	44	103	59	±	6	46	113	58	±	8	40	118	56	±	7	41	110	58	±	6	31	96	58	±	8	42	131	57,7	±	1,9	0,51	±	0,02
Iška vas	94	±	8	77	171	96	±	8	79	157	95	±	13	78	203	93	±	10	77	153	93	±	8	74	145	92	±	8	68	145	93,2	±	2,5	0,82	±	0,02
Krško	95	±	7	79	173	96	±	7	81	153	96	±	8	82	140	94	±	8	78	147	96	±	6	80	127	95	±	6	80	127	95,1	±	1,9	0,83	±	0,02
Dobliče	132	±	10	104	229	139	±	12	113	226	133	±	16	101	221	125	±	14	97	206	127	±	13	98	203	126	±	11	76	179	123,4	±	3,1	1,08	±	0,03
Sečovlje	86	±	6	76	164	88	±	5	77	130	83	±	8	69	136	80	±	9	66	149	81	±	7	66	143	81	±	10	67	172	82,4	±	2,0	0,72	±	0,02
Koper	72	±	6	55	143	73	±	7	58	156	69	±	9	52	134	66	±	8	50	117	66	±	6	50	123	66	±	7	50	118	67,4	±	1,9	0,59	±	0,02
Kamnik	81	±	6	65	121	82	±	6	69	132	81	±	7	67	141	80	±	6	68	109	80	±	7	62	113	79	±	7	56	131	69,0	±	1,9	0,60	±	0,02

Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doz so povzeti s spletnega portala **www.radioaktivnost.si**, ki ga vodi URSJV, Ministrstvo za okolje in prostor.
Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doze v okolici NEK, so poudarjene z zeleno barvo.

LETO 2024 T - 56/c

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2024 V REPUBLIKI SLOVENIJI – 2. polovica / 1. polletje

2024	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Polletno povprečje (nSv/h)		Polletna doza (mSv)	
	Januar					Februar				Marec				April				Maj				Junij							
Lokacija	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost		Sigma	Min	Maks				
Ilirska Bistrica	84	±	7	40	135	84	±	7	66	132	82	±	6	67	126	82	±	7	62	124	81	±	8	62	166	81	±	7	64	123	82,4	±	2,8	0,37	±	0,01
Ljubljana - Brinje - IJS	91	±	12	68	191	92	±	8	75	129	91	±	9	73	144	90	±	8	74	132	90	±	10	72	163	90	±	9	71	151	90,7	±	3,7	0,41	±	0,02
Park Škocjanske jame	77	±	9	57	132	77	±	7	58	123	75	±	6	58	124	76	±	7	58	131	75	±	8	58	122	75	±	7	56	125	75,7	±	2,9	0,34	±	0,01
Todraž	105	±	12	71	177	106	±	9	75	254	106	±	9	76	157	105	±	8	76	286	105	±	11	67	175	106	±	8	72	164	105,6	±	3,7	0,48	±	0,02
Skopice	86	±	9	66	118	102	±	4	93	119	102	±	4	92	123	102	±	3	95	123	102	±	4	93	127	101	±	4	92	128	101,3	±	1,6	0,46	±	0,01
Zbilje	86	±	12	53	163	87	±	8	42	140	88	±	8	44	157	87	±	7	48	128	87	±	9	48	185	89	±	9	49	144	87,4	±	3,5	0,39	±	0,02
Trbovlje	85	±	9	63	144	86	±	6	70	123	86	±	7	71	150	85	±	5	68	119	85	±	8	68	142	85	±	6	68	126	85,3	±	2,6	0,39	±	0,01
Malkovec	100	±	8	81	150	101	±	6	88	128	100	±	7	86	153	100	±	6	86	142	100	±	9	84	156	100	±	7	84	142	100,2	±	2,8	0,45	±	0,01
Brinje	88	±	12	45	192	88	±	7	56	135	88	±	9	58	164	87	±	8	46	147	87	±	10	52	186	87	±	9	52	170	87,5	±	3,6	0,39	±	0,02
Brestanica - Sv. Mohor	53	±	7	38	98	53	±	5	37	88	53	±	7	39	108	52	±	5	37	89	52	±	10	13	119	52	±	6	36	94	52,5	±	2,5	0,24	±	0,01
Ravne na Koroškem	87	±	12	63	174	87	±	6	71	145	86	±	6	69	125	86	±	8	67	158	84	±	10	64	154	84	±	9	63	174	85,9	±	3,2	0,39	±	0,01
Ljubljana-Vič	84	±	11	0	163	84	±	7	39	166	84	±	8	0	156	82	±	6	55	120	83	±	10	55	170	74	±	22	23	136	83,0	±	3,4	0,37	±	0,02
Jesenice na Dolenjskem	54	±	7	37	100	75	±	5	64	102	75	±	7	61	121	73	±	5	61	115	74	±	7	60	110	74	±	6	59	108	71,7	±	2,4	0,32	±	0,01
Hrastnik	67	±	9	40	127	66	±	6	49	105	66	±	6	52	111	65	±	6	49	108	65	±	8	50	120	65	±	6	49	118	65,6	±	2,7	0,30	±	0,01
Gačnik	95	±	11	71	192	96	±	5	80	139	96	±	7	78	167	97	±	8	81	167	96	±	11	75	170	95	±	7	78	150	95,9	±	3,0	0,43	±	0,01
Pesje	96	±	14	21	143	126	±	7	104	157	127	±	7	112	176	127	±	7	109	183	127	±	8	108	174	127	±	9	110	215	125,1	±	3,3	0,56	±	0,01
Krajinski park Goričko	73	±	8	55	122	83	±	5	71	111	82	±	7	66	152	83	±	6	66	129	83	±	9	67	142	82	±	7	66	136	81,6	±	2,7	0,37	±	0,01
Boršt	107	±	13	78	191	110	±	8	87	160	112	±	9	92	170	111	±	7	92	154	111	±	11	92	190	111	±	8	91	164	110,7	±	3,6	0,50	±	0,02
Novo mesto	63	±	9	40	121	61	±	7	46	97	60	±	8	44	136	59	±	6	43	110	59	±	10	43	136	59	±	7	42	97	60,0	±	3,1	0,27	±	0,01
Bilje	60	±	11	0	141	59	±	8	24	122	59	±	10	0	160	57	±	7	11	140	57	±	9	24	204	57	±	9	2	148	58,0	±	3,6	0,26	±	0,02
Podčetrtek	79	±	9	58	147	80	±	6	63	116	80	±	8	61	146	79	±	7	62	124	79	±	10	62	170	79	±	7	62	121	79,4	±	3,1	0,36	±	0,01
Libna	89	±	5	77	120	89	±	4	79	116	89	±	5	78	123	88	±	3	80	114	88	±	5	79	120	88	±	4	79	114	88,4	±	1,7	0,40	±	0,01
Suha	68	±	9	49	129	69	±	6	52	107	69	±	7	49	116	68	±	6	51	112	67	±	7	52	124	67	±	6	52	116	68,0	±	2,7	0,31	±	0,01
Šostanj	83	±	13	62	209	85	±	7	68	135	85	±	7	69	148	85	±	8	67	151	84	±	9	67	143	85	±	7	67	139	84,7	±	3,2	0,38	±	0,01
Gornji Lenart	109	±	8	90	160	110	±	6	96	134	110	±	7	91	155	109	±	6	94	154	109	±	8	93	165	109	±	8	94	180	109,4	±	2,9	0,49	±	0,01
Krško - NEK	90	±	7	77	131	90	±	4	78	118	89	±	6	77	137	85	±	4	76	122	86	±	6	76	130	85	±	5	75	125	87,3	±	2,0	0,39	±	0,01
Cerklje	84	±	9	64	135	84	±	4	73	106	84	±	6	74	127	84	±	5	73	124	84	±	6	74	121	84	±	7	72	142	84,0	±	2,3	0,38	±	0,01
Brnik	105	±	14	76	226	107	±	9	83	170	109	±	9	91	214	109	±	8	91	183	108	±	10	88	202	109	±	9	90	177	108,2	±	3,8	0,49	±	0,02
Leskovec	88	±	5	78	116	87	±	6	74	117	85	±	5	77	125	84	±	4	76	117	84	±	5	76	125	84	±	4	74	114	85,0	±	1,9	0,38	±	0,01
Vihre	98	±	6	83	135	99	±	5	86	113	98	±	5	85	123	96	±	5	82	112	96	±	5	81	117	98	±	6	84	124	97,4	±	2,2	0,44	±	0,01
Slovenj Gradec	106	±	13	77	197	107	±	8	89	181	107	±	8	90	161	107	±	8	87	185	107	±	14	85	266	107	±	8	84	168	106,9	±	3,7	0,48	±	0,02
Rogla	97	±	11	80	142	102	±	10	84	157	103	±	8	86	144	100	±	6	84	132	102	±	10	83	162	101	±	7	87	142	100,9	±	3,3	0,46	±	0,01
Celje	79	±	10	52	142	80	±	6	65	115	80	±	6	63	121	79	±	7	64	128	79	±	8	62	134	79	±	6	64	134	79,4	±	2,8	0,36	±	0,01
Kredarica	129	±	9	109	164	128	±	9	106	159	128	±	8	107	173	125	±	8	108	171	127	±	10	106	174	125	±	7	111	161	126,8	±	3,4	0,57	±	0,02

Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doz so povzeti s spletnega portala **www.radioaktivnost.si**, ki ga vodi URSJV, Ministrstvo za okolje in prostor.
Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doze v okolici NEK, so poudarjene z zeleno barvo.

LETO 2024 T - 56/d

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2024 V REPUBLIKI SLOVENIJI – 2. polovica / 2. polletje

2024	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Letno povprečje (nSv/h)	Letna doza (mSv)
	Julij					Avgust				September				Oktober				November				December					
Lokacija	Povprečna vrednost	±	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	±	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	±	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	±	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	±	Sigma	Min	Maks	Povprečna vrednost	±	Povprečna vrednost	±
Ilirska Bistrica	89	±	6	69	154	92	±	8	73	152	87	±	10	66	196	83	±	8	61	135	84	±	7	66	122	84	±	8	66	177	84,3	± 2,1	0,74	± 0,02
Ljubljana - Brinje - IJS	93	±	10	73	180	95	±	12	75	225	95	±	15	69	206	88	±	10	67	147	89	±	8	67	138	370	±	4414	71	79200	90,8	± 2,9	0,80	± 0,03
Park Škocjanske jame	78	±	8	59	173	78	±	8	61	155	77	±	10	59	155	74	±	8	58	124	76	±	6	56	111	75	±	8	56	153	76,0	± 2,1	0,67	± 0,02
Todraž	111	±	9	77	179	113	±	9	87	183	111	±	14	88	259	107	±	11	81	172	106	±	10	77	153	103	±	10	77	160	106,9	± 2,8	0,94	± 0,02
Skopice	102	±	6	81	186	102	±	6	89	142	102	±	6	90	131	91	±	16	16	138	100	±	5	78	125	95	±	37	0	164	101,2	± 1,4	0,89	± 0,01
Zbilje	92	±	9	57	172	94	±	9	58	199	93	±	12	43	197	90	±	10	49	147	90	±	8	52	151	90	±	8	39	148	89,2	± 2,5	0,78	± 0,02
Trbovlje	87	±	8	69	177	88	±	9	71	173	89	±	11	48	168	83	±	6	36	126	85	±	8	51	192	85	±	7	47	203	85,4	± 2,0	0,75	± 0,02
Malkovec	103	±	9	85	213	103	±	10	86	196	103	±	11	84	200	99	±	8	83	156	84	±	14	51	120	75	±	6	46	115	96,7	± 2,2	0,85	± 0,02
Brinje	91	±	11	49	216	93	±	15	62	278	91	±	18	56	286	87	±	10	54	156	88	±	8	63	157	88	±	8	54	152	88,1	± 2,7	0,77	± 0,02
Brestanica - Sv. Mohor	53	±	6	39	134	54	±	8	38	125	54	±	8	37	126	52	±	8	37	113	54	±	6	36	89	52	±	5	36	88	52,8	± 1,8	0,46	± 0,02
Ravne na Koroškem	85	±	11	65	183	86	±	10	62	182	88	±	12	65	177	86	±	9	59	155	88	±	7	66	190	88	±	6	64	128	86,5	± 2,3	0,76	± 0,02
Ljubljana - Vič	86	±	9	63	176	88	±	10	58	204	87	±	11	67	175	84	±	10	48	138	85	±	7	63	123	85	±	7	57	127	84,3	± 2,5	0,74	± 0,02
Jesenice na Dolenjskem	63	±	26	0	138	55	±	9	40	137	55	±	9	37	137	53	±	8	38	108	54	±	7	33	96	53	±	6	38	91	65,5	± 2,0	0,57	± 0,02
Hrastnik	66	±	7	51	141	67	±	8	51	138	68	±	11	26	153	65	±	7	40	118	67	±	7	42	120	66	±	6	42	112	65,9	± 2,0	0,58	± 0,02
Gačnik	99	±	15	72	384	98	±	9	55	198	100	±	12	69	192	95	±	8	67	143	97	±	8	69	162	96	±	5	70	125	96,3	± 2,2	0,84	± 0,02
Pesje	129	±	14	112	372	130	±	13	111	260	129	±	10	110	191	125	±	9	109	198	126	±	8	111	168	126	±	7	110	156	125,8	± 2,5	1,10	± 0,02
Krajinski park Goričko	86	±	9	68	172	87	±	7	69	154	86	±	11	64	156	81	±	7	65	134	83	±	7	60	135	81	±	5	65	107	82,3	± 2,0	0,72	± 0,02
Boršt	115	±	8	96	191	117	±	8	92	183	116	±	14	94	278	110	±	11	81	183	110	±	9	81	161	105	±	11	74	168	111,6	± 2,6	0,98	± 0,02
Novo mesto	63	±	8	37	154	66	±	11	32	166	64	±	13	35	224	60	±	10	28	133	63	±	10	31	120	63	±	9	30	117	61,1	± 2,4	0,54	± 0,02
Bilje	60	±	10	0	211	61	±	9	0	147	62	±	12	13	184	59	±	11	22	131	59	±	7	36	103	59	±	8	35	124	58,8	± 2,6	0,52	± 0,02
Podčetrtek	83	±	10	62	180	83	±	12	66	206	83	±	10	60	157	79	±	9	55	149	81	±	8	58	131	80	±	6	63	122	80,1	± 2,3	0,70	± 0,02
Libna	89	±	5	80	154	90	±	5	82	132	90	±	6	79	121	87	±	6	77	125	89	±	5	80	115	89	±	4	75	108	88,7	± 1,3	0,78	± 0,01
Suha	70	±	6	54	115	71	±	7	49	129	70	±	9	51	135	68	±	8	52	109	69	±	7	47	113	67	±	7	46	105	68,6	± 2,0	0,60	± 0,02
Šostanj	87	±	12	69	226	87	±	9	69	207	88	±	12	69	183	84	±	9	66	140	84	±	8	65	146	84	±	7	68	156	84,9	± 2,4	0,74	± 0,02
Gornji Lenart	111	±	9	91	242	112	±	10	97	192	112	±	9	90	164	107	±	9	91	176	108	±	7	90	150	108	±	7	92	138	109,4	± 2,2	0,96	± 0,02
Krško - NEK	87	±	7	78	181	89	±	8	78	156	89	±	8	76	135	85	±	8	74	145	87	±	6	75	124	86	±	5	74	117	87,2	± 1,6	0,76	± 0,01
Cerklje	86	±	7	73	158	88	±	9	75	159	87	±	9	72	138	83	±	10	70	151	84	±	7	71	119	83	±	6	71	122	84,3	± 1,8	0,74	± 0,02
Brnik	112	±	10	91	228	115	±	10	93	210	113	±	16	89	275	109	±	10	88	183	109	±	9	85	164	108	±	9	85	191	109,3	± 2,8	0,96	± 0,02
Leskovec	85	±	5	75	144	85	±	6	76	137	86	±	7	74	131	84	±	6	74	132	85	±	5	73	116	85	±	4	74	119	85,0	± 1,4	0,74	± 0,01
Vihre	99	±	6	85	160	99	±	6	86	142	99	±	6	83	132	96	±	6	83	130	98	±	6	84	120	97	±	5	84	121	97,7	± 1,6	0,86	± 0,01
Slovenj Gradec	111	±	17	89	361	111	±	11	90	271	112	±	13	88	194	106	±	11	87	188	107	±	8	78	163	106	±	8	82	169	107,4	± 2,8	0,94	± 0,02
Rogla	101	±	9	87	200	100	±	7	85	163	90	±	18	60	164	74	±	9	54	129	71	±	7	51	115	67	±	6	50	104	90,6	± 2,3	0,79	± 0,02
Celje	81	±	9	66	192	82	±	11	66	237	82	±	12	64	183	78	±	7	53	129	80	±	7	58	125	80	±	6	53	133	79,7	± 2,1	0,70	± 0,02
Kredarica	125	±	7	108	172	125	±	9	108	204	127	±	10	109	169	106	±	18	69	167	96	±	7	76	133	96	±	7	76	131	118,8	± 2,4	1,04	± 0,02

Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doz so povzeti s spletnega portala **www.radioaktivnost.si**, ki ga vodi URSJV, Ministrstvo za okolje in prostor.
Podatki o kontinuirnih meritvah hitrosti doze v okolici NEK, so poudarjene z zeleno barvo.

Razredčitveni koeficienti

Lokacija	NEK - plant vent	NEK - ograja zahod	NEK - ograja vzhod	Spodnji Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško - Stara vas	Pesje	Dobova
Mesec	Povprečni mesečni X/Q (s/m^3)													
Januar	2,93E-07	2,79E-07	4,87E-07	4,08E-07	2,59E-07	7,95E-08	3,22E-08	6,19E-08	1,18E-07	2,48E-07	2,16E-07	1,18E-07	3,96E-07	3,09E-08
Februar	3,18E-07	2,69E-07	6,23E-07	3,73E-07	2,19E-07	1,28E-07	5,61E-08	8,41E-08	1,81E-07	2,27E-07	1,20E-07	1,24E-07	4,22E-07	1,03E-08
Marec	3,84E-07	3,28E-07	5,60E-07	3,01E-07	2,67E-07	9,14E-08	6,57E-08	9,63E-08	1,71E-07	3,48E-07	1,83E-07	1,12E-07	2,42E-07	3,09E-08
April	2,20E-07	2,26E-07	4,75E-07	3,51E-07	2,22E-07	4,91E-08	4,93E-08	5,40E-08	1,27E-07	1,88E-07	7,09E-08	8,44E-08	4,06E-07	1,74E-08
Maj	2,63E-07	2,41E-07	4,69E-07	3,85E-07	3,19E-07	9,85E-08	2,73E-08	2,81E-08	1,01E-07	2,56E-07	1,16E-07	1,07E-07	2,92E-07	1,78E-08
Junij	1,03E-06	6,76E-07	1,46E-06	4,41E-07	3,71E-07	6,87E-08	4,79E-08	6,89E-08	1,55E-07	3,43E-07	1,13E-07	1,78E-07	4,13E-07	1,49E-08
Julij	2,37E-06	2,11E-06	2,64E-06	3,20E-07	6,57E-07	2,23E-07	1,31E-07	1,85E-07	3,38E-07	4,35E-07	1,34E-07	2,01E-07	2,42E-07	8,97E-09
Avgust	1,41E-06	1,24E-06	1,17E-06	4,12E-07	5,80E-07	4,10E-08	9,78E-08	9,86E-08	2,51E-07	3,88E-07	2,20E-07	2,14E-07	2,09E-07	2,68E-08
September	4,60E-07	4,28E-07	5,33E-07	2,74E-07	2,53E-07	3,66E-08	3,25E-08	4,66E-08	1,17E-07	2,55E-07	1,25E-07	8,68E-08	2,17E-07	2,15E-08
Oktober	9,17E-08	1,36E-07	2,03E-07	2,11E-07	2,77E-07	1,38E-08	2,99E-08	3,33E-08	7,82E-08	4,64E-07	3,08E-07	8,45E-08	1,47E-07	7,81E-08
November	2,19E-07	2,54E-07	3,60E-07	1,89E-07	4,36E-07	4,47E-08	2,42E-08	3,86E-08	8,68E-08	4,34E-07	4,33E-07	1,48E-07	2,11E-07	7,86E-08
December	2,16E-07	1,99E-07	3,82E-07	3,51E-07	2,56E-07	8,34E-08	5,45E-08	9,61E-08	1,81E-07	3,40E-07	2,38E-07	2,01E-07	3,13E-07	4,01E-08

Depozicijski koeficienti

Lokacija	NEK - plant vent	NEK - ograja zahod	NEK - ograja vzhod	Spodnji Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško - Stara vas	Pesje	Dobova
Mesec	Povprečni mesečni (D/Q)/(s/m^2)													
Januar	2,80E-06	1,54E-06	1,39E-06	2,28E-07	1,32E-07	2,37E-08	1,85E-08	2,55E-08	5,52E-08	2,32E-07	1,04E-07	5,26E-08	1,46E-07	1,61E-08
Februar	2,62E-06	1,10E-06	1,32E-06	1,85E-07	1,33E-07	3,34E-08	2,18E-08	2,61E-08	5,04E-08	1,30E-07	7,58E-08	6,63E-08	1,50E-07	6,67E-09
Marec	2,86E-06	1,82E-06	1,15E-06	1,83E-07	2,09E-07	2,31E-08	2,16E-08	2,82E-08	5,44E-08	2,81E-07	1,19E-07	8,13E-08	1,08E-07	1,77E-08
April	1,89E-06	7,27E-07	1,05E-06	1,55E-07	9,34E-08	1,43E-08	1,77E-08	2,16E-08	5,64E-08	9,88E-08	4,22E-08	3,93E-08	1,14E-07	7,68E-09
Maj	2,30E-06	9,23E-07	1,15E-06	1,98E-07	1,48E-07	2,62E-08	2,30E-08	2,62E-08	5,72E-08	1,46E-07	5,62E-08	6,21E-08	1,16E-07	1,03E-08
Junij	2,37E-06	9,36E-07	1,16E-06	1,96E-07	1,64E-07	2,21E-08	2,33E-08	3,50E-08	6,96E-08	1,72E-07	6,27E-08	8,09E-08	1,34E-07	1,24E-08
Julij	2,76E-06	1,06E-06	9,86E-07	1,00E-07	2,04E-07	4,85E-08	4,30E-08	5,37E-08	1,06E-07	1,41E-07	6,29E-08	8,86E-08	7,52E-08	1,18E-08
Avgust	1,66E-06	9,39E-07	5,84E-07	1,20E-07	1,95E-07	1,44E-08	2,58E-08	2,80E-08	6,36E-08	1,19E-07	7,94E-08	6,98E-08	5,86E-08	1,20E-08
September	1,36E-06	7,32E-07	6,42E-07	1,16E-07	9,59E-08	9,95E-09	1,31E-08	1,46E-08	4,96E-08	9,41E-08	5,53E-08	3,31E-08	6,67E-08	8,68E-09
Oktober	1,40E-06	1,30E-06	4,10E-07	8,16E-08	1,42E-07	4,46E-09	1,05E-08	1,22E-08	3,14E-08	2,19E-07	1,05E-07	4,97E-08	4,98E-08	2,32E-08
November	2,30E-06	1,77E-06	7,86E-07	1,30E-07	1,97E-07	1,18E-08	1,08E-08	1,31E-08	5,01E-08	2,65E-07	1,48E-07	6,15E-08	8,11E-08	2,65E-08
December	2,79E-06	1,56E-06	1,21E-06	1,99E-07	1,75E-07	2,29E-08	2,18E-08	3,03E-08	8,39E-08	2,31E-07	9,47E-08	7,19E-08	1,31E-07	1,79E-08

Koeficientov sevanja iz oblaka

Lokacija	NEK - plant vent	NEK - ograja zahod	NEK - ograja vzhod	Spodnji Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško - Stara vas	Pesje	Dobova
Mesec	Povprečni mesečni (D/Q)/(s/m^2)													
Januar	2,99E-07	2,82E-07	4,90E-07	4,07E-07	2,58E-07	7,92E-08	3,22E-08	6,18E-08	1,18E-07	2,48E-07	2,15E-07	1,17E-07	3,95E-07	3,08E-08
Februar	3,24E-07	2,72E-07	6,25E-07	3,72E-07	2,19E-07	1,28E-07	5,60E-08	8,38E-08	1,80E-07	2,26E-07	1,20E-07	1,24E-07	4,20E-07	1,03E-08
Marec	3,91E-07	3,32E-07	5,62E-07	3,01E-07	2,66E-07	9,10E-08	6,55E-08	9,59E-08	1,70E-07	3,47E-07	1,83E-07	1,12E-07	2,41E-07	3,08E-08
April	2,27E-07	2,29E-07	4,78E-07	3,50E-07	2,22E-07	4,89E-08	4,92E-08	5,38E-08	1,26E-07	1,88E-07	7,07E-08	8,41E-08	4,05E-07	1,73E-08
Maj	2,70E-07	2,44E-07	4,72E-07	3,83E-07	3,18E-07	9,81E-08	2,72E-08	2,80E-08	1,01E-07	2,56E-07	1,15E-07	1,07E-07	2,91E-07	1,78E-08
Junij	1,03E-06	6,79E-07	1,46E-06	4,40E-07	3,70E-07	6,85E-08	4,77E-08	6,86E-08	1,54E-07	3,42E-07	1,13E-07	1,77E-07	4,11E-07	1,49E-08
Julij	2,38E-06	2,11E-06	2,63E-06	3,19E-07	6,54E-07	2,22E-07	1,30E-07	1,85E-07	3,37E-07	4,33E-07	1,34E-07	2,00E-07	2,41E-07	8,93E-09
Avgust	1,41E-06	1,24E-06	1,17E-06	4,11E-07	5,77E-07	4,09E-08	9,74E-08	9,81E-08	2,50E-07	3,87E-07	2,19E-07	2,13E-07	2,08E-07	2,67E-08
September	4,65E-07	4,30E-07	5,34E-07	2,73E-07	2,52E-07	3,64E-08	3,25E-08	4,64E-08	1,16E-07	2,55E-07	1,24E-07	8,64E-08	2,16E-07	2,14E-08
Oktober	9,66E-08	1,40E-07	2,04E-07	2,10E-07	2,77E-07	1,38E-08	2,99E-08	3,32E-08	7,80E-08	4,63E-07	3,07E-07	8,43E-08	1,47E-07	7,78E-08
November	2,25E-07	2,58E-07	3,62E-07	1,89E-07	4,35E-07	4,46E-08	2,42E-08	3,85E-08	8,66E-08	4,34E-07	4,31E-07	1,48E-07	2,10E-07	7,83E-08
December	2,21E-07	2,02E-07	3,85E-07	3,50E-07	2,55E-07	8,31E-08	5,44E-08	9,57E-08	1,80E-07	3,40E-07	2,37E-07	2,00E-07	3,12E-07	4,00E-08

9. ZEMLJA

LETO 2024 T – 57a

9. ZEMLJA - NEOBDELANA - poplavno področje ob Savi - 7D (mivkasta borovina, nekošeno področje)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Gmajnice							
Datum vzor.	27. 5. 2024							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m²)	0,1	41,9	51,5	66,0	210,9	159,4	+ trava	370,3
Oznaka vzorca	K24ZN11T51	K24ZN11AB51	K24ZN11C51	K24ZN11D51	K24ZN11E51			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
U-238	5,8E-01 ± 2E-01	1,4E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 3E+02	7,0E+03 ± 6E+02	5,0E+03 ± 4E+02	5,0E+03 ± 4E+02	1,2E+04 ± 7E+02
Ra-226	4,0E-01 ± 2E-01	1,8E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 2E+02	2,7E+03 ± 3E+02	8,6E+03 ± 9E+02	6,5E+03 ± 4E+02	6,5E+03 ± 4E+02	1,5E+04 ± 9E+02
Pb-210	9,0E-01 ± 3E-01	3,4E+03 ± 2E+02	3,2E+03 ± 2E+02	6,2E+02 †	6,6E+03 ± 4E+02	7,2E+03 ± 3E+02 x	7,2E+03 ± 3E+02 x	1,4E+04 ± 5E+02 x
Ra-228	3,2E-02 ± 6E-02 ‡	1,3E+03 ± 4E+01	1,7E+03 ± 6E+01	2,0E+03 ± 7E+01	6,6E+03 ± 3E+02	5,0E+03 ± 1E+02	5,0E+03 ± 1E+02	1,2E+04 ± 3E+02
Th-228	1,5E-02 ± 2E-02 ‡	1,3E+03 ± 4E+01	1,6E+03 ± 5E+01	2,0E+03 ± 6E+01	6,8E+03 ± 3E+02	4,9E+03 ± 9E+01	4,9E+03 ± 9E+01	1,2E+04 ± 3E+02
Th-230			1,3E+03 ± 8E+02		1,1E+04 ± 2E+03	1,3E+03 ± 8E+02	1,3E+03 ± 8E+02	1,2E+04 ± 2E+03
K-40	3,4E+01 ± 1E+00	1,6E+04 ± 6E+02	2,0E+04 ± 7E+02	2,4E+04 ± 8E+02	8,0E+04 ± 4E+03	6,0E+04 ± 1E+03	6,0E+04 ± 1E+03	1,4E+05 ± 4E+03
Be-7	1,1E+01 ± 6E-01	3,4E+02 ± 6E+01				3,4E+02 ± 6E+01	3,5E+02 ± 6E+01	3,4E+02 ± 6E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137		1,6E+03 ± 1E+02	2,0E+03 ± 8E+01	1,8E+03 ± 8E+01	6,6E+02 ± 4E+01	5,3E+03 ± 1E+02	5,3E+03 ± 1E+02	6,0E+03 ± 2E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,1E-02 ± 3E-03	3,2E+01 ± 4E+00	3,9E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 6E+00	1,4E+02 ± 2E+01	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	2,5E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Gmajnice						
Datum vzor.	27. 5. 2024						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje	Uteženo povprečje
Kol vzorca (kg)	0,11	0,34	0,37	0,38	0,40		
Kol. (kg/m²)	0,1	41,9	51,5	66,0	210,9	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K24ZN11T51	K24ZN11AB51	K24ZN11C51	K24ZN11D51	K24ZN11E51		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	8,0E+00 ± 3E+00	3,4E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 4E+00	3,2E+01 ± 4E+00	3,3E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00
Ra-226	5,5E+00 ± 3E+00	4,3E+01 ± 4E+00	4,1E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 4E+00	4,1E+01 ± 4E+00	4,1E+01 ± 2E+00	4,1E+01 ± 3E+00
Pb-210	1,2E+01 ± 4E+00	8,1E+01 ± 5E+00	6,2E+01 ± 4E+00	9,4E+00 †	3,1E+01 ± 2E+00	4,5E+01 ± 5E+01 x	3,7E+01 ± 4E+01 x
Ra-228	4,4E-01 ± 9E-01 ‡	3,1E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 7E-01	3,1E+01 ± 8E-01
Th-228	2,1E-01 ± 3E-01 ‡	3,2E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 5E-01	3,2E+01 ± 7E-01
Th-230			2,6E+01 ± 2E+01		5,2E+01 ± 9E+00	8,3E+00 ± 5E+00	3,3E+01 ± 6E+00
K-40	4,7E+02 ± 2E+01	3,9E+02 ± 1E+01	3,9E+02 ± 1E+01	3,7E+02 ± 1E+01	3,8E+02 ± 2E+01	3,8E+02 ± 8E+00	3,8E+02 ± 1E+01
Be-7	1,6E+02 ± 8E+00	8,2E+00 ± 1E+00				2,2E+00 ± 4E-01	9,3E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137		3,8E+01 ± 2E+00	3,9E+01 ± 2E+00	2,7E+01 ± 1E+00	3,1E+00 ± 2E-01	3,3E+01 ± 9E-01	1,6E+01 ± 4E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	2,9E-01 ± 4E-02	7,6E-01 ± 9E-02	7,5E-01 ± 8E-02	6,4E-01 ± 9E-02	6,6E-01 ± 1E-01	7,1E-01 ± 5E-02	6,8E-01 ± 6E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T – 57b

9. ZEMLJA - OBDELANA - poplavno področje ob Savi - 7D (rjava naplavina, normalno oranje)

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Gmajnice							
Datum vzor.	12. 11. 2024							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m²)	0,5	42,9	49,4	60,9	199,4	153,2	+ trava	352,6
Oznaka vzorca	K24ZN11TB1	K24ZN11ABB1	K24ZN11CB1	K24ZN11DB1	K24ZN11EB1			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
U-238	7,6E-01 ± 1E+00 ‡	1,5E+03 ± 2E+02	1,6E+03 ± 2E+02	2,2E+03 ± 2E+02	6,2E+03 ± 6E+02	5,2E+03 ± 4E+02	5,2E+03 ± 4E+02	1,1E+04 ± 7E+02
Ra-226	2,2E+00 ± 2E+00	2,1E+03 ± 2E+02	2,5E+03 ± 2E+02	3,1E+03 ± 3E+02	8,8E+03 ± 8E+02	7,6E+03 ± 4E+02	7,6E+03 ± 4E+02	1,6E+04 ± 9E+02
Pb-210	4,4E+01 ± 2E+00	2,0E+03 ± 1E+03	5,5E+03 ± 2E+03	3,8E+03 ± 3E+02	6,4E+03 ± 6E+02	1,1E+04 ± 2E+03	1,1E+04 ± 2E+03	1,8E+04 ± 2E+03
Ra-228	7,9E-01 ± 2E-01	1,4E+03 ± 5E+01	1,6E+03 ± 6E+01	1,9E+03 ± 7E+01	5,2E+03 ± 2E+02	4,9E+03 ± 1E+02	4,9E+03 ± 1E+02	1,0E+04 ± 2E+02
Th-228	6,2E-01 ± 1E-01	1,4E+03 ± 4E+01	1,6E+03 ± 4E+01	2,1E+03 ± 9E+01	5,5E+03 ± 2E+02	5,1E+03 ± 1E+02	5,1E+03 ± 1E+02	1,1E+04 ± 2E+02
Th-230				2,3E+03 ± 7E+02		2,3E+03 ± 7E+02	2,3E+03 ± 7E+02	2,3E+03 ± 7E+02
K-40	1,7E+02 ± 6E+00	1,7E+04 ± 6E+02	1,9E+04 ± 6E+02	2,3E+04 ± 1E+03	6,5E+04 ± 2E+03	5,9E+04 ± 1E+03	5,9E+04 ± 1E+03	1,2E+05 ± 3E+03
Be-7	1,8E+02 ± 8E+00	1,6E+02 ± 8E+01		5,4E+01 ± 7E+01 ‡		2,2E+02 ± 1E+02	4,0E+02 ± 1E+02	2,2E+02 ± 1E+02
I-131								
Cs-134								
Cs-137	4,9E-01 ± 8E-02	1,6E+03 ± 6E+01	2,0E+03 ± 6E+01	2,4E+03 ± 2E+02	2,4E+03 ± 9E+01	6,0E+03 ± 2E+02	6,0E+03 ± 2E+02	8,3E+03 ± 2E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,6E-01 ± 2E-02	2,9E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 3E+00	6,3E+01 ± 5E+00	1,3E+02 ± 2E+01	1,2E+02 ± 7E+00	1,2E+02 ± 7E+00	2,5E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Gmajnice						
Datum vzor.	12. 11. 2024						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo	Uteženo
Kol vzorca (kg)	0,11	0,33	0,34	0,37	0,40	povprečje	povprečje
Kol. (kg/m²)	0,5	42,9	49,4	60,9	199,4	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K24ZN11TB1	K24ZN11ABB1	K24ZN11CB1	K24ZN11DB1	K24ZN11EB1		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	1,5E+00 ± 2E+00 ‡	3,4E+01 ± 5E+00	3,2E+01 ± 5E+00	3,6E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 3E+00	3,4E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 2E+00
Ra-226	4,4E+00 ± 3E+00	4,8E+01 ± 5E+00	5,0E+01 ± 5E+00	5,1E+01 ± 5E+00	4,4E+01 ± 4E+00	5,0E+01 ± 3E+00	4,7E+01 ± 3E+00
Pb-210	8,7E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 3E+01	1,1E+02 ± 4E+01	6,2E+01 ± 5E+00	3,2E+01 ± 3E+00	7,3E+01 ± 1E+01	5,0E+01 ± 6E+00
Ra-228	1,6E+00 ± 5E-01	3,1E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 7E-01	2,8E+01 ± 6E-01
Th-228	1,2E+00 ± 2E-01	3,3E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 9E-01	3,4E+01 ± 1E+00	2,7E+01 ± 8E-01	3,3E+01 ± 7E-01	3,0E+01 ± 5E-01
Th-230				3,8E+01 ± 1E+01		1,5E+01 ± 5E+00	6,5E+00 ± 2E+00
K-40	3,4E+02 ± 1E+01	3,9E+02 ± 1E+01	3,8E+02 ± 1E+01	3,8E+02 ± 2E+01	3,2E+02 ± 1E+01	3,8E+02 ± 9E+00	3,5E+02 ± 8E+00
Be-7	3,5E+02 ± 2E+01	3,8E+00 ± 2E+00		8,9E-01 ± 1E+00 ‡		1,4E+00 ± 7E-01	6,1E-01 ± 3E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	9,5E-01 ± 2E-01	3,8E+01 ± 1E+00	4,0E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 3E+00	1,2E+01 ± 5E-01	3,9E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 6E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	5,1E-01 ± 5E-02	6,7E-01 ± 9E-02	6,0E-01 ± 6E-02	1,0E+00 ± 9E-02	6,5E-01 ± 8E-02	7,9E-01 ± 5E-02	7,1E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T – 59a

9. ZEMLJA - NEOBDELANA - poplavno področje ob Savi - 6E (mivkasta borovina, košeno področje)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Kusova Vrbina							
Datum vzor.	27. 5. 2024							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m²)	0,2	54,7	57,6	66,0	179,5	178,4	+ trava	357,9
Oznaka vzorca	K24ZN2T51	K24ZN2AB51	K24ZN2C51	K24ZN2D51	K24ZN2E51			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
U-238	4,9E-01 ± 5E-01 ‡	1,3E+03 ± 2E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 3E+02	4,8E+03 ± 1E+03	4,0E+03 ± 4E+02	4,0E+03 ± 4E+02	8,8E+03 ± 1E+03
Ra-226	2,0E+00 ± 1E+00	1,8E+03 ± 3E+02	2,2E+03 ± 2E+02	2,3E+03 ± 2E+02	6,3E+03 ± 6E+02	6,2E+03 ± 4E+02	6,2E+03 ± 4E+02	1,2E+04 ± 7E+02
Pb-210	3,7E+00 ± 1E+00	2,2E+03 ± 1E+03	2,5E+03 ± 1E+02	1,1E+03 ± 2E+03 ‡	5,5E+03 ± 6E+02	5,8E+03 ± 2E+03	5,8E+03 ± 2E+03	1,1E+04 ± 2E+03
Ra-228	7,4E-02 ± 2E-01 ‡	1,6E+03 ± 5E+01	1,5E+03 ± 4E+01	1,7E+03 ± 6E+01	4,9E+03 ± 2E+02	4,8E+03 ± 9E+01	4,8E+03 ± 9E+01	9,7E+03 ± 2E+02
Th-228	1,1E-01 ± 8E-02	1,7E+03 ± 5E+01	1,6E+03 ± 5E+01	1,6E+03 ± 5E+01	4,6E+03 ± 2E+02	4,9E+03 ± 8E+01	4,9E+03 ± 8E+01	9,6E+03 ± 2E+02
Th-230			1,3E+03 ± 6E+02		4,3E+03 ± 3E+03	1,3E+03 ± 6E+02	1,3E+03 ± 6E+02	5,7E+03 ± 3E+03
K-40	1,1E+02 ± 4E+00	2,1E+04 ± 7E+02	2,1E+04 ± 7E+02	2,3E+04 ± 8E+02	6,2E+04 ± 2E+03	6,5E+04 ± 1E+03	6,5E+04 ± 1E+03	1,3E+05 ± 3E+03
Be-7	3,8E+01 ± 2E+00	4,1E+02 ± 6E+01				4,1E+02 ± 6E+01	4,5E+02 ± 6E+01	4,1E+02 ± 6E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137		1,7E+02 ± 1E+01	2,1E+02 ± 2E+01	1,6E+02 ± 2E+01	4,9E+02 ± 4E+01	5,4E+02 ± 3E+01	5,4E+02 ± 3E+01	1,0E+03 ± 5E+01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	----------	1,5E+01 ± 3E+00	2,0E+01 ± 3E+00	3,5E+00 †	3,1E+01 ± 9E+00	3,8E+01 ± 4E+00 x	3,8E+01 ± 4E+00 x	6,9E+01 ± 1E+01 x

Vzorč. mesto	Kusova Vrbina						
Datum vzor.	27. 5. 2024						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje	Uteženo povprečje
Kol vzorca (kg)	0,13	0,40	0,40	0,36	0,44		
Kol. (kg/m²)	0,2	54,7	57,6	66,0	179,5	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K24ZN2T51	K24ZN2AB51	K24ZN2C51	K24ZN2D51	K24ZN2E51		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	2,1E+00 ± 2E+00 ‡	2,4E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 5E+00	2,7E+01 ± 7E+00	2,2E+01 ± 2E+00	2,5E+01 ± 4E+00
Ra-226	8,4E+00 ± 6E+00	3,2E+01 ± 5E+00	3,7E+01 ± 4E+00	3,5E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 2E+00	3,5E+01 ± 2E+00
Pb-210	1,5E+01 ± 4E+00	3,9E+01 ± 2E+01	4,4E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 3E+01 ‡	3,1E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 1E+01	3,2E+01 ± 6E+00
Ra-228	3,1E-01 ± 8E-01 ‡	2,9E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 8E-01	2,5E+01 ± 9E-01	2,7E+01 ± 1E+00	2,7E+01 ± 5E-01	2,7E+01 ± 6E-01
Th-228	4,8E-01 ± 3E-01	3,0E+01 ± 9E-01	2,8E+01 ± 8E-01	2,5E+01 ± 7E-01	2,6E+01 ± 9E-01	2,8E+01 ± 5E-01	2,7E+01 ± 5E-01
Th-230			2,3E+01 ± 1E+01		2,4E+01 ± 1E+01	7,4E+00 ± 3E+00	1,6E+01 ± 7E+00
K-40	4,5E+02 ± 2E+01	3,9E+02 ± 1E+01	3,6E+02 ± 1E+01	3,5E+02 ± 1E+01	3,4E+02 ± 1E+01	3,6E+02 ± 7E+00	3,5E+02 ± 7E+00
Be-7	1,6E+02 ± 8E+00	7,5E+00 ± 1E+00				2,3E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137		3,1E+00 ± 2E-01	3,6E+00 ± 3E-01	2,4E+00 ± 2E-01	2,7E+00 ± 2E-01	3,0E+00 ± 1E-01	2,9E+00 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	----------	2,8E-01 ± 5E-02	3,4E-01 ± 6E-02	5,3E-02 †	1,7E-01 ± 5E-02	2,2E-01 ± 2E-01 x	1,9E-01 ± 2E-01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T – 59b

9. ZEMLJA - NEOBDELANA - poplavno področje ob Savi - 7D (mivkasta borovina, nekošeno področje)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Kusova Vrbina							
Datum vzor.	12. 11. 2024							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m²)	0,4	49,8	47,8	56,4	205,2	154,1	+ trava	359,2
Oznaka vzorca	K24ZN2TB1	K24ZN2ABB1	K24ZN2CB1	K24ZN2DB1	K24ZN2EB1			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
U-238		9,4E+02 ± 2E+02	1,6E+03 ± 2E+02	1,2E+03 ± 2E+02	4,3E+03 ± 7E+02	3,8E+03 ± 3E+02	3,8E+03 ± 3E+02	8,0E+03 ± 8E+02
Ra-226	1,4E+00 ± 1E+00	2,2E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 2E+02	7,7E+03 ± 7E+02	6,3E+03 ± 3E+02	6,3E+03 ± 3E+02	1,4E+04 ± 8E+02
Pb-210	3,3E+01 ± 2E+00	2,8E+03 ± 2E+02	3,2E+03 ± 2E+02	2,9E+02 †	4,7E+03 ± 4E+03 ‡	6,2E+03 ± 3E+02 x	6,3E+03 ± 3E+02 x	1,1E+04 ± 4E+03 x
Ra-228	5,9E-01 ± 2E-01	1,6E+03 ± 5E+01	1,6E+03 ± 5E+01	1,5E+03 ± 5E+01	5,0E+03 ± 2E+02	4,7E+03 ± 9E+01	4,7E+03 ± 9E+01	9,7E+03 ± 2E+02
Th-228	6,3E-01 ± 1E-01	1,6E+03 ± 5E+01	1,6E+03 ± 5E+01	1,5E+03 ± 4E+01	5,1E+03 ± 1E+02	4,7E+03 ± 8E+01	4,7E+03 ± 8E+01	9,8E+03 ± 2E+02
Th-230								
K-40	1,9E+02 ± 7E+00	2,0E+04 ± 7E+02	2,0E+04 ± 8E+02	1,8E+04 ± 1E+03	6,6E+04 ± 2E+03	5,8E+04 ± 2E+03	5,8E+04 ± 2E+03	1,2E+05 ± 3E+03
Be-7	1,7E+02 ± 7E+00	2,4E+02 ± 5E+01				2,4E+02 ± 5E+01	4,1E+02 ± 5E+01	2,4E+02 ± 5E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,5E-01 ± 6E-02	2,5E+02 ± 1E+01	3,6E+02 ± 2E+01	1,7E+02 ± 1E+01	5,7E+02 ± 4E+01	7,8E+02 ± 3E+01	7,8E+02 ± 3E+01	1,4E+03 ± 5E+01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	----------	2,2E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 4E+00	1,3E+01 ± 3E+00	8,2E+01 ± 2E+01	6,8E+01 ± 6E+00	6,8E+01 ± 6E+00	1,5E+02 ± 3E+01

Vzorč. mesto	Kusova Vrbina						
Datum vzor.	12. 11. 2024						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje	Uteženo povprečje
Kol vzorca (kg)	0,10	0,36	0,33	0,36	0,39		
Kol. (kg/m²)	0,4	49,8	47,8	56,4	205,2	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K24ZN2TB1	K24ZN2ABB1	K24ZN2CB1	K24ZN2DB1	K24ZN2EB1		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238		1,9E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,4E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 2E+00
Ra-226	3,2E+00 ± 2E+00	4,3E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 4E+00	3,7E+01 ± 3E+00	3,8E+01 ± 4E+00	4,1E+01 ± 2E+00	3,9E+01 ± 2E+00
Pb-210	7,9E+01 ± 4E+00	5,6E+01 ± 4E+00	6,6E+01 ± 4E+00	5,1E+00 †	2,3E+01 ± 2E+01 ‡	4,0E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 1E+01
Ra-228	1,4E+00 ± 5E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 1E+00	2,7E+01 ± 9E-01	2,4E+01 ± 8E-01	3,0E+01 ± 6E-01	2,7E+01 ± 5E-01
Th-228	1,5E+00 ± 2E-01	3,3E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 7E-01	2,5E+01 ± 7E-01	3,0E+01 ± 5E-01	2,7E+01 ± 4E-01
Th-230							
K-40	4,5E+02 ± 2E+01	4,0E+02 ± 1E+01	4,2E+02 ± 2E+01	3,2E+02 ± 2E+01	3,2E+02 ± 1E+01	3,8E+02 ± 1E+01	3,5E+02 ± 8E+00
Be-7	4,1E+02 ± 2E+01	4,8E+00 ± 1E+00				1,6E+00 ± 3E-01	6,7E-01 ± 1E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,5E-01 ± 1E-01	4,9E+00 ± 3E-01	7,6E+00 ± 4E-01	3,1E+00 ± 2E-01	2,8E+00 ± 2E-01	5,1E+00 ± 2E-01	3,8E+00 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	----------	4,5E-01 ± 7E-02	6,9E-01 ± 8E-02	2,3E-01 ± 5E-02	4,0E-01 ± 1E-01	4,4E-01 ± 4E-02	4,2E-01 ± 7E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 60a

9. ZEMLJA - NEOBDELANA - poplavno področje ob Savi - 6D (rjava naplavina, košeno področje)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Amerika							
Datum vzor.	27. 5. 2024							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m²)	0,3	54,6	66,2	74,1	234,1	194,9	+ trava	428,9
Oznaka vzorca	K24ZN3T51	K24ZN3AB51	K24ZN3C51	K24ZN3D51	K24ZN3E51			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
U-238	8,4E-01 ± 5E-01	1,4E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 2E+02	2,3E+03 ± 2E+02	7,0E+03 ± 7E+02	5,7E+03 ± 4E+02	5,7E+03 ± 4E+02	1,3E+04 ± 8E+02
Ra-226	2,0E+00 ± 9E-01	2,3E+03 ± 2E+02	3,0E+03 ± 3E+02	3,3E+03 ± 3E+02	9,9E+03 ± 9E+02	8,6E+03 ± 5E+02	8,6E+03 ± 5E+02	1,8E+04 ± 1E+03
Pb-210	1,3E+01 ± 1E+00	3,9E+03 ± 3E+02	4,3E+03 ± 3E+02	3,5E+03 ± 3E+02	8,7E+03 ± 8E+02	1,2E+04 ± 5E+02	1,2E+04 ± 5E+02	2,0E+04 ± 1E+03
Ra-228	8,3E-01 ± 2E-01	1,8E+03 ± 6E+01	2,2E+03 ± 7E+01	2,5E+03 ± 8E+01	7,7E+03 ± 2E+02	6,5E+03 ± 1E+02	6,5E+03 ± 1E+02	1,4E+04 ± 3E+02
Th-228	8,1E-01 ± 8E-02	1,8E+03 ± 6E+01	2,3E+03 ± 6E+01	2,3E+03 ± 7E+01	7,5E+03 ± 2E+02	6,4E+03 ± 1E+02	6,4E+03 ± 1E+02	1,4E+04 ± 2E+02
Th-230		1,3E+03 ± 1E+03 ‡			9,2E+03 ± 8E+03 ‡	1,3E+03 ± 1E+03	1,3E+03 ± 1E+03	1,1E+04 ± 8E+03
K-40	1,7E+02 ± 5E+00	2,3E+04 ± 8E+02	2,7E+04 ± 9E+02	2,9E+04 ± 1E+03	9,3E+04 ± 3E+03	7,8E+04 ± 2E+03	7,8E+04 ± 2E+03	1,7E+05 ± 4E+03
Be-7	1,0E+02 ± 4E+00	3,6E+02 ± 8E+01				3,6E+02 ± 8E+01	4,6E+02 ± 8E+01	3,6E+02 ± 8E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	3,5E-01 ± 5E-02	7,9E+02 ± 3E+01	1,1E+03 ± 7E+01	1,5E+03 ± 9E+01	4,8E+03 ± 2E+02	3,4E+03 ± 1E+02	3,4E+03 ± 1E+02	8,2E+03 ± 2E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	----------	5,4E+01 ± 9E+00	3,0E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 6E+00	1,6E+02 ± 2E+01	1,2E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 1E+01	2,9E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Amerika						
Datum vzor.	27. 5. 2024						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje	Uteženo povprečje
Kol vzorca (kg)	0,14	0,36	0,38	0,38	0,41		
Kol. (kg/m²)	0,3	54,6	66,2	74,1	234,1	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K24ZN3T51	K24ZN3AB51	K24ZN3C51	K24ZN3D51	K24ZN3E51		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	3,0E+00 ± 2E+00	2,6E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 3E+00	3,2E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 2E+00
Ra-226	7,0E+00 ± 3E+00	4,2E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 4E+00	4,4E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00
Pb-210	4,5E+01 ± 4E+00	7,1E+01 †	6,5E+01 †	4,7E+01 ± 4E+00	3,7E+01 ± 4E+00	6,0E+01 ± 2E+00	4,8E+01 ± 2E+00
Ra-228	2,9E+00 ± 7E-01	3,3E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 6E-01	3,3E+01 ± 6E-01
Th-228	2,9E+00 ± 3E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 6E-01	3,2E+01 ± 5E-01
Th-230		2,4E+01 ± 2E+01 ‡			3,9E+01 ± 3E+01 ‡	6,8E+00 ± 7E+00	2,5E+01 ± 2E+01
K-40	6,0E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 1E+01	3,9E+02 ± 1E+01	4,0E+02 ± 1E+01	4,0E+02 ± 8E+00	4,0E+02 ± 8E+00
Be-7	3,7E+02 ± 1E+01	6,6E+00 ± 1E+00				1,9E+00 ± 4E-01	8,4E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,2E+00 ± 2E-01	1,4E+01 ± 6E-01	1,7E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 8E-01	1,7E+01 ± 6E-01	1,9E+01 ± 5E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	----------	9,9E-01 ± 2E-01	4,6E-01 ± 6E-02	5,3E-01 ± 8E-02	7,0E-01 ± 7E-02	6,4E-01 ± 6E-02	6,7E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.

LETO 2024 T - 60b

9. ZEMLJA - NEOBDELANA - poplavno področje ob Savi - 6D (rjava naplavina, košeno področje)

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Amerika							
Datum vzor.	12. 11. 2024							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m²)	0,4	57,4	59,8	67,7	226,4	184,8	+ trava	411,2
Oznaka vzorca	K24ZN3TB1	K24ZN3ABB1	K24ZN3CB1	K24ZN3DB1	K24ZN3EB1			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)							
U-238	3,3E+00 ± 1E+00	1,9E+03 ± 2E+02	1,8E+03 ± 2E+02	2,4E+03 ± 3E+02	6,3E+03 ± 6E+02	6,1E+03 ± 4E+02	6,1E+03 ± 4E+02	1,2E+04 ± 7E+02
Ra-226	6,1E+00 ± 2E+00	2,5E+03 ± 3E+02	2,6E+03 ± 2E+02	2,9E+03 ± 3E+02	1,0E+04 ± 1E+03	7,9E+03 ± 4E+02	7,9E+03 ± 4E+02	1,8E+04 ± 1E+03
Pb-210	4,2E+01 ± 3E+00	3,5E+03 ± 2E+02	3,3E+03 ± 3E+02	1,2E+03 ± 2E+03 ‡	9,1E+03 ± 7E+02	7,9E+03 ± 2E+03	8,0E+03 ± 2E+03	1,7E+04 ± 2E+03
Ra-228	3,0E+00 ± 4E-01	1,8E+03 ± 7E+01	1,9E+03 ± 6E+01	2,2E+03 ± 7E+01	7,2E+03 ± 3E+02	5,9E+03 ± 1E+02	5,9E+03 ± 1E+02	1,3E+04 ± 3E+02
Th-228	2,5E+00 ± 2E-01	1,8E+03 ± 7E+01	1,9E+03 ± 6E+01	2,1E+03 ± 6E+01	7,4E+03 ± 3E+02	5,9E+03 ± 1E+02	5,9E+03 ± 1E+02	1,3E+04 ± 3E+02
Th-230		2,3E+03 ± 6E+02	4,1E+03 ± 1E+03		1,1E+04 ± 3E+03	6,5E+03 ± 2E+03	6,5E+03 ± 2E+03	1,8E+04 ± 4E+03
K-40	3,0E+02 ± 1E+01	2,3E+04 ± 1E+03	2,4E+04 ± 9E+02	2,7E+04 ± 9E+02	8,8E+04 ± 4E+03	7,4E+04 ± 2E+03	7,4E+04 ± 2E+03	1,6E+05 ± 5E+03
Be-7	1,8E+02 ± 7E+00	1,9E+02 ± 4E+01				1,9E+02 ± 4E+01	3,7E+02 ± 4E+01	1,9E+02 ± 4E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,5E+00 ± 1E-01	9,1E+02 ± 5E+01	9,8E+02 ± 7E+01	1,3E+03 ± 6E+01	4,0E+03 ± 2E+02	3,1E+03 ± 1E+02	3,1E+03 ± 1E+02	7,1E+03 ± 3E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	----------	5,5E+01 ± 6E+00	3,3E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 5E+00	1,5E+02 ± 2E+01	1,3E+02 ± 8E+00	1,3E+02 ± 8E+00	2,9E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Amerika						
Datum vzor.	12. 11. 2024						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje	Uteženo povprečje
Kol vzorca (kg)	0,14	0,35	0,37	0,34	0,41		
Kol. (kg/m²)	0,4	57,4	59,8	67,7	226,4	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K24ZN3TB1	K24ZN3ABB1	K24ZN3CB1	K24ZN3DB1	K24ZN3EB1		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	7,6E+00 ± 2E+00	3,3E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 5E+00	2,8E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 2E+00
Ra-226	1,4E+01 ± 5E+00	4,3E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 2E+00	4,4E+01 ± 3E+00
Pb-210	9,6E+01 ± 6E+00	6,1E+01 ± 4E+00	5,4E+01 ± 4E+00	1,8E+01 ± 2E+01 ‡	4,0E+01 ± 3E+00	4,3E+01 ± 9E+00	4,1E+01 ± 4E+00
Ra-228	6,9E+00 ± 8E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 7E-01	3,2E+01 ± 7E-01
Th-228	5,8E+00 ± 5E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 6E-01	3,2E+01 ± 7E-01
Th-230		4,1E+01 ± 1E+01	6,9E+01 ± 2E+01		4,9E+01 ± 2E+01	3,5E+01 ± 8E+00	4,3E+01 ± 9E+00
K-40	7,0E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 2E+01	4,0E+02 ± 1E+01	4,0E+02 ± 1E+01	3,9E+02 ± 2E+01	4,0E+02 ± 9E+00	3,9E+02 ± 1E+01
Be-7	4,1E+02 ± 2E+01	3,3E+00 ± 8E-01				1,0E+00 ± 2E-01	4,7E-01 ± 1E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,5E+00 ± 3E-01	1,6E+01 ± 9E-01	1,6E+01 ± 1E+00	1,9E+01 ± 9E-01	1,8E+01 ± 1E+00	1,7E+01 ± 6E-01	1,7E+01 ± 6E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	----------	9,6E-01 ± 1E-01	5,6E-01 ± 6E-02	6,2E-01 ± 7E-02	6,8E-01 ± 7E-02	7,1E-01 ± 4E-02	6,9E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

HRANILA

10. MLEKO
11. SADJE
12. POVRTNINE IN POLJŠČINE
13. MESO IN KOKOŠJA JAJCA

LETO 2024 T - 61a
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Pesje						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (kg)	5,4	5,1	5,2	5,3	5,3	5,3	
Oznaka vzorca	MLPE0124	MLPE0224	MLPE0324	MLPE0424	MLPE0524	MLPE0624	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg) SVEŽE SNOVI						
U-238					3,6E-02 ± 4E-02 ‡	9,2E-01 ± 7E-01	1,6E-01 ± 1E-01
Ra-226	2,3E-01 ± 1E-01	6,0E-02 ± 1E-02	1,5E-02 ± 4E-03			2,7E-02 ± 1E-02	5,5E-02 ± 2E-02
Pb-210	1,8E-01 ± 7E-02	1,0E-01 ± 8E-02	8,2E-02 ± 3E-02	1,3E-01 ± 5E-02	7,8E-02 ± 3E-02	1,2E-01 ± 6E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Ra-228			4,9E-02 ± 1E-02		7,1E-02 ± 2E-02		2,0E-02 ± 4E-03
Th-228		2,7E-02 ± 2E-02 ‡	2,4E-02 ± 1E-02			5,7E-02 ± 2E-02	1,8E-02 ± 5E-03
Th-230							
K-40	4,9E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 3E+00	4,8E+01 ± 3E+00	4,6E+01 ± 2E+00	4,8E+01 ± 3E+00	4,6E+01 ± 2E+00	4,8E+01 ± 1E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,9E-02 ± 6E-03	2,7E-02 ± 6E-03	1,4E-02 ± 2E-03	7,1E-03 ± 3E-03	1,6E-02 ± 2E-03	1,2E-02 ± 3E-03	1,6E-02 ± 2E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,8E-02 ± 7E-03	1,4E-02 ± 5E-03	5,6E-02 ± 9E-03	2,5E-03 ± 1E-03	2,6E-02 ± 6E-03	1,6E-02 ± 5E-03	2,2E-02 ± 3E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 61b
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Pesje						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (kg)	5,3	5,1	5,3	5,2	5,4	5,3	
Oznaka vzorca	MLPE0724	MLPE0824	MLPE0924	MLPE1024	MLPE1124	MLPE1224	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg) SVEŽE SNOVI						
U-238							7,9E-02 ± 6E-02
Ra-226	6,7E-02 ± 9E-03				1,3E-02 ± 7E-03		3,4E-02 ± 9E-03
Pb-210	2,1E-01 ± 9E-02	9,5E-02 ± 4E-02	8,5E-02 ± 8E-02 ‡	2,2E-01 ± 9E-02	1,2E-01 ± 5E-02	2,0E-01 ± 8E-02	1,4E-01 ± 2E-02
Ra-228		4,6E-02 ± 2E-02		2,9E-02 ± 2E-02			1,6E-02 ± 3E-03
Th-228	2,2E-02 ± 1E-02		2,1E-02 ± 2E-02		3,5E-02 ± 1E-02	4,0E-02 ± 2E-02	1,9E-02 ± 4E-03
Th-230							
K-40	5,0E+01 ± 2E+00	4,7E+01 ± 3E+00	4,6E+01 ± 2E+00	4,8E+01 ± 3E+00	4,7E+01 ± 3E+00	4,8E+01 ± 2E+00	4,8E+01 ± 7E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,3E-02 ± 5E-03	2,7E-02 ± 3E-03	2,0E-02 ± 4E-03	1,6E-02 ± 5E-03	2,4E-02 ± 4E-03	1,2E-02 ± 5E-03	1,8E-02 ± 1E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,8E-03 ± 7E-04	1,7E-02 ± 5E-03	2,5E-03 ± 1E-03	1,1E-02 ± 3E-03	1,8E-03 ± 7E-04	4,4E-03 ± 2E-03	1,4E-02 ± 1E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 62a
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Mrtvice (Krško)						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (kg)	5,3	5,3	5,4	5,3	5,4	5,3	
Oznaka vzorca	MLMR0124	MLMR0224	MLMR0324	MLMR0424	MLMR0524	MLMR0624	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg) SVEŽE SNOVI						
U-238			5,5E-02 ± 3E-02	2,6E-01 ± 8E-02			5,2E-02 ± 1E-02
Ra-226			2,4E-02 ± 4E-03	1,5E-02 ± 7E-03	1,1E-01 ± 1E-01 ‡		2,5E-02 ± 2E-02
Pb-210	1,8E-01 ± 7E-02	1,1E-01 ± 6E-02	8,9E-02 ± 4E-02	1,8E-01 ± 7E-02	7,6E-02 ± 3E-02	1,1E-01 ± 5E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Ra-228			9,2E-03 ± 7E-03	6,7E-02 ± 3E-02	1,3E-02 ± 9E-03	2,3E-02 ± 1E-02	1,9E-02 ± 5E-03
Th-228			1,1E-02 ± 7E-03	1,6E-02 ± 2E-02 ‡			4,6E-03 ± 3E-03
Th-230							
K-40	4,3E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00	4,2E+01 ± 2E+00	4,5E+01 ± 2E+00	4,1E+01 ± 2E+00	4,4E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 9E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	7,3E-03 ± 3E-03	2,1E-02 ± 9E-03	6,4E-03 ± 3E-03	2,2E-02 ± 9E-03	4,7E-03 ± 1E-03	2,0E-02 ± 4E-03	1,4E-02 ± 2E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	3,4E-02 ± 2E-02	2,0E-02 ± 4E-03	2,9E-02 ± 1E-02	3,8E-03 ± 2E-03	1,4E-02 ± 5E-03	2,8E-03 ± 1E-03	1,7E-02 ± 4E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 62b
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Mrtvice (Krško)						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (kg)	5,0	5,1	5,0	5,4	5,3	5,3	
Oznaka vzorca	MLMR0724	MLMR0824	MLMR0924	MLMR1024	MLMR1124	MLMR1224	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg) SVEŽE SNOVI						
U-238	6,8E-02 ± 6E-02 ‡						3,2E-02 ± 9E-03
Ra-226	3,8E-02 ± 7E-03				5,9E-02 ± 4E-02		2,1E-02 ± 9E-03
Pb-210	1,8E-01 ± 7E-02	4,2E-02 ± 2E-02	1,7E-01 ± 7E-02	7,6E-02 ± 5E-02	1,5E-01 ± 6E-02	7,3E-02 ± 3E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Ra-228	7,7E-02 ± 3E-02				3,3E-02 ± 3E-02 ‡		1,9E-02 ± 4E-03
Th-228	2,7E-02 ± 2E-02	5,1E-02 ± 1E-02		3,2E-02 ± 1E-02	4,3E-02 ± 2E-02		1,5E-02 ± 3E-03
Th-230							
K-40	3,7E+01 ± 2E+00	3,8E+01 ± 2E+00	4,4E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 6E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,2E-02 ± 9E-03	8,0E-03 ± 1E-03	2,2E-02 ± 9E-03	1,0E-02 ± 4E-03	2,0E-02 ± 8E-03	8,9E-03 ± 4E-03	1,4E-02 ± 2E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,9E-03 ± 1E-03	5,0E-03 ± 2E-03	5,0E-03 ± 2E-03	6,7E-03 ± 3E-03	3,3E-03 ± 1E-03	2,9E-03 ± 1E-03	1,1E-02 ± 2E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 63a
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (kg)	5,3	5,3	5,0	5,0	5,3	5,2	
Oznaka vzorca	MLBG0124	MLBG0224	MLBG0324	MLBG0424	MLBG0524	MLBG0624	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg) SVEŽE SNOVI						
U-238							
Ra-226		2,2E-02 ± 1E-02	3,4E-02 ± 5E-03	1,0E-02 ± 8E-03		2,6E-02 ± 1E-02	1,5E-02 ± 4E-03
Pb-210	2,0E-01 ± 8E-02	1,9E-01 ± 8E-02	1,1E-01 ± 4E-02	6,3E-02 ± 4E-02	5,1E-02 ± 2E-02	1,0E-01 ± 7E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Ra-228						3,6E-02 ± 2E-02	5,9E-03 ± 4E-03
Th-228			2,9E-02 ± 1E-02				4,8E-03 ± 2E-03
Th-230							
K-40	4,8E+01 ± 2E+00	4,9E+01 ± 3E+00	5,0E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 3E+00	5,0E+01 ± 1E+00
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,6E-02 ± 6E-03	2,7E-02 ± 1E-02	1,7E-02 ± 3E-03	2,0E-02 ± 3E-03	1,6E-02 ± 2E-03	2,8E-02 ± 1E-02	2,1E-02 ± 3E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,6E-02 ± 7E-03	6,3E-03 ± 4E-03	3,3E-02 ± 8E-03	3,8E-03 ± 2E-03	2,4E-02 ± 6E-03	5,0E-03 ± 2E-03	1,5E-02 ± 2E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 63b
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brege						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (kg)	4,8	5,3	4,9	5,0	5,3	5,2	
Oznaka vzorca	MLBG0724	MLBG0824	MLBG0924	MLBG1024	MLBG1124	MLBG1224	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg) SVEŽE SNOVI						
U-238							
Ra-226	3,4E-02 ± 4E-03			4,8E-02 ± 1E-02		1,1E-01 ± 6E-02	2,3E-02 ± 5E-03
Pb-210	1,1E-01 ± 4E-02	1,3E-01 ± 5E-02	1,9E-01 ± 8E-02	1,9E-01 ± 8E-02	5,5E-02 ± 2E-02	1,8E-01 ± 7E-02	1,3E-01 ± 2E-02
Ra-228		1,4E-02 ± 1E-02 ‡	3,3E-02 ± 3E-02				6,8E-03 ± 3E-03
Th-228			8,5E-02 ± 2E-02	2,9E-02 ± 2E-02			1,2E-02 ± 2E-03
Th-230							
K-40	5,1E+01 ± 3E+00	5,2E+01 ± 2E+00	4,6E+01 ± 3E+00	4,7E+01 ± 3E+00	4,6E+01 ± 2E+00	4,7E+01 ± 3E+00	4,9E+01 ± 7E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,2E-02 ± 5E-03	6,0E-03 ± 2E-03	2,7E-02 ± 1E-02	1,2E-02 ± 8E-03	1,5E-02 ± 2E-03	2,6E-02 ± 1E-02	1,9E-02 ± 2E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,8E-03 ± 7E-04	2,2E-03 ± 9E-04	5,0E-03 ± 2E-03	7,2E-03 ± 4E-03	1,7E-03 ± 7E-04	2,7E-03 ± 1E-03	9,1E-03 ± 1E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T - 64
10. MLEKO – posamični vzorci (I-131)

Specifična analiza I-131 (*)

Datum vzorčenja	Datum meritve	Vzorčevalno mesto		
		Pesje	Mrtvice (Krško)	Brege (Leskovec)
		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI I-131 [Bq/kg]		
17. 6. 2024	19. 6. 2024	< 5,43E-03	< 5,05E-03	< 5,60E-03
1. 7. 2024	2. 7. 2024	< 6,63E-03	< 4,34E-03	< 5,05E-03
1. 7. 2024	2. 7. 2024	< 6,63E-03	< 4,34E-03	< 5,05E-03
20. 8. 2024	21. 8. 2024	< 4,22E-03	< 4,36E-03	< 4,42E-03
2. 9. 2024	3. 9. 2024	< 4,52E-03	< 5,74E-03	< 4,43E-03
17. 9. 2024	18. 9. 2024	< 4,44E-03	< 6,79E-03	< 5,22E-03
1. 10. 2024	3. 10. 2024	< 4,58E-03	< 5,17E-03	< 4,67E-03
8. 10. 2024	9. 10. 2024	< 3,85E-03	< 4,13E-03	< 4,49E-03

LETO 2024 T - 65
11. HRANILA – SADJE - jabolka

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Evrosad Krško - sadovnjak okoli NEK	Evrosad Krško - sadovnjak okoli NEK	Evrosad Krško - Žadovinek	Evrosad Krško - Žadovinek	Evrosad Krško - sadovnjak okoli NEK	Povprečje - jabolka (*)
Vrsta vzorca	Jabolka - Zlati Delišes	Jabolka - Granny Smith	Jabolka - Elstar	Jabolka - Gala Royal	Jabolka - Evelina	
Datum vzor.	16. 9. 2024	16. 9. 2024	13. 8. 2024	16. 8. 2024	16. 9. 2024	
Kol. vzorca (kg)	0,28	0,28	0,33	0,31	0,28	
Odstoteksuhe snovi	14,40	13,30	15,70	13,80	16,80	
Oznaka vzorca	K24HSJB191	K24HSJB491	K24HSJB581	K24HSJB781	K24HSJB1391	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)					
U-238	2,6E-01 ± 2E-01		2,1E-01 ± 2E-01 ‡		4,0E-01 ± 2E-01	1,7E-01 ± 7E-02
Ra-226		9,3E-03 ± 4E-02 ‡	6,3E-02 ± 8E-02 ‡		1,2E-02 ± 1E-01 ‡	1,7E-02 ± 3E-02
Pb-210	8,9E-02 †	1,1E-01 ± 6E-02	8,0E-02 †	1,5E-02 †	9,4E-02 †	7,8E-02 ± 2E-02 x
Ra-228						
Th-228	5,1E-03 ± 2E-02 ‡	9,3E-03 ± 8E-03 ‡	3,2E-02 ± 5E-02 ‡	1,9E-02 ± 3E-02 ‡	6,8E-02 ± 3E-02	2,7E-02 ± 1E-02
Th-230						
K-40	3,8E+01 ± 1E+00	4,3E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	4,6E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 7E-01
Be-7	3,1E-01 ± 2E-01	1,5E-01 ± 1E-01		4,2E-01 ± 9E-02	6,1E-01 ± 2E-01	3,0E-01 ± 6E-02
I-131						
Cs-134						
Cs-137				1,2E-02 ± 7E-03		2,5E-03 ± 1E-03
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
Sr-89/Sr-90	1,2E-03 †	1,0E-03 †	9,0E-04 †	9,3E-04 †	1,2E-03 †	1,0E-03 ± 6E-05 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 66
11. HRANILA – SADJE - hruške

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Evrosad - Leskovec		Evrosad Krško - sadovnjak okoli NEK		Povprečje - hruške (*)	
Vrsta vzorca	Hruške - Viljamovke		Hruške - Conferans			
Datum vzor.	16. 8. 2024		16. 9. 2024			
Kol. vzorca (kg)	0,39		0,33			
Odstoteksuhe snovi	15,20		15,70			
Oznaka vzorca	K24HSHR781		K24HSHR191			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)					
U-238	8,9E-02 ± 9E-02	‡			4,4E-02 ± 5E-02	
Ra-226	6,4E-02 ± 5E-02		4,8E-02 ± 6E-02	‡	5,6E-02 ± 4E-02	
Pb-210	8,1E-03 ± 8E-02	‡	2,1E-02	†	1,4E-02 ± 6E-03	x
Ra-228						
Th-228	8,4E-03 ± 8E-03	‡	1,8E-02 ± 2E-02	‡	1,3E-02 ± 1E-02	
Th-230						
K-40	4,7E+01 ± 2E+00		4,6E+01 ± 2E+00		4,7E+01 ± 1E+00	
Be-7	2,9E-01 ± 2E-01		1,4E+00 ± 2E-01		8,5E-01 ± 1E-01	
I-131			8,7E-02 ± 7E-02	‡	4,4E-02 ± 4E-02	
Cs-134						
Cs-137						
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
Sr-89/Sr-90	1,2E-02 ± 2E-03		1,1E-03	†	6,3E-03 ± 5E-03	x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 67
11. HRANILA – SADJE – jagode

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Evrosad Krško - sadovnjak okoli NEK		Pesje		Povprečje - jagode (*)	
Vrsta vzorca	Jagode		Jagode			
Datum vzor.	9. 5. 2024		9. 5. 2024			
Kol. vzorca (kg)	0,19		0,16			
Odstoteksuhe snovi	7,10		7,30			
Oznaka vzorca	K24HSJG351		K24HSJG951			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)					
U-238	2,7E-01 ± 3E-02				1,3E-01 ± 2E-02	
Ra-226	8,8E-02 ± 5E-02		1,2E-01 ± 7E-02		1,1E-01 ± 4E-02	
Pb-210	1,6E-02	†	7,1E-02 ± 4E-02		4,4E-02 ± 3E-02	x
Ra-228			3,3E-02 ± 2E-02		1,6E-02 ± 1E-02	
Th-228	9,2E-03 ± 9E-03	‡	2,7E-02 ± 2E-02		1,8E-02 ± 1E-02	
Th-230						
K-40	3,4E+01 ± 2E+00		2,6E+01 ± 9E-01		3,0E+01 ± 1E+00	
Be-7	2,2E-02 ± 5E-02	‡	8,2E-02 ± 4E-02		5,2E-02 ± 3E-02	
I-131						
Cs-134						
Cs-137						
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
Sr-89/Sr-90	1,4E-02 ± 2E-03		1,2E-02 ± 2E-03		1,3E-02 ± 1E-03	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 68
11. HRANILA – SADJE – rdeče in belo grozdje ter bezeg

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Leskovec	Leskovec	Vrbina
Vrsta vzorca	Rdeče grozdje	Belo grozdje	Bezeg
Datum vzor.	1. 9. 2024	1. 9. 2024	9. 5. 2024
Kol. vzorca (kg)	0,36	0,33	0,07
Odstoteksuhe snovi	19,60	21,20	16,90
Oznaka vzorca	K24HSGR191	K24HSGR291	K24HSBZ351
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)		
U-238	2,7E-01 ± 3E-02		
Ra-226	8,8E-02 ± 5E-02	1,2E-01 ± 7E-02	6,1E-01 ± 4E-01
Pb-210	1,6E-02 †	7,1E-02 ± 4E-02	2,3E+00 ± 2E-01
Ra-228		3,3E-02 ± 2E-02	1,6E-01 ± 6E-02
Th-228	9,2E-03 ± 9E-03 ‡	2,7E-02 ± 2E-02	1,0E-01 ± 2E-02
Th-230			
K-40	3,4E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 9E-01	1,6E+02 ± 5E+00
Be-7	2,2E-02 ± 5E-02 ‡	8,2E-02 ± 4E-02	1,4E+01 ± 7E-01
I-131			
Cs-134			
Cs-137			4,3E-02 ± 2E-02
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Sr-89/Sr-90	1,4E-02 ± 2E-03	1,2E-02 ± 2E-03	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.

LETO 2024 T - 69
12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – por, fižol, kumare, paprika

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Vihre (Leskovec pri Krškem)	Vihre (Leskovec pri Krškem)	Brege (Leskovec pri Krškem)	Brege (Leskovec pri Krškem)
Vrsta vzorca	Por	Fižol	Kumare	Paprika
Datum vzor.	30. 7. 2024	30. 7. 2024	30. 7. 2024	30. 7. 2024
Masa vzorca (kg)	2,90	1,35	5,90	3,00
Oznaka vzorca	SZNEK050724	SZNEK060724	SZNEK070724	SZNEK080724
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)			
U-238	3,3E-1 ± 2E-01			2,6E-1 ± 1E-01
Ra-226	4,2E-2 ± 2E-02		1,0E-2 ± 1E-02	2,5E-2 ± 1E-02
Pb-210	3,8E-1 ± 1E-01	3,3E-1 ± 2E-01	1,7E-1 ± 7E-02	2,4E-1 ± 1E-01
Ra-228				
Th-228	4,3E-2 ± 3E-02	6,9E-2 ± 4E-02		
Th-230				
K-40	1,2E+2 ± 6E+00	2,5E+2 ± 1E+01	5,4E+1 ± 3E+00	5,1E+1 ± 3E+00
Be-7	1,5E+0 ± 1E-01			
I-131				
Cs-134				
Cs-137	4,6E-2 ± 2E-02	5,0E-2 ± 2E-02	2,2E-2 ± 5E-03	3,2E-2 ± 1E-02
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	5,7E-2 ± 1E-02	7,0E-3 ± 3E-03	1,5E-2 ± 7E-03	6,4E-3 ± 3E-03

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 70
12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – solata, zelje, krompir, blitva

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Mrtvice (Krško)	Brege (Leskovec pri Krškem)	Dolenja vas	Vihre
Vrsta vzorca	Solata	Zelje	Krompir	Blitva
Datum vzor.	17. 6. 2024	17. 6. 2024	17. 6. 2024	30. 7. 2024
Masa vzorca (kg)	2,46	3,10	2,77	5,11
Oznaka vzorca	SZNEK010624	SZNEK020624	SZNEK030624	SZNEK040724
IZOTOP	**SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)**			
U-238				2,7E+0 ± 1E+00
Ra-226	3,4E-2 ± 1E-02	4,5E-2 ± 2E-02		
Pb-210	7,0E-1 ± 1E-01	1,2E-1 ± 1E-01	3,4E-1 ± 1E-01	7,9E-1 ± 1E-01
Ra-228	5,5E-2 ± 3E-02			
Th-228		5,0E-2 ± 4E-02		
Th-230				
K-40	7,6E+1 ± 4E+00	7,0E+1 ± 4E+00	1,3E+2 ± 6E+00	1,3E+2 ± 7E+00
Be-7	8,8E+0 ± 3E-01			3,7E+0 ± 1E-01
I-131				
Cs-134				
Cs-137	3,6E-2 ± 8E-03	4,4E-2 ± 2E-02	3,4E-2 ± 1E-02	2,3E-2 ± 9E-03
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	7,8E-2 ± 9E-03	1,0E-2 ± 4E-03	4,8E-3 ± 2E-03	2,6E-2 ± 1E-02

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 71
12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – feferoni, paradižnik, korenje, peteršilj (listi)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brege (Leskovec pri Krškem)	Pesje (Krško)	Pesje (Krško)	Pesje (Krško)
Vrsta vzorca	Feferoni	Paradižnik	Korenje	Peteršilj (listi)
Datum vzor.	30. 7. 2024	30. 7. 2024	30. 7. 2024	30. 7. 2024
Masa vzorca (kg)	2,17	4,98	2,20	1,58
Oznaka vzorca	SZNEK090724	SZNEK100724	SZNEK110724	SZNEK120724
IZOTOP	**SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)**			
U-238			1,7E-1 ± 1E-01	
Ra-226	7,3E-2 ± 2E-02	4,1E-2 ± 1E-02	1,3E-1 ± 2E-02	1,3E-1 ± 4E-02
Pb-210	3,5E-1 ± 1E-01	1,1E-1 ± 9E-02	3,1E-1 ± 1E-01	1,9E+0 ± 3E-01
Ra-228	6,7E-2 ± 3E-02		1,4E-1 ± 3E-02	4,6E-1 ± 1E-01
Th-228	8,8E-2 ± 3E-02	3,7E-2 ± 3E-02	3,1E-2 ± 3E-02	1,6E-1 ± 9E-02
Th-230				
K-40	7,2E+1 ± 3E+00	6,7E+1 ± 4E+00	1,3E+2 ± 6E+00	2,8E+2 ± 2E+01
Be-7	4,2E-1 ± 8E-02			1,1E+1 ± 5E-01
I-131				
Cs-134				
Cs-137	3,2E-2 ± 1E-02	3,4E-2 ± 1E-02		
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	7,9E-3 ± 3E-03	4,6E-3 ± 2E-03	1,2E-1 ± 2E-02	2,3E-1 ± 4E-02

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 72
12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – rdeča pesa, bučke, čebula, ječmen

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Žadovinek (Leskovec pri Krškem)	Dolenja vas	Dolenja vas	Trnje (Brežice)
Vrsta vzorca	Rdeča pesa	Bučke	Čebula	Ječmen
Datum vzor.	30. 7. 2024	30. 7. 2024	30. 7. 2024	17. 9. 2024
Masa vzorca (kg)	3,64	8,33	2,92	1,24
Oznaka vzorca	SZNEK130724	SZNEK140724	SZNEK150724	SZNEK160924
IZOTOP	**SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)**			
U-238				
Ra-226	9,2E-2 ± 7E-03		4,2E-2 ± 1E-02	1,1E+1 ± 3E-01
Pb-210	1,9E-1 ± 8E-02	7,4E-2 ± 3E-02	1,9E-1 ± 8E-02	2,0E+0 ± 7E-01
Ra-228			1,1E-1 ± 3E-02	4,9E-1 ± 3E-01
Th-228		2,3E-2 ± 6E-03		
Th-230				
K-40	1,4E+2 ± 7E+00	4,6E+1 ± 2E+00	7,2E+1 ± 4E+00	1,3E+2 ± 8E+00
Be-7	6,7E-1 ± 5E-02			5,7E+0 ± 6E-01
I-131				
Cs-134				
Cs-137				
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	3,2E-2 ± 1E-02	5,2E-2 ± 1E-02	5,0E-3 ± 2E-03	8,5E-2 ± 3E-02

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 73
12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – koruza, oves, ječmen, koruza

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Trnje (Brežice)	Vrbina (Krško)	Žadovinek (Leskovec pri Krškem)	Vrbina (Krško)
Vrsta vzorca	Koruza	Oves	Ječmen	Koruza
Datum vzor.	17. 9. 2024	17. 9. 2024	17. 9. 2024	8. 10. 2024
Masa vzorca (kg)	1,89	1,50	1,50	1,60
Oznaka vzorca	SZNEK170924	SZNEK180924	SZNEK190924	SZNEK201024
IZOTOP	**SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)**			
U-238				
Ra-226		2,4E-1 ± 4E-02	9,1E-1 ± 9E-02	3,6E-2 ± 2E-02
Pb-210	7,2E-1 ± 3E-01	5,8E-1 ± 2E-01	2,9E+0 ± 6E-01	4,1E-1 ± 2E-01
Ra-228	1,9E-1 ± 9E-02			
Th-228		2,6E-1 ± 8E-02		
Th-230				
K-40	1,0E+2 ± 5E+00	1,4E+2 ± 8E+00	1,5E+2 ± 9E+00	1,1E+2 ± 6E+00
Be-7		3,1E+0 ± 2E-01	8,9E+0 ± 6E-01	
I-131				
Cs-134				
Cs-137				
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	2,0E-2 ± 8E-03	2,8E-2 ± 1E-02	3,9E-2 ± 2E-02	2,0E-2 ± 8E-03

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T - 74
13. HRANILA – KOKOŠJE MESO IN JAJCA

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad	Gornji Lenart	Povprečje - jajca (*)	Spodnji Stari Grad
Vrsta vzorca	Kokošja jajca	Kokošja jajca		Kokošje meso
Datum vzor.	6. 2. 2024	1. 2. 2024		6. 2. 2024
Kol. vzorca (kg)	0,26	0,23		0,08
Odstoteksuhe snovi	23,80	23,60		27,10
Oznaka vzorca	K24HJ121	K24HJ1021		K24HMK121
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)			
U-238	2,0E-01 ± 4E-01 ‡	2,0E-01 ± 1E-01	2,0E-01 ± 2E-01	9,2E-01 ± 9E-01 ‡
Ra-226	1,6E-01 ± 3E-01 ‡	3,5E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 2E-01	1,9E+00 ± 1E+00
Pb-210	8,8E-02 ± 7E-01 ‡	4,0E-02 †	6,4E-02 ± 2E-02 x	1,0E+00 ± 2E+00 ‡
Ra-228	6,8E-02 ± 9E-02 ‡	1,3E-01 ± 7E-02	9,8E-02 ± 5E-02	6,9E-01 ± 4E-01
Th-228	8,7E-02 ± 9E-02 ‡	5,9E-02 ± 2E-02	7,3E-02 ± 5E-02	1,4E-01 ± 1E-01
Th-230				
K-40	4,1E+01 ± 2E+00	4,1E+01 ± 2E+00	4,1E+01 ± 1E+00	9,9E+01 ± 4E+00
Be-7				
I-131				
Cs-134				
Cs-137				1,3E-01 ± 6E-02
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-89/Sr-90	2,1E-03 †	1,8E-02 ± 4E-03	1,0E-02 ± 8E-03 x	8,1E-03 †

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2024 T - 75
13. HRANILA – SVINJSKO, GOVEJE IN DIVJAČINSKO MESO

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Sevnica (Poreklo: Kalce)	Sevnica (Poreklo: Mali Podlog)	Povprečje - svinjsko meso (*)	Sevnica (Poreklo: Mrtvice)	Leskovec
Vrsta vzorca	Svinjsko meso	Svinjsko meso		Goveje meso	Divjačina - srna
Datum vzor.	5. 4. 2024	5. 4. 2024		5. 4. 2024	5. 4. 2024
Kol. vzorca (kg)	0,39	0,40		0,36	0,19
Odstoteksuhe snovi	26,50	25,10		25,40	85,50
Oznaka vzorca	K24HMS741	K24HMS841		K24HMG841	K24HMD841
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SVEŽE SNOVI (Bq/kg)				
U-238				4,1E-01 ± 4E-01 ‡	5,8E-01 ± 6E-01 ‡
Ra-226	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	1,7E-01 ± 2E-01 ‡	1,9E-01 ± 1E-01	4,0E-01 ± 3E-01	4,3E-01 ± 4E-01 ‡
Pb-210	5,1E-02 †	6,9E-01 ± 5E-01	3,7E-01 ± 3E-01 x	1,3E-01 †	1,8E-01 †
Ra-228				1,6E-01 ± 9E-02	
Th-228	1,5E-02 ± 2E-02 ‡	4,2E-03 ± 3E-02 ‡	9,4E-03 ± 2E-02	5,9E-02 ± 3E-02	1,9E-01 ± 6E-02
Th-230					
K-40	1,1E+02 ± 6E+00	1,1E+02 ± 4E+00	1,1E+02 ± 3E+00	1,0E+02 ± 3E+00	3,4E+02 ± 2E+01
Be-7					6,5E-01 ± 3E+00 ‡
I-131					
Cs-134					
Cs-137	8,8E-03 ± 2E-02 ‡	7,5E-02 ± 2E-02	4,2E-02 ± 1E-02	7,4E-02 ± 2E-02	1,3E-01 ± 7E-02
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-89/Sr-90	1,5E-03 †	1,3E-03 †	1,4E-03 ± 7E-05 x	1,7E-03 †	9,4E-03 †

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 pa na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.
(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.
(x) Pri meji detekcije se kot predpostavljena vrednost upošteva 1/4 meje detekcije, zato se negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

OBRATOVALNI MONITORING RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NEK ZARADI HE BREŽICE

1. VODA – REKA SAVA

VODA – SESTAVLJENI MESEČNI VZORCI
VODA – POSAMIČNI VZORCI

2. SEDIMENTI
VODNA BIOTA – RIBE

3. PODTALNICA
VODA - POSAMIČNI VZORCI

LETO 2024 T – HE 1a
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	48,46	46,60	49,25	46,40	52,40	47,85	
Oznaka vzorca	NEKVHEJ0124	NEKVHEJ0224	NEKVHEJ0324	NEKVHEJ0424	NEKVHEJ0524	NEKVHEJ0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238		2,1E+00 ± 2E+00			4,0E+00 ± 2E+00	6,1E+01 ± 3E+01	1,1E+01 ± 5E+00
Ra-226	5,9E-01 ± 4E-01	1,6E+00 ± 3E-01				6,3E-01 ± 5E-01	4,6E-01 ± 1E-01
Pb-210	6,3E+00 ± 2E+00	1,7E+01 ± 3E+00	1,3E+00 ± 5E-01	2,3E+00 ± 9E-01	4,5E+00 ± 2E+00	7,9E+00 ± 2E+00	6,6E+00 ± 7E-01
Ra-228							
Th-228		1,1E+00 ± 6E-01		1,3E+00 ± 3E-01			4,1E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	2,4E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 4E+00	1,6E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 2E+00	1,8E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 4E+00	2,3E+01 ± 2E+00
Be-7	1,3E+01 ± 2E+00	6,7E+01 ± 3E+00	1,6E+01 ± 1E+00	1,8E+01 ± 2E+00		2,4E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 8E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	7,4E-01 ± 3E-01	5,8E-01 ± 2E-01	2,0E-01 ± 8E-02	3,3E-01 ± 1E-01	4,2E-01 ± 1E-01	7,4E-01 ± 3E-01	5,0E-01 ± 9E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,2E+00 ± 3E-01	1,0E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 4E-01	1,8E-01 ± 7E-02	1,5E+00 ± 1E-01
H-3*	2,2E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 2E+02	4,1E+03 ± 3E+02	1,4E+03 ± 1E+02	7,8E+02 ± 1E+02	1,0E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD. Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T – HE 2a
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom						
Datum vzor.	januar	februar	marec	april	maj	junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	92,65	82,33	85,86	84,14	91,53	77,76	
Susp. snov (g/m3)	16,06	6,52	70,64	3,92	6,99	5,92	
Oznaka vzorca	NEKFHEJ0124	NEKFHEJ0224	NEKFHEJ0324	NEKFHEJ0424	NEKFHEJ0524	NEKFHEJ0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238	2,5E+00 ± 2E+00				1,3E+00 ± 1E+00	2,6E+00 ± 2E+00	1,1E+00 ± 5E-01
Ra-226	4,3E-01 ± 3E-01	7,1E-01 ± 3E-01	5,8E-01 ± 2E-01		1,3E+00 ± 1E+00	5,8E-01 ± 3E-01	6,0E-01 ± 2E-01
Pb-210	3,2E+00 ± 1E+00	1,3E+01 ± 5E+00	7,8E+00 ± 3E+00	1,1E+00 ± 4E-01	3,2E+00 ± 1E+00	9,9E+00 ± 5E+00	6,4E+00 ± 1E+00
Ra-228			1,7E+00 ± 4E-01			2,1E+00 ± 6E-01	6,4E-01 ± 1E-01
Th-228	5,9E-01 ± 4E-01			2,1E-01 ± 2E-01			1,3E-01 ± 7E-02
Th-230							
K-40	9,1E+00 ± 3E+00					2,7E+00 ± 3E+00	2,0E+00 ± 6E-01
Be-7						3,4E+00 ± 9E-01	5,6E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	5,4E-01 ± 2E-01	6,4E-01 ± 3E-01	2,2E-01 ± 8E-02	1,8E-01 ± 7E-02	3,2E-01 ± 1E-01	4,2E-01 ± 2E-01	3,9E-01 ± 7E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 1b
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	49,65	49,55	46,85	49,05	47,70	49,10	
Oznaka vzorca	NEKVHEJ0724	NEKVHEJ0824	NEKVHEJ0924	NEKVHEJ1024	NEKVHEJ1124	NEKVHEJ1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	2,4E+00 ± 2E+00			2,4E+00 ± 2E+00	2,7E+00 ± 2E+00		6,3E+00 ± 3E+00
Ra-226	7,2E-01 ± 6E-01			1,4E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 2E-01	1,3E+00 ± 4E-01	6,4E-01 ± 9E-02
Pb-210	1,3E+01 ± 3E+00	1,4E+01 ± 1E+00	2,0E+00 ± 8E-01	2,0E+01 ± 2E+00	3,8E+00 ± 2E+00	5,4E+00 ± 2E+00	8,2E+00 ± 5E-01
Ra-228	1,5E+00 ± 8E-01			2,1E+00 ± 4E-01	1,2E+00 ± 4E-01		4,1E-01 ± 8E-02
Th-228	1,3E+00 ± 5E-01	3,3E+00 ± 8E-01	1,1E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 4E-01		1,5E+00 ± 7E-01	9,0E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	2,4E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 3E+00	2,3E+01 ± 5E+00	2,3E+01 ± 1E+00
Be-7	9,4E+01 ± 4E+00	5,1E+01 ± 2E+00	7,7E+00 ± 1E+00	1,1E+02 ± 4E+00			3,4E+01 ± 7E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	5,3E-01 ± 2E-01	2,4E-01 ± 1E-01	3,0E-01 ± 1E-01	3,9E-01 ± 2E-01	3,4E-01 ± 1E-01	9,5E-01 ± 4E-01	4,8E-01 ± 6E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,0E+00 ± 2E-01	5,2E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 2E-01	1,0E+00 ± 2E-01	9,5E-01 ± 2E-01	7,5E-01 ± 2E-01	1,2E+00 ± 7E-02
H-3*	8,4E+02 ± 1E+02	8,3E+02 ± 1E+02	7,7E+02 ± 9E+01	1,1E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	4,7E+02 ± 8E+01	1,4E+03 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD. Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T – HE 2b
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom						
Datum vzor.	julij	avgust	september	oktober	november	december	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	82,99	86,36	85,07	82,78	68,04	69,89	
Susp. snov (g)	8,58	6,92	4,29	14,67	5,07	4,41	
Oznaka vzorca	NEKFHEJ0724	NEKFHEJ0824	NEKFHEJ0924	NEKFHEJ1024	NEKFHEJ1124	NEKFHEJ1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)						
U-238	2,8E+00 ± 1E+00	2,9E+01 ± 2E+01		1,7E+00 ± 1E+00			3,3E+00 ± 2E+00
Ra-226			3,5E-01 ± 3E-01		8,7E-01 ± 3E-01		4,0E-01 ± 1E-01
Pb-210	4,0E+00 ± 2E+00	3,0E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 2E+00	2,8E+00 ± 1E+00	4,5E+00 ± 2E+00	2,7E+00 ± 1E+00	4,8E+00 ± 7E-01
Ra-228		1,2E+00 ± 5E-01		7,7E-01 ± 3E-01			4,8E-01 ± 8E-02
Th-228			1,0E+00 ± 3E-01	1,3E+00 ± 3E-01			2,6E-01 ± 5E-02
Th-230							
K-40			1,6E+01 ± 2E+00	1,0E+01 ± 2E+00		2,9E+00 ± 2E+00	3,4E+00 ± 4E-01
Be-7				1,5E+00 ± 4E-01			4,1E-01 ± 9E-02
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,5E-01 ± 1E-01	5,1E-01 ± 2E-01	3,5E-01 ± 1E-01	3,0E-01 ± 1E-01	4,1E-01 ± 2E-01	2,4E-01 ± 1E-01	3,7E-01 ± 5E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 3a
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, levi breg						
Datum vzor.	4. 1. 2024	1. 2. 2024	4. 3. 2024	2. 4. 2024	30. 4. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	42,70	42,27	41,90	43,20	42,20	42,65	
Oznaka vzorca	RSHEL0124	RSHEL0224	RSHEL0324	RSHEL0424	RSHEL0524	RSHEL0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238	7,7E+00 ± 2E+00	2,0E+00 ± 2E+00	4,3E+00 ± 2E+00	3,5E+00 ± 8E-01		3,1E+00 ± 3E+00	3,4E+00 ± 8E-01
Ra-226	1,4E+01 ± 4E-01		1,0E+00 ± 3E-01	8,4E-01 ± 1E-01			2,7E+00 ± 9E-02
Pb-210	1,0E+01 ± 2E+00	4,3E+00 ± 2E+00	5,8E+00 ± 2E+00	4,6E+00 ± 6E-01	5,0E+00 ± 7E-01	5,6E+00 ± 2E+00	5,9E+00 ± 7E-01
Ra-228	1,5E+00 ± 5E-01	2,6E+00 ± 6E-01	1,5E+00 ± 5E-01	2,1E+00 ± 2E-01			1,3E+00 ± 2E-01
Th-228	1,2E+00 ± 5E-01		1,1E+00 ± 5E-01	2,7E+00 ± 6E-01	1,2E+00 ± 2E-01		1,0E+00 ± 2E-01
Th-230							
K-40	3,0E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 4E+00	2,7E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 2E+00	3,1E+01 ± 5E+00	2,8E+01 ± 1E+00
Be-7	1,7E+01 ± 1E+00	1,0E+01 ± 1E+00	9,8E+00 ± 1E+00	5,3E+00 ± 5E-01	2,4E+01 ± 1E+00		1,1E+01 ± 4E-01
I-131					2,0E+00 ± 2E-01		3,4E-01 ± 3E-02
Cs-134							
Cs-137	4,2E-01 ± 2E-01	5,7E-01 ± 2E-01	3,9E-01 ± 2E-01	2,8E-01 ± 5E-02	3,3E-01 ± 1E-01	4,1E-01 ± 2E-01	4,0E-01 ± 7E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	6,1E-01 ± 2E-01	3,7E-01 ± 2E-01	1,7E-01 ± 7E-02	1,1E-01 ± 4E-02	1,2E+00 ± 6E-01	1,7E+00 ± 3E-01	6,9E-01 ± 1E-01
H-3	5,3E+02 ± 9E+01	5,4E+02 ± 9E+01	6,2E+02 ± 9E+01	3,6E+02 ± 8E+01	4,8E+02 ± 9E+01	4,8E+02 ± 9E+01	5,0E+02 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD, radiokemijske analize H-3 pa na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T – HE 3b
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, levi breg						
Datum vzor.	1.7.24	1.8.24	2.9.24	1.10.24	4.11.24	2.12.24	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	41,95	42,65	43,05	42,95	42,85	42,20	
Oznaka vzorca	RSHEL0724	RSHEL0824	RSHEL0924	RSHEL1024	RSHEL1124	RSHEL1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238					2,7E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 2E+00	2,2E+00 ± 5E-01
Ra-226	8,7E-01 ± 4E-01	1,2E+00 ± 4E-01			1,6E+00 ± 4E-01	5,1E+00 ± 4E-01	2,1E+00 ± 8E-02
Pb-210	7,0E+00 ± 2E+00	3,0E+00 ± 2E+00	7,7E+00 ± 9E-01	6,1E+00 ± 2E+00	4,3E+00 ± 2E+00	2,2E+01 ± 3E+00	7,1E+00 ± 6E-01
Ra-228	1,3E+00 ± 7E-01	1,7E+00 ± 9E-01			1,4E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 6E-01	1,1E+00 ± 1E-01
Th-228			1,4E+00 ± 4E-01	1,2E+00 ± 6E-01	9,1E+00 ± 2E+00		1,5E+00 ± 2E-01
Th-230							
K-40	2,8E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 5E+00	4,5E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 5E+00	1,9E+01 ± 4E+00	4,4E+01 ± 5E+00	3,0E+01 ± 1E+00
Be-7	1,6E+01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 1E+00	1,5E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 2E+00	9,4E+01 ± 4E+00	1,9E+01 ± 5E-01
I-131			2,9E+00 ± 3E-01				4,1E-01 ± 3E-02
Cs-134							
Cs-137	6,4E-01 ± 3E-01	8,6E-01 ± 3E-01	3,4E-01 ± 1E-01	4,6E-01 ± 1E-01	6,9E-01 ± 3E-01	6,3E-01 ± 3E-01	5,0E-01 ± 6E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,5E+00 ± 2E-01	4,6E+00 ± 4E-01	1,9E-01 ± 8E-02	2,0E+00 ± 3E-01	5,4E-01 ± 2E-01	8,1E-01 ± 3E-01	1,1E+00 ± 8E-02
H-3	6,9E+02 ± 9E+01	6,4E+02 ± 9E+01	4,9E+02 ± 8E+01	6,4E+02 ± 9E+01	6,2E+02 ± 9E+01	5,2E+02 ± 9E+01	5,5E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD, radiokemijske analize H-3 pa na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T – HE 4a
1. REKA SAVA – VODA – posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, desni breg						
Datum vzor.	4. 1. 2024	1. 2. 2024	4. 3. 2024	2. 4. 2024	30. 4. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	43,00	42,76	44,20	44,00	42,75	42,85	
Oznaka vzorca	RSHED0124	RSHED0224	RSHED0324	RSHED0424	RSHED0524	RSHED0624	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238		3,2E+00 ± 3E+00	4,6E+00 ± 2E+00		5,4E+00 ± 2E+00	2,0E+01 ± 2E+01	5,6E+00 ± 3E+00
Ra-226	2,0E+01 ± 6E-01	5,2E-01 ± 4E-01	9,1E-01 ± 3E-01	4,8E-01 ± 3E-01	7,4E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 4E-01	5,1E+00 ± 2E-01
Pb-210	6,8E+00 ± 3E+00	3,4E+00 ± 2E+00	3,5E+00 ± 2E+00	2,1E+00 ± 2E+00 ‡	4,4E+00 ± 2E+00	1,0E+01 ± 3E+00	5,1E+00 ± 9E-01
Ra-228	1,8E+00 ± 6E-01		1,3E+00 ± 6E-01	1,4E+00 ± 5E-01	1,6E+00 ± 6E-01		1,0E+00 ± 2E-01
Th-228	1,1E+00 ± 7E-01			4,6E-01 ± 5E-01 ‡	3,1E+00 ± 3E+00		7,8E-01 ± 5E-01
Th-230							
K-40	5,3E+01 ± 5E+00	2,3E+01 ± 5E+00	3,4E+01 ± 4E+00	1,1E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 4E+00	1,1E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 2E+00
Be-7	3,1E+01 ± 2E+00		7,3E+00 ± 1E+00	2,9E+00 ± 7E-01	3,0E+01 ± 2E+00	5,1E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 6E-01
I-131						3,4E+00 ± 6E-01	5,7E-01 ± 1E-01
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	3,8E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 1E-01	1,6E-01 ± 6E-02	3,0E+00 ± 4E-01	1,0E+00 ± 1E-01	7,2E-01 ± 3E-01	9,3E-01 ± 9E-02
H-3	4,9E+02 ± 9E+01	3,3E+02 ± 8E+01	5,2E+02 ± 8E+01	3,8E+02 ± 8E+01	6,4E+02 ± 9E+01	5,2E+02 ± 9E+01	4,8E+02 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD, radiokemijske analize H-3 pa na IJS na Odseku O-2.
(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2024 T – HE 4b
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, desni breg						
Datum vzor.	1. 7. 2024	1. 8. 2024	2. 9. 2024	1. 10. 2024	4. 11. 2024	2. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	43,95	45,00	44,40	43,85	43,95	43,45	
Oznaka vzorca	RSHED0724	RSHED0824	RSHED0924	RSHED1024	RSHED1124	RSHED1224	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238	3,6E+01 ± 2E+01			5,4E+00 ± 2E+00			6,3E+00 ± 2E+00
Ra-226					1,5E+00 ± 4E-01	1,9E+00 ± 3E-01	2,8E+00 ± 1E-01
Pb-210	9,8E+00 ± 2E+00	2,0E+00 ± 8E-01	7,6E+00 ± 2E+00	5,8E+00 ± 2E+00	5,2E+00 ± 2E+00	4,2E+00 ± 2E+00	5,4E+00 ± 6E-01
Ra-228	8,2E-01 ± 5E-01		1,5E+00 ± 6E-01	1,0E+00 ± 6E-01	1,4E+00 ± 5E-01	1,4E+00 ± 9E-01	1,0E+00 ± 2E-01
Th-228			1,2E+01 ± 3E+00	2,4E+00 ± 6E-01			1,6E+00 ± 3E-01
Th-230							
K-40	2,1E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 3E+00	4,5E+01 ± 4E+00	1,4E+01 ± 4E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 5E+00	2,6E+01 ± 1E+00
Be-7	1,7E+01 ± 1E+00	5,3E+00 ± 8E-01	5,2E+00 ± 1E+00	4,7E+00 ± 1E+00	3,0E+01 ± 2E+00	2,1E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 4E-01
I-131		1,3E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 4E-01				5,9E-01 ± 6E-02
Cs-134							
Cs-137							
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,1E-01 ± 5E-02	8,9E+00 ± 8E-01	1,0E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 2E-01	7,6E-01 ± 2E-01	9,4E-01 ± 2E-01	1,6E+00 ± 9E-02
H-3	8,3E+02 ± 9E+01	5,6E+02 ± 8E+01	5,8E+02 ± 9E+01	6,3E+02 ± 8E+01	5,9E+02 ± 9E+01	5,7E+02 ± 9E+01	5,5E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize Sr-90/Sr-89 so bile opravljene na ZVD, radiokemijske analize H-3 pa na IJS na Odseku O-2.

LETO 2024 T – HE 5
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	46,00	45,30	45,10	43,60	
Oznaka vzorca	RSHEJK124	RSHEJK224	RSHEJK324	RSHEJK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)				
U-238				3,3E+00 ± 2E+00	8,4E-01 ± 4E-01
Ra-226	5,6E-01 ± 3E-01	2,1E+00 ± 1E+00			6,7E-01 ± 4E-01
Pb-210	9,1E+00 ± 3E+00	4,2E+00 ± 2E+00	8,7E+00 ± 1E+00	2,2E+00 ± 2E+00	6,0E+00 ± 1E+00
Ra-228	1,1E+00 ± 8E-01	1,9E+00 ± 6E-01		2,1E+00 ± 5E-01	1,3E+00 ± 3E-01
Th-228	2,4E+00 ± 6E-01			8,4E-01 ± 4E-01	8,1E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	2,7E+01 ± 4E+00	3,8E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 3E+00	1,7E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 2E+00
Be-7	4,4E+01 ± 3E+00		1,4E+01 ± 1E+00	5,6E+00 ± 9E-01	1,6E+01 ± 7E-01
I-131		1,8E+00 ± 4E-01	5,4E+00 ± 6E-01	2,1E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 2E-01
Cs-134					
Cs-137	6,0E-01 ± 2E-01	6,0E-01 ± 2E-01	3,6E-01 ± 1E-01	2,1E-01 ± 8E-02	4,4E-01 ± 1E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,3E+00 ± 2E-01	1,3E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 1E-01
H-3	6,1E+02 ± 6E+01	4,3E+03 ± 2E+02	7,5E+02 ± 6E+01	5,2E+02 ± 6E+01	1,5E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijska analiza Sr-90/Sr-89 sta bili opravljeni na ZVD, analiza H-3 pa na IJS na Odseku F-2.

LETO 2024 T – HE 6a
1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	HE Brežice, nadomestni habitat NH1				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	2. 9. 2024	14. 11. 2024	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	50,65	52,10	52,25	51,45	
Oznaka vzorca	RSNHK124	RSNHK224	RSNHK324	RSNHK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)				
U-238				5,8E+00 ± 3E+00	1,5E+00 ± 6E-01
Ra-226	9,3E-01 ± 3E-01			1,4E+00 ± 3E-01	5,8E-01 ± 1E-01
Pb-210	2,9E+01 ± 2E+00	4,9E+00 ± 2E+00	9,7E+00 ± 1E+00	1,2E+01 ± 3E+00	1,4E+01 ± 1E+00
Ra-228	2,3E+00 ± 8E-01	1,6E+00 ± 9E-01	2,6E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 6E-01	2,0E+00 ± 3E-01
Th-228	7,6E+00 ± 3E+00	1,6E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 3E-01		2,6E+00 ± 6E-01
Th-230					
K-40	4,2E+01 ± 5E+00	3,8E+01 ± 5E+00	4,4E+01 ± 3E+00	7,6E+01 ± 5E+00	5,0E+01 ± 2E+00
Be-7	7,5E+01 ± 3E+00	5,8E+00 ± 2E+00	1,7E+01 ± 1E+00	5,1E+00 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,9E+00 ± 3E-01	3,1E+00 ± 4E-01	7,4E-01 ± 2E-01	3,8E+00 ± 4E-01	2,4E+00 ± 2E-01
H-3	2,3E+03 ± 1E+02	2,6E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	2,0E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.
(***) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijska analiza Sr-90/Sr-89 sta bili opravljeni na ZVD, analiza H-3 pa na IJS na Odseku F-2.

LETO 2024 T – HE 2c

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom				
Datum vzor.	januar - marec	april - junij	julij - september	oktober - december	
Kol. vzorca (L)	260,84	253,43	244,48	220,71	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Susp. snov (g)	31,02	5,64	6,85	8,46	
Oznaka vzorca	NEKFHEJK124	NEKFHEJK224	NEKFHEJK324	NEKFHEJK424	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)				
Sr-90	1,6E-02 ± 7E-03	5,0E-02 ± 3E-02	1,6E-02 ± 7E-03	1,6E-02 ± 7E-03	2,5E-02 ± 7E-03

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – HE 2d

1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Specifična analiza H-3

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom				
Datum vzorčevanja	26. 3. 2024 - 26. 3. 2024	29. 5. 2024 - 29. 5. 2024	25. 9. 2024 - 25. 9. 2024	14. 11. 2024 - 14. 11. 2024	
Datum meritve	31. 5. 2024	17. 7. 2024	28. 10. 2024	17. 12. 2024	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	
Oznaka vzorca	RSHEJK124	RSHEJK224	RSHEJK324	RSHEJK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m^3)				
H-3	6,1E+02 ± 6E+01	4,3E+03 ± 2E+02	7,5E+02 ± 6E+01	5,2E+02 ± 6E+01	1,5E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – HE 6b

1. REKA SAVA – VODA - posamični vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Specifična analiza H-3

Vzorč. mesto	HE Brežice, nadomestni habitat NH1				
Datum vzorčevanja	26. 3. 2024 - 26. 3. 2024	29. 5. 2024 - 29. 5. 2024	2. 9. 2024 - 2. 9. 2024	14. 11. 2024 - 14. 11. 2024	
Datum meritve	31. 5. 2024	21. 7. 2024	28. 10. 2024	17. 10. 2024	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	
Oznaka vzorca	RSNHK124	RSNHK224	RSNHK324	RSNHK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m^3)				
H-3	2,3E+03 ± 1E+02	2,6E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	2,0E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2024 T – HE 7

2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom				
Datum vzor.	26. 3. 2024	29. 5. 2024	25. 9. 2024	14. 11. 2024	Četrtletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	581,40	261,50	465,30	220,60	
Oznaka vzorca	SDHEJK124	SDHEJK224	SDHEJK324	SDHEJK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,5E+01 ± 6E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,8E+01 ± 6E+00	2,4E+01 ± 5E+00	2,7E+01 ± 3E+00
Ra-226	3,1E+01 ± 5E-01	2,5E+01 ± 5E-01	2,8E+01 ± 7E-01	2,5E+01 ± 6E-01	2,7E+01 ± 3E-01
Pb-210	4,2E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 4E+00	6,2E+01 ± 6E+00	4,7E+01 ± 2E+00
Ra-228	3,3E+01 ± 8E-01	2,0E+01 ± 7E-01	3,1E+01 ± 1E+00	2,8E+01 ± 1E+00	2,8E+01 ± 5E-01
Th-228	2,8E+01 ± 9E-01	1,6E+01 ± 7E-01	2,9E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 5E-01
Th-230					
K-40	4,9E+02 ± 2E+01	2,5E+02 ± 1E+01	4,0E+02 ± 2E+01	3,3E+02 ± 2E+01	3,7E+02 ± 9E+00
Be-7	3,0E+00 ± 6E-01	1,5E+01 ± 1E+00	4,3E+01 ± 2E+00	5,1E+01 ± 2E+00	2,8E+01 ± 9E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	4,3E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 1E-01	3,6E+00 ± 2E-01	2,7E+00 ± 2E-01	3,1E+00 ± 1E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	8,2E-02 ± 8E-02	1,1E-01 ± 4E-02	6,0E-02 ± 2E-02	6,8E-02 ± 3E-02	8,0E-02 ± 2E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 8a
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, levi breg						
Datum vzor.	4. 1. 2024	1. 2. 2024	4. 3. 2024	2. 4. 2024	30. 4. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzor. (g)	199,50	215,50	179,50	88,40	140,50	189,10	
Oznaka vzorca	SDHEL0124	SDHEL0224	SDHEL0324	SDHEL0424	SDHEL0524	SDHEL0624	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238		2,7E+01 ± 6E+00	3,4E+01 ± 8E+00	3,6E+01 ± 7E+00	3,0E+01 ± 7E+00	3,6E+01 ± 7E+00	2,7E+01 ± 3E+00
Ra-226	2,9E+01 ± 8E-01	3,1E+01 ± 8E-01	3,2E+01 ± 8E-01	3,4E+01 ± 7E-01	2,9E+01 ± 7E-01	3,5E+01 ± 7E-01	3,2E+01 ± 3E-01
Pb-210	8,2E+01 ± 8E+00	5,3E+01 ± 5E+00	1,2E+02 ± 1E+01	1,3E+02 ± 1E+01	6,9E+01 ± 7E+00	8,3E+01 ± 7E+00	8,9E+01 ± 3E+00
Ra-228	3,0E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,8E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 5E-01
Th-228	2,5E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 6E-01
Th-230							
K-40	3,6E+02 ± 2E+01	3,6E+02 ± 2E+01	3,6E+02 ± 2E+01	4,8E+02 ± 2E+01	4,0E+02 ± 2E+01	5,4E+02 ± 3E+01	4,2E+02 ± 9E+00
Be-7	1,8E+01 ± 3E+00	8,4E+00 ± 2E+00	2,2E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 2E+00		6,8E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 1E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,4E+00 ± 3E-01	2,5E+00 ± 3E-01	3,9E+00 ± 4E-01	7,8E+00 ± 4E-01	4,3E+00 ± 3E-01	8,4E+00 ± 3E-01	4,9E+00 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,3E-01 ± 9E-02	4,7E-01 ± 2E-01	1,6E-01 ± 7E-02	1,7E-01 ± 7E-02	1,1E-01 ± 5E-02	3,2E-01 ± 1E-01	2,4E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 8b
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, levi breg						
Datum vzor.	1. 7. 2024	1. 8. 2024	2. 9. 2024	1. 10. 2024	4. 11. 2024	2. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	149,60	165,60	339,30	136,80	313,60	129,60	
Oznaka vzorca	SDHEL0724	SDHEL0824	SDHEL0924	SDHEL1024	SDHEL1124	SDHEL1224	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	3,5E+01 ± 7E+00	3,1E+01 ± 6E+00	2,3E+01 ± 6E+00		2,2E+01 ± 5E+00	4,4E+01 ± 8E+00	2,7E+01 ± 2E+00
Ra-226	3,1E+01 ± 8E-01	3,5E+01 ± 7E-01	3,0E+01 ± 8E-01	3,4E+01 ± 9E-01	2,0E+01 ± 5E-01	3,4E+01 ± 7E-01	3,1E+01 ± 2E-01
Pb-210	6,4E+01 ± 7E+00	6,3E+01 ± 5E+00	3,3E+01 ± 4E+00	1,1E+02 ± 1E+01	2,1E+01 ± 3E+00	1,1E+02 ± 9E+00	7,8E+01 ± 2E+00
Ra-228	3,3E+01 ± 1E+00	3,6E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 2E+00	1,8E+01 ± 8E-01	3,5E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 4E-01
Th-228	3,2E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 1E+00	2,8E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 2E+00	1,6E+01 ± 8E-01	3,2E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 4E-01
Th-230							
K-40	4,6E+02 ± 3E+01	5,1E+02 ± 3E+01	3,8E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 2E+01	2,2E+02 ± 1E+01	5,2E+02 ± 2E+01	4,2E+02 ± 6E+00
Be-7	1,6E+01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 1E+00	1,0E+01 ± 2E+00	3,5E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 7E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	5,0E+00 ± 3E-01	6,3E+00 ± 3E-01	3,3E+00 ± 3E-01	7,0E+00 ± 4E-01	5,8E-01 ± 1E-01	9,3E+00 ± 4E-01	5,1E+00 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,0E-01 ± 8E-02	1,7E-01 ± 7E-02	5,7E-01 ± 2E-01	3,0E-01 ± 1E-01	6,4E-01 ± 2E-01	1,8E-01 ± 2E-01 ‡	2,9E-01 ± 4E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 9a
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, desni breg						
Datum vzor.	4. 1. 2024	1. 2. 2024	4. 3. 2024	2. 4. 2024	30. 4. 2024	3. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzor. (g)	200,90	155,10	177,80	132,30	127,70	197,10	
Oznaka vzorca	SDHED0124	SDHED0224	SDHED0324	SDHED0424	SDHED0524	SDHED0624	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	3,8E+01 ± 8E+00	3,9E+01 ± 8E+00	3,8E+01 ± 7E+00	2,1E+00 ± 7E-01	3,7E+01 ± 8E+00	3,2E+01 ± 7E+00	3,1E+01 ± 3E+00
Ra-226	3,5E+01 ± 8E-01	3,6E+01 ± 9E-01	3,8E+01 ± 8E-01	2,7E+00 ± 9E-02	2,8E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 8E-01	2,9E+01 ± 3E-01
Pb-210	8,0E+01 ± 7E+00	6,5E+01 ± 7E+00	5,8E+01 ± 5E+00	1,5E+01 ± 1E+00	4,7E+02 ± 4E+01	2,1E+02 ± 2E+01	1,5E+02 ± 7E+00
Ra-228	3,6E+01 ± 1E+00	3,5E+01 ± 1E+00	3,8E+01 ± 1E+00	2,7E+00 ± 2E-01	2,5E+01 ± 1E+00	3,6E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 5E-01
Th-228	3,2E+01 ± 2E+00	3,6E+01 ± 2E+00	3,7E+01 ± 1E+00	2,7E+00 ± 2E-01	2,5E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 2E+00	2,8E+01 ± 6E-01
Th-230							
K-40	4,7E+02 ± 2E+01	4,4E+02 ± 2E+01	4,7E+02 ± 2E+01	3,6E+01 ± 2E+00	3,3E+02 ± 2E+01	4,6E+02 ± 3E+01	3,7E+02 ± 9E+00
Be-7	2,9E+01 ± 4E+00	1,8E+01 ± 2E+00	8,7E+00 ± 2E+00	1,3E+00 ± 3E-01	2,4E+01 ± 3E+00	4,9E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 1E+00
I-131							
Cs-134							
Cs-137	9,3E+00 ± 4E-01	1,3E+01 ± 5E-01	9,5E+00 ± 4E-01	6,3E-01 ± 6E-02	5,5E+00 ± 5E-01	6,4E+00 ± 4E-01	7,4E+00 ± 2E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,3E-01 ± 9E-02	2,7E-01 ± 1E-01	1,7E-01 ± 7E-02	6,4E-01 ± 2E-01	1,1E-01 ± 4E-02	1,1E+00 ± 2E-01	4,1E-01 ± 6E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 9b
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - posamični vzorci sedimentov

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, desni breg						
Datum vzor.	1. 7. 2024	1. 8. 2024	2. 9. 2024	1. 10. 2024	4. 11. 2024	2. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	147,50	160,30	129,10	146,40	292,10	195,90	
Oznaka vzorca	SDHED0724	SDHED0824	SDHED0924	SDHED1024	SDHED1124	SDHED1224	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	3,1E+01 ± 6E+00	2,6E+01 ± 2E+01	1,5E+01 ± 5E+00	3,5E+01 ± 7E+00	4,1E+01 ± 8E+00	3,0E+01 ± 7E+00	3,0E+01 ± 2E+00
Ra-226	3,6E+01 ± 7E-01	3,4E+01 ± 6E-01	2,6E+01 ± 7E-01	3,6E+01 ± 9E-01	3,0E+01 ± 7E-01	2,8E+01 ± 8E-01	3,0E+01 ± 2E-01
Pb-210	9,2E+01 ± 8E+00	5,0E+01 ± 5E+00	7,1E+01 ± 8E+00	9,4E+01 ± 9E+00	8,5E+01 ± 8E+00	6,6E+01 ± 7E+00	1,1E+02 ± 4E+00
Ra-228	3,4E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 9E-01	3,0E+01 ± 1E+00	3,6E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 4E-01
Th-228	2,9E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 1E+00	2,8E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 4E-01
Th-230							
K-40	4,4E+02 ± 2E+01	4,8E+02 ± 3E+01	3,4E+02 ± 2E+01	4,8E+02 ± 2E+01	4,6E+02 ± 3E+01	4,2E+02 ± 3E+01	4,0E+02 ± 6E+00
Be-7	2,8E+01 ± 2E+00		5,7E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 2E+00	5,5E+00 ± 2E+00	2,3E+01 ± 7E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	9,0E+00 ± 4E-01	5,4E+00 ± 2E-01	4,1E+00 ± 3E-01	8,7E+00 ± 4E-01	7,8E+00 ± 4E-01	5,8E+00 ± 5E-01	7,1E+00 ± 1E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,6E-01 ± 7E-02	6,8E-01 ± 2E-01	9,5E-02 ± 4E-02	1,3E-01 ± 5E-02	1,2E-01 ± 5E-02	1,5E-01 ± 6E-02	3,2E-01 ± 4E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 10
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom				
Vrsta vzorca	Klen	Krap	Krap	Podust	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	26. 3. 2024	12. 6. 2024	20. 9. 2024	21. 10. 2024	
Masa vzorca (g)	770	592	385	414	
Oznaka vzorca	RIHEJK124	RIHEJK224	RIHEJK324	RIHEJK424	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238			8,6E+00 ± 5E+00		2,2E+00 ± 1E+00
Ra-226	3,2E-02 ± 2E-02	1,9E-01 ± 2E-02	1,8E+00 ± 1E-01		5,0E-01 ± 3E-02
Pb-210	2,4E-01 ± 1E-01	4,4E-01 ± 7E-02	1,9E+00 ± 5E-01	8,7E-01 ± 4E-01	8,7E-01 ± 2E-01
Ra-228		2,8E-01 ± 3E-02	2,9E-01 ± 2E-01		1,4E-01 ± 4E-02
Th-228	7,7E-02 ± 4E-02	1,6E-01 ± 3E-02			5,9E-02 ± 1E-02
Th-230					
K-40	4,7E+01 ± 3E+00	6,1E+01 ± 4E+00	1,1E+02 ± 9E+00	1,2E+02 ± 8E+00	8,4E+01 ± 3E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137					
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	1,8E-02 ± 8E-03	6,3E-02 ± 5E-02	9,2E-02 ± 6E-02	2,5E-01 ± 5E-02	1,0E-01 ± 2E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 11
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama (**) in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	HE Brežice, nad jezom v akumulaciji		
Vrsta vzorca	Klen	Podust	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	26. 3. 2024	12. 6. 2024	
Masa vzorca (g)	604	384	
Oznaka vzorca	RIHEAP124	RIHEAP224	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)		
U-238			
Ra-226			
Pb-210	3,0E-01 ± 1E-01	6,6E-01 ± 3E-01	4,8E-01 ± 3E-01
Ra-228		1,7E-01 ± 1E-01	8,4E-02 ± 1E-01
Th-228			
Th-230			
K-40	9,4E+01 ± 6E+00	1,2E+02 ± 9E+00	1,1E+02 ± 9E+00
Be-7			
I-131			
Cs-134			
Cs-137			
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Sr-90	3,3E-01 ± 5E-02	6,0E-02 ± 3E-02	2,0E-01 ± 3E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2024 T – HE 12
3. VRTINA VOP-1 – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	Vrbina - vrtina VOP-1/06						
Datum vzor.	18. 1. 2024	15. 2. 2024	18. 3. 2024	16. 4. 2024	16. 5. 2024	17. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP111	K24VRP121	K24VRP131	K24VRP141	K24VRP151	K24VRP161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
H-3	7,9E+02 ± 7E+01	8,0E+02 ± 7E+01	1,1E+03 ± 8E+01	9,5E+02 ± 7E+01	9,6E+02 ± 8E+01	1,0E+03 ± 8E+01	9,4E+02 ± 3E+01

Vzorč. mesto	Vrbina - vrtina VOP-1/06						
Datum vzor.	16. 7. 2024	19. 8. 2024	16. 9. 2024	16. 10. 2024	18. 11. 2024	16. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP171	K24VRP181	K24VRP191	K24VRP1A1	K24VRP1B1	K24VRP1C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
H-3	9,5E+02 ± 4E+01	9,2E+02 ± 7E+01	1,0E+03 ± 7E+01	9,5E+02 ± 8E+01	9,3E+02 ± 7E+01	8,8E+02 ± 3E+01	9,4E+02 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku F-2.

LETO 2024 T – HE 13
3. VRTINA V-12/77 – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	Amerika - vrtina V-12/77						
Datum vzor.	18. 1. 2024	15. 2. 2024	18. 3. 2024	16. 4. 2024	16. 5. 2024	17. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP127711	K24VRP127721	K24VRP127731	K24VRP127741	K24VRP127751	K24VRP127761	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
H-3	1,2E+03 ± 8E+01	1,3E+03 ± 9E+01	1,4E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 9E+01	1,4E+03 ± 9E+01	1,3E+03 ± 4E+01

Vzorč. mesto	Amerika - vrtina V-12/77						
Datum vzor.	16. 7. 2024	19. 8. 2024	16. 9. 2024	16. 10. 2024	18. 11. 2024	16. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP127771	K24VRP127781	K24VRP127791	K24VRP1277A1	K24VRP1277B1	K24VRP1277C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
H-3	1,6E+03 ± 5E+01	1,4E+03 ± 9E+01	1,4E+03 ± 9E+01	1,4E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 5E+01	1,4E+03 ± 2E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku F-2.

LETO 2024 T – HE 14
3. VRTINA V-7/77 – posamični vzorci

Institut "Jožef Stefan" Ljubljana, Slovenija

Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	Gmajnice - vrtina V-7/77						
Datum vzor.	18. 1. 2024	15. 2. 2024	18. 3. 2024	16. 4. 2024	16. 5. 2024	17. 6. 2024	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP77711	K24VRP77721	K24VRP77731	K24VRP77741	K24VRP77751	K24VRP77761	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
H-3	5,0E+03 ± 2E+02	4,3E+03 ± 2E+02	3,2E+03 ± 1E+02	2,4E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 1E+02	2,0E+03 ± 1E+02	3,1E+03 ± 7E+01

Vzorč. mesto	Gmajnice - vrtina V-7/77						
Datum vzor.	16. 7. 2024	19. 8. 2024	16. 9. 2024	16. 10. 2024	18. 11. 2024	16. 12. 2024	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K24VRP77771	K24VRP77781	K24VRP77791	K24VRP777A1	K24VRP777B1	K24VRP777C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
H-3	2,0E+03 ± 6E+01	1,3E+03 ± 8E+01	1,2E+03 ± 8E+01	1,2E+03 ± 9E+01	1,2E+03 ± 8E+01	1,2E+03 ± 4E+01	2,2E+03 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).
(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku F-2.

TABELE
REZULTATOV
PRIMERJALNIH MERITEV

REZULTATI PREVERJANJA

IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test Exercise on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, bauxite, sediment and simulated contaminated surface samples ALMERA, IAEA, Terrestrial Environment Radiochemistry Laboratory (TERC)

Maja 2024 je Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory z IAEA razposlal 2 vzorca umetno kontaminirane vode, en vzorec boksita, en vzorec sedimenta in 3 vzorce simulirane kontaminirane površine za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je sodeloval IJS, Odsek F-2 pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama in tritija s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo, IJS, Odsek O-2 je določal vsebnost H-3 v vzorcu vode in Sr-90 v vzorcu simulirane kontaminirane površine s spektrometrijo beta. IRB je določil vsebnost sevalcev gama, stroncija Sr-90 in tritija, ZVD pa je določil sevalce gama in Sr-90 v vseh vzorcih. Končne individualne rezultate smo prejeli oktobra 2024 *[IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test Exercise, Individual Evaluation Report for Labcode No. 140 (IJS, Odsek F-2), Individual Evaluation Report for Laboratory No. 18 (IJS, Odsek O-2) for the World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TERC-2024-01, Individual Evaluation Report for Laboratory No. 53 (IRB) for the World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TERC-2024-01* in *Individual Evaluation Report for Laboratory No. 17 (ZVD) for the World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TERC-2024-01, IAEA, Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory, Seibersdorf, oktober 2024]*.

V prvih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 140 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec vode št. 2 ter vzorca simuliranih filtrov št. 6 in 7 so bili referenčni in so imeli vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za te vzorce. Sledita dve tabeli z rezultati analiz IJS (Odsek O-2, koda laboratorija 18). V naslednjih štirih tabelah so zbrani rezultati analiz IRB (koda laboratorija 53), nato pa so v zadnjih štirih tabelah zbrani rezultati ZVD (koda laboratorija 17). V vseh tabelah so tudi primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA.

IAEA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$Bias = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{Value_{target}} \cdot 100\ \%$$

Le-tega so primerjali z največjim dopustnim odstopanjem (*MARB*), ki je bil določen individualno za vsak posamezen radionuklid. Kadar je vrednost relativnega odstopanja manjša ali enaka MARB, je rezultat sprejemljiv glede na točnost (accuracy).

$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{target}}{Value_{target}}\right)^2 + \left(\frac{U_{reported}}{Value_{reported}}\right)^2} \cdot 100\ \%$$

$|Bias| \leq k \cdot P, \quad k = 2{,}58$

kjer je k je faktor pokritja in je 2,58 za interval zaupanja 99 %. Če je $|Bias| \leq k \cdot P$ in $P \leq MARB$, je rezultat interkomparacije sprejemljiv glede na preciznost (precision).

Dodaten kriterij, ki ga IAEA uporablja za primerjavo rezultatov, je Z-test:

$$Z = \left|\frac{Value_{reported} - Value_{target}}{roboustSD}\right|$$

kjer je *roboustSD* standardna deviacija rezultatov interkomparacije brez outlierjev. Kriteriji za ovrednotenje so:

Z < 2: acceptable, 2 ≤ Z ≤ 3: warning, Z > 3: not acceptable

Poleg tega smo sami naredili še ζ-test:

$$\zeta\text{-test} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{\sqrt{u_{reported}{}^2 + u_{target}{}^2}}$$

Rezultati so sprejemljivi, če je ζ-test < 2. Vrednosti ζ-testov smo sami določili za vse vzorce.

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

IAEA-TERC-2024-01
Sample 01, Spiked Water
analize IJS opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Eu-152	14,8 ± 0,7	14,9 ± 0,5	0,7	0,12	5,80	A
H-3	19,5 ± 1,0	22,0 ± 0,6	12,8	2,14	5,81	A
Na-22	19,1 ± 1,0	18,6 ± 0,6	–2,6	–0,43	6,15	A
Pb-210	10,2 ± 0,9	7,1 ± 1,9	–30,4	–1,47	28,18	N
Ra-226	13,0 ± 0,7	14,0 ± 1,2	7,7	0,72	10,12	A

IAEA-TERC-2024-01
Sample 03, Sediment
analize IJS opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP*	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Bi-214	340,0 ± 13,0	354 ± 11	4,1	0,82	4,93	A
K-40	873,0 ± 44,0	925 ± 30	6,0	0,98	5,99	A
Pb-210	306,0 ± 17,0	318 ± 11	3,9	0,59	6,54	A
Pb-212	307,0 ± 12,0	321 ± 10	4,6	0,90	5,00	A
Pb-214	340,0 ± 13,0	366 ± 11	7,6	1,53	4,86	A
Ra-226	340,0 ± 13,0	361 ± 16	6,2	1,02	5,85	A
Ra-228	307,0 ± 17,0	309 ± 10	0,7	0,10	6,41	A
Tl-208	110,0 ± 4,0	112 ± 4	1,8	0,35	5,10	A
U-235	11,4 ± 1,0	12,7 ± 0,8	11,4	1,02	10,80	A
U-238	246,0 ± 11,0	274 ± 15	11,4	1,51	7,07	A

IAEA-TERC-2024-01
Sample 05, "Simulated contaminated surface sample"
analize IJS opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 140	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/filter)					
Cs-134	7,71 ± 0,39	7,52 ± 0,23	–2,5	–0,42	5,91	A

IAEA-TERC-2024-01 Sample 04, Bauxite analize IJS opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***						
IZOTOP	**IAEA**	**IJS Lab. No. 140**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
K-40	35,1 ± 8,5	39 ± 1,4	11,1	0,45	–	A
Bi-214	144,00 ± 5,00	149 ± 5	3,5	0,71	4,83	A
Cs-137	2,44 ± 0,26	2,78 ± 0,11	13,9	1,20	11,37	A
Pb-210	140,00 ± 6,00	111 ± 4,5	–20,7	–3,87	5,90	W
Pb-212	130,00 ± 6,00	137 ± 4	5,4	0,97	5,46	A
Pb-214	144,00 ± 5,00	153 ± 6	6,3	1,15	5,24	A
Ra-226	144,00 ± 5,00	166 ± 8	15,3	2,33	5,94	A
Ra-228	130,00 ± 8,00	134 ± 4	3,1	0,45	6,84	A
Tl-208	46,70 ± 1,80	48 ± 1,5	2,8	0,55	4,96	A
U-235	6,66 ± 0,58	8,2 ± 0,9	23,1	1,44	14,01	A
U-238	143,00 ± 7,00	139 ± 7	–2,8	–0,40	7,02	A

REZULTATI IJS (Odsek O-2)

IAEA-TERC-2024-01 Sample 01, Spiked Water analize IJS opravljene ***maja in junija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***						
IZOTOP	**IAEA**	**IJS Lab. No. 18**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
H-3	19,5 ± 1,0	20,2 ± 1,7	3,6	0,35	9,86	A
Sr-90	23,6 ± 1,2	23,4 ± 1,3	–0,8	–0,11	7,53	A

IAEA-TERC-2024-01 Sample 05, "Simulated contaminated surface sample" analize IJS opravljene ***maja in junija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***						
IZOTOP*	**IAEA**	**IJS Lab. No. 18**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
Sr-90	3,28 ± 0,16	3,03 ± 0,16	–7,6	–1,10	7,19	A

REZULTATI IRB

IAEA-TERC-2024-01
Sample 01, Spiked Water
analize IRB opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP	IAEA	IRB Lab. No. 53	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Eu-152	14,8 ± 0,7	15,2 ± 1,3	2,7	0,27	9,77	A
H-3	19,5 ± 1,0	19,5 ± 1,2	0,0	0,00	8,01	A
Na-22	19,1 ± 1,0	19,4 ± 1,1	1,6	0,20	7,72	A
Pb-210	10,2 ± 0,9	19,9 ± 2,7	95,1	3,41	16,18	N
Ra-226	13,0 ± 0,7	11,5 ± 0,8	–11,5	–1,41	8,80	A
Sr-90	23,6 ± 1,2	23,0 ± 0,5	–2,5	–0,46	5,53	A

IAEA-TERC-2024-01
Sample 03, Sediment
analize IRB opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP*	IAEA	IRB Lab. No. 53	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Ac-228	307,0 ± 17,0	236 ± 23	–23,1	–2,48	11,21	A
Bi-212	307,0 ± 12,0	326 ± 23	6,2	0,73	8,07	A
Bi-214	340,0 ± 13,0	352 ± 25	3,5	0,43	8,07	A
K-40	873,0 ± 44,0	1009 ± 43	15,6	2,21	6,60	A
Pb-210	306,0 ± 17,0	375 ± 38	22,5	1,66	11,56	A
Pb-212	307,0 ± 12,0	326 ± 23	6,2	0,73	8,07	A
Pb-214	340,0 ± 13,0	352 ± 25	3,5	0,43	8,07	A
Ra-226	340,0 ± 13,0	352 ± 25	3,5	0,43	8,07	A
Ra-228	307,0 ± 17,0	326 ± 23	6,2	0,66	8,97	A
Th-234	246,0 ± 11,0	297 ± 31	20,7	1,55	11,36	A
Tl-208	110,0 ± 4,0	113 ± 7	2,7	0,37	7,18	A
U-238	246,0 ± 11,0	288 ± 38	17,1	1,06	13,93	A

IAEA-TERC-2024-01 Sample 04, Bauxite analize IRB opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***						
IZOTOP	**IAEA**	**IRB Lab. No. 53**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
K-40	35,1 ± 8,5	35,5 ± 3,4	1,1	0,04	–	A
Ac-228	130,00 ± 8,00	142 ± 10	9,2	0,94	9,35	A
Bi-212	130,00 ± 7,00	142 ± 10	9,2	0,98	8,86	A
Bi-214	144,00 ± 5,00	154 ± 11	6,9	0,83	7,94	A
Cs-137	2,44 ± 0,26	2,66 ± 0,25	9,0	0,61	14,21	A
Pb-210	140,00 ± 6,00	121 ± 14	–13,6	–1,25	12,34	A
Pb-212	130,00 ± 6,00	142 ± 10	9,2	1,03	8,42	A
Pb-214	144,00 ± 5,00	154 ± 11	6,9	0,83	7,94	A
Ra-226	144,00 ± 5,00	154 ± 11	6,9	0,83	7,94	A
Ra-228	130,00 ± 8,00	142 ± 10	9,2	0,94	9,35	A
Th-234	143,00 ± 7,00	156 ± 16	9,1	0,74	11,36	A
Tl-208	46,70 ± 1,80	51,3 ± 3,2	9,9	1,25	7,33	A
U-238	143,00 ± 7,00	145 ± 16	1,4	0,11	12,07	A

IAEA-TERC-2024-01 Sample 05, "Simulated contaminated surface sample" analize IRB opravljene ***julija in avgusta 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***						
IZOTOP	**IAEA**	**IRB Lab. No. 53**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/filter)					
Cs-134	7,71 ± 0,39	7,30 ± 0,42	–5,3	–0,72	7,66	A
Sr-90	3,28 ± 0,16	3,47 ± 0,20	5,8	0,74	7,55	A

REZULTATI ZVD

IAEA-TERC-2024-01 Sample 01, Spiked Water analize ZVD opravljene ***maja in junija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***						
IZOTOP	**IAEA**	**ZVD Lab. No. 17**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
Eu-152	14,8 ± 0,7	15,3 ± 0,5	3,4	0,58	5,75	A
Na-22	19,1 ± 1,0	19,6 ± 0,8	2,6	0,39	6,64	A
Sr-90	23,6 ± 1,2	11,5 ± 2,0	–51,3	–5,19	18,12	N*

* Laboratorij je med samim postopkom opazil izgubo vzorca, vendar analize ni bilo mogoče ponoviti, ker je bilo premalo vzorca. Izmerjena vrednost je bila vseeno poročana.

IAEA-TERC-2024-01
Sample 03, Sediment

analize ZVD opravljene ***maja in junija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP*	IAEA	ZVD Lab. No. 17	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	873,0 ± 44,0	922 ± 28	5,6	0,94	5,88	A
Pb-210	306,0 ± 17,0	291 ± 6	–4,9	–0,83	5,93	A
Ra-226	340,0 ± 13,0	296 ± 14	–12,9	–2,30	6,08	A
Ra-228	307,0 ± 17,0	301 ± 9	–2,0	–0,31	6,29	A
U-238	246,0 ± 11,0	279 ± 15	13,4	1,77	6,99	A

IAEA-TERC-2024-01
Sample 04, Bauxite

analize ZVD opravljene ***maja in junija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP	IAEA	ZVD Lab. No. 17	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	35,1 ± 8,5	31 ± 6	–11,7	–0,39	–	A
Cs-137	2,44 ± 0,26	2,3 ± 0,4	–5,7	–0,29	20,40	A
Pb-210	140,00 ± 6,00	121 ± 25	–13,6	–0,74	21,10	A
Ra-226	144,00 ± 5,00	131 ± 6	–9,0	–1,66	5,75	A
Ra-228	130,00 ± 8,00	126 ± 6	–3,1	–0,40	7,78	A
U-238	143,00 ± 7,00	139 ± 24	–2,8	–0,16	17,95	A

IAEA-TERC-2024-01
Sample 05, "Simulated contaminated surface sample"

analize ZVD opravljene ***maja in junija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***

IZOTOP	IAEA	ZVD Lab. No. 17	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/filter)					
Cs-134	7,71 ± 0,39	7,7 ± 0,2	–0,1	0,02	5,69	A
Sr-90	3,28 ± 0,16	3,7 ± 0,7	12,8	1,64	19,54	A

REZULTATI PREVERJANJA

IAEA-RML-2023-01 Proficiency test for Tritium, Strontium and Gamma Emitters in Seawater 2023, IAEA Environment Laboratories, Monaco, Radiometrics Laboratory

Oktobra 2023 je IAEA (Environmental Laboratories, Monaco) razposlala vzorec morske vode iz Mediterana, kontaminirane s H-3, Sr-90, Cs-134, Cs-137, Ba-133 in dvema »neznanima« radionuklidoma. Pri tem preverjanju sta sodelovala Odsek F-2 in Odsek O-2 z IJS. Odsek F-2 je opravil meritve vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama (Cs-134, Cs-137, K-40, »neznana« radionuklida sta bila Mn-54 in Co-57) ter meritev vsebnosti H-3 s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo. Odsek O-2 pa je opravil meritve H-3 in Sr-90. Končno poročilo smo prejeli marca 2024 *[IAEA-RML-2023-01, Proficiency test for determination of radionuclides in sea water, Katarzyna Sobiech-Matura, IAEA, March 2024]*.

IAEA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$Bias = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{Value_{target}} \cdot 100\ \%$$

Le-tega so primerjali z največjim dopustnim odstopanjem (*MARB*), ki je bil določen individualno za vsak posamezen radionuklid. Kadar je vrednost relativnega odstopanja manjša ali enaka MARB, je rezultat sprejemljiv glede na točnost (accuracy).

$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{target}}{Value_{target}}\right)^2 + \left(\frac{U_{reported}}{Value_{reported}}\right)^2} \cdot 100\ \%$$

$|Bias| \leq k \cdot P, \;\; k = 2{,}58$

Če je $|Bias| \leq k \cdot P$ in $P \leq MARB$, je rezultat interkomparacije sprejemljiv glede na preciznost (precision).

Poleg tega je Odsek F-2 naredil še ζ-test:

$$\zeta\text{-test} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{\sqrt{{u_{reported}}^2 + {u_{target}}^2}}$$

Rezultati so ustrezni, če je | ζ-test | ≤ 2.

V naslednjih dveh tabelah so prikazani rezultati analiz IJS in primerjave z referenčnimi vrednostmi IAEA, za Odsek O-2 (koda vzorca S23N068) in Odsek F-2 (koda vzorca S23N071).

REZULTATI IJS (Odsek O-2)

IAEA-RML-2023-01
Spiked Mediterranean Seawater
analize IJS (sušina) opravljene ***novembra in decembra 2023,***
končni rezultati objavljeni ***marca 2024***

IZOTOP	IAEA	IJS (koda vzorca S23N68)	Rel. bias (%)	*P* (%)	ζ-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
H-3	3,661 ± 0,066	3,76 ± 0,23	2,7	6,4	0,41	A
Sr-90	0,708 ± 0,006	0,722 ± 0,040	2,0	5,6	0,35	A

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-RML-2023-01 **Spiked Mediterranean Seawater** analize IJS opravljene ***novembra in decembra 2023,*** končni rezultati objavljeni ***marca 2024***						
IZOTOP	**IAEA**	**IJS (koda vzorca S23N71)**	**Rel. bias (%)**	***P*** **(%)**	**ζ-test**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
H-3	3,651 ± 0,066	3,81 ± 0,16	4,4	4,6	0,92	A
Mn-54	0,319 ± 0,002	0,31 ± 0,02	–2,9	6,5	–0,45	A
Co-57	0,0744 ± 0,0006	0,065 ± 0,005	–12,6	7,7	–1,87	A
Cs-134	0,377 ± 0,002	0,37 ± 0,01	–1,8	2,8	–0,69	A
Cs-137	0,198 ± 0,002	0,20 ± 0,01	1,1	5,1	0,20	A
Ba-133	0,160 ± 0,001	0,15 ± 0,01	–6,1	6,7	–1,00	A

REZULTATI PREVERJANJA

IAEA-RML-2024-01 Proficiency test for Tritium, Strontium and Gamma Emitters in Seawater 2024, IAEA Environment Laboratories, Monaco, Radiometrics Laboratory

Julija 2024 je IAEA (Environmental Laboratories, Monaco) razposlala vzorec morske vode, kontaminirane s H-3, Sr-90, Co-57, Cs-134, Cs-137 in dvema »neznanima« radionuklidoma. Pri tem preverjanju sta sodelovala Odsek F-2 in Odsek O-2 z IJS. Odsek F-2 je opravil meritve vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama (Co-57, Cs 134, Cs 137, K-40, »neznana« radionuklida pa sta bila Co-60 in Sb 125) ter meritev vsebnosti H-3 s tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo. Odsek O-2 pa je opravil meritve H-3 in Sr-90. Individualna poročila smo prejeli novembra 2024 *[Individual Evaluation Report for Sample Number S24N043* in *Individual Evaluation Report for Sample Number S24N001, Katarzyna Sobiech-Matura, November 2024]*.

IAEA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$Bias = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{Value_{target}} \cdot 100\ \%$$

Le-tega so primerjali z največjim dopustnim odstopanjem (*MARB*), ki je bil določen individualno za vsak posamezen radionuklid. Kadar je vrednost relativnega odstopanja manjša ali enaka MARB, je rezultat sprejemljiv glede na točnost (accuracy).

$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{target}}{Value_{target}}\right)^2 + \left(\frac{U_{reported}}{Value_{reported}}\right)^2} \cdot 100\ \%$$

$|Bias| \leq k \cdot P, \quad k = 2{,}58$

Če je $|Bias| \leq k \cdot P$ in $P \leq MARB$, je rezultat interkomparacije sprejemljiv glede na preciznost (precision).

Poleg tega je Odsek F-2 naredil še ζ-test:

$$\zeta\text{-test} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{\sqrt{{u_{reported}}^2 + {u_{target}}^2}}$$

Rezultati so ustrezni, če je | ζ-test | ≤ 2.

V naslednjih dveh tabelah so prikazani rezultati analiz IJS in primerjave z referenčnimi vrednostmi IAEA, za Odsek O-2 (koda vzorca S24N001) in Odsek F-2 (koda vzorca S24N043).

REZULTATI IJS (Odsek O-2)

IAEA-RML-2024-01
Spiked Mediterranean Seawater
analize IJS (sušina) opravljene ***avgusta in septembra2024,***
individualni rezultati objavljeni ***novembra 2024***

IZOTOP	IAEA	IJS (koda vzorca S24N001)	Rel. bias (%)	*P* (%)	ζ-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
H-3	3,233 ± 0,104	3,28 ± 0,21	1,4	7,2	0,20	A
Sr-90	0,805 ± 0,024	0,780 ± 0,043	–3,2	6,3	–0,51	A

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IAEA-RML-2024-01
Spiked Mediterranean Seawater
analize IJS (sušina) opravljene ***avgusta in septembra2024,***
individualni rezultati objavljeni ***novembra 2024***

IZOTOP	IAEA	IJS (koda vzorca S24N043)	Rel. bias (%)	*P* (%)	ζ-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Co-57	0,220 ± 0,007	0,212 ± 0,006	–3,8	4,2	–0,87	A
Co-60	0,0969 ± 0,0030	0,097 ± 0,003	0,1	4,4	0,02	A
Sb-125	0,990 ± 0,032	1,041 ± 0,031	5,1	4,4	1,14	A
Cs-134	0,362 ± 0,011	0,353 ± 0,010	–2,5	4,2	–0,61	A
Cs-137	0,517 ± 0,017	0,518 ± 0,016	0,1	4,4	0,04	A
H-3	3,244 ± 0,104	3,75 ±0,20	15,6	6,2	2,24	A

KONČNI REZULTATI MEDNARODNE PRIMERJAVE

ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY COMPARISON EXERCISE 2023/24
NPL – Velika Britanija

AB, B1 – kontaminirani vodni raztopini

Avgusta 2024 je bilo izdano končno poročilo za mednarodne primerjalne meritve *"Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2023/24" [NPL REPORT IR 66, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2023/24, E.M. van Es, S. Burke and A. K. Pearce, August 2024]*, kjer je sodeloval Odsek O-2 z IJS (koda laboratorija 106) pri meritvah vzorcev kontaminiranih vodnih raztopin B1 in AB. V teh vodnih raztopinah so določili vsebnosti H-3, C-14 in Sr-90. Končni rezultati analiz in primerjave z referenčnimi vrednostmi NPL so zbrane v naslednjih preglednicah. Pri statističnih ocenah so bile uporabljene naslednje zveze:

$$odmik = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{Value_{target}} \cdot 100\ \%$$

$$\zeta\text{-preskus} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{\sqrt{u_{reported}{}^2 + u_{target}{}^2}}$$

$$z\text{-preskus} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{0{,}05823 \cdot Value_{target}}$$

REZULTATI IJS, Odsek O-2

NPL – AB / Lab Code 106
kontaminirana vodna raztopina
analize IJS, Odsek O-2, opravljene ***od marca do maja 2024***
končno poročilo objavljeno ***avgusta 2024***

IZOTOP	NPL	IJS Lab. No. 106	Rel.odmik (%)	ζ-preskus	Z-preskus
	(Bq/kg)				
H-3	13,24 ± 0,19	13,02 ± 0,11	–1,7	–1,00	–0,29
Sr-90	3,5493 ± 0,0095	3,51 ± 0,18	–1,1	–0,22	–0,19

NPL – B1 / Lab Code 106
kontaminirana vodna raztopina
analize IJS, Odsek O-2, opravljene ***od marca do maja 2024***
končno poročilo objavljeno ***avgusta 2024***

IZOTOP	NPL	IJS Lab. No. 106	Rel.odmik (%)	ζ-preskus	Z-preskus
	(Bq/kg)				
H-3	0,2821 ± 0,0047	0,2836 ± 0,0044	0,5	0,23	0,09
C-14	0,4031 ± 0,0018	0,414 ± 0,027	2,7	0,40	0,46

REZULTATI PREVERJANJA

IARMA ERAD-PT-2024
Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water
International Atomic Reference Material Agency (IARMA), United Kingdom

V letu 2024 je IARMA, International Atomic Reference Material Agency iz Združenega kraljestva, priredila primerjalne meritve, kjer je bilo treba v 3 vzorcih umetno kontaminirane vode in enem vzorcu sena določiti vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju sta sodelovala IJS, Odsek F-2 in IRB pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod in sena z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Individualna poročila smo prejeli decembra 2024. *[IARMA ERAD-PT-2024, Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water, Individual Evaluation Report for Laboratory Code 014 (IJS, Odsek F-2)* in *Individual Evaluation Report for Laboratory Code 015 (IRB), International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom, December 2024]*.

IARMA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$\text{Rel. odmik} = \frac{Value_{reported} - Value_{ref}}{Value_{ref}} \cdot 100\ \%$$

Če je $|\text{Rel. odmik}| \leq 20$, je rezultat sprejemljiv, če je $|\text{Rel. odmik}| > 30$, pa ni sprejemljiv. V vmesnem območju je sprejemljiv z opozorilom.

Poleg tega so informativno uporabili tudi *Z*-preskus, ki je definiran kot:

$$Z\text{-preskus} = \frac{Value_{reported} - Value_{ref}}{\sigma}$$

kjer je $\sigma = 0{,}10 * Value_{Ref}$. Rezultati so ustrezni, če je |Z-preskus| ≤ 2.

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 014 za Odsek F-2), primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v 3 vzorcih kontaminirane vode in enem vzorcu sena. Sledijo jim 4 tabele z rezultati analiz IRB (koda laboratorija 015).

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

IARMA ERAD-PT-2024
Sample IARMA-178, Water Sample
analize IJS opravljene ***septembra in oktobra 2024,***
končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***

IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
Co-60	8,16 ± 0,24	8,40 ± 0,30	2,9	0,3	A
Ba-133	5,30 ± 0,15	5,20 ± 0,20	–1,9	–0,2	A
Cs-137	3,20 ± 0,10	3,14 ± 0,09	–1,9	–0,2	A
Eu-152	1,53 ± 0,05	1,60 ± 0,08	4,6	0,5	A
U-238	10,00 ± 0,90	9,50 ± 1,10	–5,0	–0,5	A
Am-241	4,59 ± 0,12	4,90 ± 0,20	6,8	0,7	A

IARMA ERAD-PT-2024
Sample IARMA-179, Water Sample

analize IJS opravljene ***septembra in oktobra 2024,***
končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***

IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
Co-60	9,80 ± 0,29	10,21 ± 0,40	4,1	0,4	A
Ba-133	9,29 ± 0,27	9,50 ± 0,30	2,3	0,2	A
Cs-137	8,25 ± 0,26	8,30 ± 0,30	0,6	0,1	A
Eu-152	4,50 ± 0,14	4,70 ± 0,20	4,4	0,4	A
U-238	10,00 ± 0,90	9,80 ± 1,50	–0,2	–0,2	A
Am-241	8,01 ± 0,21	8,10 ± 0,30	0,1	0,1	A

IARMA ERAD-PT-2024
Sample IARMA-180, Water Sample

analize IJS opravljene ***septembra in oktobra 2024,***
končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***

IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
Co-60	14,94 ± 0,45	15,50 ± 0,50	3,7	0,4	A
Ba-133	12,15 ± 0,36	12,30 ± 0,40	1,2	0,1	A
Cs-137	11,14 ± 0,36	11,50 ± 0,40	3,2	0,3	A
Eu-152	8,89 ± 0,27	9,40 ± 0,30	5,7	0,6	A
U-238	18,00 ± 0,90	17,40 ± 1,70	–3,3	–0,3	A
Am-241	11,94 ± 0,33	12,60 ± 0,40	5,5	0,6	A

IARMA ERAD-PT-2024
Sample IARMA-177, Hay

analize IJS opravljene ***septembra in oktobra 2024,***
končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***

IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 014	Rel. odmik (%)	Z-preskus	Končna ocena
	(Bq/kg)				
K-40	221,0 ± 5,0	263,00 ± 8,00	19,0	1,9	A
Co-60	36,20 ± 1,01	42,00 ± 1,30	18,5	1,9	A
Ba-133	10,00 ± 0,25	11,60 ± 0,40	16,0	1,6	A
Cs-137	391,00 ± 8,00	439,00 ± 14,00	12,3	1,2	A
Eu-152	9,30 ± 0,32	11,00 ± 0,40	18,3	1,8	A
U-238	14,40 ± 1,16	12,30 ± 2,00	–14,6	–1,5	A
Am-241	10,54 ± 0,33	12,40 ± 0,60	17,6	1,8	A

REZULTATI IRB:

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-178, Water Sample analize IRB opravljene ***septembra in oktobra 2024,*** končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***					
IZOTOP	**IARMA**	**IRB Lab. No. 015**	**Rel. odmik (%)**	**Z-preskus**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)				
Co-60	8,16 ± 0,24	8,28 ± 0,98	1,5	0,1	A
Ba-133	5,30 ± 0,15	5,15 ± 0,35	–2,8	–0,3	A
Cs-137	3,20 ± 0,10	3,05 ± 0,26	–4,7	–0,5	A
Eu-152	1,53 ± 0,05	1,59 ± 0,33	3,9	0,4	A
U-238	10,00 ± 0,90	10,95 ± 2,34	9,5	0,9	A
Am-241	4,59 ± 0,12	4,67 ± 0,58	1,7	0,2	A

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-179, Water Sample analize IRB opravljene ***septembra in oktobra 2024,*** končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***					
IZOTOP	**IARMA**	**IRB Lab. No. 015**	**Rel. odmik (%)**	**Z-preskus**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)				
Co-60	9,80 ± 0,29	10,04 ± 0,52	2,4	0,2	A
Ba-133	9,29 ± 0,27	9,41 ± 0,58	1,3	0,1	A
Cs-137	8,25 ± 0,26	8,11 ± 0,53	–1,7	–0,2	A
Eu-152	4,50 ± 0,14	4,55 ± 0,48	1,1	0,1	A
U-238	10,00 ± 0,90	8,12 ± 1,98	–18,8	–1,9	A
Am-241	8,01 ± 0,21	8,08 ± 0,94	0,9	0,1	A

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-180, Water Sample analize IRB opravljene ***septembra in oktobra 2024,*** končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***					
IZOTOP	**IARMA**	**IRB Lab. No. 015**	**Rel. odmik (%)**	**Z-preskus**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)				
Co-60	14,94 ± 0,45	15,12 ± 0,70	1,2	0,1	A
Ba-133	12,15 ± 0,36	12,03 ± 0,72	–1,0	–0,1	A
Cs-137	11,14 ± 0,36	11,39 ± 0,71	2,2	0,2	A
Eu-152	8,89 ± 0,27	8,55 ± 0,53	–3,8	–0,4	A
U-238	18,00 ± 0,90	18,15 ± 3,03	0,8	0,1	A
Am-241	11,94 ± 0,33	11,73 ± 0,97	–1,8	–0,2	A

IARMA ERAD-PT-2024 Sample IARMA-177, Hay analize IRB opravljene ***septembra in oktobra 2024,*** končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***					
IZOTOP	**IARMA**	**IRB Lab. No. 015**	**Rel. odmik (%)**	**Z-preskus**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)				
K-40	221,0 ± 5,0	248,90 ± 13,70	12,6	1,3	A
Co-60	36,20 ± 1,01	39,51 ± 1,30	9,1	0,9	A
Ba-133	10,00 ± 0,25	10,34 ± 0,80	3,4	0,3	A
Cs-137	391,00 ± 8,00	408,90 ± 24,70	4,6	0,5	A
Eu-152	9,30 ± 0,32	9,92 ± 0,71	6,7	0,7	A
U-238	14,40 ± 1,16	16,94 ± 1,37	17,6	1,8	A
Am-241	10,54 ± 0,33	11,37 ± 1,19	7,9	0,8	A

REZULTATI PREVERJANJA

IARMA ETRIT-PT-2024
Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Tritium in Water
International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom

V letu 2024 je IARMA, International Atomic Reference Material Agency iz Združenega kraljestva, priredila primerjalne meritve, kjer je bilo treba v 6 vzorcih umetno kontaminirane vode določiti vsebnosti tritija. Pri tem preverjanju je sodeloval IJS, Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo z Odseka F-2. Individualna poročila so prejeli decembra 2024 *[IARMA ETRIT-PT-2024, Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Tritium in Water, Individual Evaluation Report for Laboratory Code 015, International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland,United Kingdom, December 2024]*.

V naslednji tabeli so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 015 za *Odsek F-2*) ter primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za določitev vsebnosti tritija v šestih vzorcih kontaminirane vode.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

IARMA ETRIT-PT-2024
Tritium in Water

analize IJS opravljene ***septembra in oktobra 2024,*** končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***

VZOREC	IARMA	IJS Lab. No. 015	Rel. odmik (%)	*Z*-preskus	Končna ocena
	(TU)				
IARMA-181	5,00 ± 0,17	5,65 ± 0,82	13,0	1,30	A
IARMA-182	33,60 ± 1,34	37,30 ± 1,50	11,0	1,10	A
IARMA-183	168,0 ± 6,70	176,00 ± 4,10	4,8	0,48	A
IARMA-184	294,0 ± 11,8	301,00 ± 6,40	2,4	0,24	A
IARMA-185	336,0 ± 13,4	330,00 ± 6,90	–1,8	–0,18	A
IARMA-186	294,0 ± 11,8	295,00 ± 6,30	0,3	0,03	A

REZULTATI PREVERJANJA

IARMA ECARB-PT-2024
Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of C-14 in Water
International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom

V letu 2024 je IARMA, International Atomic Reference Material Agency iz Združenega kraljestva, priredila primerjalne meritve, kjer je bilo treba v 4 vzorcih umetno kontaminirane vode določiti vsebnosti C-14. Pri tem preverjanju je sodeloval IJS, Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo z Odseka F-2. Individualna poročila so prejeli decembra 2024 *[IARMA ECARB-PT-2024, Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of C-14 in Water, Individual Evaluation Report for Laboratory Code 09, International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland,United Kingdom, December 2024]*.

V naslednji tabeli so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 09 za *Odsek F-2*), primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za določitev vsebnosti C-14 v 4 vzorcih kontaminirane vode.

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

IARMA ECARB-PT-2024
Carbon 14 in Water

analize IJS opravljene ***oktobra in novembra 2024,*** končni rezultati objavljeni ***februarja 2025***

VZOREC	IARMA	IJS Lab. No. 09	Rel. bias (%)	*Z*-preskus	Končna Ocena
	(Bq/kg)				
IARMA-193	<3	0,48 ± 0,31	–	–	A
IARMA-194	7,50 ± 0,20	3,86 ± 0,41	–48,5	–4,85	N
IARMA-195	14,00 ± 0,45	12,75 ± 0,50	–8,9	–0,89	A
IARMA-19	14,00 ± 0,45	13,22 ± 0,51	–5,6	–0,56	A

REZULTATI
MEDNARODNIH PRIMERJALNIH MERITEV

Study MRAD-39
ERA (Environmental Resource Associates), ZDA

Maja 2024 so bili objavljeni končni rezultati primerjalnih meritev MRAD-40 *[Proficiency testing performance report, Multi-media Radiochemistry PT Scheme, Round 40, May 2024, ERA Customer Number: R460987 (za IRB), ZDA]*), ki jih je organizirala ERA, Environmental Resource Associates, ZDA. Pri tej primerjavi je sodeloval IRB, ki je poročal rezultate za tri vzorce (vzorec zemlje in dva vzorca vode, od katerih je bil eden za določitev tritija in eden za določitev drugih radionuklidov).

Rezultati analiz IRB ter primerjave s pripisanimi vrednostmi (assigned values) so zbrane v naslednjih 3 preglednicah.

Za ovrednotenje rezultatov primerjalnih meritev uporablja ERA z-preskus, ki je definiran kot:

$$z\text{-preskus} = \frac{Value_{reported} - Value_{ref}}{\sigma}$$

Rezultati so ustrezni, če je |z-preskus| ≤ 2, vprašljiv, če je med 2 in 3 in neustrezen, če je večji od 3.

REZULTATI IRB

ERA, Study MRAD-40
Soil Radionuclides

analize opravljene ***od marca do maja 2024***, končni rezultati objavljeni ***maja 2024***

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Satisfactory Range	IRB	z-preskus	Končna ocena
	(pCi/kg)				
Ac-228	1590 ± 40	1240–1900	1559	–0,042	Satisfactory
Am-241	1880 ± 20	784–2660	1947	0,477	Satisfactory
Bi-212	1670 ± 43	690–2680	1650	–0,0746	Satisfactory
Bi-214	786 ± 20	602–991	872	0,779	Satisfactory
Cs-134	3500 ± 37	2170–4190	3765	1,16	Satisfactory
Cs-137	9150 ± 92	7360–10700	9795	0,888	Satisfactory
Co-60	8400 ± 55	6110–10500	8635	0,299	Satisfactory
Pb-212	1650 ±41	1240–2050	1584	–0,306	Satisfactory
Pb-214	851 ± 21	636–1050	890	0,452	Satisfactory
K-40	41800 ± 1045	36000–47500	39890	–0,643	Satisfactory
Sr-90	3630 ± 36	2620–4330	3608	0,305	Satisfactory
Th-234	4320 ± 130	2450–6840	4659	0,0119	Satisfactory
U-238	4320 ± 130	2970–6780	3685	–1,25	Satisfactory
Zn-65	4920 ± 52	3400–6830	5077	–0,0483	Satisfactory

ERA, Study MRAD-40
Water Radionuclides

analize opravljene ***od marca do maja 2024***, končni rezultati objavljeni ***maja 2024***

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Satisfactory Range	IRB	z-preskus	Končna ocena
	(pCi/L)				
Am-241	139 ± 1,5	81,2–176	170	1,74	Satisfactory
Cs-134	415 ± 4,5	329–452	414	0,758	Satisfactory
Cs-137	2310 ± 24	2080–2540	2312	0,00955	Satisfactory
Co-60	1500 ± 10	1400–1680	1552	0,163	Satisfactory
Fe-55	2480 ± 222	1830–3230	2054	–1,35	Satisfactory
Sr-90	316 ± 3	257–390	311	–0,379	Satisfactory
Zn-65	503 ± 5	482–583	527	–0,204	Satisfactory

ERA, Study MRAD-40
Water Tritium

analize opravljene ***od marca do maja 2024***, končni rezultati objavljeni ***maja 2024***

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Satisfactory Range	IRB	z-preskus	Končna ocena
	(pCi/L)				
H-3	13100 ± 199	11100–15200	13189	0,0399	Satisfactory

REZULTATI
MEDNARODNE PRIMERJALNE MERITVE

Radiochemistry PT Scheme, Round 137
ERA (Environmental Resource Associates), ZDA

Maja 2024 so bili objavljeni končni rezultati radiokemijske primerjave RAD-137,1 za določitev vsebnosti stroncija v vodnih vzorcih *[Radiochemistry PT Scheme, Round 137,1 ERA, Environmental Resource Associates, ERA Customer Number: R460987 (za IRB), ZDA, May 2024]* za en vzorec vode, ki ga je razposlala ERA, Environmental Resource Associates, ZDA.

IRB je v okviru te interkomparacije opravil meritve vsebnosti stroncija. Rezultati IRB ter primerjave s pripisanimi vrednostmi (assigned values) so zbrani v naslednji tabeli.

Za ovrednotenje rezultatov primerjalnih meritev uporablja ERA z-preskus, ki je definiran kot:

$$z\text{-preskus} = \frac{Value_{reported} - Value_{ref}}{\sigma}$$

Rezultati so ustrezni, če je |z-preskus| ≤ 2, vprašljiv, če je med 2 in 3 in neustrezen, če je večji od 3.

REZULTATI IRB

ERA, RAD-137
Water Radionuclides

analize opravljene ***od marca do maja 2024***, končni rezultati objavljeni ***maja 2024***

IZOTOP	ERA Certified value	ERA Satisfactory Range	IRB	z-preskus	Končna ocena
	(pCi/L)				
Sr-89	52,2 ± 0,6	36,2–66,5	57,57	0,82	Satisfactory
Sr-90	37,6 ± 0,4	27,2–44,2	35,14	–0,137	Satisfactory

REZULTATI PREVERJANJA

"Fortluft 2023" sevalci gama v aerosolnem filtru
BfS, Bundesamt für Strahlenschutz in PTB, Nemčija

V letu 2023 je ZVD sodeloval pri primerjalnih meritvah simuliranih aerosolnih filtrov – *Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken (Fortluft) [45. Ringversuch "Fortluft 2023", BfS-UR 3–71/2024, H. Schöllnberger, A. Deller, A. Heckel, C. Strobl, S. Hennig, O. Nähle, BfS, Berlin, Nemčija, avgust 2024]*, ki jih je organiziral Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) v sodelovanju s PTB iz Nemčije. Koda laboratorija ZVD je bila 2023-1406 (54). Meritve ZVD so bile opravljene novembra in decembra 2023, končni rezultati so bili objavljeni avgusta 2024. Rezultati in primerjave z referenčnimi vrednostmi so zbrane v spodnji tabeli.

REZULTATI ZVD

IZOTOP	BfS PTB-Sollwert	ZVD * (vzorec št. 2023-1406, koda laboratorija 54)	Rel. odmik (%)	ζ-preskus	Končna ocena
	(Bq/g)	(Bq/g)			
Na-22	4,01 ± 0,08	3,854 ± 0,175	–3,88	–1,61	A
Co-60	2,0 ± 0,04	1,905 ± 0,085	–4,76	–1,89	A
Y-88	4,43 ± 0,09	4,375 ± 0,125	–1,24	–0,54	A
Cs-13	4,36 ± 0,09	4,364 ± 0,132	0,10	0,06	A

* Podano je povprečje posameznih poročanih rezultatov in pripadajoča variance.

REZULTATI PREVERJANJA

INTERLABORATORY COMPARISON »RAW MILK 2023«
MRI, Max Rubner-Institut,
Bundesvorschungsinstitut für Erhnärung und Lebensmittel, Kiel, Nemčija

V letu 2023 je MRI, Max Rubner-Institut, Bundesvorschungsinstitut für Erhnärung und Lebensmittel iz Kiela, Nemčija, organiziral primerjalne meritve, kjer je bilo treba v vzorcu surovega mleka določiti vsebnost umetnih radionuklidov Co-60, I-131, Ba-133, Cs-134, Cs 137 in Am-241 ter naravnega radionuklida K-40. Pri tem preverjanju sta sodelovala IJS (koda laboratorija 41) in ZVD (koda laboratorija 50). Organizator je zahteval rezultate dveh neodvisnih meritev, s priporočilom, da se za vsako meritev uporabi različno geometrijo in/ali detektor. Odsek F-2 je poročal o meritvah z visokoločljivostno spektrometrijo gama, ZVD pa pa o meritvah z visokoločljivostno spektrometrijo gama in o radiokemijskih meritvah Sr-89 in Sr-90. ZVD je za vsako geometrijo poročal o treh setih meritev z visokoločljivostno spektrometrijo gama, opravljenih na različnih spektrometrih Končno poročilo *Abschlussbericht Vergleichsuntersuchung Milch 2023,2 (F. Ober, T. Gil Haenelt, T. Vagt, Max Rubner-Institut (MRI), Nemčija*) je bilo izdano maja 2024.

V prvih dveh tabelah so zbrani rezultati analiz IJS in primerjave s povprečjem sodelujočih laboratorijev, v naslednjih dveh pa rezultati ZVD.

Organizator je rezultate primerjal s testoma z-test in ζ-test, ki sta definirana kot:

$$z\text{-test} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

$$\zeta\text{-test} = \frac{x_i - x_{target}}{\sqrt{{u_i}^2 + {u_{target}}^2}}$$

kjer je x_i rezultat sodelujočega laboratorija za posamezen radionuklid in u_i pripadajoča merilna negotovost ter $\bar{x}$ povprečna vrednost vseh sodelujočih laboratorijev za ta radionuklid in σ standardna deviacija povprečja (k = 1). x_{target} in u_{target} pa sta referenčna vrednost in merilna negotovost referenčne vrednosti. Rezultati so sprejemljivi, če je $|z| \leq 2$, vprašljivi, če je $2 < |z| \leq 3$ in nesprejemljivi, če je $|z| \geq 3$. Isti kriteriji veljajo tudi za ζ-test.

REZULTATI IJS (Odsek F-2)

Raw Milk 2023, geometrija M1 analize IJS opravljene ***novembra 2023,*** končni rezultati objavljeni ***maja 2024***						
IZOTOP	**MRI (referenčna vrednost PTB)**	**IJS (Lab. No. 41)**	**Rel. odmik (%)**	**z-preskus**	**ζ-preskus**	**Končna ocena**
	Bq/L					
K-40	117,74 ± 0,65	124,0 ± 4,0	–5,3	1,0	1,5	A
Co-60	1,41 ± 0,01	1,48 ± 0,04	–4,9	0,8	1,7	A
I-131	2,89 ± 0,02	3,0 ± 0,3	–3,8	0,3	0,3	A
Ba-133	4,04 ± 0,02	4,2 ± 0,1	–4,0	0,8	1,4	A
Cs-134	2,21 ± 0,01	2,30 ± 0,07	–4,1	0,7	1,3	A
Cs-137	1,21 ± 0,01	1,23 ± 0,04	–1,7	0,2	0,5	A
Am-241	3,82 ± 0,04	4,1 ± 0,1	–7,3	0,8	2,2	Q

Raw Milk 2023, geometrija M2 analize IJS opravljene ***novembra 2023,*** končni rezultati objavljeni ***maja 2024***						
IZOTOP	**MRI (referenčna vrednost PTB)**	**IJS (Lab. No. 41)**	**Rel. odmik (%)**	**z-preskus**	**ζ-preskus**	**Končna ocena***
	Bq/L					
K-40	117,74 ± 0,65	133,0 ± 4,0	–13,0	2,4	3,8	N
Co-60	1,41 ± 0,01	1,58 ± 0,05	–12,0	2,1	3,3	N
I-131	2,89 ± 0,02	–	–	–	–	–
Ba-133	4,04 ± 0,02	4,3 ± 0,1	–6,4	1,2	2	A
Cs-134	2,21 ± 0,01	2,41 ± 0,07	–9,1	1,6	2,9	Q
Cs-137	1,21 ± 0,01	1,37 ± 0,06	–13,2	1,9	2,6	Q
Am-241	3,82 ± 0,04	4,2 ± 0,1	–9,9	1,0	2,8	Q

* Pri izračunu aktivnosti so bili uporabljeni napačni vhodni podatki o vzorcu.

REZULTATI ZVD

Raw Milk 2023, geometrija M1 analize ZVD opravljene ***oktobra 2023,*** končni rezultati objavljeni ***maja 2024***						
IZOTOP	**MRI (referenčna vrednost PTB)**	**ZVD (Lab. No. 50)**	**Rel. odmik (%)**	**z-preskus**	**ζ-preskus**	**Končna ocena**
	Bq/L					
K-40	117,74 ± 0,65	112,0 ± 0,4 107,0 ± 0,4 116,0 ± 0,4	4,9 9,1 1,5	–0,9 –1,7 –0,3	–1,4 –2,7 –0,3	A W A
Co-60	1,41 ± 0,01	1,3 ± 0,1 1,3 ± 0,1 1,5 ± 0,1	7,9 7,9 –6,3	–1,2 –1,6 0,8	–1,4 –1,9 0,9	A A A
I-131	2,89 ± 0,02	2,7 ± 0,2 2,5 ± 0,2 2,9 ± 0,3	6,6 13,5 –0,4	–0,8 –2,1 0,1	–0,8 –1,9 0,1	A N A
Ba-133	4,04 ± 0,02	3,8 ± 0,2 3,9 ± 0,2 4,2 ± 0,2	5,9 3,5 –4,0	–1,0 –0,8 0,6	–1,3 –0,9 0,7	A A A
Cs-134	2,21 ± 0,01	2,1 ± 0,3 2,2 ± 0,1 2,3 ± 0,1	5,0 0,5 –4,1	–0,5 0,0 1,0	–0,3 0,0 1,2	A A A
Cs-137	1,210 ± 0,01	1,1 ± 0,1 1,1 ± 0,1 1,1 ± 0,1	9,1 9,1 9,1	–1,0 –1,5 –1,3	–1,0 –1,5 –1,2	A A A
Sr-89	11,26 ± 0,35	10,4 ± 2,9	7,6	–0,4	–0,3	A
Sr-90	5,33 ± 0,10	5,4 ± 0,9	–1,3	0,0	0,0	AA
Am-241	3,82 ± 0,04	3,1 ± 0,3 3,1 ± 0,3 3,9 ± 0,3	18,9 18,9 –2,1	–1,8 –1,8 0,1	–2,1 –2,1 0,1	Q Q A

Raw Milk 2023, geometrija M2 analize ZVD opravljene ***oktobra 2023,*** končni rezultati objavljeni ***maja 2024***						
IZOTOP	**MRI (referenčna vrednost PTB)**	**ZVD (Lab. No. 50)**	**Rel. odmik (%)**	**z-preskus**	**ζ-preskus**	**Končna ocena**
	Bq/L					
		113,0 ± 0,3	4,0	–0,7	–1,5	A
		170,0 ± 0,3	–44,4	8,2	17,0	N
K-40	117,74 ± 0,65	116,0 ± 0,3	1,5	–0,3	–0,6	A
		1,3 ± 0,1	7,9	–1,0	–1,3	A
		1,3 ± 0,1	7,9	–1,6	–1,9	A
Co-60	1,41 ± 0,01	1,5 ± 0,1	–6,3	0,8	0,8	A
		2,7 ± 0,1	6,6	–0,8	–1,2	A
		2,4 ±0,1	17,0	–1,9	–3,3	N
I-131	2,89 ± 0,02	3,0 ±0,2	–3,8	0,1	0,4	A
		3,9 ± 0,1	3,5	–0,7	–1,3	A
		3,8 ± 0,1	5,9	–1,1	–2,0	A
Ba-133	4,04 ± 0,02	4,2 ± 0,1	–4,0	0,5	0,8	A
		2,2 ± 0,1	0,5	–0,4	–0,6	A
		2,2 ± 0,1	0,5	0,2	0,4	A
Cs-134	2,21 ± 0,01	2,3 ± 0,1	–4,1	1,0	2,0	Q
		1,1 ± 0,1	9,1	–1,0	–1,3	A
		1,1 ± 0,1	9,1	–1,2	–2,0	A
Cs-137	1,210 ± 0,01	1,1 ± 0,1	9,1	–1,2	–1,2	A
Sr-89	11,26 ± 0,35	11,0 ± 2,3	2,3	–0,1	–0,1	A
Sr-90	5,33 ± 0,10	4,8 ± 0,8	9,9	–0,6	–0,6	AA
		3,5 ± 0,2	8,4	–0,9	–1,7	A
		3,5 ± 0,2	8,4	–0,9	–1,6	A
Am-241	3,82 ± 0,04	3,8 ± 0,2	0,5	–0,0	–0,1	A

REZULTATI PREVERJANJA

REM-2020 PT
EC Proficiency Testing on Ra-226, Th-232 and K-40 in building materials
European Commission, Joint Research Centre (JRC), Geel, Belgium

Novembra 2021 je JRC Geel iz Belgije razposlal 3 vzorce gradbenega materiala (vzorce cementa, gline v kosu v obliki cilindra in gline v prahu), kjer je bilo treba določiti vsebnost naravnih radionuklidov Ra-226, Th-232 in K-40. Pri tem preverjanju sta sodelovala IJS (koda laboratorija 41) in ZVD (koda laboratorija 54).

Odsek F-2 je poročal o meritvah z visokoločljivostno spektrometrijo gama, ZVD pa pa o meritvah z visokoločljivostno spektrometrijo gama in o radiokemijskih meritvah Sr-89 in Sr-90. Končno poročilo *Abschlussbericht Vergleichsuntersuchung Milch 2023,2 (F. Ober, T. Gil Haenelt, T. Vagt, Max Rubner-Institut (MRI), Nemčija*) je bilo izdano maja 2024.

Vsebnost teh radionuklidov smo določali z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Poleg navedenih radionuklidov smo poročali še naslednje ključne radionuklide iz uranove in torijeve razpadne verige: Pb-210, Ra-228, Th-228 in U-238.

JRC je rezultate meritev ovrednotil na podlagi pravil iz standarda *Definitions (ISO 13528:2015)* in sicer na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$Bias = \frac{x_{reported} - x_{pt}}{x_{pt}} \cdot 100\ \%$$

Ključna testa, ki so ju uporabili za primerjavo rezultatov, sta *z*-test in ζ-test:

$$z = \frac{x_{reported} - x_{pt}}{\sigma_{pt}}$$

kjer je σ_{pt} standardna deviacija rezultatov interkomparacije brez outlierjev.

$$\zeta\text{-test} = \frac{x_{reported} - x_{pt}}{\sqrt{{u_{reported}}^2 + {u_{pt}}^2}}$$

Kriteriji za ovrednotenje so:
z in/ali $\zeta < 2$: acceptable, $2 \leq z$ in/ali $\zeta \leq 3$: warning, z in/ali $\zeta > 3$: not acceptable

Vse negotovosti so določene s faktorjem pokritja $k = 1$.

V naslednjih 3 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 19247) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi JRC Geel.
V prvih dveh tabelah so zbrani rezultati analiz IJS in primerjave s povprečjem sodelujočih laboratorijev, v naslednjih dveh pa rezultati ZVD.

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

REM-2020 PT
JRC-NORM-01 Cement
analize IJS opravljene ***decembra 2021,*** končni rezultati objavljeni ***septembra 2024***

IZOTOP	JRC Geel	IJS Lab. No. 19247	Rel. odmik (%)	ζ-test	z-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	182,3 ± 4,3	185,2 ± 5,5	1,6	0,42	0,08	A
Pb-210	23,5 ± 2,2	18,2 ± 2,1	–22,6	–1,76	–0,72	A
Ra-226	85,8 ± 2,4	101,5 ± 5,1	18,3	2,79	0,91	W
Ra-228	50,0 ± 1,0	51,0 ± 1,5	2,0	0,55	0,10	A
Th-228	51,0 ± 0,8	52,2 ± 1,6	2,4	0,68	0,12	A
Th-232	50,3 ± 1,0	51,6 ± 1,6	2,6	0,68	0,13	A
U-238	82,3 ± 3,7	65,4 ± 5,9	–20,5	–2,43	–0,68	W

REM-2020 PT
JRC-NORM-02 Expanded clay block (piece)
analize IJS opravljene ***decembra 2021,*** končni rezultati objavljeni ***septembra 2024***

IZOTOP	JRC Geel	IJS Lab. No. 19247	Rel. odmik (%)	ζ-test	z-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	314,6 ± 10,4	306,4 ± 9,2	–2,6	–0,59	–0,13	A
Pb-210	33,5 ± 1,6	26,6 ± 3,4	–20,6	–1,84	–0,69	A
Ra-226	32,4 ± 1,0	34,9 ± 2,8	7,7	0,85	0,39	A
Ra-228	22,9 ± 0,6	22,8 ± 0,7	–0,4	–0,11	–0,02	A
Th-228	23,6 ± 0,7	23,0 ± 0,7	–2,5	–0,63	–0,13	A
Th-232	23,1 ± 0,6	22,9 ± 0,7	–0,9	–0,21	–0,04	A
U-238	33,6 ± 1,3	29,1 ± 1,9	–13,4	–1,98	–0,45	A

REM-2020 PT
JRC-NORM-03 Expanded clay block (powder)
analize IJS opravljene ***decembra 2021,*** končni rezultati objavljeni ***septembra 2024***

IZOTOP	JRC Geel	IJS Lab. No. 19247	Rel. odmik (%)	ζ-test	z-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K–40	313,3 ± 4,9	331,3 ± 10,5	5,7	1,55	0,29	A
Pb–210	32,7 ± 1,7	30,8 ± 2,8	–5,8	–0,58	–0,19	A
Ra–226	32,7 ± 1,1	41,1 ± 3,2	25,7	2,47	1,28	W
Ra–228	22,7 ± 0,6	24,5 ± 0,8	7,9	1,85	0,40	A
Th–228	23,0 ± 0,5	24,5 ± 1,0	6,5	1,33	0,33	A
Th–232	22,7 ± 0,5	24,5 ± 0,9	7,9	1,76	0,40	A
U–238	33,8 ± 1,2	30,9 ± 2,7	–8,6	–0,98	–0,29	A

REZULTATI ZVD:

REM-2020 PT
JRC-NORM-01 Cement
analize ZVD opravljene ***od nov. 2021 do jan. 2022,*** končni rezultati objavljeni ***septembra 2024***

IZOTOP	JRC Geel	ZVD Lab. No. 19234	Rel. odmik (%)	ζ-test	z-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	182,3 ± 4,3	188,2 ± 11,0	3,2	0,50	0,16	A
Pb-210	23,5 ± 2,2	20,6 ± 5,2	–12,3	–0,51	–0,39	A
Ra-226	85,8 ± 2,4	89,3 ± 1,7	4,1	1,19	0,20	A
Ra-228	50,0 ± 1,0	50,7 ± 1,6	1,4	0,37	0,07	A
Th-228	51,0 ± 0,8	46,8 ± 2,0	–8,2	–1,96	–0,41	A
Th-232	50,3 ± 1,0	51,0 ± 2,2	1,4	0,29	0,07	A
U-238	82,3 ± 3,7	82,7 ± 12,0	0,5	0,03	0,02	A

REM-2020 PT
JRC-NORM-02 Expanded clay block (piece)
analize ZVD opravljene ***od nov. 2021 do jan. 2022,*** končni rezultati objavljeni ***septembra 2024***

IZOTOP	JRC Geel	ZVD Lab. No. 19234	Rel. odmik (%)	ζ-test	z-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	314,6 ± 10,4	454,7 ± 22,6	44,5	5,63	2,23	N
Pb-210	33,5 ± 1,6	39,3 ± 6,1	17,3	0,92	0,58	A
Ra-226	32,4 ± 1,0	41,7 ± 1,0	28,7	6,73	1,44	N
Ra-228	22,9 ± 0,6	31,1 ± 1,3	35,8	5,67	1,79	N
Th-228	23,6 ± 0,7	27,6 ± 1,5	16,9	2,44	0,85	Q
Th-232	23,1 ± 0,6	30,8 ± 1,7	33,3	4,23	1,67	N
U-238	33,6 ± 1,3	40,6 ± 7,5	20,8	0,92	0,69	A

REM-2020 PT
JRC-NORM-03 Expanded clay block (powder)
analize ZVD opravljene ***od nov. 2021 do jan. 2022,*** končni rezultati objavljeni ***septembra 2024***

IZOTOP	JRC Geel	ZVD Lab. No. 19234	Rel. odmik (%)	ζ-test	z-test	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K–40	313,3 ± 4,9	307,4 ± 16,2	–1,9	–0,35	–0,09	A
Pb–210	32,7 ± 1,7	29,7 ± 4,7	–9,2	–0,60	–0,31	A
Ra–226	32,7 ± 1,1	32,6 ± 0,7	–0,3	–0,07	–0,02	A
Ra–228	22,7 ± 0,6	22,3 ± 1,6	–1,8	–0,24	–0,09	A
Th–228	23,0 ± 0,5	19,7 ± 1,3	–14,3	–2,35	–0,72	Q
Th–232	22,7 ± 0,5	22,0 ± 1,2	–3,1	–0,54	–0,15	A
U–238	33,8 ± 1,2	31,9 ± 6,3	–5,6	–0,30	–0,19	A

REZULTATI PREVERJANJA

INTERKOMPARACIJSKE MERITVE OKOLJSKIH DOZIMETROV NDSarea 2023

V letu 2023 je IJS, *Laboratorij za dozimetrijo* sodeloval pri interkomparaciji, ki jo je organiziral *Laboratorij za dozimetrične standarde (NDS)*. En set dozimetrov (S03) je vseboval po 2 tableti TLD-IJS-05 (CaF2:Mn) v mehkem ohišju, drugi set dozimetrov (S04) pa je bil OSL (Al2O3:C). Dozimetri so bili izpostavljeni naravnemu sevanju zunaj 3 mesece. Obsevanje dozimetrov na dodatno dozo H*(10) je bilo izvedeno v vmesnem času na različne doze in z različnimi kvalitetami sevanja. Kot vpada pri obsevanju je bil 0° ali pa rotacijsko obsevanje (R-V). Po navodilih organizatorja smo pripravili po 22 okoljskih dozimetrov na komplet (skupaj torej 44) ter jih poslali organizatorju na obsevanje. Po obsevanju smo dozimetre prejeli nazaj v odčitavanje. Rezultate meritev smo nato poročali organizatorju, ki je pripravil certifikat o sodelovanju v interkomparaciji. Pri interkomparaciji smo imeli na izbiro, ali želimo obsevanje z nizkoenergijskimi kvalitetami sevanja (med 10 keV in 30 keV). Pri obeh sistemih smo se prijavili za to možnost. Končni rezultati interkomparacije *NDSarea2023* so bili individulano poslani udeležencem decembra 2023.

Rezultati meritev IJS (Odsek F-2, TLD) in relativni odzivi za interkomparacijo s termoluminiscenčnimi dozimetri so zbrani v spodnji tabeli.

REZULTATI IJS (Odsek F-2, Laboratorij za dozimetrijo)

NDS2023area ID	IJS ID	Kvaliteta sevanja	Kot sevanja [°]	Količina	Referenčna vrednost [mSv]	Poročana vrednost [mSv]	Poročana vrednost z odštetim ozadjem [mSv]	Relativni odziv	Energija [keV]
S03/2023-01	1	N-150	0	H*(10)	0,502	0,92	0,72	1,43	118
S03/2023-02	2	Cs-137	0	H*(10)	0,15	0,32	0,12	0,80	662
S03/2023-03	3	N-20	0	H*(10)	1,5	17,73	17,53	11,69	16,3
S03/2023-04	4	N-150	R-V	H*(10)	0,503	0,93	0,73	1,45	118
S03/2023-05	5	N-20	0	H*(10)	1,5	12,71	12,51	8,34	16,3
S03/2023-07	7	N-150	R-V	H*(10)	0,503	0,97	0,77	1,53	118
S03/2023-08	8	Cs-137	0	H*(10)	0,5	0,61	0,41	0,82	662
S03/2023-09	9	Cs-137	0	H*(10)	0,15	0,37	0,17	1,13	662
S03/2023-10	10	N-60	R-V	H*(10)	0,502	4,19	3,99	7,95	47,9
S03/2023-11	11	Cs-137	0	H*(10)	1,5	1,42	1,22	0,81	662
S03/2023-12	12	N-60	0	H*(10)	0,499	3,68	3,48	6,97	47,9
S03/2023-14	14	Cs-137	R-V	H*(10)	0,5	0,65	0,45	0,90	662
S03/2023-15	15	N-150	0	H*(10)	0,502	0,97	0,77	1,53	118
S03/2023-16	16	Cs-137	R-V	H*(10)	0,5	0,61	0,41	0,82	662
S03/2023-17	17	Cs-137	0	H*(10)	1,5	0,99	0,79	0,53	662
S03/2023-19	19	N-60	0	H*(10)	0,499	4,13	3,93	7,88	47,9
S03/2023-20	20	N-60	R-V	H*(10)	0,502	3,9	3,7	7,37	47,9
S03/2023-22	22	Cs-137	0	H*(10)	0,5	0,64	0,44	0,88	662

VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI IZREDNEGA MONITORINGA RADIOAKTIVNOSTI

Center za fizikalne meritve
Laboratorij za meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov

Št. poročila: LMSAR-48/2024-MŠ
Datum: 30.07.2024

Poročilo o obhodu mobilnih enot

Naročnik:: Nuklearna elektrarna Krško d.o.o.
Vrbina 12
8270 Krško

Sodelujoči: ZVD, IJS, NEK

Naročilo: Pogodba št. 3240326 za Mobilno enoto za terenske meritve za leta 2024, 2025, 2026 in 2027

Poročilo vsebuje skupaj **22** strani in ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti.

Poslano: Naročnik (e-pošta na danijel.novak@nek.si; petra.rozic@nek.si, marjan.pavlin@nek.si);
IJS (e-pošta na toni.petrovic@ijs.si; miha.mihovilovic@ijs.si);
1 × arhiv ZVD

Poročilo izdelal: Matija Škrlep, mag. prof. fiz. ZVD
podpis
elektronsko podpisano Matija Škrlep, mag. prof. fiz.

Dopolnitve poročila: dr. Toni Petrovič, univ. dipl. fiz IJS
podpis
Digitally signed by TONI PETROVIČ
Date: 2024.07.31 09:41:29 +02'00'

Poročilo odobril: dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz. ZVD
podpis
elektronsko podpisano dr. Gregor Omahen, univ.dipl.fiz.

Poročilo odobril: doc. dr. Miha Mihovilovič, univ. dipl. fiz. IJS
podpis
Digitally signed by MIHA MIHOVILOVIČ
Date: 2024.07.31 09:17:00 +02'00'

1. Program obhoda

3. 6. 2024 so bile mobilne enote za posredovanje v primeru nesreče v jedrski elektrarni preko sistema KID obveščene o izpustu iz elektrarne, pri čemer je bilo poudarjeno, da gre za vajo. Mobilne enote so v skladu z navodili odšle na teren in pričele z izvajanjem meritev.

Vaja ROMENEK 2024 je trajala 3 dni, v času od 3. do 5. 6. 2024. Opravili smo redni obhod mobilnih enot za posredovanje v primeru nesreče v jedrski elektrarni, in sicer ZVD (MERZ – Mobilna enota radiološke zaščite), IJS (ELME – Ekološki laboratorij z mobilno enoto) ter NEK (TO.RZ). Program obhoda je določen v Preglednici 3 Priloge 8 Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (JV11, Uradni list RS št. 27/2018) in obsega:

- Meritve hitrosti doz na izbranih točkah, kjer se sicer izvajajo meritve v sklopu obratovalnega monitoringa
- Meritve kontaminacije površin
- Meritve hitrosti doz iz vozečega vozila s kartiranjem
- Spektrometrijo gama in-situ
- Vzorčenje in meritev aktivnosti vzorcev v mobilnem laboratoriju
- Meritve »vročih« vzorcev
- Pozicioniranje vzorčevalnih točk (GPS)
- Meritve meteoroloških parametrov
- Meritve osebnih doz
- Vzpostavitev kontrolne točke z meritvami
- Meritev vsebnosti joda v ščitnici
- Meritev radionuklidov v telesu (WBC)
- Poročanje rezultatov in komunikacijo s terena

Program je bil v celoti izpolnjen. Posamezne aktivnosti so podrobneje opisane v naslednjih poglavjih. Vodje ekip so bili Boštjan Drolc (ZVD, MERZ), Toni Petrovič (IJS,ELME) in Miroslav Urbanč (NEK, TO.RZ). Poročila o obhodu izmenjaje pripravljata ZVD in IJS. V zaključku so podana morebitna opažanja in predlagane izboljšave, bodisi podana s strani ZVD bodisi IJS. Opažanja in predlogi so lahko smiselni in koristni za vse ekipe mobilnih enot.

1.1 Ekipe mobilnih enot

MERZ ZVD – Boštjan Drolc (vodja), Jaka Kovač, Matija Škrlep, Andrej Žohar

ELME IJS – Toni Petrovič (vodja), Miha Mihovilovič, Klara Poiškruh, Rok Roš Opaškar, Tilen Brecelj

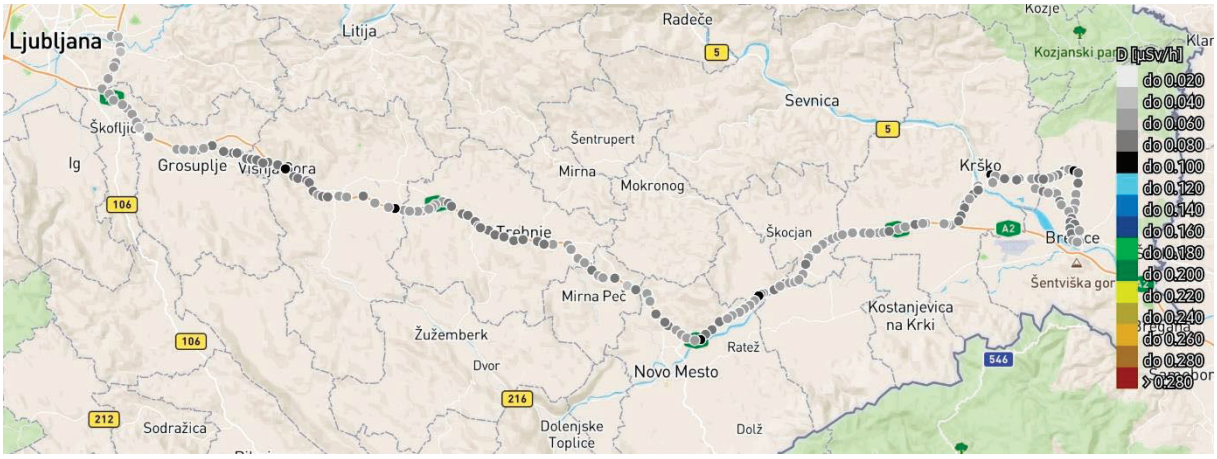
TO.RZ NEK – Miroslav Urbanč (vodja), Miha Romih

2. Meritve na terenu

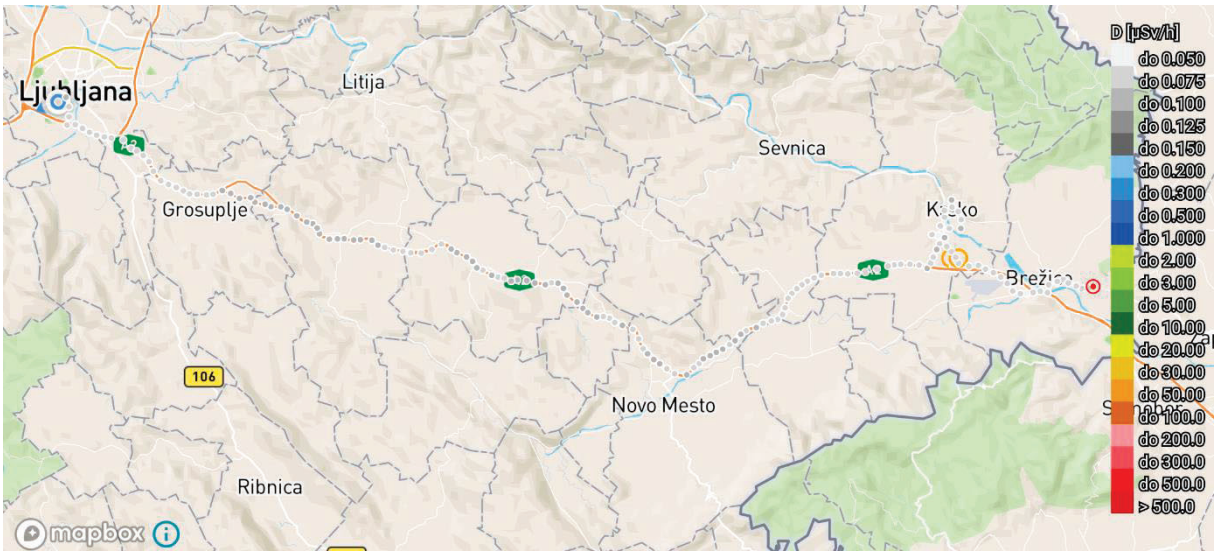
1.2 Meritve hitrosti doz iz vozečega vozila

Mobilni enoti MERZ in ELME za kartiranje hitrosti doz uporabljata različna merilnika, ki preko brezžične povezave pošiljata podatke na Android tablični računalnik, podatke pa nato obdeluje aplikacija Route Monitoring.

Aplikacija meritve beleži v podatkovno bazo in izriše v obliki karte hitrosti doz, kot je prikazano na slikah 1 in 2. Meritve smo izvajali na poti iz Ljubljane do Krškega ter na krožnih poteh po vzorčevalnih mestih okrog NEK. Izmerjene vrednosti so na ravni pričakovanega nivoja ozadja.



Slika 1: Izmerjene hitrosti doze iz vozečega vozila (MERZ, relacija Ljubljana – Krško).



Slika 2: Izmerjene hitrosti doze iz vozečega vozila (ELME, relacija Ljubljana - Krško).

1.3 Meritve hitrosti doz in kontaminacije na izbranih točkah

Prvi dan obhoda (3. 6. 2024) smo opravili meritve na treh krožnih trasah v okolici NEK. IJS je meritve z dvema voziloma izvedel na zahodni trasi in v mestu Krško, ZVD pa z enim vozilom na vzhodni trasi. Na vsaki trasi je posamezna mobilna enota izmerila hitrosti doze in kontaminacijo površin na 10 različnih vnaprej določenih točkah.

Meritve hitrosti doz smo opravili na višini 1 m od tal, meritve kontaminacije pa na razdalji 2 - 5 cm od tal. Opravili smo meritve hitrosti doz sevanja gama in kontaminacije beta/gama ter alfa. Rezultati meritev so podani v prilogah 1 in 6. Ker so posamezne mobilne enote meritve izvajale na različnih krožnih trasah, medsebojna primerjava ni mogoča oziroma smiselna.

Vsi rezultati meritev so na nivoju naravnega ozadja, kar je pričakovano. Pri tako nizkih hitrostih doz izmerki nihajo do ± 20%. Negotovosti pri IJS za meritev hitrosti doze so 25 % (faktor zaupanja k=1) in 40 % za merilnike kontaminacije, pri ZVD pa 25 % za merilnik hitrosti doze in 30 % za merilnik kontaminacije (vse s faktorjem zaupanja k = 1).

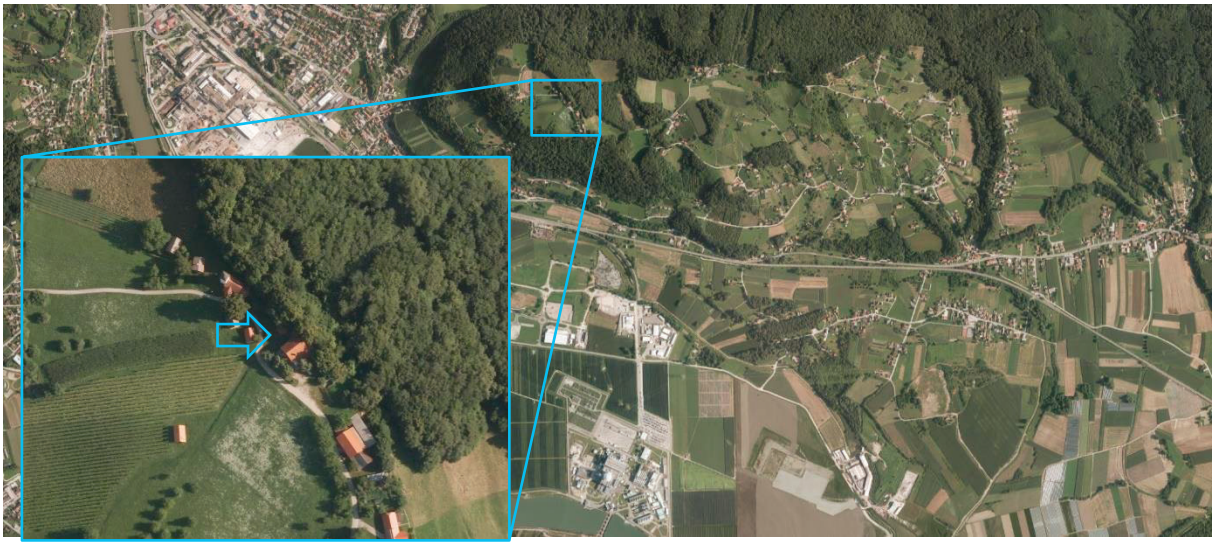
Slika 3: Izvajanje meritev hitrosti doze in kontaminacije površin na izbranih točkah v okolici Krškega (levo) in na Libni 3. dan obhoda (desno).

Podobno smo meritve hitrosti doz na izbranih točkah izvajali tudi 3. dan obhoda, tokrat so meritve izvajali tudi člani mobilne enote TO.RZ NEK. Rezultati meritev so v prilogah 1, 9 in 18 ter v tabeli 1. Izvajanje meritev prikazuje slika 3. Rezultati meritev se ujemajo v okviru merilne negotovosti.

1.4 Spektrometrija gama in-situ

Zadnji dan obhoda (5. 6. 2024) smo opravljali meritve koncentracij aktivnosti radionuklidov v zemlji z gama spektrometrijo in-situ. Meritve smo opravljali na lokaciji na vrhu Libne poleg lovskega doma (glej sliko 4).

Detektorja z germanijevim kristalom sta bila postavljena na trinožni stojali na višino 1 metra od tal, kot je prikazano na sliki 5. S pomočjo matematične kalibracije smo določili koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov (Bq/kg), ki so enakomerno porazdeljeni po globini, in koncentracijo aktivnosti Cs-137, kjer najprej privzamemo enakomerno porazdelitev po globini (Bq/kg), nato pa še specifično aktivnost (Bq/m^2), kjer privzamemo, da je vsa aktivnost posledica svežega useda in zbrana na površini zemlje. Privzet premer ploskve s katere zaznamo sevanje je 200 m.



Slika 4: Lokacija meritve z gama spektrometrijo in-situ na Libni

Slika 5: Izvajanje spektrometrije gama in-situ na lokaciji Libna.

Rezultati meritev so prikazani v tabeli 2 ter v prilogah 2 in 10. Primerjava rezultatov meritev in-situ MERZ in ELME kaže, da se rezultati večinoma ujemajo v okviru merilne negotovosti. Nekoliko večja razhajanja pri Ra-226 in Th-228 lahko pripišemo izbiri različnih mikrolokacij in so za to vrsto meritev običajna.

3. Meritve v mobilnem laboratoriju

Nekatere vzorce iz okolja in vroče vzorce smo merili v svinčenih ščitih v mobilnem laboratoriju MERZ in ELME ter TO.RZ NEK.

Slika 6: Medsebojno poročanje rezultatov ob koncu izvajanja meritev v mobilnih laboratorijih na območju NEK.

1.5 Meritev »vročih« vzorcev

V mobilnih laboratorijih ZVD, IJS in NEK smo izmerili dva vzorca s povišanimi aktivnostmi, in sicer ogleni filter ter bris. Rezultati meritev so prikazani v tabelah 3 in 4 ter v prilogah 2, 7, 13 in 14. Za referenčni datum so vse mobilne enote upoštevale 3. 6. 2024, torej datum izvajanja meritev. V tabeli 3 so navedene tudi referenčne vrednosti aktivnosti oglenega filtra iz certifikata vira (priloga 19), preračunane na datum izvajanja meritev.

Odstopanja rezultatov med mobilnimi enotami so večinoma manj od 10 % (izjema je Hg-203, ki je razmeroma kratkoživ in so bile v času meritve v vzorcu zelo nizke aktivnosti). Odstopanja izmerjenih vrednosti od referenčne vrednosti v nobenem primeru ne presežejo 20 %.

1.6 Meritev vsebnosti joda v ščitnici

Za določevanje oziroma simulacijo notranje kontaminacije ščitnice z I-131 smo izvedli primerjalne meritve z virom Ba-133. Dogovorili smo se, da poročamo tako aktivnosti Ba-133, kot tudi aktivnosti v primeru da bi bil prisoten jod, torej aktivnost preračunano iz razmerja gama konstant. Uporabili smo faktor 0,75. Meritve smo opravili laboratoriji MERZ, ELME in TO.RZ, rezultati meritev pa so prikazani v prilogah 3, 8 in 16 ter v tabeli 5. Poročali smo aktivnosti določene na podlagi umerjenih pretvorbenih faktorjev merilnikov hitrosti doze.

Odstopanja rezultatov med mobilnimi enotami so manjša od 5 %, če pa primerjamo odstopanja laboratorijev od referenčne vrednosti iz certifikata (priloga 21), so ta odstopanja večja, do 30 %. Potrebno bi bilo ponovno ovrednotiti ustreznost uporabljenih gama konstant, oziroma razmerja 0,75, ki smo ga uporabili pri preračunih. Gama konstante se namreč v različnih virih nekoliko razlikujejo.

Meritve smo izvedli tudi z virom I-131. Rezultati so prikazani v prilogah 3 in 16 ter v tabeli 6. Odstopanja med laboratoriji so precej velika, predvsem laboratorij TO.RZ NEK je v primerjavi z MERZ in ELME izmeril zelo visoko aktivnost I-131.

1.7 Meritev skupne aktivnosti beta

V mobilnih laboratorijih ZVD, IJS in NEK smo izvedli primerjalne meritve s filtrom, ki je vseboval sevalce beta delcev. Določili smo skupno aktivnost beta in jo primerjali z vrednostjo iz certifikata vira (priloga 20). Rezultati meritev so prikazani v tabeli 7. Odstopanja rezultatov mobilnih enot od vrednosti iz certifikata so do 20 %. Meritve površinske kontaminacije so običajno najbolj nezanesljive, oziroma so negotovosti največje, zato so nekoliko večja odstopanja pričakovana oziroma dopustna.

1.8 Meritev koncentracije radionuklidov v zraku

Tretji dan obhoda (5. 6. 2024) sta na območju Libne mobilni enoti MERZ in ELME opravili vsaka svoje vzorčenje zraka s prenosno zračno črpalko, ki zrak črpa skozi zračni filter. Prečrpan volumen zraka je bil 6,750 m^3 (MERZ) oziroma 2,271 m^3 (ELME).

Mobilni enoti ZVD in IJS sta nato opravili meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov na filtru. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 8. Ujemanje je slabo, kar lahko pripišemo predolgemu intervalu med vzorčenjem in meritvijo laboratorija ELME.

1.9 Meritev koncentracije radionuklidov v vzorcu pšenice

Prvi dan obhoda (3. 6. 2024) so člani ELME v okolici Vrbine nabrali vzorec pšenice. Meritve smo izvedli 5. 6. 2024 na lokaciji Libna. Najprej je vzorec pomerila vsaka ekipa v svojem mobilnem laboratoriju, kasneje pa še vsaka v svojem laboratoriju v Ljubljani. Rezultati so predstavljeni v prilogah 2, 5, 11 in 12 ter v tabeli 9.

Rezultate meritev v mobilnih laboratorijih primerjamo s povprečjem laboratorijskih meritev. Ujemanje za K-40 je dobro (odstopanja pod 15 %). Pri ostalih radionuklidih je bil čas merjenja v mobilnem laboratoriju prekratek, da bi jih lahko zaznali, medtem ko smo jih pri meritvah v stacionarnih laboratorijih v Ljubljani lahko zaznali.

1.10 Meritev koncentracije radionuklidov v vzorcu zemlje

5. 6. 2024 sta mobilni enoti MERZ in ELME na lokaciji Libna opravili vzorčenje zgornje plasti zemlje (0 – 10 cm). Vzorčeno zemljo sta nato premešali in s tem pripravili homogen vzorec iz katerega je vsaka ekipa nato pripravila svoj vzorec (slika 7). Podobno kot pri vzorcu pšenice je vsaka ekipa svoj vzorec izmerila na lokaciji Libna v mobilnem laboratoriju in nato še v laboratoriju v Ljubljani. Rezultati so predstavljeni v prilogah 2, 5, 11 in 12 ter v tabeli 10.

Slika 7: Homogen vzorec zemlje (levo) ter vzorec MERZ, pripravljen za izvedbo meritev (desno).

Rezultati meritev mobilnih laboratorijev se od povprečja rezultatov izmerjenih v stacionarnih laboratorijih v Ljubljani razlikujejo manj kot 20 %, kar ocenjujemo kot dobro. Nekateri radionuklidi pri meritvah v mobilnih laboratorijih zaradi krajšega časa meritev in večje negotovosti ozadja niso bili zaznani.

4. Posebna opravila in meritve različnih parametrov

1.11 Meritve meteoroloških parametrov

Na lokaciji NEK smo opravili meritve vremenskih pogojev. Vremenska postaja ZVD je bila postavljena na višini 1,5 metra nad tlemi, medtem ko je bila postaja IJS na višini približno 3 metre.

ZVD ima brezžično vremensko postajo, ki jo povežemo v splet in je tako dostopna na spletni platformi Weather Underground pod kodo ILJUBL21. IJS vremenske podatke prepisuje sproti na obrazec. Merski podatki so prikazani na sliki 8.

Time	T	Dew Point	Humidity	Wind	Speed	Gust	Pressure	Precip. Rate.	Precip. Accum.	UV
9:49 dop.	19.6 °C	14.9 °C	74 %	SE	1.2 km/h	1.4 km/h	1,005.08 hPa	0.25 mm	3.81 mm	0
9:54 dop.	19.8 °C	14.9 °C	74 %	SSE	2.7 km/h	3.1 km/h	1,005.08 hPa	0.25 mm	3.81 mm	0
9:59 dop.	19.9 °C	14.9 °C	73 %	SSE	2.3 km/h	3.1 km/h	1,005.08 hPa	0.25 mm	3.81 mm	0
10:04 dop.	20.0 °C	15.1 °C	73 %	SSE	2.1 km/h	2.6 km/h	1,005.08 hPa	0.25 mm	3.81 mm	0
10:09 dop.	20.2 °C	15.0 °C	72 %	SSE	2.9 km/h	4.3 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:14 dop.	20.4 °C	15.0 °C	71 %	SSE	2.5 km/h	3.4 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:19 dop.	20.6 °C	14.8 °C	70 %	South	2.0 km/h	2.6 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	1
10:24 dop.	20.9 °C	15.1 °C	70 %	NE	0.0 km/h	0.0 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:29 dop.	21.4 °C	15.3 °C	68 %	SSW	4.2 km/h	5.4 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	1
10:34 dop.	21.5 °C	15.1 °C	67 %	South	3.0 km/h	4.1 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	1
10:39 dop.	21.6 °C	15.0 °C	66 %	SSW	3.3 km/h	4.2 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:44 dop.	22.0 °C	15.3 °C	66 %	SSW	5.4 km/h	7.1 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:49 dop.	22.0 °C	15.4 °C	66 %	South	4.5 km/h	5.5 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:54 dop.	22.0 °C	15.3 °C	66 %	SSW	3.9 km/h	5.3 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
10:59 dop.	22.2 °C	15.4 °C	66 %	SSW	2.8 km/h	3.4 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
11:04 dop.	22.5 °C	15.6 °C	65 %	SSE	0.7 km/h	1.1 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
11:09 dop.	22.7 °C	15.5 °C	64 %	SSW	1.7 km/h	2.4 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
11:14 dop.	22.9 °C	15.9 °C	65 %	SSW	2.1 km/h	2.7 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
11:19 dop.	22.9 °C	15.7 °C	64 %	SSE	2.5 km/h	3.7 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	2
11:24 dop.	23.0 °C	15.9 °C	64 %	SSW	4.2 km/h	5.3 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	3
11:29 dop.	23.0 °C	16.0 °C	65 %	SSW	3.5 km/h	4.7 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	3
11:34 dop.	23.1 °C	15.9 °C	64 %	SSW	3.3 km/h	5.0 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	3
11:39 dop.	23.3 °C	16.1 °C	64 %	SSE	1.6 km/h	2.1 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	3
11:44 dop.	23.5 °C	16.3 °C	64 %	SSW	3.5 km/h	5.1 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	3
11:49 dop.	23.5 °C	16.3 °C	64 %	SW	4.2 km/h	5.0 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	4
11:54 dop.	23.5 °C	16.0 °C	63 %	SSW	3.8 km/h	5.1 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	5
11:59 dop.	23.6 °C	16.3 °C	63 %	SSW	5.5 km/h	6.4 km/h	1,005.08 hPa	0.00 mm	3.81 mm	4

Institut "Jožef Stefan"
Ekološki laboratorij z mobilno enoto

ELME-DN-O-09
nov. 2012 / izdaja 04

Oznaka naloge: _____

Stran: _____

METEOROLOŠKI PARAMETRI

Lokacija: Libna *Datum:* 5.6.2024

ČAS (hh:mm)	VETER		ZRAK		
	HITROST (m/s) (Zmajin Rezultat)	SMER	TEMPERATURA (°C)	RELATIVNA VLAŽNOST (%)	TLAK (hPa) mBar
10 : 10	5,1	NE	21,5	75,3	1009,3
10 : 20	5,8	E	21,3	75,1	1009,2
10 : 30	6,6	E	21,6	74,1	1009,3
10 : 40	5,9	ENE	21,7	74,9	1009,3
10 : 50	5,7	NE	21,7	71,3	1009,5
11 : 00	5,2	W	22,0	74,1	1008,4
11 : 10	4,0	ENE	22,3	71,9	1009,5
11 : 20	7,4	E	22,4	71,1	1009,6
11 : 30	4,7	E	22,6	73,8	1009,7
11 : 40	4,0	E	22,8	71,0	1009,7

Količina padavin v času meritev (mm): Ø

OPOMBE:
– hitrost in smer vetra ter temperatura in relativna vlažnost zraka so merjeni na višini vsaj 2 m nad tlemi;
– zračni tlak je merjen na višini osnovne enote (ustrezno označi vrsto tlaka: A - absolutni, R- relativni).

V primeru večjega števila zapisov uporabi nov obrazec.

Opis vremena: Sončno, brez oblakov in rahlo vetrovno

Meritve opravil: TIL & NOL *Podpis:*

Slika 8: Vremenski podatki MERZ (levo) in ELME (desno).

1.12 Meritve osebnih doz

Vsi člani mobilnih enot ZVD, IJS in NEK so v času obhoda 3. - 5. 6. 2024 uporabljali osebne pasivne dozimetre (OSL ali TLD) ter tudi osebne alarmne elektronske dozimetre. Noben član ni prejel povišane doze [22].

1.13 Vzpostavitev kontrolne točke in uporaba zaščitne opreme

Na zadnji dan obhoda (5. 6. 2024) smo izvedli preverjanje ustreznosti osebne zaščitne opreme, njeno uporabo in vzpostavitev morebitne kontrolne točke za izstop iz radiološko nadzorovanega območja. Člani ELME so uporabili popolno zaščitno opremo, ki je vključevala zaščitni kombinezon, zaščitne čevlje, bombažne in lateks rokavice ter celoobrazno dihalno masko tipa FPP3. Rok uporabe maske ni bil pretečen.

Po oblačenju zaščitne opreme so testirali še njeno odstranjevanje z naknadnimi meritvami osebne kontaminacije, kjer je potrebno biti pozoren, da ne pride do sekundarne kontaminacije (deli telesa ali drugi člani ekipe).

Slika 9: Uporaba osebne varovalne opreme.

1.14 Meritev radionuklidov v telesu

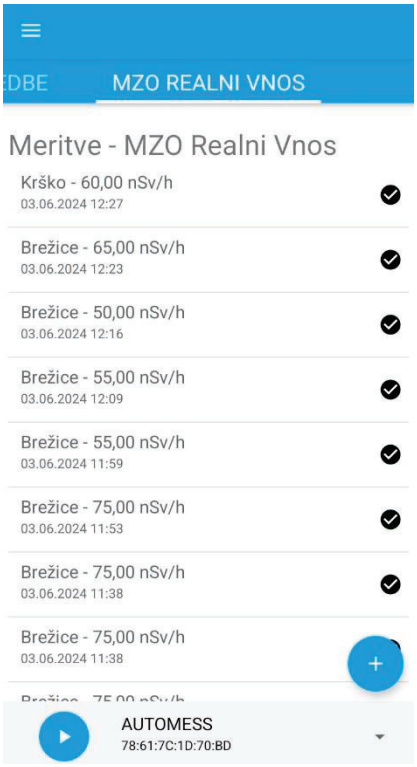
Člani ELME so opravili celotelesno meritev radionuklidov v NEK. Povečana prisotnost radionuklidov v telesu ni bila zaznana.

1.15 Poročanje rezultatov in komunikacija s terena

Prvi dan obhoda (3. 6. 2024) smo tudi preverili komunikacijo na terenu in izmenjavo informacij preko postaj ZARE in preko mobilnih telefonov. V ta namen smo na CORS rezervirali ZARE kanal 36, ki smo ga

MERZ in ELME uporabljali za komunikacijo. ELME je za komunikacijo z URSJV uporabljal tudi sistem ZARE+.

Mobilni enoti ELME in MERZ sta uspešno vzpostavili medsebojno povezavo preko sistema ZARE. Povezava med MERZ in URSJV (v Ljubljani) ni bila uspešna. Komunikacija med ELME in URSJV preko sistema ZARE+ pa je delovala odlično. Prav tako je bila uspešno testirana tudi komunikacija med ELME in mobilno enoto NEK preko sistema ZARE+. Rezultate meritev hitrosti doz smo s terena sporočali preko aplikacije URSJV-Prod-2.0.1 (slika 10).



Slika 10: Uporaba mobilne aplikacije URSJV-Prod-2.0.1 za poročanje rezultatov meritev hitrosti doz s terena.

1.16 Meritve z radijskimi merilniki Saphymo

Na koncu obhoda (5. 6. 2024) smo MERZ, ELME in TO.RZ NEK preverili še vključenost in prenos podatkov z merilnikov Saphymo miniTRACE v radijski sistem NEK. Merilnika mobilne enote MERZ nismo uspeli povezati s sistemom. Razlog za to je v napačno nastavljenem času na instrumentu, česar nismo uspeli odpraviti. Vzrok za napako pri časovni nastavitvi je potrebno preveriti pri proizvajalcu. Vsi ostali merilniki mobilnih enot so se povezali, podatki so se uspešno prenesli skupaj z GPS pozicijo merilnika. Na vrhu Libne smo sicer imeli neposreden pogled na NEK, zato je bila povezava zelo dobra.

5. Zaključne ugotovitve

V okviru obhoda mobilnih enot ZVD in IJS (MERZ in ELME) smo izvedli vse aktivnosti, ki so predpisane po programu iz pravilnika JV10. Skupaj z mobilno enoto TO.RZ NEK smo izvedli primerjalne meritve vročih vzorcev, skupne aktivnosti beta in aktivnosti I-131 v ščitnici. Ugotavljamo, da se merski rezultati vseh laboratorijev dobro ujemajo. Praktično ni večjih oziroma zaskrbljujočih odstopanj, še posebej če

primerjamo rezultate laboratorijev pri meritvah referenčnih vzorcev. To pomeni, da so laboratoriji usklajeni, da imajo dobre metode in ustrezno znanje.

Nekaj ugotovitev ter predlogov za spremembe in izboljšave v prihodnosti:

- ZARE postaja: NEK je prešel na komunikacijo s sistemom ZARE. Žal je ta sistem »zaprt«, oziroma lahko imetniki NEK sistema komunicirajo le znotraj svoje skupine, ne morejo pa komunicirati z ostalimi deležniki. Smiselno bi bilo, da je NEK vključen v komunikacijo z vsemi, ki sodelujejo pri odzivu na izredni dogodek.
- ZARE+ sistem: zaradi velike odvisnosti kvalitete radijskega signala v sistemu ZARE od vremenskih pogojev in geografske lokacije na področju NEK predlagamo, da se tudi v mobilni enoti MERZ obstoječe radijske postaje sistema ZARE dopolni z radijskimi postajami sistema ZARE+. Radijski signal sistema ZARE+ je namreč veliko boljši in manj odvisen tako od vpliva vremenskih razmer kot geografske lokacije.
- ZARE+ sistem: IJS je vzpostavil direktno komunikacijo z URSJV, ni pa uspel imeti skupinskega pogovora z drugo ekipo ELME in URSJV. To je potrebno preveriti, če je sploh možno.
- Potrebno je preveriti, zakaj MERZ ni uspel spremeniti nastavite časa v svoji napravi Saphymo miniTRACE in s tem povezati svoje naprave v radijski sistem NEK. Če povezave tudi v bodoče ne bomo mogli vzpostaviti, mora ZVD za svojo mobilno enoto zagotoviti novo napravo.
- Na naslednjem obhodu bi bilo potrebno ponoviti meritve aktivnosti joda v ščitnici z uporabo vira Ba-133. Če bodo razhajanja med izračuni mobilnih enot in referenčno vrednostjo iz certifikata zopet visoka, bi bilo potrebno premisliti, če so uporabljene gama konstante in razmerje med gama konstantami 0,75 ustrezni.

6. Priloge

Originalna poročila o meritvah so priloge tega poročila:

1. Poročilo o meritvah sevalnih razmer, ZVD številka LMSAR-43/2024-MŠ
2. Poročilo o meritvah radioaktivnosti, ZVD številka LMSAR-45-1/2024-MŠ
3. Poročilo o meritvah radioaktivnosti, ZVD številka LMSAR-46-1/2024-MŠ
4. Poročilo o meritvah sevalnih razmer, ZVD številka LMSAR-47/2024-MŠ
5. Poročilo o meritvah radioaktivnosti, ZVD številka LMSAR-49/2024-MŠ
6. Poročilo o meritvah ionizirajočega sevanja, IJS številka 34/2024
7. Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, IJS številka 35/2024
8. Poročilo o meritvah ionizirajočega sevanja, IJS številka 36/2024
9. Poročilo o meritvah ionizirajočega sevanja, IJS številka 37/2024
10. Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, IJS številka 38/2024
11. Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, IJS številka 39/2024
12. Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, IJS številka 44/2024
13. Poročilo o spektrometriji gama, NEK-TO.RZ številka 510-24
14. Poročilo o spektrometriji gama, NEK-TO.RZ številka 511-24
15. Rezultati analize vzorčenja zraka, NEK-TO.RZ, datum 04.06.2024
16. Meritve kontaminacije oseb A, NEK-TO.RZ, datum 04.06.2024
17. Meritve kontaminacije oseb B, NEK-TO.RZ, datum 04.06.2024
18. Meritve hitrosti doz v okolici elektrarne, NEK-TO.RZ, datum 05.06.2024
19. Calibration Certificate D-K-19023-01-00, 002379
20. Calibration Certificate D-K-19023-01-00, 002383
21. Certificate of Calibration – Standard Reference Source 100381
22. Osebna dozimetrija intervencijske ekipe, IJS ELME-DN-O-29, datum 3. 6. 2024.

Tabela 1: Meritve hitrosti doz tretji dan obhoda, 5. 6. 2024.

LOKACIJA	GPS koordinate	Sevanje gama			Površinska kontaminacija β + γ	
		ZVD	IJS	NEK	ZVD	IJS
		Automess 6150 AD 6/H + Automess	Automess / SCINT – ELME 1	FH40G	Berthold LB 124	Berthold LB 124 – ELME 1
		SN:163300 SN:107006	SN:153688 SN:152975	SN:20195	SN:9493	SN:10-11384
		Hitrost doze [nSv/h]			Površinska kontaminacija [cps]	
Libna 1	N 45,953812 °, E 15,513068 °	55	75	60	10,5	9
Libna 2	N 45,953726 °, E 15,513037 °	50	78	80	11,5	8
Libna 3	N 45,953633 °, E 15,513051 °	65	74	80	11	10
Libna 4	N 45,953521 °, E 15,513221 °	60	78	80	10	10
Libna 5	N 45,953521 °, E 15,513469 °	45	63	70	6	7
Libna 6	N 45,953621 °, E 15,512576 °	160	168	180	13,5	13
Libna 7	N 45,953773 °, E 15,513317 °	140	169	135	14	12
Libna 8	N 45,953913 °, E 15,512776 °	105	120	110	9	11
Libna 9	N 45,954030 °, E 15,512859 °	110	117	115	14	12
Libna 10	N 45,953879 °, E 15,513065 °	60	78	70	12,5	9

Tabela 2: Rezultati meritev in-situ na lokaciji Libna (lovska koča).

Izvajalec priprave: ZVD, IJS

Datum vzorčevanja: 05.06.2024

Vzorčevalno mesto: In-situ, travnik pri lovskem domu Libna

Vrsta vzorca: 2R=200m, H=1m, ($H_{površinski_used}$ = 1 mm), X = 1 m, ρ = 1,6 kg/l

Izvajalec	**ZVD**	**IJS**	**Razlika ZVD-IJS**
Datum analize *	05.06.2024	05.06.2024	
Količina mer. vzorca	2r=100m, d=1m	2r=200m, d=1m	
Oznaka vzorca	IS2-INS-20240605	/	
Radionuklid	**Specifična aktivnost (Bq/kg) † ‡**		
Be-7		8 ± 2	
K-40	243,0 ± 26	260 ± 30	-6,5%
Cs-137	6,7 ± 0,8	7 ± 1	-4,3%
Ra-226	22,0 ± 2	28 ± 3	-21,4%
Ra-228	21,0 ± 2	21 ± 2	0,0%
Th-228	18,0 ± 2	23 ± 2	-21,7%
Radionuklid	**Koncentracija aktivnosti (Bq/m2) † ‡**		
Cs-137	235 ± 28	250 ± 50	-6,0%
Be-7		250 ± 70	

OPOMBE: * vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; † vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ‡ vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve;

LEGENDA/SEMAFOR: Barvna skala semaforja upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: 0—15% **zelena barva**, 15—30%, **rumena barva** in >30% **rdeča barva**.

Tabela 3: Meritve koncentracije radionuklidov v oglenem zračnem filtru.

Izvajalec priprave: NEK, M. Urbanč
Datum vzorčevanja: 04.06.2024
Vzorčevalno mesto: NEK
Vrsta vzorca: Vzorec 2, ogleni filter

Izvajalec	ZVD	IJS	NEK	Certifikat	Odstopanje od referenčne vrednosti					
Datum analize*	04.06.2024	04.06.2024	04.06.2024	Vrednosti iz certifikata D-K-19023-01-00 002379, preračunane na datum 04.06.2024.	ZVD		IJS		NEK	
Količina mer. vzorca	1	1	1							
Oznaka vzorca	IS-CCP-20240604	E24-JD-63	511-24							
Radionuklid***	Aktivnost [Bq]				D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|
Co-57	482 ± 41	483 ± 59	511 ± 60	528 ± 18	-8,7%		-8,6%		-3,2%	
Co-60	2661 ± 153	2540 ± 260	2660 ± 286	2706 ± 106	-1,7%		-6,1%		-1,7%	
Y-88	452 ± 28	407 ± 43	413 ± 54	425 ± 16	6,3%		-4,3%		-2,9%	
Cd-109	37100 ± 4300	33000 ± 4700	35300 ± 4450	35806 ± 1504	3,6%		-7,8%		-1,4%	
Sn-113	281 ± 27	286 ± 37	307 ± 45	304 ± 12	-7,4%		-5,8%		1,1%	
Cs-137	1713 ± 134	1840 ± 210	1910 ± 225	1921 ± 79	-10,8%		-4,2%		-0,6%	
Ce-139	300 ± 28	251 ± 32	267 ± 33	270 ± 10	11,2%		-6,9%		-1,0%	
Hg-203	9 ± 1	7 ± 1	10,0 ± 9,7	8,5 ± 0,3	5,7%		-17,8%		17,5%	

OPOMBE: *vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; **vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ***vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve

STATISTIČNA OBDELAVA: Za medsebojno primerjavo izmerkov uporabljamo tri statistične parametre, in sicer relativno odstopanje od povprečja D_{rel}, ocene **z** in ocene **ζ**. Barvna skala parametra D_{rel} upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: **0—15%** zelena barva, **15—30%** rumena barva in **>30%** rdeča barva. Pri ocenah **z** in **ζ** upoštevamo naslednji kriterij: **|z|,|ζ|≤2** sprejemljiv rezultat (zelena barva), **2<|z|,|ζ|≤3** vprašljiv rezultat (rumena barva) in **|z|,|ζ|>3** nesprejemljiv rezultat (rdeča barva).

Tabela 4: Meritve koncentracije radionuklidov v brisu.

Izvajalec priprave: NEK, M. Urbanč
Datum vzorčevanja: 04.06.2024
Vzorčevalno mesto: NEK
Vrsta vzorca: Vzorec 1, bris/filter

Izvajalec	ZVD	IJS	NEK	Odstopanje od povprečja					
Datum analize*	04.06.2024	04.06.2024	04.06.2024						
Količina mer. vzorca	1	1	1						
Oznaka vzorca	IS1-BRIS-20240604	E24-AE-64	510-24	ZVD		IJS		NEK	
Radionuklid***	Aktivnost [Bq]			D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|
Co-60	81 ± 5	82 ± 9	82 ± 13	-0,8%		0,4%		0,4%	
Cs-137	230 ± 14	238 ± 29	227 ± 32	-0,7%		2,7%		-2,0%	

OPOMBE: *vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; **vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ***vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve

STATISTIČNA OBDELAVA: Za medsebojno primerjavo izmerkov uporabljamo tri statistične parametre, in sicer relativno odstopanje od povprečja D_{rel}, ocene **z** in ocene **ζ**. Barvna skala parametra D_{rel} upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: **0—15%** zelena barva, **15—30%** rumena barva in **>30%** rdeča barva. Pri ocenah **z** in **ζ** upoštevamo naslednji kriterij: **|z|,|ζ|≤2** sprejemljiv rezultat (zelena barva), **2<|z|,|ζ|≤3** vprašljiv rezultat (rumena barva) in **|z|,|ζ|>3** nesprejemljiv rezultat (rdeča barva).

Tabela 5: Meritve aktivnosti fantoma ščitnice. Dejanski radionuklid v uporabljenem viru je Ba-133, poročane vrednosti pa so za I-131 in Ba-133.

Izvajalec priprave: ZVD, B. Drolc
Datum vzorčevanja: 04.06.2024
Vzorčevalno mesto: NEK RZ (Ba-133 vir)
Vrsta vzorca: Vir Ba-133 v ščitnici - simulacija (2r=25mm, h=45 mm)

Izvajalec	ZVD	IJS	NEK	Certifikat	Odstopanje od referenčne vrednosti					
					ZVD		IJS		NEK	
Datum analize*	04.06.2024	04.06.2024	04.06.2024	Vrednosti iz certifikata 100381, preračunane na datum 04.06.2024.*****						
Količina mer. vzorca	1	1	1							
Oznaka vzorca	/	/	/							
Radionuklid***	Aktivnost [kBq]				D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|
I-131	175,8 ± 67,0	189,1 ± 37,3	189,0 ± 37,8	*149,1 ± 5,2*	17,9%		26,8%		26,8%	
Ba-133****	131,9 ± 50,3	141,8 ± 28,0	142,0 ± 28,4	111,8 ± 3,9	17,9%		26,8%		27,0%	

OPOMBE: *vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; **vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1);
***vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve
****aktivnost za Ba-133 je preračunana iz aktivnosti I-131 in razmerja gama konstant I-131 in Ba-133
*****ker gre za Ba-133 vir, je v certifikatu podana samo aktivnost Ba-133, aktivnost I-131 pa smo izračunali s pomočjo razmerja gama konstant

STATISTIČNA OBDELAVA: Za medsebojno primerjavo izmerkov uporabljamo tri statistične parametre, in sicer relativno odstopanje od povprečja D_{rel}, ocene **z** in ocene **ζ**. Barvna skala parametra D_{rel} upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: **0—15%** zelena barva, **15—30%** rumena barva in **>30%** rdeča barva. Pri ocenah **z** in **ζ** upoštevamo naslednji kriterij: **|z|,|ζ|≤2** sprejemljiv rezultat (zelena barva), **2<|z|,|ζ|≤3** vprašljiv rezultat (rumena barva) in **|z|,|ζ|>3** nesprejemljiv rezultat (rdeča barva).

Tabela 6: Meritve aktivnosti fantoma ščitnice. Radionuklid v uporabljenem viru je I-131.

Izvajalec priprave: ZVD, B. Drolc
Datum vzorčevanja: 04.06.2024
Vzorčevalno mesto: ZVD (I-131 vir)
Vrsta vzorca: ščitnica - simulacija (2r=25mm, h=45 mm)

Izvajalec	ZVD	IJS	NEK	Odstopanje od povprečja					
Datum analize*	04.06.2024	04.06.2024	04.06.2024						
Količina mer. vzorca	1	1	1						
Oznaka vzorca	/	/	/	ZVD		IJS		NEK	
Radionuklid***	Aktivnost [kBq]			D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|
I-131	170,0 ± 85,0	183,0 ± 37,0	271,0 ± 54,2	-18,3%		-12,0%		30,3%	

OPOMBE: *vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; **vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ***vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve

STATISTIČNA OBDELAVA: Za medsebojno primerjavo izmerkov uporabljamo tri statistične parametre, in sicer relativno odstopanje od povprečja D_{rel}, ocene **z** in ocene **ζ**. Barvna skala parametra D_{rel} upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: **0—15%** **zelena barva**, **15—30%** rumena barva in **>30%** rdeča barva. Pri ocenah **z** in **ζ** upoštevamo naslednji kriterij: **|z|,|ζ|≤2** sprejemljiv rezultat (**zelena barva**), **2<|z|,|ζ|≤3** vprašljiv rezultat (rumena barva) in **|z|,|ζ|>3** nesprejemljiv rezultat (rdeča barva).

Tabela 7: Meritve aktivnosti beta vira.

Izvajalec priprave: NEK, M. Urbanč
Datum vzorčevanja: 04.06.2024
Vzorčevalno mesto: NEK
Vrsta vzorca: Vzorec 3, filter/beta

Izvajalec	ZVD	IJS	NEK	Certifikat	Odstopanje od referenčne vrednosti					
Datum analize*	04.06.2024	04.06.2024	04.06.2024	Vrednosti iz certifikata D-K-19023-01-00 002383, preračunane na datum 04.06.2024.	ZVD		IJS		NEK	
Količina mer. vzorca	1	1	1							
Oznaka vzorca	/	/	/							
Radionuklid***	Aktivnost beta [Bq]				D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|	D_{rel}	|z|
Skupna beta aktivn	140 ± 20	170 ± 51	144 ± 29	142 ± 5	-1,4%		19,7%		1,4%	

OPOMBE: *vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; **vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ***vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve

STATISTIČNA OBDELAVA: Za medsebojno primerjavo izmerkov uporabljamo tri statistične parametre, in sicer relativno odstopanje od povprečja D_{rel}, ocene **z** in ocene **ζ**. Barvna skala parametra D_{rel} upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: **0—15%** zelena barva, **15—30%** rumena barva in **>30%** rdeča barva. Pri ocenah **z** in **ζ** upoštevamo naslednji kriterij: **|z|,|ζ|≤2** sprejemljiv rezultat (zelena barva), **2<|z|,|ζ|≤3** vprašljiv rezultat (rumena barva) in **|z|,|ζ|>3** nesprejemljiv rezultat (rdeča barva).

Tabela 8: Rezultati meritev specifične aktivnosti radionuklidov v zračnem filtru.

Izvajalec priprave: ZVD, IJS
Datum vzorčevanja: 05.06.2024
Vzorčevalno mesto: Lovski dom Libna
Vrsta vzorca: Zračni filter

Izvajalec	ZVD	IJS	Razlika ZVD IJS
Datum analize *	05.06.2024	05.06.2024	
Količina mer. vzorca	6750 L	2271 L	
Oznaka vzorca	IS1-02-20240605	E24-AE-65	
Radionuklid	Specifična aktivnost (Bq/m3) † ‡		
Ra-226	1,35 ± 0,16		
K-40	0,46 ± 0,15		
Cs-137		< 0,9	

OPOMBE: * vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; † vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ‡ vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve;

LEGENDA/SEMAFOR: Barvna skala semaforja upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: 0—15% **zelena barva**, 15—30%, **rumena barva** in >30% **rdeča barva**.

Tabela 9: Rezultati meritev specifične aktivnosti vzorca pšenice.

Izvajalec priprave: IJS, T. Petrovič
Datum vzorčevanja: 03.06.2024
Vzorčevalno mesto: Vrbina
Vrsta vzorca: Pšenica

Izvajalec	ZVD	ZVD (lab.)	IJS	IJS (lab.)	Odstopanje terenske meritve od povprečja obeh laboratorijskih meritev**	
Datum analize *	05.06.2024	26.06.2024	05.06.2024	17.06.2024		
Masa vzorca [g]	179	179	179	179		
Oznaka vzorca	IS1-03-20240605	RG-03-20240626	E24-HP-61	E24-HP-61		
Radionuklid	Specifična aktivnost (Bq/kg) † ‡				ZVD	IJS
Be-7		21,1 ± 1,5		21,6 ± 1,6		
K-40	130 ± 26	117 ± 6	111 ± 49	117 ± 5	11,1%	-5,1%
Cs-137	< 5	< 0,5				
Pb-210	< 29	1,1 ± 1,0		1,0 ± 0,6		
Ra-226	< 10	< 1	< 6,6			
Th-228				0,5 ± 0,4		
U-238				< 5,7		

OPOMBE: * vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; † vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ‡ vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve;

LEGENDA/SEMAFOR: Barvna skala semaforja upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: 0—15% **zelena barva**, 15—30%, **rumena barva** in >30% **rdeča barva**.

Tabela 10: Rezultati meritev specifične aktivnosti vzorca zemlje.

Izvajalec priprave: ZVD, IJS
Datum vzorčevanja: 05.06.2024
Vzorčevalno mesto: Travnik pri lovkem domu Libna
Vrsta vzorca: Vzorec zemlje (globina 0 cm - 10 cm)

Izvajalec	ZVD	ZVD (lab.)	IJS	IJS (lab.)	Odstopanje terenske meritve od povprečja obeh laboratorijskih meritev**	
Datum analize *	05.06.2024	06.06.2024	05.06.2024	17.06.2024		
Masa vzorca [g]	227	227	537,3	537		
Oznaka vzorca	IS1-01-20240605	IS2-0120240606-VZ	E24-ZN-61	E24-ZN-61		
Radionuklid	Specifična aktivnost (Bq/kg) † ‡				ZVD	IJS
Be-7				0,9 ± 0,7		
K-40	266 ± 33	268 ± 9	286 ± 38	310 ± 11	-8,0%	-1,0%
Cs-137	8,1 ± 1,3	8,3 ± 0,4	9,6 ± 1,4	8,9 ± 0,3	-5,8%	11,6%
Pb-210	28,8 ± 7,5	30,2 ± 3,1		37,7 ± 2,4	-15,2%	
Ra-226	21,0 ± 1,9	19,3 ± 0,5	28 ± 4	31,8 ± 3,1	-17,8%	9,6%
Ra-228		22,6 ± 0,8	29 ± 4	25,8 ± 1,3		19,8%
Th-228	23,1 ± 3,7	20,1 ± 1,0	22 ± 3	27,1 ± 1,3	-2,1%	-6,8%
Th-230				< 50		
U-238		20,8 ± 4,5		20,3 ± 2,3		

OPOMBE: * vrednosti specifičnih aktivnosti morajo biti preračunane na datum vzorčenja; † vrednost za znakom "±" je standardna negotovost meritve (k=1); ‡ vrednost za znakom "<" je spodnja meja detekcije aktivnosti izotopa pri danih pogojih meritve;

LEGENDA/SEMAFOR: Barvna skala semaforja upošteva naslednji kriterij — odstopanje od srednje vrednosti vseh izmerkov je: 0—15% **zelena barva**, 15—30%, **rumena barva** in >30% **rdeča barva**.

IJS delovno poročilo
IJS-DP-14813
oktober 2024

R O M E N E K 2/24

MOBILNI RADIOLOŠKI LABORATORIJ

Poročilo o meritvah po programu vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka v NEK

Ljubljana, oktober 2024

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija
Ekološki laboratorij z mobilno enoto

Naročnik:	NE Krško
Izvajalca:	Institut "Jožef Stefan", Ljubljana (IJS), Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME) Zavod za varstvo pri delu d.o.o. (ZVD)
Naslov pogodbe:	Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti za leta 2024, 2025, 2026 in 2027
Številka pogodbe:	št. 3240324 z dne 28. 3. 2024 (za IJS) št. 3240326 z dne 26. 2. 2024 (za ZVD)
Nosilec naloge:	doc. dr. Benjamin Zorko (za IJS) dr. Gregor Omahen (za ZVD)
Naslov poročila:	ROMENEK 2/24 - Poročilo o meritvah po programu vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka v NEK
Avtorji poročila:	Boštjan Črnič, mag. med. fiz., doc. dr. Benjamin Zorko, Petra Prem, prof. biol., Tanja Murn, prof. biol. in kem., mag. Branko Vodenik, dr. Gregor Omahen, Manca Podvratnik, mag. med. fiz., Peter Jovanovič, inž. fiz., Miha Romih, Damjan Mešiček, Matej Kozole, Michel Cindro
Štev.del.por. IJS:	IJS-DP-14813
Kopije:	Nuklearna elektrarna Krško ZVD ZIC (knjižnica IJS) arhiv enote
Datum obhoda:	od 9. 9. 2024 do 11. 9. 2024

Izvedba meritev je usklajena z zahtevami programov IJS in ELME za zagotovitev kakovosti.

	Ime in priimek	*Datum*	*Podpis*
Pripravil	Boštjan Črnič, mag. med. fiz.	10. 10. 2024	
Pregledala	dr. Helena Fajfar Peter Jovanovič, inž. fiz.	11. 10. 2024	Digitally signed by HELENA FAJFAR Date: 2024.10.16 13:57:32 +02'00'
Odobrila	doc. dr. Benjamin Zorko dr. Gregor Omahen	14. 10. 2024	BENJAMIN ZORKO 2024.10.17 '00'02+ 09:51:42

Slika na naslovni strani: Meritve na Vrbini, tretji dan obhoda mobilnih enot.

NASLOV POROČILA: IJS-DP-14813
ROMENEK 2/24 - Poročilo o meritvah po programu vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka v NEK oktober 2024
Boštjan Črnič

IZVLEČEK:
V poročilu so zbrani rezultati meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ sevanja gama na izbranih lokacijah v okolici NEK, rezultati primerjalnih meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta, površinske kontaminacije in aktivnih vzorcev, in sicer filtrskega papirja, oglenega filtra in filtrskega papirja za meritev skupne aktivnosti β, I-131 v fantomu ščitnice, meritve spektrometrije gama in-situ in rezultati meritev aktivnosti okoljskih vzorcev. Poleg tega so navedene tudi druge rutinske meritve, izvedene med terenskim usposabljanjem intervencijskih ekip.

KLJUČNE BESEDE:
zagotavljanje pripravljenosti, urjenje, radioaktivno onesnaženje okolja, zračne in tekoče radioaktivne izteke, umetni in naravni radionuklidi, specifična aktivnost radionuklidov, meritve in-situ, gama spektrometrija, primerjalne meritve, meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta in površinske kontaminacije

---

REPORT TITLE: IJS-DP-14813
ROMENEK 2/24 - Report on regular emergency preparedness exercise in the vicinity of Nuclear Power Plant Krško October 2024
Boštjan Črnič

ABSTRACT:
The results of measurements of the ambient dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ of gamma radiation at selected locations in the vicinity of NEK, the results of comparative measurements of the ambient dose equivalent rate, surface contamination and active samples, namely filter paper, charcoal filter and filter paper for the measurement of the total activity of β, I-131 in the thyroid phantom, in-situ gamma spectrometry measurements, and the results of activity measurements of the environmental samples are presented in the report. In addition, other routine measurements performed during the field training of the intervention teams are also presented.

KEYWORDS:
Emergency preparedness, training, radioactive contamination of the environment, airborne and liquid radioactive effluents, man-made and natural radionuclides, specific activities of radionuclides, in-situ measurements, gamma spectrometry, intercomparison measurements, ambient dose equivalent rate and surface contamination measurements

VSEBINA

1 SODELUJOČE EKIPE 4

2 PROGRAM OBHODA 5

3 PREGLED MERITEV IN ANALIZ 6

3.1 PRIMERJALNE MERITVE VZORCEV S POVIŠANO AKTIVNOSTJO 6
3.2 DRUGE PRIMERJALNE TERENSKE MERITVE IN MERITVE V STACIONARNIH LABORATORIJIH 6
3.3 POSEBNE MERITVE IN RUTINSKE MERITVE NA TERENU 6

4 KOMENTAR MERITEV IN ANALIZ 7

4.1 SPLOŠNO 7
4.2 PRIMERJALNE MERITVE VZORCEV S POVIŠANO AKTIVNOSTJO 7
a Primerjalna meritev aktivnosti aerosolnega filtra 7
b Primerjalna meritev aktivnosti oglenega filtra 7
4.3 DRUGE PRIMERJALNE TERENSKE MERITVE IN MERITVE V STACIONARNIH LABORATORIJIH 8
a Meritev aktivnosti radionuklidov v okolju s spektrometrijo gama in-situ 8
b Meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcu zemlje 9
c Primerjalna meritev aktivnosti brisa 10
d Meritev aktivnosti vzorca vegetacije (cvet sončnice) 10
e Primerjalna meritev skupne aktivnosti β filtrskega papirja 11
f Meritve aktivnosti joda v ščitnici 11
g Primerjalne meritve z ionizacijskima celicama RSS-131 11
h Meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na terenu 11
4.4 POSEBNE MERITVE IN RUTINSKE MERITVE NA TERENU 12
a Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta in površinske kontaminacije, meritve geografskih koordinat, kartiranje hitrosti doze 12
b Meteorološki parametri 15
c Osebna dozimetrija 15
4.5 PREVERJANJE ZAŠČITNE OPREME 16
4.6 TEST KOMUNIKACIJ 16
4.7 TEST OPREME IN NAVODIL 17
4.8 TEHNIČNE OPOMBE 17
4.9 ZAKLJUČKI IN PRIPOROČILA 17
a IJS ELME 17
b ZVD 18
c NEK 18
d SPLOŠNI ZAKLJUČEK 18

5 REZULTATI MERITEV 19

5.1 NEGOTOVOSTI MERITEV 19
5.2 STATISTIČNO OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV 19
5.2 PRIMERJALNE MERITVE VZORCEV S POVIŠANO AKTIVNOSTJO 20
5.3 DRUGE PRIMERJALNE TERENSKE MERITVE 21
5.4 POSEBNE MERITVE IN RUTINSKE MERITVE NA TERENU 28

6 PRILOGE 31

1 SODELUJOČE EKIPE

Ekipa IJS ELME:

- Boštjan Črnič, mag. med. fiz., *vodja obhoda*
- doc. dr. Benjamin Zorko
- Petra Prem, prof. biol.
- Tanja Murn, prof. biol. in kem.
- mag. Branko Vodenik

Ekipa ZVD:

- dr. Gregor Omahen, *vodja obhoda*
- Manca Podvratnik, mag. med. fiz.
- Peter Jovanovič, inž. fiz.

Ekipa NEK:

- Miha Romih, *vodja obhoda*
- Damjan Mešiček
- Matej Kozole

Ekipa Uprave republike Slovenije za jedrsko varnost - URSJV (kontakt na daljavo):

- Michel Cindro, podsekretar

2 PROGRAM OBHODA

Obhod mobilnih enot IJS ELME in ZVD v okolici NEK je potekal od 9. 9. 2024 do 11. 9. 2024. Na obhodu sta sodelovala tudi mobilna enota NEK, ki je meritve z nami izvajala drugi in tretji dan, ter URSJV, ki je prvi dan z enim predstavnikom koordiniral naše delo preko oddaljenih povezav.

Program prvega dne:

1. Obhod 34 merilnih mest v okolici Krškega in Brežic. Lokacije merilnih mest (3 × 10 + 4 točk) je URSJV vsem trem ekipam sporočil vnaprej po sistemu KID. Na dodeljenih točkah smo izvedli:
    a. meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ z ionizacijsko celico in merilniki hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta;
    b. meritve pozicij merilnih točk z GPS.
2. Kartiranje hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ na poti Ljubljana – Krško.
3. Kartiranje hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ med obhodom merskih točk.
4. Uporaba radijskih postaj v sistemih ZARE in ZARE+ za komunikacijo med mobilnimi enotami in URSJV.
5. Testiranje delovanja opreme.
6. Organizacija in izvedba osebne dozimetrije.

Program drugega dne:

1. Primerjalne meritve aktivnosti vzorcev s povišano aktivnostjo v NEK.
2. Meritev skupne aktivnosti β na filtru.
3. Meritev aktivnosti joda I-131 v ščitnici – simulacija meritve na fantomu ščitnice.
4. Testiranje delovanja opreme.
5. Uporaba radijskih postaj v sistemih ZARE za komunikacijo med mobilnimi enotami.
6. Organizacija in izvedba osebne dozimetrije.

Program tretjega dne:

1. Primerjalne meritve prisotnosti radionuklidov v naravi s spektrometrijo gama in-situ.
2. Primerjalne meritve aktivnosti radionuklidov v vzorcu zemlje.
3. Primerjalne meritve aktivnosti radionuklidov v vzorcu vegetacije.
4. Primerjalna meritev aktivnosti radionuklidov v brisu.
5. Primerjalne meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$.
6. Primerjalne meritve površinske kontaminacije.
7. Meritve meteoroloških parametrov.
8. Pregled osnovne zaščitne opreme mobilnih enot ter postavitev vstopno/izstopne točke z dekontaminacijskimi conami na meji blokiranega območja.
9. Uporaba radijskih postaj v sistemih ZARE in ZARE+ za komunikacijo med mobilnimi enotami, NEK in URSZR (CORS).
10. Testiranje delovanja opreme mobilnih laboratorijev.
11. Organizacija in izvedba osebne dozimetrije.

OPOMBA:
Tretji dan so meritve potekale na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 (N 45,9433, E 15,5050).

3 PREGLED MERITEV IN ANALIZ

3.1 PRIMERJALNE MERITVE VZORCEV S POVIŠANO AKTIVNOSTJO

Primerjalne meritve aerosolnega filtra in oglenega filtra z dodanimi umetnimi radionuklidi

Oznake meritev	Vzorec – Merilno mesto	REZULTATI Tabela/Slika
G	Aerosolni filter Analytics – NEK / skupni vzorec	T1 *(priloge 2, 3, 8, 12)*
G	Ogleni filter Analytics – NEK / skupni vzorec	T2 *(priloge 2, 3, 8, 11)*

3.2 DRUGE PRIMERJALNE TERENSKE MERITVE IN MERITVE V STACIONARNIH LABORATORIJIH

Oznake meritev	Vzorec – Merilno mesto	REZULTATI Tabela/Slika
GIS, HD, PK	Travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8	T3a, T3b, T10a, T10b, S2, S4 *(priloge 5, 7, 10, 11)*
G	Zemlja – Travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 / dva ločena vzorca (IJS, ZVD)	T4, S3 *(prilogi 6, 10)*
G	Bris – Travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 / skupni vzorec	T5 *(prilogi 6, 8)*
G	Vzorec vegetacije (cvet sončnice) – Travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 / skupni vzorec	T6 *(prilogi 6,8)*
THY	Vir Ba-133 v fantomu ščitnice – NEK	T7 *(prilogi 4, 9)*
PK	Filter Analytics s kontaminacijo β – NEK	T8 *(prilogi 4, 9)*
HDIC	Ionizacijski celici RSS-131 1 in 2 – NEK – CUV	T9 *(priloga 4)*

3.3 POSEBNE MERITVE IN RUTINSKE MERITVE NA TERENU

Rutinske nespecifične meritve ionizirajočega sevanja v okolju, posebne meritve radioaktivnosti na terenu, meritve osebnih doz in meteoroloških parametrov na terenu

Oznake meritev	Merilno mesto	REZULTATI Tabela/Slika
HD, HDIC, HDK	Merilne točke v okolici NEK, določene s strani URSJV	T11a, T11b, T11c, T11d, S6a, S6b *(prilogi 1 in 10)*
HDIC, HDK	Ljubljana–Krško, Krško z okolico	S5a, S5b
MP	Meteorološki parametri, IJS ELME in ZVD (meritve opravljene na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8)	T12a, T12b
OS	Osebne doze v času trajanja obhoda	T13

Oznake meritev in analiz:

B	meritev sevalcev β
G	spektrometrija gama izbranega vzorca
GIS	spektrometrija gama in-situ
H	meritev vsebnosti H-3
HD	meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$
HDIC	meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ z ionizacijsko celico RSS-131
HDK	kartiranje hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$
HDKON	meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ in kontaminacije za opustitev nadzora
HDn	meritve hitrosti doze nevtronov
MP	meteorološki parametri
OS	meritve osebnih doznih ekvivalentov $H_p(10)$
PK	meritev površinske kontaminacije s sevalci α, β in γ
S	meritev aktivnosti Sr-89/Sr-90
THY	meritev aktivnosti joda I-131 v ščitnici
WBC	meritev aktivnosti radionuklidov v telesu

4 KOMENTAR MERITEV IN ANALIZ

4.1 SPLOŠNO

Ekipa Mobilne enote NEK zaradi okvare prenosnega HPGe detektorja na terenu ni mogla izvajati meritev za spektrometrijo gama.

Ekipa IJS ELME je nekatere primerjalne meritve za spektrometrijo gama izvedla z dvema prenosnima HPGe detektorjema zaradi primerjave odziva obeh detektorjev.

4.2 PRIMERJALNE MERITVE VZORCEV S POVIŠANO AKTIVNOSTJO

a Primerjalna meritev aktivnosti aerosolnega filtra

V okviru primerjalnih meritev smo izmerili aktivnost aerosolnega filtra Analytics A40029 (mix gamma). Primerjava rezultatov med mobilnima radiološkima laboratorijema ZVD in IJS ELME ter laboratorijem NEK je v tabeli T1. Rezultati ζ-testa so sprejemljivi za vse tri ekipe.

b Primerjalna meritev aktivnosti oglenega filtra

V okviru primerjalnih meritev smo izmerili aktivnost I-131 v oglenem filtru Analytics A40025. Primerjava rezultatov med mobilnima radiološkima laboratorijema ZVD in IJS ELME ter laboratorijem NEK je v tabeli T2. Rezultati ζ-testa so sprejemljivi za vse tri ekipe.

Slika S1: Meritve na terenu: Prikaz meritve spektrometrije gama v mobilnem laboratoriju.

4.3 DRUGE PRIMERJALNE TERENSKE MERITVE IN MERITVE V STACIONARNIH LABORATORIJIH

a Meritev aktivnosti radionuklidov v okolju s spektrometrijo gama in-situ

Za meritve in-situ z visokoločljivostnim spektrometrom gama smo izbrali travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8. Ekipi IJS ELME in ZVD sta izmerili aktivnosti naravnih radionuklidov in Cs-137, ki so značilne za naravno okolje v Republiki Sloveniji. Rezultati meritve in-situ so bili izračunani ob predpostavki enakomerne porazdelitve radionuklidov v zemlji, za Be-7 in Cs-137 pa tudi ob predpostavki površinske porazdelitve radionuklidov v zemlji. Takšna geometrija bi bila uporabljena za analizo v primeru svežega useda. Rezultati meritev so predstavljeni v tabelah T3a in T3b. Rezultati z-testa so sprejemljivi za obe ekipi.

Slika S2: Meritve in-situ na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8.

b Meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcu zemlje

Ekipi IJS ELME in ZVD sta na terenu vzorčili vsaka svoj vzorec zemlje in izvedli meritev specifične aktivnosti sevalcev gama v vzorcu. Končni vzorec zemlje IJS ELME je bil sestavljen iz več podvzorcev (12), odvzetih na globini 0–10 cm v krogu s polmerom 1,5 m okoli mesta, kjer je bila izvedena meritev in-situ. Tako kot pri spektrometriji gama in-situ, smo tudi v vzorcu zemlje zaznali le naravne radionuklide in Cs-137. Rezultati meritev, opravljenih v mobilnih laboratorijih, so podani v tabeli T4 skupaj z ločenima laboratorijskima meritvama obeh vzorcev, ki smo ju izvedli na IJS in ZVD. Rezultate Laboratorija za meritve radioaktivnosti (LMR) na IJS in laboratorija na ZVD smo uporabili za referenčne vrednosti ter izvedli primerjavo za vsak vzorec posebej, za primerjavo obeh vzorcev pa smo izvedli še primerjavo obeh referenčnih vrednosti.

Rezultati meritev vzorcev zemlje se v okviru negotovosti skladni ter se ujemajo z vrednostmi meritev v stacionarnih laboratorijih na IJS in ZVD, ki smo jih vzeli za referenčne vrednosti, in z rezultati meritev spektrometrije gama in-situ, rezultati ζ-testa so večinoma sprejemljivi za obe ekipi. Odstopa le vrednost za K-40, ki jo je v vzorcu zemlje na terenu določila ekipa ZVD in je znatno nižja od vrednosti IJS ELME. Odstopanje za K-40 pri terenski meritvi ZVD lahko pojasnimo z dejstvom, da sta bila čas meritve vzorca in čas meritve ozadja v vozilu relativno kratka in bi zato lahko ozadje v vrhu K-40 bilo precenjeno, posledično pa bi za ozadje popravljena vrednost za K-40 v vzorca bila podcenjena (na podobno situacijo bi lahko sklepali pri meritvi IJS ELME, kjer je bilo ozadje v vrhu K-40 morda podcenjeno in zato za ozadje popravljena vrednost precenjena, vendar pa odstopanje zaradi večje merilne

negotovosti meritve IJS ELME ni statistično pomembno). IJS ELME in ZVD sta zemljo vzorčila na različnih lokacijah, vendar znotraj istega kroga s polmerom 3 metrov. Referenčni vrednosti za K-40 (in tudi za druge radionuklide) za vzorec IJS in za vzorec ZVD se sicer odlično ujemata, zato lahko sklepamo, da je bil prispevek k skupni merilni negotovosti zaradi ločenega vzorčenje vzorcev zemlje zanemarljiv.

Ekipa mobilne enote NEK meritve vzorca zemlje v mobilnem laboratoriju ni izvedla.

Slika S3: Vzorčenje zemlje za meritve s spektrometrijo gama.

c Primerjalna meritev aktivnosti brisa

V okviru drugih primerjalnih meritev na terenu smo izmerili tudi aktivnosti brisa, ki ga je ZVD pred časom vzorčil v NEK. Rezultati mobilnih laboratorijev so v tabeli T5. Rezultati z-testa so sprejemljivi za obe ekipi.

Ekipa mobilne radiološke enote NEK ni opravila analize zračnega filtra.

d Meritev aktivnosti vzorca vegetacije (cvet sončnice)

Izvedli smo tudi primerjalno meritev specifične aktivnosti sevalcev gama v vzorcu iz prehrambne verige. Tokrat smo analizirali vzorec cvetov sončnice (vegetacije), ki smo jih nabrali na njivi ob travniku na Vrbini. Vzorec smo naknadno pomerili tudi v LMR na IJS. Rezultati meritev mobilnih radioloških laboratorijev IJS ELME in ZVD ter stacionarnega laboratorija LMR so v tabeli T6. V vzorcu so vsi trije laboratoriji zaznali K-40. Zaradi nizke aktivnosti K-40 v vzorcu so bile aktivnosti, ki sta jih izmerili IJS ELME in ZVD, pod mejo MDA za K-40, zato smo rezultate ovrednotili samo kvalitativno in so sprejemljivi.

Ekipa mobilne radiološke enote NEK analize vzorca cveta sončnice ni opravila.

e Primerjalna meritev skupne aktivnosti β filtrskega papirja

V okviru primerjalnih meritev smo določili tudi skupno aktivnost β filtrskega papirja Analytics 126891. Primerjava rezultatov med mobilnimi laboratoriji NEK, IJS ELME in ZVD je v tabeli T8. Rezultati ζ-testa so sprejemljivi za vse tri laboratorije.

f Meritve aktivnosti joda v ščitnici

Meritev aktivnosti joda I-131 v ščitnici smo izvedli z merilniki hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na fantomu, s katerim simuliramo ščitnico, pri čemer smo namesto joda I-131 uporabili radioaktivni vir Ba-133. Ba-133 seva fotone podobnih energij kot I-131, razpolovni čas pa je veliko daljši in je zaradi tega primernejši za testne meritve. Aktivnost joda v ščitnici smo iz meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta izračunali z upoštevanjem empirično določenih pretvorbenih faktorjev za posamezne uporabljene merilnike. Z upoštevanjem faktorjev gama za radionuklida I-131 in Ba-133 pa smo iz izračunane aktivnosti joda ocenili tudi aktivnost vira Ba-133. Rezultati vseh treh mobilnih enot, ki so prikazani v tabeli T7, se dobro ujemajo. To potrjujejo tudi rezultati statističnega z-testa, ki smo ga izvedli ob upoštevanju izračunane povprečne aktivnosti za vir Ba-133.

g Primerjalne meritve z ionizacijskima celicama RSS-131

Drugi dan obhoda so člani IJS ELME izvedli primerjalne meritve med obema ionizacijskima celicama Reuter Stokes. Rezultati, ki so prikazani v tabeli T9, kažejo na dobro ujemanje odzivov obeh IC pri hitrosti doze približno 60 nSv/h.

h Meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na terenu

Na terenu na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 so člani mobilnih enot NEK, ZVD in IJS ELME izmerili hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta $\dot{H}^*(10)$ in površinsko kontaminacijo na desetih različnih merilnih mestih v območju. Rezultati meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta vseh treh ekip se ujemajo v okviru merilnih negotovosti, deklariranih za posamezne merilnike. Meritvi št. 9 in 10 sta bili izvedeni na dveh "vročih" točkah, kjer smo postavili točkasta vira (Ba-133 na točki št. 9, Ti-44 na točki št. 10). Meritve so bile narejene na višini 1 m od tal, razen na točki št. 9, kjer so bile meritve narejene 1 m stran od vira, in na točki št. 10, kjer smo si pomagali z distančnikom za kontrolni vir IJS ELME in so bile meritve narejene ca. 12 cm stran od vira. Meritve so prikazane v tabeli T10a. Hkrati je na sliki S4 prikazan potek kartiranja hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta, ki smo ga izvedli na izbrani lokaciji (posnetek aplikacije Route Monitoring, IJS ELME in ZVD).

Slika S4: *Levo zgoraj:* Zemljevid z označenimi lokacijami 10 merilnih točk na katerih so mobilne enote NEK, ZVD in IJS ELME pomerile hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta. *Desno zgoraj:* Prikaz kartiranja meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 (posnetek IJS ELME, aplikacija Route Monitoring). *Spodaj:* Prikaz kartiranja meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8 (posnetek ZVD, aplikacija Route Monitoring).

4.4 POSEBNE MERITVE IN RUTINSKE MERITVE NA TERENU

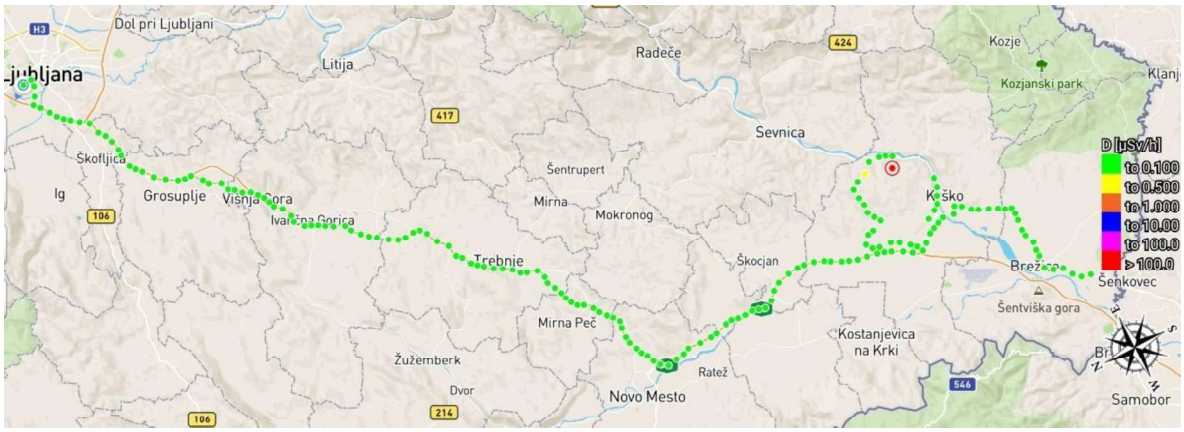
a Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta in površinske kontaminacije, meritve geografskih koordinat, kartiranje hitrosti doze

Prvi dan obhoda smo iz enot IJS ELME in ZVD naredili tri ekipe, pri čemer se je IJS ELME razdelil v dve ekipi, ELME 1 in ELME 2, ZVD pa je bil enotna ekipa. Ekipam je URSJV preko komunikacijskega portala KID poslal sezname z imeni merilnih mest, na katerih je potrebno izvesti meritve okoljskega doznega ekvivalenta, ekipe pa so rezultate meritev poročale preko aplikacije URSJV. Vsaka ekipa je meritve hitrosti okoljskega doznega

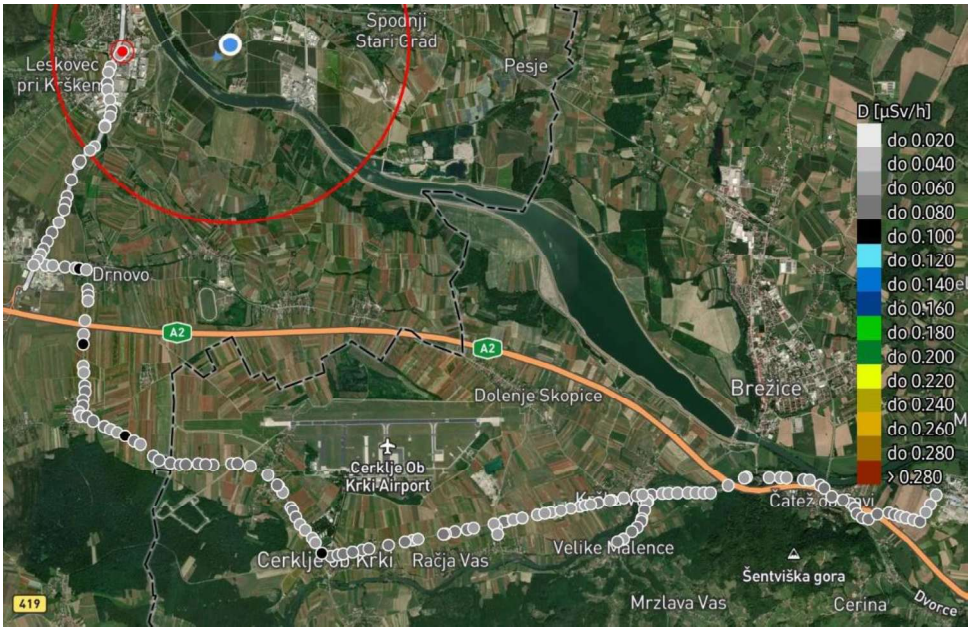
ekvivalenta izvedla na 10 različnih mestih, ekipa ZVD pa je dodatno meritve izvedla še na 4 različnih mestih. Rezultati meritev IJS ELME so v tabelah T11a in T11b, rezultati ZVD pa v tabelah T11c in T11d.

Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta smo izvajali na višini 1 m od tal. Na vseh merilnih mestih so bile izmerjene običajne vrednosti naravnega ozadja. Na vseh merilnih mestih smo določili tudi geografske koordinate. Podlaga tal na merilnih mestih je bila trava, pesek ali asfalt.

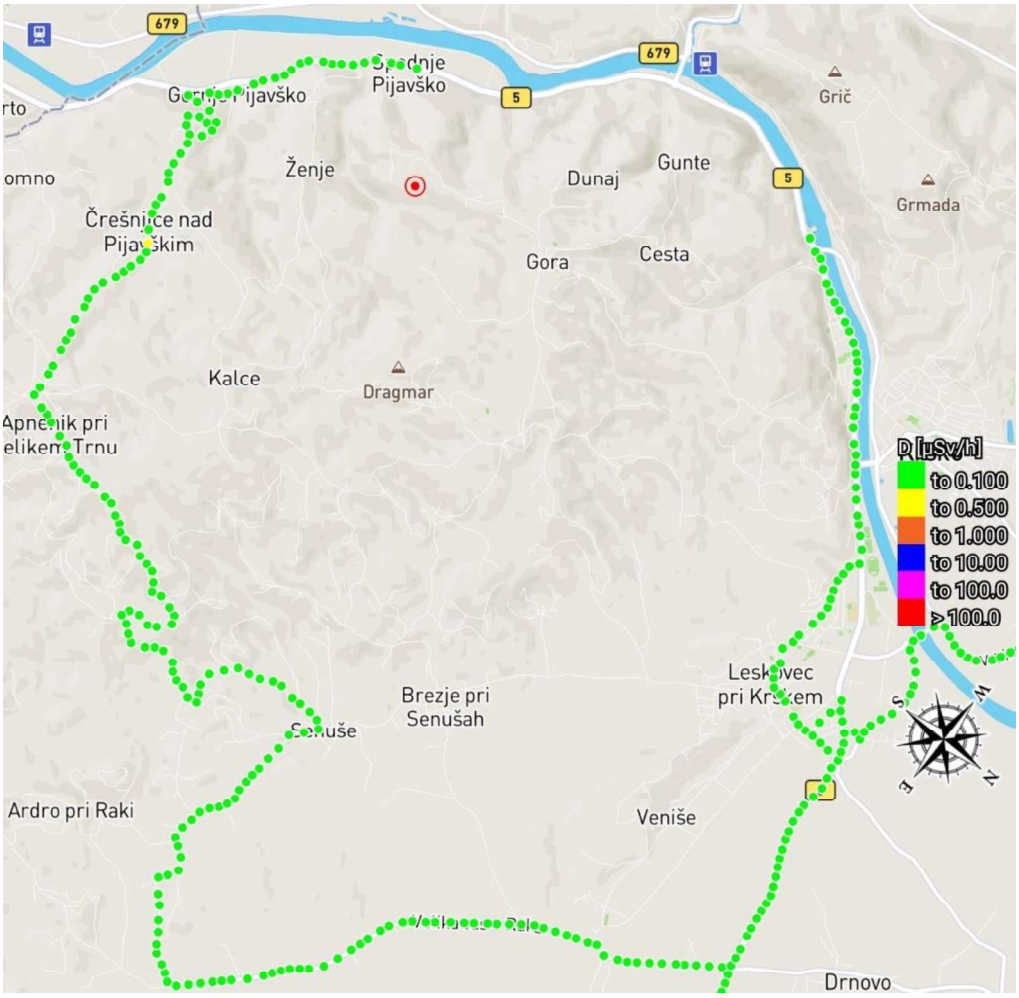
Na poti od Ljubljane do Krškega in med obhodom 10 merilnih mest v Posavju smo izvajali kartiranje hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta (IJS ELME z ionizacijsko celico RSS-131 in merilnikom Automess s scintilacijsko sondo, ZVD z merilnikom Automess s scintilacijsko sondo). Rezultati meritev so prikazani na slikah S5a, S5b, S6a in S6b.



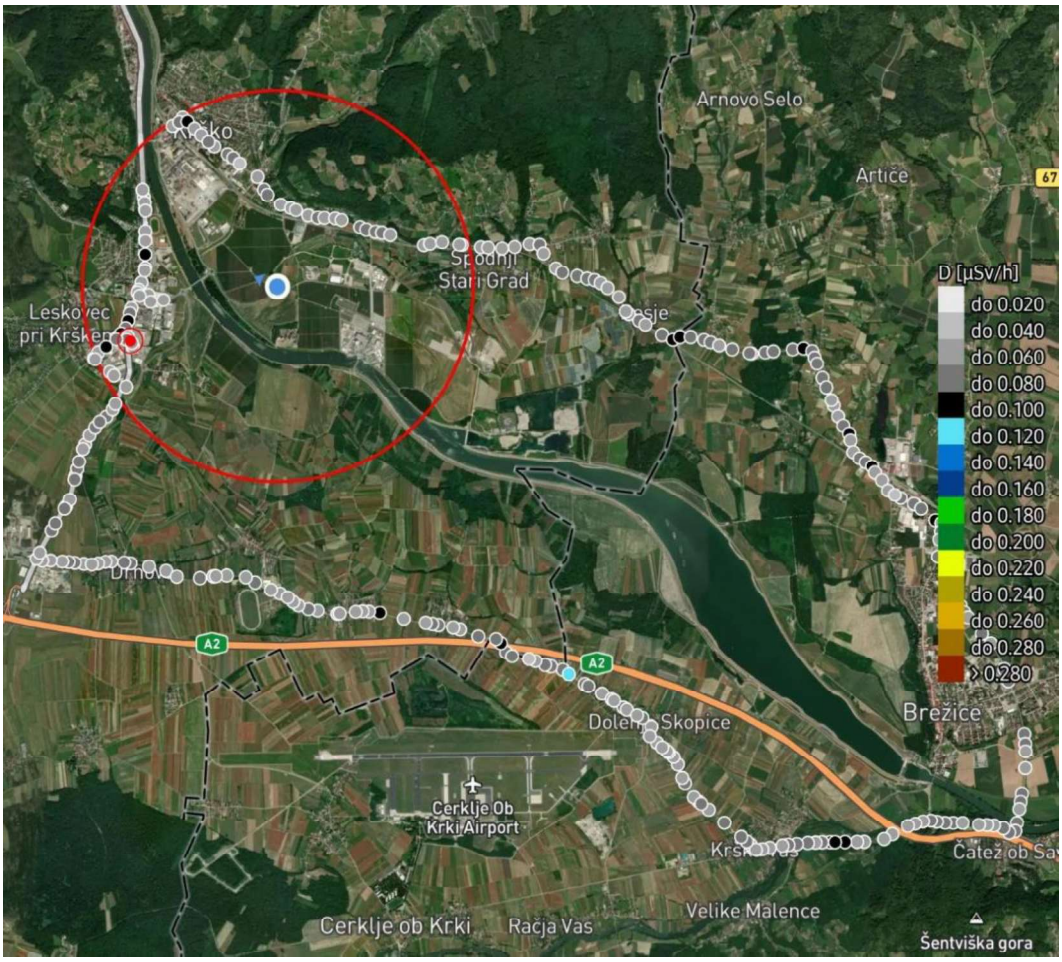
Slika S5a: Kartiranje hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na poti od Ljubljane do okolice Krškega. Slika prikazuje meritve, ki jih je izvedla ekipa ELME 1 z ionizacijsko celico RSS-131.



Slika S5b: Kartiranje hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na poti od Krškega do Čateža ob Savi. Slika prikazuje meritve, ki jih je izvedla ekipa ZVD z merilnikom Automess s scintilacijsko sondo.



Slika S6a: Prikaz meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na poti v širši okolici NEK, ki jo je opravila ekipa IJS ELME 1. URSJV je preko sistema KID vsaki ekipi posredovala seznam desetih merskih točk, ekipe pa so meritve na URSJV posredovale preko aplikacije URSJV. Ekipa IJS ELME 1 je meritve izvedla z ionizacijsko celico RSS 131, ekipa IJS ELME 2 pa je meritve izvedla z merilnikom Automess s scintilacijsko sondo.



Slika S6b: Prikaz meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na poti v širši okolici NEK, ki jo je opravila ekipa ZVD. URSJV je preko sistema KID vsaki ekipi posredovala seznam desetih merskih točk, ekipe pa so svoje meritve na URSJV posredovale preko aplikacije URSJV. Ekipa ZVD je meritve izvedla z merilnikom Automess s scintilacijsko sondo.

b Meteorološki parametri

Tretji dan obhoda smo izvedli meritve meteoroloških parametrov na travniku na Vrbini pri vazelinski plošči PV8. Rezultati meritev IJS ELME so v tabeli T12a. Rezultati meteoroloških meritev ZVD so v tabeli T12b.

c Osebna dozimetrija

Člani mobilnih enot ZVD in IJS ELME so med delom na terenu nosili pasivne osebne dozimetre. Člani radiološke intervencijske ekipe IJS ELME so hkrati nosili tudi aktivne elektronske dozimetre. Ti so pokazali, da člani ELME niso prejeli doz sevanja, višjih od naravnega ozadja. Rezultati odčitkov osebnih doznih ekvivalentov z elektronskimi dozimetri so v tabeli T13.

4.5 PREVERJANJE ZAŠČITNE OPREME

Tretji dan obhoda je enota IJS ELME vadila uporabo osebne zaščitne opreme za delo v blokiranem področju. Vadili so tudi postavitev kontrolne točke s conami na meji blokiranega območja in preverjanje kontaminacije oseb in opreme pri izstopu iz blokiranega območja. Utrinki s te vaje so prikazani na sliki S7.

Slika S7: Vaja uporabe osebne zaščitne opreme in postavitev kontrolne točke s conami.

4.6 TEST KOMUNIKACIJ

Vse tri dni obhoda smo preverjali tudi delovanje radijskih zvez in se usposabljali za delo z radijskimi postajami v sistemih zvez ZARE in ZARE+. V ta namen smo prvi dan najprej po telefonski številki 112 vzpostavili zvezo z Regijskim centrom za obveščanje Brežice, ter jih zaprosili za simpleksni delovni kanal, po katerem je nato potekala komunikacija med člani radioloških mobilnih enot IJS ELME in ZVD. Po končanem usposabljanju smo tretji dan delovni kanal vrnili s ponovnim klicem na ReCO Brežice.

Prvi dan smo sistem zvez ZARE+ uporabili za testno komunikacijo z URSJV, komunikacija je potekala uspešno. Komunikacija preko sistema ZARE med ekipami pa je bila le delno uspešna: med ZVD in vozilom ELME Yeti je bila zveza v redu, medtem ko iz vozila ELME 01 zveze s preostalima voziloma nismo mogli vzpostaviti, razen ko so vsa tri vozila bila v Krškem. Na nekaterih območjih gričevja zahodno od Krškega smo izgubili tako GSM kot ZARE kot tudi ZARE+ povezavo.

Drugi dan usposabljanja smo iz vozila ELME 01 vzpostavili povezavo z vozilom ZVD. Ko sta bili obe vozili na območju Brežic, je bila povezava dobra. Ko pa je bilo vozilo ZVD na območju Krškega, vozilo ELME 01 pa na avtocesti na ravnini pri Vihrah, je bila povezava v ELME 01 zelo slaba, v ZVD pa dobra, komunikacija je bila zato samo enosmerna in neustrezna. Medtem ko je bila zveza preko sistema ZARE med voziloma ELME Yeti in ZVD v redu.

Tretji dan usposabljanja smo pri vzpostavljanju zveze preko sistema ZARE iz vozila ELME 01 imeli enake težave kot drugi dan. Smo se pa preko sistema ZARE+ po kar veliko truda in preizkušanja različnih nastavitev skupin na koncu uspešno povezali tudi z mobilno enoto NEK in CORS. Pri tem smo uporabili komunikacijske skupine *NEK VSI*, *RNO NEK* in *CORS*.

ZVD je izrazil interes, da se tudi njihovo mobilno enoto opremi z radijsko postajo v sistemu ZARE+.

Tretji dan obhoda so vse mobilne enote izvedle tudi test povezljivosti merilnikov MiniTrace γ s TPC NEK. Merilniki so uspešno izmerili hitrost okoljskega doznega ekvivalenta in razen

merilnika ZVD, podatke poslali na strežnik NEK.

4.7 TEST OPREME IN NAVODIL

Mobilna enota IJS ELME je izvedla testiranje obeh zračnih črpalk, pri čemer je bil poudarek na preverjanju delovanja nove zračne črpalke, ki deluje na akumulatorske baterije. Obe zračni črpalki sta delovali normalno.

4.8 TEHNIČNE OPOMBE

Komunikacije med mobilnimi enotami in NEK

Komunikacija med mobilnimi enotami, NEK in URSJV v sistemu zvez ZARE+ lahko poteka v različnih komunikacijskih skupinah (*NEK VSI, RNO NEK*, ...). Pri testiranju zvez smo prišli do nekaterih ugotovitev:

- zveza med ročno postajo MRL (IJS ELME) in mobilno radijsko postajo v ELME 01 je možna in deluje, ne glede na to, katera klicna skupina je nastavljena na postaji v vozilu;
- zveza med ročno postajo MRL (IJS ELME) in mobilno enoto NEK (RNO NEK) je mogoča samo, ko je na postaji mobilne enote NEK nastavljeno na NEK RNO, sicer postaja mobilne enote ne sprejme klica;
- če ima mobilna enota NEK nastavljeno skupino NEK RNO, iz ELME pa kličemo na NEK VSI, nas URSJV sliši, postaja NEK RNO pa ne – morda klic sliši kateri izmed drugih centrov v NEK, ki pa ni imel vključene radijske postaje.

Na nivoju IJS, NEK, ZVD, URSJV in URSZR bi se bilo treba dogovoriti, katere skupine bomo uporabljali za našo komunikacijo, ter določiti našo prioritetno skupino, ki bo prednastavljena v napravah v mobilnih laboratorijih. Ker je sistem zvez ZARE+ nekoliko drugačen od sistema zvez ZARE, je treba za člane mobilnih laboratorijev organizirati tudi usposabljanje za pravilno uporabo omenjenih zvez.

4.9 ZAKLJUČKI IN PRIPOROČILA

a IJS ELME

- Dokončati je potrebno postopke, da se bodo lahko s spektrometrom PE izvajale akreditirane meritve.
- Stojalo za spektrometer PE je potrebno opremiti z vrvico za označevanje pravilne višine spektrometra 1 m. Smiselno bi bilo na podoben način opremiti tudi stojala za ionizacijske celice RSS-131.
- Izvesti je potrebno usposabljanje za uporabo nove zračne črpalke in uporabo nove ionizacijske celice RSS-131 2.
- Na vajah smo delno uspešno izvedli test radijskih postaj ZARE+ in test komunikacije z NEK. Uskladiti je potrebno nastavitve komunikacijskih skupin po mobilnih enotah.
- Primerjava meritev skupne aktivnosti beta filtrskega papirja, ki smo jih izvedli z ročnimi merilniki Berthold LB124 in Nuvia WIMP 60M so pokazali, da nekateri pretvorbeni faktorji za izračun aktivnosti iz zaznanega števila sunkov na enoto časa v napravi WIMP za vzorce brisov niso ustrezni in jih je treba popraviti.
- URSJV je prvi dan usposabljanja delovne naloge mobilnim enotam pošiljala preko svoje mobilne aplikacije za izredni monitoring. Preko nje je tudi sprejemala rezultate naših meritev. Aplikacija ima vrsto omejitev, ki jih je treba odpraviti:

- Z dano aplikacijo lahko IJS ELME uporablja le en radiološki merilnik. Ostalih merilnikov enote z aplikacijo ni mogoče povezati. To je za nas precejšnja omejitev.
- Aplikacija izmerjenih vrednosti ne zna shranjevati v pomnilnik mobilne naprave. To pomeni, da se meritve, ki jih mobilne enote izvedejo na območju brez pokritosti z GSM signalom, ne prenesejo do URSJV in so izgubljene ter jih je potrebno ročno ponovno vnesti in poslati naknadno, ko je signal ponovno na voljo.

Ekološki laboratorij z mobilno enoto za kartiranje hitrosti doze že vrsto let uporablja mobilno aplikacijo *Route Monitoring*, ki je bistveno bolj napredna od aplikacije URSJV, omogoča večjo fleksibilnost pri uporabi radioloških merilnikov, meritve shranjuje tudi v pomnilnike naprav, omogoča pa tudi statistični pregled podatkov. IJS ELME je zato sprejel sklep, da bomo aplikacijo URSJV uporabljali za sprejemanje delovnih navodil in nalog, za kartiranje hitrosti doze ter shranjevanje drugih prostorsko opredeljenih meritev na terenu, pa bomo še naprej uporabljali aplikacijo *Route Monitoring*. Izmerjene podatke bomo nato v izbranem podatkovnem formatu (npr. IRIX) posredovali URSJV bodisi po elektronski pošti bodisi preko portala KID.

- Predlagamo, da se tudi v prihodnje po vsaki izvedeni vaji ROMENEK sodelujoči (ZVD, IJS, NEK in URSJV) na kratkem sestanku pogovorimo o rezultatih meritev ter si izmenjamo izkušnje in predloge za izboljšave ter tako stalno izboljšujemo kakovost prihodnjih vaj ter našo pripravljenost na izredni dogodek.

b ZVD

- S sabo je potrebno imeti vzorčevalne liste v tiskani (papirni) obliki.
- Uvesti je treba kodiranje za vzorce, ki jih odvzamemo na mobilni enoti(obhodu/vaji).
- S sabo imeti obrazce za vpisovanje podatkov o meritvah hitrosti doze in kontaminacije.
- S sabo nismo imeli posodic za geometrijo VZ, dodati jih je treba v vozilo.
- Merilnik SAPHYMO se ni priključil v omrežje NEK. Dali smo ga D. Mešičku, da IT služba NEK (Sandi Fuchs) preveri, kaj ne deluje.
- Z IJS in URSJV bi morali doreči protokol meritev. Torej, drugi dan se v NEK meri vzorce, ki jih merijo vsi sodelujoči (ZVD, IJS, NEK: zračni filter, ogleni filter, total beta, I-131 v ščitničnem fantomu). Tretji dan na terenu se meri in-situ, vzorec poljščin/vegetacije (vsaka enota meri svoj vzorec, redko istega), vzorec zemlje (vsaka enota svoj vzorec, redko istega), vzorči se zrak – vsaka enota meri svoj vzorec.
- V ZVD razmišljamo, ali naj kupimo radijsko postajo v sistemu ZARE+.
- Vsi deležniki bi morali dogovoriti roke za poročanje: poročanje samo rezultatov (številk brez poročil), do kdaj se pripravi poročilo o meritvah in do kdaj poročilo o obhodu.
- Predlagamo, da se v prihodnje kakšno vajo izvede ponoči (morda bi meritve tretjega dne izvedli v noči iz drugega na tretji dan) ter tudi izvede kakšno vajo v res slabem vremenu.

c NEK

- V mobilni enoti NEK je treba popraviti HPGe detektor.

d SPLOŠNI ZAKLJUČEK

Delo na terenu je večinoma potekalo brez težav, z izjemo okvare prenosnega HPGe spektrometra v mobilni enoti NEK. Člani vseh treh ekip so svoje naloge opravljali zagnano in strokovno, a hkrati dovolj sproščeno, da je bilo medsebojno sodelovanje vseh udeležencev odlično. Komunikacija med ekipami in URSJV je na področju z dobrim signalom mobilnega

telefonskega omrežja potekala gladko in brez večjih težav, na območju brez mobilnega signala pa bi bilo potrebno poiskati rešitve z zakasnjenim oddajanjem podatkov.

Primerjave zahtevnejših spektroskopskih meritev so prikazale dobro ujemanje med ekipami, kar potrjuje dobro usposobljenost ekip ZVD, NEK in ELME za delo na terenu.

Za prihodnje vaje bi bilo potrebno natančneje določiti in poenotiti roke (in po potrebi tudi načine) za različne vrste poročanja.

Prav tako bi bilo smiselno, da vsaj del meritev na kakšni vaji organiziramo v nočnem času in slabem vremenu, da lahko preverimo usposobljenost mobilnih enot za delo v težjih delovnih pogojih.

5 REZULTATI MERITEV

5.1 NEGOTOVOSTI MERITEV

Vse negotovosti rezultatov meritev, ki so navedene v tabelah tega poročila, so zaradi lažje primerjave podane s stopnjo zaupanja 68 % oziroma faktorjem pokritja $k = 1$. Ker NEK poroča negotovosti s stopnjo zaupanja 95 % oziroma faktorjem pokritja $k = 2$, smo poročane negotovosti laboratorija NEK preračunali v negotovosti s faktorjem pokritja $k = 1$.

5.2 STATISTIČNO OVREDNOTENJE REZULTATOV MERITEV

Za ovrednotenje rezultatov meritev smo uporabili dva različna statistična testa, ζ-test in *z*-test.

V primeru, da je znana referenčna vrednost, smo uporabili ζ-test:

$$\zeta\text{-test} = \frac{x_i - x_{ref}}{\sqrt{u(x_i)^2 + u(x_{ref})^2}},$$

pri čemer je x_i poročana izmerjena vrednost z negotovostjo $u(x_i)$ in x_{ref} referenčna vrednost z negotovostjo $u(x_{ref})$.

V primeru, da smo primerjali samo izmerjene rezultate, smo uporabili *z*-test:

$$z\text{-test} = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta},$$

pri čemer je x_i poročana izmerjena vrednost, $\bar{x}$ povprečna vrednost, izračunana iz izmerjenih rezultatov in δ standardna deviacija brez signifikantno odstopajočih izmerkov.

Pri obeh testih se upoštevajo naslednji kriteriji:

$\|z\|, \|\zeta\| \leq 2$	sprejemljiv rezultat (polja v tabelah z rezultati so obarvana)
$2 < \|z\|, \|\zeta\| \leq 3$	vprašljiv rezultat (polja v tabelah z rezultati so obarvana)
$\|z\|, \|\zeta\| > 3$	nesprejemljiv rezultat (polja v tabelah z rezultati so obarvana)

5.2 PRIMERJALNE MERITVE VZORCEV S POVIŠANO AKTIVNOSTJO

Tabela T1: ***Primerjava rezultatov meritev aerosolnega filtra***

Vzorčevalno mesto: NEK, Analytics A40029
Vrsta vzorca: aerosolni filter
Referenčni datum aktivnosti: 9. 8. 2024

	Aerosolni filter				
Izotop	**Aktivnost (Bq)**				
	IJS ELME *(detektor EL)*	**IJS ELME *(detektor PE)***	**NEK**	**ZVD**	**Referenčna vrednost**
Cr-51	(2,04 ± 0,26) E+4	(2,14 ± 0,27) E+4	(1,86 ± 0,11) E+4	(1,87 ± 0,16) E+4	(1,92 ± 0,57) E+4
Mn-54	(5,70 ± 0,64) E+3	(5,83 ± 0,65) E+3	(5,15 ± 0,29) E+3	(5,04 ± 0,31) E+3	(5,22 ± 0,16) E+3
Co-58	(6,42 ± 0,73) E+3	(6,55 ± 0,74) E+3	(6,03 ± 0,34) E+3	(5,89 ± 0,36) E+3	(6,22 ± 0,19) E+3
Fe-59	(6,23 ± 0,65) E+3	(6,41 ± 0,66) E+3	(5,61 ± 0,31) E+3	(5,81 ± 0,22) E+3	(5,77 ± 0,17) E+3
Co-60	(7,57 ± 0,79) E+3	(7,88 ± 0,82) E+3	(7,06 ± 0,38) E+3	(7,06 ± 0,22) E+3	(7,10 ± 0,21) E+3
Zn-65	(9,83 ± 1,06) E+3	(1,00 ± 0,11) E+4	(8,98 ± 0,51) E+3	(8,75 ± 0,40) E+3	(9,03 ± 0,27) E+3
Cs-134	(5,69 ± 0,59) E+3	(6,21 ± 0,64) E+3	(5,60 ± 0,30) E+3	(5,50 ± 0,20) E+3	(5,77 ± 0,17) E+3
Cs-137	(4,15 ± 0,48) E+3	(4,29 ± 0,50) E+3	(3,70 ± 0,22) E+3	(3,65 ± 0,23) E+3	(3,81 ± 0,11) E+3
Ce-141	(8,37 ± 1,18) E+3	(8,77 ± 1,24) E+3	(7,66 ± 0,43) E+3	(8,06 ± 0,26) E+3	(7,62 ± 0,23) E+3

	Primerjava z referenčno vrednostjo ζ-test			
Izotop	**IJS ELME *(detektor EL)***	**IJS ELME *(detektor PE)***	**NEK**	**ZVD**
Cr-51	-0,48	-0,82	0,42	0,25
Mn-54	-0,73	-0,92	0,21	0,52
Co-58	-0,27	-0,44	0,48	0,80
Fe-59	-0,68	-0,94	0,45	-0,13
Co-60	-0,57	-0,92	0,10	0,15
Zn-65	-0,73	-0,86	0,08	0,59
Cs-134	0,13	-0,66	0,50	1,04
Cs-137	-0,69	-0,93	0,45	0,62
Ce-141	-0,62	-0,91	-0,08	-0,57

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, NEK – laboratorijska meritev in laboratorijska analiza, ZVD – terenska meritev in terenska analiza

Tabela T2: ***Primerjava rezultatov meritev oglenega filtra***

Vzorčevalno mesto: NEK, Analytics A40025
Vrsta vzorca: ogleni filter
Referenčni datum aktivnosti: 9. 8. 2024

	Ogleni filter				
Izotop	**Aktivnost (Bq)**				
	IJS ELME ***(detektor EL)***	**IJS ELME** ***(detektor PE)***	**NEK**	**ZVD**	**Referenčna vrednost**
I-131	(3,95 ± 0,41) E+4	(3,88 ± 0,42) E+4	(3,85 ± 2,39) E+4	(3,60 ± 0,29) E+4	(3,81 ± 0,11) E+4
	Primerjava z referenčno vrednostjo ζ-test				
Izotop	**IJS ELME** ***(detektor EL)***	**IJS ELME** ***(detektor PE)***	**NEK**	**ZVD**	
I-131	-0,33	-0,16	-0,03	0,68	

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, NEK – laboratorijska meritev in laboratorijska analiza, ZVD – terenska meritev in terenska analiza

5.3 DRUGE PRIMERJALNE TERENSKE MERITVE

Tabela T3a: ***Primerjava rezultatov meritev in-situ – površinska porazdelitev kontaminacije***

Vzorčevalno mesto: Vrbina
Vrsta vzorca: in-situ, površinska porazdelitev
Referenčni datum aktivnosti: 11. 9. 2024

	In-situ / površinska porazdelitev			
Izotop	**Koncentracija aktivnosti (Bq/m^2)**			
	IJS ELME ***(detektor EL)***	**IJS ELME** ***(detektor PE)***	**ZVD**	**Povprečna vrednost**
Be-7	(4,9 ± 1,3) E+2	(5,3 ± 1,6) E+2	–	(5,1 ± 0,3) E+2
Cs-137	(4,4 ± 0,9) E+2	(5,1 ± 1,1) E+2	(5,6 ± 0,7) E+2	(5,0 ± 0,6) E+2

	Primerjava s povprečno vrednostjo z-test		
Izotop	**IJS ELME** ***(detektor EL)***	**IJS ELME** ***(detektor PE)***	**ZVD**
Be-7	-0,71	0,71	–
Cs-137	-1,05	0,11	0,94

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, ZVD – terenska meritev in terenska analiza

Tabela T3b: ***Primerjava rezultatov meritev in-situ – enakomerna porazdelitev kontaminacije***

Vzorčevalno mesto: Vrbina
Vrsta vzorca: in-situ, enakomerna porazdelitev
Referenčni datum aktivnosti: 11. 9. 2024

	In-situ / enakomerna porazdelitev			
Izotop	**Specifična aktivnost (Bq/kg)**			
	IJS ELME *(detektor EL)*	**IJS ELME** *(detektor PE)*	**ZVD**	**Povprečna vrednost**
Be-7	(1,6 ± 0,4) E+1	(1,7 ± 0,5) E+1	(8,4 ± 2,2) E+0	(1,4 ± 0,5) E+1
K-40	(2,8 ± 0,6) E+2	(2,9 ± 0,6) E+2	(2,7 ± 0,3) E+2	(2,8 ± 0,1) E+2
Cs-137	(1,3 ± 0,3) E+1	(1,5 ± 0,3) E+1	(1,2 ± 0,1) E+1	(1,3 ± 0,2) E+1
Ra-226	(3,3 ± 0,7) E+1	(3,2 ± 0,7) E+1	(2,7 ± 0,3) E+1	(3,1 ± 0,3) E+1
Ra-228	(2,3 ± 0,5) E+1	(2,3 ± 0,5) E+1	(2,1 ± 0,2) E+1	(2,2 ± 0,1) E+1
Th-228	(2,3 ± 0,5) E+1	(2,4 ± 0,5) E+1	(2,0 ± 0,3) E+1	(2,2 ± 0,2) E+1
U-238	–	–	(3,7 ± 1,9) E+1	–

	Primerjava s povprečno vrednostjo z-test		
Izotop	**IJS ELME** *(detektor EL)*	**IJS ELME** *(detektor PE)*	**ZVD**
Be-7	0,47	0,68	-1,15
K-40	0,00	1,00	-1,00
Cs-137	-0,22	1,09	-0,87
Ra-226	0,73	0,41	-1,14
Ra-228	0,58	0,58	-1,15
Th-228	0,32	0,80	-1,12
U-238	–	–	–

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, ZVD – terenska meritev in terenska analiza

Tabela T4: ***Primerjava rezultatov meritev vzorca zemlje***

Vzorčevalno mesto: Vrbina
Vrsta vzorca: zemlja
Referenčni datum aktivnosti: 11. 9. 2024

	Vzorec zemlje			
Izotop	**Specifična aktivnost (Bq/kg)**			
	Vzorec IJS ELME		**Vzorec ZVD**	
	IJS ELME	**IJS LMR** *(referenčna vrednost za vzorec IJS)*	**ZVD**	**ZVD LAB** *(referenčna vrednost za vzorec ZVD)*
Be-7	–	(3,9 ± 1,5) E+0	–	–
K-40	(3,9 ± 0,6) E+2	(3,3 ± 0,1) E+2	(2,3 ± 0,3) E+2	(3,4 ± 0,1) E+2
Cs-137	(1,8 ± 0,3) E+1	(1,6 ± 0,1) E+1	(1,7 ± 0,2) E+1	(1,6 ± 0,1) E+1
Ra-226	(3,6 ± 0,6) E+1	(3,1 ± 0,1) E+1	(2,5 ± 0,2) E+1	(2,7 ± 0,1) E+1
Ra-228	(3,9 ± 0,6) E+1	(2,6 ± 0,1) E+1	–	(2,7 ± 0,1) E+1
Th-228	(2,3 ± 0,4) E+1	(2,5 ± 0,1) E+1	(2,4 ± 0,3) E+1	(2,3 ± 0,1) E+1

	Primerjava z referenčno vrednostjo ζ-test		
Izotop	**IJS ELME** *(primerjava z IJS LMR)*	**ZVD** *(primerjava z ZVD LAB)*	***Primerjava IJS LMR – ZVD LAB***
Be-7	–	–	–
K-40	0,99	-3,32	*-0,35*
Cs-137	0,63	0,45	*0,00*
Ra-226	0,82	-0,89	*2,83*
Ra-228	2,14	–	*-0,71*
Th-228	-0,49	0,32	*1,41*

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, IJS LMR – laboratorijska meritev na IJS v LMR, ZVD – terenska meritev in terenska analiza, ZVD LAB – laboratorijska meritev na ZVD.
Opomba: IJS ELME in ZVD sta vzorčila ločeno in za meritve pripravila ločena vzorca. Vzorca sta bila pripravljena brez tesnjenja za radon.

Tabela T5: ***Primerjava rezultatov meritev brisa***

Vzorčevalno mesto: NEK (ZVD)
Vrsta vzorca: bris
Referenčni datum aktivnosti: 11. 9. 2024

Izotop	Bris			Primerjava s povprečno vrednostjo z-test	
	Aktivnost (Bq)				
	IJS ELME	ZVD	Povprečna vrednost	IJS ELME	ZVD
Mn-54	(1,8 ± 0,3) E+0	(3,2 ± 0,5) E+0	(2,5 ± 1,0) E+0	-0,71	0,71
Co-60	(5,8 ± 0,6) E+1	(5,5 ± 0,3) E+1	(5,7 ± 0,2) E+1	0,71	-0,71
Nb-95	(1,1 ± 0,1) E+1	(1,4 ± 0,1) E+1	(1,3 ± 0,2) E+1	-0,71	0,71
Zr-95	(5,7 ± 0,7) E+0	(5,9 ± 0,7) E+0	(5,8 ± 0,1) E+0	-0,71	0,71
Cs-137	(6,7 ± 1,0) E+0	(5,8 ± 0,7) E+0	(6,3 ± 0,6) E+0	0,71	-0,71
Am-241	–	(1,4 ± 0,3) E+0	–	–	–

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, ZVD – terenska meritev in terenska analiza

Tabela T6: ***Primerjava rezultatov meritev vzorca vegetacije***

Vzorčevalno mesto: Vrbina
Vrsta vzorca: vegetacija (cvet sončnice)
Referenčni datum aktivnosti: 11. 9. 2024

Izotop	Vzorec vegetacije		
	Specifična aktivnost (Bq/kg)		
	IJS LMR *(referenčna vrednost)*	IJS ELME	ZVD
K-40	(1,3 ± 0,1) E+2	< 4,8 E+2 (MDA)	< 4,0 E+1

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, IJS LMR – laboratorijska meritev na IJS v LMR, ZVD – terenska meritev in terenska analiza.

Opomba: Število za znakom < je številska vrednost spodnje meje aktivnosti, določljive za dan izotop, in se nanaša na interval zaupanja z 68 % zanesljivostjo ($k = 1$).

Tabela T7: ***Meritve aktivnosti I-131, nadomeščenim z Ba-133, v fantomu s simulirano ščitnico***

Referenčni datum aktivnosti: 10. 9. 2024

	Fantom s simulirano ščitnico			
Izotop	**Aktivnost (Bq)**			
	IJS ELME	**NEK**	**ZVD**	**Povprečna vrednost**
Ba-133	(1,24± 0,37) E+5	(1,43± 0,29) E+5	(1,21± 0,11) E+5	(1,29± 0,12) E+5
I-131	*(1,66 ± 0,50) E+5*	*(1,91 ± 0,38) E+5*	*(1,61 ± 0,14) E+5*	*(1,73 ± 0,16) E+5*

	Primerjava s povprečno vrednostjo z-test		
Izotop	**IJS ELME**	**NEK**	**ZVD**
Ba-133	-0,42	1,14	-0,72
I-131	*-0,42*	*1,14*	*-0,72*

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, ZVD – terenska meritev in terenska analiza, NEK – terenska meritev in terenska analiza.

Opomba: Mobilna enota NEK je aktivnost v ščitnici poročala brez negotovosti. Za potrebe primerjave smo to ocenili na 20 % izmerjene vrednosti in se nanaša na interval zaupanja z 68 % zanesljivostjo ($k = 1$).

Tabela T8: ***Primerjava rezultatov meritev skupne aktivnosti filtrskega papirja z β kontaminacijo***

Vzorčevalno mesto: NEK, Analytics 126891
Vrsta vzorca: filter
Referenčni datum aktivnosti: 10. 9. 2024

Filtrski papir z β kontaminacijo			
Skupna aktivnost beta (Bq)			
IJS ELME	**NEK**	**ZVD**	**Povprečna vrednost**
(1,62 ± 0,65) E+2	1,45 E+2	(1,40 ± 0,42) E+2	(1,49 ± 0,12) E+2

Primerjava s povprečno vrednostjo z-test		
IJS ELME *(detektor EL)*	**IJS ELME** *(detektor PE)*	**ZVD**
1,13	-0,35	-0,78

Oznake: IJS ELME – terenska meritev in terenska analiza, NEK – laboratorijska meritev v NEK, ZVD – terenska meritev in terenska analiza

Opomba: V tabeli so pri vsaki ekipi rezultati meritev samo za en izbrani merilnik. Ekipa NEK merilne negotovosti ni poročala. Mobilna enota NEK je skupno aktivnost beta poročala brez negotovosti. Za potrebe primerjave smo to ocenili na 20 % izmerjene vrednosti in se nanaša na interval zaupanja z 68 % zanesljivostjo ($k = 1$).

Tabela T9: ***Primerjalna meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta z ionizacijskima celicama IJS ELME RSS-131 1 in RSS-131 2***

Vzorčevalno mesto: NEK – CUV

Izotop	Hitost okoljskega doznega ekvivalenta [nSv/h]		
	RSS-131 1	**RSS-131 2**	**RSS-131 1 / RSS-131 2**
K-40	58 ± 4	62 ± 4	0,94 (1 ± 0,09)

Tabela T10a: ***Primerjalne meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na terenu***

Datum meritev: 11. 9. 2024
Lokacija: travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8

Merska točka	Geografske koordinate	Čas	IJS ELME (µSv/h)	ZVD (µSv/h)	NEK (µSv/h)	Razmerja		
			Automess 6150 AD (s scintilacijsko sondo)	Automess 6150 AD (s scintilacijsko sondo)	FH40G	IJS ELME / NEK	ZVD / NEK	IJS ELME / ZVD
1	N 45,9433° E 15,5050°	10:29	0,090	0,094	0,090	1,00	1,04	0,96
2	N 45,9434° E 15,5052°	10:31	0,068	0,085	0,086	0,79	0,99	0,80
3	N 45,9434° E 15,5054°	10:33	0,095	0,080	0,080	1,19	1,00	1,19
4	N 45,9433° E 15,5057°	10:35	0,070	0,085	0,070	1,00	1,21	0,82
5	N 45,9431° E 15,5057°	10:37	0,081	0,095	0,080	1,01	1,19	0,85
6	N 45,9430° E 15,5055°	10:38	0,095	0,100	0,080	1,19	1,25	0,95
7	N 45,9430° E 15,5051°	10:39	0,070	0,070	0,070	1,00	1,00	1,00
8	N 45,9431° E 15,5048°	10:40	0,051	0,055	0,055	0,93	1,00	0,93
9	N 45,9433° E 15,5046°	10:41	0,135	0,140	0,140	0,96	1,00	0,96
10	N 45,9434° E 15,5048°	10:45	0,620	0,680	0,720	0,86	0,94	0,91

Opomba: V tabeli so pri vsaki ekipi rezultati meritev samo za en izbrani merilnik. Meritve so bile narejene na višini 1 m od tal. Merilna negotovost rezultatov IJS ELME je 25 % (k = 1) in ZVD 45 % (k = 2). Merilna negotovost za merilnik NEK je tipično <5 % in največ 20 % (k = 1).

Tabela T10b: ***Primerjalne meritve površinske kontaminacije na terenu***

Datum meritev: 11. 9. 2024
Lokacija: travnik na Vrbini pri vazelinski plošči PV8

Merska točka	**Geografske koordinate**	**Čas**	**IJS ELME** (cps)	**ZVD** (cps)	**Razmerja**
			LB 124SC	LB 124SC	**IJS ELME / ZVD**
1	N 45,9316° E 15,4915°	10:12	8,6	13,4	0,64
2	N 45,9314° E 15,4913°	10:14	10,0	13,1	0,76
3	N 45,9314° E 15,4909°	10:16	7,0	14,0	0,50
4	N 45,9315° E 15,4902°	10:18	11,0	12,5	0,88
5	N 45,9312° E 15,4900°	10:20	7,8	12,9	0,60
6	N 45,9311° E 15,4906°	10:23	11,0	12,1	0,91
7	N 45,9310° E 15,4911°	10:25	7,7	11,5	0,67
8	N 45,9309° E 15,4918°	10:27	8,6	9,8	0,88
9	N 45,9314° E 15,4917°	10:30	70	52	1,35
10	N 45,9316° E 15,4946°	10:32	750	780	0,96

Opomba: V tabeli so pri vsaki ekipi rezultati meritev samo za en izbrani merilnik. Meritve so bile narejene na višini 1 m od tal. Merilna negotovost rezultatov IJS ELME je 40 % ($k = 1$) in ZVD 30 % ($k = 1$).

5.4 POSEBNE MERITVE IN RUTINSKE MERITVE NA TERENU

Tabela T11a: Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na širšem območju NEK, IJS ELME EKIPA 1

MERSKA TOČKA		HITROST OKOLJSKEGA DOZNEGA EKVIVALENTA	GEOGRAFSKE KOORDINATE
		Reuter Stokes 131	
		γ (μSv/h)	
1	VELIKA VAS	0,060	N 45,9188° E 15,4587°
2	STRAŽA PRI RAKI	0,071	N 45,9273° E 15,4112°
3	SENUŠE	0,061	N 45,9364° E 15,4270°
4	DRENOVEC PRI LESKOVCU	0,069	N 45,9410° E 15,4179°
5	RAVNI	0,064	N 45,9453° E 15,4066°
6	VELIKI TRN	0,077	N 45,9630° E 15,3967°
7	ČREŠNJICE NAD PIJAVŠKIM	0,072	N 45,9746° E 15,4079°
8	SPODNJE PIJAVŠKO	0,077	N 45,9872° E 15,4378°
9	CESTA – HE KRŠKO	0,055	N 45,9740° E 15,4813°
10	LESKOVEC PRI KRŠKEM	0,072	N 45,9395° E 15,4773°

Tabela T11b: Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na širšem območju NEK, IJS ELME EKIPA 2

MERSKA TOČKA		HITROST OKOLJSKEGA DOZNEGA EKVIVALENTA	GEOGRAFSKE KOORDINATE
		Automess 6150 AD (s scintilacijsko sondo)	
		γ (μSv/h)	
1	KRŠKO – krožišče	0,063	N 45,9590° E 15,4925°
2	PLETERJE	0,068	N 45,9692° E 15,5291°
3	ZDOLE	0,061	N 45,9765° E 15,5444°
4	KRIŽE	0,067	N 46,0133° E 15,5581°
5	KOPRIVNICA	0,067	N 46,0337° E 15,5420°
6	VELIKI KAMEN	0,069	N 46,0387° E 15,5201°

MERSKA TOČKA		HITROST OKOLJSKEGA DOZNEGA EKVIVALENTA	GEOGRAFSKE KOORDINATE
		Automess 6150 AD (s scintilacijsko sondo)	
		γ (µSv/h)	
7	MALI KAMEN	0,070	N 46,0341° E 15,5006°
8	SENOVO	0,071	N 46,0193° E 15,4758°
9	BRESTANICA	0,069	N 45,9965° E 15,4771°
10	CESTA – KRŠKO	0,104	N 45,9698° E 15,4867°

Tabela T11c: Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na širšem območju NEK, ZVD

MERSKA TOČKA		HITROST OKOLJSKEGA DOZNEGA EKVIVALENTA	GEOGRAFSKE KOORDINATE
		Automess 6150 AD (s scintilacijsko sondo)	
		γ (µSv/h)	
1	KRŠKO	0,052	N 45,9585° E 15,5256°
2	SPODNJA LIBNA	0,049	N 45,9473° E 15,5256°
3	PESJE	0,077	N 45,9398° E 15,5535°
4	GORNJI LENART	0,058	N 45,9314° E 15,5792°
5	BREŽICE	0,060	N 45,9073° E 15,6017°
6	ČATEŽ OB SAVI	0,066	N 45,8928° E 15,6019°
7	KRŠKA VAS	0,045	N 45,8913° E 15,5703°
8	VIHRE	0,058	N 45,9070° E 15,5443°
9	DRNOVO	0,052	N 45,9173° E 15,4874°
10	LESKOVEC PRI KRŠKEM	0,048	N 45,9412° E 15,3852°

Tabela T11d: Meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na širšem območju NEK, ZVD - dodatno

MERSKA TOČKA		HITROST OKOLJSKEGA DOZNEGA EKVIVALENTA Automess 6150 AD (s scintilacijsko sondo) γ (µSv/h)	GEOGRAFSKE KOORDINATE
1	GORICA	0,057	N 45,9006° E 15,4795°
2	CERKLJE	0,063	N 45,8844° E 15,5199°
3	MALENCE	0,045	N 45,8861° E 15,5685°
4	ČATEŽ OB SAVI	0,061	N 45,8885° E 15,6185°

Tabela T12a: ***Meteorološke meritve – Vrbina, meritve IJS ELME***

Lokacija: Vrbina, pri vazelinski plošči PV8 *Datum:* 11. 9. 2024
GPS koordinate: N 45,9433° / E 15,5050°
Količina padavin v času meritev: Brez padavin

ČAS (hh:mm)	VETER		ZRAK		ZRAČNI TLAK *(relativni)* (hPa)
	HITROST (m/s)	SMER (º)	TEMP. (ºC)	REL.VLAGA (%)	
8:40	0	/	17	89	1029,2
9:00	0	/	18	87	1029,2
9:20	0	/	18	83	1029,3
9:40	0	/	19	84	1029,2
10:00	4	118	20	75	1029,1
10:20	2	122	21	72	1029,1
10:40	4	121	21	68	1029,2
11:00	5	63	21	67	1029,0
11:20	3	308	22	66	1028,9
11:40	3	326	22	65	1029,2

Tabela T12b: ***Meteorološke meritve – Vrbina, meritve ZVD***

Lokacija: Vrbina, pri vazelinski plošči PV8 *Datum:* 11. 9. 2024
GPS koordinate: N 45,9433° / E 15,5050°

Čas	Temperatura	Vlažnost	Hitrost vetra	Padavine
11:00	20,6 ºC	65,5%	0,5 m/s	–

Tabela T13: ***Prejeti dodatni osebni dozni ekvivalenti članov ekipe IJS ELME med obhodom, zabeleženi z elektronskimi dozimetri MGP, model DMC2000S in DMC3000***

Člani	Datum	Doza (mSv)	Datum	Doza (mSv)	Datum	Doza (mSv)
Benjamin Zorko	9. 9. 2024	0	10. 9. 2024	0	11. 9. 2024	0
Boštjan Črnič	9. 9. 2024	0	10. 9. 2024	0	11. 9. 2024	0
Branko Vodenik	9. 9. 2024	0	10. 9. 2024	0	11. 9. 2024	0
Petra Prem	9. 9. 2024	0	10. 9. 2024	0	11. 9. 2024	0
Tanja Murn	9. 9. 2024	0	10. 9. 2024	0	11. 9. 2024	0

6 PRILOGE[1]

1. *Poročilo o meritvah ionizirajočega sevanja, poročilo št. 56/2024* za meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta – IJS ELME
2. *Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, poročilo št. 57a/2024* za meritve vsebnosti radionuklidov s spektrometrijo gama – IJS ELME
3. *Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, poročilo št. 58/2024* za meritve vsebnosti radionuklidov s spektrometrijo gama – IJS ELME
4. *Poročilo o meritvah ionizirajočega sevanja, poročilo št. 59/2024* za meritve aktivnosti joda v ščitnici in aktivnosti vira beta ter primerjalna meritev hitrosti doze – IJS ELME
5. *Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, poročilo št. 60/2024* za meritve kontaminacije tal s spektrometrijo gama in-situ – IJS ELME
6. *Poročilo o rezultatih meritev aktivnosti sevalcev gama, poročilo št. 61/2024* za meritve vsebnosti radionuklidov s spektrometrijo gama – IJS ELME
7. *Poročilo o meritvah ionizirajočega sevanja, poročilo št. 62/2024* za meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta in površinske kontaminacije – IJS ELME
8. *Poročilo o meritvah radioaktivnosti, poročilo št. LMSAR-66/2024-GO* za meritve vsebnosti radionuklidov s spektrometrijo gama – ZVD
9. *Poročilo o meritvah radioaktivnosti, poročilo št. LMSAR-67/2024-GO* za meritve aktivnosti joda v ščitnici in aktivnosti vira beta – ZVD
10. *Poročilo o meritvah sevalnih razmer, poročilo št. LMSAR-68/2024-GO* za meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta in površinske kontaminacije – ZVD
11. *Poročilo o meritvah radioaktivnosti, poročilo št. LMSAR-69/2024-GO* za meritve kontaminacije tal s spektrometrijo gama in-situ – ZVD
12. *Poročilo o spektrometriji gama, poročilo št. 819-24* za meritve vsebnosti radionuklidov s spektrometrijo gama – NEK
13. *Poročilo o spektrometriji gama, poročilo št. 820-24* za meritve vsebnosti radionuklidov s spektrometrijo gama – NEK

¶

[1] Vse dodatne podrobnosti o obhodu za IJS ELME so zbrane v Dnevniku ELME in v arhivu ELME, za ZVD v arhivu ZVD in za NEK v arhivu NEK.

IJS Delovno poročilo
IJS-DP-15008
Ljubljana, februar 2025

Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti v NEK

POROČILO ZA LETO 2024

Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija

Naročnik:	Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o., Vrbina 12, 8270 Krško
Izvajalec:	Institut "Jožef Stefan", Ljubljana Ekološki laboratorij z mobilno enoto Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana
Pogodba štev.:	*Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti ELME 2024–2027*, NEK št. 3240324, z dne 28. 3. 2024
Odgovorni nosilec:	doc. dr. Benjamin Zorko
Namen:	Vzdrževanje pripravljenosti ELME za izredni monitoring radioaktivnosti v NEK
Naslov poročila:	**Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti v NEK, Poročilo za leto 2024**
Poročilo uredili:	mag. Branko Vodenik in dr. Helena Fajfar
Avtorji poročila:	mag. Branko Vodenik, doc. dr. Miha Mihovilovič, dr. Helena Fajfar, doc. dr. Benjamin Zorko, dr. Toni Petrovič, mag. Matjaž Stepišnik, dr. Tilen Brecelj, Klara Poiškruh, mag. med. fiz., Rok Roš Opaškar, Boštjan Črnič, mag. med. fiz., Petra Prem, prof. biol., Thomas Breznik, dipl. inž. rad., Tanja Murn, mag. prof. pouč. bio. in kem., dr. Tinkara Bučar, Sandi Gobec, Mitja Eržen, univ. dipl. fiz., dr. Anže Jazbec, dr. Matej Lipoglavšek
Štev. del. poročila:	IJS-DP-15008
Kopije:	NE Krško 1 izvod ZIC (Znanstveno informativni center IJS) 1 izvod arhiv ELME 1 izvod

Izvedba projekta je usklajena z zahtevami programov IJS, F-2 in ELME za zagotovitev kakovosti.

	Ime in priimek	*Datum in podpis*
Pripravila	mag. Branko Vodenik dr. Helena Fajfar	Digitalno podpisal Branko Vodenik Datum: 2025.02.26 14:57:09 +01'00' Digitally signed by HELENA FAJFAR Date: 2025.02.26 14:58:54 +01'00'
Pregledala	doc. dr. Benjamin Zorko doc. dr. Miha Mihovilovič	BENJAMIN ZORKO 18:03:07 2025.02.26 '00'01+ Digitally signed by MIHA MIHOVILOVIČ Date: 2025.02.26 15:16:25 +01'00'
Odobril	prof. dr. Boštjan Zalar	Digitally signed by BOŠTJAN ZALAR Date: 2025.02.27 12:08:33 +01'00'

NASLOV POROČILA:
Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti v NEK, Poročilo za leto 2024

IJS-DP-15008
februar 2025

B. Vodenik, M. Mihovilovič, H. Fajfar, B. Zorko, T. Petrovič, M. Stepišnik, T. Brecelj, K. Poiškruh, R. Roš Opaškar, B. Črnič, P. Prem, T. Breznik, T. Murn, T. Bučar, S. Gobec, M. Eržen, A. Jazbec, dr. M. Lipoglavšek

KLJUČNE BESEDE:
izredni dogodek, jedrski, radiološki, pripravljenost na izredni dogodek, radiološka mobilna enota, zunanje sevanje, radioaktivno onesnaženje, vzorčenje, meritve sevanja, identifikacija radionuklidov, dozimetrija, urjenje, vaje, primerjalne meritve, intervencije

POVZETEK:
V poročilu je opisano delovanje Ekološkega laboratorija z mobilno enoto (ELME) v letu 2024. V uvodnem delu je opisana podlaga za delovanje ELME in pojasnjena organiziranost ELME ter stopnja opremljenosti. Delovanje v letu 2024 je podano v treh sklopih. Najprej je opisano vzdrževanje pripravljenosti. Sledi mu opis vzdrževanja usposobljenosti, ki obravnava referenčne in nadzorne meritve v okolici NE Krško, primerjalne meritve z laboratoriji NE Krško in ZVD ter druge primerjalne meritve. Tretji sklop opisuje vzdrževanje opremljenosti. Sledi poročilo o opravljenih aktivnostih v letu 2024. V zaključkih so povzete pridobljene izkušnje in predlogi za izboljšanje oziroma dopolnitve pripravljenosti in delovanja ELME.

REPORT TITLE:
Maintenance of radioecological emergency preparedness - Yearly Report for 2024

IJS-DP-15008
February 2025

B. Vodenik, M. Mihovilovič, H. Fajfar, B. Zorko, T. Petrovič, M. Stepišnik, T. Brecelj, K. Poiškruh, R. Roš Opaškar, B. Črnič, P. Prem, T. Breznik, T. Murn, T. Bučar, S. Gobec, M. Eržen, A. Jazbec, dr. M. Lipoglavšek

KEYWORDS:
Emergency, nuclear, radiological, emergency preparedness, emergency organization, mobile unit, stationary laboratories, equipment, external radiation, radioactive contamination, sampling, measurements, radionuclide identification, dosimetry, training, exercises, intercomparison measurements, interventions

ABSTRACT:
This document reports on the annual activities of the Ecological Laboratory with a Mobile Unit (ELME) for the year 2024. The introductory part describes formal basis for the operation of ELME and explains the organisation of ELME and the level of equipment. The operation in 2024 is presented in three sections. First, the maintenance of readiness is described. This is followed by a description of the maintenance of competence, which covers reference and monitoring measurements in the vicinity of NPP Krško as well as national and international intercomparison measurements. The third section describes the maintenance of equipment. This is followed by a report on the activities carried out in 2024. In the last part of the report gained experience and lessons learned are discussed, together with the suggestions for further improvements.

VSEBINA

IZHODIŠČE **4**
1. PODROČJE POOBLASTITVE ELME **4**
2. ORGANIZIRANOST RADIOLOŠKE ENOTE ELME **5**
2.1. KADROVSKA STRUKTURA 6
2.1.1. Mobilna enota 6
2.1.2. Stacionarni laboratoriji 7
2.2. OPREMLJENOST 7
2.1.3. Mobilna enota 8
2.1.4. Stacionarni laboratoriji 8
3. DELOVANJE RADIOLOŠKEGA DELA ELME V 2024 ..... **8**
3.1. VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI 8
3.1.1. Dežurstvo intervencijske ekipe 8
3.1.2. Testi pripravljenosti in *odzivnosti* članov ELME 8
3.2. VZDRŽEVANJE USPOSOBLJENOSTI 11
3.2.1. Strokovno izpopolnjevanje članov intervencijskih ekip 11
3.2.2. Redno urjenje članov intervencijskih ekip 12
3.2.3. Strokovno usposabljanje ekip v stacionarnih laboratorijih 15
3.2.4. Primerjalne meritve 15
3.3. VZDRŽEVANJE OPREMLJENOSTI 21
3.3.1. Mobilni radiološki laboratorij - MRL 21
3.3.2. Stacionarni laboratoriji 22
3.3.3. Programska oprema, postopki in arhivi 22
3.4. ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI 22
4. AKTIVNOSTI V LETU 2024 ..... **23**
4.1. MERITVE IN ANALIZE OB RADIOLOŠKIH NESREČAH 23
4.1.1. Radiološke intervencije 23
4.1.2. Ostale meritve 23
4.2. OSTALE AKTIVNOSTI 23
4.2.1. Strokovna mnenja za ostale naročnike 23
4.2.2. Pregled ostalih aktivnosti 23
5. FINANČNO POROČILO **24**
6. SKLEPI **24**
Priloga 1: Operativno vodstvo ELME **27**
Priloga 2: Seznam članov radioloških intervencijskih ekip **28**
Priloga 3: Seznam članov v stacionarnih laboratorijih **29**

IZHODIŠČE

Pripravljenost na odziv v sili oziroma nezgodna pripravljenost predstavlja enega od ključnih elementov varnostne infrastrukture. Cilj nezgodne pripravljenosti je zagotovitev vseh pogojev za pravočasen, strokoven, usklajen in učinkovit odziv v primeru izrednih dogodkov. Dobra nezgodna pripravljenost zagotavlja tudi višjo stopnjo zaupanja prebivalstva v institucije, ki so zadolžene za odziv v sili, ter s tem posredno prispeva h kredibilnosti oblasti.

Eden od pomembnih sestavnih elementov nezgodne pripravljenosti za ukrepanje ob izrednem dogodku z nevarnimi snovmi je usposobljenost za meritve in analize onesnaženja (kontaminacije) okolja v najširšem pomenu besede. Le z meritvami in analizami lahko realno ocenimo stanje in morebitno ogroženost prebivalstva in okolja, sočasno pa ti podatki omogočajo ustrezno ukrepanje za omilitev in sanacijo posledic dogodka.

Začetki nezgodne pripravljenosti v Sloveniji segajo v leto 1981 (pred zagonom NEK), ko je bila z mednarodno finančno pomočjo *United Nations Development Programme* (UNDP) na Institutu "Jožef Stefan" organizirana strokovno in tehnično dobro opremljena skupina pod imenom *Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME)*, ki je že takrat ustrezala navedenim zahtevam standarda. Tako že več kot 40 let v okviru ELME delujejo in se vzdržujejo vsi potrebni laboratoriji, merilna oprema in znanje za učinkovit odziv v sili.

Od leta 1987 je ELME del državnega sistema zaščite in reševanja ob naravnih in drugih nesrečah. *Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami ZVNDN* (Uradni list RS št. 51/06, 97/10 in 21/18 – ZNOrg in 117/22) je to samo še potrdil. V primeru nesreče z nevarnimi snovmi je ELME neposredno podrejen Štabu Civilne zaščite Republike Slovenije.

Podatki o operativnem vodstvu ELME so v prilogi 1, podatki o sodelavcih, usposobljenih za delo v intervencijskih ekipah, pa v prilogah 2 in 3.

V tem dokumentu je poročilo o vzdrževanju pripravljenosti, delovanja in opremljanja radiološkega dela ELME za leto 2024 skladno s pogodbo z NEK št. 3240324 z dne 28. 3. 2024.

1. PODROČJE POOBLASTITVE ELME

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je s pooblastilom št. 1864-20/2022-4 z dne 31. 1. 2023, ki ga je izdala Uprava RS za varstvo pred sevanji (URSVS) na podlagi 42. in 43. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19 in 172/21) in 5. člena Pravilnika o pooblaščanju izvedencev varstva pred sevanji (Uradni list RS, št. 47/18), pooblaščen kot izvedenec varstva pred sevanji za svetovanje glede izvajanja sevalnih dejavnosti, izdelavo ocen varstva pred sevanji in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih ter za izvajanje nadzornih meritev na nadzorovanih in opazovanih območjih, pregledov virov sevanja in osebne varovalne opreme.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je z odločbo Uprave Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV) št. 35400-4/2024/3 z dne 14. 6. 2024, izdane v soglasju z Upravo RS za varstvo pred sevanji (URSVS), pooblaščen za izvajanje monitoringa radioaktivnosti na podlagi 139. in 159. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-1, Ur. l. RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-1O) ter 8. in 10. člena Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur. l. RS, št. 27/18).

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je z odločbo Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS) št. 1864-5/2022-4 z dne 29. 3. 2022 na podlagi 46. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19 in 172/21) in 3. člena Pravilnika o pooblaščanju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajčcih sevanj (Uradni list RS, st. 39/18) pooblaščen kot izvajalec dozimetrije za ugotavljanje izpostavljenosti zunanjemu obsevanju in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih na podlagi termoluminiscenčne dozimetrije sevanja gama in rentgenske svetlobe ter za ugotavljanje izpostavljenosti notranjemu obsevanju pri delu z odprtimi viri in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih na podlagi meritev specifične aktivnosti v bioloških vzorcih ali zraku oziroma specifične površinske aktivnosti kontaminiranih površin. Z odločbo Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS) št. 1864-17/2022-4 z dne 11. 11. 2022 se je pooblastilo razširilo še na ugotavljanje izpostavljenosti zaradi radona in torona ter dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah oziroma izračunih.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je s pooblastilom št. 3571-1/2022/2 z dne 11. 3. 2022, ki ga je izdala Uprava RS za jedrsko varnost (URSJV) na podlagi 2. in 3. odstavka 88. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, st. 76/17, 26/19 in 172/21) ter 4. člena Pravilnika o pooblaščenih izvedencih za sevalno in jedrsko varnost (Uradni list RS, st. 50/16 in 76/17 - ZVISJV-1) pooblaščen za izvajanje del pooblaščenega izvedenca za sevalno in jedrsko varnost za vse dejavnosti, ki so določene v tabeli v pooblastilu.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je s pooblastilom št. 1864-24/2019-3 z dne 25. 5. 2021, ki ga je izdala Uprava RS za varstvo pred sevanji (URSVS) na podlagi 71. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS, št. 76/17 in 26/19) in 10. člena Pravilnika o pooblaščanju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajočih sevanj (Ur. l. RS, št. 39/18), pooblaščen za izvajanje enostavnih in kompleksnih meritev koncentracij radona, oceno doz in dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah oziroma izračunih.

Mobilna enota ekološkega laboratorija ELME je pooblaščena za opravljanje radioloških meritev v primeru jedrske ali radiološke nesreče ter v primeru drugih izrednih dogodkov, pri katerih obstaja nevarnost vpliva radioaktivnih snovi na okolje in prebivalstvo. Formalno podlago za delovanje ELME, ki je od leta 1987 del državnega sistema zaščite in reševanja, predstavljajo Sklep Vlade RS o ustanovitvi republiških specializiranih enot za zaščito in reševanje (štev.: 8-04/92-7/1-8, z dne 12. 3. 1992), Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Uradni list RS, št. 51/06 – uradno prečiščeno besedilo, 97/10 in 21/18 – ZNOrg in 117/22) ter Uredba o organiziranju, opremljanju in usposabljanju sil za zaščito, reševanje in pomoč (Uradni list RS, št. 92/07, 54/09, 23/11 in 27/16).

2. ORGANIZIRANOST RADIOLOŠKE ENOTE ELME

Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME) je organizirana struktura strokovnjakov, ki v primeru radiološkega ali kemijskega izrednega dogodka na poziv upravnih organov s svojo opremo in metodami opravijo meritve in analize prisotnosti nevarnih snovi v okolju. Sestavljata ga dva mobilna laboratorija, opremljena za hitre meritve in analize na terenu - mobilni radiološki laboratorij (MRL) in mobilni kemijski laboratorij (MKL).

Mobilno radiološko enoto sestavljajo tri (vsaj) štiričlanske intervencijske ekipe, mobilni radiološki laboratorij (MRL) ter vozilo za vzorčenje in meritev hitrosti doz na poti. V primeru resnega izrednega dogodka in 24-urnega neprekinjenega dela bi ekipe delovale v izmenah po osem ur: ena ekipa deluje na terenu, ena je v pripravljenosti in ena počiva.

Delo mobilnega radiološkega laboratorija na terenu podpirajo stacionarni laboratoriji Infrastrukturnega centra za meritve ionizirajočega sevanja Instituta »Jožef Stefan«, ki s svojim strokovnim znanjem in sodobno raziskovalno-merilno opremo omogočajo celovito in kompleksno analizo radionuklidov v izbrani okoljski matriki. Mednje sodijo: Laboratorij za meritve radioaktivnosti (LMR), Laboratorij za tekočinsko-scintilacijsko spektrometrijo (LSC), Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo (TLD), Laboratorij za dozimetrične standarde (NDS) ter Laboratorij za radiokemijo Odseka O-2.

2.1. KADROVSKA STRUKTURA

Radiološki del ELME sestavlja 17 sodelavcev, ki se redno usposabljajo za delo v radioloških intervencijskih ekipah. Od tega se trije dodatno usposabljajo za vodje ekip, dva sodelavca pa sta tudi v operativnem vodstvu ELME. Radiološka intervencijska ekipa je običajno štiričlanska in sestoji iz usposobljenih sodelavcev skladno s potrebami intervencije in potrebami zagotovitve osebja v stacionarnih laboratorijih. Z vzdrževanjem pripravljenosti dveh intervencijskih ekip (8 članov) izpolnjujemo pogoje, določene s tehnično specifikacijo za vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti TO.RZ-14/2019. Vendar je treba poudariti, da z nacionalnega vidika pripravljenosti na jedrsko nesrečo osem usposobljenih članov ELME za posredovanje v NEK ne zadošča.

Izobrazbeno strukturo v letu 2024 prikazuje naslednja preglednica.

	Stopnja izobrazbe*				
	10	9	8	5	skupaj
Radiološki del	8	2	6	2	18

*Klasifikacija po ZSOK

Seznam članov, ki imajo ustezna strokovna znanja in so skladno z *Merili za organiziranje, usposabljanje in opremljanje ELME (ELME-OP-01)* usposobljeni za delo v radioloških intervencijskih ekipah ELME, je skupaj z njihovimi zadolžitvami prikazan v prilogi 2. Posebej so označeni tudi člani, ki so se v minulem letu udeležili vaj ROMENEK. Osnovni seznam interventnih delavcev v stacionarnih laboratorijih, ki niso člani ELME, je v prilogi 3.

2.1.1. Mobilna enota

Člani intervencijskih ekip so usposobljeni za opravljanje različnih nalog, ki jih mobilna enota izvaja na terenu. Zaradi širokega obsega opravil ni mogoče, da bi vsi člani intervencijskih ekip obvladovali vsa potrebna opravila, zato so ta razdeljena v 6 sklopov. Za vsak sklop so določeni izvajalci, ki morajo ta opravila obvladati (glej prilogo 2). Zadnji, skupni sklop del in nalog, morajo obvladati vsi člani intervencijskih ekip. V okviru internih usposabljanj načrtujemo širitev usposobljenosti za izvajanje posameznih sklopov s ciljem doseči čim bolj univerzalno usposobljenost kar največ članov.

V ekipi na terenu mora vsaj eden obvladati spektrometrijo gama in znati tolmačiti rezultate. Ekipa mora biti sposobna izmeriti večji obseg hitrosti doz v okolju (od 0,1 μSv/h do 1 Sv/h) ter vzorčiti zrak in ugotoviti prisotnost radioaktivnih aerosolov, partikulatov, posebno še izotopov joda.

Sklopi opravil so definirani v naslednji razpredelnici:

Sklop	Opravila
1. sklop:	spektrometrija gama v MRL
2. sklop:	spektrometrija gama in-situ, meritev joda v ščitnici
3. sklop:	kontinuirne meritve hitrosti doze z ionizacijsko celico, GPS in računalnikom
4. sklop:	meteorologija
5. sklop:	vzorčenje in priprava vzorcev
6. sklop: (skupni sklop)	meritev hitrosti doze in kontaminacije z vsemi merilniki (osebna kontaminacija, kontaminacija opreme in površin), vzorčenje zraka, uporaba osebne zaščitne opreme, vodenje evidenc prejetih osebnih doz z elektronskim dozimetrom, komunikacije (GSM telefon, multifunkcijska naprava, radijske postaje ZARE)

Treba je poudariti, da večina članov mobilne enote med svojim rednim delom v stacionarnih laboratorijih izvaja vsaj enega izmed navedenih sklopov, kar je dodatno zagotovilo za visok nivo usposobljenosti in pripravljenosti za primer intervencije. Sestava intervencijskih ekip je namreč takšna, da ekipa v polni sestavi pokriva vse sklope, navedene v razpredelnici.

Na podlagi posodobljenih *Meril za organiziranje, usposabljanje in opremljanje Ekološkega laboratorija z mobilno enoto (ELME-OP-01)*, ki sta jih leta 2019 sprejela URSZR in IJS, je minimalno število usposobljenih sodelavcev za posredovanje ob jedrski ali radiološki intervenciji 12. To omogoča organizacijo treh 4-članskih intevencijskih ekip, s katerimi lahko zagotavljamo 24-urno neprekinjeno delovanje v primeru resne radiološke ali jedrske nesreče.

2.1.2. Stacionarni laboratoriji

Število sodelavcev IJS v stacionarnih laboratorijih, ki niso člani ELME, je bilo v lanskem letu 8. Ti redno izvajajo merske in analizne metode, ki so ključnega pomena za podporo mobilne enote. V tem smislu tudi osebje, ki dela samo v stacionarnih laboratorijih, ohranja pripravljenost za učinkovito in strokovno delovanje v primeru izrednega dogodka. Pri tem velja opozoriti, da ob resni jedrski nesreči in 24-urnem neprekinjenem delovanju njihovo trenutno število ne bi zadoščalo za kvalitetno podporo delovanja mobilne enote.

2.2. OPREMLJENOST

Ustrezna opremljenost je eden od predpogojev za učinkovito izvedbo meritev, ki so osnova za realno oceno dejanskega stanja in pričakovanih posledic izrednega dogodka ter posledično za odločitve o potrebnih zaščitnih ukrepih. Opremljenost ELME je podana za oba funkcionalna dela radiološkega laboratorija ELME: mobilno enoto in stacionarne laboratorije. Opremo obeh funkcionalnih delov vzdržujemo in nadgrajujemo tako, da lahko nenehno zagotavljamo najvišji nivo kvalitete meritev in analiz, s tem pa zanesljivo oceno stanja in ogroženosti v primeru jedrske ali radiološke nesreče.

2.1.3. Mobilna enota

Opremljenost Mobilne enote je skladna s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (Uradni list RS, št. 27/18) in strategijo meritev ob izrednem dogodku ter z *Merili za organiziranje, usposabljanje in opremljanje ELME (ELME-OP-01)*. Podroben seznam opreme je zbran v *Kontrolnem seznamu opreme (ELME-SO-01).*

Oprema, ki smo jo v letu 2024 kupili s sredstvi URSZR, je navedena v poglavju 3.3.1.

2.1.4. Stacionarni laboratoriji

Stacionarni laboratoriji ELME so glede na njihov namen ob izrednem dogodku ustrezno opremljeni. Podrobni seznami opreme so na razpolago v posameznih laboratorijih.

3. DELOVANJE RADIOLOŠKEGA DELA ELME V 2024

Vzdrževanje pripravljenosti ELME za ukrepanje ob jedrskem ali radiološkem izrednem dogodku je sestavljeno iz vzdrževanja in nadgrajevanja ustrezne opremljenosti ter usposobljenosti osebja.

V letu 2024 je ELME od NEK prejel sredstva, ki so zadoščala za vzdrževanje pripravljenosti dveh intervencijskih ekip skladno z Merili. Z dvema od treh razpoložljivih radioloških intervencijskih ekip smo izvedli dve strokovni izpopolnjevanji v okviru obhodov ROMENEK. Zagotavljali smo ustrezno opremljenost članov mobilne enote v skladu z merili za organiziranje, usposabljanje in opremljanje. Na osnovi izkušenj, pridobljenih na vajah in primerjalnih meritvah, smo posodobili in izboljšali štiri postopke za delo na terenu. Hkrati so člani ELME v letu 2024 redno skrbeli za servisiranje, umerjanje in preverjanje brezhibnosti merilne opreme, za vzdrževanje osebne in skupne opreme ter vozil. Skladno z načrtom so bila opravljena vsa testiranja, servisiranje ter kalibracije merilne in druge opreme.

Ekološki laboratorij z mobilno enoto je deloval po programu delovanja za leto 2024. V nadaljevanju podajamo kratek povzetek glavnih aktivnosti.

3.1. VZDRŽEVANJE PRIPRAVLJENOSTI

3.1.1. Dežurstvo intervencijske ekipe

Radiološka intervencijska ekipa je imela vzpostavljeno 24-urno dežurstvo, s katerim zagotavljamo stalno pripravljenost za aktiviranje in operativno sposobnost članov enote za zaščito, reševanje in pomoč ob radioloških nesrečah. Dežurstvo radiološkega dela ELME v letu 2024 je bilo določeno v organizacijskem postopku *Letni načrt dežurstev radioloških intervencijskih ekip ELME (ELME-OP-05)*, izdaja 22, dec. 2023.

3.1.2. Testi pripravljenosti in *odzivnosti* članov ELME

V petek, 20. 12. 2024, smo ob 16:09 v ELME izvedli nenapovedan test odzivnosti članov Mobilnega radiološkega laboratorija ELME. S testom smo želeli preveriti, kako hitro se lahko člani MRL ELME ob nekem naključnem času (npr. v primeru resnične intervencije) zberemo na lokaciji IJS, Jamova 39.

Helena Fajfar je članom MRL ELME poslala SMS/MMS sporočilo z navodili. Nato je vsak moral čimprej poslati povratno sporočilo SMS s čimbolj realno oceno, koliko časa bi potreboval, da bi z

lokacije, kjer je sporočilo MMS prejel, prišel na lokacijo IJS. Odzivnost članov na obveščanje s sporočilom MMS je počasnejša od odzivnosti v primeru obveščanja s telefonskim klicem, zato bi bil dejanski odzivni čas članov MRL ELME še krajši od časa, ugotovljenega s tem testom.

V naslednji tabeli so v drugem stolpcu zbrani podatki o času, potrebnem za prihod na IJS, ki so ga sporočili člani ELME po prejemu sporočila MMS.

Na podlagi izkušenj lahko ocenimo, da za testiranje in opremljanje vozila ELME potrebujemo od 30 minut do 1 ure, za pot do NEK pa od 1 ure do 1 ure 30 minut.

Tako lahko ocenimo skupni odzivni čas od trenutka aktiviranja do trenutka, ko ekipa ELME prispe v bližino NEK.

Število članov ELME v intervencijski ekipi	**Čas prihoda na IJS po klicu**	**Čas opremljanja vozil ELME in čas poti od IJS do NEK**	**ODZIVNI ČAS – SKUPAJ**
8	do 30 minut	od 1 ure 30 minut do 2 uri 30 minut	**od 2 uri do 3 ur**
4	do 1 ure		**od 2,5 ur do 3,5 ur**
1	do 2 ur		**od 3,5 ure do 4,5 ur**

Ker člani ekipe pokrivajo različne sklope, smo ocenili tudi tveganje, da ekipa, ki bi prišla na IJS v roku 1 ure, ne bi bila popolna.

Sklop *	**Število članov z odzivnim časom do 30 min (prihod na IJS)**	**Število članov z odzivnim časom od 30 min do 1 h (prihod na IJS)**	**Število članov z odzivnim časom več kot 1 h (prihod na IJS)**
Vodstvo ELME	**3**	**1**	–
Vodja ekipe	**1**	**1**	–
1. sklop spektrometrija gama	**4**	**1**	–
2. sklop ocena aktivnosti joda v ščitnici	**8**	**4**	1
3. sklop kontinuirne meritve hitrosti doze in kartiranje	**8**	**4**	1
4. sklop meteorologija	**8**	**4**	1
5. sklop vzorčevanje in priprava vzorcev	**0**	**1**	1
6. sklop meritve hitrosti doze in kontaminacija…	**8**	**4**	1

* V tej tabeli je upoštevano, da je posamezni član usposobljen za opravljanje del iz različnih sklopov, zato je vsota večja od števila članov.

ZAKLJUČKI TESTA ODZIVNOSTI PO SMS/MMS

Na podlagi analize podatkov lahko zaključimo, da je bila odzivnost članov ELME ustrezna.

Glede na odziv zaključujemo, da bi lahko na podlagi aktivacije po SMS/MMS sporočilu sestavili dve popolni ekipi, ki bi v roku manj kot 3,5 ure prispeli na območje, oddaljeno od NEK manj kot 3 km.

REDNI MESEČNI TESTI POZIVNIKOV

Ekipe ELME so od leta 2020 znova opremljene s pozivniki ZARE, ki omogočajo alarmiranje in aktiviranje enote tudi v primeru izpada telefonskega/mobilnega omrežja. Delovanje pozivnikov in odziv članov ELME smo preverjali z nenapovedanimi mesečnimi testnimi alarmiranji, ki jih je izvajal CORS.

Cilj testov je bil doseči, da se na poziv odzove vsaj en član dežurne ekipe (najbolje vodja), ki lahko nato o prejetem pozivu obvesti svoje člane. Čase odzivov in rezultate testov je beležil Operativni vodja MRL.

Analiza odzivnosti članov ELME pri obveščanju po pozivnikih je prikazana v naslednji tabeli.

	Mesec											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
Odziv*	10	5	9	2	1	4	9	3	4	6	10	4

*V vrstici Odziv navajamo število članic/članov ELME, ki so sporočili aktivacijo po pozivniku v roku 10 minut.

Testi so torej pokazali, da sta se vsak mesec, razen v maju, v roku 10 minut na poziv odzvala najmanj dva člana ELME. To je dovolj za nadaljnje obveščanje ostalih članov ELME in formiranje intervencijske ekipe. Maja je bila večina članov in članic ELME na vaji RUME v Ormožu, kjer se pozivniki pri testnem proženju niso odzvali Tudi sicer ugotavljamo, da pozivniki posameznih članic/članov ELME občasno, posebej v primeru večje oddaljenosti od Ljubljane, poziva ne zaznajo.

Iz tabele je razvidno, da se odziv v različnih mesecih zelo razlikuje. Najmanjši je bil marca, maja in avgusta. Glede majhnega odziva aprila in avgusta bomo izvedli popravni ukrep in opozorili dežurno ekipo, da mora ves čas dežurstva imeti pozivnik pri sebi, pri čemer morajo člani, ki so službeno ali drugače odsotni, poiskati ustrezno zamenjavo, ki bo prav tako v tem času imela pri sebi pozivnik.

ZAKLJUČKI TESTA POZIVNIKOV

Na podlagi rezultatov testa pozivnikov lahko ocenimo, da je obveščanje članov ELME po pozivnikih sicer zadovoljivo, vendar želimo z ustreznimi ukrepi odziv v prihodnje še izboljšati.

3.2. VZDRŽEVANJE USPOSOBLJENOSTI

Vzdrževanje usposobljenosti ELME poteka na treh nivojih:

- strokovno izpopolnjevanje in redno urjenje članov intervencijskih ekip;
- strokovno izpopolnjevanje ekip v stacionarnih laboratorijih in
- preverjanje usposobljenosti (primerjalne meritve).

3.2.1. Strokovno izpopolnjevanje članov intervencijskih ekip

Bistveni del izpopolnjevanja predstavlja raziskovalno delo v laboratorijih ter udeležba osebja na specializiranih seminarjih in mednarodnih konferencah. Vsako leto je pripravljen program izpopolnjevanja. O izpopolnjevanju in urjenju posameznih sodelavcev ELME vodimo podrobne evidence.

Člani ELME smo se v letu 2024 udeležili naslednjih strokovnih srečanj in konferenc, povezanih z delom na področju pooblastitve.

- *Simpozij 4. skup mladih hrvatskog društva za zaštitu od zračenja*, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, 1. 3. 2024.
- Srečanje EURAMET *Ionizing Radiation Contact Person Meeting*, EURAMET, Mol, Belgija, 5. 3.–7. 3. 2024.
- *Sestanek tehničnega komiteja za kakovost EURAMET TC-Q*, EURAMET, Delft, Nizozemska, 20. 3.–21. 3. 2024.
- Spletni dogodek, *EMN Radiation Protection Annual General Meeting 2024*, EURAMET, 11. 4. 2024.
- Sestanek, *Annual Meeting EURADOS*, EURADOS, Oxford, Velika Britanija, 8. 4.–12. 4. 2024.
- Tečaj, *Training course OSL technology & OSLR reader and IRAS software*, Landauer, IJS, Ljubljana, 15. 4.–16. 4. 2024.
- Spletni seminar, *CCRI Webinar Starting with neutron calibration*, BIPM, 16. 4. 2024.
- Sestanek, *Intermediate Meeting of the ICRM Gamma Spectrometry Working Group*, CIEMAT, Španija, 18. 4. 2024.
- Zaključni sestanek (M48) *EMPIR support BSS*, IRSN Cadarache, Francija, 24. 4.–25. 4. 2024.
- Tečaj usposabljanja, *Emergency preparedness and response of the governmental institutions including the regulator, Training and tutoring for experts of the NRAs and their TSOs for developing or strengthening their regulatory and technical capabilities*, IJS, Ljubljana, Slovenija, 6.5.–31. 5. 2024.
- Sestanek, *EMN Pollution Monitoring Annual General Meeting 2024*, EURAMET, Nemčija, 22. 5. 2024.
- Delavnica, *Metrology Training Workshop*, EURAMET, Nemčija, 28. 5. 2024.
- Delavnica, *Training Workshop of the ELMERA on Environmental Sampling for Radionuclide Analyses*, IAEA, ALMERA, Schwarzenburg, Švica, 3. 6.–7. 6. 2024.
- Delavnica, *RadWorkshop 2024*, NKS, DTU Riso, Roskilde, Danska, 9. 9.–13. 9. 2024.
- Konferenca, *Radon 2024 conference*, Praga, Češka, 9. 9.–12. 9. 2024.
- Delavnica, *Workshop on REM PT*, JRC Geel, Belgija, 24. 9.–26. 9. 2024.
- Delavnica, *Assessment and Prognosis During a Nuclear or Radiological Emergency*, IAEA, Dunaj, Avstrija, 25. 9.–28. 9. 2024.
- Predavanje *»Enhancing EPR through comprehensive theoretical and practical training programs«*, European Radiation Protection Week, 11. 11.–16. 11. 2024, Rim, Italija.

3.2.2. Redno urjenje članov intervencijskih ekip

3.2.2.1. Redni obhodi Mobilne enote v okolici NE Krško - ROMENEK

Intervencijska ekipa se za terensko delo usposablja na rednih usposabljanjih ter na rednih obhodih NE Krško in okolice (ROMENEK).

Letni načrt in udeleženci posameznih obhodov so za vsako posamezno koledarsko leto določeni v organizacijskem postopku *Letni načrt obhodov okolice NE Krško (ELME-OP-02)*. Od leta 2018 skladno s pravilnikom JV10 in pogodbami z NEK opravljamo dva obhoda letno. To na podlagi *Meril za organiziranje, usposabljanje in opremljanje ELME (ELME-OP-01)* pomeni, da vsako leto polno usposobimo le dve od treh intervencijskih ekip. Za zagotavljanje polne pripravljenosti ekip na odziv v primeru izrednega dogodka, kjer pričakujemo delo v treh izmenah, bi potrebovali polno usposobljene vse tri intervencijske ekipe.

Namen obhodov okolice NEK je:

- zagotavljanje pripravljenosti radiološkega dela ELME za primer izrednega dogodka v NEK;
- urjenje članov radioloških intervencijskih ekip ELME;
- testiranje terenske merilne opreme in merilnih postopkov;
- testiranje komunikacijske opreme in zvez;
- primerjalne meritve z laboratoriji NEK in ZVD ter
- skupno urjenje z mobilnima enotama NEK in ZVD.

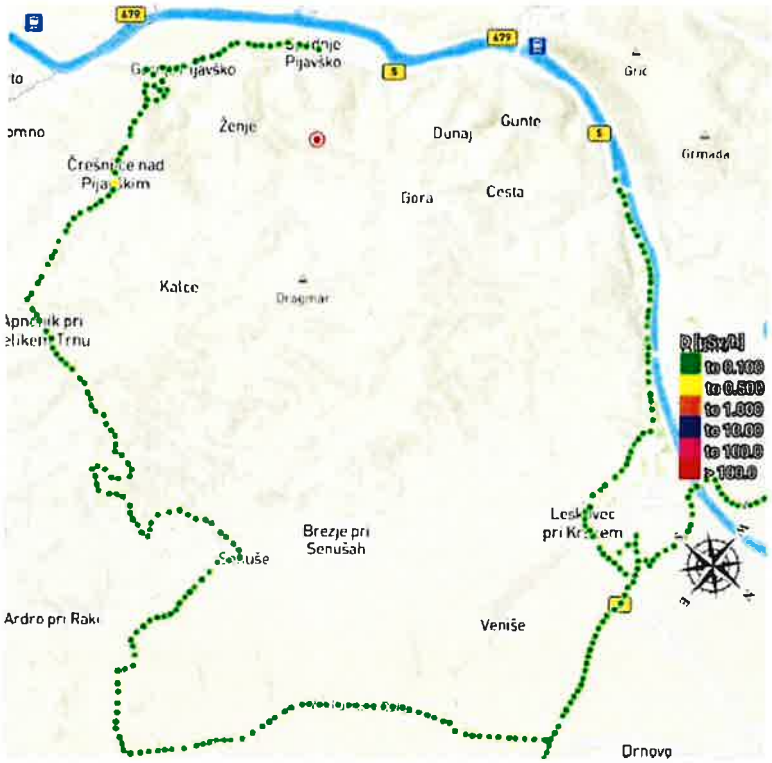
V času obhoda intervencijska ekipa obišče merilne točke v okolici NEK ter s prenosnimi merilniki izmeri hitrost doze in površinsko kontaminacijo s sevalci alfa in beta. Merilne točke so na lokacijah, kjer poteka redno vzorčenje, ali pa jih pred obhodom določi URSJV. Med obhodom ekipa vadi uporabo germanijevega detektorja pri meritvah aktivnosti sevalcev gama in-situ in v mobilnem radiološkem laboratoriju ter preveri postopke vzorčenja, terenske (hitre) priprave vzorcev in postopke meritev. V NEK opravi primerjalne meritve vsebnosti radionuklidov - sevalcev gama s spektrometrijo gama - z laboratoriji NEK in mobilno enoto ZVD v vzorcih, pripravljenih v NEK. V sodelovanju z mobilnima enotama NEK in ZVD izvede tudi primerjalno meritev in-situ in primerjalne meritve vzorcev iz okolja. Sestavni del urjenja je tudi meritev aktivnosti I-131 v ščitnici z merilniki hitrosti doze. Podroben program obhoda je opisan v postopku *Priprava in izvedba rednega obhoda okolice NE Krško (ROMENEK) (ELME-DN-11)*.

V letu 2024 sta bila po načrtu izvedena dva obhoda mobilne enote v okolici NEK. Z izvedenimi usposabljanji smo se poskušali kar najbolje pripraviti na odziv na nesrečo v NEK, preverili smo delovanje celotnega mobilnega radiološkega laboratorija in usposobljenost članov intervencijskih ekip. Po vsakem obhodu je bila izvedena analiza in izdelano poročilo, ki vsebuje tako strokovni del (rezultati meritev in analiz), kot tudi analizo samega obhoda s priporočili za učinkovitejše posredovanje ob morebitnih izrednih dogodkih.

Prvi obhod je potekal od 3. 6. do 5. 6. 2024. Na obhodu so sodelovali Toni Petrovič (vodja obhoda), Miha Mihovilovič, Klara Poiškruh, Rok Roš Opaškar in Tilen Brecelj. Prvi dan obhoda so bile opravljene meritve na štirih krožnih obhodnih poteh v okolici NEK. Prvi dan obhoda so bile opravljene kontinuirne meritve hitrosti doze iz vozila na treh krožnih poteh v okolici NEK. IJS je meritve z dvema voziloma izvedel na zahodni poti in v mestu Krško, ZVD pa z enim vozilom na vzhodni poti. Na vsaki poti je posamezna mobilna enota izmerila tudi hitrosti doze in kontaminacijo površin na 10. različnih vnaprej določenih točkah. Drugi dan smo izvedli primerjalne meritve v NEK. Mobilni laboratoriji ZVD, IJS in NEK so izmerili dva vzorca s

povišanimi aktivnostmi radionuklidov in sicer ogleni filter ter bris. Odstopanja rezultatov meritev med mobilnimi enotami so bila večinoma manj kot 10 %. Odstopanja izmerjenih vrednosti od referenčne vrednosti v nobenem primeru niso presegla20 %. Izvedena je bila tudi primerjalna meritev aktivnosti joda v ščitnici, in sicer z meritvijo na fantomu ter meritev skupne aktivnosti beta na filtru. Tretji dan smo na terenu izvedli vzorčenje zraka in meritve aktivnosti aerosolnega filtra. Opravljene so bile tudi meritve vzorca pšenice, vzorčenega na bližnji njivi. Meritev in-situ je bila izvedena na Libni. Na lokaciji meritve in-situ smo vzorčili tudi zemljo in rezultate meritev in-situ primerjali z rezultati meritve vzorca zemlje v Mobilnem radiološkem laboratoriju. Izvedene so bile meritve osebnih doz članov intervencijske ekipe, prejetih med vajo, ter meritve meteoroloških parametrov. Izveden je bil test komunikacijske opreme in zvez. Zadnji dan obhoda je potekalo preverjanje uporabe osebne zaščitne opreme ter urjenje protokola oblačenja in slačenja, vadili pa smo tudi vzpostavitev kontrolne točke za izstop iz radiološko nadzorovanega območja. Podrobnosti o aktivnostih na rednem usposabljanju so navedene v poročilu LMSAR-48-2024-MŠ, julij 2024.

Drugi obhod je bil izveden v času od 9. 9. do 11. 9. 2024. Obhoda so se udeležili Boštjan Črnič (vodja obhoda), Benjamin Zorko, Petra Prem, Tanja Murn in Branko Vodenik kot opazovalec. Prvi dan obhoda se je ELME razdelil v dve ekipi, ZVD pa je izvajal meritve kot tretja ekipa. Ekipam je URSJV preko komunikacijskega portala KID poslal sezname z imeni merilnih mest, na katerih je bilo potrebno izvesti meritve okoljskega doznega ekvivalenta, ekipe pa so rezultate meritev poročale po aplikaciji URSJV. Od Ljubljanje do Krškega ter med obhodom vzorčevalnih lokacij v okolici NEK smo z uporabo RSS-131 kartirali hitrost doze. V NEK so bile v sodelovanju z mobilnima enotama NEK in ZVD opravljene primerjalne meritve aktivnih vzorcev, in sicer aerosolnega in oglenega filtra. Izvedena je bila tudi primerjalna meritev aktivnosti joda v ščitnici, in sicer z meritvijo na fantomu ter meritev skupne aktivnosti beta na filtru. Opravili smo meritev radionuklidov v telesu. Drugi dan obhoda je ekipa ELME izvedla primerjalne meritve med ~~dvema~~ ionizacijskima celicama (IC) Reuter Stokes. Rezultati so pokazali dobro ujemanje odzivov obeh IC pri hitrosti doze približno 60 nSv/h. Tretji dan smo na terenu opravili primerjalne meritve hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta, meritve in-situ ter meritve aktivnosti radionuklidov v vzorcu zemlje, brisa in sončnic. Potekale so tudi meritve meteoroloških parametrov. Potekalo je testiranje delovanja opreme s poudarkom na preverjanju delovanja obeh črpalk za vzorčenje zraka. Tretji dan je bilo izvedeno urjenje v uporabi osnovne zaščitne opreme in postavitvi vstopno/izstopne točke z dekontaminacijskimi conami na meji blokiranega območja. Podrobno smo testirali zveze med enotami v sistemu ZARE+ in opredelili omejitve in pogoje za dobro povezavo. Vsak dan obhoda so bile izvedene tudi meritve osebnih doz članov intervencijske ekipe, ki so jih tisti dan prejeli med vajo. Vse podrobnosti so opisane v poročilu *ROMENEK 2/24,* IJS-DP-14813, *oktober 2024,* kjer so zbrani tudi vsi rezultati.



Slika 1: Prikaz meritev hitrosti okoljskega doznega ekvivalenta na poti v širši okolici NEK, ki jo je opravila ekipa ELME med obhodom ROMENEK 2/24.

3.2.2.2. Redna usposabljanja Mobilne enote RUME

Lansko leto je redno usposabljanje mobilne enote ELME (RUME) potekalo od 20. do 22. 5. 2024 na gasilskem vadbenem poligonu v Ormožu. Tokrat smo se člani ELME posvetili usposabljanju za izvajanje nalog na področju detekcije in ovrednotenja radioaktivnega onesnaženja v vzorcih in v okolju s spektrometrijo gama. S tem smo naredili pomemben korak pri širjenju usposobljenosti za izvajanje spektrometrije gama med članstvom ELME. Deloma je bilo usposabljanje namenjeno tudi prenosu znanja, ki ga vzdržujemo v okviru ELME, saj sta se dogodka udeležila dva gosta iz tujine, ki sta bila maja na izobraževanju na Odseku F2. Njuno izobraževanje je potekalo v okviru tečaja, ki ga je financirala Evropska unija, z naslovom "Emergency preparedness and response of the governmental institutions including the regulator". Ključni cilji vaje RUME 2024 so bili:

- seznanitev s teoretičnimi osnovami spektrometrije gama,
- praktično izvajanje spektrometrije gama z različnimi spektrometri (usposabljanje članov),
- preverjanje vpliva vhodnih parametrov (lastnosti vzorca) na rezultate analize spektrometrije gama
- validacija izkoristkov spektrometra električno hlajenega spektrometra PE.

Vaje RUME 2024 so se udeležili: Toni Petrovič, Boštjan Črnič, Tinkara Bučar, Helena Fajfar, Rok Roš Opaškar, Benjamin Zorko, Petra Prem, Klara Poiškruh, Sandi Gobec, Mitja Eržen in Branko Vodenik.

Slika 2: Utrinki z vaje RUME 2024

Tridnevno strokovno izpopolnjevanje RUME smo ocenili kot zelo uspešno, saj je omogočilo celovito usposabljanje za izvajanje spektrometrije gama. Vaje RUME nameravamo tudi v prihodnje izvajati v obliki tridnevnega usposabljanja, saj takšna oblika omogoča najboljši izkoristek časa in maksimalno osredotočenost na izvajanje nalog ELME ter bistveno prispeva k izboljšanju pripravljenosti na odziv. Vse podrobnosti o vaji so zbrane v poročilu IJS-DP-14748, ki je bilo pripravljeno novembra 2024.

3.2.3. Strokovno usposabljanje ekip v stacionarnih laboratorijih

Člani stacionarnih laboratorijev se strokovno usposabljajo pri delu na raziskovalnih projektih ter z udeležbo na konferencah, delavnicah in strokovnih srečanjih. Podrobni podatki o usposabljanju osebja v posameznih laboratorijih so na razpolago pri nosilcu programa zagotovitve kakovosti.

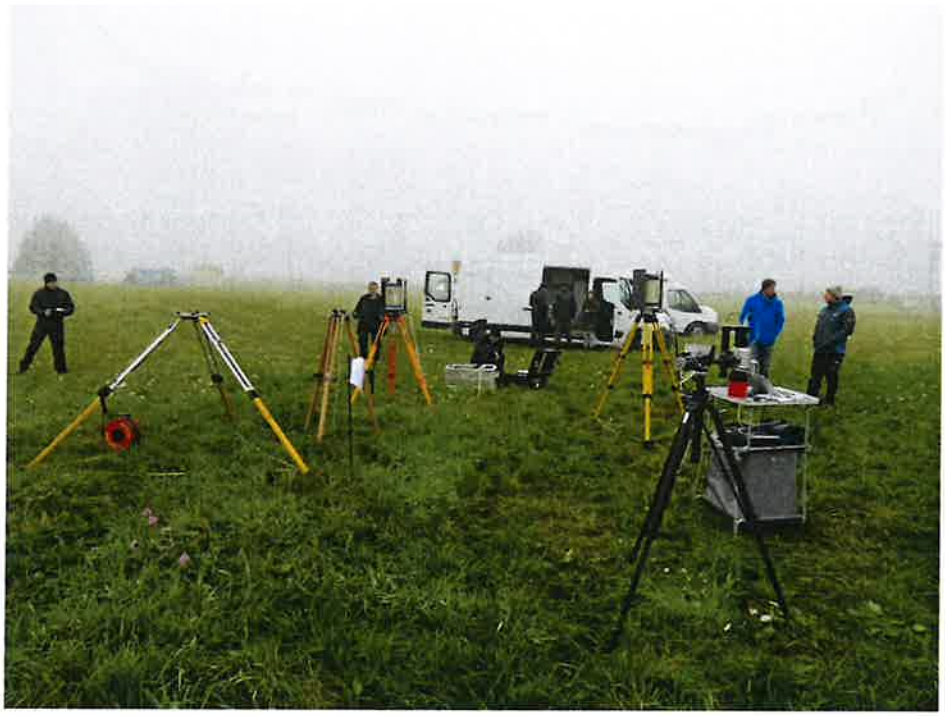
3.2.4. Primerjalne meritve

Primerjalne meritve so eden od ključnih pokazateljev usposobljenosti in kakovosti laboratorijev. Zato se radiološki laboratorij ELME redno udeležuje primerjalnih meritev. S sodelovanjem pri lokalnih in mednarodnih primerjalnih meritvah zagotavljamo strokovno usposobljenost članov enote za opravljanje nalog, za katere so zadolženi. Mobilni radiološki laboratorij je v letu 2024 sodeloval pri primerjalnih meritvah PRIMER 2024, pri primerjalnih meritvah hitrosti doze nemškega organizatorja Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) iz Berlina v Nemčiji ter pri primerjalnih meritvah spektrometrije gama, ki jih je organizirala IAEA.

Mednarodnih primerjalnih meritev se udeležujejo tudi stacionarni laboratoriji IJS, ki sodelujejo z ELME. Ti so v letu 2024 sodelovali v programu naslednjih organizatorjev mednarodnih primerjalnih meritev in testov usposobljenosti: IAEA iz Avstrije, IARMA iz Združenega kraljestva ter MRI iz Nemčije. Podrobni opisi teh meritev in ovrednotenje rezultatov v internih poročilih posameznih stacionarnih laboratorijev.

3.2.4.1. PRIMER – Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama

Na območju Reaktorskega centra na Brinju smo s podporo Instituta "Jožef Stefan" 6. 11. 2024 organizirali 11. primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama. Namen dogodka je bil omogočiti organizacijam in skupinam strokovnjakov v Sloveniji in v ostalih državah v regiji, ki z merilniki radioaktivnega sevanja opravljajo meritve sevanja, da preizkusijo svoje znanje in opremo pri različnih nalogah s področja detekcije radioaktivnih virov. Pomemben del primerjalnih meritev je bila tudi izmenjava izkušenj ter nadgradnja znanja in postopkov na podlagi medsebojne primerjave rezultatov. V primeru posredovanja zaradi jedrske ali radiološke nesreče so tovrstne meritve osnova za vse nadaljnje ukrepe, praksa in izkušnje pa prispevajo k hitrim in strokovnim odločitvam intervencijskih ekip v kritičnih razmerah. Poleg tega je za uspešno intervencijo bistveno tudi dobro medsebojno poznavanje intervencijskih ekip, ki se gradi tudi na dogodkih, kot je PRIMER.



Slika 3: PRIMER 2024 - Meritve in-situ.

Kriterij dobrega ujemanja je bil določen s pogojem, da se povprečna izmerjena vrednost od referenčne vrednosti razlikuje za največ 25 %. Primerjava rezultatov meritev hitrosti doze kaže večinoma dobro ujemanje (pri hitrosti doze nad 1 μSv/h ustreza kriteriju več kot 80 % merilnikov) in ponovljivost odziva, meritve hitrosti doze naravnega ozadja pa so pokazale, da več kot polovica merilnikov ni primerna za natančne meritve hitrosti 0,1 μSv/h ali manj.

Ujemanje rezultatov pri spektrometriji gama je bilo za referenčne vzorce večinoma znotraj 25 % od referenčne vrednosti.

Slika 4: PRIMER 2024 – Iskanje in identifikacija virov, skritih v sodih.

Ujemanje rezultatov pri spektrometriji gama in-situ in ob predpostavki enakomerne porazdelitve depozita je bilo večinoma znotraj 25 % od povprečja. Ujemanje rezultatov ob predpostavki površinske porazdelitve depozita je bilo pričakovano nekoliko slabše, saj je negotovost izračunov večja.

Rezultati meritev hitrosti doze ekip ELME so bili v okviru merskih negotovosti konsistentni z referenčnimi vrednostmi. Isto velja za aktivnosti referenčnih virov ter vzorcev, določene s spektrometrijo gama. Ekipe ELME so tudi pravilno določile lego virov v sodih.

V letu 2024primerjalne meritve, kjer smo ponovno imeli mednarodno udeležbo, so pokazale nujnost redne izvedbe takšnih meritev s čim večjo udeležbo vseh enot, ki so ustrezno opremljene in usposobljene za izvajanje meritev hitrosti doze in spektrometrije gama. Ostale podrobnosti primerjalnih meritev so v poročilu PRIMER 2024 – Primerjalne meritve hitrosti doze in spektrometrije gama 2024 (IJS-DP 14960), februar 2025.

3.2.4.2. Primerjalne meritve hitrosti doze 2024

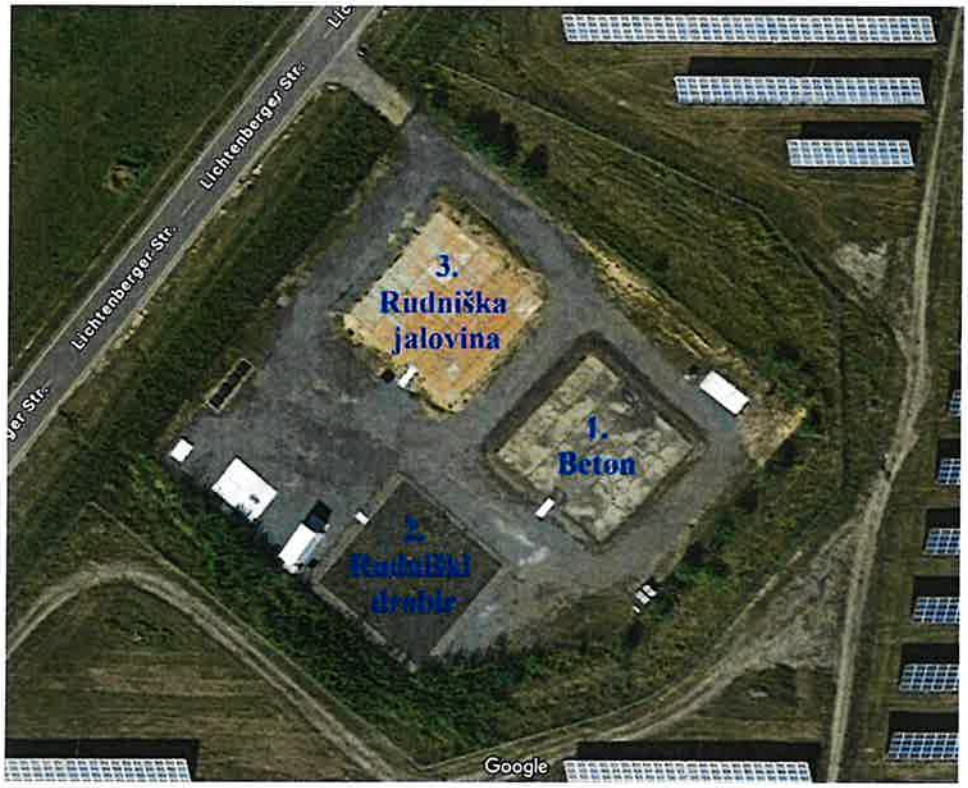
V času od 17. do 20. 6. 2024 smo se udeležili mednarodnih primerjalnih meritev (interkomparacije) hitrosti doze na poligonu na območju opuščenega rudnika urana Wismut pri Ronneburgu, ZR Nemčija. Primerjalne meritve je organiziral Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Berlin, Nemčija, ki je pripravil tudi končno poročilo o primerjalnih meritvah.

Meritve hitrosti doze so bile izvedene s sedmimi merilniki in so potekale na višini 1 m na treh različnih podlagah oziroma lokacijah (slika 5):

- na betonu (naravno ozadje, hitrost doze < 0.1 μSv/h)
- na rudniškem drobirju (hitrost doze okoli 0.2 μSv/h) in
- na prekriti rudniški jalovini (hitrost doze okoli 0.9 μSv/h)

Primerjalne meritve so potrdile zanesljivost merilnikov, s katerimi izvajamo meritve hitrosti doze, saj so bili rezultati glede na referenčne vrednosti znotraj sprejemljivih mej. Samo en merilnik je pokazal večja odstopanja, vendar zgolj na nivoju hitrosti doze ozadja, kar pomeni, da ni primeren za meritve tako nizkih hitrosti doze. Primerjalne meritve torej lahko ponovno ovrednotimo kot uspešne.

Podrobnosti o rezultatih meritev ELME so navedene v poročilu *Primerjalne meritve hitrosti doze 2024 (Ronneburg, Nemčija), IJS-DP-14867.*



Slika 5: Satelitski posnetek lokacije poligona na opuščenem rudniku (vir slike: google.com).

3.2.4.3. Primerjalne meritve IAEA-TERC-2024-01

Primerjalne meritve, ki jih organizira Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory IAEA, so v letu 2024 obsegale vzorec umetno kontaminirane vode, vzorec sedimenta, vzorec boksita ter simulirani površinsko kontaminiran vzorec. Pri preverjanju smo sodelovali pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama v vzorcih vode, sedimenta in boksita, aktivnosti radionuklidov v simuliranem kontaminiranem površinskem vzorcu pa smo določili z meritvami površinske kontaminacije s prenosnimi merilniki. Končne individualne rezultate smo prejeli

oktobra 2024 v dokumentu *IAEA-TERC-2024-01 World Wide Proficiency Test Exercise Individual Evaluation Report for Labcode 141, IAEA, Terrestrial Environment Radio-Chemistry Laboratory, Seibersdorf, October 2024.*

IAEA je rezultate meritev ovrednotila na podlagi določitve relativnega odstopanja *Bias*:

$$Bias = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{Value_{target}} \cdot 100\ \%.$$

Le-tega so primerjali z največjim dopustnim odstopanjem (*MARB*), ki je bil določen individualno za vsak posamezen radionuklid. Kadar je vrednost relativnega odstopanja manjša ali enaka MARB, je rezultat sprejemljiv glede na točnost (accuracy).

$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{target}}{Value_{target}}\right)^2 + \left(\frac{U_{reported}}{Value_{reported}}\right)^2} \cdot 100\ \%.$$

$$|Bias| \leq k \cdot P, \quad k = 2{,}58$$

Če je $|Bias| \leq k \cdot P$ in $P \leq MARB$, pri čemer je vrednost k 2.58, je rezultat interkomparacije sprejemljiv glede na preciznost (precision). Dodaten kriterij, ki ga IAEA uporablja za primerjavo rezultatov, je Z-test:

$$Z = \left|\frac{Value_{reported} - Value_{target}}{roboustSD}\right|.$$

kjer je *roboustSD* standardna deviacija rezultatov interkomparacije brez outlierjev. Kriteriji za ovrednotenje so: ($z < 2$) - acceptable, ($2 \leq z \leq 3$) - warning, ($z > 3$) - not acceptable. Poleg tega smo sami naredili še ζ-test:

$$\zeta\text{-test} = \frac{Value_{reported} - Value_{target}}{\sqrt{u_{reported}{}^2 + u_{target}{}^2}}.$$

Rezultati so sprejemljivi, če je ζ-test < 2. Vrednosti ζ-testov smo sami določili za vse vzorce.

V naslednjih tabelah so zbrani rezultati analiz IJS in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA.

	IAEA-TERC-2024-01 Sample 01, Spiked Water analize ELME opravljene ***julija 2024,*** individualni rezultati objavljeni ***oktobra 2024***					
IZOTOP	**IAEA**	**IJS, ELME Lab. No. 38**	**Rel. odmik (%)**	**ζ-test**	**P-test (%)**	**Končna ocena**
	(Bq/kg)					
Eu-152	14,8 ± 0,7	15,9 ± 2,3	7.4	0.46	15.22	A
Na-22	19,1 ± 1,0	19,5 ± 2,7	2.1	0.14	14.80	A
Ra-226	13,0 ± 0,7	17,6 ± 3,1	35.4	1.45	18.42	N

IZOTOP*	IAEA-TERC-2024-01 Sample 03, Sediment analize ELME opravljene *julija 2024,* individualni rezultati objavljeni *oktobra 2024*					
	IAEA	IJS, ELME Lab. No. 38	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
K-40	873,0 ± 44,0	879,0 ± 145,0	0.7	0.04	17.25	A
Ra-226	340,0 ± 13,0	344,0 ± 47,0	1.2	0.08	14.19	A
Ra-228	307,0 ± 17,0	301,0 ± 41,0	-2.0	-0.14	14.70	A
U-238	246,0 ± 11,0	324,0 ± 48,0	31.7	1.58	15.47	N

IZOTOP	IAEA-TERC-2024-01 Sample 04, Bauxite analize ELME opravljene *julija 2024,* individualni rezultati objavljeni *oktobra 2024*					
	IAEA	IJS, ELME Lab. No. 38	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/kg)					
Cs-137	2,44 ± 0,26	4,4 ± 1,4	80.3	1.38	33.56	N
Ra-226	144,0 ± 5,0	146,0 ± 19,0	1.4	0.10	13.47	A
Ra-228	130,0 ± 8,0	119,0 ± 15,0	-8.5	-0.65	14.03	A
U-238	143,0 ± 7,0	169,0 ± 28,0	18.2	0.90	17.28	A

IZOTOP	IAEA-TERC-2024-01 Sample 05, "Simulated contaminated surface sample, gamma and beta emitting radionuclides" analize ELME opravljene *julija 2024,* individualni rezultati objavljeni *oktobra 2024*					
	IAEA	IJS, ELME Lab. No. 38	Rel. odmik (%)	ζ-test	P-test (%)	Končna ocena
	(Bq/filter)					
Cs-134	7,71 ± 0,39	7,3 ± 0,9	-5.3	-0.42	13.33	A
Sr-90	3,28 ± 0,16	3,4 ± 1,4	3.7	0.09	41.46	W

Iz tabel je razvidno, da so vrednosti ζ-testa sprejemljive tudi za radionuklide, ki so bili v končnem ovrednotenju organizatorja interkomparacije označeni z N, torej kot neustrezni. Končni rezultat N organizatorja interkomparacije je namreč posledica drugih kriterijev, ki so relevantni predvsem za stacionarne laboratorije, kjer ustrezno dolge meritve zagotavljajo točno ovrednotenje tudi nizkih aktivnosti in sicer z majhno relativno negotovostjo. Meritve v mobilnem radiološkem laboratoriju ELME (MRL) so tipično kratke, ker v akcidentalnih razmerah pričakujemo znatno višje aktivnosti posameznih radionuklidov. Posledica tega so večje merilne negotovosti pri meritvah vzorcev z nizkimi aktivnostmi, kar posredno zagotavlja sprejemljivost ζ-testa. V tem smislu ζ-test potrjuje primernost meritev za izbran namen, saj ta vpliva tudi na velikost negotovosti, ki jih dopuščamo.

Da je bila težava predvsem v nizkih aktivnostih merjenih vzorcev smo preverili z naknadno analizo in ponovnimi meritvami nekaterih vzorcev.

Ponovna meritev vzorca tekočine ni bila mogoča, ker vzorec v času ovrednotenja interkomparacije ni bil več na razpolago. Smo pa ponovno analizirali izmerjeni spekter in ročno ovrednotili vrh pri 46 keV, kjer se prekrivata prispevka Eu-152 in Pb-206. Če pri luščenju upoštevamo referenčno vrednost za Eu-152, ki je 14.8 ± 0.7 Bq/kg, dobimo za Pb-210, ki ga pri avtomatski analizi nismo zaznali, vrednost 8.7 ± 6.4 Bq/kg, kar se zelo dobro ujema z referenčno vrednostjo 10.2 +- 0.9 Bq/kg.

Podrobna analiza vzorca sedimenta in ročno ovrednotenje ploščine vrha pri 63,3 keV, ki je najbolj merodajen za določanje aktivnosti U-238, da rezultat 282 ± 39 Bq/kg, ki je sprejemljiv glede na vse kriterije organizatorja interkomparacije.

Analiza ponovne meritve vzorca boksita, ki je trajala tri dni, je dala rezultat 2,35 ± 0,34 Bq/kg, kar je prav tako v celoti sprejemljiv rezultat z ustrezno nizko relativno negotovostjo.

Končni rezultat N pri poročanju Sr-90 je zgolj posledica velike negotovosti izmerjene vrednosti. Razlog za to je poročanje negotovosti skladno s postopkom ELME-DN-03, kjer je podana tudi ustrezna računska podlaga za takšno ovrednotenje negotovosti.

Zaključimo lahko, da je pri interkomparacijah, kot je IAEA TERC, potrebno vzorce meriti zelo dolgo, da bi zagotovili dovolj dobro statistično negotovost, kar ni skladno s strategijo in namenom meritev v MRL. Zato v bodoče načrtujemo udeležbo pri interkomparacijah, pri katerih bo aktivnost radionuklidov v vzorcih znatno višja in primerljiva z aktivnostmi, ki jih pričakujemo v akcidentalnih razmerah.

3.3. VZDRŽEVANJE OPREMLJENOSTI

Vzdrževanje opremljenosti je sestavljeno iz naslednjih elementov:

- vzdrževanje opreme Mobilnega radiološkega laboratorija (MRL);
- vzdrževanje programske opreme, postopkov in arhivov in
- vzdrževanje opreme v stacionarnih laboratorijih.

3.3.1. Mobilni radiološki laboratorij - MRL

K vzdrževanju opremljenosti mobilne enote sodi redno testiranje, servisiranje in kalibriranje terenske opreme, vzdrževanje vozil in osebne zaščitne opreme ter servisiranje strojne opreme. Hkrati v okviru danih sredstev skrbimo tudi za posodabljanje stare in iztrošene opreme ter nadomeščanje z novo.

V okviru financiranja URSZR smo v letu 2024 dopolnili opremo ELME z novim merilnikom hitrosti doze s scintilacijsko sondo. Merilnik omogoča zanesljivo izvajanje meritev v širokem območju vrednosti hitrosti doze od 0.01 µSv/h do 10 mSv/h.

Kupili smo novo meteorološko postajo, ki omogoča nadzor lokalnih vremenskih parametrov. S tem smo nadomestili staro postajo, ki ni več zagotavljala ustreznih meritev.

Pomembno pridobitev v minulem letu predstavlja digitalna ročna radijska postaja v sistemu ZARE+, ki omogoča kvalitetno komunikacijo tako med enotami ELME kot tudi z ostalimi deležniki. Ta način komunikacije je še posebej pomemben za zvezo z mobilno enoto NEK, ki uporablja izključno sistem ZARE+.

Nabavili smo novo visokozmogljivo prenosno črpalko za vzorčenje zraka. Zaradi robustne izdelave je črpalka posebej primerna za zahtevne terenske razmere, hkrati pa omogoča hitrost črpanja v širokem območju pretokov. Z novo črpalko imamo sedaj podvojeno tudi opremo za vzorčevanje zraka na terenu.

Za varno delo članic in članov ELME v nevarni atmosferi smo kupili 7 mask Draeger, ki zagotavljajo tudi zaščito pred jodom. Prav tako smo dopolnili zalogo osebnih elektronskih dozimetrov.

Pomembno pridobitev predstavljata prenosni računalnik za nadzor meritev in analizo spektrov v mobilnem radiološkem laboratoriju in na terenu ter stacionarni osebni računalnik za komunikacijo ELME z URSJV preko aplikacije KID.

3.3.2. Stacionarni laboratoriji

Stacionarni laboratoriji se za redno delo opremljajo in vzdržujejo v okviru raziskovalnih programov in projektov. Opremo kalibrirajo v akreditiranih kalibracijskih laboratorijih v vnaprej predvidenih intervalih. Poleg tega preverjajo umeritvene krivulje spektrometrov s certificiranimi referenčnimi materiali, delovanje pa redno nadzorujejo s kontrolnimi viri ter izvajajo različne meritve za preverjanje in zagotavljanje kakovosti meritev. Po potrebi obnavljajo potrošna sredstva kot so kemikalije, tekoči dušik, kalibracijski viri in rezervni deli.

3.3.3. Programska oprema, postopki in arhivi

Med vzdrževanje opremljenosti spada tudi vzdrževanje obstoječe programske opreme in na osnovi izkušenj razvoj nove (manjši ekspertni sistemi in baze podatkov za učinkovitejše delo v izrednih razmerah), vzdrževanje obstoječih in razvoj novih postopkov ter vzdrževanje arhivov.

V letu 2024 smo dopolnjevali in posodabljali digitalni arhiv dokumentov ELME, kjer zbiramo prvenstveno poročila intervencij in usposabljanj.

3.4. ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

Sistem zagotovitve kakovosti pri meritvah in delu ELME je usklajen s sistemom zagotovitve kakovosti na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij F-2, ki je podrobno opisan v *Poslovniku kakovosti Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij F-2 (F2-PK)* in pripadajočih postopkih in navodilih. Sistem zagotovitve kakovosti je usklajen s standardom *Splošne zahteve za usposobljenost preskuševalnih in kalibracijskih laboratorijev SIST EN ISO/IEC 17025:2017*. Meritve vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama v laboratoriju so akreditirane od marca 2003 dalje, termoluminiscenčna dozimetrija pa od leta 2005 dalje. V letu 2007 smo prejeli novo akreditacijsko listino LP-022 z razširjenim obsegom akreditacije na merjenje hitrosti doze s prenosnimi merilniki ionizirajočega sevanja in za neposredne meritve površinske kontaminacije s sevalci alfa, beta in nizkoenergijskimi sevalci gama. V letu 2019 smo obseg akreditacije razširili še na spektrometrijo gama v mobilnem radiološkem laboratoriju in na kontinuirne meritve radona-222 z aktivnimi merilniki. To smo v letu 2021 razširili še na meritve radonovih potomcev. Ocenjevanje akreditiranih method opravlja Slovenska akreditacija periodično vsakih 15 mesecev. Zadnje ocenjevanje preskusnih metod iz akreditacijske listine LP-022 smo imeli od 27. do 30. avgusta 2024. Naslednji obisk SA je predviden septembra 2025. V letu 2024 smo imeli tudi presojo s strani NEK (v skladu z letnim planom presoj dobaviteljev NEK za leto 2024).

4. AKTIVNOSTI V LETU 2024

4.1. MERITVE IN ANALIZE OB RADIOLOŠKIH NESREČAH

4.1.1. Radiološke intervencije

- Dne 20. 9. 2024 smo bili s strani CORS obveščeni o radiološkem dogodku, pri katerem so gasilci in člani ekipe NMP so nudili pomoč osebi, ki je v bolnišnici prejela terapijo I-131. Meritve so potrdile prisotnost I-131. Hitrost doze je znašala 30 mikroSv/h na razdalji približno 1m. Ekipa ELME se je z gasilci in enoto NMP pogovorila o radiološkem tveganju med prevozom take osebe v bolnišnico.
- Dne 29. 10. 2024 smo prejeli klic CORS, ki nas je povezal z gasilci iz PGE Celje. Gasilce je poklical zaskrbljen občan iz Laškega, ki je na spletu kupil uro z radijevo številčnico. S svojim merilnikom hitrosti doze in kontaminacije je ugotovil, da je ura radioaktivna, nakar je poklical gasilsko enoto. Glede na njegovo opažanje smo mu svetovali, naj uro varno spravi ter v doglednem času prinese na IJS, da bomo preverili morebitno kontaminacijo in skupno aktivnost ure. Meritve so bile izvedene 6. 12. 2024. Napisali smoporočilo in priporočilo lastniku, ki je bilo poslano inšpektorju URSJV.
- Dne 8. 11. 2024 je Ekološki laboratorij z mobilno enoto opravil radiološki pregled v Šolskem centru Celje. Napisano je bilo poročilo o meritvah ter mnenje o viru, ki ga je ELME prevzel in prepeljal na IJS. V poročilu so navedene tudi ugotovitve o kontaminaciji, ki je bila odkrita in ustrezno sanirana.

4.1.2. Ostale meritve

- V letu 2024 Ekološki laboratorij z mobilno enoto ni izvedel meritev za druge naročnike.

4.2. OSTALE AKTIVNOSTI

4.2.1. Strokovna mnenja za ostale naročnike

- Ekološki laboratorij z mobilno enoto v letu 2024 ni bil zadolžen za pripravo strokovnih mnenj za ostale naročnike.

4.2.2. Pregled ostalih aktivnosti

- 14. 2.–16. 2. 2024: udeležba na usposabljanju Mechanism Refresher Seminar (19MRS2) na Bledu.
- 27. 2. 2024: drugo strokovno usposabljanje ELME v okviru TC projekta IAEA.
- 5. 3., 12. 3., 19. 3. in 26. 3. 2024: sodelovanje na mednarodni vaji INEX-6, ki jo je organizirala Mednarodna agencija za jedrsko energijo NEA.
- 21. 3., 22. 3., 28.5., 29.5., 10.9., 11.9., 16.9., 17.9., 24.9. in 25. 9. 2024: sodelovanje pri vajah z gasilci v sklopu dopolnilnega usposabljanja poklicnih gasilcev s področja nevarnih snovi v ICZR na Igu.
- 10. 4.–13. 4. 2024: sodelovanje na 3. izobraževanju za ukrepanje služb NMP v nesrečah z nevarnimi snovmi v Novem mestu.
- 18. 4. 2024: predstavitev enote ELME na 3. regijskem posvetu za predsednike komisij za veterane pri prostovoljnih gasilskih društvih.

- 19. 4. 2024: udeležba pri vaji KID, ki jo je organizirala URSJV.
- 6. 5.–8. 5. 2024: dva člana ELME sta se udeležila usposabljanja za sprejemanje in nudenje mednarodne pomoči, ki je potekalo v organizaciji ICZR na Igu.
- 20. 5.–22. 5. 2024: redno usposabljanje članov radiološkega dela ELME (RUME) na regijskem gasilskem poligonu za usposabljanje v Ormožu.
- 30. 5.–1. 6. 2024: predstavitev dela in opreme ELME na Bogatajevih dnevih zaščite in reševanja v Kranju.
- 17. 6.–20. 6. 2024: udeležba na mednarodnih primerjalnih meritvah hitrosti doze v kraju Reust (Ronneburg) v Nemčiji.
- 18. 9.–20. 9. 2024: tretje strokovno usposabljanje ELME v okviru TC projekta IAEA.
- 9. 10. 2024: opazovanje vaje FALCO 24, ki je potekala v organizaciji enot JRKBO slovenske vojske v Vojašnici Jerneja Molana v Cerkljah ob Krki.
- 25. 11.–28. 11. 2024, udeležba na nacionalni delavnici Ocena in napoved med jedrsko in radiološko nesrečo, URSJV.
- 30. 11. 2024: sodelovanje na gasilsko reševalni sektorski vaji LOKS 2024, ki jo je organizirala Gasilska zveza Ljubljana.
- 11. 12. 2024: udeležba na srečanju s predstavniki sil ZRP v avditoriju ICZR na Igu.

5. FINANČNO POROČILO

Od 1. 1. do 31. 12. 2024 smo sredstva, ki jih za delovanje ELME dobimo po pogodbi NEK št. 3240324 z dne 28. 3. 2024, namenili za izvedbo dveh obhodov ter izdelavo poročil, za usposabljanje članov ELME ter za servisiranje in vzdrževanje opreme.

Specifikacija stroškov od 1. 1. 2024 do 31. 12. 2024 in za pripravo letnega poročila:

Vzdrževanje opreme (testiranje, servisiranje, kalibriranje)	28.221,24 EUR
Vzdrževanje pripravljenosti (redni obhod, usposabljanja)	73.362,76 EUR
Priprava letnega poročila	4.416,00 EUR
SKUPAJ	**106.000,00 EUR**

6. SKLEPI

Mobilni radiološki laboratorij (MRL), ki nastopa v okviru enot Civilne zaščite, skupaj s stacionarnimi laboratoriji IJS ostaja ena ključnih slovenskih kapacitet za posredovanje ob jedrski ali radiološki nesreči. Enota bi v primeru izrednega dogodka s sodobno merilno opremo in usposobljenimi strokovnjaki prispevala ključne informacije o prisotnosti radioaktivnih snovi v okolju. Podatki, zbrani v okolici NEK, bi krojili strategijo posredovanja sil Zaščite in reševanja.

Da bi v primeru nesreče lahko zagotovili hiter odziv, je organizirana 24-urna pripravljenost enote ELME. To omogočajo tri štiričlanske ekipe, ki periodično opravljajo mesečna dežurstva. Enoto aktivira Center za obveščanje Republike Slovenije in poteka skladno z njihovimi standardnimi operativnimi postopki in letnim načrtom dežurstev ELME *(ELME-OP-05)*. Odzivnost ekip preverjamo z nenapovedanimi letnimi testi odziva. Preizkus, ki smo ga opravili v letu 2024, je pokazal, da lahko zagotovimo navzočnost kar dveh polno operativnih ekip v neposredni okolici NEK v manj kot treh urah in pol.

Tudi v letu 2024 so člani MRL veliko časa posvetili usposabljanju za delo na terenu. Predvsem velja poudariti pozitivno izkušnjo rednega usposabljanja Mobilnega radiološkega laboratorija (RUME), ki smo jo v lanskem letu ponovno izvedli kot tridnevno vajo. Tokrat je bila namenjena usposabljanju za izvajanje spektrometrije gama članic in članov, ki doslej niso bili vešči uporabe te metode. V treh dneh smo lahko celovito obdelali različna področja uporabe spektrometrije gama in izzive, povezane s tem. Tako smo začeli izvajati načrt usposabljanja članic in članov ELME, ki bo dolgoročno zagotovil polno usposobljenost večine članic in članov za izvajanje aktivnosti v okviru vseh sklopov opravil, ki jih izvaja ELME.

Kot vsako leto smo izvedli dva redna obhoda mobilnih enot v okolici NEK (ROMENEK). Rezultati primerjalnih meritev z mobilnima enotama NEK in ZVD so ponovno potrdili vrhunsko usposobljenost mobilnega radiološkega laboratorija. Navedena usposabljanja smo tudi letos nadgradili s primerjalnimi meritvami PRIMER ter s primerjalnimi meritvami hitrosti doze v Ronneburgu, ki so prav tako pokazale dobro usposobljenost ekip za izvajanje meritev ter ustreznost opreme, ki jo uporabljamo v ELME. Svoje znanje smo delili tudi pri praktičnih vajah na poligonu Gasilske šole na Igu, kjer smo se skupaj z gasilci urili za posredovanje ob manjših radioloških dogodkih. Takšna skupna usposabljanja so ključnega pomena za učinkovito in usklajeno delo v primeru posredovanja, ki bi v primeru izrednega dogodka potekalo v sodelovanju z drugimi intervencijskimi enotami.

Rezultati kritičnih analiz, ki sledijo rednim vajam, ter novo pridobljena znanja omogočajo nenehno posodabljanje naših navodil in postopkov za delo na terenu. Tudi lansko leto smo nova znanja in izkušnje vključevali v redno delo ter v posameznih primerih načrtovali ustrezne korektivne ukrepe, ki bodo zagotovili dodatno izboljšanje pripravljenosti za posredovanje v izrednih razmerah. Z implementacijo predlogov, ki so zbrani v poročilih vaj ROMENEK in RUME, ter ugotovitev, ki so rezultat kritičnega ovrednotenja primerjalnih meritev, tako kontinuirano skrbimo za dviganje nivoja usposobljenosti mobilne enote.

ELME se tudi redno vključuje v pripravo strateških vsebin, povezanih z vzdrževanjem pripravljenosti in usposobljenosti za odziv v primeru jedrske ali radiološke nesreče na različnih nivojih, kar potrjuje visoko strokovno raven kadra, ki deluje v okviru ELME ter široko vpetost ELME v navedene aktivnosti.

V bodoče načrtujemo nadaljnjo nadgradnjo usposobljenosti ELME in nova vlaganja v opremo, ki je pogoj za učinkovito delo na terenu. V ta namen želimo pridobiti tudi sredstva za nakup novega avtomobila, ki bo nadomestil dosedanje vozilo, ki ga uporabljamo kot mobilni radiološki laboratorij.

Predstavljeno poročilo o vzdrževanju pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti v NEK povzema dejavnosti radiološkega dela ELME v letu 2024. Izvedene aktivnosti potrjujejo visok nivo operativne pripravljenosti za interventno posredovanje skladno s pogoji pogodbe št. 3240324 in pripadajočo tehnično specifikacijo št TO.RZ-4/2023 Rev.0. Ne glede na to, da izpolnjujemo vse pogoje za pravočasen in učinkovit odziv v sili bomo tudi v prihodnje stremeli k še boljši operativni pripravljenosti. Temu so poleg rednih usposabljanj, ki so opisana v poročilu, namenjena tudi izobraževanja v okviru drugih programov in projektov. V letu 2024 so bila temu

posvečena še posebej strokovna usposabljanja ELME v okviru TC projekta IAEA, ki ki ga izvaja IJS in je namenjen prav nadgradnji vsebin, ključnih za ustrezno pripravljenost ekip in za učinkovit odziv na jedrsko nesrečo ali teroristični napad z radioaktivnimi snovmi.

Priloga 1: Operativno vodstvo ELME

Ime in priimek	Naloge (področje)	Organizacija / Org. enota	Naslov stanovanja	Telefon doma/pozivnik	Telefon služba
doc. dr. Miha MIHOVILOVIČ	V o d j a ELME	IJS/F-2	Ulica Molniške čete 11 1000 LJUBLJANA	041 894 749	01 4773 561
mag. Branko VODENIK	O p e r a t i v n i v o d j a radiološko področje	IJS/F-2	Drenov grič 45a 1360 VRHNIKA	01 423 3842 041 758 845	01 477 3539 01 477 3446
doc. dr. Tea ZULIANI	O p e r a t i v n i v o d j a področje kemijskih snovi	IJS/O-2	Kamnik ppod Krimom 68e 1351 PRESERJE	01 477 3542 031 255 916	01 477 3464
izr. prof. dr. Matej LIPOGLAVŠEK	Svetovalec za radiološko področje	IJS/F-2	Tomažičeva 40 1000 LJUBLJANA	01 256 7311 041 622 707	01 477 3493 041 622 707

Klic preko pozivnikov:
Kliči Center za obveščanje R Slovenije na telefonsko številko 01 471 3261 in prosi za aktiviranje dežurne ekipe ELME (oba pozivnika se aktivirata sočasno). Sporočilo na pozivniku naj bo kratko in jedrnato.

Telefonska številka Mobilnega radiološkega laboratorija (avtomobil ELME 01) je: 051 622 702

Sestava radiološke intervencijske ekipe:
ELME je organizirana tako, da lahko v vsakem trenutku aktivira radiološko intervencijsko ekipo. Ekipo sestavljajo vodja in vsaj trije člani. Sestava radiološke intervencijske ekipe je vnaprej določena na podlagi priloge 1 iz sodelavcev v prilogi 3. V primeru obsežnejše intervencije se intervencijsko ekipo razširi s člani preostalih dveh ekip.

Priloga 2: Seznam članov radioloških intervencijskih ekip

Ime in priimek	Zadolžitve	Ekipa	Status v ekipi	Org. enota	Naslov stanovanja	Telefon	
						doma	služba
dr. Toni PETROVIČ #	*1., 2., 3., 4. sklop*	**EKIPA 1**	**vodja ekipe 1**	IJS/F-2	Cesta na Vrhovce 61 1000 LJUBLJANA	041 342 096	01 477 3285
mag. Matjaž STEPIŠNIK	*1., 2. in 3. sklop*		**namestnik vodje**	IJS/SVPIS	Ižanska 42a 1000 LJUBLJANA	01 427 1098 031 378 356	01 588 5254
dr. Tilen BRECELJ #	*3. in 4. sklop*		**skrbnik opreme**	IJS/F-2	Ilovški štradon 23 1000 LJUBLJANA	040 815 671	–
Klara POIŠKRUH, mag. med. fiz. #	*2., 3., 4. in 5. sklop*		**član**	IJS/F-2	Tirnsek 29a 3342 GORNJI GRAD	03 584 7612	031 594 501
Rok ROŠ OPAŠKAR #	*2., 3., 4. in 5. sklop*		**član**	IJS/F-2	Glonarjeva 4 1000 LJUBLJANA	–	041 310 807
Boštjan ČRNIČ, mag. med. fiz. #	*1., 2., 3., 4. sklop*	**EKIPA 2**	**vodja ekipe 2**	IJS/F-2	Ulica bratov Učakar 82 1000 LJUBLJANA	01 507 3301 040 282 495	01 477 3790 031 638 622
doc. dr. Benjamin ZORKO #	*1., 2., 3., 4. sklop*		**namestnik vodje**	IJS/F-2	Šišenska 5 1000 LJUBLJANA	041 832 565	01 477 3416
Petra PREM, prof. biol. #	*2., 3., 4. in 5. sklop*		**skrbnik opreme**	IJS/F-2	Breg 1 1332 STARA CERKEV	041 973 529	01 477 3539 01 477 3320
Thomas BREZNIK, dipl. inž. rad.	*1., 2., 3., 4. sklop*		**član**	IJS/SVPIS	Lunačkova 8 1000 LJUBLJANA	041 354 749	01 588 5396
Tanja MURN, mag. prof. pouč. bio. in kem. #	*1., 2., 3., 4. sklop*		**član**	IJS/SVPIS	Trebča vas 28 8361 DVOR	–	031 291 595
dr. Tinkara BUČAR	*1., 2. in 3. sklop*	**EKIPA 3**	**vodja ekipe 3**	IJS/SVPIS	Adamičeva cesta 19 1290 GROSUPLJE	051 649 299	01 588 5207
Sandi GOBEC #	*2., 3., 4. in 5. sklop*		**namestnik vodje in skrbnik opreme**	IJS/F-2	Pot na Fužine 37 1000 LJUBLJANA	040 333 018	01 477 3476
dr. Helena FAJFAR	*3., 4. in 5. sklop*		**član**	IJS/F-2	Dragarjeva 20, Rodica 1230 DOMŽALE	040 235 423	01 477 3325
Mitja ERŽEN, univ. dipl. fiz.	*2., 3.in 4. sklop*		**član**	IJS/SVPIS	Blegoška ulica 16 4224 GORENJA VAS	031 349 077	01 5885 207
dr. Anže JAZBEC	*2., 3.in 4. sklop*		**član**	RIC	Bognarjeva pot 74 1000 LJUBLJANA	031 360 358	01 5885 228

* V tabeli so navedeni sodelavci IJS, ki imajo ustrezna strokovna znanja in so usposobljeni za sodelovanje v radioloških intervencijskih ekipah ELME. Dodatno so z # označeni tisti sodelavci, ki so se udeležili vaj ROMENEK v letu 2024.

Priloga 3: Seznam članov v stacionarnih laboratorijih

Ime in priimek	Zadolžitve	Org. enota	Telefon Služba
Laboratorij za meritve radioaktivnosti (LMR)			
dr. Marijan NEČEMER	spektrometrist	IJS/F2	01 4773 391, 01 4773 687
Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo (LSC)			
dr. Jasmina KOŽAR-LOGAR	meritve sevalcev beta	IJS/F2	01 4773 970, 01 4773 293
Mitja Centrih dipl. ing. fiz.	meritve sevalcev beta	IJS/F2	01 4773 841
Laboratorij za radiokemijo (Odsek O-2)			
doc. dr. Marko ŠTROK	meritve sevalcev beta in alfa	IJS/O2	01 5885 243
dr. Leja Rovan	meritve sevalcev beta	IJS/O2	01 5885 444
Barbara SVETEK, inž. kem.tehnol.	meritve sevalcev beta	IJS/O2	01 5885 258
dr. Polona VREČA	nosilka programa zagotovitve kakovosti na O-2	IJS/O2	01 5885 304
Laboratorij za dozimetrijo (TLD)*			
Laboratorij za dozimetrične standarde (NDS)*			

* Vsi člani *Laboratorija za dozimetrijo* in Laboratorija za dozimetrične standarde so tudi člani ELME (B. Črnič, mag. med. fiz., S. Gobec in K. Poiškruh, mag. med. fiz. V primeru izrednega dogodka bi določili dežurne v stacionarnih laboratorijih.