

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

Poročilo za leto 2016

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, d. o. o., Mali Vrh pri Šmarju, Slovenija

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

Poročilo za leto 2016



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, d. o. o., Mali Vrh pri Šmarju, Slovenija

NADZOR RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO

Poročilo za leto 2016

Odgovorni za izdajo poročila: dr. Benjamin Zorko

Koordinator za IJS: dr. Benjamin Zorko

Koordinator za NEK: 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 2016, IJS-DP-12291*, ki je na priloženi zgoščenki.

Urednica: mag. Denis Glavič - Cindro

Lektoriral: dr. Jože Gasperič;

poročilo (razen angleškega prevoda izvlečka) je lektorirano po mednarodnem standardu ISO 80000

Stavčni in računalniški prelom: mag. Denis Glavič - Cindro

Likovno in grafično uredila: mag. Denis Glavič - Cindro

Fotografije: mag. Denis Glavič – Cindro, dr. Benjamin Zorko, arhiv NEK

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

Založil: Institut "Jožef Stefan"

Prva izdaja: 31. marec 2017

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

Pogodba št.: 3152312 (Z-8140401) z dne 29. 12. 2015

Št. delovnega poročila: IJS-DP-12290

Redakcija je bila končana marca 2017.

Vse pravice pridržane. Noben del poročila *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016* ter obeh prilog k poročilu: *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezusa za HE Brežice* in *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016*, 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 ©.

Naklada: 56 izvodov



NASLOV:

Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško

IJS-DP-12290

marec 2017

KLJUČNE BESEDE:

poročanje rezultatov 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 zunanjskega sevanja, ocena učinkovitih doz, razredčitveni faktor, referenčna skupina prebivalstva, primerjalne meritve

POVZETEK:

Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v različnih nadzorovanih medijih in ekspozijskih prenosnih poteh so podani z ocenami učinkovitih doz. Konzervativni oceni učinkovite doze posameznika zaradi emisij jedrske elektrarne dajejo v letu 2016 za atmosferske emisije *efektivno dozo* 0,11 μSv na leto na ograji NEK in za tekočinske emisije za referenčno skupino prebivalstva *efektivno dozo* 0,27 μSv na leto. V letu 2016 so bili tako vsi sevalni vplivi NEK-a na prebivalstvo v okolici ocenjeni na manj kot 0,38 μSv na leto, kar je 0,8 % avtorizirane mejne letne doze na ograji NEK (50 μSv ; 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 vplivov (letne učinkovite doze) NEK-a na prebivalstvo ob ograji NEK je približno 0,016 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja.***

TITLE:

Off-site radiological monitoring of the Krško Nuclear Power Plant

IJS-DP-12290

March 2017

KEYWORDS:

reporting measurement results, radioactive contamination of the environment, airborne and liquid radioactive effluents, man-made and natural occurring 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, reference (critical) population group, intercomparison measurements

ABSTRACT:

Summarised results of radioactivity measurements of antropogenic and natural occurring radionuclides are presented by different contamination media and exposure pathways in the form of assessed effective doses. Conservatively estimated effective dose received by members of general public as the result of NPP emissions in the year 2016 gives to a value of the *effective dose* of 0.11 μSv per year for atmospheric discharges at the NPP fence and 0.27 μSv per year for liquid discharges received by members of the reference (critical) population group. Thus, in 2016, the radiation effects of the Krško NPP on the population in the immediate surroundings were estimated at less than 0.38 μSv per year, what presents 0.8 % of the authorized dose limit at the NPP fence (50 μSv ; the sum of the contributions from all exposure pathways). From the measurements the exposure to the natural radiation and to the general radioactive contamination due to the nuclear test explosions and Chernobyl accident were assessed. ***The estimated sum of all radiation contributions (annual effective doses) from the NPP to the member of the public at the fence perimeter is 0.016 % of the characteristic unavoidable natural background radiation.***





IZVAJALCI MERITEV

INSTITUT "JOŽEF STEFAN" (IJS), LJUBLJANA

Koordinator projekta za IJS: dr. Benjamin Zorko

Izvajalci na IJS:

Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (Odsek F2)

D. Brodnik, B. Črnič, dipl. inž. fiz., A. Duszová, P. Gerjol, mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. M. Korun, dr. J. Kožar Logar, dr. R. Krištof, dr. M. Nečemer, P. Osterman, prof. biol., U. Petrač, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko

Odsek za znanosti o okolju (Odsek O2)

B. Svetek, inž. kem. tehnol., dr. M. Štok, Z. Trkov, inž. kem. tehnol.

ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU (ZVD), LJUBLJANA

Koordinator projekta za ZVD: dr. Gregor Omahen

Izvajalci na ZVD:

dr. M. Giacomelli, P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda, M. Levstek, dr. G. Omahen, L. Peršin

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):

dr. D. Barišić, dr. Ž. Grahek, T. Jovanović, dipl. inž., G. Karanović, dipl. inž., T. Kardum, R. Kušić, dr. I. Lovrenčić (do 1. 3. 2016), I. Milanović, dipl. inž., dr. M. Nodilo, dr. Ivana Tucaković

Izvajalci na IRB – Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivnosti – Zavod za eksperimentalnu fiziku:

dr. J. Barešić, mag. D. Borković, dr. N. Horvatinčić, dr. I. Krajcar Bronić, dr. I. Lovrenčić (od 1. 3. 2016)
A. Rajtarić, dr. A. Sironić

Izvajalci na IRB – Služba zaštite od zračenja i Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju :

R. Bernat, dipl. inž., dr. Ž. Knežević, mag. B. Vekić

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

Nosilec projekta za NE Krško: mag. Borut Breznik

Izvajalci v NEK:

M. Simončič, univ. dipl. kem., dr. L. Mikelić, M. Pavlin, dipl. str., M. Urbanč, D. Mešiček, B. Vene, kem. tehnik, A. Volčanšek, univ. dipl. kem.

IZVAJALCI IZRAČUNOV RAZREDČITVENIH IN DEPOZICIJSKIH KOEFICIENTOV PO LAGRANGEVEM MODELU DELCEV, MEIS, d. o. o., MALI VRH PRI ŠMARJU

Izvajalci v MEIS storitve za okolje, d. o. o.:

dr. P. Mlakar, dr. B. Grašič, dr. M. Z. Božnar





VSEBINA

Uvod in upravne podlage	ix / lvi
Izveček	xiii / lvi
Summary	xxxi / lvi
Neodvisni nadzor pooblaščenih izvajalcev	xlvii / lvi

AVTORJI

Poročilo	mag. Denis Glavič - Cindro dr. Benjamin Zorko
Izveček in angleški prevod izvlečka	dr. Benjamin Zorko
Neodvisni nadzor pooblaščenih izvajalcev	mag. Denis Glavič - Cindro

**Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju –
stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezga za HE Brežice**
ISBN 978-961-264-108-5

**Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško –
Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291**

Imisijske meritve (meritve v okolju jedrske elektrarne)	
Tabele merskih rezultatov	M-1 / M-114
Tabele interkomparacijskih rezultatov	
Mednarodne primerjalne meritve izvajalcev	M-89 / M-114

*Poročilo Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško –
Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291 je na priloženi zgoščenki.*





LETNO POROČILO

Po pogodbi št. 3152312 (Z-8140401) z dne 29. 12. 2015 z NE 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 zahtevata *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10)*, Ur. l. RS 20/2007, 2509, 6. 3. 2007, in *Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o monitoringu radioaktivnosti*, Ur. l. RS 97/2009, 12936, 30. 11. 2009 [10]. Uvod je povzetek prispevkov iz monografije *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice*, kjer so ocene doz in drugi parametri obravnavani podrobno. Za potrebe poročila pa v strnjeni obliki podajamo ugotovitve za leto 2016.

Odgovorni za izdajo:

dr. Benjamin Zorko





UVOD IN PRAVNE PODLAGE

Namen ovrednotenja je celovit in neodvisen izračun doz direktnega in indirektnega vpliva 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 (JV10)*, Ur. l. RS 20/2007, 2509, 6. 3. 2007, in *Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o monitoringu radioaktivnosti*, Ur. l. RS 97/2009, 12936, 30. 11. 2009 [10]. Program obsega meritve v okolju jedrske elektrarne (priloga 4, preglednica 3 iz pravilnika JV 10). Podroben program meritev je določen v *Tehnični specifikaciji za izvedbo storitve obratovalnega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) za leta 2016–2017 v Republiki Sloveniji*, NEK, TS št. TO.RZ, 1/2015, in dodatno v *Radiological Effluent Technical Specifications (RETS)*, NEK-RETS, Rev. 7, poglavje 3.12, strani 43–60.

Da bi zajeli vse vplive 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 radioaktivnih snovi v zraku, hrani in vodi. Te snovi z vnosom v telo povzročijo notranje obsevanje. Koncentracije radionuklidov v zraku, hrani in vodi se merijo v odvzetih vzorcih v laboratorijih zunaj dosega sevanja, 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 evalvacijo merskih podatkov in oceno doznih obremenitev so bili kot dopolnilni ali vzporedni podatki uporabljeni tudi:

- mesečna poročila NEK o tekočinskih in zračnih emisijah v letu 2016;
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih faktorjev Agencije Republike Slovenije za okolje za okolico NEK v letu 2016;
- mesečni izračuni zračnih razredčitvenih faktorjev MEIS storitve za okolje, d. o. o., za okolico NEK v letu 2016;
- mesečna poročila o meritvah koncentracije H-3 v podtalnici na dodatnih lokacijah v okolici NEK (vrtine VOP-1/06, V 12/77 in V-7/77), meritve se izvajajo od junija 2016 dalje;
- nekateri merski podatki iz *Programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju Republike Slovenije* in posebnih meritev IJS.

Vpliv 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 ocenjujemo dozne obremenitve prebivalstva v okolici objektov. Po drugi strani pa z neposrednimi meritvami ugotavljamo vnos radioaktivnih snovi v okolje, kar omogoča neposredno oceno izpostavljenosti prebivalstva. Slednje meritve omogočajo tudi oceno izpostavljenosti 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 sprotne spremljanju zunanjega sevanja (MFM-203), 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 varstvo pri delu (ZVD) sta pooblaščenata za izvajanje merilnega nadzora radioaktivnosti na podlagi 123. in 124. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in



jedrski varnosti (Ur. l. RS, št. 102/04 - ZVISJV-UPB2 in Ur. l. RS št. 70/08 - ZVO-1B) ter 11. in 12. člena Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur. l. RS, št. 20/07) s pooblastiloma 35400-9/2014/9 z dne 18. 6. 2014 (IJS) in 35400-7/2014/2 z dne 21. 3. 2014 (ZVD), ki ju je izdala Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSVJ) v soglasju z Upravo RS za varstvo pred sevanji (URSVS).

Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (SV5) (Uradni list RS, št. 115, stran 15 700, 24. 11. 2004) [12] zahteva, da morajo poročilo o ocenah doz za posamezne značilne in referenčne skupine izdelati pooblaščen 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, 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:

- mag. Denis Glavič - Cindro z odločbo 1864-10/2012-3 z dne 15. 6. 2012
- mag. Matjaža Koželja z odločbo 1864-1/2013-3 z dne 26. 2. 2013
- dr. Gregorja Omahna z odločbo 1864-17/2011-3 z dne 10. 8. 2011 in 1864-11/2016-3 z dne 20. 7. 2016
- mag. Matjaža Stepišnika z odločbo 1864-2/2012-3 z dne 8. 5. 2012
- dr. Benamina Zorka z odločbo 1864-10/2013-3 z dne 16. 10. 2013 ter
- dr. Marka Giacomellija z odločbo 1864-5/2014-3 z dne 28. 7. 2014

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je z odločbo Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS) št. 1864-6/2012-7 z dne 22. 5. 2012 na podlagi 30. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS, št. 102/04 – ZVISJV-UPB2, Ur. l. RS št. 70/08 – ZVO-1B in Ur. l. RS št. 60/11 – ZVISJV-C) ter 11. člena Pravilnika o pooblaščenju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajočih sevanj (Ur. l. RS, št. 18/04) 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, sevanja beta in rentgenske svetlobe.

Institut "Jožef Stefan" (IJS), Ljubljana, je s pooblastilom št. 1864-15/2012-3 z dne 26. 10. 2012, ki ga je izdala Uprava RS za varstvo pred sevanji (URSVS) na podlagi 27. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS, št. 102/04 – ZVISJV-UPB2, Ur. l. RS št. 70/08 – ZVO-1B in Ur. l. RS št. 60/11 – ZVISJV-C) ter 6. člena Pravilnika o pooblaščenju izvajalcev strokovnih nalog s področja ionizirajočih sevanj (Ur. l. RS, št. 18/04), pooblaščen kot izvedenec varstva pred sevanji za dajanje strokovnih mnenj, ki temeljijo na meritvah in/ali izračunih in za izvajanje nadzornih meritev na nadzorovanih in opazovanih območjih, pregledov virov sevanja in osebne varovalne opreme.

Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost je z odločbo 3906-1/2007/8 z dne 9. 3. 2007 in 3571-3/2012/6 z dne 13. 3. 2012 in 3571-3/2017/2 z dne 6. 3. 2017 pooblastila Institut "Jožef Stefan" za izvajanje del pooblaščenega izvedenca za sevalno in jedrsko varnost na področju izdelave varnostnih poročil in druge dokumentacije v zvezi s sevalno in jedrsko varnostjo za ocenjevanje vplivov jedrskih in sevalnih objektov na okolje.

Institut "Jožef Stefan" ima izdelan sistem zagotovitve kakovosti. Sistem kakovosti Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2), v okviru katerega delujejo Laboratorij za meritve radioaktivnosti, Laboratorij za termoluminiscenčno 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 je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za meritve sevalcev gama v trdnih in tekočih vzorcih, Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo za meritve doz s termoluminiscenčnimi dozimetri za uporabo v osebni in okoljski dozimetriji ter Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME) za merjenje



hitrosti doze s prenosnimi merilniki ionizirajočega sevanja in za neposredne meritve površinske kontaminacije s sevalci alfa, beta in z nizkoenergijskimi sevalci gama. Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo je akreditiran za določanje tritija v vzorcih vode in urina po direktni metodi in po metodi z elektrolitsko obogatitvijo. Z akreditacijsko listino št. LP-022 jim Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005 pri teh dejavnostih. Odsek za znanosti v okolju, v okviru katerega deluje Laboratorij za radiokemijo, ima ravno tako izdelan sistem kakovosti, ki je skladen z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005. Metodi za določanje vsebnosti stroncija in tritija v vzorcih iz okolja sta od junija 2009 dalje akreditirani pri Slovenski akreditaciji pod zaporedno številko LP-090.

Na Institutu Ruđer Bošković ima Laboratorij za radioekologijo akreditacijo Hrvatske akreditacijske agencije (HAA) v skladu s standardom HRN EN ISO/IEC 17025:2007 pod zaporedno številko 1162/08 za določanje vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama in za določanje vsebnosti Sr-90 po radiokemijski metodi v vzorcih iz okolja in proizvodih, vključno s hrano in pitno vodo, ter za določanje vsebnosti Fe-55 v vodnih vzorcih.

Zavod za varstvo pri delu ima delujoč sistem zagotovitve kakovosti, v katerega so vključene vse dejavnosti, povezane z meritvami v okviru *Programa nadzora radioaktivnosti v okolice NE Krško*. Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov je akreditiran pri Slovenski akreditaciji za izvajanje visokoločljivostne spektrometrije gama v vzorcih aerosolov, padavin, zemlje, sedimentov in živil ter za določanje vsebnosti Sr-89 in Sr-90 v vzorcih iz okolja in živil. Z akreditacijsko listino št. LP-032 mu Slovenska akreditacija priznava izpolnjevanje zahtev standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005 pri teh dejavnostih.





IZVLEČEK

UVOD

Podobno kot v svetu, je prebivalstvo Slovenije izpostavljeno naravnemu ionizirajočemu sevanju in nekaterim antropogenim virom ionizirajočega sevanja, predvsem zaradi uporabe ionizirajočega sevanja v medicini in vpliva preostale černobilske kontaminacije in atmosferskih jedrskih poskusov. Pri prebivalstvu okolice Nuklearne elektrarne Krško (NEK) so dodatno mogoče izpostavitve zaradi atmosferskih in tekočinskih izpustov radioaktivnih snovi iz NEK in zaradi neposrednega sevanja iz objektov znotraj njene ograje. Pri tem mora NEK upoštevati *avtorizirane meje* in druge mejne vrednosti, ki se nanašajo na izpuste, ter druge sevalne vplive na okolje in prebivalstvo. 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 ožje varstvene cone (500 m od osi reaktorja) in dalje ne sme presežati 50 μSv . Ta omejitev je bila po začetku obratovanja dopolnjena še z omejitvijo letne efektivne doze zunanjega sevanja na ograji objekta (200 μSv na leto) ter omejitvijo aktivnosti radionuklidov v tekočih in plinastih efluentih. Izpolnjevanje zahtev dokazuje NEK z *obratovalnim nadzorom radioaktivnosti*, katerega obseg in način izvajanja določata *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (UV2)* (Ur. l. RS, št. 20/2007) in *Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o monitoringu radioaktivnosti* (Ur. l. RS, št. 97/2009) [10]. Obratovalni nadzor radioaktivnosti obsega meritve *emisij* na samem objektu, meritve *imisij* v okolici, meritve zunanjega sevanja v okolju, ovrednotenje merskih rezultatov in oceno doz. Obseg nadzora radioaktivnosti določa priloga 4 omenjenega pravilnika (*Zasnova programa obratovalnega monitoringa radioaktivnosti jedrske elektrarne*). Pravilnik določa tudi zahteve, ki jih morajo izpolnjevati izvajalci nadzora radioaktivnosti, tehnične zahteve za merilno in analizno opremo in načine ter poti izpostavljenosti, ki jih je treba upoštevati pri ocenjevanju doz. Poleg NEK, ki meri emisije, sodelujejo pri izvedbi nadzora radioaktivnosti tudi različni *pooblaščenji izvajalci nadzora*.

To poročilo podaja rezultate nadzora radioaktivnosti, ki so ga NEK kot zavezanec in pooblaščenji izvajalci nadzora radioaktivnosti opravili v letu 2016. Sumarni rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v različnih nadzorovanih medijih in ekspozijskih prenosnih poteh so podani z ocenami efektivnih doz, ki so predstavljene v poglavju "*OCENA VPLIVOV*". V letu 2016 so bili vsi sevalni vplivi NEK-a na prebivalstvo v okolici ocenjeni na manj kot 0,38 μSv na leto, kar je 0,8 % avtorizirane mejne letne doze na ograji NEK. Za atmosferske emisije je bila ocenjena efektivna doza 0,11 μSv na leto na ograji NEK in za tekočinske emisije za referenčno skupino prebivalstva efektivna doza 0,27 μSv na leto. Ocenjena vrednost sevalnih vplivov (letne efektivne doze) NEK-a na prebivalstvo ob ograji NEK je približno 0,016 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja. Izvleček povzema monografijo *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice*, ki je samostojna priloga poročila *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2016*, interna oznaka 7/2017, Ljubljana, marec 2017.

V poročilu niso obravnavane izpostavitve prebivalstva ionizirajočemu sevanju zaradi medicinskih diagnostičnih preiskav, ki so v razvitem svetu in tudi pri nas za naravnim sevanjem drugi najpomembnejši vir izpostavitvev.

ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Vzorčevanje in meritve so v letu 2016 potekale v enakem obsegu in na enak način kot v preteklih letih, kar omogoča primerjavo rezultatov nadzora z rezultati iz preteklih let in določitev mogočih usmeritev. To obravnavamo v poglavjih "*DISKUSIJA*" in "*OCENA VPLIVOV*". Značilnosti vzorčevanja in meritev so:



1) Reka Sava

- a) kontinuirno vzorčevanje na treh lokacijah: (Krško – 3,2 km vzvodno, Brežice – 8,2 km nizvodno in Jesenice na Dolenjskem – 17,5 km nizvodno) za dolgožive radionuklide in enkratni vzorci nefiltrirane vode v Krškem, Brežicah, Jesenicah na Dolenjskem in Podsusedu pri Zagrebu (HR, okrog 30 km nizvodno od NEK) za kratkožive radionuklide;
- b) enkratni četrletni vzorci reke Save v Krškem in Brežicah;
- c) vzorčevanje sedimentov na šestih lokacijah (Krško vzvodno, pod jezom NEK, Pesje, Brežice, Jesenice na Dolenjskem, Podsused - HR nizvodno);
- č) vzorci rib: Krško, Brežice, Jesenice na Dolenjskem, Podsused (HR) in Otok (HR).

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 radiokemično separacijo in štetjem na proporcionalnem števcu.

2) Vodovodi in črpališča

- a) enkratni letni vzorci vode iz vodovoda v Ljubljani (referenčna lokacija);
- b) enkratni četrletni vzorci vode iz vodovodov v Krškem in Brežicah;
- c) mesečni sestavljeni vzorci črpališč v Bregah, Rorah, Brežicah ter vodovodov Spodnji Stari Grad in Brežice;
- č) vzorčevanje podtalnice v neposredni okolici elektrarne (četrletni enkratni vzorci iz vrtine E1 znotraj ograje NEK in mesečni enkratni vzorci iz vrtine VOP-4, Vrbina) in na dveh lokacijah na Hrvaškem (vrtini Medsave in Šibice);
- d) mesečni vzorci vrtin VOP-1/06, V-7/77 in V-12/77 (začetek v juniju 2016); v vodi iz vrtin se meri le koncentracija aktivnosti tritija za oceno dejanskega stanja aktivnosti tritija v okolici novega akumulacijskega jezera HE Brežice pred zalitjem z vodo.

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 radiokemično separacijo in štetjem na proporcionalnem števcu. 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 v Bregah, 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 radiokemično 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) vzorčevanje aerosolov se opravlja s kontinuirnim 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) vzorčevanje joda I-131 se opravlja s posebnimi črpalkami in filtri na istih lokacijah, kot poteka vzorčevanje aerosolov (razen v Dobovi);
- c) vzorčevanje za specifično meritev Sr-90/Sr-89 se opravlja s posebno črpalko le v Dobovi;
- č) meritve emisij se opravijo na glavnem oddušniku NEK, pri čemer se odvzemajo vzorci za meritve joda, tritija (H-3), ogljika (C-14), aerosolov ter opravljajo meritve žlahtnih plinov;
- d) zbiranje vzorcev zračnega ogljika C-14 v CO₂ je kontinuirno potekalo na dveh mestih na ograji NEK, pri čemer je v letu 2016 bilo skupno zbranih dvanajst vzorcev. Kontrolne meritve so potekale v Zagrebu, R 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 s scintilacijskim spektrometrom beta. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama. Merjenje specifične aktivnosti C-14 v atmosferskem CO₂ poteka z uporabo tekočinskoscintilacijskega števca, pri čemer iz CO₂ tvorimo benzen.

5) Zunanja izpostavljenost sevanju

Zunanje sevanje

- a) doza zunanjega sevanja (sevanje gama in ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja) se meri s 57 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) vzporedno potekajo meritve s TL-dozimetri na 50 lokacijah po državi;
- c) v okolici NEK je postavljenih 14 kontinuirnih merilnikov sevanja MFM-203, ki delujejo v sklopu mreže zgodnjega obveščanja; poleg teh je v mrežo zgodnjega obveščanja v Sloveniji vključenih še dodatnih 60 kontinuirnih merilnikov.

Vsi TL-dozimetri v Sloveniji se odčitavajo na sistemu IJS MR 200 (C), dozimetri na Hrvaškem pa na sistemu, ki je v uporabi na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu. Podatke iz kontinuirnih merilnikov zbira in posreduje URSJV.

Zemlja

- a) vzorce zemlje zbiramo na štirih lokacijah nizvodno od NEK na poplavnih območjih (Amerika – 3,5 km od NEK, Gmajnice – 2,5 km od NEK, Gmajnice – 3,6 km od NEK in Kusova Vrbina-Trnje – 8,5 km od NEK); tri lokacije so na neobdelani zemlji, ena na obdelani; vzorčevanje poteka dvakrat letno, in sicer ločeno po globinah do 30 cm na neobdelani zemlji in do 50 cm na obdelani zemlji.

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

6) Hrana

- a) vzorčevanje poteka na naslednjih mestih: sadovnjak ob NEK (sadje), Pesje (mleko, zelenjava), Spodnja in Zgornja Pohanca (sadje), Brege (meso, mleko, zelenjava), Vihre (mleko, zelenjava), Vrbina (jajca, zelenjava, žito), Spodnji Stari Grad (meso, jajca, zelenjava), Žadovinec (zelenjava), Trnje (zelenjava), Krško (zelenjava), Leskovec (meso), Libna (grozdje). V letu 2016 je bilo v okolici NEK skupno vzorčevanih 32 vrst živil. Namesto vina smo v letu 2016 vzorčevali in analizirali dve vrsti grozdja.



- b) pogostost vzorčevanja 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) vzorčevanje rastlinstva, poljščin in sadja za določanje specifične aktivnosti C-14 je potekalo v letu 2016 dvakrat (junij in september) na 17 lokacijah v okolici NEK in v Dobovi; skupaj je bilo analiziranih 36 vzorcev. V Dobovi so bili v juniju vzorčevani in analizirani vzorca koruze in ječmena, v septembru pa vzorca koruze;
- č) specifične aktivnosti sevalcev gama so bile izmerjene z visokoločljivostno spektrometrijo gama, specifične aktivnosti Sr-90/Sr-89 pa z radiokemijsko metodo. Radiokemijska analiza Sr-89/Sr-90 se opravi na istih vzorcih kot visokoločljivostna spektrometrija gama.

REZULTATI MERITEV

Uvod

V letu 2016 smo pri evalvaciji merskih rezultatov z visokoločljivostno spektrometrijo gama, opravljenimi na IJS, upoštevali neposredne merske rezultate, $y \pm u(y)$, iz poročila *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*, enako kot v letu 2015. Tu 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 upoštewane.

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; v prejšnjih poročilih se je vrednost izmerka prištela k razširjeni negotovosti ($k = 2$), rezultat pa smo označili kot manjši (<) od dobljene številčne vrednosti.

Za izračun letne doze uporabljamo aritmetično sredino periodičnih merskih rezultatov [47]. 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 stresanje. Če jo delimo s korenem števila meritev, pa pridemo do aposteriorne negotovosti aritmetičnega povprečja.

Kadar 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; odstavek 6 in 7) [49] v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Te 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 stresanje vrednosti). Takšni zapisi so v tabelah označeni z "x". Tako smo poenotili tudi merske izide vseh sodelujočih organizacij in odsekov: IJS-F2, IJS-O2, NEK, IRB in ZVD.

Pri drugih nedetektiranih radionuklidih zaradi preglednosti njihove spodnje meje aktivnosti v tabele nismo pisali. Pri izračunih mesečnih povprečij se prazna polja upoštevajo kot ničle.

Definicije izrazov so združljive z visokošolskim učbenikom prof. S. Širca [48], le da se namesto aposteriorne negotovosti tam uporablja izraz raztresenost povprečja.

Definicije teh izrazov so v delovnem poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*.

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 od počernobilskega obdobja dalje. To potrjujejo tudi redna mesečna poročila o izpustih iz NEK, kjer Sr-89 ni bil zaznan.

1) Reka Sava

Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v letu 2016 v Brežicah ($4,8 \pm 0,1$) kBq/m³ je višja kot na referenčnem odvzemnem mestu Krško (pred papirnico) ($0,61 \pm 0,02$) kBq/m³. Povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v Brežicah je bilo v letu 2016 primerljivo s prejšnjimi leti ($4,8$ kBq/m³ v letu 2015, $4,4$ kBq/m³ v letu 2013, $5,4$ kBq/m³ v letu 2012, $1,4$ kBq/m³ v letu 2011), a je bilo višje kot v letu 2014 ($0,88$ kBq/m³).

Najvišja mesečna koncentracija aktivnosti tritija v Savi v Brežicah je bila v avgustu ($21,7 \pm 0,9$) kBq/m³, medtem ko je bila v tem obdobju koncentracija aktivnosti na referenčnem odvzemu Krško ($0,8 \pm 0,1$) kBq/m³. Najvišja izmerjena koncentracija aktivnosti v Brežicah v letu 2016 je bila tako 27-krat višja kot na referenčnem odvzemu. Podobna razmerja smo ugotovili v letu 2015 in pred letom 2014. Meritve tritija na lokacijah Brežice in Krško je opravil IJS.

V Jesenicah na Dolenjskem so meritve IRB prav tako pokazale povišane vrednosti z aritmetičnim povprečjem ($3,4 \pm 0,1$) kBq/m³ in z največjo vrednostjo ($11,3 \pm 0,7$) kBq/m³ prav tako v mesecu avgustu, zaradi največjih izpuščenih aktivnosti H-3 v obdobju pred rednim remontom, ki se je začel 1. oktobra 2016. Povišana vsebnost tritija je bila ugotovljena tudi v istem časovnem obdobju pri odvzemu enkratnega vzorca vode v kraju Podsused pri Zagrebu ($23,0 \pm 1,4$) kBq/m³.

Aritmetična sredina mesečnih koncentracij aktivnosti H-3 v letu 2016 je v Brežicah višja kot v Jesenicah na Dolenjskem za faktor 1,9, kar je lahko posledica dodatnega razredčenja vode reke Save zaradi pritokov Krke in Sotle, za katere predpostavljamo, da imata približno enako koncentracijo aktivnosti tritija kot Sava v Krškem oziroma druge reke v Sloveniji (pod 1 kBq/m³).

Koncentracija aktivnosti I-131 v rekah nima sezonskega nihanja, saj je povezana z izpusti, in ker ima I-131 zelo kratko razpolovno dobo (8 dni), ga je smiselno "loviti" z enkratnimi vzorčevanji. Povprečna četrletna koncentracija aktivnosti I-131 v enkratnih vzorcih na vzorčevalnih mestih je bila od ($2,1 \pm 0,2$) Bq/m³ do ($3,2 \pm 0,1$) Bq/m³ in je bila najvišja na odvzemnem mestu v Brežicah. Najvišja posamična vrednost ($5,9 \pm 0,3$) Bq/m³ je bila izmerjena v Brežicah in se ni odmikala od najvišje posamične izmerjene vrednosti ($5,0 \pm 0,3$) Bq/m³ na referenčnem mestu v Krškem. V okviru ločenega nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS [15] so bile meritve na reki Savi v Brežicah podobne, kot jih je v okviru nadzora NEK izmeril ZVD, in so tudi primerljive z dolgoletnim povprečjem $4,8$ Bq/m³ v Brežicah. Jod, razen v reki Savi, v večini rek ni bil zaznan, predvsem pa je zanimivo opažanje, da joda nismo zaznali niti v vzorcih rek Mure, Drave in Savinje, kjer se je v preteklih letih redno pojavljal. Koncentracije joda so bile višje predvsem v reki Savi pri Ljubljani zaradi nekontroliranih izpustov iz Onkološkega inštituta Ljubljana, kjer se izvaja terapija z jodom. Najvišja izmerjena koncentracija aktivnosti je bila ($1,4 \pm 0,03$) Bq/m³ v reki Savi v Lazah pri Ljubljani v juliju 2016.

V tem letu jod ni bil zaznan v talnem sedimentu na nobeni lokaciji.

V vzorcih rib iz referenčnega odvzema (v Krškem nad jezom) in tudi v vzorcih iz nadzornih odvzemnih mest pod jezom NEK (meritve ZVD in IRB) ni bila zaznana prisotnost I-131, kar je enako kot v preteklih letih.

Cs-137 in Sr-90 sta v vzorcih vode, v filtrskih ostankih in sedimentih kot posledica splošne kontaminacije, prisotna pa sta tudi v tekočinskih izpustih iz NEK.

Mesečna povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v suhem ostanku po izparevanju vzorca vode je bila na referenčnem mestu v Krškem $0,15$ Bq/m³, kar je v okviru negotovosti povprečja podobno kot v Brežicah $0,17$ Bq/m³.



Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v vzorcih filtrskega ostanka, 0,11 Bq/m³, v Brežicah je bila v okviru negotovosti povprečja primerljiva kot na referenčnem mestu Krško 0,06 Bq/m³. Podobne zelo nizke povprečne koncentracije aktivnosti v filtrskem ostanku 0,16 Bq/m³ smo izmerili tudi v Jesenicah na Dolenjskem.

Povprečne koncentracije aktivnosti cezija v drugih rekah po Sloveniji so podobne vrednostim, izmerjenim v reki Savi v okolici NEK. Najvišja povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 je bila izmerjena v reki Muri 2,5 Bq/m³ [15]. Primerjava koncentracij aktivnosti z upoštevanjem merskih negotovosti kaže, da je vpliv NEK nemerljiv.

Aritmetična sredina specifične aktivnosti radioaktivnega cezija v talnih sedimentih v letu 2016, ki jih je določil IRB, je bila v Krškem (pod mostom) 6,6 Bq/kg, pod jezom NEK 3,4 Bq/kg, v Pesju 2,8 Bq/kg, v Brežicah 3,1 Bq/kg, v Jesenicah na Dolenjskem 2,1 Bq/kg in v Podsusedu 1,4 Bq/kg z največjo vrednostjo $(2,2 \pm 0,8)$ Bq/kg. Najvišja specifična aktivnost je bila izmerjena na referenčni lokaciji Krško, $(7,6 \pm 1,0)$ Bq/kg. Rezultati meritev sedimentov, ki jih je izvedel ZVD, so primerljivi meritvam IRB.

Spektrometrične analize rib, ulovljenih na lokacijah, od katerih je referenčna v Krškem, druge pa nizvodno pod izpustom NEK, kažejo mesečne povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 od 0,03 Bq/kg do 0,08 Bq/kg (meritve ZVD).

Sr-90 se pojavlja v vodi na referenčnem mestu Krško v podobni letni povprečni koncentraciji aktivnosti $(2,1 \pm 0,1)$ Bq/m³ kot v nadzornem mestu v Brežicah $(2,4 \pm 0,1)$ Bq/m³ in v Jesenicah na Dolenjskem $(2,3 \pm 0,1)$ Bq/m³. V filtrskem ostanku je koncentracija aktivnosti Sr-90 navadno okrog 100-krat nižja kot v vodi in je nižja kot 0,1 Bq/m³. V filtrskem ostanku so koncentracije stroncija podobne kot pri ceziju.

Koncentracije aktivnosti Sr-90 v enkratnih vzorcih vode (nefiltrirani vzorci) so podobne kot v kontinuirnih vzorcih filtrirane vode. Četrletna povprečja so od 2,6 Bq/m³ do 2,7 Bq/m³. Najvišja posamična izmerjena vrednost je bila v Jesenicah na Dolenjskem $(4,1 \pm 0,5)$ Bq/m³.

Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti stroncija v drugih rekah po Sloveniji so podobne, kot jih lahko izmerimo v Savi v okolici NEK. Povprečna koncentracija, izmerjena v Savi na lokaciji Laze pri Ljubljani, je bila $(2,2 \pm 0,1)$ Bq/m³ [15]. Primerjava meritev z upoštevanjem merskih negotovosti kaže, da je vpliv NEK nemerljiv.

Povprečne specifične aktivnosti stroncija v talnih sedimentih, ki jih je izmeril ZVD, so bile 0,3 Bq/kg v Krškem, 1,3 Bq/kg v Brežicah in 1,1 Bq/kg v Jesenicah na Dolenjskem.

Stroncij je bil izmerjen tudi v vseh vzorcih rib. V meritvah ZVD (cele ribe) se gibljejo povprečja po lokacijah od 0,12 Bq/kg do 0,32 Bq/kg, kar je v okviru stresanja podobno kot v preteklih letih. Laboratorij IRB v ribah ni meril stroncija.

C-14 v savski vodi v letu 2016 ni bil merjen, temveč so bili merjeni le efluenti NEK. V letu 2013 je IRB v okviru dodatnih meritev [17] opravil meritve vsebnosti C-14 v reki neposredno med izpustom. Vsebnosti C-14 v enkratnih vzorcih vode so bile merljive v času izpusta tudi 600 m nizvodno od NEK $(280,3 \pm 0,7)$ pMC (delež modernega ogljika) ali 31,6 Bq/m³ (upoštevamo: 100 pMC vode je 11,3 Bq/m³). V Savi vzvodno od NEK je bila izmerjena vsebnost C-14 v vodi 15,1 Bq/m³.

V letu 2016 C-14 v ribah ni bil merjen.

Drugi aktivacijski in fisijski produkti, ki so bili izmerjeni v emisijskih vzorcih izpustne vode, kot npr.: Mn-54, Co-58, Co-60, Ag-110m, Xe-133, v letu 2016 niso bili detektirani na nobeni lokaciji v okolju.

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 nefiltrirani vodi so bile na vseh odvzemnih mestih koncentracije aktivnosti U-238 do 5 Bq/m³. Koncentracije aktivnosti K-40 so nekoliko višje, in sicer okrog 30 Bq/m³. Največja izmerjena posamična koncentracija aktivnosti K-40 je bila v Jesenicah na Dolenjskem (70 ± 9) Bq/m³ pri nižjem pretoku Save v mesecu septembru. Predvsem za K-40 je



značilno izrazito nihanje, ki je povezano predvsem z onesnaženostjo rek, v manjši meri pa tudi z geološko sestavo tal. Najvišja koncentracija aktivnosti K-40 je bila izmerjena v Savinji 220 Bq/m³ [15]. Redno je bil v vodi izmerjen tudi kozmogeni radionuklid Be-7.

V sedimentih so bile na vseh odvzemnih mestih specifične aktivnosti U-238 in Ra-228 okrog 30 Bq/kg. Vsebnosti naravnih radionuklidov so primerljive z vrednostmi v drugih rekah po Sloveniji.

2) Vodovodi in črpališča

Najvišja koncentracija aktivnosti H-3 je bila izmerjena meseca avgusta v Bregah, in sicer je bila koncentracija aktivnosti tritija ($2,1 \pm 0,5$) kBq/m³. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti tritija v vodi iz črpališča Brege je bila v letu 2016 ($1,9 \pm 0,1$) kBq/m³, kar je primerljivo s prejšnjim letom in v okviru standardne deviacije (stresanje podatkov) ustreza povprečju zadnjih 15 let, ki je 1,6 kBq/m³. V vodi na črpališču Rore je bila povprečna koncentracija tritija ($0,67 \pm 0,03$) kBq/m³. V vodovodu v Spodnjem Starem Gradu je bila izmerjena povprečna koncentracija aktivnosti tritija ($0,78 \pm 0,03$) kBq/m³, kar je v okviru standardne deviacije s 15-letnim povprečjem, ki je 1,1 kBq/m³.

V krškem vodovodu (bencinski servis Petrol) je bila izračunana povprečna koncentracija aktivnosti tritija ($0,57 \pm 0,04$) kBq/m³, na bencinskem servisu Petrol v Brežicah pa je bila povprečna koncentracija aktivnosti tritija ($0,19 \pm 0,06$) kBq/m³.

Kot referenčno vrednost lahko vzamemo dolgoletno aritmetično povprečje koncentracije aktivnosti tritija v ljubljanskem vodovodu, 0,78 kBq/m³, ki se meri v okviru republiškega radiološkega nadzora pitne vode. V letu 2016 je bila izmerjena koncentracija aktivnosti H-3 v ljubljanskem vodovodu ($0,52 \pm 0,07$) kBq/m³.

Četrtno povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vrtini E1 je bilo ($1,42 \pm 0,05$) kBq/m³. Mesečno povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vodi iz vrtine VOP-4 je bilo ($2,11 \pm 0,08$) kBq/m³. V vrtini E1 je bila izmerjena najvišja vrednost ($1,7 \pm 0,1$) kBq/m³ v zadnji četrtini leta (vzorec je bil vzorčevan novembra), v vrtini VOP-4 pa v vzorcu, vzorčevanem 1. decembra ($3,8 \pm 0,6$) kBq/m³. Voda iz vrtin se ne uporablja niti kot pitna voda niti kot tehnološka voda.

Mesečno povprečje koncentracije aktivnosti stroncija Sr-90 v krških črpališčih in vodovodu je bilo 0,46 Bq/m³, v brežiškem vodovodnem sistemu pa pod 0,1 Bq/m³. Koncentracija aktivnosti Sr-90 v pitni vodi je bila najvišja v Spodnjem Starem Gradu, in sicer ($1,0 \pm 0,1$) Bq/m³ v mesecu marcu. Pretežno je bila koncentracija aktivnosti Sr-90 v vodi iz črpališč (Brežice) pod mejo detekcije. Izmerjena koncentracija aktivnosti Sr-90 v ljubljanskem vodovodu v 2016 je bila ($0,7 \pm 0,1$) Bq/m³, medtem ko je od leta 2002 do 2015 variirala od 0,4 Bq/m³ do 1,5 Bq/m³.

V enkratno odvzetih četrtnih vzorcih je bila povprečna koncentracija aktivnosti Sr-90 detekcije v vodi, odvzeti na obeh bencinskih servisih v Krškem in Brežicah, 0,3 Bq/m³ oziroma 0,1 Bq/m³. Nekoliko višja vrednost četrtnega povprečja Sr-90 v primerjavi z vrednostmi v krških in brežiških črpališčih je bila izmerjena v vrtini E1 (znotraj ograje NEK) 3,8 Bq/m³ ter vrtinah Medsave in Šibice na Hrvaškem, 2,1 Bq/m³ in 3,2 Bq/m³. Nobena od teh vrednosti se bistveno ne odmika od podatkov iz prejšnjih let, kar kaže na to, da niso povezane z izpusti iz NEK, temveč gre za splošno kontaminacijo.

V mesečnih ali četrtnih vzorcih I-131 na vseh vzorčevalnih mestih v Krškem in Brežicah ter tudi na Hrvaškem nista bila zaznana v pitni vodi ali pa sta bila pod mejo kvantifikacije.

V dveh vzorcih je bil zaznan tudi Cs-137 (črpališče Rore, vodovod Spodnji Stari Grad), v drugih pa je bila vrednost pod mejo kvantifikacije, kar pomeni, da so izmerjene vrednosti nizke in imajo zelo veliko mersko negotovost ali pa Cs-137 sploh ni bil detektiran.

Koncentracije aktivnosti naravnega radionuklida K-40 so bile izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih. Koncentracija aktivnosti K-40 je povečana v vodi na črpališču Brege, kar nakazuje na zunanje vplive (gnojenje, večji vodostaj Save). V Bregah je bila povprečna mesečna koncentracija aktivnosti 69 Bq/m³, na drugih črpališčih in vodovodih pa je bila med 22 Bq/m³ in 27 Bq/m³. Vrednosti sledijo dolgoletnim usmeritvam.



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 vodi v vodovodu Spodnji Stari Grad, in sicer $(3,2 \pm 1,0)$ Bq/m³. Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti Ra-226 se gibljejo od 0,6 Bq/m³ (vodovod Brežice) do 2,8 Bq/m³ (črpališče Rore). Povprečna koncentracija aktivnosti Pb-210 je bila od 1,6 Bq/m³ v vodi, načrpani na vodovodu Spodnji Stari Grad, do 4,9 Bq/m³ v vodi iz črpališča Brežice. V Ljubljani je bila koncentracija aktivnosti Pb-210 pod mejo detekcije 2,1 Bq/m³. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti Ra-228 je bila od 0,5 Bq/m³ v vodovodu Brežice do 1,1 Bq/m³ v črpališču Brege. Povprečne mesečne koncentracije Th-228 se gibljejo med 0,4 Bq/m³ v vodovodu Brežice do 0,9 Bq/m³ v črpališču Rore. Be-7 je bil detektiran v vseh črpališčih in vodovodih v Krškem in Brežicah. Povprečna mesečna koncentracija Be-7 je bila od 1,2 Bq/m³ v vodovodu Spodnji Stari Grad, do 5,8 Bq/m³ v črpališču Brežice.

3) Padavinski in suhi usedi

V letu 2016 je bilo nekoliko več padavin kot v letu 2015. Največ dežja je padlo v Bregah, najmanj v Dobovi. V primerjavi s kraji v okolici NEK je v Ljubljani padlo (1 317 mm), približno 19 % več od povprečja v okolici NEK. V decembru skoraj ni bilo padavin. Iz dnevnikih meritev količin padavin sklepamo, da je znaten delež zbrane vode v zbiralnikih pravzaprav kondenz megle, ki je bila decembra na vseh lokacijah pogosta.

Koncentracija aktivnosti tritija v padavinah močno variira, in le koncentracije aktivnosti nad 2 kBq/m³ bi lahko pripisali izpustom iz NEK [42]. V letu 2016 je bila koncentracija aktivnosti tritija v padavinah višja od 2 kBq/m³ v Bregah 3-krat, v Krškem (Stara vas) pa 2-krat, kar je manj kot v letu 2015. V Ljubljani so se izmerjene vrednosti gibale med najnižjo izmerjeno vrednostjo $(0,57 \pm 0,05)$ kBq/m³ in $(1,9 \pm 0,2)$ kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo $(0,97 \pm 0,04)$ kBq/m³, v Bregah med $(1,3 \pm 0,1)$ kBq/m³ in $(6,6 \pm 0,3)$ kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo $(2,1 \pm 0,04)$ kBq/m³, v Krškem med $(1,1 \pm 0,09)$ kBq/m³ in $(3,4 \pm 0,2)$ kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo $(1,6 \pm 0,03)$ kBq/m³ in Dobovi med $(0,6 \pm 0,07)$ kBq/m³ in $(1,6 \pm 0,1)$ kBq/m³ s povprečno mesečno koncentracijo $(1,1 \pm 0,03)$ kBq/m³. Decembrskih koncentracij aktivnosti H-3 nismo upoštevali, saj izmerjene vrednosti ne odsevajo realnega stanja in zato te vrednosti niso primerljive z izmerjenimi koncentracijami aktivnosti v drugih mesecih. Zbranega vzorca je bila izjemno malo, kar močno vpliva na interpretacijo merjenega rezultata. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti za leto 2016 je bila na vseh lokacijah v okviru stresanja podatkov primerljiva s prejšnjimi leti; najnižja v Ljubljani, najvišja pa v Bregah, kar je časovna usmeritev od leta 2005 naprej.

Najvišji mesečni padavinski usedi H-3 so bili izmerjeni v Bregah, do 810 Bq/m² v mesecu oktobru. Vrednosti in časovna poteka za Ljubljano in Dobovo sta primerljiva, vrhovi se skladajo z meseci, ko je bilo padavin več. Nekoliko drugačen je potek za Krško in Brege, kjer se izraziti vrh oktobra sklada z mesecem, ko so bili izpusti tritija najvišji (oktober), medtem ko se februarski in junijski vrh skladata z mesecema, ko je bilo več padavin.

Sr-90 v letu 2016 nismo posebej obravnavali, saj so praktično vse izmerjene vrednosti pod mejo detekcije in tako ne moremo oceniti vpliva NEK na okolje zaradi izpustov Sr-90.

Najvišja koncentracija aktivnosti Cs-137 v padavinah za kraje v okolici NEK je bila ugotovljena za avgustovski vzorec v Dobovi $(1,5 \pm 0,3)$ Bq/m³, medtem ko je bila v Ljubljani najvišja koncentracija aktivnosti Cs-137 v padavinah v januarju $(1,2 \pm 0,2)$ Bq/m³. Veliko merskih rezultatov ima veliko negotovost, kar pomeni, da so vrednosti pod mejo kvantifikacije, prav tako je tudi veliko mesecev, ko Cs-137 v padavinah nismo zaznali. Ni opaziti korelacije s količino padavin v krajih v okolici NEK oziroma Ljubljani.

Najvišje vrednosti padavinskega useda za Cs-137 so bile izmerjene v Ljubljani 0,09 Bq/m² januarja in 0,08 Bq/m² avgusta, v Bregah 0,04 Bq/m² januarja in v Dobovi 0,1 Bq/m² avgusta, pri zmerni količini padavin (resuspenzija prašnih delcev s tal), v Krškem pa je bil used nezaznaven. V



primerjavi z letom 2015 sta se tako povprečna koncentracija aktivnosti za leto 2016 kot letni padavinski used v Bregah znižala, prav tako tudi v Krškem in Ljubljani, v Dobovi pa ostala na enaki ravni. Used je enak vrednostim iz predčernobilskega obdobja med letoma 1982 in 1985.

4) Zrak

Od umetnih radionuklidov sta bila v letu 2016 v aerosolih zaznana le Cs-137 in Sr-90, ki sta v okolju posledica splošne kontaminacije, medtem ko je prispevek NEK nemerljiv glede na modelne ocene [4]. Izmerjene povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 na posameznih merilnih mestih v okolici NEK so bile na ravni večletnega povprečja $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Povprečje po vseh lokacijah v okolici NEK za leto 2016 je dvakrat nižje kot drugod po Sloveniji v letu 2016 in se ne odmika od večletnega povprečja po vseh lokacijah v okolici NEK. Večletno povprečje v Bregah je višje od drugih lokacij v okolici NEK, vendar še vedno primerljivo z vrednostmi v Ljubljani in drugod po Sloveniji.

Meritve stroncija Sr-90 v okolju se izvajajo le v Dobovi, in še to na trimesečnih sestavljenih vzorcih. Povprečna koncentracija aktivnosti v letu je bila $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, vendar so bile vse meritve pod mejo detekcije. Večletno povprečje koncentracije aktivnosti za Sr-90 je $0,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Radionuklid Sr-89 v letu 2016 ni bil detektiran v zračnih izpustih NEK.

Radionuklid I-131 v letu 2016 ni bil detektiran na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK, kjer so postavljene kombinirane črpalke, in v Ljubljani.

Meritve naravnih radionuklidov v aerosolih v vzorcih iz okolice NEK kažejo prisotnost radionuklidov, ki jih izmerimo v okviru nadzornih meritev tudi na drugih mestih v Sloveniji. Pri tem velja, da se vrednosti Be-7 in Pb-210 dobro ujemajo na vseh merilnih mestih v okolici NEK in Ljubljani, ki je kontrolna lokacija, ter delno tudi z drugimi lokacijami po Sloveniji. Pri drugih naravnih radionuklidih (izotopi uranove in torijeve razpadne verige ter K-40) so razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK nekaj večje, a še vedno v okviru merilnih negotovosti in pričakovanih odmikov, kar je posledica večje resuspenzije na obdelovanih kmetijskih površinah.

5) Zunanja izpostavljenost sevanju

Zunanje sevanje

Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ v okolici NEK, ki je bil izmerjen s TL-dozimetri, se giblje med $0,63 \text{ mSv}$ in $1,06 \text{ mSv}$, pri čemer je bila povprečna vrednost $(0,81 \pm 0,1) \text{ mSv}$ na leto. Na ograji NEK so bile izmerjene vrednosti med $0,51 \text{ mSv}$ in $0,64 \text{ mSv}$ na leto in povprečna vrednost $(0,58 \pm 0,04) \text{ mSv}$ na leto. Meritve s TL-dozimetri po Sloveniji so dale povprečno vrednost okoljskega doznega ekvivalenta $(0,90 \pm 0,15) \text{ mSv}$ na leto. Dozimetri na Hrvaškem so v okviru negotovosti posameznih meritev in povprečja dali enako povprečno vrednost kot dozimetri v okolici NEK $(0,75 \pm 0,13) \text{ mSv}$.

Meritve $H^*(10)$ s 14 kontinuirnimi merilniki MFM-203 v okolici NEK je v letu 2016 dala povprečno vrednost $(0,82 \pm 0,13) \text{ mSv}$ na leto (v razponu od $0,63 \text{ mSv}$ do $1,03 \text{ mSv}$), kar je 1 % nad vrednostjo, dobljeno s TL-dozimetri, kar je v okviru stresanja merskih vrednosti isto.

Povprečni letni dozni ekvivalent pri 60 kontinuirnih merilnikih v Sloveniji, ki so pod nadzorom URSJV (mreže ARSO, MZO in URSJV), je bil v letu 2016 $(0,88 \pm 0,15) \text{ mSv}$ v razponu od $0,58 \text{ mSv}$ do $1,30 \text{ mSv}$. Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent, izmerjen s 60 MFM, je za 2 % nižji od tistega, ki ga kažejo meritve s TLD na območju Slovenije (v okviru stresanja merskih vrednosti je to isto).



Zemlja

Specifične aktivnosti Cs-137 v zemlji so od 1,5 Bq/kg v globini 5–10 cm v Kusovi Vrbini do 85 Bq/kg v globini 5–10 cm v neobdelani zemlji v Gmajnicah. Skladno s pričakovanji je na poplavnem območju Kusove Vrbine specifična aktivnost Cs-137 najmanjša. Specifične aktivnosti Cs-137 v Gmajnicah in Ameriki v globini nad 10 cm so v okviru stresanja podatkov enake, medtem ko so specifične aktivnosti Cs-137 v globinah do 10 cm v Gmajnicah dvakrat višje kot v Ameriki.

Specifične aktivnosti Sr-90 v letu 2016 so v razponu od 0,07 Bq/kg v Kusovi Vrbini v globini 0–5 cm do 1,3 Bq/kg v globini 15–30 cm v Gmajnicah. Specifične aktivnosti Sr-90 v globinah 5–10 cm, 10–15 cm in 15–30 cm v Gmajnicah in Ameriki so v okviru stresanja podatkov enake.

V okviru nadzora radioaktivnosti v okolju v Republiki Sloveniji se meri used do globine 15 cm v Ljubljani, Kobaridu in Murski Soboti. V letu 2016 so bili na teh lokacijah izmerjeni povprečni četrtletni usedi Cs-137 ($8,4 \pm 0,1$) kBq/m², ($6,9 \pm 0,1$) kBq/m² in ($2,32 \pm 0,03$) kBq/m². Te vrednosti so primerljive z vrednostmi, ki so bile izmerjene do globine 15 cm v Gmajnicah, Kusovi Vrbini in Ameriki, kjer so bili izmerjeni usedi ($6,3 \pm 0,1$) kBq/m², ($0,38 \pm 0,01$) kBq/m² in ($3,9 \pm 0,1$) kBq/m². To kaže, da izmerjeni used Cs-137 v okolici NEK ni posledica izpustov NEK.

Prav tako so usedi Sr-90 na lokacijah v okolici NEK v okviru stresanja izmerkov primerljivi z usedi na lokacijah iz nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji. Usedi na lokacijah iz nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji so ($0,21 \pm 0,01$) kBq/m², ($0,13 \pm 0,01$) kBq/m² in ($0,08 \pm 0,03$) kBq/m², na lokacijah v okolici NEK pa ($0,098 \pm 0,004$) kBq/m², ($0,020 \pm 0,007$) kBq/m² in ($0,104 \pm 0,004$) kBq/m².

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 bolj izpira. Rezultati meritev kažejo, da so koncentracije potomcev uranove in radijeve razpadne vrste ter K-40 na lokacijah, ki so izpostavljene rednim poplavam, nižje. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov v zemlji (K-40, U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228) se ujemajo s povprečnimi specifičnimi aktivnostmi, ki jih za države južne Evrope navaja UNSCEAR [55].

6) Hrana

Cs-137 in Sr-90 sta bila edina umetna radionuklida, ki sta bila izmerjena v vzorcih hrane v letu 2016. Radionuklid Cs-137 je bil v letu 2016 tako v okolici NEK kot drugod po Sloveniji detektiran v vseh skupinah vzorčevanih živil, ne pa tudi v vseh vzorcih (grozdje – vzorčevano le v okolici NEK). Specifična aktivnost Cs-137 v živilih v okolici NEK je bila od 0 Bq/kg do 0,2 Bq/kg in je primerljiva s specifično aktivnostjo Cs-137 v živilih, vzorčevanih drugod po Sloveniji, in je bila od 0,06 Bq/kg do 0,2 Bq/kg, če ne upoštevamo divjačine. V divjačini (srna) iz Dolenjske (struge) je bila specifična aktivnost Cs-137 ($3,7 \pm 0,1$) Bq/kg.

V okolici NEK je največ Cs-137 v mesu, drugod po Sloveniji pa v mesu, žitu in sadju. V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja povprečna specifična aktivnost Cs-137 izmerjena v svinjskem mesu ($0,20 \pm 0,02$) Bq/kg, medtem ko je bila specifična aktivnost Cs-137 v jabolkih in hruškah, vzorčevanih v sadovnjaku v neposredni bližini NEK $< 0,001$ Bq/kg. V hrani, vzorčevani drugod po Sloveniji, je bila največja specifična aktivnost Cs-137 izmerjena v jagodah v Zdolah, ($0,2 \pm 0,007$) Bq/kg, če izvzamemo divjačino.

Radionuklid Sr-90 je bil v okolici NEK v letu 2016 detektiran v vseh skupinah živil. Specifična aktivnost Sr-90 v živilih v okolici NEK je bila od 0 Bq/kg do 0,7 Bq/kg, specifična aktivnost Sr-90 v živilih, vzorčevanih drugod po Sloveniji, pa od 0,008 Bq/kg do 0,57 Bq/kg.

V okolici NEK so bile najvišje vrednosti detektirane v pšenici ($0,68 \pm 0,08$) Bq/kg, drugod po Sloveniji pa v fižolu ($0,57 \pm 0,08$) Bq/kg. Fižol, ki je bil kupljen v Sloveniji, je bil uvožen iz Kitajske.



Med naravnimi radionuklidi v hrani, kamor ti pridejo po različnih prenosnih poteh iz zemlje, umetnih gnojil in zraka, je najbolj zastopan K-40, prisotni pa so tudi radionuklidi iz razpadnih vrst U-238 in Th-232. Specifična aktivnost K-40 je bila v letu 2016 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju, od 30 Bq/kg do 440 Bq/kg, v hrani, vzorčevani drugod po Sloveniji, pa so se specifične aktivnosti K-40 gibale od 31 Bq/kg do 472 Bq/kg. V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost K-40 izmerjena v fižolu (440 ± 30) Bq/kg, v hrani, vzorčevani po Sloveniji, pa ravno tako v fižolu (470 ± 30) Bq/kg.

V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Pb-210 izmerjena v bezgu (plodovke) ($3,0 \pm 2,0$) Bq/kg, v živilih, vzorčevanih po Sloveniji, pa v ječmenu ($0,74 \pm 0,30$) Bq/kg.

Specifična aktivnost U-238 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 1,2 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0 Bq/kg do 0,2 Bq/kg. Specifična aktivnost Ra-226 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 0,6 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0,02 Bq/kg do 1,4 Bq/kg. Specifična aktivnost Ra-228 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 0,3 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0,02 Bq/kg do 0,4 Bq/kg. Specifična aktivnost Th-228 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 0,2 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0 Bq/kg do 0,4 Bq/kg.

Med naravne radionuklide v hrani spada tudi C-14, hkrati pa je C-14 merljiv tudi v izpustih NEK. C-14 se v hrano rastlinskega izvora asimilira predvsem kot CO₂ v procesu fotosinteze. Specifična aktivnost C-14 je bila v okolici NEK v letu 2016 izmerjena v jabolkih, ječmenu, koruzi, pšenici in repici, in sicer v juniju in septembru. Povprečne vsebnosti C-14 v živilih, vzorčevanih v okolici NEK (na razdalji do 1 km od osi reaktorja), so bile septembra (pred začetkom remonta) največje na ograji NEK (254 ± 6) Bq na kilogram ogljika, sledi zunanji krog (238 ± 6) Bq na kilogram ogljika, na kontrolni točki v Dobovi pa so živila vsebovala (230 ± 4) Bq na kilogram ogljika. V juniju so bile povprečne vsebnosti C-14 v živilih ob ograji NEK, zunanjem krogu in Dobovi, v okviru negotovosti povprečja, enake 235 Bq na kilogram ogljika.

DISKUSIJA

Umetni radionuklidi (H-3, Cs-137, Sr-90)

Tritij je edini radionuklid, ki ga je mogoče sistematično spremljati v okolju in je nedvomno posledica izpustov NEK. V letu 2016 je bila skupna količina tekočinskih izpustov H-3 iz NEK (19,9 TBq), kar je 1,2-krat več kot v letu 2015 (16,3 TBq) in višje od dolgoletnega povprečja od 1999 do 2016, 12,5 TBq. Letni izpust H-3 v Savo je bil 44 % letne omejitve izpusta (45 TBq). Največji tekočinski izpust H-3 je bil v mesecu avgustu (5,9 TBq) in septembru (3,7 TBq), tako da je bilo v teh dveh mesecih izpuščene ½ letne aktivnosti H-3 v tekočinskem izpustu.

Zaradi mesečnih izpustov NEK je bila opazna izrazita korelacija s povišanimi koncentracijami tritija v Savi. V času največjih izpustov v mesecu avgustu in septembru sta bili opazno povišani koncentraciji aktivnosti H-3 v reki Savi v Brežicah (mesec avgust: 21,7 kBq/m³) in Jesenicah na Dolenjskem (mesec avgust: 11,3 kBq/m³). Nižje izmerjene koncentracije v Jesenicah na Dolenjskem so navadne in so posledica redčenja zaradi dotokov Krke in Sotle.

Iz razlike med povprečnima mesečnima koncentracijama aktivnosti tritija v Brežicah in v Krškem smo dobili izmerjen prirastek koncentracije aktivnosti v Brežicah ($4,2 \pm 0,1$) kBq/m³, kar je primerljivo s prejšnjimi leti. Izračunan prirastek koncentracije aktivnosti tritija na mestu popolnega mešanja je bil 3 kBq/m³. Tako je bilo v letu 2016 razredčitveno razmerje *DR* v Brežicah ocenjeno na 1,4. Dolgoletno povprečno razredčitveno razmerje *DR* (od 2002 do 2016) na vzorčevalni lokaciji ob levem bregu Save v Brežicah je ($1,5 \pm 0,5$).



Značilna koncentracija aktivnosti tritija v okolju po Sloveniji je pod 1 kBq/m^3 . Podobne koncentracije tritija je zaznati tudi v pitni vodi iz krškega in brežiškega vodnooskrbnega sistema. Najvišja koncentracija aktivnosti je bila izmerjena avgusta v Bregah ($2,1 \pm 0,5$) kBq/m^3 , vendar se povprečna mesečna koncentracija aktivnosti H-3 na vseh črpališčih in v vodovodih ne odmika od dolgoletnega povprečja. Prispevek H-3 k celoletni efektivni dozi zaradi pitja vode je zanemarljivo majhen.

Medtem ko povprečne mesečne koncentracije aktivnosti tritija v četrletnih vzorcih iz vodovodov v Krškem in Brežicah ter enkratnega vzorca v Ljubljani sledijo že omenjenim usmeritvam, pa povprečna mesečna koncentracija aktivnosti tritija v vrtinah lahko niha sorazmerno z izpuščeno aktivnostjo v tekočih izpustih. Mesečno povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vrtini VOP-4 je bilo letos $2,1 \text{ kBq/m}^3$. Najvišja izmerjena koncentracija ($3,8 \pm 0,6$) kBq/m^3 je bila v decembru, tj. mesecu po končanem remontu, oziroma štiri mesece po najvišjih izpustih H-3 v Savo. Takšen zamik lahko pripišemo oteženemu transportu vode skozi zemljinu, saj so bili bregovi reke Save dodatno nasuti zaradi gradnje akumulacijskega zajetja za HE Brežice. Porast tritija ($5,7 \pm 0,4$) kBq/m^3 v vodovodu Medsave v Republiki Hrvaški je bil opazen le z enomesečnim zamikom.

Kratkoživi radioaktivni jod I-131 je občasno v tekočinskih efluentih NEK. V tem letu so bili izpusti I-131 $0,02 \text{ MBq}$. Zaradi majhnih izpustov iz NEK in rezultatov meritev v okolju lahko ugotovimo, da so posledice izpustov I-131 iz NEK v okolje nemerljive. Povišane koncentracije aktivnosti joda je bilo mogoče izmeriti takoj po černobilski nesreči. V nekaterih rekah v Sloveniji ga je mogoče najti zaradi aplikacije tega izotopa v medicini. V vodi iz črpališč, vodovodnega sistema in vrtin I-131 ni bilo zaznati.

Radioaktivni cezij Cs-137 je povsod v okolju in je posledica splošne in regionalne kontaminacije (jedrski poskusi in nesreča v Černobilu). Cezij izmerimo tudi v tekočinskih efluentih NEK. Letni izpust Cs-137 je bil $1,7 \text{ MBq}$, kar je podobno kot v letu 2015 ($1,1 \text{ MBq}$), več kot v letu 2014 ($0,4 \text{ MBq}$) in manj kot leta 2013 ($2,4 \text{ MBq}$). Cezij se slabo veže na grobo suspendirano snov (le nekaj odstotkov). 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 bi zaznali v filtrskem ostanku (v grobi suspendirani snovi). Če upoštevamo letne izpuste, povprečni pretok Save in privzamemo razredčitveno razmerje na levem bregu v Brežicah, lahko ocenimo prirastek koncentracije aktivnosti Cs-137 v Brežicah na $4E-04 \text{ Bq/m}^3$. Ocenjena koncentracija aktivnosti cezija je pod mejo kvantifikacije in ga za to ni mogoče ločiti od splošne kontaminacije. Cezij se je v večini vzorcev vode pojavljal v zelo nizkih koncentracijah aktivnosti, blizu meje kvantifikacije, kar onemogoča ovrednotenje dolgoročnih teženj. Iz merskih rezultatov vzorcev vode, kjer je bil Cs-137 detektiran, lahko povzamemo le, da je povprečna mesečna koncentracija aktivnosti v okviru merske negotovosti na vseh odvzemnih mestih primerljiva in da je vpliv NEK na okolico in ljudi nemerljiv.

Specifične aktivnosti cezija v sedimentih kažejo najvišje vrednosti v Krškem. Specifična aktivnost cezija v sedimentu se v glavnem na vseh lokacijah z leti sistematično zmanjšuje. To je povezano z razpadom cezija, ki izvira iz splošne kontaminacije, ter istočasno z izpiranjem talnega sedimenta. Zadnjih pet let je sicer opazno rahlo naraščanje koncentracije aktivnosti cezija na lokacijah Krško pred papirnico in pod jezom NEK. Ker narašča koncentracija aktivnosti tudi na referenčni lokaciji v Krškem, lahko sklenemo, da gre za naravne procese, ki niso povezani z izpusti NEK. Zaradi razmeroma velikih vzorčevalnih in merskih negotovosti lahko ugotovimo, da vpliva NEK v sedimentu ni mogoče ovrednotiti.

Specifična aktivnost cezija v ribah je v okviru stresanja na vseh odvzemnih mestih podobna, $< 0,1 \text{ Bq/kg}$. Glede na koncentracije aktivnosti cezija v vzorcih nefiltrirane vode (okrog $0,1 \text{ Bq/m}^3$) bi pričakovali, da je specifična aktivnost cezija v ribah okrog $0,2 \text{ Bq/kg}$. Podobno kot pri sedimentu ugotovimo, da je specifična aktivnost cezija v ribah kot posledica vpliva NEK nemerljiva.

Stroncij (Sr-90) je redno v tekočinskih izpustih NEK ($0,07 \text{ MBq}$ v letu 2016, $0,08 \text{ MBq}$ v letu 2015), vendar so aktivnosti izpustov nekajkrat nižje od aktivnosti izpustov cezija. Kot je razvidno iz meritev, je večina stroncija v sami vodi (vodni sušini). Koncentracije aktivnosti Sr-90 so v okviru stresanja podobne rezultatom iz zadnjih nekaj let. Opazna je težnja padanja, ki je povezana z razpolovno dobo stroncija ($28,8$ let).

Ugotavljamo tudi, da je specifična aktivnost stroncija v ribah (vodni bioti), ki bi lahko bila posledica vpliva NEK, prav tako nemerljiva, saj v okviru stresanja ni razlik med posameznimi lokacijami. Glede na



koncentracije aktivnosti stroncija v vzorcih nefiltrirane vode (okrog 3 Bq/m³) bi pričakovali, da je specifična aktivnost stroncija v ribah okrog 0,2 Bq/kg. Izmerjene povprečne specifične aktivnosti od 0,1 Bq/kg do 0,3 Bq/kg v letu 2016 se dobro ujemajo z oceno.

Drugi fizijski in aktivacijski produkti (Co-58, Co-60, Ag-110m, Cs-134 itd.) se navadno redno pojavljajo v tekočinskih izpustih NEK. V zadnjih nekaj letih ni bil noben drugi fizijski izotop ali aktivacijski produkt zaznan v okolju. Nazadnje je bil Co-60 detektiran v okolju v letih 2003 in 2006.

Tritij (T) se v zračnih izpustih pojavlja v obliki molekul HTO, HT in CHT. V letu 2016 je bil remont v NEK jeseni. Zračni izpusti tritija so bili v letu 2016 primerljivi z leti od 2009 naprej. Najvišji izpusti tritija so bili v letu 2012.

Precejšnja sezonska variabilnost tritija zaradi njegovega nastajanja v zgornjih plasteh atmosfere se izraža tudi v vrednostih za tritij v padavinah. Težnja padanja koncentracij aktivnosti H-3 se nadaljuje, kar se lepo vidi predvsem na referenčni lokaciji v Ljubljani in Dobovi. Zmanjševanje koncentracij aktivnosti tritija v ozračju je posledica razpada antropogenega tritija iz obdobja nadzemnih jedrskih poskusov in njegovega odlaganja v oceane in površinske vode. Vrednosti in usmeritev so primerljive z rezultati za Dunaj in druga bližnja mesta [50]. Vrednosti za Brege so višje od krških, te pa so še vedno znatno višje od ljubljanskih, kar kaže na nezgrešljiv vpliv NEK na koncentracije aktivnosti tritija v neposredni bližini elektrarne.

Medtem ko je tritij praktično edini radionuklid, ki ga v naravi v okolici NEK lahko deloma pripišemo izpustom jedrske elektrarne, obenem pa na splošni ravni (še) nimamo (ponovnih) stabilnih naravnih vrednosti, je stanje pri drugih umetnih radionuklidih v padavinah in usedih nekoliko drugačno. V splošnem lahko rečemo, da je stanje v Ljubljani in v okolici NEK precej podobno, razmerja med radionuklidi so praktično enaka, kar pomeni, da izmerjenih radionuklidov v splošnem ne moremo pripisati jedrski elektrarni.

Izračunano večletno aritmetično povprečje koncentracije aktivnosti Cs-137 v aerosolnih filtrih v letu 2016 za vse lokacije v okolici NEK je 1,0 μBq/m³, kar je nižje od dolgoletnega povprečja 1,3 μBq/m³. Modelni izračun pokaže, da so iz zračnih izpustov iz NEK izračunane povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v aerosolnih filtrih tudi v primeru najvišje izračunane mesečne koncentracije aktivnosti dva velikostna razreda nižje od izmerjenih vrednosti v okolici NEK.

Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90, ki izvirata iz splošne kontaminacije, so v hrani posledica prisotnosti omenjenih radionuklidov v zemlji in delno useda na vegetacijo med rastjo. Specifične aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v hrani z leti nihajo, vendar je opazna težnja zniževanja vrednosti. Tako se je specifična aktivnost Cs-137 v mleku od černobilske nesreče do danes znižala približno 200-krat, specifična aktivnost Sr-90 pa se je v enakem obdobju v mleku znižala za faktor 10. 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, medtem ko nesreča v Fukušimi marca 2011 ni vplivala na povišanje specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v hrani v Sloveniji. Na kultiviranih površinah privzem Cs-137 ter Sr-90 v rastline preko 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 [69].

Poleg tega se specifični aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v okolju z leti manjšata tudi zaradi radioaktivnega razpada, saj je razpolovni čas Cs-137 30,1 let, Sr-90 pa 28,8 let. Kljub omenjenim usmeritvam pa v živilih, vzorčevanih v gozdnih ekosistemih po Sloveniji, še vedno ugotavljamo značilno višje specifične aktivnosti Cs-137 v primerjavi z živilii, vzorčevanimi v agrikulturnih ekosistemih.

Zunanje sevanje

Za meritve zunanjega sevanja v Sloveniji je v vseh primerih značilno izrazito zmanjševanje letnega okoljskega ekvivalenta, predvsem v prvih letih po černobilski nesreči (1986). Ta usmeritev se nadaljuje tudi v letu 2016. Vzrok je razpad usedlih kratkoživih sevalcev gama, ki so v začetnem obdobju največ



prispevali k zunanjemu sevanju, in prodiranje Cs-137 v zemljo. Prispevek Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu lahko ocenimo na 0,17 mSv, kar je 2-krat več od ocene prispevka Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu iz zemlje za lokacijo Gmajnice in je 0,09 mSv.

Vzorčevanje zemlje poteka na poplavnih področjih tako, da sta usedanje iz zraka in poplavljanje prenosni poti, po katerih lahko izpusti NEK dosežejo mesta vzorčevanja. Veliko stresanje izračunanih vrednosti useda Cs-137 do globine 30 cm v zadnjih letih na neobdelanih površinah lahko pripišemo nehomogenosti useda, izpostavljenosti lokacij poplavam (Kusova Vrbina) ter zapletenosti mehanizma migracije nanosa na mikrolokacijah, saj očitno ni korelacije niti na zelo bližnjih mestih vzorčevanja (Gmajnice). Na vseh lokacijah je opazno zniževanje usedov z leti, najizrazitejše je v Kusovi Vrbini, v Ameriki se je v zadnjih 5 letih zniževanje usedov praktično ustavilo, v Gmajnicah pa stresanje izmerkov kaže na veliko nehomogenost useda.

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.

C-14

C-14 je sicer kozmogeni radionuklid, vendar je prisoten tudi v zračnih in tekočinskih izpustih NEK-a in prispeva k povečanju koncentracije aktivnosti C-14 v zraku in reki Savi.

C-14 se predvsem vgrajuje v rastline in v tej obliki vstopa v prehrambno verigo ljudi. Primerjave meritev v vzorcih iz okolice NEK in Dobove so v preteklih letih pokazale, da dodatni C-14 iz NEK poveča specifično aktivnost C-14 v rastlinah v bližnji okolici ograje NEK predvsem takrat, ko je remont in s tem večji izpusti potekajo neposredno pred oziroma med vegetacijo, kot na primer v letih 2012 in 2015. V letu 2013 in 2016 je bil remont po obdobju vegetacije, tako da je bilo povišanje specifičnih aktivnosti C-14 v rastlinstvu v bližnji okolici NEK manjše kot v letu 2012. Podobno je bilo v tudi letu 2014, ko remonta ni bilo.

Od leta 2013 je NEK začel sistematično meriti C-14 v četrletnih vzorcih tekočinskih efluentov. Neposredne meritve C-14 v Savi se ne izvajajo redno. Skupna letna izpuščena aktivnost v Savo je bila v tem letu 9,2 GBq [22] kar je 8-krat več kot v letu 2015 (1,2 GBq). Aktivnost izpuščenega C-14 je še vedno več kot 3 velikostne rede nižja kot pri tritiju.

OCENA VPLIVOV

Tekočinski izpusti

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

Za tekočinske izpuste je bil razvit model, ki kot referenčno skupino prebivalstva upošteva ribiče in njihove otroke. Ribiči lovijo tudi 350 m nizvodno od jezca NEK, preživijo določen čas na obrežju in uživajo savske ribe. V tem letu smo v model vključili tudi C-14, ki se je začel sistematično meriti v tekočinskih izpustih NEK. Modelni izračun, ki temelji na tekočinskih izpustih, podatkih o letnem pretoku reke Save in upoštevač značilnosti omenjene referenčne skupine, je pokazal, da je učinkovita doza za odraslega zaradi izpustov v reko Savo v letu 2016 v Brežicah 0,13 μ Sv na leto (zadrževanje na obrežju in ingestija rib). Na referenčni lokaciji 350 m pod jezom NEK je izračunana letna učinkovita doza za odraslega 0,27 μ Sv, ki je višja kot v preteklem letu predvsem zaradi večjih tekočinskih izpustov C-14. C-14 prispeva največ k celotni dozi iz vseh prispevkov (97 %), pri čemer je dominantna prenosna pot



ingestija rib. Če upoštevamo samo zadrževanje na bregu, je praktično celotna obremenitev zaradi izpustov Co-60 in Co-58 (95 %). Če upoštevamo pitje savske vode, ki je malo verjetna prenosna pot, pa bi bil dominanten prispevek H-3 (100 %).

Atmosferski izpusti

Pri ovrednotenju vpliva atmosferskih izpustov upoštevamo naslednje skupine radionuklidov:

- **žlahtni plini**, ki so izključno pomembni za zunanjo izpostavitve ob prehodu oblaka;
- **čisti sevalci beta**, kot sta H-3 in C-14, ki sta biološko pomembna le v primeru vnosa v organizem zaradi inhalacije (H-3, C-14) in ingestije (C-14);
- **sevalci beta/gama** v aerosolih (izotopi Co, Cs, Sr itd.) s prenosnimi potmi: inhalacija, zunanje sevanje iz useda, ingestija na rastline usedlih radionuklidov;
- **izotopi joda** v raznih fizikalnih in kemijskih oblikah, pomembnih pri inhalaciji ob prehodu oblaka in zaradi vnosa v telo z mlekom.

Tabeli A1 in A2 prikazujeta ovrednotenje zračnih emisij z modelnim izračunom razredčitvenih koeficientov v ozračju za leto 2016 in za posamezne skupine radionuklidov za najpomembnejše prenosne poti za prebivalce v naselju Spodnji Stari Grad, ki je najbližje naselje zunaj ograje NEK (tabela A1), in ob ograji NEK (tabela A2). Zahtevana omejitev dodatne izpostavitve prebivalstva na robu ožje varstvene cone (500 m od osi reaktorja) in dalje je, da celotna letna efektivna doza prispevkov vseh prenosnih poti na posameznika iz prebivalstva ne sme presegati 50 μ Sv. Ta omejitev je bila po začetku obratovanja dopolnjena še z omejitvijo letne efektivne doze zunanjega sevanja na ograji objekta (200 μ Sv na leto) ter omejitvijo aktivnosti radionuklidov v tekočih in plinastih efluentih. Iz tabel A1 in A2 lahko ugotovimo, da so prispevki k letni efektivni dozi za prebivalca na obeh lokacijah zanemarljivi (manj kot 0,23 % od predpisane omejitve 50 μ Sv).

Razredčitvene faktorje za zunanje sevanje iz oblaka in inhalacijo od leta 2007 ocenjujemo z Lagrangeevim modelom (ki je bolj realističen, saj upošteva značilnosti terena in večji nabor meteoroloških spremenljivk). Prispevek sevanja iz useda je bil do leta 2010 ocenjen z Gaussovimi modelom, po letu 2011 pa prav tako z Lagrangeevim modelom [4]. Ocena za zračno imerzijo v letu 2016 je višja kot v prejšnjih letih, ocena za inhalacijo pa je primerljiva s prejšnjimi leti.

Meritve C-14 so bile v letu 2016 izvedene na vzorcih jabolk, ječmena, koruze, pšenice, repice in trave na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu. 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 ingestije C-14 je tako v okolici NEK (do 1 km) za 0,1 μ Sv višja kot na kontrolni točki v Dobovi. Pri izračunu doze, prejete zaradi C-14 v okolici NEK, smo konzervativno privzeli, da prebivalci uživajo hrano iz neposredne bližine NEK dva meseca v letu, drugih 10 mesecev pa hrano od drugod (Dobova). Iz tega izhaja, da tudi v primeru računanja doze zaradi C-14 upoštevamo, da prebivalci uživajo hrano, pridelano na krško-brežiškem področju (od ograje NEK do Dobove). Razlika med računanjem doze zaradi C-14 in doze zaradi vnosa drugih radionuklidov v hrano je potem v tem, da se za C-14 upošteva uteženo povprečje specifične aktivnosti C-14 glede na lokacijo vzorčevanja, za druge radionuklide pa to ni mogoče zaradi različnih načinov vzorčevanja. 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 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.

Ugotavljamo, da so bili vsi načini izpostavitve prebivalstva zanemarljivi v primerjavi z naravnim sevanjem, doznimi omejitvami in avtoriziranimi mejami.


Tabela A1: Izpostavitve sevanju prebivalstva (odrasla oseba) v naselju Spodnji Stari Grad zaradi atmosferskih izpustov iz NEK v letu 2016

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	– imerzija (oblak) – sevanje iz useda	– žlahtni plini (Ar-41, izotopi Xe) – aerosoli (I in Co izotopi, Cs-137)	2,9E-7 7,0E-13
inhalacija	oblak	H-3, C-14, I-131, I-132, I-133	5,5E-6
ingestija	rastlinska hrana	C-14	0

Tabela A2: Izpostavitve sevanju prebivalstva (odrasla oseba) ob ograji NEK zaradi atmosferskih izpustov iz NEK v letu 2016

Način izpostavitve	Prenosna pot	Najpomembnejši radionuklidi	Letna doza (mSv)
zunanje sevanje	– imerzija (oblak) – sevanje iz useda	– žlahtni plini (Ar-41, izotopi Xe) – aerosoli (I in Co izotopi, Cs-137)	6,9E-7 5,8E-12
inhalacija	oblak	H-3, C-14, I-131, I-133	1,3E-5
ingestija	rastlinska hrana	C-14	1,0E-4

Naravno sevanje

Meritve zunanjega sevanja v okolici NEK so tudi v letu 2016 potrdile ugotovitve iz preteklosti, da gre za značilno naravno okolje, ki ga najdemo tudi drugje v Sloveniji in v svetu. Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja v okolici NEK je bil na prostem v povprečju 0,81 mSv. To je primerljivo z oceno letne efektivne doze za zaprte prostore 0,83 mSv (1998). K temu je treba dodati še prispevek $H^*(10)$ nevtronskega kozmičnega sevanja, ki je za območje NEK 0,1 mSv na leto. Tako je bila skupna doza naravnega zunanjega sevanja $H^*(10)$ v letu 2016 v okolici NEK 0,91 mSv na leto. Ustrezna letna efektivna doza (ob upoštevanju pretvorbenih faktorjev iz publikacije Radiation Protection 106, EC, 1999) je 0,76 mSv na leto, kar je nižje od podatka za svetovno povprečje (0,87 mSv na leto).

Meritev specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v hrani pokaže vrednosti, ki so primerljive s povprečnimi vrednostmi v svetu, zato za ingestijsko efektivno dozo privzemamo sklepe iz UNSCEAR 2000 [55].

Posamezni prispevki k dozi naravnega sevanja so zbrani v tabeli B. Skupna letna efektivna doza je ocenjena na 2,35 mSv, kar je primerljivo s svetovnim povprečjem 2,4 mSv na leto [55].


Tabela B: Efektivne doze E zaradi naravnih virov sevanja v okolici NEK v letu 2016

Vir	Letna efektivna doza E (mSv)
– sevanje gama in neposredno ionizirajoče kozmično sevanje [#]	0,68
– kozmični nevtroni [55]	0,1
ingestija (K, U, Th) ([55], efektivna doza)	0,27
inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222, efektivna doza) ^{##}	1,3
Skupaj	2,35

Opomba: [#] Ocena efektivne doze zunanjega sevanja iz okoljskega ekvivalenta doze $H^*(10)$ z upoštevanjem pretvorbene faktorja $E/H^*(10) = 0,84$ za fotone 600 keV (Radiation Protection 106, EC, 1999). Pretvorbene faktorji v območju od 100 keV do 6 MeV so v območju med 0,84 in 0,89.

^{##} Značilni prispevek kratkoživih radonovih potomcev k efektivni dozi je bil ocenjen v poročilu za leto 2000 (IJS-DP-8340, #3 na strani 7).

Tabela C: Povzetek letnih izpostavitv prebivalstva v okolici NEK za leto 2016

Vir	Prenosna pot	Letna efektivna doza (mSv)
naravno sevanje	- gama in ionizirajoče kozmično sevanje	0,68 ^{**}
	- kozmični nevtroni	0,1
	- ingestija (K, U, Th)	0,27
	- inhalacija (kratkoživi potomci Rn-222)	1,30
	Skupaj naravno sevanje	2,35
NEK – neposredno sevanje ob ograji NEK	neposredno sevanje iz objektov NEK	nedoločljivo
NEK atmosferski izpusti* (ob ograji NEK)	- zunanje sevanje iz oblaka	6,9E-7
	- zunanje sevanje iz useda (izotopi I in Co, Cs-137)	5,8E-12
	- inhalacija iz oblaka (H-3, C-14)	1,3E-5
	- ingestija (C-14)	1,0E-4
NEK tekočinski izpusti (Sava)*	- referenčna skupina (350 m pod jezom NEK)	2,7 E-4
	- odrasla oseba, Brežice	1,3 E-4
černobilska kontaminacija, jedrski poskusi	zunanje sevanje ^{**}	< 0,04 ^{***}
	ingestija	1,4E-3
	inhalacija	5E-7

* Skupne vsote prispevkov NEK ne navajamo, saj vsi prispevki niso aditivni, ker ne gre za iste skupine prebivalstva.

** Ocena efektivne doze zunanjega sevanja iz okoliškega ekvivalenta doze $H^*(10)$ z upoštevanjem pretvorbene faktorja $E/H^*(10) = 0,84$ za fotone 600 keV (Radiation Protection 106, EC, 1999).

*** V tej oceni ni upoštevano, da se prebivalec zadržuje 20 % časa na prostem in da je faktor ščitenja pri zadrževanju v hiši 0,1. Gre za konzervativno oceno.



Primerjava s preteklimi leti

V tabeli C so predstavljeni posamezni prispevki k letni efektivni dozi za odraslo osebo ob ograji NEK zaradi emisij NEK v letu 2016. Izjema je doza zaradi zunanjega sevanja, ki jo merijo TLD-ji. Ob ograji NEK so odstranili vrhno plast zemlje in nasuli s prodrom, zaradi česar je povprečni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK za 40 % višji od tistega na ograji NEK. Zaradi tega tu podajamo povprečni okoljski dozni ekvivalent za okolico NEK.

Če seštejemo vrednosti za atmosferske in tekočinske izpuste, ugotovimo, da je vpliv nadzorovanih izpustov iz NEK na prebivalstvo znatno pod avtorizirano mejo. Pri tem je treba poudariti, da gre za različne skupine prebivalstva in je zato seštevek samo groba ocena letne efektivne doze.

Od leta 2005 do 2011 se seštevek znižuje, v letu od 2012 pa je bila letna efektivna doza na prebivalca ob ograji NEK nekoliko višja zaradi vpliva na prehrabno verigo med vegetacijo (C-14), vendar še vedno dva velikostna reda pod avtorizirano mejo. Tudi v letih 2013 in 2014 lahko opazimo povišanje letne efektivne doze, vendar ga lahko pripišemo izključno prispevku C-14 v tekočinskih izpustih, ki ga v prejšnjih letih nismo upoštevali. V letu 2016 je seštevek primerljiv z leti od 2007 in 2009. Pri primerjanju prispevkov v posameznih letih je treba upoštevati še, da se pri izračunu zunanjega sevanja iz oblaka in inhalacije iz oblaka od leta 2007 uporablja Lagrangeev model, ki daje nižje vrednosti izpostavitve, ter da so bile vrednosti prispevka dozi zaradi ingestije C-14 (iz atmosferskih izpustov) do leta 2006 ocenjene na osnovi izpustov in podatkov iz podobnih elektrarn.

Černobilska kontaminacija, poskusne jedrske eksplozije in nesreča v Fukušimi

V letu 2016 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. Radionuklidov, ki so ušli v ozračje po nesreči v japonski jedrski elektrarni v Fukušimi leta 2011, v letu 2016 ni bilo zaznati.

Prispevek Cs-137 k zunanjemu sevanju je bil ocenjen na manj kot 0,04 mSv na leto, kar je 4 % povprečne letne zunanje doze zaradi naravnega sevanja v okolici NEK. Ocena je primerljiva z ocenami v preteklih letih.

Predvidena efektivna doza zaradi inhalacije radionuklidov, ki so posledica splošne kontaminacije, je za odraslega posameznika ocenjena na 0,0005 μ Sv na leto.

Cs-137 in Sr-90 iz jedrskih poskusov in černobilske nesreče sta bila izmerjena v sledih v posameznih vrstah hrane. Efektivna doza zaradi uživanja te hrane je bila za leto 2016 ocenjena na 0,14 μ Sv na leto za Cs-137 in 1,2 μ Sv na leto za Sr-90, kar je skupaj okrog 1,4 % letne efektivne doze zaradi naravnih radionuklidov (brez K-40) v hrani. Ocenjena doza je primerljiva s tistimi iz prejšnjih let.

SKLEPI

Povzetek izpostavitve prebivalstva v okolici NEK za leto 2016 je v tabeli C, kjer so navedeni prispevki naravnega sevanja, vplivi NEK ob ograji NEK in preostali vplivi černobilske kontaminacije in poskusnih jedrskih eksplozij:

- **v letu 2016 so bili vsi sevalni vplivi NEK-a ob ograji NEK in 350 m nizvodno od jezua NEK na prebivalstvo v okolici ocenjeni na manj kot 0,38 μ Sv na leto;**
- ocenjena vrednost je majhna v primerjavi z avtoriziranimi mejnima dozama za prebivalstvo v okolici NEK (efektivna doza 50 μ Sv na leto na razdalji 500 m (ograjja NEK) za prispevke po vseh prenosnih poteh in doza zunanjega sevanja 200 μ Sv na leto na ograji NEK);
- **ocenjena vrednost sevalnih vplivov NEK-a ob ograji NEK je približno 0,016 % značilnega neizogibnega naravnega ozadja.**



S U M M A R Y

INTRODUCTION

The population of Slovenia, like populations elsewhere in the world, is exposed to natural ionizing radiation as well as to certain anthropogenic sources of ionizing radiation, which come primarily from the use of such radiation in medicine, the residual Chernobyl contamination and the contamination generated by atmospheric nuclear tests. When it comes to the residents in the surroundings of the Krško Nuclear Power Plant (NPP), we could add the releases of atmospheric and liquid radioactive substances from the NPP and the direct radiation emanating from the buildings and objects inside the power plant's fenced perimeter. The Krško NPP is required to comply with *authorised limits* and other dose limits related to releases, as well as other radiation impacts on the environment and population. The limitation of additional exposure of the population was laid down already in the site plan documentation for the NPP in 1974, which required the total annual effective dose from all exposure pathways to the reference person at the border of the restricted protective zone (500 m from the reactor axis) and beyond not to exceed 50 μSv . After the commissioning and start of the NPP operation, this limit was supplemented with the requirement that the annual effective dose from external radiation at the perimeter fence shall not exceed 200 μSv per year.

The Krško NPP is required to provide evidence of compliance by performing *operational radioactivity monitoring*, the scope and method of which are prescribed by the *Rules on the monitoring of radioactivity* (Official Gazette of Republic Slovenia No. 20/2007) or *the Rules amending the Rules on the monitoring of radioactivity* (Official Gazette of Republic Slovenia No. 97/2009) [9]. 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, technical requirements for measurement and analysis equipment as well as the methods and exposure pathways that must be considered in dose evaluation. Apart from the Krško NPP, which is in charge of emission measurements, radioactivity monitoring is performed by various *authorised monitoring providers*.

This Report presents the results of radioactivity monitoring that was performed in 2016 by the Krško NPP – as the entity liable for monitoring, and by the authorised radioactivity monitoring providers. Summarised results of radioactivity measurements of anthropogenic and natural occurring radionuclides are presented by different contamination media and exposure pathways in the form of assessed effective doses, which are presented in Chapter "*DOSE ESTIMATE*". Thus, in 2016, the radiation effects of the Krško NPP on the population in the immediate surroundings were estimated at less than 0.38 μSv per year, what presents 0.8 % of the authorized dose limit at the NPP fence. The estimated effective dose at the NPP fence received by members of general public as the result of NPP atmospheric discharges is estimated to 0.11 μSv per year, while it is estimated to 0.27 μSv per year due to the NPP liquid discharges. The estimated sum of all radiation contributions (annual effective doses) from the NPP to the member of the public at the fence perimeter is 0.016 % of the characteristic unavoidable natural background radiation. The Summary expresses the most important facts from the Monography *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice*, which is the standalone supplement of the report *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2016*, interna oznaka 7/2017, Ljubljana, marec 2017.

The Report does not deal with the exposure of the population to ionizing radiation caused by diagnostic medical examinations, which represents the second main source of exposure after natural radiation in the developed world as well as in Slovenia.



CHARACTERISTICS OF SAMPLING AND MEASUREMENTS

In 2016, the scope and method of sampling and measurements was the same as in previous years, which enables comparison of the monitoring results with the results from previous years as well as the determination of trends. These issues are dealt in Chapters "*DISCUSSION*" and "*DOSE ESTIMATE*". The characteristics of the sampling and measurements are as follows:

1) Sava River

- a) Continuous sampling at three locations: (Krško – 3.2 km upstream, Brežice – 8.2 km downstream and Jesenice na Dolenjskem – 17.5 km downstream) for long-lived radionuclides and single samples of unfiltered water at Krško, Brežice, Jesenice na Dolenjskem and Podsused near Zagreb (CRO, around 30 km downstream from the Krško NPP) for short-lived radionuclides;
- b) Quarterly single water samples from Sava at Krško and Brežice
- c) sediment sampling at six locations (Krško upstream and under the Krško NPP dam, Pesje, Brežice, Jesenice na Dolenjskem and Podsused in Croatia – downstream of the Krško NPP dam);
- d) fish samples: Krško, Brežice, Jesenice na Dolenjskem, Podsused (CRO) and Otok (CRO).

Sample measurements involved the determination of the activity concentration and specific activity of gamma emitters using high resolution gamma-ray spectrometry (HRGS), tritium (H-3) the activity concentration and specific activity determination with liquid scintillation beta spectrometry and the determination of Sr-90/Sr-89 using radiochemical separation, and counting with a proportional counter.

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 composite samples from the pumping stations in Brege, Rore, Brežice and the waterworks in Spodnji Stari Grad and Brežice; in May 2016 sampling at the pumping station Drnovo was replaced by sampling at the pumping station Rore;
- d) sampling of groundwater in the immediate vicinity of the 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 (starting in June 2016); water from these samples is analysed for activity concentrations of H-3. The purpose of the sampling at these boreholes is to establish the background conditions due to the accumulation reservoir of the HPP Brežice.

The measurements were performed using the same methodology as that used for the Sava River samples.

3) Precipitation and dry fallout

- a) monthly composite samples from precipitation collectors in Brege, Krško and the reference location 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 underwent measurements using high resolution gamma-ray spectrometry, tritium (H-3) activity concentration determination with liquid scintillation beta spectrometry and the determination of Sr-90/Sr-89 using radiochemical analysis. Measurements using high resolution gamma-ray spectrometry were performed on vaseline samples.



4) Air

- a) aerosol sampling comprised of continuously pumping air through aerosol filters, which were exchanged 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 in 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 special pumps in Dobova;
- d) emission measurements were performed at the Krško NPP's main vent, 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 CO₂ was performed continuously at two locations on the Krško NPP perimeter fence. In 2016, a total of twelve samples were collected and analysed. The control measurements were performed in Zagreb (Croatia).

The measurements of aerosol filters and specialised filters for I-131 were performed with high resolution gamma-ray spectrometry, and the Sr-90/Sr-89-specific measurement was performed using a beta scintillation spectrometer.

5) External Exposure to Radiation

External radiation

- a) external radiation dose (gamma radiation and the ionizing component of cosmic radiation) was measured using 57 TL dosimeters in the vicinity of the Krško NPP (the locations surround the plant up to a 10 km distance) and 9 TL dosimeters on the NPP perimeter fence. Data was collected from the dosimeters every six months. Ljubljana was the reference dosimeter location for all external radiation measurements. Additional 10 dosimeters were located in Croatia;
- b) measurements using 50 TL dosimeters at 50 locations distributed throughout Slovenia were performed in parallel with the measurements in the vicinity of the Krško NPP;
- c) 14 continuous radiation detectors MFM-203 operate in the vicinity of the Krško NPP as part of the Early Warning Network. In addition to these, 60 other continuous radiation detectors are in operation at other locations in Slovenia, also as a part of the Early Warning Network.

All TL dosimeters used for monitoring in Slovenia were evaluated on the IJS MR 200 (C) system. Dosimeters in Croatia were evaluated on the system, which is located at the Ruđer Bošković Institute in Zagreb. The data from continuous detectors are collected and processed by the Slovenian Nuclear Safety Administration.

Soil

- a) soil samples were collected at four locations on the flood plains downstream of the Krško NPP (Amerika – 3.5 km from the NPP, Gmajnice – 2.5 km from the NPP, Gmajnice – 3.6 km from the NPP, and Kusova Vrbina-Trnje – 8.5 km from the NPP). One location is on cultivated land, while three are on non-cultivated land. Sampling was performed twice a year with samples taken in layers from different depths (down to 30 cm on non-cultivated land and down to 50 cm on cultivated land).

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

6) Food

- a) the sampling of food was performed in the following locations: orchard next to the Krško NPP (fruits), Pesje (milk, vegetables), Spodnja Pohanca (fruits), Zgornja Pohanca (fruits), Brege (meat, milk, vegetables), Vihre (milk, vegetables), Vrbina (eggs, vegetables, cereals), Spodnji



Stari Grad (meat, eggs, vegetables), Žadovinek (vegetables), Trnje (vegetables), Krško (vegetables), Libna (grapes); 32 various food samples were collected in 2016;

- b) sampling frequency depends 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) the sampling of vegetation, crops and fruits for C-14 specific activity determination took place twice in 2016 (June and September) at 17 locations in the surroundings of the Krško NPP and in the reference location in Dobova; a total of 36 samples were collected and analyzed. In Dobova four samples were collected (in June: samples of corn and barley, in September: two samples of corn);
- d) measurements of the 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.

MEASUREMENT RESULTS

Introduction

For the data interpretation and dose assessment in 2016, the primary measurement, $y \pm u(y)$, results obtained from gamma-ray spectrometry measurement results carried out by JSI (*Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*) are used. The $u(y)$ represents combined standard deviation of the specific activity related to 68 % confidence interval (coverage factor $k = 1$). The combined standard deviation integrates statistical fluctuations of the net signal, uncertainty of the background signal, spectrometer calibration, nuclear data and the sample quantity. The uncertainties originating from sampling, except the sample quantity, are not taken into account.

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

The annual dose is calculated from the arithmetic average of periodic measurement outcomes [47]. 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).

When the detection limit is still reported (usually by Pb-210, H-3, Sr-90 radionuclides) a 1/4th of the detection limit is reported 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 in 7). This value has no associated uncertainty. For this reason the uncertainty of the arithmetic average is represented with a-posteriori uncertainty. In such cases the records are designated by a symbol "x". In other cases, the a-priori uncertainty of the average is reported. In this way all the measurement outcomes provided by different authorized laboratories (IJS-F2, IJS-O2, NEK, IRB and ZVD) were standardized.

By other non-detected radionuclides - for the reason of clear representation - their limit of detections are not provided. In such cases the empty fields in tables are taken as zero values.

Definitions of these terms are in line with university textbook of prof. S. Širca [referenca: Simon Širca, *Verjetnost v fiziki, DMFA – založništvo, Ljubljana 2016*], just that instead of the term »a-posteriori uncertainty«, a term »average scattering« is used.

Definitions of these terms is given in the report *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto leto 2016, IJS-DP-12291*.

The designation Sr-90/Sr-89 means, that the separation to determine the activity of Y-90 was not



performed. The separation to determine the activity of Y-90 shall be carried out only in cases, when the counting rate of Sr-90/Sr-89 decreases, and the difference is a result of a 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 present in the environment since post-chernobyl period. This is also confirmed by periodic monthly reports on atmospheric discharges from the Krško NPP, where the radionuclide Sr-89 was not detected.

1) Sava River

In 2016 the average monthly activity concentration of H-3 at Brežice (4.8 ± 0.1) kBq/m³, with the highest value of monthly value of H-3 (21.7 ± 0.9) kBq/m³ in August, was comparable with previous years, but 2011 and 2014 (4.8 kBq/m³ in 2015, 0.9 kBq/m³ in 2014, 4.4 kBq/m³ in 2013, 5.4 kBq/m³ in 2012, 1.4 kBq/m³ in 2011). The average monthly activity concentration of H-3 measured at the reference location in Krško (before the paper mill) was (0.61 ± 0.02) kBq/m³ with the highest value of H-3 in the same period (0.8 ± 0.1) kBq/m³. These measurements of H-3 were carried out by the laboratories from JSI.

The IRB measurements at Jesenice na Dolenjskem obtained an monthly average of (3.4 ± 0.1) kBq/m³, with the highest value of (11.3 ± 0.7) kBq/m³ in August such as in Brežice. The average monthly activity concentration of H-3 at Brežice in 2016 was higher than the average at Jesenice na Dolenjskem by a factor of 1.9, which is the consequence of an additional dilution of the water in the Sava River by the water from the rivers Krka and Sotla, for which we presume to have approximately the same activity concentration of tritium as the Sava at Krško or as other rivers in Slovenia (around 1 kBq/m³).

The I-131 average activity concentrations in river Sava in quarterly grab samples in 2016 were between (2.1 ± 0.2) Bq/m³ do (3.2 ± 0.1) Bq/m³ in Krško and Brežice, respectively. The highest value was recorded at the sampling locations at Brežice, (5.9 ± 0.3) Bq/m³, but it was comparable with (5.0 ± 0.3) Bq/m³ at Krško in the same sampling period. The average concentrations measured in other rivers around Slovenia were mostly below the detection limit.

The I-131 isotope was not detected in river sediments in 2016.

No I-131 was detected in fish samples in 2016.

The radionuclides of Cs-137 and Sr-90 are present in samples of water, filter residues and sediments as a result of global contamination. They are also present in the liquid effluents of the Krško NPP.

The monthly average of Cs-137 for water measurements yielded 0.15 Bq/m³, and 0.17 Bq/m³ at Krško and Brežice, respectively. In all samples Cs-137 was below the limit of detection. The average monthly activity concentration of Cs-137 at Jesenice na Dolenjskem was 0.07 Bq/m³. The monthly average of Cs-137 activity concentrations in filter residues at Brežice was 0.11 Bq/m³ and comparable with 0.06 Bq/m³ at the reference location in Krško. The average of Cs-137 at Jesenice na Dolenjskem was 0.16 Bq/m³. The values are similar from the point of view of data variation. The average concentrations of Cs-137 in the water of other rivers around Slovenia are similar to those measured in the Sava River in the vicinity of the NPP. The highest average activity concentration of Cs-137 in other rivers was measured in the Mura River, 2.5 Bq/m³. The contribution of Cs-137 due to the liquid discharges from the Krško NPP is thus indeterminable.

Measurements of the radioactivity in river sediments indicated the quarterly average value for Cs-137 at the location downstream from the NPP dam 3.4 Bq/kg, which is lower than at the reference point under the bridge at Krško, 6.6 Bq/kg. At other locations (Pesje, Brežice, Jesenice na Dolenjskem), the quarterly average specific activity of Cs-137 in river sediment ranges from 2.1 Bq/kg at Jesenice na Dolenjskem to 3.1 Bq/kg at Brežice.

Average concentrations of Cs-137 in fish range from 0.03 Bq/kg to 0.08 Bq/kg.

The average of Sr-90 for water samples taken at Brežice monthly yielded 2.4 Bq/m³. At Krško, for water samples taken quarterly the average of Sr-90 yielded 2.1 Bq/m³ in 2016. The average monthly



activity concentration of Sr-90 at Jesenice na Dolenjskem was 2.3 Bq/m³. The average of Sr-90 activity concentrations in filter residues prepared monthly was 0.05 Bq/m³ at Brežice. While in Krško for quarterly prepared sampled was 0.2 Bq/m³. The average concentrations of Sr-90 in the water of other rivers around Slovenia are similar to those measured in the Sava River in the vicinity of the NPP. The average activity concentration of Sr-90 in Slovenian rivers in the year 2016 was the highest at Laze (Ljubljana) (2.2 ± 0.1) Bq/m³. The contribution of Sr-90 due to the liquid discharges from the Krško NPP is thus indeterminable.

Strontium specific activities were not measured within the IRB measurements of river sediments, with the exception of the Podsused location near Zagreb where the average value was below 0.04 Bq/kg. The average values measured by ZVD (Institute of Occupational Safety) were 0.3 Bq/kg in Krško, 1.3 Bq/kg in Brežice and 1.1 Bq/kg in Jesenice na Dolenjskem. Strontium specific activities in river sediment are thus comparable to the measurement results obtained in previous years.

Average specific activities of Sr-90 in fish ranged from 0.12 Bq/kg to 0.32 Bq/kg, which is similar to the ranges from previous years.

The C-14 activity concentration in river Sava, and in fish was not measured in 2016. The activity concentration of C-14 was determined in liquid effluents only.

Other artificial radionuclides, which are present in the liquid effluents of the Krško NPP (Mn-54, Co-58, Co-60, Ag-110m, Xe-133) were not detected at any sampling location in 2016.

Of the naturally occurring radionuclides, we measured K-40 and the representatives of the uranium decay series (U-238, Ra-226, Pb-210) and thorium decay series (Ra-228 and Th-228) in 2016. The concentrations of U-238 in unfiltered water in 2016 were up to 5 Bq/m³. The average monthly activity concentrations of K-40 in the Sava River were 35 Bq/m³ at Krško, 31 Bq/m³ at Brežice and 49 Bq/m³ at Jesenice na Dolenjskem. Cosmogenic Be-7 was also measured in the Sava River.

2) Waterworks and pumping stations

Similarly as in previous years, the highest H-3 concentrations in 2016 were measured at the pumping stations Brege. The monthly average value at the Brege pumping station was (1.9 ± 0.1) kBq/m³, while the highest monthly average of (2.1 ± 0.5) kBq/m³ was measured in August. The average of H-3 in water samples from Rore was (0.67 ± 0.03) kBq/m³. In Spodnji Stari Grad the monthly average was (0.78 ± 0.03) kBq/m³. The monthly average for tritium in the Brežice waterworks was 0.14 kBq/m³, which is within the data uncertainty and scatter range as in 2011-2015, while this average in the Brežice – Glogov Brod pumping station was 0.13 kBq/m³. The calculated average in the Krško waterworks (Petrol gas station) was 0.6 kBq/m³, while the average at the Petrol gas station in Brežice was 0.19 kBq/m³. The assumed reference value is the multi-month mean value for tritium activity concentration in the Ljubljana waterworks of 0.78 kBq/m³, which is determined within the scope of the national radiological monitoring of drinking water. In 2016, the measured H-3 activity concentration in the Ljubljana waterworks was (0.52 ± 0.07) kBq/m³.

The quarterly average H-3 activity concentration in the E1 borehole was 1.4 kBq/m³, and the monthly average in the VOP-4 borehole 2.1 kBq/m³. The highest value in the E1 borehole was found in the last quarter of the year, (1.7 ± 0.1) kBq/m³, while the highest value in the VOP-4 borehole was recorded in December (3.8 ± 0.6) kBq/m³.

The Cs-137 radionuclide was detected twice in water samples from Rore and Spodnji Stari Grad, while in other samples of the sampling points in Krško and Brežice it was below the limit of quantification, or detection limit.

The monthly average of Sr-90 activity concentration in the Krško pumping stations and the waterworks was 0.46 Bq/m³, while it was 0.1 Bq/m³ in the Brežice waterworks system. The highest activity concentration of Sr-90 (1.0 ± 0.1) Bq/m³ was measured in water sample from Spodnji Stari Grad in March. The measured activity concentration of Sr-90 in the Ljubljana waterworks in 2016 was (0.7 ± 0.1) Bq/m³, while since 2002 it varied between 0.4 Bq/m³ and 1.5 Bq/m³.



At the E1 borehole (inside the Krško NPP perimeter fence) an average annual Sr-90 activity concentration of 3.8 Bq/m^3 was calculated. At Medsave and Šibice boreholes in Croatia the average monthly activity concentrations of Sr-90 were 2.1 and 3.2 Bq/m^3 , respectively. None of the presented values deviates significantly from the data from previous years.

The I-131 radionuclide was not detected in drinking water in any monthly and quarterly samples at any of the sampling points in Krško and Brežice.

The activity concentrations of the naturally occurring K-40 isotope were measured at all sampling points. In the waterworks of Brege, Rore and Spodnji Stari Grad, the average monthly activity concentration of K-40 was 69 Bq/m^3 , 22 Bq/m^3 , and 27 Bq/m^3 respectively. The average activity concentration in the Brežice water supply system was 24 Bq/m^3 .

The monthly averages of U-238 are low at all sampling points in the Krško and Brežice waterworks, whereby the highest annual average was measured in Spodnji Stari Grad at 3.2 Bq/m^3 . The average month activity concentrations of Ra-226 in the same locations range from 0.6 Bq/m^3 (Brežice waterworks) to 2.8 Bq/m^3 (Krško waterworks). The activity concentration of Pb-210 ranged from 0.6 Bq/m^3 in waterworks of Spodnji Stari Grad to 4.9 Bq/m^3 in the water from Brežice pumping station. The activity concentration of Pb-210 in Ljubljana was 2.1 Bq/m^3 . The annual average for Ra-228 ranged from 0.5 Bq/m^3 (Brežice pumping station) to 1.1 Bq/m^3 in Brege. The concentrations of Th-232 range from 0.4 Bq/m^3 (Brežice) to 0.9 Bq/m^3 in waterworks of Rore. Be-7 was occasionally detected at all pumping stations and waterworks in Krško and Brežice. The average monthly activity concentration of Be-7 ranged from 1.2 Bq/m^3 in Spodnji Stari Grad to 5.8 Bq/m^3 in Brežice pumping station.

3) Precipitation and dry fallout

The annual precipitation quantity in Krško, Brege and Dobova as well as in Ljubljana were higher than in 2015. The most precipitation occurred in Ljubljana ($1\,317 \text{ mm}$). In Krško, Brege and Dobova the average amount of precipitation was ($1\,135 \text{ mm}$). In December no precipitation at all sampling locations were recorded.

The activity concentrations of tritium in precipitation varies widely, so only activity concentration larger than 2 kBq/m^3 could likely be attributed to the atmospheric discharges from the Krško NPP [37]. The activity concentration of H-3 in precipitation was larger than 2 kBq/m^3 in Brege 3-times and in Krško twice in 2016, what is less than in 2015. In Ljubljana the activity concentration of tritium in precipitation samples in 2016 ranged from 0.57 kBq/m^3 to 1.9 kBq/m^3 , in Brege from 1.3 kBq/m^3 to 6.6 kBq/m^3 , In Krško from 1.1 kBq/m^3 to 3.4 kBq/m^3 , and in Dobova from 0.6 kBq/m^3 to 1.6 kBq/m^3 . The monthly average activity concentration of H-3 at all sampling location in 2016 was comparable with previous years. The monthly average of H-3 activity concentrations in precipitation at Brege was 2.1 kBq/m^3 , at Krško was 1.6 kBq/m^3 , while at Dobova (reference location) and Ljubljana (control location) they were 1.1 kBq/m^3 and 0.97 kBq/m^3 , which follow the trends obtained for the last decade. The measurement results obtained from the samples from all sampling locations in December were not taken into consideration. Due to the small amount of the precipitated water, the measurement outcomes went anomalous.

The highest monthly fallout of H-3 was measured in Brege, 810 Bq/m^2 in October. The long-term trend of the fallout of H-3 is similar for locations Ljubljana and Dobova, while it is different for Brege and Krško. In 2016 the highest calculated fallout of H-3 at Krško and Brege coincide with the highest atmospheric releases of tritium, while peaks in February and June coincide with the highest precipitation quantity in that period of time.

Almost all measured activity concentrations of Sr-90 in precipitations are below the limit of the detection. The interpretation of such outcomes is irrelevant.

The highest Cs-137 activity concentration was found in the August sample from Dobova, $(1.5 \pm 0.3) \text{ Bq/m}^3$, while it was the highest for the sampling location in Ljubljana $(1.2 \pm 0.2) \text{ Bq/m}^3$ in January. Most of the primary measurement results were either below the quantification or detection limit.



The highest precipitation fallout values for Cs-137 were measured in 2016: in Ljubljana 0.09 Bq/m² (January), in Dobova 0.1 Bq/m² (August), in Brege 0.04 Bq/m² (January), while in Krško the fallout was indiscernible. Against the year 2015 the Cs-137 fallout decreased in Brege, Ljubljana and Krško, while in Dobova remained leveled in 2016.

4) Air

Of the artificial radionuclides, only Cs-137 and Sr-90 were detected in aerosols in 2016, whereby these two radionuclides are present in the environment as a result of global contamination, while the contribution of the Krško NPP cannot be measured with respect to the model estimates [4]. The measured average annual activity concentrations of Cs-137 at individual measurements locations in the surroundings of the Krško NPP were at the level of the long-term mean 1 µBq/m³. The measured values of Cs-137 are smaller than the values obtained from locations within the scope of the monitoring of radioactivity in the environment in the Republic of Slovenia.

Specific Sr-90 measurements took place only at Dobova (reference location), where the measured activity concentrations are low, namely below the limit of the detection in 2016. The long-term average is 0,7 µBq/m³.

The activity concentration of radioactive iodine, I-131, in the air was below the detection limit in 2016 in all samples from charcoal filters (gas) and aerosol filters (particles).

The measurement results of aerosol samples from the surroundings of the Krško NPP indicate the presence of naturally occurring radionuclides at the same level as at other locations in Slovenia where measurements were performed within the scope of the national monitoring assessment. The values for Be-7 and Pb-210 correlate well at all measurement points in the surroundings of the Krško NPP and in Ljubljana, which is the control location, and partly also at other locations in Slovenia. In the case of other naturally occurring radionuclides (isotopes from the uranium and thorium decay chains and the radioactive potassium), the differences between the individual measurement points in the surroundings of the Krško NPP are slightly larger, but nevertheless within the range of measurement uncertainty and expected variations, which is the result of resuspension on cultivated agricultural surfaces.

5) External Exposure to Radiation

External radiation

The annual ambient equivalent dose of $H^*(10)$ in the surroundings of the Krško NPP, which was measured using TL-dosimeters, ranges between 0.63 mSv and 1.06 mSv, whereby the average value was (0.81 ± 0.1) mSv per year. The measured values at the Krško NPP perimeter fence were between 0.51 mSv and 0.64 mSv per year, whereby the average value was (0.58 ± 0.04) mSv per year. The measurements using TL-dosimeters around Slovenia yielded an average value of the ambient equivalent dose of (0.90 ± 0.15) mSv per year. Dosimeters in Croatia have in 2016 in terms of precision yielded the same average value as those in the surroundings of the Krško NPP (0.75 ± 0.13) mSv.

The measurements of $H^*(10)$ using 14 continuous radiation monitors MFM-203 around the NPP in 2016 yielded an average value of (0.82 ± 0.13) mSv per year, which is 1 % above the value obtained using TL-dosimeters in the area. The values obtained by MFM range from 0.63 mSv to 1.03 mSv.

The average annual environmental equivalent dose of $H^*(10)$ using continuous 60 radiation monitors MFM-203 under control of the SNSA in Slovenia was (0.88 ± 0.15) mSv per year, which is 2 % less than the value obtained using TL-dosimeters in Slovenia.

Soil

The measurements of soil samples have shown besides natural radioactivity only the presence of globally spread artificial isotopes of Cs-137 and Sr-90.



The specific activities of Cs-137 in soil range from 1.5 Bq/kg at the depth of 5–10 cm at Kusova Vrbina to 85 Bq/kg at the depth of 5–10 cm in uncultivated soil at Gmajnice. The specific activities of Cs-137 at all sampling locations are widely scattered. The Cs-137 values show larger dispersion than those of the Sr-90. This can be explained by different migration process of atoms of Cs-137 and Sr-90 through the soil.

The specific activities of Sr-90 in 2016 are within the range from 0.07 Bq/kg at Kusova Vrbina at the depth of 0–5 cm to 1.3 Bq/kg at the depth of 15–30 cm in uncultivated soil at Gmajnice.

The average fallout of Cs-137 (down to the depth of 15 cm) measured in 2016 at Gmajnice, Kusova Vrbina and Amerika was 6.3 kBq/m², 0.38 kBq/m² and 3.9 kBq/m², respectively. These values are comparable (to the extent of data variation) to the fallout down to the depth of 15 cm, which is determined within the scope of monitoring of radioactivity in the environment in Slovenia in 2016 (Ljubljana: 8.4 kBq/m², Kobarid: 6.9 kBq/m² and Murska Sobota: 2.3 kBq/m²). The calculated Sr-90 fallout values for the soil sampling locations in the surroundings of the Krško NPP that range from 0.02 kBq/m² at Kusova Vrbina to 0.1 kBq/m² at Amerika are also comparable with the results obtained elsewhere in Slovenia where they range from 0.08 kBq/m² at Murska Sobota to 0.21 kBq/m² at Ljubljana.

The results of measurements of the concentrations of naturally occurring radionuclides in the soil (K-40, U-238, Ra-226, Ra-228, and Th-232) correspond to the average concentrations listed by the UNSCEAR for the countries in Southern Europe. The measurements have not shown any dependency between radionuclide specific activities and the depth, with the exception of Pb-210 (higher specific activity at the surface is the result of atmospheric washout). Similar is true of Be-7.

6) Food

In the scope of the monitoring of radioactivity around the NPP Krško in 2016, Cs-137 was detected in all kinds of food sampled in Krško-Brežice region. Similarly, the Cs-137 was also detected in all food samples collected from various places in Slovenia within the scope of monitoring of radioactivity in the environment in Slovenia in 2016.

The average specific activity of Cs-137 in food from the Krško NPP surroundings in 2016 was from 0 Bq/kg to 0.2 Bq/kg, which is the same as the value obtained for food sampled in Slovenia from 0.06 to 0.2 Bq/kg. The highest Cs-137 average specific activity of (0.20 ± 0.02) Bq/kg was detected in pork, while the highest specific activity of Cs-137 /kg in food sampled in Slovenia was detected 0.2 Bq/kg in strawberries, while we did not take into account Cs-137 specific activities detected in game sampled in Slovenia (3.7 ± 0.1) Bq/kg.

The specific activity of Sr-90 in food in 2016 was from 0 Bq/kg to 0.7 Bq/kg, while in Slovenia it was from 0.008 Bq/kg to 0.57 Bq/kg. The highest specific activity of Sr-90 around the NPP Krško was found in wheat (0.68 ± 0.08) Bq/kg. In Slovenia apart from the Krško the highest specific activity of Sr-90 was measured in beans (import from China), (0.57 ± 0.08) Bq/kg.

The specific activities of naturally occurring radionuclides were determined for food, whereby the values obtained were as follows: from 30 Bq/kg to 440 Bq/kg for K-40, with the highest value found in bean – (440 ± 30) Bq/kg, from zero to 3.0 Bq/kg for Pb-210, whereby the highest specific activity was found in elder tree (3.0 ± 2.0) Bq/kg; from zero to 1.2 Bq/kg for U-238; from zero to 0.6 Bq/kg for Ra-226; from zero to 0.3 Bq/kg for Ra-228; and from zero to 0.2 Bq/kg for Th-232.

The specific activity of C-14 in the surroundings of the Krško NPP was measured in apples, wheat, barley, rape and corn (maize), namely in June and in September. The average specific activity of C-14 in the foodstuffs sampled near the NPP fence perimeter in September was 254 Bq/kg C, in the near vicinity of the NPP 238 Bq/kg C, while it was 230 Bq/kg C at the reference point in Dobova. In June the average specific activity of C-14, 235 Bq/kg C, in the foodstuffs were leveled at the fence perimeter, near vicinity of the NPP, and in Dobova.



DISCUSSION

Artificial radionuclides (H-3, Cs-137, Sr-90)

The data from liquid effluent measurements show that liquid H-3 effluents in 2016 (19.9 TBq) were 44 % of the activity limit for H-3 (45 TBq per year), and higher than the long-term average of 12.5 TBq (from 1999 to 2015). The highest monthly release of H-3 was 5.9 TBq, which occurred in August.

The calculations of the incremental increase of H-3 activity concentration based on the data on the releases of H-3 in liquid effluent show good correlation with the measurement data from the Sava River in Brežice both in terms of magnitude and time dependence, whereby the measured monthly average H-3 activity concentration increment at the Brežice sampling location due to the Krško NPP influence was (4.2 ± 0.1) kBq/m³, which is comparable to previous years (2012 - 2015). The estimated dilution ratio in Brežice was 1.4, what is similar than a long-term average of (1.5 ± 0.5) .

The direct correlation between H-3 releases and H-3 activity concentration in the groundwater in 2016 is evident in the data from the VOP-4 borehole (time lag of three months) and Medsave borehole, where the highest measured values coincide with the more extensive releases from Krško NPP. The average annual H-3 activity concentration in the VOP-4 borehole was 2.1 kBq/m³. The activity concentration of tritium in the VOP-4 borehole was the highest, namely 3.8 kBq/m³ in December after the NPP refuelling outage. Due to the construction of HE Brežice accumulation reservoir, the river bed was strengthened, thus making the water transport through the earth difficult. The activity concentration of H-3 in the Medsave borehole in Croatia was also noticeably elevated, whereby the highest measured activity concentration of (5.7 ± 0.4) kBq/m³ was measured in September. The measured average annual concentrations of H-3 in the water from other pumping stations, waterworks and boreholes were directly comparable with the long-term averages. The highest monthly H-3 activity concentration was (2.1 ± 0.5) kBq/m³ in Brege pumping station in August. The trend of H-3 activity concentration in Brege pumping station shows a possible correlation with the atmospheric fallout, more than with the liquid discharges, meaning that the influence of the Krško NPP on drinking water can not be ruled out. However, the contribution of H-3 to the total annual effective dose due to drinking water is negligibly small.

Short-lived I-131 is occasionally present in the liquid effluents from the Krško NPP. In 2016 its total activity in liquid discharges was 0.02 MBq. The measured concentrations in the Sava River in Brežice are similar or even smaller than those measured in other rivers in Slovenia due to the medical use of I-131, thus the effect of the NPP Krško is indeterminable. I-131 was not detected in water samples from waterworks and pumping stations in Krško-Brežice region.

The annual liquid discharge of Cs-137 was 1.7 MBq in 2016, what is comparable with 2015, higher than in 2014 (0,4 MBq) and lower than in 2013 (2,4 MBq). We estimated the increase of Cs-137 activity concentration in Brežice to $4 \text{ E-}04$ Bq/m³ due to the Krško NPP influence. The estimation is based on the data on the releases of Cs-137 in liquid effluent and the dilution ratio in Brežice 1.5. The increase of Cs-137 activity concentration in Brežice is much below the detection limit of 0.1 Bq/m³.

The maximum monthly average specific activity of Cs-137 in sediments was in Krško. From the results it is evident that the cesium in sediment systematically decreases at all locations over the years. This is related to the decay of the isotope (from the global contamination), and at the same time to washing off the bottom sediment.

The specific activity of Cs-137 in fish was < 0.1 Bq/kg at all locations (to the extent of data variation). Considering the concentration of Cs-137 in unfiltered river water ~ 0.1 Bq/m³ and the bioaccumulation factor 2.0 m³/kg, the expected specific activity of Cs-137 in fish would be 0.2 Bq/kg. It is unlikely that the measured specific activity of Cs-137 in fish could be attributed to the NPP's liquid discharges.

The radioactive isotope of Strontium, Sr-90 is also regularly presented in liquid effluents from the NPP. In 2016 its total activity in liquid discharges was 0.07 MBq that is comparable with 2015 (0.08 MBq), and lower than in 2014 (0.16 MBq). The Sr-90 activities are several times lower than those of Cs-137. It emerges from the measurement results that the Sr-90 is dissolved in the water. The range of the activity concentration values of Sr-90 in Sava River are similar to previous years from the point of view of data



variation. We note also that the specific activity of Sr-90 in fish, which could be due to the effect of the NPP, is indeterminable. The average specific activities of Sr-90 ranged from 0.1 Bq/kg to 0.3 Bq/kg in 2016.

Since these radionuclides are part of the global contamination, they are present everywhere on Earth's surface and we cannot directly prove their origin. However, our measurements in the Sava River cannot establish the presence of Cs-137 or Sr-90 that originate from the Krško NPP. Measurements in recent years have shown a trend of decreasing values, which is simply the consequence of radioactive decay of radionuclides.

The effects of liquid Cs-137 and Sr-90 emissions in 2016 on drinking water in the surroundings of the Krško NPP could not be detected.

The trend of decreasing H-3 average annual activity concentration continues and is particularly evident for the control location in Ljubljana. The decreasing activity concentration of tritium in the atmosphere is the result of the decay of anthropogenic tritium from the period of above-ground nuclear tests and its deposition in the oceans and surface-running waters. The values and trends are comparable with the results from Vienna, Zagreb and other nearby cities. While Dobova follows the control values rather well, we are observing an irregular pattern at Krško and Brege. The highest increment of H-3 is observed at Brege.

While tritium is practically the only radionuclide that can – in the surroundings of the Krško NPP – be attributed partly to the releases from the nuclear power plant, we (still) do not have (reproducible) stable natural values again on the global scale and the situation in terms of other radionuclides is slightly different. In general, we can say that the situation in Ljubljana and in the surroundings of the Krško NPP are rather similar with the ratios between radionuclides being practically the same, which means that the measured radionuclides can in general not be attributed to the nuclear power plant.

A model calculation shows that, even in the case of the highest calculated monthly activity concentration the calculated average concentrations of Cs-137 are several orders of magnitude beneath the guideline value $1.3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, which is achieved in the aerosol measurements. We can conclude from the above that the measured average monthly concentrations of Cs-137 of a few $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ on aerosol filters in the surroundings of the Krško NPP are not the result of releases from the Krško NPP but rather of the resuspension of Cs-137 from soil, which is the result of the Chernobyl accident and nuclear tests performed in the 50s and 60s of the previous century.

The measured specific activities of Cs-137 and Sr-90 in food are the result of the presence of the mentioned radionuclides in soil and partly of the fallout deposition on vegetation during growth. Specific activities fluctuate from year to year, however, following the Chernobyl accident, they are decreasing and are already at the level prior to the accident in certain types of food (e.g. milk). A comparison of values from the Krško NPP surroundings and those from other parts of Slovenia shows that the concentrations of Cs-137 and Sr-90 in food of animal origin are in some places even higher than in the Krško NPP surroundings.

External radiation

The external radiation measurements in Slovenia are in all cases characterised by pronounced decreases in the annual ambient dose equivalent, primarily in the initial years following the Chernobyl accident (1986). The cause is the decay of short-lived gamma emitters, which initially contributed the most to external radiation, as well as the penetration of Cs-137 deeper into the soil. Over the last ten years when there was only Cs-137 present in the environment, the decrease can be attributed to the radioactive decay of Cs-137 (its activity is decreasing by 2.3 % per year). The contribution of Cs-137 to the annual ambient dose equivalent can be estimated at 0.17 mSv, which 2-times higher than the contribution of Cs-137 to the annual ambient dose equivalent from soil for the location of Gmajnice, which is 0.09 mSv.

Soil sampling is carried out on flood plains, therefore depositions from air and flooding are possible exposure pathways by way of which the releases from the Krško NPP can reach sampling locations. The Cs-137 fallout values down to the depth of 30 cm are scattered significantly which indicates special



features of the microlocation where the sampling took place, the inhomogeneous deposition, as well as the exposure to floodings (Kusova Vrbina). In all locations there is a noticeable decrease of fallout over the last years, the most pronounced is in Kusova Vrbina. In America in the last 5 years, the decrease of fallout practically stopped, while in Gmajnice the data variation indicate an inhomogeneous distribution of the fallout.

Naturally occurring radionuclides

Measured activities of naturally occurring radionuclides (uranium and thorium decay series, K-40, Be-7) do not differ significantly from values measured in other parts of Slovenia and values provided in the literature. This applies to the Sava River, waterworks, fallout, air and food. Also, the measured values are comparable with values from previous years.

C-14

C-14 is a cosmogenic radionuclide, but is also present in the atmospheric and liquid releases of the Krško NPP and contributes to the increase in C-14 activity concentration in the air and Sava River.

C-14 is incorporated in vegetation and thus enters the food chain. Measurements of food samples (comparison of samples from the Krško NPP surroundings and samples from Dobova) have shown in the past years that the additional C-14 from the Krško NPP increases the specific activity in vegetation primarily when the NPP refuelling outage takes place just before or during the vegetation period.

In the year 2016 the specific activity of C-14 in the surroundings of the Krško NPP was measured in apples, wheat, barley, rape and corn (maize), namely in June and in September.

In 2013 the Krško NPP initiated regular C-14 activity concentration measurements in composite quarterly samples of liquid effluents. The measurements are carried out by Rudjer Bošković Institute. Due to the presence of the cosmogenic C-14 in the environment, the contribution of the NPP in the environment is indistinguishable from the background radiation of C-14, like at Krško (before the ESW discharge) 15 Bq/m³. The estimated total activity of C-14 in liquid discharges in 2016 was 9.2 GBq which is 8-times higher since 2015.

DOSE ESTIMATE

Liquid effluents

During normal operation of the NPP, the concentrations of released radionuclides in the environment are well below the detection limits. Therefore, the influence on the population and the environment can be evaluated only indirectly from the data on the released liquid and atmospheric effluents. The exposure of the population can be estimated using models which describe the spreading of radionuclides in the environment via various exposure pathways.

A model has been developed for liquid effluents, which takes into account as the reference population a group of fishermen (and their children) fishing 350 m downstream of the Krško NPP dam, spending a certain amount of time at the riverbank and eating fish from the Sava River. This year also C-14 was included in the inventory of radionuclides used as the input for model calculation, as it was measured in liquid discharges in 2013. The model calculation, which takes into account liquid effluents, the annual river discharges into the Sava River and other particularities of the reference group, has shown that the highest effective dose for an adult due to the liquid effluents discharged into the Sava River in 2016 in Brežice was 1.3 E-4 mSv per year (while spending time at the riverbank and including the ingestion of fish). At the reference point 350 m downstream from the NPP dam the calculated effective dose for an adult was 2.7 E-4 mSv per year, what is higher than in 2015, mostly due to the contribution of C-14.

The highest contribution to the total effective dose due to the liquid releases from the NPP calculated at the reference point 350 m downstream from the NPP dam is caused by C-14 (97 %) , whereby the



dominant exposure pathways is a fish ingestion. Other relevant contributors are Co-58 and Co-60 (for external exposure, 95 % of the total dose). In case of drinking the water from Sava River, which is a highly improbable exposure pathway, the contribution of H-3 would be dominant.

Atmospheric releases

In the evaluation of the dose contribution of atmospheric releases, the following groups of radionuclides are taken into account:

- **noble gasses**, which only cause external exposure and are important contributors to external exposure in case of a radioactive cloud immersion or submersion;
- **pure beta emitters** such as **H-3 and C-14**, which are biologically important as they get built into the body mostly during inhalation (H-3, C-14), and ingestion (C-14);
- **beta/gamma emitters** present in aerosols (Co, Cs, Sr etc.) with the following exposure pathways: inhalation, external radiation from fallout, and ingestion of radionuclides deposited on vegetation;
- **Iodine isotopes** in different physical and chemical forms, which are important contributors through inhalation exposure in case of inhalation in a radioactive cloud and due to their entry into the body through the ingestion of milk.

Table A1: Exposure of the population to radiation (adult person) in the Spodnji Stari Grad locality due to atmospheric releases from the Krško NPP in 2016

Exposure type	Exposure pathway	Most significant radionuclides	Annual effective dose (mSv)
external	– cloud immersion	– noble gases (Ar-41, Xe isotopes)	2.9E-7
	– groundshine	– aerosols (I and Co isotopes, Cs-137)	7.0E-13
inhalation	radioactive cloud	H-3, C-14, I-131, I-132, I-133	5.5E-6
ingestion	vegetal food	C-14	0

Table A2: Exposure of the population to radiation (adult person) at the Krško NPP fence due to atmospheric releases from the Krško NPP in 2016

Exposure type	Exposure pathway	Most significant radionuclides	Annual effective dose (mSv)
external	– cloud immersion	– noble gases (Ar-41, Xe isotopes)	6.9E-7
	– groundshine	– aerosols (I and Co isotopes, Cs-137)	5.8E-12
inhalation	radioactive cloud	H-3, C-14, I-131, I-132, I-133	1.3E-5
ingestion	vegetal food	C-14	1.0 E-4

Tables A1 and A2 show the evaluation of emissions using a model calculation of dilution factors in the atmosphere for 2016 and for individual groups of radionuclides for the most important exposure pathways for the member of the public (adult person) in Spodnji Stari Grad and at the NPP fence, respectively. It is required by law that the authorized limit 50 µSv at the border of the restricted protective zone (500 m



from the reactor axis) and beyond must not be exceeded. It is evident from the data represented in Tables A1 and A2 that the sum of all contributions to the annual committed effective dose at both locations are negligible (less than 0.23 % of the 50 μSv).

Since 2007, the evaluation of dilution factors for external radiation from the radioactive cloud and inhalation is performed with the Lagrange model (more realistic, considers the terrain specifics and a larger number of meteorological variables). Up to 2010, the contribution of radiation from fallout was estimated using the Gauss model, while after 2011 the Lagrange model is also being used for the same purpose [4]. The estimate for air immersion in 2016 is higher in comparison with previous years, and the estimate for inhalation is comparable with previous years.

The measurements of C-14 in 2016 were carried out on samples of apples, wheat, barley, rape, grass and corn (maize), namely in July and in September at the Ruđer Bošković Institute in Zagreb. The estimated increment of annual effective dose caused by ingestion of C-14 in the vicinity of the NPP (distances up to 1 km from the reactor axis) was 0.1 μSv with regards to the reference point in Dobova, where natural specific activity of C-14 was detected.

In the calculation of the effective dose received by the C-14 in the Krško NPP surroundings, we conservatively assumed that residents consume food at the fence perimeter two months per year, while in other 10 months they consume food from elsewhere (Dobova). It follows that, even in the case of calculation of the effective dose of C-14, it is assumed that residents consume food produced in Krško-Brežice field (from the fence perimeter to Dobova). The difference between the calculation of the dose due to the C-14 and the dose due to the other radionuclides presented in food is, that in the case of the C-14 we take into account a weighted average of specific activities of C-14 from all location, while such an approach is impossible for other radionuclides due to the different sampling strategies. The effective dose obtained for C-14 refers to the food in general and not to a specific type of food, since the specific activities of the C-14 (Bq/kg C) in various foods are not different. The ratio of C-14 and C-12 isotopes is constant in all organisms and reflects the ratio of the isotopes in the atmosphere. In the case of man-made releases of C-14, the ratio of C-14 and C-12 atoms in the atmosphere, as well as in biota may change, because the C-14 atoms would replace C-12 atoms in organic molecules.

We find that all of the population exposure pathways were negligible in comparison with exposure to natural sources of radiation, dose limits and authorised limits.

Natural radiation

Measurements of the external exposure in the surroundings of the Krško NPP in 2016 confirmed the findings from the past, that we are dealing with a typical natural environment present elsewhere in Slovenia and the world. The annual ambient dose equivalent of $H^*(10)$ due to gamma radiation and the ionizing component of cosmic radiation in the vicinity of the Krško NPP amounted on average to 0.81 mSv per year in the open. In dwellings, the annual effective dose was estimated at 0.83 mSv per year. We need to add to this value the contribution of $H^*(10)$ of the neutron component of cosmic radiation, which amounts to 0.10 mSv per year for the area of the Krško NPP. The total external radiation dose of $H^*(10)$ in the vicinity of the Krško NPP thus amounted to 0.91 mSv per year in 2016. The corresponding annual effective dose E (using conversion factors from the publication entitled Radiation Protection 106, EC, 1999) is 0.76 mSv per year, which is lower than the data for the average worldwide value.

The measurements of natural radionuclide concentrations in foodstuffs yielded values comparable to the average worldwide data, which is why the conclusions of UNSCEAR 2000 have been adopted for the estimation of the effective ingestion dose.

Individual contributions to the natural radiation dose are shown in Table B. The total annual effective dose was estimated at 2.35 mSv per year, which is slightly lower than the average worldwide value of 2.4 mSv per year.


Table B: Effective doses from natural sources of radiation in the surroundings of the Krško NPP in 2016

Source	Annual effective dose (mSv)
– gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation [#]	0.68
– neutron component of cosmic radiation [55]	0.1
Ingestion (K, U, Th) ([55], effective dose)	0.27
Inhalation (short-lived daughters of Rn-222, effective dose) ^{##}	1.3
Total	2.35

Note: [#] Estimate of the effective dose of external radiation from the ambient equivalent dose of $H^*(10)$ using the conversion factor $E/H^*(10) = 0.84$ for 600 keV photons (Radiation Protection 106, EC, 1999). Conversion factors in the 100 keV to 6 MeV energy range are between 0.84 and 0.89.

^{##} A typical contribution of radon short-lived daughter isotopes to the effective dose was discussed in the report for 2000 (IJS-DP-8340, #3, page 7).

Table C: Summary of the annual exposure of the population in the surroundings of the Krško NPP in 2016

Source	Exposure pathway	Annual effective dose (mSv)
natural radiation	- gamma radiation and the directly ionizing component of cosmic radiation	0.68 ^{**}
	- neutron component of cosmic radiation	0.1
	ingestion (K, U, Th)	0.27
	inhalation (Rn-222 short-lived daughters)	1.30
	Total	2.35
Krško NPP - direct radiation at the fence of the Krško NPP	direct irradiation from the Krško NPP buildings	indeterminable
Krško NPP atmospheric releases* (at the fence of the Krško NPP)	- external dose (air immersion)	6.9E-7
	- groundshine (I and Co isotopes, Cs-137)	5.8E-12
	- inhalation (H-3, C-14)	1.3E-5
	- ingestion (C-14)	1.0E-4
Krško NPP Liquid effluent (Sava)*	- reference group 350 m downstream from the NPP dam	2.7 E-4
	- adult in Brežice	1.3 E-4
Chernobyl accident, nuclear-weapons tests	- external dose ^{**}	< 0.04 ^{***}
	- ingestion	1.4E-3
	- inhalation	5E-7

* The total sum of contributions of the Krško NPP is not given, since the contributions are not necessarily additive and the population groups are not the same.

** Estimate of the effective dose of external radiation from the ambient equivalent dose of $H^*(10)$ using the conversion factor $E/H^*(10) = 0.84$ for 600 keV photons (Radiation Protection 106, EC, 1999).

*** This estimate is not based on the assumption that a person spends 20 % of the time in the open, and that the shielding factor in the house is 0.1. The estimate is conservative.



Comparison with previous years

In Table C the individual contributions to annual effective dose for adult at the fence perimeter due the releases from the Krško NPP in 2016. If the values of atmospheric and liquid emissions are added, one can find that the influence of the Krško NPP via atmospheric and liquid discharges on the population are well below the authorized limit. However, we must emphasise that contributions are related to different population groups and the sum is therefore only a rough estimate of the annual effective dose.

The sum of the of estimated annual effective doses for adult person at the fence perimeter had decreased from 2005 to 2011. In 2012 it was slightly higher because of the releases prior to and after the refuelling outage and because of the effect on the food chain during the vegetation period (C-14), but nevertheless they were by two orders of magnitude below the authorised limit. Also in the years 2013-2014 an increase of the sum can be observed, which can solely be attributed to the contribution of C-14 in liquid discharges (not considered in previous years). In 2016 the methodology for calculating the C-14 content in fish due to the NPP liquid releases was modified, therefore the C-14 contribution to the total effective dose is lower than in 2013 and 2014. Consequently, the sum of the of estimated annual effective doses for adult person at the fence perimeter in 2016 is comparable with the values obtained for 2007-2009. When comparing contributions by individual years, it must be taken into account that, since 2007, the Lagrange model has been used for the calculation of the immersion dose and inhalation dose. The Lagrange model typically yields lower dose values. Also, until 2006, the contribution of the C-14 ingestion dose (from atmospheric releases) was estimated based on the releases and data from similar nuclear power plants.

Chernobyl contamination, nuclear weapons tests and the Fukushima accident

In 2016, similarly as in previous years, Cs-137 and Sr-90 originating from the Chernobyl nuclear accident and nuclear test explosions were the only two anthropogenic radionuclides in soil that could be measured. Other isotopes that were emitted into the atmosphere after the accident at the Fukushima nuclear power plant in Japan could no longer be detected in 2016.

The contribution of Cs-137 to the external radiation was estimated to be between below 0.04 mSv per year, which is less than 4 % of the average annual external natural radiation dose in the vicinity of the Krško NPP. The values are comparable to previous estimates.

The committed effective dose to an adult due to the inhalation of radionuclides resulting from global contamination is estimated to be 0.5 nSv per year.

Traces of Cs-137 and Sr-90 resulting from nuclear tests and the Chernobyl accident were measured in individual food categories. The effective dose due to ingestion of such food was estimated at 0.14 µSv per year for Cs-137 and at 1.2 µSv per year for Sr-90 in 2016, which amounts in total to some 1.4 % of the annual effective dose due to the presence of naturally occurring radionuclides in foodstuffs (excluding K-40). The estimated dose is comparable to the doses from previous years.

CONCLUSIONS

The summary of the results for the exposure of the population in the surroundings of the Krško NPP for 2016 is presented in Table C, where the contributions of natural radiation, the effects of the Krško NPP (at the fence for atmospheric discharges and at 350 m downstream for liquid discharges), the effects of the Chernobyl contamination and nuclear weapons tests are listed.

- **in 2016, the radiation effects of the Krško NPP on the population in the immediate surroundings, determined at the fence for atmospheric discharges and at 350 m downstream for liquid discharges, were estimated at less than 0.38 µSv per year;**
- the estimated value is small compared to the two authorized dose limits for the population in the surroundings of the Krško NPP (effective dose of 50 µSv per year at a distance of 500 m (NPP fence) for all contributions via all exposure pathways and external radiation dose of 200 µSv per year at the perimeter fence of the Krško NPP);
- **the estimated value of radiation effects of the Krško NPP is approximately 0.016 % of the characteristic unavoidable background radiation.**



NEODVISNI NADZOR POOBLAŠČENIH IZVAJALCEV

POVZETEK

Opravljen je bil pregled rezultatov meritev iz programa neodvisnega nadzora obratovalnega nadzora med laboratoriji NEK, IJS in ZVD za leto 2016. Pregled je bil opravljen za izbrane emisijske vzorce tekočinskih izpustov iz odpadnih merilnih rezervoarjev WMT in plinastih izpustov iz dimnika iz RM-24 ter za vzorce iz okolja (imisije) – meritve enkratnih vzorcev savske vode in sedimentov na lokacijah Krško in Brežice. Glede na kompleksnost postopkov vzorčenja, priprave vzorcev in meritev lahko ocenimo, da so ujemanja med sodelujočimi laboratoriji zadovoljiva, saj gre pri tej primerjavi za obravnavo različnih realnih vzorcev, ki so bili sicer odvzeti na istem mestu ob istem času, vendar po različnih postopkih vzorčenja, priprave vzorcev in meritev. Za izboljšanje kakovosti primerjav ponovno predlagamo, da bi v okviru neodvisnega merilnega nadzora obe sodelujoči instituciji (IJS in ZVD) izmerili tudi specifične aktivnosti istih vzorcev sedimenta, saj lahko le tako ocenimo vpliv vzorčenja na končni rezultat. Poleg tega ponovno predlagamo, da bi pri neodvisnem nadzoru meritev vsebnosti umetnih radionuklidov v vzorcih WMT sočasno sodelovali obe neodvisni instituciji – IJS in ZVD, saj so to edini vzorci, ki vsebujejo merljive vsebnosti umetnih radionuklidov.

UVOD

Na podlagi sklepov verifikacijske komisije po 35. členu pogodbe EURATOM iz leta 2007 in v skladu z Zakonom o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Ur. l. RS 102/04, ZVISJV-UPB2) [9] in Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV10) (Ur. l. RS 20/07) [10] se izvaja neodvisni nadzor meritev obratovalnega nadzora NE Krško, ki ga razpiše in vodi upravni organ (URSJV). Namen je zagotoviti neodvisno preverjanje obratovalnega nadzora. 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 2016* obsega tri sklope. Sklopa 1 in 2 obravnavata meritve emisij, medtem ko sklop 3 obravnava primerjavo vzorčenja in meritev vzorcev iz okolja (imisijske meritve). Program meritev v vseh treh sklopih je prikazan v tabelah 1–3.

V letu 2016 sta pri neodvisnem nadzoru emisij NEK – tekočinskih izpustov iz odpadnih merilnih rezervoarjev (WMT) sodelovala laboratorija NEK kot izvajalec obratovalnega nadzora in ZVD kot izvajalec neodvisnega nadzora. Pri tem neodvisnem nadzoru se kot izvajalec na letnem nivoju izmenjujeta IJS in ZVD. Meritve vsebnosti tritija v teh vzorcih iz programa neodvisnega nadzora je izvedel IJS, Odsek O-2. V skladu s pogodbo in pripadajočo projektno nalogo mora odvzem vzorcev za redne meritve NEK in neodvisni nadzor potekati istočasno pod nadzorstvom predstavnika URSJV v vnaprej dogovorjenih terminih, vzorčevalec ZVD tedaj prevzame vzorce v NEK. Vsi izvajalci ZVD, IJS in NEK nato opravijo meritve prevzetih vzorcev po svojih postopkih.

Pri neodvisnem nadzoru emisij – plinastih izpustov NEK iz glavnega izpuha RM-24 sta v letu 2016 sodelovala laboratorija IJS kot izvajalec obratovalnega nadzora in ZVD kot izvajalec neodvisnega nadzora. Pri rednem obratovalnem nadzoru NEK mesečno pošilja filtre izvajalcu meritev (IJS). V mesecih, ko se izvaja neodvisni nadzor, pa NEK pošlje filtre najprej na ZVD. Ko na ZVD opravijo meritve, pošljejo filtre na IJS. V tem primeru so bile meritve opravljene zaporedoma na istih vzorcih. Primerjava meritev aktivnosti alfa v zračnih filtrih v tem poročilu ni obravnavana.

Pri neodvisnem nadzoru imisij – okoljskih vzorcev se istočasno vzorčujeta sediment in savska voda 2-krat letno na dveh lokacijah iz rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK (Krško in Brežice). Vzorcevalca ZVD (izvajalec obratovalnega nadzora) in IJS (izvajalec neodvisnega nadzora) vzorčujeta vsak po svojih postopkih na teh lokacijah sočasno, vzorčenje pa nadzira predstavnik URSJV. Oba izvajalca ZVD in IJS nato pripravita vzorce in opravita meritve po svojih postopkih. Pri vzorcih rek in sedimentov smo primerjali rezultate meritev z visokoločljivostno spektrometrijo gama, ki so bile



opravljene na IJS (Odsek F-2) in ZVD, poleg tega smo pri vzorcih savske vode primerjali tudi rezultate meritev tritija, ki sta jih opravila pooblašena laboratorija na Odseku F-2 in O-2 na IJS. Meritve tritija z Odseka O-2 spadajo v okvir obratovalnega nadzora, zato so v tabelah poročane pri rezultatih IJS, meritve tritija z Odseka F-2 pa so del neodvisnega nadzora in zato so ti rezultati poročani pri rezultatih meritev ZVD. Za vzorce rek in sedimentov je ZVD v okviru rednega radiološkega nadzora v okolici NEK opravil tudi analize stroncija Sr-90, kar pa se pri neodvisnem nadzoru ne preverja, zato IJS (Odsek O-2) teh meritev ni opravil.

Tabela 1: Program nadzora emisij – tekočinski izpusti (sklop 1) za leto 2016

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Odpadni merilni rezervoarji (WMT)	Kontinuirni vzorec, odvzet hkrati za NEK, za izvajalca primerjalnih meritev in za neodvisni nadzor (manj kot 0,5 L vode)	4-krat letno	četrletno 4-krat (brez joda in žlahtnih plinov)
Meritev tritija (H-3) – specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	Odpadni merilni rezervoarji (WMT)		4-krat letno	četrletno 4-krat (brez joda in žlahtnih plinov)

Tabela 2: Program nadzora emisij – plinasti izpusti (sklop 2) za leto 2016

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Glavni izpuh RM-24	Zbirni mesečni zračni filter	4-krat letno	četrletno 4-krat (brez joda in žlahtnih plinov)
Aktivnost sevalcev alfa	Glavni izpuh RM-24		2-krat letno	polletno 2-krat

Tabela 3: Program nadzora imisij (sklop 3) za leto 2016

VRSTA IN OPIS MERITVE	VZORČEVALNO MESTO	VRSTA VZORCA	POGOSTOST VZORČEVANJA	LETNO ŠT. MERITEV
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Krško	Sediment, enkratni vzorec	2-krat letno	polletno, 2-krat 2 meritvi
	Brežice		2-krat letno	
Izotopska analiza sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama	Krško	Rečna voda, enkratni vzorec	2-krat letno	polletno, 2-krat 2 meritvi
	Brežice		2-krat letno	
Meritev tritija (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	Krško		2-krat letno	polletno, 2-krat 2 meritvi
	Brežice		2-krat letno	



PRIMERJAVA REZULTATOV MERITEV

Rezultate rednih meritev izvajalcev obratovalnega nadzora in meritev neodvisnega nadzora smo med seboj primerjali z ζ -preskusom, ki je definiran kot:

$$\zeta - \text{preskus} = \frac{\text{rezultat LAB1} - \text{rezultat LAB2}}{\sqrt{(\text{negotovost LAB1})^2 + (\text{negotovost LAB2})^2}}$$

kjer je LAB1 okrajšava za prvi laboratorij in LAB2 za drugi laboratorij, ki sodeluje v primerjavi. Prednost ζ -preskusa je, da v medsebojni primerjavi poleg rezultatov posameznih laboratorijev upošteva tudi pripadajoče merilne negotovosti s faktorjem pokritja $k = 1$. Rezultate smo primerjali med seboj za vsak radionuklid posebej, pri čemer smo primerjali le tiste rezultate meritev, o katerih sta poročala oba laboratorija. V primeru, ko je bil en rezultat poročan kot meja kvantifikacije ali detekcije ($<$ vrednost), ζ -preskusa nismo naredili. Pri ovrednotenju rezultatov smo uporabili ista merila, kot jih uporabljajo pri National Physical Laboratory (NPL) iz Velike Britanije za ovrednotenje rezultatov primerjalnih meritev (tabela 4).

Tabela 4: Merila za ovrednotenje primerjave rezultatov meritev različnih izvajalcev

POGOJ	KOMENTAR
$ \zeta \leq 1,64$	rezultata se ne razlikujeta
$1,64 < \zeta \leq 1,96$	rezultata se najbrž ne razlikujeta, vendar so potrebni dodatni podatki za potrditev
$1,96 < \zeta \leq 2,58$	brez dodatnih podatkov ne moremo podati odločitve o tem, ali se rezultati razlikujejo
$2,58 < \zeta \leq 3,29$	rezultata se najbrž znatno razlikujeta, vendar so potrebni dodatni podatki za potrditev
$3,29 < \zeta $	rezultata se znatno razlikujeta

V tabelah od 5 do 10 so prikazani rezultati neodvisnih meritev izvajalcev obratovalnega nadzora in rednih meritev ter njihova medsebojna primerjava. V naši primerjavi smo predpostavili, da so rezultati primerljivi, če je ζ -preskus $|\zeta| \leq 1,96$. V tabelah od 5 do 10 so s krepkim tiskom na sivi podlagi označene vse vrednosti ζ -preskusov, ki so po absolutni vrednosti večje od 1,96.

V tabeli 5 so podane primerjave med rezultati meritev vod iz odpadnih merilnih rezervoarjev WMT (sklop 1). Poročani in primerjani so bili le umetni radionuklidi. Ker NEK pri rednih meritvah poroča o svojih rezultatih s 95-odstotno zanesljivostjo (faktor pokritja $k = 2$), so bile vse negotovosti v tabeli 5 preračunane na 68-odstotno zanesljivost (faktor pokritja $k = 1$). V skladu s priporočili EURATOM (2004/2/Euratom) poroča NEK za posamezne ključne neizmerjene radionuklide o aktivnostih, izračunanih na podlagi ene četrte meje detekcije (MDA). Te aktivnosti so v primerjalnih tabelah obarvane modro in navedene v poljih za negotovost ter jih nismo primerjali z rezultati ZVD. Oba laboratorija (NEK in ZVD) sta v teh 4 vzorcih nad mejo kvantifikacije za sevalce gama poročala le o Ag-110m, odvzetem 17. 3. 2016, ter o Co-58 in Co-60 v vzorcu, vzorčevanem 15. 12. 2016. Na drugi strani pa je ZVD pri svojih meritvah nad mejo kvantifikacije poročal tudi o Mn-54, Co-58, Co-60, Zr-95, Nb-95, Ag-110m in Cs-137 v teh štirih vzorcih. Dejstvo, da je ZVD poročal o aktivnostih nad mejo kvantifikacije za več radionuklidov kot NEK, lahko pojasnimo z različnim obsegom akreditacije NEK in ZVD. Zaradi zahtev, definiranih v dokumentu NEK-RETS, Rev. 7, 2013, je NEK akreditiran za meritve koncentracij aktivnosti večjih od $1,9E+4 \text{ Bq/m}^3$, kar je tudi razvidno iz priloge k akreditacijski listini NEK št. LP-091 z dne 19. 9. 2016 (<http://www.slo-akreditacija.si/acreditation/nuklearna-elektrarna-krsko-d-o-o/>). Vsi izmerjeni radionuklidi pri ZVD, ki jih NEK ni poročal, imajo nižje koncentracije aktivnosti. Dva izmed treh



rezultatov, ki smo jih lahko primerjali, sta sprejemljiva, rezultat za Co-60 v decembrskem vzorcu pa ima visoko vrednost za ζ -preskus zaradi premajhnih negotovosti, sami koncentraciji aktivnosti se razlikujeta za dobrih 20 %. Poleg tega je koncentracija aktivnosti Co-60 v decembrskem vzorcu nizka in zunaj obsega akreditacije NEK, kar je lahko tudi vzrok za večje razhajanje. Tritij je bil določen v vseh 4 vzorcih pri obeh sodelujočih laboratorijih. Primerjava med rezultati NEK in IJS, Odsek O-2, potrjuje dobra ujemanja pri vseh štirih vzorcih.

V tabeli 6 so podane primerjave med rezultati meritev vsebnosti radionuklidov v aerosolnih filtrih iz glavnega izpuha RM-24 (sklop 2). Ravno tako so bili poročani le umetni radionuklidi, negotovosti v tabeli pa so podane z 68-odstotno zanesljivostjo (faktor pokritja $k = 1$). V izbranih vzorcih je bilo zelo malo umetnih radionuklidov, saj IJS v mesecih, ko je potekal neodvisni nadzor, ni poročal o nobenem umetnem radionuklidu nad mejo detekcije. ZVD je poročal o meji kvantifikacije za Co-58, Co-60, Cs-134 in Cs-137 v skoraj vseh vzorcih. Edini rezultat, ki je nad mejo kvantifikacije, je Co-60, o katerem je poročal ZVD za vzorec, vzorčevan v novembru 2016. V mesečnih poročilih o radioaktivnih emisijah in dozi, ki jih pripravlja NEK na podlagi rednih nadzornih meritev emisij v NEK [7], v mesecih februar in maj ne poročajo o nobenem radionuklidu v aerosolih, v avgustu so poročali o Cs-137, v novembru pa o Nb-95, Zr-95, Ru-103 in Cs-137. O Co-60 v novembrskem vzorcu NEK ni poročal. Pri meritvah vsebnosti radionuklidov v aerosolnih filtrih iz glavnega izpuha izza RM-24 tokrat ne moremo primerjati nobenega rezultata.

Iz tabel 7 in 8, kjer so prikazani rezultati meritev IJS in ZVD za vzorce vod iz reke Save v Krškem in Brežicah (sklop 3), je bilo med seboj primerjanih 29 rezultatov, od katerih se nad mejo sprejemljivosti razlikuje 6 rezultatov. Največje razlike so pri Be-7, kjer ZVD tako kot v predhodnih letih od 2012 do 2015 sistematsko poroča o bistveno višjih vrednostih kot IJS. To je lahko posledica samega načina vzorčevanja, priprave vzorcev (morebiten zajem Be-7 iz zraka pri pripravi sušin) ali merske procedure. Pri drugih dveh radionuklidih so razhajanja bistveno manjša, poleg tega so izmerjene koncentracije aktivnosti v bližini meje kvantifikacije. Pri letošnji primerjavi v okviru neodvisnega nadzora so razhajanja med vzorci savskih vod manjša od razhajanj v letih 2015 in 2014. Nujno je treba poiskati vzroke za izjemno velika razhajanja pri Be-7. Nasprotno od spektrometrije gama se rezultati pri tritiju med obema laboratorijema dobro ujemajo.

V tabelah 9 in 10 so zbrani rezultati in primerjave meritev sevalcev gama v vzorcih sedimentov, vzorčevanih v Krškem in v Brežicah. Na obeh lokacijah je bilo med seboj primerjanih 31 rezultatov, 15 rezultatov je imelo ζ -preskus po absolutni vrednosti večji od 1,96, kar je podobno kot leta 2015, ko je 15 rezultatov od 32 imelo ζ -preskus po absolutni vrednosti večji od 1,96 in bistveno slabše, kot je bilo leta 2014, ko je imelo 9 rezultatov od 30 ζ -preskus po absolutni vrednosti večji od 1,96. Ponovno so največji odmiki pri določitvi Be-7.

Nabori poročanih radionuklidov pri obeh izvajalcih so v vseh vzorcih rečnih vod in sedimentov podobni, rezultati pri vzorcih sedimentov so tako različni, da jih težko med seboj primerjamo, razen pri vzorcu sedimentov, vzorčevanem v septembru v Krškem, kjer so vsi rezultati, razen Be-7, med seboj primerljivi. Dejstvo, da so rezultati meritev savske vode med seboj bolj primerljivi kot rezultati meritev sedimentov, ravno tako kaže, da je glavni vzrok neprimerljivosti rezultatov pri vzorcih sedimentov vzorčevanje in nehomogenost vzorčevanega materiala.


Tabela 5: Primerjava rezultatov emisijskih meritev tekočinskih izpustov iz WMT *

Vzorč. mesto	WMT											
	ZVD (gama spektrometrija), IJS, Odsek O-2 (H-3)				NEK				ζ-preskus			
Datum vzor.	17. 3. 2016	16. 6. 2016	13. 9. 2016	15. 12. 2016	17. 3. 2016	16. 6. 2016	13. 9. 2016	15. 12. 2016	Prvi vzorec	Drugi vzorec	Tretji vzorec	Četrti vzorec
Kol. vzorca (L)	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0				
Koda vzorca	RV0949516	RV1710616	RV2710916	RV3811216	17.03.2016 WMT#2	16.06.2016 WMT#2	13.09.2016 WMT#2	15.12.2016 WMT#2				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)											
Na-22												
Cr-51												
Mn-54	7,7E+1 ± 3E+1		< 7,4E+2	5,2E+2 ± 1E+2								
Fe-59												
Co-57												
Co-58		2,0E+2 ± 5E+1	< 7,4E+2	1,4E+4 ± 9E+2	3,3E+2	7,3E+2	5,8E+02	1,6E+04 ± 4E+02				
Co-60	4,5E+2 ± 5E+1	1,5E+3 ± 7E+1	< 7,9E+2	3,7E+3 ± 2E+2	5,9E+2	9,7E+2	6,6E+02	4,7E+03 ± 9E+01				-1,92
Zn-65												
Sr-85												
Y-88												
Y-92												
Zr,Nb-95												
Zr-95	2,2E+2 ± 1E+2											
Nb-95	1,7E+2 ± 1E+2											
Nb-97												
Mo-99												
Tc-99m												
Ru-103												
Ru-106												
Ag-110m	4,0E+3 ± 2E+2	2,7E+3 ± 1E+2	3,4E+2 ± 1E+2	7,3E+2 ± 9E+1	4,1E+3 ± 4,7E+2	1,0E+3	8,5E+02	6,2E+02	-0,19			
Sn-117m												
Sb-124												
Sb-125												
Te-123m												
Te-125m												
Te-127m												
Te-129m												
Te-132												
I-131												
I-133												
Cs-134	4,2E+2 ± 4E+1						4,8E+2	5,3E+02				
Cs-137	5,8E+2 ± 7E+1	2,5E+2 ± 5E+1	< 8,7E+2		8,3E+2	1,3E+3	9,9E+02	6,3E+02				
Ba-140												
La-140												
Ce-141												
Ce-144					2,5E+3							
Fe-55												
H-3	4,6E+10 ± 1E+9	5,1E+10 ± 1E+9	3,2E+10 ± 1E+9	4,9E+09 ± 5E+07	4,7E+10 ± 2,9E+9	5,0E+10 ± 6,3E+9	3,4E+10 ± 4E+09	4,5E+09 ± 6E+08	-0,29	0,11	-0,51	0,67

* 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 $\frac{1}{4}$ MDA. S krepkim tiskom na sivi podlagi so označeni ζ-preskusi, večji po absolutni vrednosti od 1,96.



Tabela 6: Primerjava rezultatov emisijskih meritev plinastih izpustov iz dimnika RM-24 *

Vzorč. mesto	RM-24															
	IJS				ZVD				ζ-preskus							
Datum vzor.	2. 2. 2016	1. 3. 2016	31. 5. 2016	28. 6. 2016	2. 8. 2016	30. 8. 2016	1. 11. 2016	29. 11. 2016	2. 2. 2016	1. 3. 2016	31. 5. 2016	28. 6. 2016	2. 8. 2016	30. 8. 2016	1. 11. 2016	29. 11. 2016
Kol. vzorca (m ³)	1341		1828		1766		1645		1341		1828		1766		1645	
Koda vzorca	K16AERM2421		K16AERM2461		K16AERM2481		K16AERM24B1		RV0380316		RV1870716		RV2670916		RV3781216	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m ³)															
Na-22																
Cr-51																
Mn-54																
Fe-59																
Co-57																
Co-58																
Co-60									< 6E-05	< 4,5E-05						
Zn-65									< 6E-05							
Sr-85																
Y-88																
Y-92																
Zr,Nb-95																
Zr-95																
Nb-95																
Nb-97																
Mo-99																
Tc-99m																
Ru-103																
Ru-106																
Ag-110m																
Sn-113																
Sn-117m																
Sb-124																
Sb-125																
Te-123m																
Te-125m																
Te-127m																
Te-129m																
Te-132																
I-131																
I-133																
Cs-134									< 6E-05	< 5,1E-05						
Cs-137									< 6E-05	< 4,1E-05						
Ba-140																
La-140																
Ce-141																
Ce-144																
Fe-55																

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


Tabela 7: Primerjava rezultatov meritev za reko Savo v Krškem *

Vzorč. mesto	Krško					
	IJS		ZVD		Prvi vzorec	Drugi vzorec
Pooblaščen organizacija					18. 6. 2015	8. 9. 2015
Datum vzorčevanja	26. 5. 2016	27. 9. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	ζ-preskus	ζ-preskus
Kol. vzorca (L)	51,79	51,12	49,00	45,60		
Koda vzorca	KI16SN151	KI16SN191	RSKRK216	RSKRK316		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)					
U-238	5,4E+00 ± 3E+00	3,7E+00 ± 1E+00		3,2E+00 ± 2E+00		
Ra-226	3,1E+00 ± 6E-01	1,8E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 2E-01	1,78	0,07
Pb-210	‡ 3,3E-01 ± 1E+00	2,4E+00 ± 4E+00	1,6E+01 ± 2E+00	9,3E+00 ± 2E+00		-1,64
Ra-228	9,7E-01 ± 5E-01	1,4E+00 ± 4E-01	1,2E+00 ± 5E-01	5,9E-01 ± 4E-01	-0,34	1,38
Th-228	6,4E-01 ± 2E-01	6,2E-01 ± 2E-01	1,9E+00 ± 5E-01		-2,42	
Th-230						
K-40	3,5E+01 ± 4E+00	4,8E+01 ± 5E+00	2,6E+01 ± 3E+00	4,2E+01 ± 3E+00	1,76	0,94
Be-7	3,8E+00 ± 2E+00	2,0E-01 ± 9E-01	7,1E+01 ± 3E+00	8,8E+01 ± 3E+00	-21,78	-30,57
I-131	5,2E+00 ± 7E-01	1,9E+00 ± 2E-01	4,2E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,32	1,41
Cs-134						
Cs-137	‡ 6,9E-02 ± 1E-01	2,8E-02 ± 1E-01	2,8E-01	2,0E-01		
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
H-3	7,3E+02 ± 8E+01	5,5E+02 ± 7E+01	7,1E+02 ± 7E+01	5,7E+02 ± 7E+01	0,19	-0,18
Sr-90	-----	-----	2,5E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 2E-01		

* Meritve tritija sta opravila pooblaščen laboratorija na Odseku F-2 in O-2 na IJS. Meritve tritija z Odseka O-2 so v tabelah poročane pri rezultatih IJS, meritve tritija z Odseka F-2 pa pri rezultatih meritev ZVD.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Tabela 8: Primerjava rezultatov meritev za reko Savo v Brežicah *

Vzorč. mesto	Brežice					
	IJS		ZVD		Prvi vzorec	Drugi vzorec
Pooblaščen organizacija					18. 6. 2015	8. 9. 2015
Datum vzorčevanja	26. 5. 2016	27. 9. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	ζ-preskus	ζ-preskus
Kol. vzorca (L)	51,85	50,05	43,4	44,6		
Koda vzorca	KI16SN351	KI16SN391	RSBRK216	RSBRK316		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)					
U-238	2,5E+00 ± 1E+00	2,9E+00 ± 5E+00		3,1E+00 ± 1E+00		-0,03
Ra-226	9,2E-01 ± 5E-01	6,9E-01 ± 4E-01	5,8E-01 ± 3E-01	1,5E+00 ± 1E-01	0,61	-1,96
Pb-210	‡ 1,0E+00 ± 1E+00	3,7E-01	2,3E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 2E+00		0,82
Ra-228	1,0E+00 ± 4E-01	1,4E+00 ± 6E-01	2,3E+00 ± 4E-01	8,5E-01 ± 3E-01	-2,13	0,82
Th-228	4,5E-01 ± 2E-01	4,8E-01 ± 3E-01	7,5E-01 ± 4E-01	9,6E-01 ± 4E-01	-0,64	-1,01
Th-230				1,6E+01 ± 9E+00		
K-40	4,1E+01 ± 4E+00	4,9E+01 ± 5E+00	3,2E+01 ± 3E+00	4,4E+01 ± 3E+00	1,65	0,89
Be-7	4,9E+00 ± 9E-01	2,0E+00 ± 4E+00	7,8E+01 ± 3E+00	2,6E+02 ± 7E+00	-25,82	-31,30
I-131	5,9E+00 ± 1E+00	1,6E+00 ± 2E-01	5,9E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 1E-01	-0,02	-0,34
Cs-134						
Cs-137	‡ 7,7E-02 ± 9E-02		2,1E-01	2,3E-01 ± 7E-02		
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
H-3	6,6E+02 ± 8E+01	6,5E+02 ± 7E+01	9,1E+02 ± 1E+02	6,9E+02 ± 9E+01	-1,94	-0,35
Sr-90	-----	-----	2,2E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 3E-01		

* Meritve tritija sta opravila pooblaščen laboratorija na Odseku F-2 in O-2 na IJS. Meritve tritija z Odseka O-2 so v tabelah poročane pri rezultatih IJS, meritve tritija z Odseka F-2 pa pri rezultatih meritev ZVD.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.


Tabela 9: Primerjava rezultatov meritev za rečni sediment v Krškem

Vzorč. mesto	Krško					
Pooblaščen organizacija	IJS		ZVD		Prvi vzorec	Drugi vzorec
Datum vzorčevanja	26. 5. 2016	27. 9. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	18. 6. 2015	8. 9. 2015
Kol. vzorca (kg)	0,52	0,40	0,059	0,060		
Koda vzorca	KI16SD151	KI16SD191	SDKRK216	SDKRK316	č-preskus	č-preskus
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)					
U-238	2,2E+01 ± 3E+00	1,8E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 7E+00	2,8E+01 ± 6E+00	-0,97	-1,65
Ra-226	2,9E+01 ± 3E+00	3,2E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 8E-01	2,6E+01 ± 7E-01	-1,30	1,70
Pb-210	‡ 3,2E+00 ± 1E+01	5,6E+01 ± 3E+00	7,5E+01 ± 7E+00	6,6E+01 ± 7E+00		-1,32
Ra-228	2,2E+01 ± 7E-01	2,3E+01 ± 8E-01	3,4E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00	-8,15	-1,83
Th-228	2,2E+01 ± 6E-01	2,3E+01 ± 9E-01	2,9E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00	-4,14	-0,23
Th-230		2,6E+01 ± 6E+00				
K-40	2,7E+02 ± 3E+01	2,8E+02 ± 3E+01	4,1E+02 ± 2E+01	3,1E+02 ± 2E+01	-4,20	-0,76
Be-7	1,1E+01 ± 9E-01	5,3E+01 ± 4E+00	8,5E+01 ± 4E+00	6,3E+01 ± 4E+00	-18,11	-2,06
I-131		2,8E-01 ± 1E-01				
Cs-134						
Cs-137	2,3E+00 ± 2E-01	5,6E+00 ± 4E-01	7,7E+00 ± 4E-01	5,6E+00 ± 4E-01	-12,12	-0,08
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
Sr-90	-----	-----	2,5E-01 ± 1E-01	7,3E-01 ± 2E-01		

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

Tabela 10: Primerjava rezultatov meritev za rečni sediment v Brežicah

Vzorč. mesto	Brežice					
Pooblaščen organizacija	IJS		ZVD		Prvi vzorec	Drugi vzorec
Datum vzorčevanja	26. 5. 2016	27. 9. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	18. 6. 2015	8. 9. 2015
Kol. vzorca (kg)	0,46	0,48	0,071	0,066		
Koda vzorca	KI16SD351	KI16SD191	SDBRK216	SDBRK316	č-preskus	č-preskus
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)					
U-238	2,1E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 3E+00	1,5E+01 ± 4E+00	2,3E+01 ± 5E+00	1,17	-0,44
Ra-226	3,5E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 6E-01	2,4E+01 ± 6E-01	2,47	2,22
Pb-210	5,1E+01 ± 2E+01	1,9E+01 ± 2E+01	4,0E+01 ± 5E+00	4,0E+01 ± 5E+00	0,55	-1,30
Ra-228	2,6E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 6E-01	2,6E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 1E+00	0,08	-4,04
Th-228	2,5E+01 ± 7E-01	2,1E+01 ± 5E-01	2,3E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	1,69	-2,34
Th-230						
K-40	3,2E+02 ± 3E+01	2,5E+02 ± 2E+01	3,2E+02 ± 2E+01	3,0E+02 ± 2E+01	0,12	-2,09
Be-7	5,1E+01 ± 3E+00	1,5E+01 ± 1E+00	1,6E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00	11,17	-6,63
I-131						
Cs-134						
Cs-137	5,6E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 1E-01	3,1E+00 ± 2E-01	2,7E+00 ± 2E-01	6,19	-3,69
Co-58						
Co-60						
Cr-51						
Mn-54						
Zn-65						
Nb-95						
Ru-106						
Sb-125						
Sr-90	-----	-----	1,8E+00 ± 3E-01	2,9E+00 ± 4E-01		



DISKUSIJA

Pooblaščenim laboratorijem redno in v primernem obsegu sodelujejo na mednarodnih primerjalnih meritvah, kjer z naborom različnih vzorcev pokrivajo vse ključne matrike vzorcev iz programa nadzora radioaktivnosti. Ti rezultati so zbrani na priloženi zgoščenci v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291, marec 2017* v poglavju *Tabele rezultatov primerjalnih meritev*. Ob rezultatih so podana tudi ovrednotenja in ocene uspešnosti, kot so jih podali izvajalci primerjalnih meritev. V skladu z zahtevami standarda ISO/IEC 17025:2005, po katerem so vsi izvajalci akreditirani za svoje dejavnosti, morajo akreditirani laboratoriji svoje rezultate primerjalnih meritev ovrednotiti ter v primeru razhajanj poiskati vzroke in uvesti ustrezne korektivne ukrepe in voditi zapise. Vse to strokovni ocenjevalci natančno pregledujejo ob obiskih akreditacijskih služb. Kakovost izvajanja primerjalnih meritev ocenjujejo akreditacijske službe in je pogoj za vzdrževanje obsega akreditacije.

Med primerjalnimi meritvami in neodvisnim nadzorom je ključna razlika. Pri mednarodnih medlaboratorijskih primerjavah vzorčevanja ni, laboratoriji dobijo v analizo pripravljene vzorce, kar pomeni, da so homogeni in da so referenčne vrednosti dobro definirane in izmerjene na neodvisen način. V laboratoriju opravijo le zadnjo fazo priprave vzorcev – skladno s svojimi postopki jih zapakirajo v ustrezne posodice, določijo podatke za analizo ter izmerijo in analizirajo vsebnosti radionuklidov. Pri neodvisnem nadzoru pa laboratoriji opravijo tudi vzorčevanje in celotno pripravo vzorcev, ki med drugim vključuje tudi sušenje in homogenizacijo. Neodvisni nadzor torej daje primerjavo celotnega postopka, ki vključuje vzorčevanje, pripravo, meritve in izračun aktivnosti detektiranih radionuklidov.

Na podlagi tega lahko sklenemo, da je tovrstna primerjava vzorcev iz okolja zelo kompleksna in zahteva zelo podrobno obravnavo, če želimo ovrednotiti kvaliteto poročenih rezultatov meritev. Okoljski vzorci so nehomogeni, poleg tega je tudi matrika vzorca slabo definirana. Po vzorčevanju se vzorci obdelajo v laboratorijih in pripravijo za analizo. Ker so postopki vzorčevanja in priprave vzorcev za analizo različni v pooblaščenih laboratorijih, lahko pričakujemo dodatno neujemanje med merskimi rezultati, na kar vsa leta opozarjajo sistematske razlike pri rezultatih za Be-7 in različne radionuklide iz uranove in torijeve razpadne verige. Rednih mednarodnih primerjav postopkov vzorčevanja, ki bi potrjevali primerljivost, ni.

Rezultati medlaboratorijskih primerjav in dodatne primerjalne študije, ki smo jo v letu 2015 izvedli v okviru internega medsebojnega preverjanja kakovosti rezultatov meritev, potrjujejo, da so merski postopki med IJS in ZVD na istih vzorcih skladni in primerljivi. Zato lahko velike razlike med rezultati meritev vsebnosti radionuklidov v vzorcih sedimentov pripisujemo nehomogenosti vzorčevanega materiala, saj vzorčevalci IJS in ZVD niso opravili vzorčevanja na popolnoma enak način in na isti mikrolokaciji. Na podlagi teh sklepov predlagamo, da bi obseg neodvisnega merilnega nadzora razširili še na izmenjavo vzorcev sedimentov, kjer so medsebojne razlike največje. Tako bi izmerili aktivnosti na istih vzorcih in bi lahko ocenili vpliv vzorčevanja na končni rezultat.

Pri neodvisnem nadzoru emisijskih meritev z vzorčenjem pred RM-24 je pri plinastih izpustih v dimniku RM24 vsebnost radionuklidov premajhna, da bi opravili kakovostno primerjavo. V letošnjem letu na primer nismo mogli primerjati niti enega rezultata. Ravno tako ne moremo narediti kakovostne primerjave pri neodvisnem nadzoru tekočinskih izpustov iz WMT, saj ima laboratorij NEK bistveno višje detekcijske meje in poroča o manj izmerjenih radionuklidih. Tako smo lahko letos primerjali le 3 radionuklide, določene z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Ker pri teh vzorcih dodatne priprave ni, oziroma je minimalna, bi načeloma morali biti ti rezultati med seboj bistveno bolj primerljivi.

Tako kot v predhodnih letih ponovno predlagamo, da bi pri neodvisnem nadzoru vzorcev WMT sočasno sodelovali obe neodvisni inštituciji – IJS in ZVD, saj so to edini vodni vzorci, ki lahko vsebujejo merljive koncentracije aktivnosti umetnih radionuklidov. S tem bi pridobili dodatno primerjavo med IJS in ZVD pri vzorcih, ki imajo povišane vsebnosti radionuklidov. Ker nobena izmed teh dveh institucij ne opravlja rednih meritev teh vzorcev, bi oba laboratorija pridobila dodatne dragocene izkušnje pri analizi spektrov s povišano vsebnostjo umetnih radionuklidov ter s tem izboljšala usposobljenost in pripravljenost na morebitne izredne dogodke. Poleg tega predlagamo, da bi vzorce za primerjavo odvzeli med rednim remontom NEK in neposredno po njem, ko je v vzorcih lahko več umetnih radionuklidov, kar omogoča bolj kakovostno primerjavo.



Glede na kompleksnost postopkov lahko kljub vsemu trdimo, da so ujemanja med izvajalci obratovalnega nadzora in neodvisnega nadzora zadovoljiva, saj gre tu za obravnavo različnih realnih vzorcev, ki so bili sicer odvzeti na istem mestu ob istem času, priprava za analizo in postopki analize se razlikujejo v obeh laboratorijih, na primer pri sedimentih je bila analizirana bistveno različna količina vzorca v laboratorijih IJS in ZVD. Poleg tega te primerjave potrjujejo, da vzorčevanje največ prispeva k razpršenosti in različnosti merskih rezultatov, pri merilni negotovosti pa ta prispevek ni upoštevan.

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 nam daje le zelo grobo oceno sprejemljivosti poročenih rezultatov meritev. Poleg tega je bila pri plinastih emisijah iz glavnega izpuha vsebnost radionuklidov v letu 2016 prenizka, da bi lahko opravili kakršno koli primerjavo. Opažena neskladja med poročanimi rezultati pooblaščenih izvajalcev pri neodvisnem nadzoru imisij v okolju lahko v veliki meri pripišemo vzorčevanju in nehomogenosti vzorčevanega materiala. Tako kot v preteklih letih, sta v diskusiji tudi letos priprava vzorca in predvsem vzorčevanje poudarjena kot parametra, ki lahko bistveno vplivata na rezultat meritve, zato bi bilo v prihodnje tema komponentama meritev smiselno nameniti dodatno pozornost.

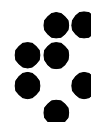
Na podlagi rezultatov primerjav v okviru neodvisnega nadzora v letošnjem in predhodnih letih ponovno poudarjamo naslednje sklepe:

- ker se rezultati pri določitvi vsebnosti Be-7 sistematsko razlikujejo tako v vzorcih sedimentov kot v vzorcih rečnih vod, predlagamo, da obe sodelujoči inštituciji (IJS in ZVD) preverita svoje postopke vzorčevanja, priprave vzorcev in meritev, vključno z jedrskimi podatki za Be-7, ter poiščeta in ovrednotita morebitne vzroke za ta razhajanja;
- predlagamo, da bi v okviru neodvisnega merilnega nadzora obe instituciji izmenjali vzorce in izmerili specifične aktivnosti tudi na istih vzorcih sedimentov, saj lahko le tako ocenimo vpliv vzorčevanja na končni rezultat; podoben predlog je, da bi vsaka institucija odvzela in pripravila večji vzorec in ga nato razdelila na dva dela za ločeni analizi v obeh laboratorijih;
- predlagamo, da bi v prihodnje pri neodvisnem nadzoru tekočinskih emisij (WMT) sodelovala oba laboratorija (IJS in ZVD), saj bi tako pridobili dodatno primerjavo med IJS in ZVD pri vzorcih, ki imajo povišane vsebnosti radionuklidov; s tem bi oba laboratorija pridobila dodatne izkušnje pri analizi spektrov s povišano vsebnostjo umetnih radionuklidov in tako izboljšala usposobljenost in pripravljenost na morebitne izredne dogodke;
- poleg tega predlagamo, da bi vzorce za primerjavo odvzeli med rednim remontom NEK in neposredno po njem, ko je v vzorcih lahko več umetnih radionuklidov, kar omogoča bolj kakovostno primerjavo.

**OVREDNOTENJE IZPUSTOV IZ NEK
IN PRIMERJAVA Z MERITVAMI V OKOLJU –
STANJE PRED POLNITVIJO
AKUMULACIJSKEGA JEZA ZA HE BREŽICE**



Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija





OVREDNOTENJE IZPUSTOV IZ NEK IN PRIMERJAVA Z MERITVAMI V OKOLJU – STANJE PRED POLNITVIJO AKUMULACIJSKEGA JEZA ZA HE BREŽICE

Odgovorni za izdajo: dr. Benjamin Zorko

Urednika: dr. Benjamin Zorko in mag. Denis Glavič - Cindro

Recenzija: mag. Matjaž Koželj, prof. dr. Žiga Šmit, mag. Borut Breznik

Lektoriral: dr. Jože Gasperič
monografija je lektorirana po mednarodnem standardu ISO 80000

POGLAVJE

AVTORJI

Reka Sava

mag. Matjaž Stepišnik, IJS

Voda iz črpališč in vrtin

dr. Toni Petrovič, IJS

Padavine in suhi used

dr. Jasmina Kožar Logar, IJS

Zrak

dr. Marko Giacomelli, ZVD

Zunanje sevanje

Boštjan Črnič, dipl. inž. fiz., IJS

Radionuklidi v hrani

dr. Benjamin Zorko in dr. Marijan Nečemer, IJS

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

Prva izdaja: marec 2017

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

539.16:502.175(497.4)
621.311.25(497.4Krško)

OVREDNOTENJE izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v
okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jeza za HE Brežice /
[avtorji Matjaž Stepišnik ... [et al.] ; urednika Benjamin Zorko in
Denis Glavič-Cindro]. – Ljubljana : Institut Jožef Stefan, 2017

ISBN 978-961-264-108-5
1. Stepišnik, Matjaž 2. Zorko, Benjamin
289594112

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 ©.

Naklada: 56 izvodov



VSEBINA

Predgovor urednika

1	Reka Sava	1 / 108
2	Voda iz črpališč in vrtin	21 / 108
3	Padavine in suhi used	39 / 108
4	Zrak	51 / 108
5	Zunanje sevanje	71 / 108
6	Radionuklidi v hrani	87 / 108
7	Reference	105 / 108





PREDGOVOR UREDNIKA

Monografija *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice* obravnava in razlaga neposredne merske rezultate radioaktivnosti na merilnih postajah v okolici Nuklearne elektrarne Krško (NEK) v obdobju ob koncu 28. gorivnega ciklusa in v začetnem obdobju 29. gorivnega ciklusa delovanja jedrske elektrarne.

V monografiji obravnavamo merske izide in modelske izračune za prikaz stanja v okolju z gledišča vsebnosti radioaktivnih izotopov, ki so tam zaradi prvobitne radioaktivnosti, splošne onesnaženosti zaradi jedrskih poskusov in nesreč v jedrskih objektih, oziroma z jedrskimi snovmi, prav tako pa radioaktivni izotopi lahko pridejo v okolje zaradi kontroliranih izpustov iz jedrskih elektrarn, skladišč jedrskih odpadkov, rudarjenja, industrijske, tehnološke, medicinske in raziskovalne uporabe. Kontinuirno zbiranje in ovrednotenje merskih podatkov (obdobjna povprečja) omogoča prikazovanje časovnih usmeritev ter na ta način tudi vzdržnost pri trajni umestitvi jedrskega objekta v življenjski prostor. Pri tem uporabljamo prikladne modele, ki imajo vgrajene kompleksne matematične in numerične algoritme, ki ustrezajo fizikalnim procesom. Tako izračunamo predvidene koncentracije aktivnosti ali specifične aktivnosti izbranih radionuklidov v tistih medijih, preko katerih se nato radioaktivnost lahko vnese v človekovo telo (ingestija, inhalacija) ali pa obdaja človekovo telo (zunanje sevanje). Z upoštevanjem porabe ali časa zadrževanja v izbranem mediju lahko ocenimo predvidene letne učinkovite doze ali okoljski dozni ekvivalent zračnih in tekočinskih izpustov iz NEK na referenčno skupino ljudi po starostnih skupinah (odrasli, otroci in dojenčki), ki živijo v neposredni bližini jedrske elektrarne. Predvidene koncentracije aktivnosti ali specifične aktivnosti radionuklidov nato primerjamo z izmerjenimi vrednostmi v vzorcih iz okolja na istih lokacijah v okolici NEK. Rezultati meritev v okolju v okolici NEK pa se še kritično primerjajo z rezultati meritev na izbrani referenčni ali kontrolni lokaciji (Ljubljana, Dobova) ter drugod po Sloveniji.

Koncentracije aktivnosti (tekočine, zrak) ali specifične aktivnosti (hrana, zemlja) sevalcev gama so v okolju nizke, zato pri vzorčevanju in pripravi vzorcev uporabljamo metode, s katerimi koncentriramo sevalce gama v vzorcu (filtriranje, izparevanje). Kljub vsemu se večkrat zgodi, da je merski rezultat pod mejo kvantifikacije. To pomeni, da sevalec v spektru ni bil identificiran ali pa je bil signal najden, vendar je bil določen z veliko negotovostjo. Če je negotovost merskega rezultata večja od opažene vrednosti, to pomeni, da znaten del verjetnostne porazdelitve, ki opisuje pravo vrednost, leži v območju negativnih vrednosti, ki pa ne opisujejo realnega fizikalnega procesa. Z leti smo z raziskavami našli ustrezne načine računanja in poročanja o majhnih vrednostih. Pri tem smo bili prepoznani tudi v mednarodnem okolju [47]. Nič manj pa ni pomembna vpetost skupine za meritve ionizirajočega sevanja Instituta "Jožef Stefan" (IJS) v metrološko okolje. Laboratorij za meritve radioaktivnosti (LMR) je nosilec nacionalnega etalona za področje ionizirajočega sevanja (z enoto Bq) pri Uradu Republike Slovenije za meroslovje (MIRS) [75]. V letu 2015 so bili na podlagi naših rezultatov meritev pri interkomparacijah najvišjega nivoja, na nivoju regionalnih metroloških organizacij in Mednarodnega biroja za mere in uteži (BIPM), potrjeni in usklajeni predlogi najboljših merskih zmoglosti (CMC) LMR za aktivnosti (Bq/kg) za Pb-210, Ra-226 in U-238 v fosforgipsu ter K-40 in Cs-137 v bioti. Vrednosti so bile novembra 2015 vpisane v bazo ključnih primerjav KCDB pri BIPM. Tako dokazujemo visoko znanstveno raziskovalno ter strokovno usposobljenost tako za izvedbo meritev, o njihovem poročanju in ovrednotenju. Takšna angažiranost skupine pa omogoča tudi drugim inštitucijam v RS, da sodelujejo pri izvajanju evropskih raziskovalnih projektov na področju ionizirajočega sevanja (evropska programska skupina CONCERT).

Monografija *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice* je sestavljena iz sedmih poglavij, v katerih kritično obravnavamo značilne prenosne poti razširjanja radionuklidov po vodi, zraku, zemlji, pri uživanju hrane in direktnem zunanjim sevanjem. Poglavja se vsebinsko dopolnjujejo in prepletajo. Za to monografijo je značilno, da so v njej kritično ovrednoteni mediji, ki se bodo v letu 2017 spremenili zaradi polnitve akumulacijskega jezera za HE Brežice. V prvem poglavju tako razlagamo vpliv tekočinskih izpustov iz NEK na okolico in referenčno skupino ljudi (ribiči), to je do vnosa radionuklidov v telo (efektivna doza zaradi notranjega obsevanja) in tudi zunanje sevanja (efektivna doza zaradi zunanje obsevanja). Tekočinski izpusti



lahko vplivajo na pitno vodo zaradi mogočega stika Save s podtalnico, kar se obravnava v drugem poglavju. Za indikacijo tekočinskih izpustov se analizira tudi voda iz vrtin, ki so zelo blizu Save, pri čemer se ta voda ne uporablja za pitje ali kot tehnološka voda. Za potrditev morebitnega vpliva pa se analizira voda iz črpališč, zajetij in vodovodnih sistemov v krški in brežiški občini. Ker so nekatera črpališča plitva, zemljina pa prepustna, je mogoč vpliv na podtalnico tudi po zračni prenosni poti. Pri tem je mogočih več poti zunanjega in notranjega obsevanja. V tem poglavju so predstavljeni tudi rezultati dodatnega rednega nadzora H-3 v vodi iz vrtin v neposredni bližini brežin akumulacijskega jezera za HE Brežice. Pri usedih (3. poglavje) se obravnavata padavinski in suhi used na vazelinskih ploščah. 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. Če se takšen used zadrži na tleh, pa so prebivalci lahko izpostavljeni še zunanjemu sevanju. Transport in razširjanje plinov in aerosolov obravnava 4. poglavje. Pri tem je glavno orodje numerični izračun razredčitvenih koeficientov po Lagrangeevem modelu, ki realno opisuje razširjanje radioaktivnih snovi od točke izpusta na razgibanih in zahtevanih terenih ter območjih, kjer je hitrost vetra majhna (okolica NEK). V tem poglavju se oceni prispevek inhalacije in zračne imerzije zaradi atmosferskih izpustov iz NEK ob ograji NEK, kritično pa se komentirajo okoljske meritve z zračnimi črpalkami (aerosolni in ogljeni filtri). V petem poglavju se obravnava zunanje sevanje, ki izvira iz useda na tleh. Pri tem se primerja direktno ionizirajoče sevanje, ki se meri s termoluminiscenčnimi dozimetri v okolju in spektroskopskimi meritvami vzorcev zemlje. Naslednje, 6. poglavje opisuje in razlaga vplive na prebivalstvo zaradi uživanja hrane, ki je pridelana na krško-brežiškem polju. Obravnavo smo dopolnili s statistično analizo podatkov, kar je dopolnitev kritične presoje podatkov in s tem tudi dodana vrednost k celotni monografiji. Statistična analiza omogoča razvrščanje podatkov v skupine z značilnimi parametri ter medsebojno primerjavo. V zadnjem poglavju so zbrane vse reference, uporabljene v monografiji *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice*.

Avtorji poglavij v monografiji na izviren in znanstveno-strokoven način kritično komentirajo rezultate meritev na izvoru in v okolju ter izračunane učinkovite doze in tako ocenjujejo mogoč vpliv na posameznika iz prebivalstva. Če povzamemo izsledke poglavij, lahko sklenemo, da prebivalci, ki živijo na krško-brežiškem polju, v vaseh v celotnem okrožju v okolici NEK in ob ograji NEK, niso nič bolj izpostavljeni ionizirajočemu sevanju kot prebivalci drugod po Sloveniji. Ocenjujemo, da je prispevek NEK zaradi zračnih in tekočinskih izpustov zanemarljiv tako z biološkega kot tudi statističnega vidika. Prispevki nekaterih radionuklidov (H-3, C-14) so zelo majhni, drugi (Cs-137, Sr-90, I-131...) pa so v primerjavi s splošno onesnaženostjo nemerljivi. Elektrarna ima tako večletni kontinuirni varni način obratovanja s kontroliranimi majhnimi izpusti v okolje in zanemarljivim vplivom na prebivalstvo v okolici NEK in ob sami ograji.

Obravnava emisijskih in imisijskih rezultatov meritev in izračun letnih učinkovnih doz izpostavljenosti ionizirajočemu sevanju ima podlago v slovenski zakonodaji z vidika varstva pred sevanji, ki zahteva takšno ovrednotenje (pravilnik *JV 10* [10]), in v znanstvenem in strokovnem izražanju, saj lahko le tako v realnih razmerah preverjamo različne znanstvene metode in načine ovrednotenja merskih podatkov. Avtorji obravnavajo problematiko izpustov iz jedrske elektrarne ter morebitne vplive na ljudi v bližnji in širši okolici NEK ter skladno z zakonodajo podajajo neodvisna in znanstveno-strokovno utemeljena mnenja. Avtorji monografije so znanstveniki in/ali strokovnjaki s področja jedrske fizike, kemije in biologije, poleg tega pa so tudi strokovnjaki s področij jedrske varnosti in zaščite pred ionizirajočimi sevanji.

Monografija *Ovrednotenje izpustov iz NEK in primerjava z meritvami v okolju – stanje pred polnitvijo akumulacijskega jezera za HE Brežice* je samostojna priloga poročila *Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2016*, interna oznaka 7/2017, Ljubljana, marec 2017.

Monografijo sta neodvisno recenzirala ("peer review") prof. dr. Žiga Šmit in mag. Matjaž Koželj.

Prof. dr. Žiga Šmit, zaposlen na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ter Institutu "Jožef Stefan", Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, je diplomiral (1977), magistriral (1980) in doktoriral (1985) iz fizike na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Raziskovalno se ukvarja z metodami ionskih spektroskopij (Ion Beam Analysis), zlasti z razvojem metode PIXE. Opravlja tudi arheometrične meritve rimskega, srednjeveškega in modernega stekla, kovin iz različnih obdobj (npr.



barvnih kovin pri rimski vojaški opremi in srednjeveških novcev), keramike in pigmentov. Vodil je več projektov za analize umetnostnozgodovinskih in arheoloških materialov, sedaj je član programske skupine "Premična arheološka dediščina: arheološke in arheometrične raziskave" (vodja J. Istenič iz NMS). Na Oddelku za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, kjer je zaposlen od leta 1998, vodi visokošolski študij Fizikalna merilna tehnika, kjer predava osnovni kurz Fizika I in II. Na Oddelku za arheologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani predava predmet Arheometrija II, sodeluje pa tudi z restavratorskim oddelkom Akademije za likovno umetnost in oblikovanje, kjer je odgovoren za predmet Optične metode. Na mednarodnem področju je sodeloval v mrežah COST in CEEPUS, projektih IAEA in pri bilateralnih projektih.

Mag. Matjaž Koželj ima več kot dvajsetletne izkušnje na področju jedrske tehnologije in varstva pred sevanji. Pri vrednotenju vplivov NE Krško na okolje in prebivalstvo sodeluje že več kot deset let. Je pooblaščen 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. Je 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.

dr. Benjamin Zorko, odgovorni urednik





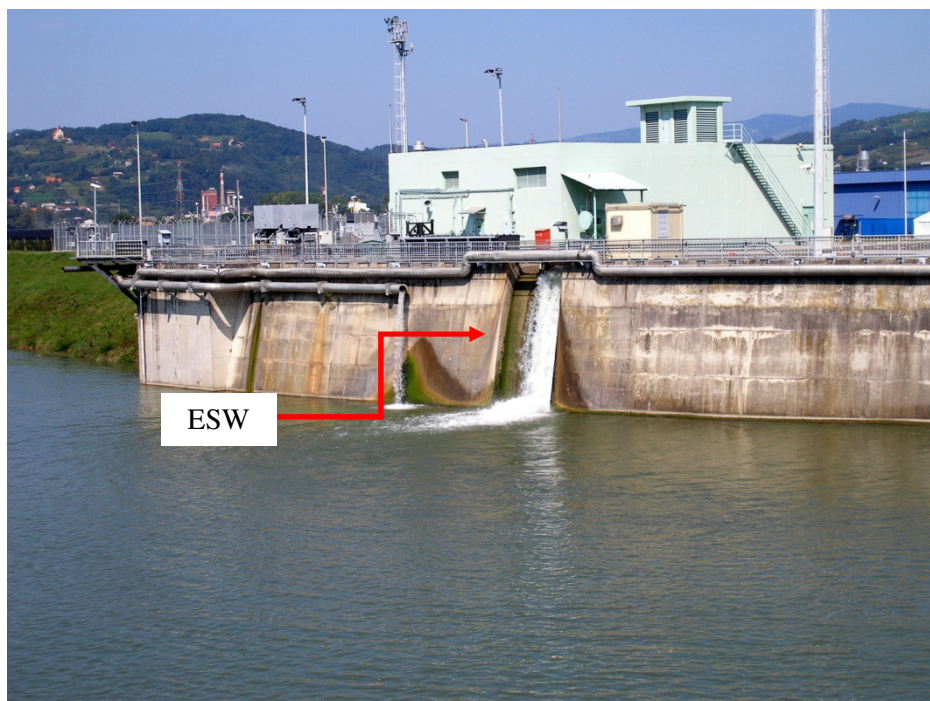
1 REKA SAVA

POVZETEK

V poglavju so predstavljeni in ovrednoteni rezultati meritev radioaktivnosti v reki Savi in ocena vplivov na prebivalstvo po savski prenosni poti na podlagi meritev tekočinskih izpustov in z uporabo modela. V letu 2016 je bila skupna aktivnost tekočinskih izpustov v okolje nekoliko višja kot v letih 2015 in 2014. Najvišjo izpuščeno aktivnost je imel tritij, ki je 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 vpliv NEK v okolju nemerljiv oziroma nedoločljiv. Vsebnosti cezija in stroncija nizvodno od NEK zelo verjetno nista posledica vpliva NEK, ampak neenakomerne globalne kontaminacije. Prisotnost joda je posledica uporabe tega izotopa v terapevtske in diagnostične namene v bolnišnicah. Letna efektivna doza zaradi zadrževanja na obrežju (zunanje sevanje) in ingestije rib za referenčno skupino prebivalstva po savski prenosni poti je manjša od 0,3 μSv na leto. Pri tem največ prispevajo k dozi tekočinski izpusti C-14.

UVOD

Nadzorni program meritev na reki Savi obsega meritve v okolju (imisije) in meritve tekočinskih izpustov na samem viru v NEK (emisije). Meritve v okolju omogočajo splošno oceno stanja na območju okoli NEK, oceno morebitnih vplivov nizvodno od elektrarne in tudi vplivov zunanjih dogodkov, kot je bila černobilska nesreča. V ta namen se izvaja vzorčevanje in meritve vode, suspendirane snovi v vodi, sedimentov in vodne biote. Lokacije vzorčevanja so postavljene nizvodno in vzdvodno od NEK, tako da je mogoče ločiti med drugimi zunanjimi vplivi in dejanskimi vplivi elektrarne.



Slika 1.1: Izhod bistvene oskrbne vode (ESW), kjer se izpuščajo radioaktivne tekočine v reko Savo



NEK pri normalnem obratovanju občasno kontrolirano izpušča v okolje tekočine iz izpustnih rezervoarjev. Tekočine z razmeroma nizkimi aktivnostmi se izpuščajo v reko Savo skozi kanal bistvene oskrbne vode (ESW - Essential Service Water), ki je pred jezom elektrarne (slika 1.1). Preko kanala 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 vzorčevalnih lokacijah, razen pri tritiju, skoraj vedno pod detekcijsko mejo meritev v okolju.

V reki Savi so prisotni tudi naravni radionuklidi uranove in torijeve razpadne verige ter radioaktivni kalij (K-40). V vzorcih je vedno berilij (Be-7), ki je kozmogene narave. Poleg tega sta prisotna še tritij (H-3) in radioaktivni ogljik (C-14), ki sta tako kozmogene kot antropogene narave. Poleg naravnih izotopov so zaradi globalne kontaminacije in medicinske uporabe radioaktivnih snovi povsod v okolju tudi umetni radionuklidi: stroncij (Sr-90), cezij (Cs-137) in jod (I-131).

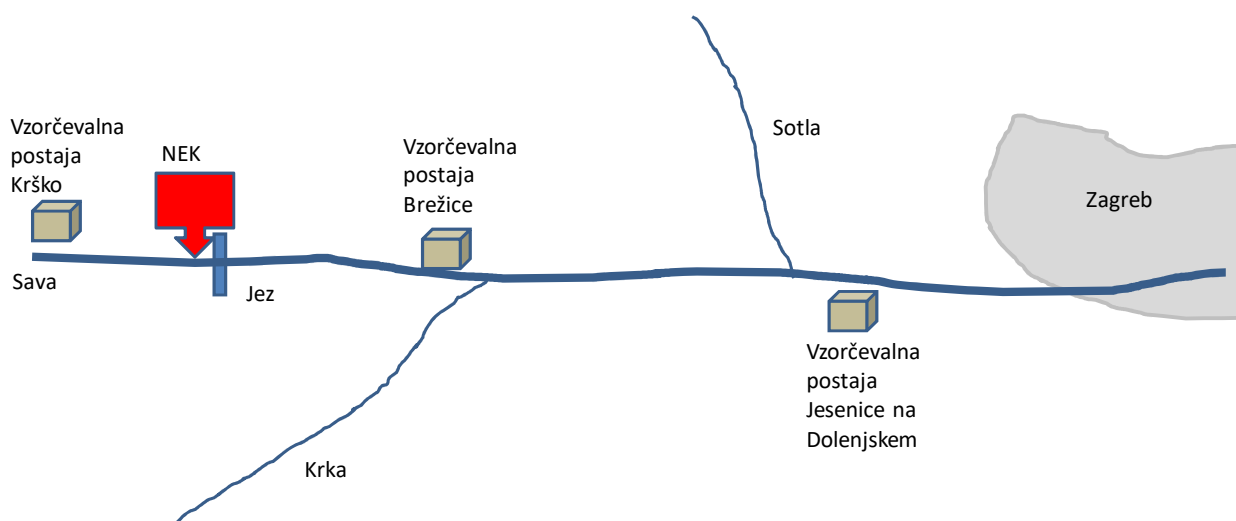
Vplive na okolje ocenjujemo na podlagi neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo modela, ki je natančneje opisan v poročilu *Izpostavitve referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo (IJS-DP-10114)* [25], [26]. Model upošteva najpomembnejše prenosne poti in načine izpostavitve referenčne skupine iz prebivalstva. Ocena vpliva na okolje ne vključuje ovrednotenja prejetih doz zaradi naravnih radionuklidov, saj ti niso del izpustov NEK.

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

ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Kontinuirno vzorčevanje reke Save je potekalo na treh lokacijah, in sicer v Krškem pred papirnico (3,2 km vzvodno od NEK na levem bregu, slika 1.2), v Brežicah (8,2 km nizvodno od NEK in 400 m nizvodno od starega mostu na levem bregu) in v Jesenicah na Dolenjskem (17,5 km nizvodno od NEK na desnem bregu).

Na referenčnem odvzemnem mestu Krško (v črpalni postaji za tehnološko vodo papirnice Vipap) deluje kontinuirni vzorčevalnik. Meritve vzorcev s te lokacije se izvajajo četrtletno, razen za tritij, ki se meri mesečno.



Slika 1.2: Shematski prikaz obstoječih vzorčevalnih postaj ob reki Savi



Na odvzemnem mestu Brežice deluje kontinuirni vzorčevalnik z avtomatskim zajemom vode. Vse meritve vzorcev s te lokacije se izvajajo mesečno. Kontinuirno vzorčevanje v Brežicah omogoča odvzem enodnevnega vzorca v primeru izrednega dogodka. Voda se črpa v prelivno zbirno posodo. Iz prelivne posode manjša črpalka kontinuirno črpa vodo in jo naliva v eno izmed štirih zbirnih posod. Na dan se nabere okoli 3,2 litra vode. Vzorčevalec nato vsake tri dni iz vsake zbirne posode v vzorčevalno posodo (mesečni vzorec 50 litrov) natoči 1,6 litra vode, ostalo pa odlije. V Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem se meritve vzorcev izvajajo mesečno. Vzorčevanje je opravljal NEK, meritve vzorcev pa so opravljale neodvisne organizacije ZVD, IRB in IJS.

Kontinuirna vzorčevanja in meritve sestavljenih dnevnih vzorcev savske vode so namenjene predvsem za določanje povprečne koncentracije aktivnosti dolgoživih izotopov. Pri tem se ločeno merita voda in filtrski ostanek, ki se kot groba suspendirana snov predhodno odstrani iz vode s filtriranjem.

Kontinuirno vzorčevanje ne omogoča ovrednotenja kratkoživih izotopov. Zato se neodvisno izvaja tudi kvartalno vzorčevanje enkratnih vzorcev nefiltrirane vode (50-litrski vzorci). Iz rezultatov teh meritev lahko natančneje ocenimo koncentracije aktivnosti kratkoživega joda ($I-131$). Tako je potekal ločen odvzem enkratnih vzorcev vode na štirih lokacijah, in sicer v Krškem pod mostom, v Brežicah pod starim mostom, v Jesenicah na Dolenjskem in v kraju Podsused pri Zagrebu (okrog 30 km nizvodno od NEK). Vzorčevanje in meritve enkratnih vzorcev vode sta opravila ZVD in IRB.

Za ovrednotenje vplivov preko savske prenosne poti se spremlja kvartalno tudi radioaktivnost v sedimentih. Pri sedimentih so pomembne dolgoletne usmeritve povezane z globalno kontaminacijo in tudi informacija o ničelnem stanju v primeru, da bi prišlo do resnejših izpustov iz NEK. Vzorčevanje sedimentov je potekalo na šestih lokacijah, in sicer vzvodno od NEK pod mostom (na levem bregu), pod jezom v NEK (desni breg), pri Pesju (na levem bregu), pri Brežicah (na levem bregu), pri Jesenicah na Dolenjskem (na desnem bregu) in na Hrvaškem v kraju Podsused pri Zagrebu.

Poleg spremljanja radioaktivnosti površinskih vod in sedimentov je pomemben indikator kontaminacije v Savi tudi vodna biota (ribe). Ulov rib je potekal v Krškem, Brežicah, Jesenicah na Dolenjskem ter v Republiki Hrvaški v krajih Podsused in Otok. Četrletno vzorčevanje in meritve rib v Sloveniji je opravil ZVD, na Hrvaškem pa IRB.

Pri vzorcih vode, sedimentov in rib ločeno potekajo meritve sevalcev gama in čistih sevalcev beta ($H-3$, $C-14$ in $Sr-90$). Nadzor $C-14$ v tekočinskih izpustih NEK se redno izvaja kvartalno od leta 2013 [18], [19], [21], [22]. $C-14$ v savski vodi in v ribah v tem letu ni bil merjen. $C-14$ v savski vodi se je spremljal samo v letu 2013 [17], v ribah pa v letu 2014 [20].

Vsebnost sevalcev gama v vzorcih reke Save se je določala z visokoločljivostno spektrometrijo gama po postopku izvajalca meritev, ki vključuje pripravo vzorca s suhozračnim sušenjem in homogenizacijo. S tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo (LSC) je bila merjena koncentracija aktivnosti tritija ($H-3$) v vodnem destilatu savske vode. Z metodo LSC se je merila tudi vsebnost $C-14$ v vodi. Aktivnost $Sr-90$ se je določala z radiokemično separacijo in štetjem na proporcionalnem števcu po postopku izvajalca meritve. Merska metoda za določanje stroncija ne omogoča ločenega merjenja izotopov $Sr-90$ in $Sr-89$, zato se izmerjena aktivnost nanaša na 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 pa je zaradi kratke razpolovne dobe $Sr-89$, ki bi bil posledica globalne kontaminacije, že v celoti razpadel.

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

- vzorčevanje 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;
- vzorčevanje talnih sedimentov, ki v glavnem vsebujejo fini pesek (količina vzorca okrog 150 g); vzorčevanje gibljevih sedimentov, ki vsebujejo več organske snovi, se od leta 2005 ne izvaja več;
- vzorčevanje in meritve rib vrst mrena, klen, podust, jez, bolen, platnica, ploščič, ščuka in krap z maso okrog 400 g (izmerjenih je bilo 24 rib); pred pripravo vzorcev se odstranijo repi in glave rib; meritve ribjih mladice in ločene meritve kosti in mišic odraslih rib se od leta 2006 ne izvajajo več.

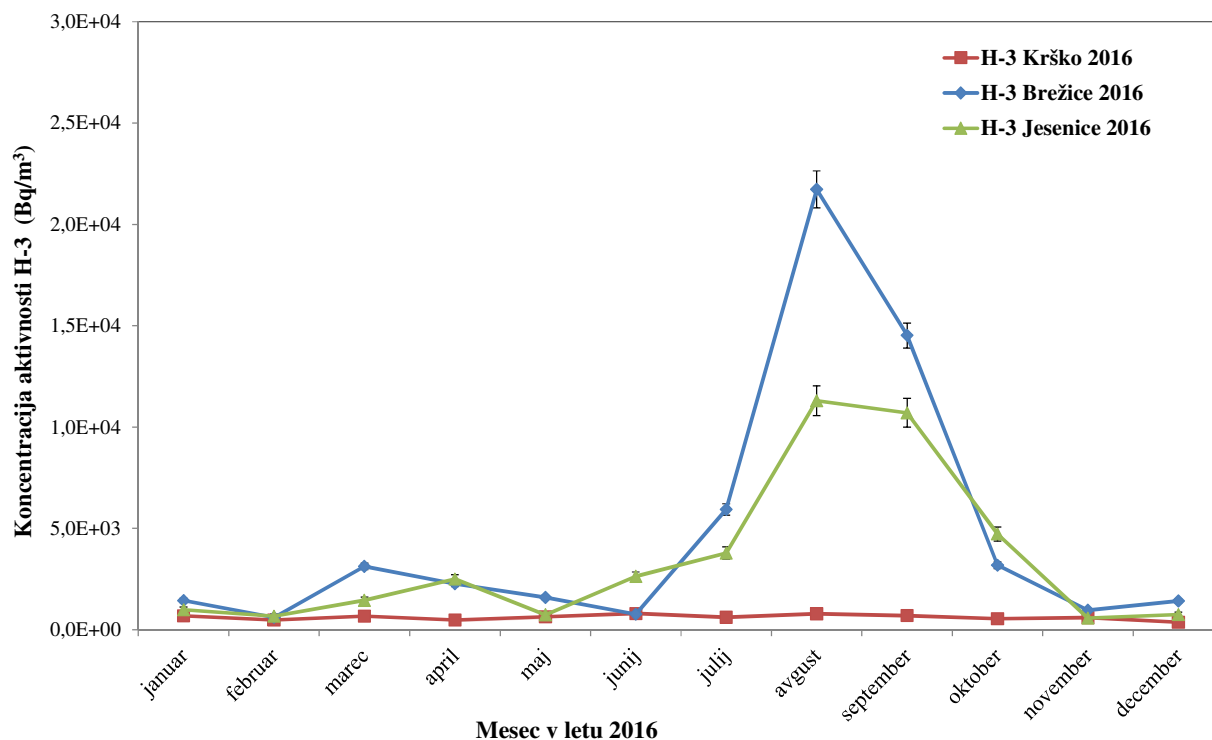


REZULTATI MERITEV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenci v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291, marec 2017*. 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). Tabele z merskimi podatki o ribah so: T-19, T-21, T-22 (ZVD); T-22/p1, T-24, T-25 (IRB). V tabelah so rezultati meritev podani z neposrednimi merskimi rezultati in njihovimi negotovostmi, ki se nanašajo na interval zaupanja z 68-odstotno zanesljivostjo. Nekatere vrednosti so podane brez negotovosti. To so vrednosti, izpeljane iz mej detekcij. Po priporočilih *Evropske komisije* [49] se v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Števila za znakom "±" so apriorne negotovosti povprečja. Pojmi so ustrezno pojasnjeni v *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291* [1].

Radioaktivni tritij (H-3) je redno prisoten v tekočinskih efluentih NEK. Na sliki 1.3 so prikazane primerjave koncentracij aktivnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem v letu 2016.

Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti H-3 v Brežicah ($4,8 \pm 0,1$) kBq/m³ je višja od referenčnega odvzemnega mesta Krško (pred papirnico) ($0,61 \pm 0,02$) kBq/m³. V letu 2015 smo v Brežicah izmerili enako povprečno koncentracijo aktivnosti kot v tem letu. Povprečna koncentracija se bistveno ne razlikujejo od dolgoletnega povprečja ($4,2$ kBq/m³) zadnjih 10 let. Najvišja vrednost mesečnih povprečij v Brežicah je bila v avgustu ($21,7 \pm 0,9$) kBq/m³, medtem ko je bila v tem obdobju koncentracija aktivnosti na referenčnem odvzemu Krško ($0,8 \pm 0,1$) kBq/m³. Najvišja izmerjena koncentracija aktivnosti v Brežicah je 27-krat višja kot na referenčnem odvzemu. Podobna razmerja smo ugotovili že v preteklem letu. Meritve tritija na lokacijah Brežice in Krško je opravil IJS.



Slika 1.3: Primerjava koncentracij aktivnosti tritija v savski vodi na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Lokacija Krško je glede na tok Save pred elektrarno in je zato referenčna.



V Jesenicah na Dolenjskem so meritve IRB prav tako pokazale povišane vrednosti z letnim povprečjem ($3,4 \pm 0,1$) kBq/m³ in z največjo vrednostjo ($11,3 \pm 0,7$) kBq/m³, prav tako v mesecu avgustu. Povišana vsebnost tritija je bila ugotovljena tudi v istem časovnem obdobju pri odvzemu enkratnega vzorca vode v kraju Podsused pri Zagrebu ($23,0 \pm 1,4$) kBq/m³.

V drugih rekah v Sloveniji so bile povprečne mesečne koncentracije H-3 večinoma pod 1 kBq/m³ [15].

Radioaktivni jod I-131 je redno prisoten na vseh nadzornih mestih reke Save, tako vzvodno od elektrarne kot nizvodno v Brežicah in Jesenicah na Dolenjskem. Realnejše ocene lahko temeljijo le na enkratnih odvzemih nefiltrirane vode (vzorčevanje na tri mesece) in ne na sestavljenih vzorcih, ki so bili zbrani v obdobju enega meseca ali v trimesečnem obdobju. Koncentracija aktivnosti joda zelo niha in je včasih tudi pod mejo detekcije. Povprečna četrletna koncentracija aktivnosti I-131 v enkratnih vzorcih je bila od ($2,1 \pm 0,2$) Bq/m³ do ($3,2 \pm 0,1$) Bq/m³ in je bila najvišja na odvzemnem mestu v Brežicah. Najvišja posamična vrednost ($5,9 \pm 0,3$) Bq/m³ je bila izmerjena v Brežicah in se ni bistveno odmikala od najvišje posamične izmerjene vrednosti na referenčnem mestu v Krškem ($5,0 \pm 0,3$) Bq/m³.

V okviru ločenega nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS [15] so bile meritve na reki Savi v Brežicah podobne, kot jih je v okviru nadzora NEK izmeril ZVD, in so tudi primerljive z dolgoletnim povprečjem 4,8 Bq/m³ v Brežicah. Razen v reki Savi, jod v večini rek ni bil zaznan. V preteklih letih se je jod pojavljal skoraj v vseh rekah. Koncentracije joda so bile višje predvsem v reki Savi pri Ljubljani.

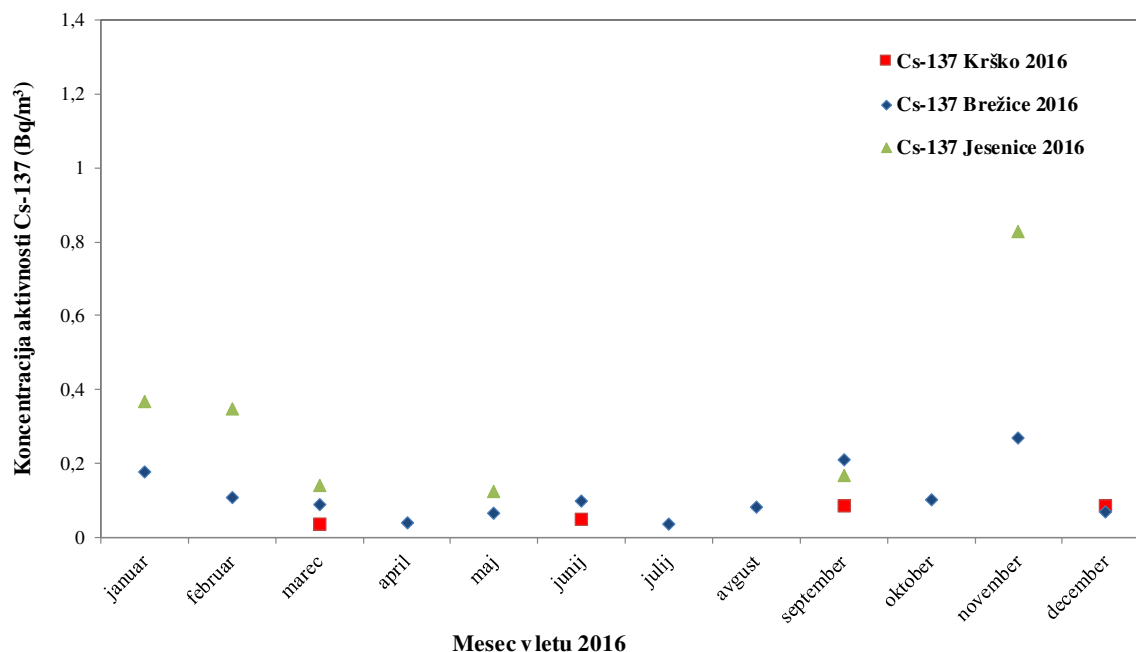
V talnem sedimentu je I-131 zelo redko opažen, navadno v zelo nizkih koncentracijah. V tem letu jod ni bil zaznan na nobeni lokaciji.

V vzorcih rib iz referenčnega odvzema (v Krškem nad jezom) in tudi v vzorcih iz nadzornih odvzemnih mest pod jezom NEK (meritve ZVD in IRB) ni bila zaznana prisotnost I-131, kar je enako kot v preteklih letih. Glede na koncentracije aktivnosti joda v enkratnih vzorcih nefiltrirane vode (okrog 5 Bq/m³) bi pričakovali, da je specifična aktivnost joda v ribah okrog 0,2 Bq/kg (upoštevajoč bioakumulacijski faktor $B_r = 0,04$ m³/kg) [26], kar pa je pod mejo detekcije.

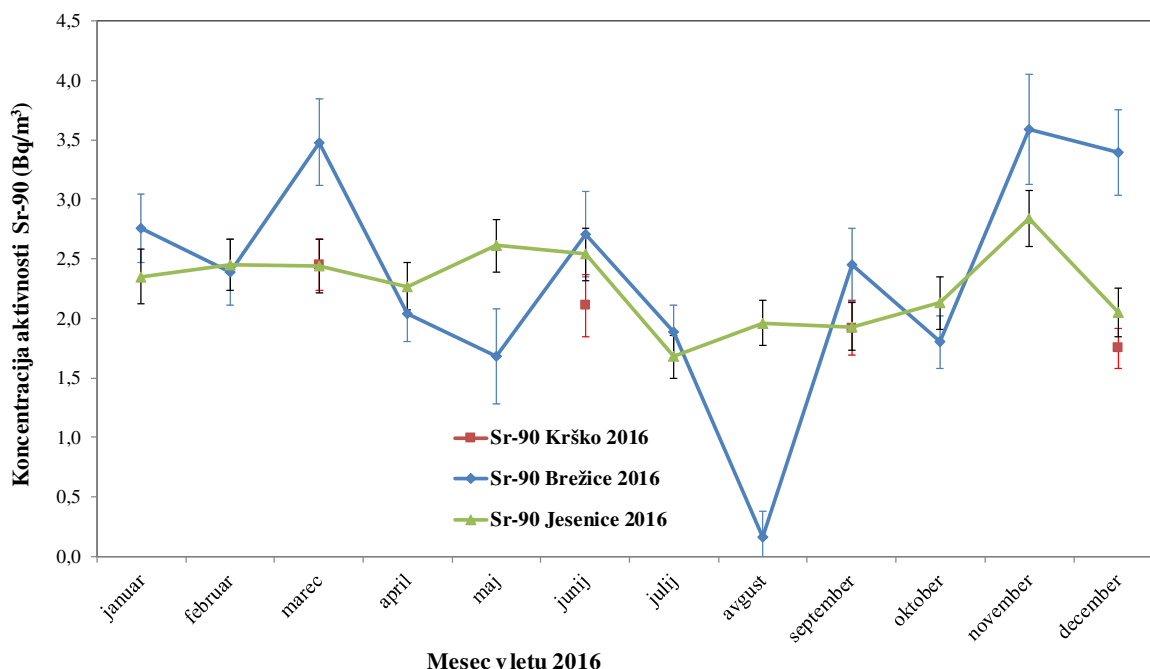
Radioaktivni izotop cezija Cs-137 je povsod v okolju zaradi globalne kontaminacije, izmerili pa smo ga tudi v tekočinskih efluentih NEK. Na večini odvzemnih mest so bili rezultati meritev cezija v savski vodi (suhi ostanek po izparevanju vzorca vode) na spodnji meji aktivnosti. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti v vodi je bila na referenčnem mestu v Krškem ($0,15 \pm 0,02$) Bq/m³, kar je v okviru merilne negotovosti podobno kot v Brežicah ($0,17 \pm 0,02$) Bq/m³.

Cs-137 se je sicer v preteklosti navadno pojavljal v nekoliko višjih koncentracijah v filtrskem ostanku kot v vodni sušini. V tem letu je bilo ravno obratno. Podobno kot pri vodni sušini so bili rezultati meritev filtrskega ostanka pri vseh odvzemnih mestih praviloma na spodnji meji aktivnosti. Na sliki 1.4 je prikazana primerjava rezultatov meritev Cs-137 v filtrskem ostanku na različnih odvzemnih mestih. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti Cs-137 ($0,11 \pm 0,02$) Bq/m³ v Brežicah je bilapodobna kot na referenčnem mestu Krško ($0,06 \pm 0,01$) Bq/m³. Podobne zelo nizke povprečne koncentracije aktivnosti v filtrskem ostanku ($0,16 \pm 0,03$) Bq/m³ smo izmerili tudi v Jesenicah na Dolenjskem.

Primerljivi so bili tudi rezultati meritev cezija enkratnih vzorcev nefiltrirane vode (vodna sušina skupaj s filtrskim ostankom) na vseh odvzemnih mestih. Povprečne koncentracije aktivnosti cezija v drugih rekah po Sloveniji so podobne vrednostim, izmerjenim v reki Savi v okolici NEK. Najvišja povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 je bila izmerjena v reki Muri ($2,5 \pm 0,3$) Bq/m³ [15]. Primerjava koncentracij aktivnosti z upoštevanjem merskih negotovosti kaže, da je vpliv NEK nemerljiv.



Slika 1.4: Primerjava mesečnih koncentracij aktivnosti Cs-137 v filtrskem ostanku (groba suspendirana snov) reke Save na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. Večina rezultatov meritev je bila na spodnji meji aktivnosti, zato na sliki niso podane negotovosti meritev.



Slika 1.5: Primerjava mesečnih koncentracij aktivnosti Sr-90 v vodi (v suhem ostanku po izparevanju vzorca) reke Save na lokacijah Krško, Brežice in Jesenice na Dolenjskem. V Krškem so izmerjeni kvartalni vzorci, zato na grafu za to mesto ni povezane linije.



Povprečna specifična aktivnost radioaktivnega cezija v talnih sedimentih, ki jih je ugotovil IRB, je bila v Krškem (pod mostom) $(6,6 \pm 0,6)$ Bq/kg z največjo vrednostjo $(7,6 \pm 1,0)$ Bq/kg, pod jezom NEK $(3,4 \pm 0,4)$ Bq/kg z največjo vrednostjo $(5,8 \pm 1,0)$ Bq/kg, v Pesju $(2,8 \pm 0,5)$ Bq/kg z največjo vrednostjo $(4,7 \pm 1,0)$ Bq/kg, v Brežicah $(3,1 \pm 0,4)$ Bq/kg z največjo vrednostjo $(5,7 \pm 1,0)$ Bq/kg, v Jesenicah na Dolenjskem $(2,1 \pm 0,3)$ Bq/kg z največjo vrednostjo $(4,9 \pm 0,9)$ Bq/kg in v Podsusedu $(1,4 \pm 0,3)$ Bq/kg z največjo vrednostjo $(2,2 \pm 0,8)$ Bq/kg. Najvišja povprečna specifična aktivnost je bila izmerjena na referenčni lokaciji Krško. Rezultati meritev sedimentov, ki jih je izvedel ZVD, so primerljivi meritvam IRB.

Spektrometrične analize rib, ulovljenih na lokacijah, od katerih je referenčna v Krškem, druge pa so nizvodno pod izpustom NEK, kažejo povprečne mesečne specifične aktivnosti Cs-137 na spodnji meji aktivnosti od $0,03$ Bq/kg do $0,08$ Bq/kg.

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

Večina stroncija je raztopljen v sami vodi (100-krat več kot v filtrskem ostanku). V vodi (suhi ostanek po izparevanju vzorca vode) je stroncij v 10-krat višjih koncentracijah kot cezij. Na sliki 1.5 je prikazana primerjava rezultatov meritev Sr-90 v vodi na različnih odvzemnih mestih v letu 2016.

Sr-90 se pojavlja v vodi na referenčnem mestu Krško v podobni letni povprečni koncentraciji aktivnosti $(2,1 \pm 0,1)$ Bq/m³ kot v nadzornem mestu v Brežicah $(2,4 \pm 0,1)$ Bq/m³ in v Jesenicah na Dolenjskem $(2,3 \pm 0,1)$ Bq/m³. V filtrskem ostanku je koncentracija aktivnosti Sr-90 navadno okrog 100-krat nižja kot v vodi in je navadno nižja kot $0,1$ Bq/m³. V filtrskem ostanku so koncentracije stroncija podobne kot pri ceziju.

Koncentracije aktivnosti Sr-90 v enkratnih vzorcih vode (nefiltrirani vzorci) so zelo podobne kot v kontinuirnih vzorcih filtrirane vode. Na vseh lokacijah so četrletna povprečja od $2,6$ Bq/m³ do $2,7$ Bq/m³. Najvišja posamična izmerjena vrednost je bila v Jesenicah na Dolenjskem $(4,1 \pm 0,5)$ Bq/m³.

Povprečne koncentracije aktivnosti stroncija v drugih rekah po Sloveniji so podobne, kot jih lahko izmerimo v Savi v okolici NEK. Povprečna koncentracija, izmerjena v Savi na lokaciji Laze pri Ljubljani, je bila $(2,2 \pm 0,1)$ Bq/m³ [15].

Specifične aktivnosti stroncija v talnih sedimentih so tipično 10-krat nižje od specifičnih aktivnosti cezija. Povprečne aktivnosti, ki jih je izmeril ZVD, so bile $(0,3 \pm 0,2)$ Bq/kg v Krškem, $(1,3 \pm 0,6)$ Bq/kg v Brežicah in $(1,1 \pm 0,2)$ Bq/kg v Jesenicah na Dolenjskem. Pri meritvah IRB je bil stroncij v talnih sedimentih merjen na lokaciji Podsused pri Zagrebu, kjer je bila povprečna specifična aktivnost na spodnji meji aktivnosti $0,04$ Bq/kg. Specifična aktivnost stroncija v talnem sedimentu je tako primerljiva z rezultati meritev iz predhodnih let.

Stroncij je bil izmerjen tudi v vseh vzorcih rib. V meritvah ZVD (mišice in kosti ribe skupaj) se gibljejo povprečja po lokacijah od $(0,12 \pm 0,02)$ Bq/kg do $(0,32 \pm 0,03)$ Bq/kg, kar je v okviru negotovosti podobno kot v preteklih letih. Laboratorij IRB v ribah ni meril stroncija.

Radioaktivni izotop ogljika C-14 v savski vodi in v ribah v tem letu ni bil merjen. Merjeni so bili efluenti NEK. Ob zadnjih meritvah v savski vodi v letu 2013 je IRB v okviru dodatnega nadzora opravil meritve specifične aktivnosti C-14 v reki neposredno med izpustom. Vsebnosti C-14 v enkratnih vzorcih vode so bile v času izpusta merljive tudi 600 m nizvodno od NEK [17].

Drugi aktivacijski in fisijski produkti, ki so bili izmerjeni v emisijskih vzorcih izpustne vode, kot npr.: Co-58, Co-60, Ag-110m, Xe-133, v letu 2016 niso bili detektirani na nobeni lokaciji v okolju.



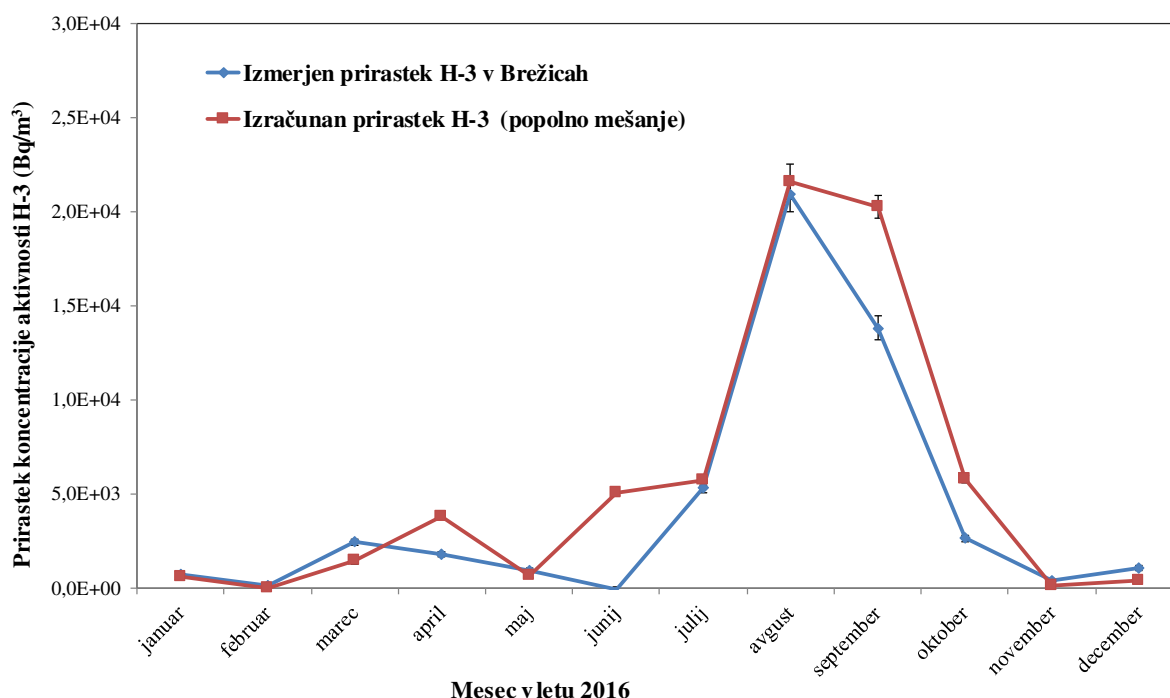
Naravni radionuklidi uranove (U-238, Ra-226 in Pb-210) in torijeve (Ra-228 in Th-228) razpadne vrste so bili redno zaznani v vseh vzorcih vode. V nefiltrirani vodi so bile na vseh odvzemnih mestih koncentracije aktivnosti U-238 in Ra-228 okrog 1 Bq/m^3 . Koncentracije aktivnosti K-40 so bile nekoliko višje, in sicer okrog 30 Bq/m^3 . Največja izmerjena posamična koncentracija aktivnosti K-40 je bila v Jesenicah na Dolenjskem ($70 \pm 9 \text{ Bq/m}^3$) pri nižjem pretoku Save v septembru. Redno je bil merjen tudi kozmogeni radionuklid Be-7. V sedimentih so bile na vseh odvzemnih mestih specifične aktivnosti U-238 in Ra-228 okrog 30 Bq/kg .

Vsebnosti naravnih radionuklidov so primerljive z vrednostmi v drugih rekah po Sloveniji. Predvsem za K-40 je značilno izrazito nihanje, ki je povezano predvsem z onesnaženostjo rek, v manjši meri pa tudi z geološko sestavo tal. Najvišja koncentracija aktivnosti K-40 je bila izmerjena v Savinji 220 Bq/m^3 [15].

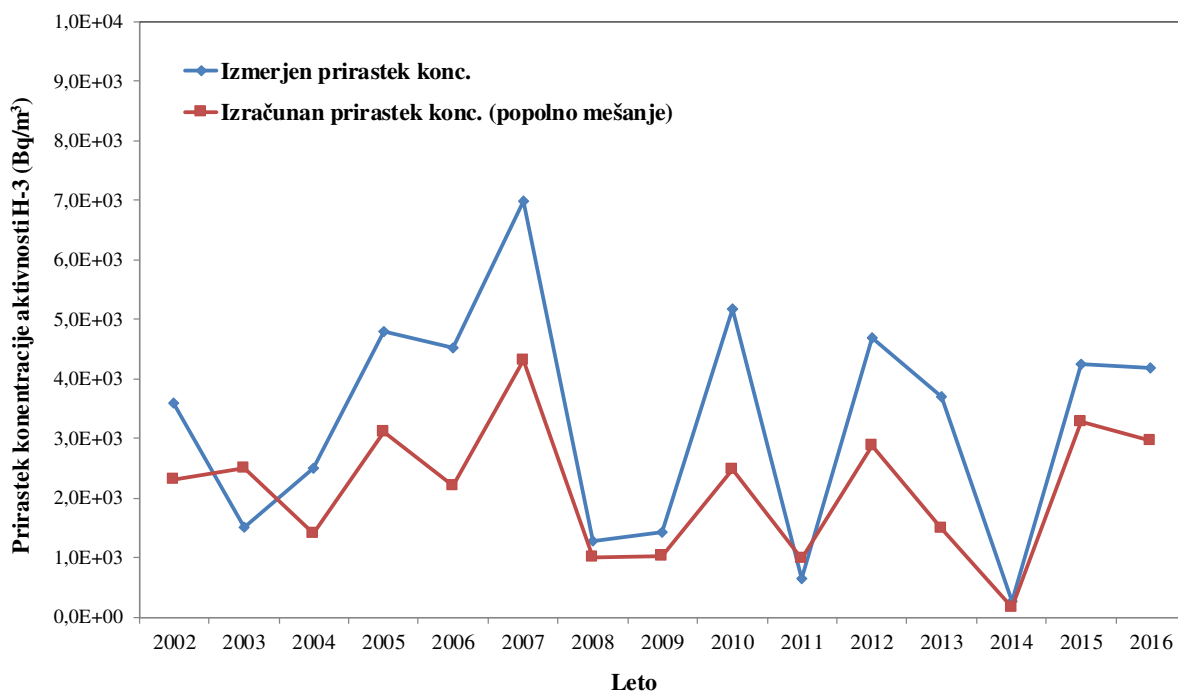
DISKUSIJA

Vpliv na okolje po savski prenosni poti ocenjujemo na podlagi primerjave rezultatov emisijskih meritev (meritev vzorcev iz odpadnih merilnih rezervoarjev – WMT in kaluž uparjalnikov – SGBD), ki jih izvaja NEK, in rezultatov meritev vzorcev reke Save.

V vseh jedrskih elektrarnah je 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 na dušiku. 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 $0,6 \text{ kBq/m}^3$ na 150 kBq/m^3 v letu 1963. Do danes je zaradi radioaktivnega razpada in prehoda v oceanske vode koncentracija aktivnosti H-3 v deževnici padla na okrog 1 kBq/m^3 [24].



Slika 1.6: Primerjava med mesečnimi izmerjenimi prirastki koncentracije aktivnosti tritija v reki Savi v Brežicah 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 letnimi povprečnimi prirastki koncentracije aktivnosti H-3 v reki Savi v Brežicah in izračunanimi koncentracijami aktivnosti, dobljenimi na podlagi letnih tekočinskih izpustov in pretoka Save (letni izpust / letna prostornina pretečene Save) ob predpostavki popolnega mešanja

Po podatkih NEK so bili največji mesečni tekočinski izpusti H-3 opravljani v avgustu (5,9 TBq) in septembru (3,7 TBq), kar je primerljivo z največjimi mesečnimi izpusti v letu 2015. Skupni letni izpust 19,9 TBq je bil približno 20 % večji kot v letu 2015 (16,3 TBq) in nekoliko višji od dolgoletnega povprečja (dolgoletno povprečje od 1999 do 2016 je 12,5 TBq). V času največjih izpustov v avgustu in septembru sta bili opazno povišani koncentraciji aktivnosti H-3 v reki Savi v Brežicah (avgust: 21,7 kBq/m³, slika 1.3) in Jesenicah na Dolenjskem (avgust: 11,3 kBq/m³). Nižje izmerjene koncentracije v Jesenicah na Dolenjskem so običajne in so posledica redčenja zaradi dotokov Krke in Sotle. Povišana koncentracija aktivnosti je bila zaznana tudi v kraju Podsused pred Zagrebom, vendar gre za odvzem enkratnega vzorca, ki ga ne moremo primerjati z kontinuiranim vzorčenjem na lokacijah Brežice in Jesenice na Dolenjskem.

V vseh letih je tudi redno povišana koncentracija tritija v podzemni vodi v vrtini VOP-4 (blizu levega brega Save, 600 m nizvodno od jezua NEK). Mesečno povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v tej vrtini je bilo letos 2,1 kBq/m³. Najvišja izmerjena koncentracija ($2,7 \pm 0,2$) kBq/m³ je bila v septembru. V enakem časovnem obdobju je bil opazen tudi porast tritija ($5,7 \pm 0,4$) kBq/m³ na vodovodu Medsave v republiki Hrvaški (glej tudi poglavje *Voda iz črpališč in vrtin*).

Tritij je edini radionuklid, ki ga je mogoče sistematično spremljati v okolju in je nedvomno posledica izpustov NEK. Tritij zato lahko uporabljamo kot sledilec in z njegovo razredčitvijo ocenimo tudi koncentracije drugih radionuklidov, ki jih navadno ne zaznavamo v okolju [26].

Zaradi mesečnih izpustov NEK je bila opazna izrazita korelacija s povišanimi koncentracijami tritija v Savi. Na sliki 1.6 je prikazana primerjava med izmerjenimi mesečnimi prirastki koncentracije aktivnosti H-3 in izračunanimi koncentracijami aktivnosti H-3 v Brežicah. Prirastek koncentracije aktivnosti tritija v Brežicah pomeni, da je bila odšteta izmerjena koncentracija aktivnosti tritija (naravno ozadje) na referenčnem mestu v Krškem pred NEK. Izračunane koncentracije aktivnosti smo dobili tako, da smo



mesečni izpust H-3 delili z mesečno količino pretečene savske vode. Poleg tega smo predpostavili, da je prišlo do popolnega mešanja vode na omenjeni lokaciji.

Na sliki 1.7 je narejena primerjava med izmerjenimi letnimi prirastki koncentracije aktivnosti in izračunanimi letnimi koncentracijami aktivnosti H-3 v Brežicah od leta 2002. Dolgoletne težnje kažejo, da na mestu vzorčevanja v Brežicah najverjetneje še ne pride do popolnega mešanja izpuščenih radionuklidov s savsko vodo. To je razvidno s slike 1.7, kjer so izmerjeni povprečni letni prirastki koncentracije aktivnosti tritija sistematično večji kot izračunani prirastki ob predpostavki popolnega mešanja vode. Iz meritev lahko ocenimo razredčitveno razmerje DR (*Dilution Ratio*) v Brežicah. Razredčitveno razmerje DR je razmerje med prirastkom koncentracije aktivnosti tritija na nekem mestu pod izpustom (npr. v Brežicah) in prirastkom koncentracije aktivnosti tritija na mestu s popolnim mešanjem vode:

$$DR = \frac{C_{w,L}}{C_{w,tot}} \quad (1.1)$$

kjer sta $C_{w,L}$ prirastek koncentracije aktivnosti tritija na določeni lokaciji (Bq/m^3) in $C_{w,tot}$ prirastek koncentracije aktivnosti tritija na mestu popolnega mešanja (Bq/m^3) [26]. Prirastek koncentracije aktivnosti na mestu popolnega mešanja izračunamo iz izraza (1.2):

$$C_{w,tot} = \frac{A_{H-3}}{F \times t} \quad (1.2)$$

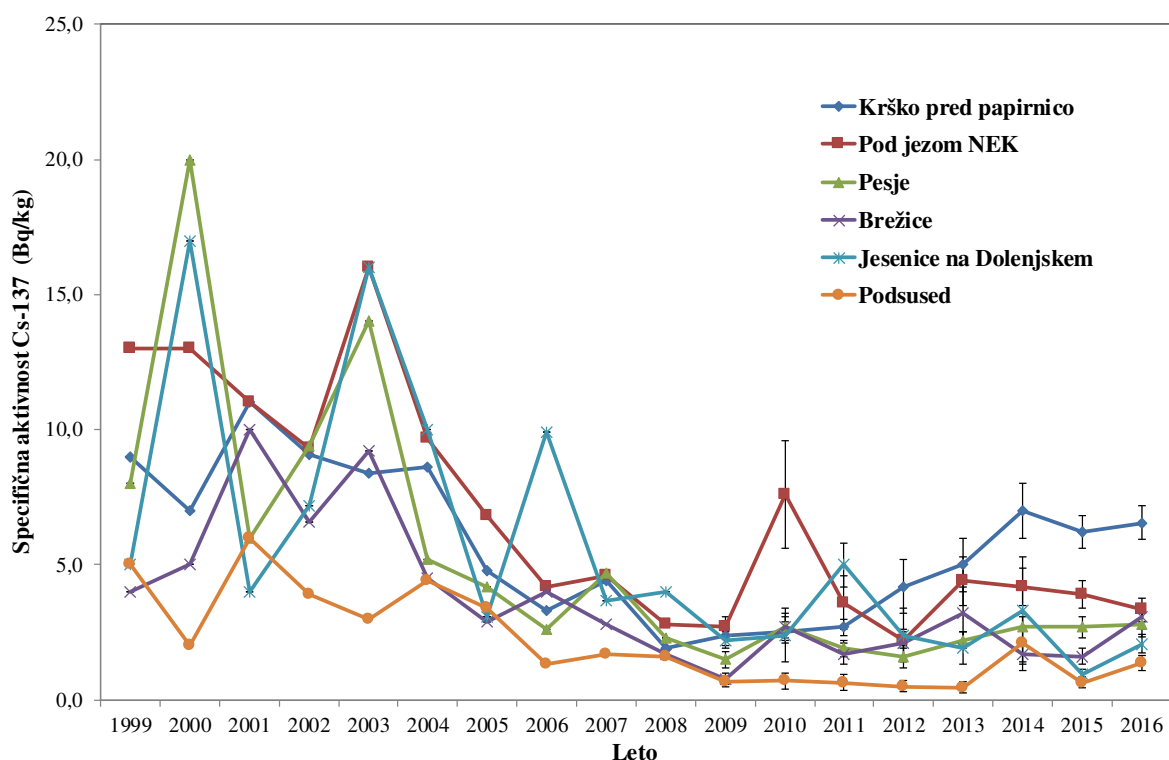
kjer sta A_{H-3} skupna letna izpuščena aktivnost tritija (Bq), produkt $F \times t$ pa celotni letni volumen pretečene Save v kubičnih metrih. Pri tem je F povprečni letni pretok, t pa je čas (eno leto).

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 $DR > 1$ na lokacijah, kjer je mešanje kontaminirane vode s čisto nepopolno (npr. na istem bregu neposredno pod izpustom). Pri popolnem mešanju je DR enak 1.

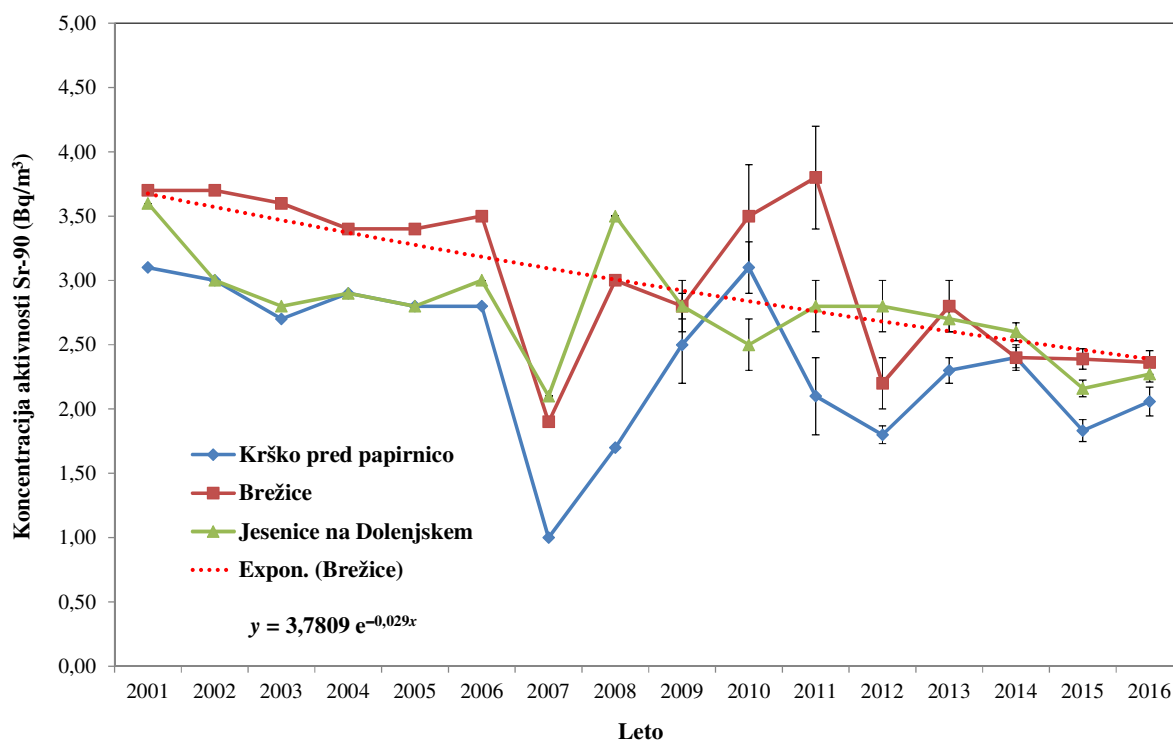
Iz razlike med povprečnima letnima koncentracijama aktivnosti tritija v Brežicah in v Krškem smo dobili izmerjen prirastek koncentracije aktivnosti v Brežicah $C_{w,L}$, ki je $(4,18 \pm 0,10) \text{ kBq}/m^3$, kar je primerljivo z letom 2015 (slika 1.7). Izračunan prirastek koncentracije aktivnosti tritija na mestu popolnega mešanja $C_{w,tot}$ je bil $2,97 \text{ kBq}/m^3$. Tako je bilo v letu 2016 razredčitveno razmerje DR v Brežicah ocenjeno na 1,4. Dolgoletno povprečno razredčitveno razmerje DR (od 2002 do 2015) na vzorčevalni lokaciji ob levem bregu v Brežicah je $(1,5 \pm 0,5)$.

Kratkoživi radioaktivni jod (I-131) je občasno opažen v tekočinskih efluentih NEK. Povišane koncentracije joda je bilo mogoče izmeriti takoj po černobilski nesreči. V nekaterih rekah v Sloveniji ga je mogoče najti zaradi uporabe tega izotopa v medicini. V tem letu so bili celotni izpusti I-131 iz NEK 0,02 MBq. Zaradi navadno majhnih izpustov iz NEK in rezultatov meritev v okolju lahko ugotovimo, da je vpliv NEK nemerljiv.

Radioaktivni cezij (Cs-137) je povsod v okolju in je posledica globalne in regionalne kontaminacije (jedrski poskusi in nesreča v Černobilu). Cezij izmerimo tudi v tekočinskih efluentih NEK. Letni izpust Cs-137 je bil 1,7 MBq, kar je podobno kot v letu 2015. Cezij se slabo veže na grobo suspendirano snov (le nekaj odstotkov) [26]. 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 bi zaznali v filtrskem ostanku (v grobi suspendirani snovi). Če upoštevamo letne izpuste, povprečni pretok Save in privzamemo razredčitveno razmerje na levem bregu v Brežicah, lahko ocenimo prirastek koncentracije aktivnosti Cs-137 $C_{w,L}$ v Brežicah na okrog $0,4 \text{ mBq}/m^3$. Ocenjena koncentracija cezija je daleč pod mejo detekcije in je zato ni mogoče ločiti od globalne kontaminacije. Iz merskih rezultatov vode, kjer je bil Cs-137 detektiran, lahko povzamemo le, da je povprečna koncentracija aktivnosti v okviru merske negotovosti na vseh odvzemnih mestih primerljiva in da je vpliv NEK nemerljiv.



Slika 1.8: Primerjava specifičnih aktivnosti Cs-137 v talnem sedimentu reke Save. Merske negotovosti so v zadnjih letih od 0,3 Bq/kg do 2 Bq/kg.



Slika 1.9: Primerjava povprečnih koncentracij aktivnosti Sr-90 v vodi (vodni sušini) reke Save in usmeritev eksponentnega upadanja zaradi radioaktivnega razpada (razpadna konstanta Sr-90 je 0,024 na leto se lepo ujema s trendom na grafu)



Specifična aktivnost cezija v sedimentih kaže najvišje povprečne mesečne aktivnosti v Krškem (slika 1.8). S slike je razvidno, da se specifična aktivnost cezija v sedimentu v glavnem na vseh lokacijah z leti sistematično zmanjšuje. To je povezano z razpadom izotopa (iz globalne kontaminacije) ter istočasno z izpiranjem talnega sedimenta. Specifične aktivnosti umetnih radionuklidov so sicer v sedimentih zaradi izpiranja bistveno nižje kot v vrhnji plasti zemlje (navadna specifična aktivnost cezija v zemlji je namreč nekaj deset bekerelov na kilogram). V zadnjih letih je bilo opazno naraščanje specifične aktivnosti cezija na lokacijah Krško pred papirnico, kar je posledica naravnih procesov, ki niso vezani na izpuste NEK. Zaradi majhnih izpustov in razmeroma velikih vzorčevalnih in merskih negotovosti lahko sklenemo, da vpliva NEK-a v sedimentu ni mogoče zaznati.

Specifična aktivnost cezija v ribah je v okviru merske negotovosti na vseh odvzemnih mestih podobna ($< 0,1$ Bq/kg). Glede na koncentracije aktivnosti cezija v vzorcih nefiltrirane vode (okrog $0,1$ Bq/m³) bi pričakovali, da je specifična aktivnost cezija v ribah okrog $0,2$ Bq/kg (upoštevajoč koncentracijski faktor $B_r = 2,0$ m³/kg) [26]. Podobno kot pri sedimentu ugotovimo, da je specifična aktivnost cezija v ribah kot posledica vpliva NEK nemerljiva.

Radioaktivni stroncij (Sr-90) je redno v tekočinskih izpustih NEK ($0,07$ MBq v letu 2016), vendar so aktivnosti izpustov precej nižje od aktivnosti izpustov cezija. Kot je razvidno iz meritev, je večina stroncija v sami vodi (vodni sušini). Koncentracije aktivnosti Sr-90 so v okviru merske negotovosti podobne rezultatom iz zadnjih nekaj let (glej sliko 1.9). Opazna je težnja padanja, ki je povezana z razpolovno dobo stroncija ($28,8$ let). Primerjava meritev na različnih lokacijah z upoštevanjem merskih negotovosti kaže, da je vpliv NEK nemerljiv.

Ugotavljamo tudi, da je specifična aktivnost stroncija v ribah (vodni bioti), ki bi bila lahko posledica vpliva NEK, prav tako nemerljiva, saj v okviru merske negotovosti ni razlik med posameznimi lokacijami. 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 navadno vsebnosti dva velikostna reda višje kot v mišicah. Glede na koncentracije aktivnosti stroncija v vzorcih nefiltrirane vode (okrog 3 Bq/m³) bi pričakovali, da je specifična aktivnost stroncija v ribah okrog $0,2$ Bq/kg (upoštevajoč koncentracijski faktor $B_r = 0,06$ m³/kg) [26]. Izmerjene povprečne specifične aktivnosti v ribah od $0,1$ Bq/kg do $0,3$ Bq/kg se dobro ujemajo z oceno.

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. Neposredne meritve C-14 v Savi se ne izvajajo redno. Skupna letna izpuščena aktivnost v Savo je bila v tem letu $9,2$ GBq [22], kar je 8-krat več kot v letu 2015 ($1,2$ GBq). Izmerjeni izpusti so precej višji, kot je groba ocena glede na obratovalno moč elektrarne ($1,8$ GBq na leto oziroma $2,6$ GBq/GW(e) na leto [27]) ali kot groba ocena, da so tekočinski izpusti C-14 le red velikosti 1% zračnih izpustov (118 GBq zračnih izpustov v letu 2016 nam da oceno $1,2$ GBq tekočinskih izpustov). Aktivnost izpuščenega C-14 je še vedno več kot 3 velikostne rede nižja kot pri tritiju.

Problematika C-14 v okolju je bila podrobneje analizirana tudi na delavnici, ki sta jo pripravila IRB in IJS [28] v letu 2015. Sklepi delavnice, vezani na oceno izpostavljenosti zaradi tekočinskih izpustov, so podrobneje povzeti v poročilu za leto 2015. V tekočinskih izpustih jedrskih elektrarn je C-14 v anorganski obliki ($[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$). V površinskih vodah je C-14 glede na običajni pH večinoma v obliki karbonatov (HCO_3^-). V Savi je tipično 250 mg/L HCO_3^- , kar je 50 mg/L ogljika v vodi. Iz slednjega in osnovne definicije (100 pMC = 226 Bq/kg stabilnega ogljika) preračunamo pretvorbo iz enote pMC v Bq/m³ (100 pMC je enako $11,3$ Bq/m³ savske vode). Glede na letne izpuste v Savo je pričakovati, da bi povprečna koncentracija aktivnosti C-14 v Brežicah narasla na okrog 2 Bq/m³ (ali 18 pMC). Vrednosti so nad mejo detekcije. Vprašanje pa je, ali zaradi prisotnosti naravnega, večinoma kozmogenega C-14 v okolju (malo nad 100 pMC, 134 pMC izmerjeno na referenčni lokaciji v Krškem [17]), lahko tako nizke koncentracije aktivnosti izluščimo iz naravnega ozadja.



V letu 2016 C-14 v ribah ni bil merjen. Vnos radioaktivnega ogljika v ribe ni enak kot pri drugih v vodi raztopljenih radionuklidih, kjer lahko prihaja do koncentriranja. Vnos poteka preko vode in vodnih rastlin, s katerimi se hranijo ribe. Obstaja popolno ravnovesje med raztopljenim anorganskim ogljikom v vodi in v ribi [30]. To pomeni enako relativno specifično aktivnost C-14 (izraženo v pMC) v vodi kot tudi v vodni bioti. Če upoštevamo maso stabilnega ogljika v sveži ribi (120 g ogljika na kilogram sveže snovi), je običajna relativna specifična aktivnost 100 pMC enaka 27,2 Bq/kg sveže snovi. Na osnovi te predpostavke smo ocenili koncentracijski faktor $B_r = 27,2 \text{ Bq/kg} / 11,3 \text{ Bq/m}^3 = 2,41 \text{ m}^3/\text{kg}$, ki ga upoštevamo pri modelskem izračunu doz [28] (glej nadaljevanje). Na podlagi ocenjenega povprečenega prirastka C-14 v Savi (2 Bq/m^3) zaradi vpliva NEK lahko ocenimo, da bi se relativna specifična aktivnost C-14 v ribah lahko povečala enako kot v vodi na 18 pMC ali okrog 5 Bq/kg sveže snovi.

Drugi fisijski in aktivacijski produkti (Co-58, Co-60, Ag-110m, Cs-134) se navadno redno pojavljajo v tekočinskih izpustih NEK. Njihova skupna izpuščena aktivnost v letu 2016 je bila vsaj šest velikostnih redov nižja kot pri tritiju. Podobno kot v preteklem letu tudi v tem letu Cs-134 sploh ni bil izmerjen v tekočinskih izpustih. V zadnjih nekaj letih ni bil noben izmed naštetih radionuklidov zaznan v okolju. Nazadnje je bil detektiran Co-60 v letih 2003 in 2006 v vodi in sedimentu.

Koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov so primerljive z rezultati meritev v drugih rekah po Sloveniji. V efluentih NEK naravni radionuklidi niso prisotni, zato ne ocenjujemo njihove obremenitve na okolje.

Koncentracije aktivnosti naravnih in umetnih radionuklidov so znatno pod izpeljanimi koncentracijami za pitno vodo, kot jih določata *Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2)* [11] in *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi (UV10)* [10].

OCENA VPLIVOV

Izpostavitve prebivalstva se ocenjuje na podlagi neposrednih meritev izpustov (emisij) in z uporabo ustreznih modelov. V letu 2003 sta bila izdelana metodologija in model za oceno doz pri izpostavitvi prebivalcev [25] in revidirana v letu 2009 (*Izpostavitve referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo – Nova referenčna lokacija* [26]). V metodologiji so identificirane glavne prenosne poti, načini izpostavitve in referenčne skupine za Slovenijo in Hrvaško. Za modelno oceno obremenitev, ki bi jih lahko prinesle zgolj prenosne poti, ki potekajo po Savi, je bila izbrana kot referenčna skupina brežiških športnih ribičev in članov njihovih družin (to je tista skupina, ki potencialno prejme najvišje doze). Za oceno vplivov izpuščenih radioaktivnosti v okolje ob normalnem obratovanju jedrskega objekta smo upoštevali tri starostne skupine: 1 leto, 7–12 let in odrasli > 17 let, ki smo jih privzeli tudi v tej metodologiji. Metodologija računanja letne efektivne doze je uporabna le za celoletno vrednotenje vplivov, ne pa tudi pri ocenjevanju večletnega vpliva, saj večletni nanos in radioaktivni razpad nista upoštevana v modelu. Prvotne ocene, ki so bile narejene v letu 2003, so predpostavljale, da so referenčna skupina ribiči, ki ribarijo pri Brežicah, kjer naj bi bilo popolno mešanje izpuščene radioaktivnosti v reko Savo. Kasnejša analiza v letu 2009 je ugotovila, da ribiči pogosto ribarijo znatno bližje NEK, kjer je mešanje še nepopolno. V revidiranem modelu je dodana nova lokacija za ribiče (levi del struge, 350 m pod jezom NEK), ki je prikazana na sliki 1.10. Za to skupino se upošteva drugo razredčitveno razmerje DR , saj na tem mestu ne prihaja do popolnega mešanja s savsko vodo. V študiji [26] je ocenjeno, da je koncentracija aktivnosti izpuščenih radionuklidov na tem mestu trikrat večja $DR = (3 \pm 2)$ od koncentracije na mestu popolnega mešanja reke. Revizija modela je prav tako pokazala, da tudi na stari lokaciji v Brežicah še ne pride do popolnega mešanja Save. Dolgoletno povprečno razredčitveno razmerje DR na vzorčevalni lokaciji ob levem bregu v Brežicah je $(1,5 \pm 0,5)$.



Slika 1.10: Lokacija, kjer se računa modelska doza za referenčno skupino (ribiči) 350 m od jezua. Stara lokacija je bila 7,7 km nizvodno od jezua NEK.

V tabeli 1.1 so podani dozni faktorji, porazdelitveni koeficienti in koncentracijski faktorji, ki se uporabljajo pri modelskem izračunu doz. V tabeli 1.2 je inventar letnih tekočinskih izpustov NEK, kar je vhodni podatek pri oceni letne efektivne doze. V tabeli 1.2 so navedeni tudi vsi pomembni radionuklidi, ki bi potencialno lahko bili v izpustnih vodah. Iz tabele je razvidno, da je največ izpuščenega H-3 (tritija), vendar je ta radionuklid z vidika radiotoksičnosti malo pomemben. Pomembna sta aktivacijska produkta Co-60 in Co-58 ter fisijski produkti Cs-134, Cs-137 in Sr-90. Pomemben je tudi C-14, ki sicer nima visoke radiotoksičnosti, vendar je po izpustih takoj za tritijem. Pri izračunu letne efektivne doze nismo upoštevali prispevka žlahtnih plinov Xe-131m, Xe-133, Xe-133m, Xe-135, Kr-85m in drugih zelo kratkoživih radionuklidov, ker pri ingestiji niso pomembni.

Za izračun letne efektivne doze v letu 2016 so bili uporabljeni naslednji vhodni podatki:

- dozni faktorji iz tabele 1.1; pri C-14 smo upoštevali novi koncentracijski faktor ($B_r = 2,41 \text{ m}^3/\text{kg}$) [28];
- letni izpust radionuklidov iz poročil NEK (tabela 1.2);
- povprečni pretok Save v Brežicah v tem obdobju ($213 \text{ m}^3/\text{s}$);
- razredčitveno razmerje DR na novi lokaciji (350 m nizvono od jezua NEK) je (3 ± 2) in v Brežicah ($1,5 \pm 0,5$); dolgoletno povprečno razredčitveno razmerje od 2002 do 2015, dobljeno iz primerjave meritev tritija v izpustih in v Brežicah (slika 1.7);
- povprečna koncentracija suspendiranega sedimenta ($10 \text{ g}/\text{m}^3$);
- predpostavimo maksimalno izpostavljenega posameznika in ekstremno porabo (največja mogoča ocena izpostavitve).


Tabela 1.1: Dozni faktorji, porazdelitveni koeficienti in bioakumulacijski faktorji za radionuklide v tekočinskih izpustih NEK

Radio-nuklid	Ingestijski dozni faktorji			Zunanje sevanje – površinska kontaminacija	Imerzija v vodi	Porazdelitveni koeficienti in koncentracijski faktorji	
	< 1 let (Sv/Bq)	7–12 let (Sv/Bq)	> 17 let (Sv/Bq)	(Sv na leto)/(Bq/m ²)	(Sv/s)/(Bq/m ³)	<i>K_D</i> /(m ³ /t)	<i>B_r</i> /(m ³ /t)
Cr-51	3,50E-10	7,80E-11	3,80E-11	9,80E-10	3,30E-18	2,00E+04	2,00E+02
Mn-54	5,40E-09	1,30E-09	7,10E-10	2,60E-08	8,88E-17	5,00E+04	4,00E+02
Fe-59	7,90E-09	4,70E-09	1,80E-09	3,60E-08	1,29E-16	1,00E+04	2,00E+02
Co-57	2,90E-09	5,80E-10	2,10E-10	3,63E-09	1,25E-17	2,00E+04	3,00E+02
Co-58	7,30E-09	1,70E-09	7,40E-10	3,00E-08	1,03E-16	2,00E+04	3,00E+02
Co-60	5,40E-08	1,10E-08	3,40E-09	7,50E-08	2,74E-16	2,00E+04	3,00E+02
Zn-65	3,60E-08	6,40E-09	3,90E-09	1,80E-08	6,29E-17	1,00E+03	1,00E+03
Zr-95	8,50E-09	1,90E-09	9,50E-10	4,70E-08	7,82E-17	6,00E+04	3,00E+02
Nb-95	4,60E-09	1,10E-09	5,80E-10	4,70E-08	8,11E-17	1,00E+02	3,00E+02
Ru-103	7,10E-09	1,50E-09	7,30E-10	1,50E-08	4,89E-17	7,00E+03	1,00E+01
Ru-106	8,40E-08	1,50E-08	7,00E-09	1,10E-08	2,24E-17	7,00E+03	1,00E+01
Ag-110m	2,40E-08	5,20E-09	2,80E-09	8,50E-08	2,94E-16	2,00E+02	2,30E+00
Sb-124	2,50E-08	5,20E-09	2,50E-09	5,60E-08	1,98E-16	5,00E+02	1,00E+02
Sb-125	1,10E-08	2,10E-09	1,10E-09	1,40E-08	4,39E-17	5,00E+02	1,00E+02
Te-123m	1,90E-08	2,80E-09	1,40E-09	4,51E-09	1,44E-17	3,00E+01	4,00E+02
I-131	1,80E-07	5,20E-08	2,20E-08	1,20E-08	3,98E-17	3,00E+02	4,00E+01
Cs-134	2,60E-08	1,40E-08	1,90E-08	4,90E-08	1,64E-16	2,00E+03	2,00E+03
Cs-137	2,10E-08	1,00E-08	1,30E-08	1,80E-08	6,26E-17	2,00E+03	2,00E+03
Ce-141	8,10E-09	1,50E-09	7,10E-10	2,40E-09	7,38E-17	3,00E+04	3,00E+01
Ce-144	6,60E-08	1,10E-08	5,20E-09	5,70E-09	2,03E-17	3,00E+04	3,00E+01
C-14	1,40E-09	8,00E-10	5,80E-10	5,08E-13	4,39E-22	2,00E+03	2,41E+03*
H-3	6,40E-11	2,30E-11	1,80E-11	0,00E+00	0	3,00E-02	1,00E+00
Fe-55	7,60E-09	1,10E-09	3,30E-10	0,00E+00	0	1,00E+04	2,00E+02
Sr-90	2,30E-07	6,00E-08	2,80E-08	3,50E-09	1,46E-20	2,00E+03	6,00E+01

* Koncentracijski faktor *B_r* za C-14 je skladno z ugotovitvami iz delavnice [28] spremenjen glede na izračune v letih 2013 in 2014, ko smo uporabljali 5,00E+04 [29].

Od številnih mogočih prenosnih poti vnosa izpuščenih radionuklidov so za prebivalce v okolici NEK kot najverjetnejše evidentirane tiste, ki so navedene v tabeli 1.3. Analiza izpostavitve je pokazala, da do najvišjih izpostavitve pride zaradi zadrževanja na bregu (zunanje sevanje) in uživanja rečnih rib. Po dostopnih informacijah napajanje živine in zalivanje pridelkov z rečno vodo nista značilnosti tega področja, zato ju nismo podrobneje analizirali. Pitje rečne vode prav tako ni realno zaradi onesnaženosti reke. Vpliv reke Save na pitno vodo se obravnava v poglavju *Voda iz črpališč in vrtin*. Analizirana je tudi izpostavitve pri plavanju v reki Savi. Ta prenosna pot se zdi malo verjetna, saj je savski breg pod NEK težko dostopen in neprijazen, zato plavanje ni upoštevano v modelu. Mnogo verjetnejše je kopanje v reki Krki.

V modelu je upoštevano zadrževanje na bregu in uživanje rib, ki je značilno za ribiče, ki so v našem primeru referenčna (kritična) skupina. Podrobni podatki o navadah ribičev so bili dobljeni od gospodarja Ribiške družine Brestanica-Krško. Ta družina šteje 150 članov, od tega je bilo v letu 2002 aktivnih 120. Po informacijah gospodarja ribiške družine morda tretjina ribičev uživa ujete ribe. Ti ribiči so referenčna skupina, ki šteje 36 ljudi. V tabeli 1.4 so podane značilnosti referenčne skupine ribičev, ki so bile uporabljene v metodologiji, kot so: 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 (1 leto), 350 L (otroci 7–12 let) in 750 L (odrasli > 17 let).



Tabela 1.2: Inventar tekočinskih izpustov v letu 2014, 2015 in 2016 [7]

Radionuklid	2014 (Bq na leto)	2015 (Bq na leto)	2016 (Bq na leto)
H-3	1,73E+12	1,63E+13	1,99E+13
C-14	1,69E+09	1,21E+09	9,20E+09
Na-24	-	-	-
Cr-51	-	-	-
Mn-54	2,57E+05	-	-
Fe-55	5,06E+06	5,63E+06	2,95E+06
Fe-59	-	-	-
Co-57	-	-	-
Co-58	2,65E+07	7,96E+06	2,22E+06
Co-60	5,28E+06	4,83E+06	2,36E+06
Zn-65	-	-	-
Se-75	-	-	-
Sr-85	-	-	-
Sr-89	-	-	-
Sr-90	1,58E+05	7,57E+04	6,51E+04
Y-92	-	-	-
Zr-95	-	-	-
Nb-95	3,37E+05	-	-
Nb-97	-	-	-
Mo-99	-	-	-
Tc-99m	-	-	-
Kr-85	-	-	-
Kr-85m	-	-	-
Kr-87	-	-	-
Kr-88	-	-	-
Rb-88	-	-	-
Ru-103	-	-	-
Ru-106	-	-	-
Ag-110m	5,06E+06	1,07E+07	3,17E+06
Sn-113	-	-	-
Sb-124	-	-	-
Sb-125	-	-	-
Te-123m	-	-	-
Te-125m	-	-	-
Te-127m	-	-	-
Te-129m	-	-	-
Te-132	-	-	-
I-129	-	-	-
I-131	-	2,22E+06	2,01E+04
I-132	-	-	-
I-133	-	3,32E+05	-
I-134	-	-	-
Cs-134	-	-	-
Cs-137	4,01E+05	1,12E+06	1,71E+06
Cs-136	-	-	-
Cs-138	-	-	-
Xe-131m	-	-	-
Xe-133	1,45E+05	1,17E+08	9,33E+05
Xe-133m	-	-	-
Xe-135	2,40E+05	1,30E+05	-
Xe-135m	-	-	-
Ba-140	-	-	-
La-140	-	-	-
Ce-141	3,96E+05	-	-
Ce-144	4,99E+06	7,20E+05	5,91E+05
Hg-203	-	-	-


Tabela 1.3: Načini in poti izpostavitve v okolici NEK – savska prenosna pot

Način izpostavitve	Pot izpostavitve	Verjetnost izpostavitve
zunanje obsevanje	zadrževanje na bregu plavanje	zelo verjetno malo verjetno
ingestija	ribe rečna voda napajanje živine (meso, mleko) zalivanje pridelkov	zelo verjetno malo verjetno ni značilnost področja ni značilnost področja

Tabela 1.4: Značilnosti referenčne skupine in maksimalno izpostavljenega posameznika za Slovenijo, uporabljene v metodologiji

	Referenčna skupina	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 1.5: Efektivna letna doza posameznika iz referenčne skupine prebivalstva v Brežicah, pri čemer upoštevamo maksimalno izpostavljenega posameznika (ekstremna poraba)

Starostna skupina	Brežice	
	Rečni breg in ingestija rib (zelo verjetna prenosna pot)	Pitje savske vode (malo verjetna prenosna pot)
	Doza (μSv na leto)	
odrasli (> 17 let)	0,13 μSv Prispevek zunanjega sevanja: < 0,001 μSv Prispevek ingestije rib: 0,13 μSv Prispevek ingestije rib (samo C-14): 0,13 μSv	0,06 μSv
otroci (od 7 do 12 let)	0,04 μSv Prispevek zunanjega sevanja: < 0,001 μSv Prispevek ingestije rib: 0,04 μSv	0,04 μSv
dojenčki (1 leto)	0 μSv	0,07 μSv



Tabela 1.6: Efektivna letna doza posameznika iz referenčne skupine prebivalstva na lokaciji 350 m pod jezom, pri čemer upoštevamo maksimalno izpostavljenega posameznika (ekstremna poraba)

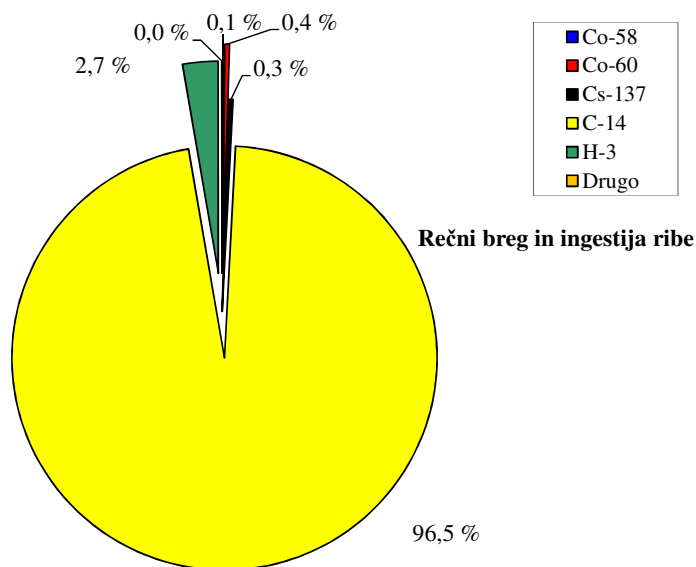
Starostna skupina	350 m pod jezom NEK	
	Rečni breg in ingestija rib (zelo verjetna prenosna pot)	Pitje savske vode (malo verjetna prenosna pot)
	Doza (μSv na leto)	
odrasli (> 17 let)	0,27 μSv Prispevek zunanjega sevanja: 0,001 μSv Prispevek ingestije rib: 0,27 μSv Prispevek ingestije rib (samo C-14): 0,27 μSv	0,12 μSv
otroci (od 7 do 12 let)	0,08 μSv Prispevek zunanjega sevanja: < 0,001 μSv Prispevek ingestije rib: 0,08 μSv	0,07 μSv
dojenčki (1 leto)	0 μSv	0,15 μSv

Ocenjena letna efektivna doza za posamezno skupino, narejena na podlagi realnih izpustov NEK in ob predpostavkah največje izpostavitve (ekstremna poraba in maksimalni čas zadrževanja na obrežju, tabela 1.5), je za odraslo osebo v Brežicah 0,13 μSv . Na bližji lokaciji (350 m nizvodno od NEK) pa je izračunana letna efektivna doza za odraslo osebo 0,27 μSv (tabela 1.6). Največja negotovost izračuna letnih efektivnih doz izvira iz negotovosti koncentracijskih faktorjev B_r za ribe, saj se privzeti faktorji lahko odmikajo tudi za red velikosti. Podobno ne poznamo tudi negotovosti doznih faktorjev, ki so večji od merskih negotovosti.

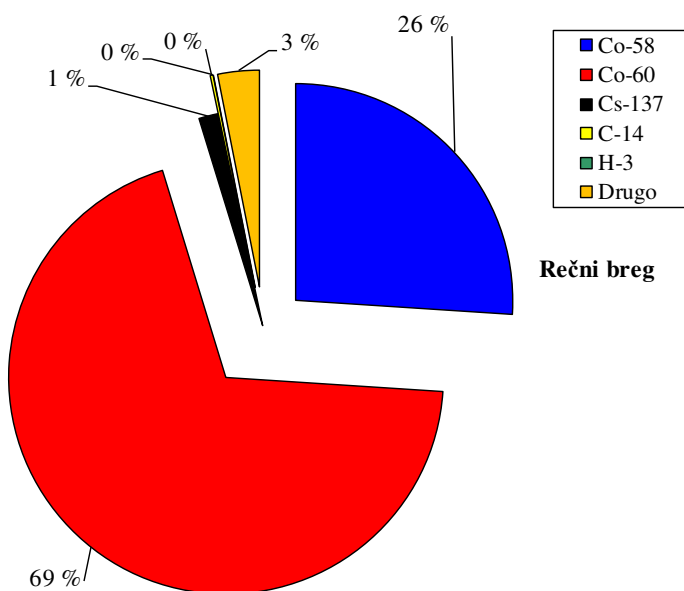
Druge starostne skupine (otroci in dojenčki) prejmejo še nižjo efektivno dozo. Vzporedno je narejena tudi ocena efektivne letne doze ob predpostavki pitja rečne vode. V poročilu *IJS-DP-10114* [26] je bilo ugotovljeno, da je prenosna pot pitja rečne vode malo verjetna.

Na slikah 1.11, 1.12 so deleži prispevkov posameznih radionuklidov, ki največ prispevajo k prejeti dozi pri zelo verjetni prenosni poti (zadrževanje na rečnem bregu in ingestija rib).

Efektivna doza je nekoliko višja kot v preteklem letu predvsem zaradi večjih tekočinskih izpustov C-14. C-14 največ prispeva k celotni dozi iz vseh prispevkov (97 %, dominantna je ingestija rib). Če upoštevamo samo zadrževanje na bregu, je praktično celotna obremenitev zaradi Co-60 in Co-58 95 %. Če upoštevamo pitje savske vode, ki je malo verjetna prenosna pot, postane dominanten prispevek H-3 skoraj 100 %.



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



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



SKLEPI

Tritij je edini radionuklid v okolju, ki ga lahko sistematično merimo v savski rečni vodi in je zagotovo vsaj delno posledica izpustov NEK. Njegov prispevek v reki Savi je bil v letu 2016 nekoliko višji kot v letih 2015 in 2014. Tritij se v okolju pojavlja tudi kot kozmogeni radionuklid, saj nastaja v višjih plasteh ozračja in se s padavinami spirala na tla.

Vpliv NEK zaradi izpustov drugih radionuklidov v reko Savo je v okolju nemerljiv. Glede na podatke o količini izpustov NEK bi morali v okoljskih vzorcih takoj za tritijem zaznati C-14, Co-58, Co-60, Ag-110m in Cs-137.

C-14 v okoljskih vzorcih ni bil merjen. Skupna letna izpuščena aktivnost v Savo je bila osem krat višja kot v preteklih letih, vendar je bila še vedno več kot tri velikostne rede nižja kot pri tritiju. Zaradi razredčitve v Savi in glede na običajno prisotnost C-14 v okolju, bi ga najverjetneje v mesečnih vzorcih težko ločili od naravnega ozadja.

Kobaltovih izotopov v okolju v letu 2016 nismo zaznali. Aktivnosti cezija in stroncija v vzorcih nizvodno od NEK zelo verjetno nista posledica vpliva NEK, ampak neenakomerne globalne kontaminacije. Prisotnost joda v okolju je posledica uporabe tega izotopa v terapevtske in diagnostične namene v bolnišnicah.

Na podlagi izmerjenih izpustov NEK za leto 2016 in upoštevanja ustreznih razredčitev, ki smo jih uporabili v modelni oceni, lahko sklenemo, da je izračunana efektivna doza referenčne skupine na kateri koli lokaciji nizvodno od NEK zaradi savske prenosne poti manjša od 0,3 μ Sv na leto.



2 VODA IZ ČRPALIŠČ IN VRTIN

POVZETEK

V poglavju obravnavamo radioaktivnost v pitni in podzemni vodi na brežiško-krškem polju. Voda se lahko uporablja za pitje, namakanje ali druge gospodarske namene, lahko pride v neposredni stik s savsko vodo ali usedom zaradi padavin. Na podlagi merskih rezultatov v letu 2016 ter na podlagi rezultatov meritev iz preteklih let ugotavljamo mogoč vpliv zaradi izpustov NEK na pitno vodo in podtalnico v občinah Krško in Brežice. V letu 2016 je bila vzorčevana voda iz vodovodov in črpališč v Brežicah in Krškem, iz vrtine znotraj ograje NEK ter iz podtalnice na Hrvaškem. Dodatno so bile vzorčevane še tri vrtine za določanje trenutne aktivnosti H-3. V odvzetih vzorcih so bile izmerjene koncentracije aktivnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Med umetnimi radionuklidi sta bila zaznana le H-3 in Sr-90, Cs-137 je bil pod mejo kvantifikacije, I-131 pa v pitni vodi in podtalnici ni bil zaznan. Vpliv tritija iz NEK je bil zaznan v vrtinah VOP-4 in Medsave. Na podlagi izmerjenih vrednosti je bila ocenjena letna efektivna doza za tri starostne skupine prebivalstva, ki uporabljajo vodo iz vzorčevanih vodovodov in črpališč za pitje. Izračunane letne efektivne doze zaradi prispevka umetnih radionuklidov v vodi k celotni izračunani letni dozi zaradi pitja vode za odrasle so podobne kot v prejšnjih letih in so glede na celotno letno dozo 0,2 % v brežiškem in 1,0 % v krškem vodovodu. Na podlagi opravljenih meritev in iz teh izračunanih povprečnih letnih koncentracij aktivnosti umetnih radionuklidov v vodovodih in črpališčih v okolici NEK lahko trdimo, da je v letu 2016 vpliv NEK na pitno vodo zanemarljivo majhen.

UVOD

NEK med svojim obratovanjem nadzorovano izpušča majhne količine radioaktivnih snovi v zrak in v reko Savo. Zaradi tega je med drugimi nadzori uveden tudi nadzor pitnih voda v okolici NEK. Z analizami ugotavljamo koncentracije aktivnosti naravnih in umetnih radionuklidov ter iz tega sklepamo na morebitni prispevek k celotni letni efektivni dozi prebivalcev zaradi obratovanja NEK. Študije vpliva NEK na pitno vodo in podtalnico v preteklih letih so pokazale, da lahko z naravnimi radionuklidi posredno opazujemo tudi druge vplive na okolje (prekomerno gnojenje kmetijskih površin nad vodonosniki, poplave itd.) [33].

Lokacije in obseg vzorčevanja pitne vode in podtalnice so določene v programu nadzora, ki ga pripravi upravni organ (JV10, URSJV) [10]. Vzorčevalna mesta so izbrana tako, da so vključena črpališča vodovodov, za katera ni izključena možnost, da se napajajo iz reke Save. V reko NEK izpušča tekoče izpuste. V okviru republiškega nadzora radioaktivnosti v pitni vodi v Sloveniji [16] se redno analizira tudi vzorec vode na referenčni lokaciji (vodovod Ljubljana).

Od sredine preteklega stoletja je prebivalstvo izpostavljeno antropogenim virom radioaktivnosti, ki so v okolju zaradi nadzemnih jedrskih poskusov, černobilske nesreče in uporabe virov v medicini, tako da so umetni radionuklidi v našem okolju tudi brez vpliva NEK. V skladu z zahtevami pravilnika JV10 [10] ovrednotimo sevalne obremenitve za tri starostne skupine, in sicer za enoletnega otroka, desetletnega otroka in odraslo osebo. Pri tem upoštevamo dozne pretvorbene faktorje (predvidena efektivna doza na enoto vnosa zaradi zaužitja $h(g)_{j,ing}$ za posameznike iz prebivalstva) iz tabele 1 v uredbi UV2 [11] za starostne skupine do 1 leta, od 7 do 12 let ter starejše od 17 let. Pri izračunih upoštevamo, da odrasla oseba letno zaužije 0,75 m³ vode, desetletni otrok 0,35 m³ vode in enoletni otrok 0,26 m³ vode.

ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Obseg, način in pogostost vzorčevanja ter zahteve za merilne postopke in opremo pri nadzoru določa Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10) [10]. 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.



Izpeljane vrednosti koncentracij (IK) umetnih radionuklidov v pitni vodi so navedene v *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2)* [11], *Tabela 4*, in povzete v poročilu *Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2008* (tabela 2.1) [5]. Izmerjene koncentracije radionuklidov v pitni vodi teh vrednosti ne smejo presegati, pri čemer pa je treba upoštevati še, da je vsota deležev izmerjenih koncentracij glede na izpeljane koncentracije manjša od ena.

Kot določa *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10)* [10], so metode vzorčevanja, priprave vzorcev in meritev izbrane tako, da je za sevalce beta in gama detekcijska meja pod tridesetino mejnih vrednosti kontaminacije za pitno vodo, ki so določene v *Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2)* [11]. Metode vzorčevanja, 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))*, *Vzorčevanje in priprava vzorcev za določitev tritija (LSC-DN-06)*, *Meritve vsebnosti radionuklidov s tekočinskoscintilacijskim števcem Quantulus (LSC-DN-08)* in *Analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07)*.

Vzorčevanje vodovodov, črpališč in podtalnice (vrtine) je v letu 2016 potekalo v skladu s postopkom *Izvedba programov Rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško in v Republiki Sloveniji (LMR-OP-02)* 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, črpališče je 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 VT1, levi breg Save, 3,2 km od Save (globina vrtine je 200 m).

2. *Enkratni četrtletni vzorci:*

- vodovod Krško (bencinski servis Petrola, Krško), levi breg Save;
- vodovod Brežice (bencinski servis Petrola, Brežice), desni breg Save;
- vrtina E1 znotraj vzhodne ograje NEK (četrtletni vzorci), levi breg Save.

3. *Enkratni mesečni vzorci:*

- vrtina VOP-4, levi breg Save, približno 600 m nizvodno od jezua NEK in približno 50 m od struge Save (samo analiza tritija);
- vrtina VOP-1/06, levi breg Save, približno 400 m nizvodno od jezua NEK in približno 700 m od struge Save. Vzorčevanje se je pričelo v mesecu juniju 2016. (samo analiza tritija v namen ocene dejanskega stanja aktivnosti tritija v okolici novega akumulacijskega jezera HE Brežice pred zalitjem z vodo);
- vrtina V-7/77, levi breg Save, približno 3 km nizvodno od jezua NEK in približno 600 m od struge Save. Vzorčevanje se je pričelo v mesecu juniju 2016. (samo analiza tritija v namen ocene dejanskega stanja aktivnosti tritija v okolici novega akumulacijskega jezera HE Brežice pred zalitjem z vodo);
- vrtina V-12/77, desni breg Save, približno 3,4 km nizvodno od jezua NEK in približno 300 m od struge Save. Vzorčevanje se je pričelo v mesecu juniju 2016. (samo analiza tritija v namen ocene dejanskega stanja aktivnosti tritija v okolici novega akumulacijskega jezera HE Brežice pred zalitjem z vodo);
- 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 je 10–15 m).

4. *Enkratno letno vzorčevanje na referenčni lokaciji*

- vodovod Ljubljana (republiški nadzor radioaktivnosti pitne vode [16])



V črpališčih Brege, Rore in Brežice – Glogov Brod VT1 ter na odvzemnem mestu vodovod Spodnji Stari Grad so nameščeni avtomatski vzorčevalniki (slika 2.1). Avtomatski vzorčevalniki 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 so opravljali nadzorniki črpališč ali uporabniki pitne vode. Lokacije so zapisane v organizacijskem postopku *Izvedba programa rednega nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško in v R Sloveniji (LMR-OP-02)*. Na bencinskih servisih in iz vrtine E1 se odvzame enkratni vzorec četrletno. Iz vrtine VOP-4 se jemlje enkratni mesečni vzorec na začetku tekočega meseca. Vzorčevanje na Hrvaškem se opravlja na dveh vzorčevalnih mestih v bližini Zagreba (enkratno mesečno vzorčevanje na začetku meseca in spektroskopske analize so opravili na IRB).



Slika 2.1: Avtomatski vzorčevalnik za vodo na enem izmed črpališč v okolici NEK

Sistem za oskrbo s pitno vodo v občini Krško ima 4 711 vodovodnih priključkov, na katere je vezanih 14 888 uporabnikov pitne vode [31]. Voda se zagotavlja s področja Krškega polja in neposredne bližine reke Save, kjer so v delovanju dva vodna vira: črpališče Brege in vrtina v Rorah (R6 in R7). Na območju Dolenje vasi je še manjši vir Črna mlaka. V vodovodnem sistem Krško prihaja tudi do mešanja vode iz različnih vodnih virov, saj so vodni viri in objekti na sistemu povezani. Ugotovljeno je bilo, da so vsa črpališča občasno onesnažena s pesticidi (gnojenje kmetijskih površin) in drugim mikrobiološkim onesnaženjem. Nenaden pojav onesnaženja iz okolja je lahko tudi pokazatelj premikov podzemnih plasti, ki usmerjajo tok vode in njene pritoke [33].

Sistem za oskrbo vode v občini Brežice ima 7 624 priključkov in 19 249 uporabnikov pitne vode [32]. Voda se zagotavlja iz vrtin v Pišecah, Prilipah, Brezini, Novaščkah, vrtine PE-1/90 in iz črpališča Glogov Brod (VT-1/84). Največ vode (3 200 m³) na dan načrpajo v črpališču Glogov Brod. Podatkov o morebitni mikrobiološki onesnaženosti omenjenih črpališč nimamo.



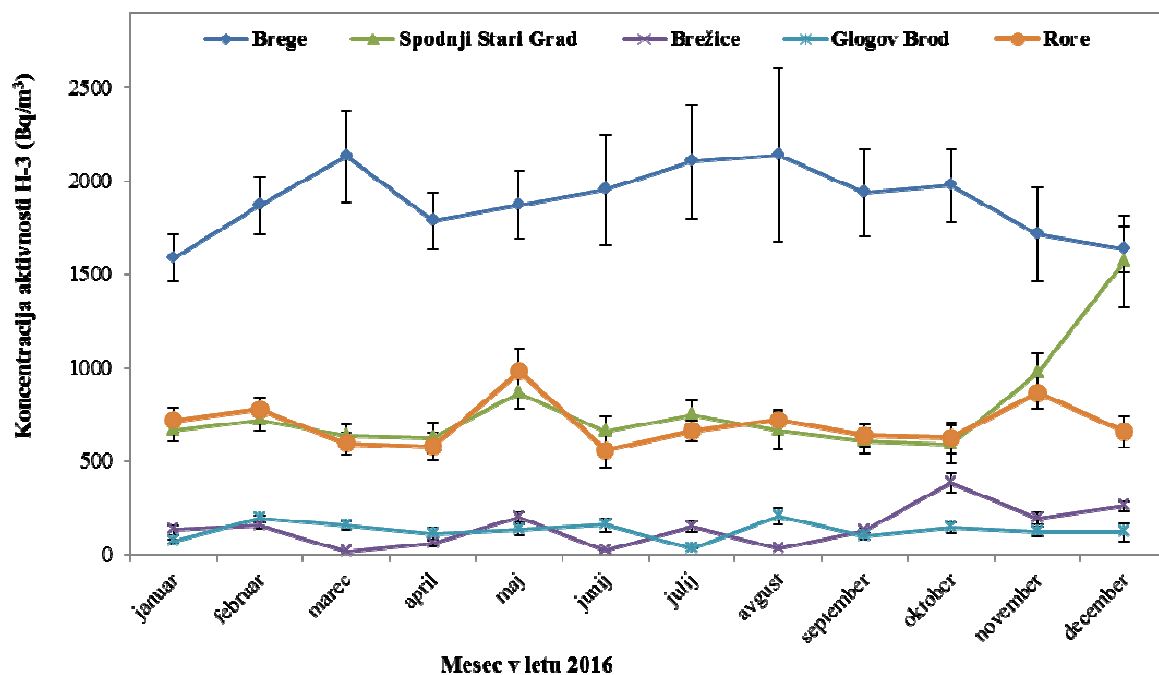
REZULTATI MERITEV

Podzemna voda, ki se črpa na krško-brežiškem polju, je lahko v stiku s savsko vodo, predvsem pri plitvi vrtini v Bregah. Če vrtine niso globoke, bi se morda lahko pokazal tudi stik med padavinskim usedom in vodo iz vrtin. V tekočinskih izpustih iz NEK so različni umetni radionuklidi, pri čemer bi predvsem v vodi topni umetni radionuklidi lahko zašli tudi v podzemno vodo [34]. Verjetnost za take dogodke je odvisna od geološke sestave in globine črpanja vode. Pri imisijskih meritvah reke Save so redno detektirani radionuklidi H-3, Cs-137, I-131 in Sr-90. Radionuklida Cs-137 in Sr-90 najverjetneje izvirata iz neenakomernega useda zaradi černobilske nesreče in jedrskih poskusov ter njenega spiranja v površinske vode, I-131 pa je terapevtski radionuklid, ki je v rekah po Sloveniji zaradi izpustov iz medicinskih ustanov. Tritij nastaja tako v jedrski elektrarni kot tudi v ozračju. Prispevke Cs-137, I-131 in Sr-90 zaradi tekočinskih izpustov iz NEK v Savo je nemogoče natančno določiti, saj so emisijske koncentracije zanemarljive v primerjavi z drugimi viri. Edini umetni radionuklid, ki je očiten in je tako v emisijskih in imisijskih merskih rezultatih, je tritij H-3.

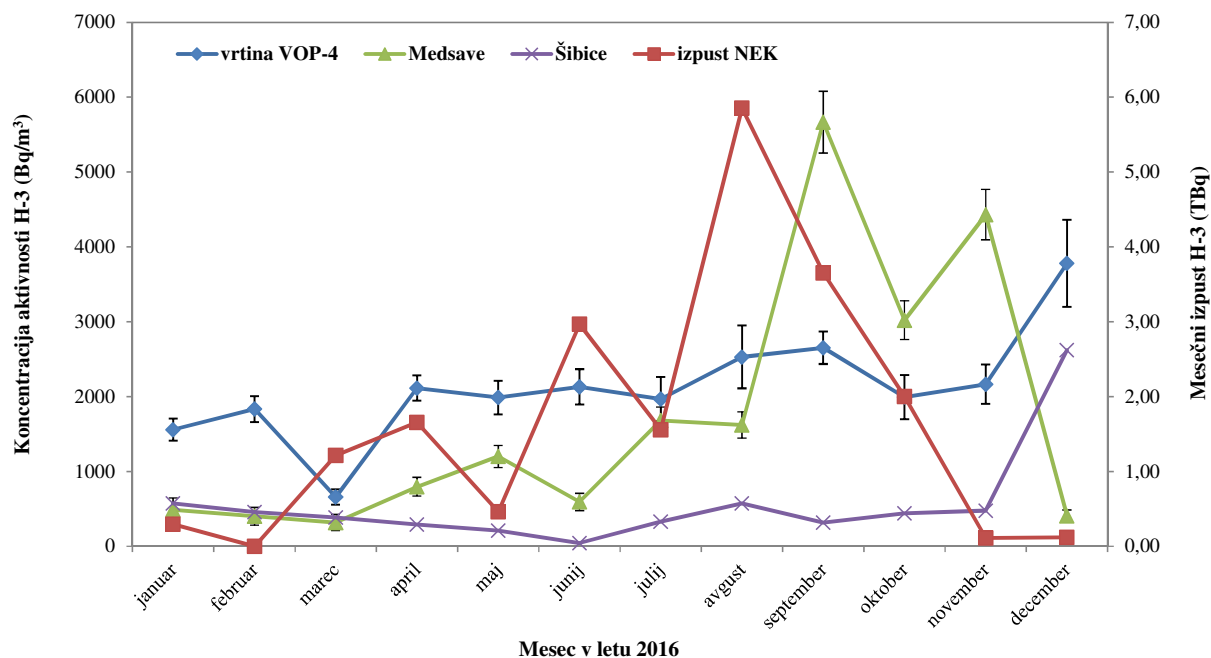
Rezultati meritev koncentracije aktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v enkratnih četrletnih vzorcih pitne vode v Krškem in Brežicah, rezultati meritev mesečnih sestavljenih vzorcev iz črpališč in vodovodov v Krškem, razvrščenih po oddaljenosti od NEK, rezultati meritev mesečnih sestavljenih vzorcev črpališč in vodovodov v Brežicah ter rezultati meritev koncentracij aktivnosti za podtalnico na Hrvaškem so predstavljeni v tabelah od T-28 do T-36, ki so na priloženi zgoščenci v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291, marec 2017*. V tabelah so rezultati meritev podani z neposrednimi merskimi rezultati in njihovimi negotovostmi, ki se nanašajo na interval zaupanja z 68-odstotno zanesljivostjo. Nekatere vrednosti so podane brez negotovosti. To so vrednosti, izpeljane iz mej detekcij. Po priporočilih *Evropske komisije* [49] se v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Srednjo vrednost rezultatov meritev v tem letu imenujemo mesečno povprečje, aritmetično povprečje, včasih pa tudi samo povprečje. Števila za znakom "±" so apriorne negotovosti povprečja. Pojmi so ustrezno pojasnjeni v *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291* [1]. Letno dozo lahko izračunamo iz danega mesečnega, četrletnega ali polletnega aritmetičnega povprečja ob predpostavki, da je vnos hrane, vode ali zraka v telo in organizem človeka konstanten skozi celo leto.

Poleg tritija, ki je tako naravnega kot umetnega izvora, je bil med radionuklidi, ki so umetnega izvora, v vodi iz črpališč in vrtin izmerjen le še Sr-90. V nekaterih vzorcih je bil zaznan tudi Cs-137, katerega vrednost je bila določena pod mejo kvantifikacije, kar pomeni da imajo izmerjene vrednosti zelo veliko mersko negotovost. Kot smo že zgoraj omenjali, je Cs-137 used iz černobilske nesreče in jedrskih poskusov. Dodatna potrditev za to je, da smo ga že večkrat pred leti izmerili tudi v vodovodu v Ljubljani. Podobno kot v prejšnjih letih radioaktivni izotop joda I-131 ni bil zaznan v nobenem izmed vzorcev iz krškega in brežiškega vodovodnega sistema, kot tudi ne v vzorcih vrtin E1 v NEK, VOP-4, Medsave in Šibice na Hrvaškem. 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 na tla z deževnico. Prisotnost Be-7 v vzorcih lahko kaže na mešanje med padavinami in podtalnico oziroma vodo v vodonosniku.

Na sliki 2.2 so prikazane koncentracije aktivnosti H-3 v mesečnih sestavljenih vzorcih vode iz črpališč in vodovodov v okolici NEK. Najvišje koncentracije aktivnosti H-3 so bile v letu 2016 izmerjene v črpališčih, ki napajajo krški vodovod. Najvišja koncentracija aktivnosti je bila izmerjena meseca avgusta v Bregah, in sicer je bila koncentracija aktivnosti tritija ($2\,140 \pm 466$) Bq/m³. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti tritija v vodi iz črpališča Brege je bila letos ($1\,893 \pm 71$) Bq/m³, kar je primerljivo s prejšnjim letom in v okviru standardne deviacije ustreza povprečju zadnjih 20 let, ki je ($1\,576; 384$) Bq/m³. V vodi v črpališču Rore je povprečna mesečna koncentracija tritija (677 ± 27) Bq/m³, kar je primelljivo s prejšnjim letom. V vodovodu v Spodnjem Starem Gradu je bila izmerjena povprečna koncentracija aktivnosti tritija (778 ± 31) Bq/m³, kar je pod 20-letnim povprečjem, ki je ($1\,039; 185$) Bq/m³. To lahko nakazuje, da je vodovod večino časa napajan iz črpališča Rore. V mesecu decembru je na omenjenem vodovodu opaziti skok koncentracije aktivnosti tritija (1571 ± 247) Bq/m³, kar nakazuje na to, da je bil v tem mesecu vodovod napajen večinoma z vodo iz črpališča Brege.



Slika 2.2: Mesečna koncentracija aktivnosti H-3 v vzorcih pitne vode iz črpališč in vodovodov za leto 2016



Slika 2.3: Koncentracija aktivnosti H-3 v mesečnih vzorcih podtalnice v neposredni okolici NEK (vrtina VOP-4) in v vrtinah Medsave in Šibice na Hrvaškem ter aktivnost H-3 v mesečnem tekočinskem izpustu v Savo za leto 2016



V letu 2016 je bila koncentracija aktivnosti tritija v vodi iz krških črpališč podobna kot v letu 2015, pri čemer je bila najvišja v Bregah. Vrtina v Bregah je relativno plitva, kar potencialno omogoča izmenjavo tako s Savo kot tudi s padavinskim usedom.

Rezultati meritev koncentracije tritija v vodovodu Spodnji Stari Grad so v okviru dolgoletnega povprečja.

V skladu s pričakovanji je koncentracija aktivnosti tritija v pitni vodi v brežiškem vodovodnem sistemu bistveno nižja od koncentracije tritija v krškem vodnooskrbnem območju, kar lahko razlagamo s tem, da gre pri vrtini Glogov Brod za vodo, ki že dolgo ni imela stika s površjem. Mesečno povprečje H-3 v letu 2016 v pitni vodi v brežiškem vodnooskrbnem območju je (143 ± 31) Bq/m³. Kot je že bilo pojasnjeno [33], je manjša koncentracija aktivnosti H-3 posledica globlje vrtine na črpališču Brežice – Glogov Brod. Vrtina je globoka okoli 200 metrov, kar je znatno globlje od vrtine Brege, ki je globoka 18 m. To pomeni, da je vir v črpališču Brežice dobro ločen od reke Save, njen vpliv pa je mogoče le občasno zaznati. Vodovod Brežice ima to leto malo višjo koncentracijo H-3 kot v črpališču, kar nakazuje na mešanje vode iz drugih črpališč. V tabeli 2.1 so predstavljene srednje vrednosti koncentracije aktivnosti tritija v vodi iz črpališč v krških in brežiških vodnooskrbnih sistemih.

Tabela 2.1 Srednja vrednost koncentracije aktivnosti H-3 v črpališčih in vodovodih v okolici NEK za leto 2016. Vrednost za znakom "±" je apriorna negotovost povprečja.

Lokacija	H-3 (Bq/m ³)
Brege	1893 ± 71
Rore	696 ± 29
Spodnji Stari Grad	778 ± 31
Brežice	143 ± 31
Glogov Brod	129 ± 14

Poleg rednih mesečnih odvzemov vode na črpališčih in vodovodih v občinah Krško in Brežice je bila tako kot prejšnja leta analizirana tudi voda z enkratnimi odvzemi na bencinskih servisih Petrol v Krškem in v Brežicah. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti tritija za enkratne odvzeme v Brežicah je bila (190 ± 56) Bq/m³. Mesečno povprečje koncentracije aktivnosti tritija v Krškem je bilo (568 ± 35) Bq/m³. Kot referenčno vrednost lahko vzamemo dolgoletno povprečje koncentracije aktivnosti tritija v ljubljanskem vodovodu 775 Bq/m³, ki se meri okviru republiškega nadzora radioaktivnosti pitne vode [16].

Za nadzor stika in izmenjave vode med Savo in podtalnico na brežiško-krškem polju se preverja tudi stanje v vrtinah E1 v NEK in VOP-4 na slovenski strani ter v vrtinah Medsave in Šibice na Hrvaškem. Pri tem je treba poudariti, da vrtine v Sloveniji in na Hrvaškem niso namenjene za črpanje pitne vode niti kot tehnološka voda. Mesečno aritmetično povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vzorcih vrtine E1 v NEK je $(1\,423 \pm 52)$ Bq/m³, v vodi iz vrtine VOP 4 pa $(2\,114 \pm 84)$ Bq/m³. Najvišja koncentracija aktivnosti H-3 je bila izmerjena v decemberskem vzorcu $(3\,779 \pm 581)$ Bq/m³, kar sledi največjim izpustom tritija v mesecu avgustu in septembru. S slike 2.3, kjer je prikazana koncentracija aktivnosti H-3 v mesečnih vzorcih iz vrtine VOP-4 v neposredni okolici NEK, ter vrtinah Medsave in Šibice na Hrvaškem v primerjavi z mesečnimi tekočimi izpusti H-3 v Savo (mesečni izpusti so predstavljeni na desni osi), lahko razberemo, da je bil izpust zaznan v mesecu septembru, oktobru in novembru tudi v vrtini Medsave na Hrvaškem.

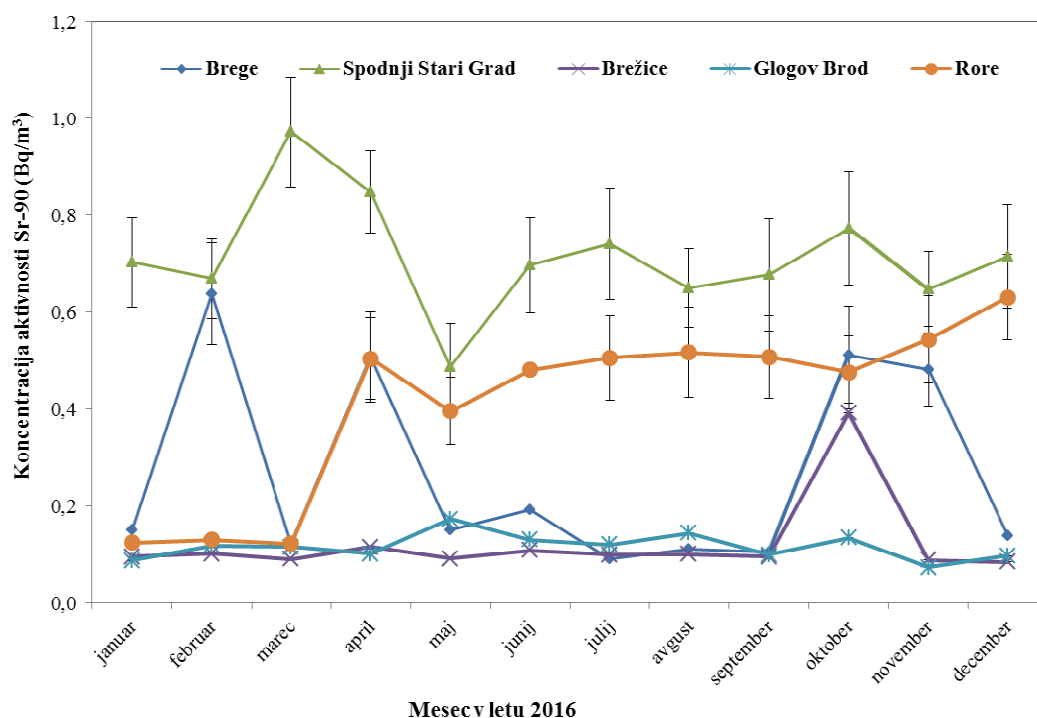
Zaradi gradnje hidroelektrarne Brežice (HE Brežice) smo v letu 2016 začel redne mesečne meritve koncentracije H-3 v podtalnici še na dodatnih treh lokacijah, in sicer na vrtinah VOP-1/06, V-12/77 in V-7/77. Namen teh meritev je določitev dejanskega stanja koncentracije H-3 pred zalitjem akumulacijskega jezera HE Brežice. Tako bomo lahko v naslednjih letih spremljali potencialni vpliv spremembe vodostaja



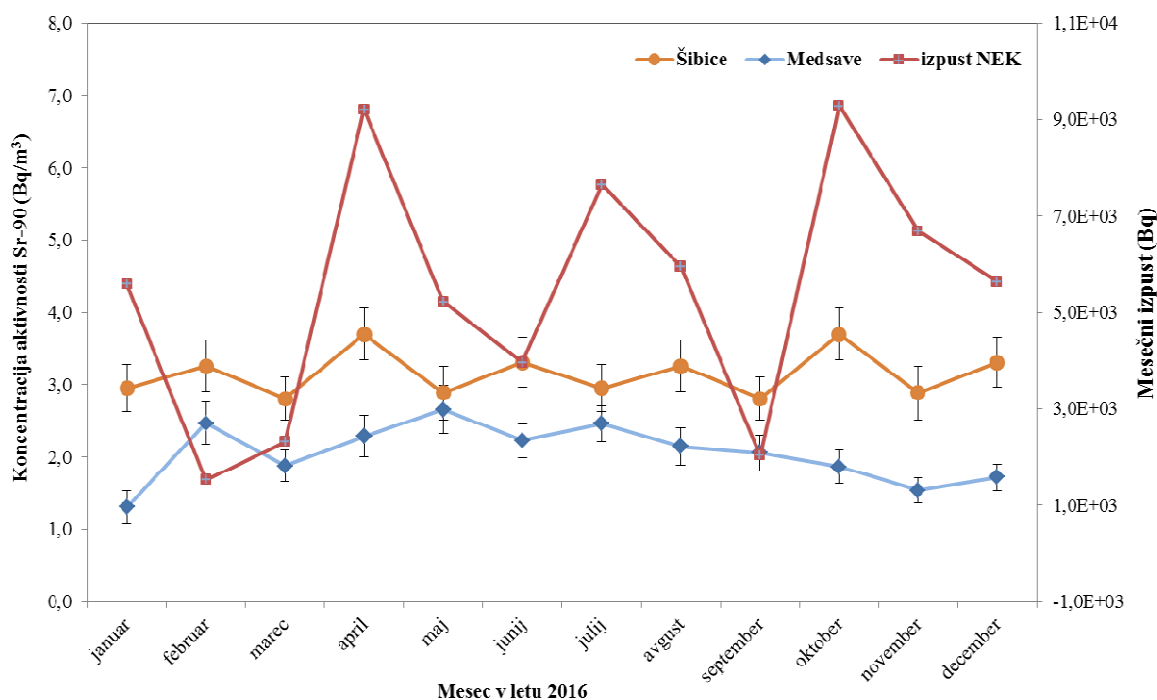
Save na stik s podtalnico. Vzorčevanje vseh treh vrtin se je začelo v mesecu juniju 2016. Mesečno aritmetično povprečje koncentracije aktivnosti H-3 v vzorcih vrtine VOP-1/06 je $(1\ 049 \pm 20)$ Bq/m³, v vzorcih vrtine V-12/77 $(1\ 280 \pm 34)$ Bq/m³ in $(1\ 360 \pm 41)$ Bq/m³ v vzorcih vrtine V-7/77.

Letno povprečje koncentracije aktivnosti Sr-90 v krških črpališčih in vodovodu je bilo 0,46 Bq/m³, v brežiškem vodovodnem sistemu pa 0,12 Bq/m³. To razliko lahko pojasnimo s tem, da je brežiško črpališče globlje in je zaradi tega vpliv splošne kontaminacije, katere produkt je tudi stroncij, manjši kot v krških črpališčih. Za primerjavo lahko povemo, da je bila v ljubljanskem vodovodu izmerjena koncentracija aktivnosti stroncija 0,7 Bq/m³, dolgoletno neuteženo povprečje od leta 2002 do 2016 pa je 0,9 Bq/m³ [1]. Na sliki 2.4 so prikazane koncentracije Sr-90 v mesečnih vzorcih vode črpališč in vodovodov, pri čemer je bila koncentracija aktivnosti Sr-90 v pitni vodi najvišja v Spodnjem Starem Gradu, in sicer $(1,0 \pm 0,1)$ Bq/m³ v mesecu marcu. Večkrat je bila koncentracija aktivnosti Sr-90 v vodi s črpališč pod mejo kvantifikacije in je vrednost definirana kot četrtnina detekcijske meje. Te vrednosti so na grafu podane brez pripadajočih negotovosti.

Na sliki 2.5 so prikazani mesečni tekoči izpusti Sr-90 iz NEK (slednji so predstavljeni na desni osi) ter koncentracija aktivnosti stroncija v hrvaških vrtinah. Mesečno aritmetično povprečje mesečnih koncentracij aktivnosti Sr-90 v vrtini Šibice na Hrvaškem je bilo 3,2 Bq/m³, v Medsavah pa 2,1 Bq/m³, pri čemer se vrednosti ne odmikata od usmeritve prejšnjih let. Kot lahko sklepamo s slike 2.5, izmerjene koncentracije Sr-90 v Šibicah in Medsavah tako niso povezane z izpusti iz NEK, temveč gre za splošno kontaminacijo. V enkratno odvzetih četrtnetnih vzorcih v vodovodu Brežice je bilo aritmetično povprečje koncentracij aktivnosti Sr-90 $(0,11 \pm 0,02)$ Bq/m³ in $(0,3 \pm 0,1)$ Bq/m³ v Krškem. Mesečno aritmetično povprečje koncentracij aktivnosti Sr-90 v vzorcih iz vrtine E1 NEK je bilo $(3,8 \pm 0,1)$ Bq/m³.



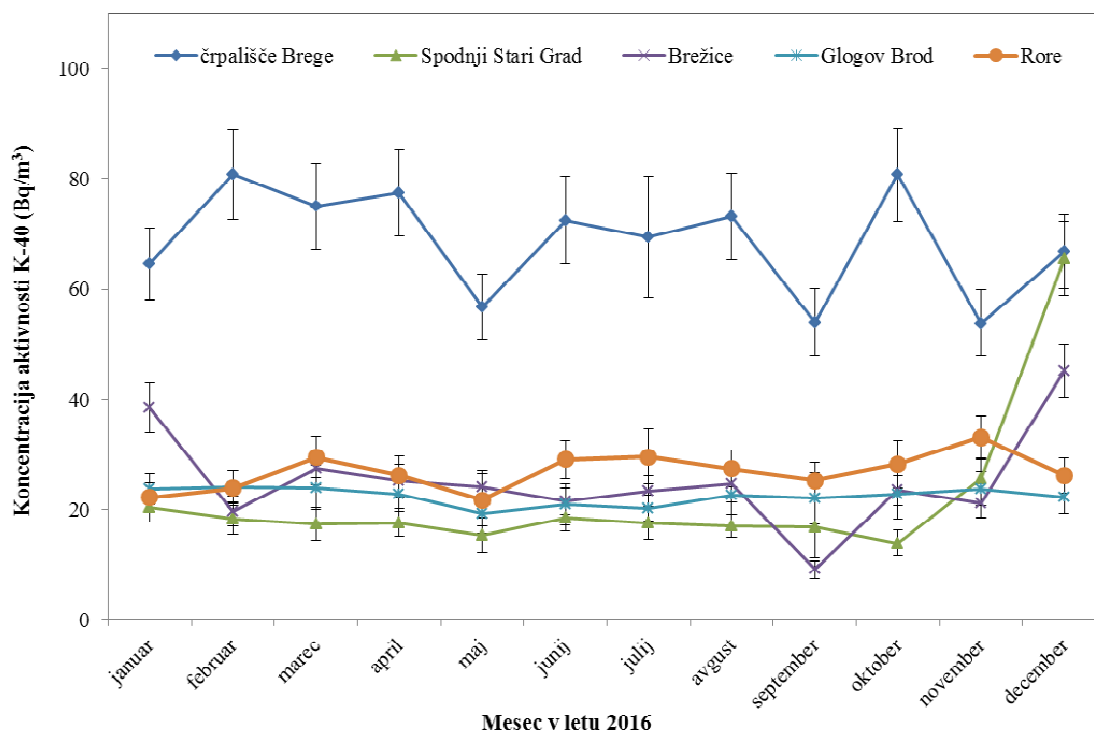
Slika 2.4: Koncentracija aktivnosti Sr-90 v mesečnih sestavljenih vzorcih iz črpališč in vodovodov v okolici NEK v letu 2016



Slika 2.5: Koncentracija aktivnosti Sr-90 v mesečnih enkratnih vzorcih vrtin na Hrvaškem ter mesečni tekočinski izpusti Sr-90 v Savo v letu 2016

Koncentracije aktivnosti naravnega radionuklida K-40 so bile izmerjene na vseh vzorčevalnih mestih. Mesečne koncentracije aktivnosti K-40 v vseh črpališčih in obeh vodovodih so prikazane na sliki 2.6. Tu je razvidno, da je koncentracija aktivnosti K-40 povečana v vodi na črpališču Brege, kar nakazuje na zunanje vplive (padavinski used, večji vodostaj Save). V evalvaciji rezultatov meritev radioaktivnosti v pitni vodi [33] je bila izdelana karta koncentracije aktivnosti K-40 v podzemni in pitni vodi po Sloveniji. Večina meritev je bila opravljena v okviru republiškega programa nadzora radioaktivnosti v pitni vodi po Sloveniji [16]. Ugotovljeno je bilo, da je koncentracija aktivnosti K-40 malo višja na območju krškega vodonosnika in precej bolj povečana v predelu severovzhodne Slovenije. Višjo koncentracijo aktivnosti K-40 si razlagamo z večjim vnosom kalija ob gnojenju kmetijskih površin nad območji vodonosnikov [35].

Za vsa vzorčevalna mesta krškega in brežiškega vodovoda velja, da so povprečja mesečnih koncentracij aktivnosti naravnega U-238 nizka, najvišje mesečno aritmetično povprečje mesečnih vrednosti je bilo izmerjeno v vodovodu Spodnji Stari Grad, in sicer $(3,2 \pm 1,1) \text{ Bq/m}^3$, in na črpališču Brežice $(2,8 \pm 0,7) \text{ Bq/m}^3$. Mesečne aritmetične povprečne koncentracije aktivnosti Ra-226 se gibljejo od $0,6 \text{ Bq/m}^3$ (vodovod Brežice) do $2,8 \text{ Bq/m}^3$ (črpališče Rore). Mesečno aritmetično povprečje koncentracije aktivnosti Pb-210 je bilo od $1,6 \text{ Bq/m}^3$ v vodi, načrpani na vodovodu Spodnji Stari Grad, in do $4,9 \text{ Bq/m}^3$ v vodi iz črpališča Brege. V Ljubljani je bila koncentracija aktivnosti Pb-210 $0,5 \text{ Bq/m}^3$, leta 2015 pa $2,4 \text{ Bq/m}^3$. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti Ra-228 v vodovodu Brežice je bila $0,5 \text{ Bq/m}^3$, v Krškem pa $0,9 \text{ Bq/m}^3$. Povprečne mesečne koncentracije Th-228 se gibljejo med $0,4 \text{ Bq/m}^3$ (Brežice) in $0,9 \text{ Bq/m}^3$ (Rore). Be-7 je bil občasno detektiran v vseh črpališčih in vodovodih v Krškem in Brežicah. Povprečna mesečna koncentracija Be-7 je bila $5,4 \text{ Bq/m}^3$ v Brežicah, v Krškem pa $5,2 \text{ Bq/m}^3$.



Slika 2.6: Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti K-40 v vodovodih in črpališčih za leto 2016

DISKUSIJA

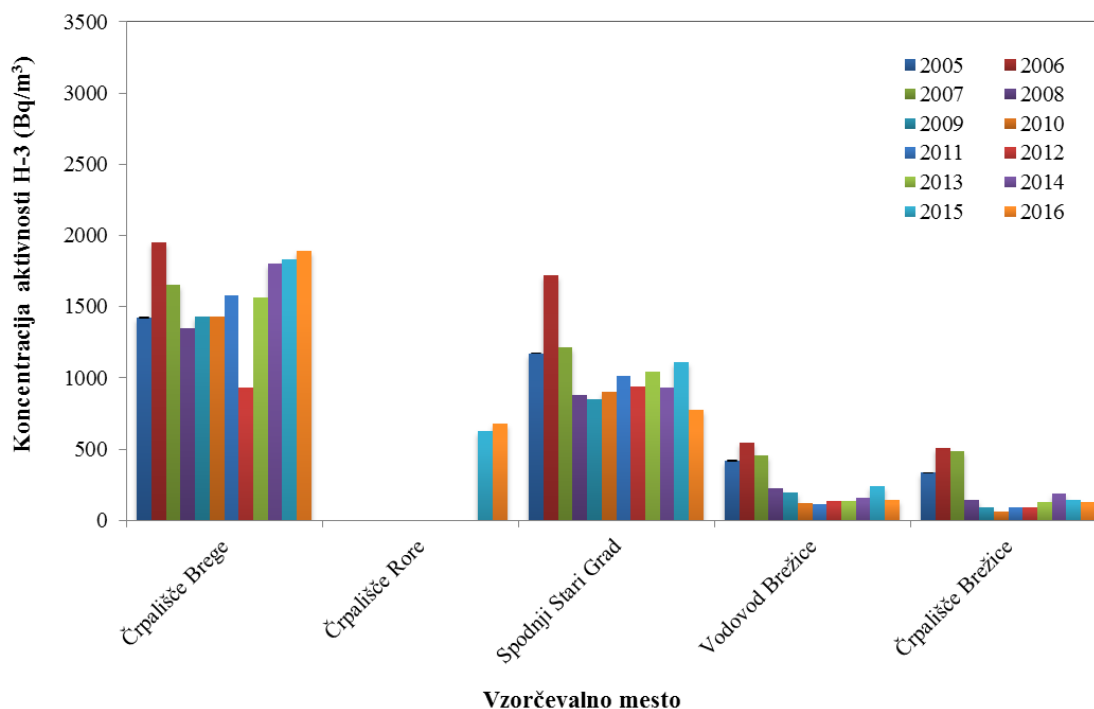
Z analizami radionuklidov v pitnih in podzemnih vodah v okolici NEK ugotavljamo morebitni vpliv NEK na onesnaženje podzemne in posledično pitne vode v okolici NEK. Pri analizi vzorcev izmerimo koncentracije tako umetnih kot tudi naravnih radionuklidov. Koncentracije naravnih radionuklidov uporabimo za izračun primerjave prispevka naravnih in umetnih radionuklidov k letni dozi. Poleg primerjave pa lahko naravne radionuklide uporabimo kot indikatorje nenadnih sprememb v okolju. V eni od študij se je izkazalo, da je lahko naravni radionuklid K-40 indikator za prekomerno gnojenje kmetijskih površin, ki so nad vodonosniki [33] in s tem posledično tudi mogoč indikator za povečanje koncentracije nitratov v zemlji in podtalnici ter s tem v pitni vodi. Za kvalitetnejšo rast pridelkov v kmetijstvu se kalij uporablja kot sestavina mineralnega gnojila za kmetijske površine, pri čemer je gnojenje eden izmed razlogov za povečanje koncentracije nitratov v podzemnih vodah. Z določanjem vsebnosti umetnih radionuklidov v pitni vodi in podtalnici pa ugotavljamo vpliv morebitnega onesnaževanja zaradi izpustov iz NEK. V tekočih in plinskih izpustih NEK je največ H-3, ki se prenaša kot voda ali vodna para. V letu 2016 je bila skupna količina tekočinskih izpustov H-3 iz NEK (19,9 TBq), kar je primerljivo s prejšnjimi leti. Letni izpust H-3 v Savo je bil 44 % letne omejitve izpusta (45 TBq). Največji tekočinski izpust H-3 je bil v mesecu avgustu (5,9 TBq).

Pomembno vlogo pri razjasnitvi morebitnega vpliva 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 v vzorcih vode iz črpaljš in vodovodov v okolici NEK od leta 2005 do 2016 je prikazana na sliki 2.7. Ugotovimo lahko, da je izračunana povprečna letna koncentracija aktivnosti tritija v vodovodih in črpaljših v okolici NEK v letu 2016 v okviru negotovosti primerljivega velikostnega reda kot v preteklih letih.

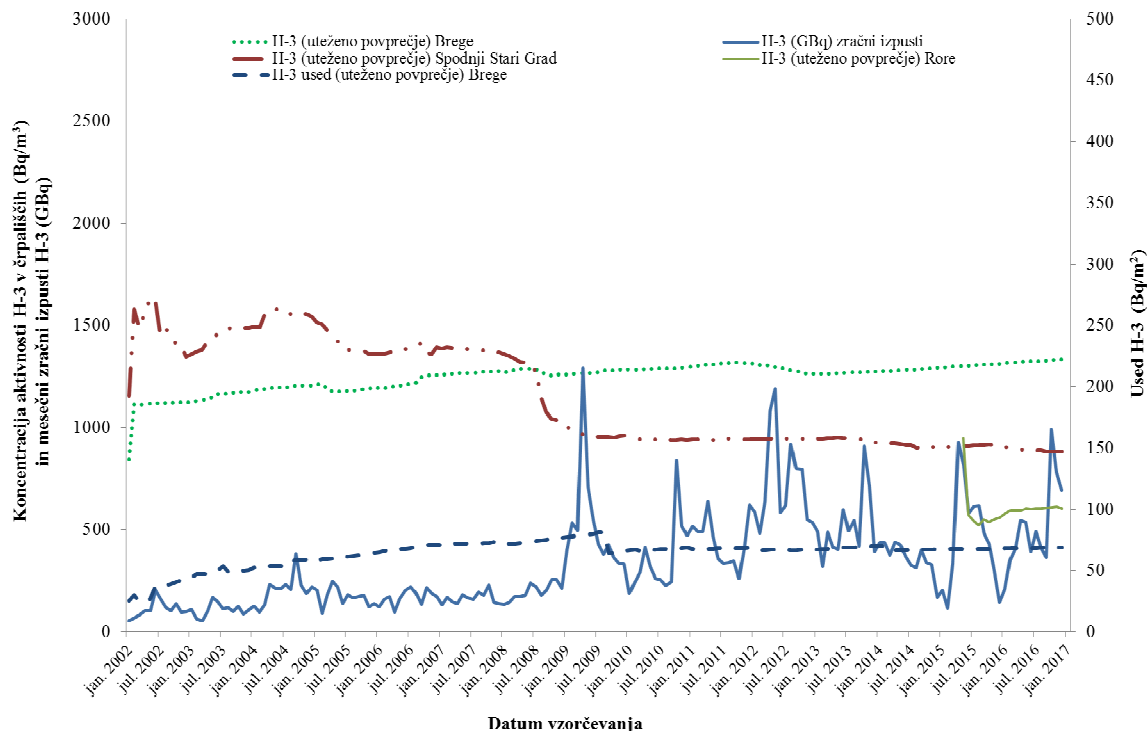


Tabela 2.2: Korelacijski koeficienti primerjave med mesečnimi koncentracijami aktivnosti H-3 v črpališčih Brege in Spodnji Stari Grad s tekočinskimi izpusti in padavinskim usedom od leta 2002 do leta 2016

Lokacija	Brege		Spodnji Stari Grad	
	Korelacijski koeficient (črpališče, used)	Korelacijski koeficient (črpališče, izpust)	Korelacijski koeficient (črpališče, used)	Korelacijski koeficient (črpališče, izpust)
2002	0,71	-0,21	0,63	0,1
2003	-0,12	0,26	-0,22	0,46
2004	0,44	0,15	0,23	-0,31
2005	-0,1	0,56	0,03	0,34
2006	0,2	-0,21	0,19	-0,21
2007	-0,05	0,50	-0,17	-0,03
2008	0,13	-0,23	0,15	0,05
2009	0,29	-0,2	0,11	-0,41
2010	0,17	0,11	-0,24	0,25
2011	-0,02	-0,71	0,05	-0,25
2012	0,16	-0,04	-0,08	0,13
2013	0,51	0,38	0,33	-0,21
2014	-0,25	-0,41	-0,03	-0,15
2015	-0,18	0,38	-0,26	-0,08
2016	0,19	0,08	0,52	0,44



Slika 2.7: Povprečne mesečne koncentracije aktivnosti H-3 v vodovodih, črpališčih in podtalnici od leta 2005 do 2016 v okolici NEK



Slika 2.8: Primerjava med uteženim povprečjem koncentracije aktivnosti H-3 v pitni vodi (Spodnji Stari Grad, Brege in Rore), uteženim povprečnim usedom tritija v Bregah (Bq/m^2) ter mesečnimi zračnimi izpusti od leta 2002 do 2016

Kot smo opazili na slikah 2.2 in 2.7, je koncentracija aktivnosti tritija v Bregah najvišja, kar nakazuje na stik vodonosnika s površjem. Če podrobno pogledamo podatke na grafih za H-3 (slika 2.2) in K-40 (slika 2.6), opazimo, da sta usmeritvi za H-3 in K-40 podobni. Ta korelacija dodatno potrjuje mešanje meteornih voda z vodonosnikom na črpališču Brege.

Za boljši pregled koncentracije tritija v krškem vodnooskrbnem sistemu smo podrobneje preučili večletne usmeritve koncentracije H-3 v črpališču Brege in vodovodu Spodnji Stari Grad. Primerjali smo jih s padavinskim usedom na lokaciji Brege in s tekočinskimi in zračnimi izpusti iz NEK od leta 2002 do 2016. Če za primerjavo uporabimo vzorčni korelacijski (Pearsonov) koeficient [37], lahko ugotovimo, da v letu 2016 ni najti izrazitih korelacij med tekočinskimi izpusti iz NEK in vodami na črpališčih v Krškem. Ker je črpališče v Bregah relativno plitvo, smo na podlagi podatkov, ki so na voljo, pogledali še možnost vpliva deževnice in s tem padavinskega useda na vodo v črpališču. Korelacijski koeficienti primerjav med koncentracijo tritija v Bregah in Spodnjem Starem Gradu s padavinskim usedom v Bregah so prav tako prikazani v tabeli 2.2. Za črpališče Brege je korelacijski koeficient okoli vrednosti nič, iz česar sklepamo, da direktne korelacije ne moremo določiti. V Spodnjem Starem Gradu je korelacijski koeficient večji (0,5), kar nakazuje na zmerno povezanost. Na vodovodu v Spodnjem Starem Gradu so se v prejšnjih letih že pojavile podobne korelacije, večino časa pa so vrednosti okoli nič. Ker se usmeritev korelacijskega koeficienta iz leta v leto spreminja, je težko trditi o povezanosti med zračnimi izpusti in izmerjenimi vrednostmi v vodah. Razlog za to je, da sta čas in pot transporta meteornih voda iz površine do vodonosnika predolga in slabo poznana, da bi lahko korelacije na letnem nivoju pokazale pozitivne rezultate.

Za prikazovanje usmeritve koncentracije tritija smo uporabili še uteženo povprečje [33] od januarja 2002 do decembra 2016:

$$\bar{C}_{H,n+1} = \bar{C}_{H,n} + \frac{\sigma_{C_{H,n}}^2}{\sigma_{C_{H,n}}^2 + \sigma_{C_{H,n+1}}^2} (C_{H,n+1} - \bar{C}_{H,n}) \quad (2.1)$$

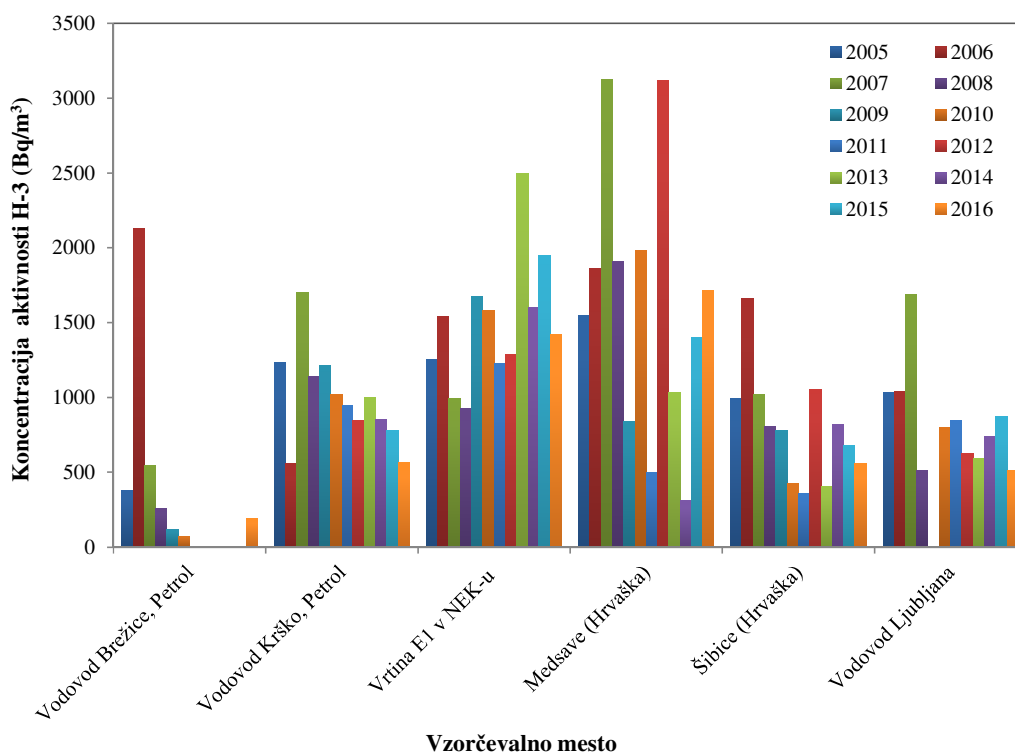
kjer indeks n pomeni čas (mesec), $\bar{C}_{H,n+1}$ $\bar{C}_{H,n+1}$ uteženo povprečje, ki je izboljšano od $\bar{C}_{H,n}$ $\bar{C}_{H,n}$ z



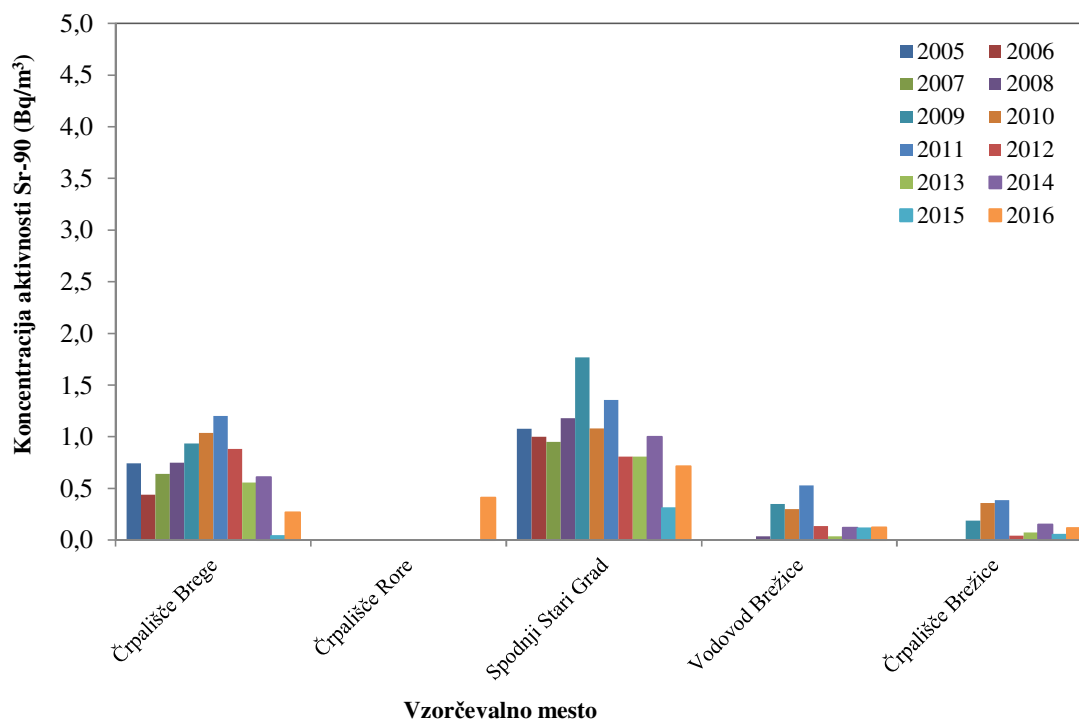
utežjo, ki jo določata disperzija ocene dosedanjih rezultatov meritev $\sigma_{C_{H,n}}^2$ in disperzija zadnje meritve $\sigma_{C_{H,n+1}}^2$. $S_{C_{H,n+1}, C_{H,n+1}}$ označimo zadnje meritev. Na sliki 2.8 je prikazana primerjava uteženega povprečja koncentracij aktivnosti tritija v Bregah, Rorah in Spodnjem Starem Gradu z uteženim povprečjem padavinskega useda v Bregah od leta 2002 do leta 2016. Za primerjavo smo na to sliko dodali še mesečne zračne izpuste tritija iz NEK od leta 2002 do leta 2016. Tu lahko opazimo, da usmeritev padavinskega useda tritija v Bregah sledi usmeritvi koncentracije aktivnosti tritija v Bregah. Usmeritev v Bregah lahko nakazuje, da povišanje koncentracije aktivnosti tritija v letu 2015 in 2016 iz črpališča Brege ne moremo pripisati tekočinskim izpustom tritija iz NEK, temveč ugotavljamo, da je treba upoštevati morebitni vpliv padavin na podtalnico. Poleg korelacijskih koeficientov, za katere smo ugotovili, da ne morejo biti pokazatelj stika med meteornimi vodami, reko Savo in vodonosnikom v Bregah, pa lahko iz usmeritev aktivnosti tritija sklepamo drugače. Ker je bila večina tritija izpuščena v okolje med jedrskimi poskusi v petdesetih in šestdesetih letih prejšnjega stoletja in le ta še ni do konca razpadel, je pričakovati, da se bo dolgoletna usmeritev padanja aktivnosti tritija nadaljevala. Na drugi strani nastaja tritij tudi kot kozmogeni radionuklid pri jedrskih reakcijah visokoenergijskega kozmičnega sevanja na dušiku v zgornjih plasteh atmosfere. Koncentracija tritija bo torej padala, dokler ne bo tritij le še kozmogenega izvora. To potrjujejo grafi na slikah 2.7 in 2.8, razen za črpališče Brege. Na sliki 2.8 je lepo razvidno, da koncentracije tritija v Bregah z leti rahlo narašča oziroma je skoraj konstantna. To dodatno potrjuje stik vodonosnika z meteornimi vodami, ki vsebujejo tudi tritij, izpuščen v zračnih izpustih iz NEK. Treba je poudariti, da je bila največja izmerjena aktivnost tritija za leto 2016 na črpališču v Bregah $2\ 140\ \text{Bq/m}^3$, kar je 2 % izpeljane koncentracije tritija ($100\ 000\ \text{Bq/m}^3$) za pitno vodo. Če primerjamo srednje letne vsebnosti tritija v črpališču Brege z drugimi črpališči, opazimo, da je večji del tritija nastal med jedrskimi poskusi in v atmosferi, tako da je prispevek tritija iz NEK še toliko manjši. Kot smo že prej ugotovili, direktne korelacije (zaradi časovnih zamikov, dinamičnosti transportnih poti, itd.) med zračnimi izpusti in koncentracijo tritija ne moremo tako enostavno zaznati in bi bile potrebne bolj natančne študije z upoštevanjem časovnih zamikov zaradi različnih transportnih poti (gibanja zračnih mas, difuzija padavinskega useda do vodonosnikov, mešanje v vodonosnikih itd.). Celotna slika o morebitnem vplivu izpustov iz NEK na pitno vodo iz črpališča Brege še zdaleč ni preprosta in enostavna, zato bo treba, tudi z vključitvijo strokovnjakov s področja hidrogeologije, razdelati prenosne poti na brežiško-krškem polju ter preučiti morebitne izmenjave med različnimi geološkimi sistemi.

Edina korelacija, ki je razvidna že s slike 2.3, je med vodnimi izpusti tritija v reko Savo in izmerjenimi aktivnostmi tritija v vrtini Medsave. V prejšnjem letu je bila lepo vidna korelacija med izpustom in vrtino VOP-4, v letu 2016 pa ne. Razlog za to je lahko manjša količina enkratnih izpustov in manjši pretok Save. Pri obravnavi korelacije med izpusti H-3 iz NEK in rezultati meritev je treba upoštevati, da so podani izpusti za ves mesec, vzorčevanje vode v črpališčih pa poteka od sredine enega meseca do sredine naslednjega meseca, vzorčevanje v vrtini VOP-4 (enkratni vzorec) pa se opravi v začetku meseca. Pričakovali bi, da bodo odzivi posledično vidni s časovnim zamikom med emisijo in pojavom H-3 v črpališčih in vrtinah VOP-4, Medsave in Šibice. S slike je očitno razviden časovni zamik odziva na izpuste iz NEK v vrtini Medsave. V letu 2016 je bilo, nasprotno od prejšnjega leta, mogoče ugotoviti vpliv tekočinskih izpustov H-3 iz NEK le v eni vrtini, in sicer je bilo zaznано povečanje koncentracije tritija v vrtini Medsave. Vzrok za časovni zamik je različen čas transporta vode iz Save do vzorčevanih vrtin. Pri vrtini VOP-4 je bil v prejšnjih letih zamik dva meseca in za leto 2015 je bil korelacijski koeficient 0,81. Letošnje leto to ni tako in je opaziti le rahel skok koncentracije tri mesece po največjem izpustu. To je razvidno tudi iz korelacijskega koeficienta, ki je za leto 2016 0,15. Pri vrtini Medsave na Hrvaškem pa je zamik en mesec in korelacijski koeficient med izmerjeno vrednostjo in izpustom 0,87. Pri drugi je korelacijski koeficient blizu ena, kar nakazuje na močno korelacijo med vodnim izpustom tritija iz NEK in izmerjenimi vrednostmi.

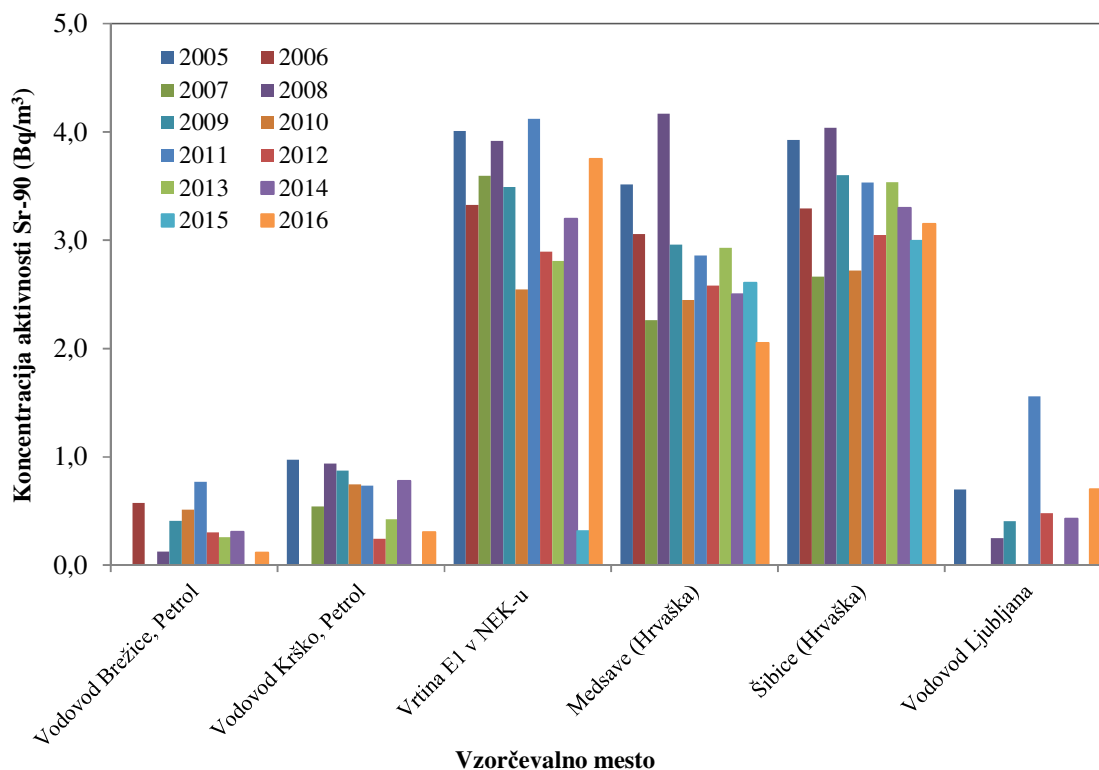
Ker je prispevek tritija k celotni efektivni dozi zaradi pitja zelo majhen (tabela 2.3), stanje za zdaj ni zaskrbljujoče, saj je koncentracija aktivnosti tritija v pitni vodi v krških črpališčih in vodovodih krepko pod izpeljano koncentracijo (IK) za H-3 v pitni vodi, ki je za odrasle osebe $10^5\ \text{Bq/m}^3$. V povprečju se koncentracija aktivnosti H-3 v okolju (reke, padavine) v Sloveniji v okviru merske negotovosti giblje okoli $1\ 000\ \text{Bq/m}^3$ [15].



Slika 2.9: Povprečne letne koncentracije H-3 v vodovodih in podtalnici od leta 2005 do 2016 v Sloveniji in na Hrvaškem



Slika 2.10: Povprečne letne koncentracije aktivnosti Sr-90 v vodovodih in črpališčih od leta 2005 do 2016 v okolici NEK. Vzorčevanje na črpališču Rore se je začelo leta 2015, pri čemer je bila izmerjena koncentracija Sr-90 za leto 2015 pod mejo kvantifikacije.



Slika 2.11: Povprečne letne koncentracije aktivnosti Sr-90 v vodovodih, črpališčih in podtalnici od leta 2005 do 2016 v Sloveniji in na Hrvaškem

Na sliki 2.9 prikazujemo povprečne letne koncentracije aktivnosti H-3 v vodovodih in podtalnici od leta 2005 do 2016 v Sloveniji in na Hrvaškem. Medtem ko izmerjene koncentracije aktivnosti tritija v četrtletnih vzorcih iz vodovodov v Krškem in Brežicah ter enkratnega vzorca v Ljubljani sledijo že omenjenim usmeritvam, pa izmerjena mesečna koncentracija aktivnosti tritija v vrtnah lahko niha sorazmerno z izpuščeno aktivnostjo v tekočih izpustih.

Pri poročanju merskih rezultatov stroncija Sr-90 v črpališčih in vodovodih zaradi vnosa umetnih radionuklidov pri pitju vodovodne vode je nihanje povprečnih letnih koncentracij opaznejše, opazna pa je tudi razlika med krškim in brežiškim vodnooskrbnim sistemom, podobno kot pri obravnavi tritija. Dejstvo je tudi, da so izpuščene aktivnosti stroncija v odpadni vodi nekaj redov velikosti nižje od tritijevih. Po pričakovanju so povprečne mesečne koncentracije aktivnosti Sr-90 v mesečnih vzorcih vodovodov, črpališč in podtalnice primerljivega velikostnega reda kot v preteklih letih. Koncentracije aktivnosti Sr-90 v črpališčih in vodovodih Krško in Brežice so bile tudi v tem letu znatno nižje (nekaj velikostnih redov) od izpeljane vrednosti koncentracije (IK) za Sr-90 v pitni vodi, ki je za odrasle osebe $4\,800\text{ Bq/m}^3$. Izračunane povprečne letne koncentracije aktivnosti stroncija v vodovodih in črpališčih v okolici NEK od leta 2005 do leta 2016 so prikazane na slikah 2.10 in 2.11. Koncentracija aktivnosti stroncija v črpališčih in vodovodih v letu 2016 je primerljiva s koncentracijo stroncija na vseh lokacijah v prejšnjih letih.

OCENA VPLIVOV

V tabeli 2.3 so prikazane izračunane letne efektivne doze zaradi vnosa umetnih radionuklidov 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

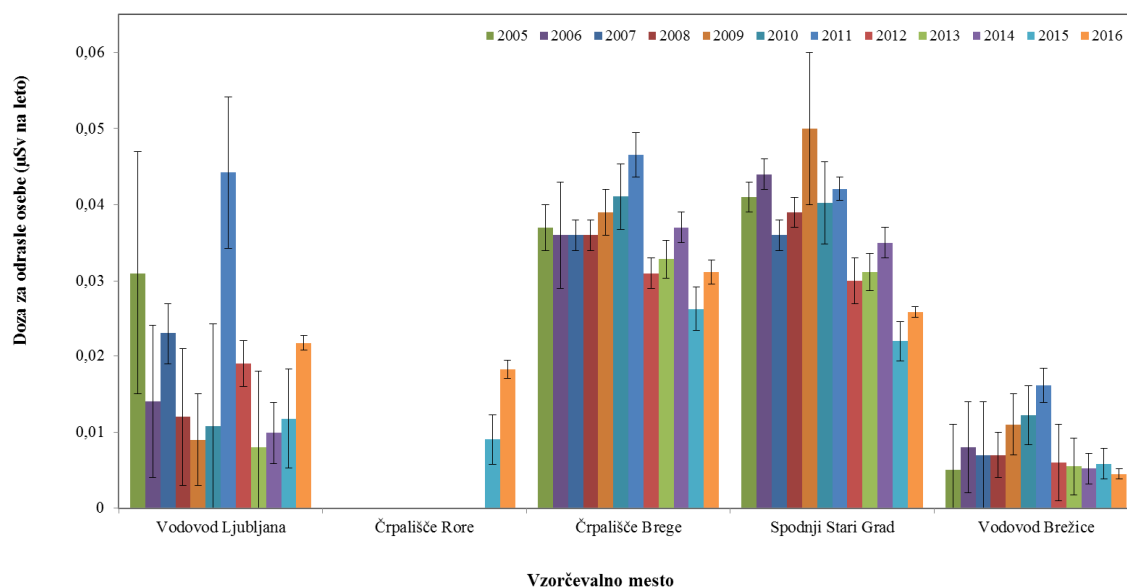


človek popije na leto $0,75 \text{ m}^3$ vode, desetletni otrok $0,35 \text{ m}^3$ vode in enoletni otrok $0,26 \text{ m}^3$ vode na leto. Letna efektivna doza za umetne radionuklide v pitni vodi je vsota prispevkov zaradi prisotnosti H-3, Sr-90 in Cs-137. Drugih umetnih radionuklidov ni bilo zaznani 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 in K-40.

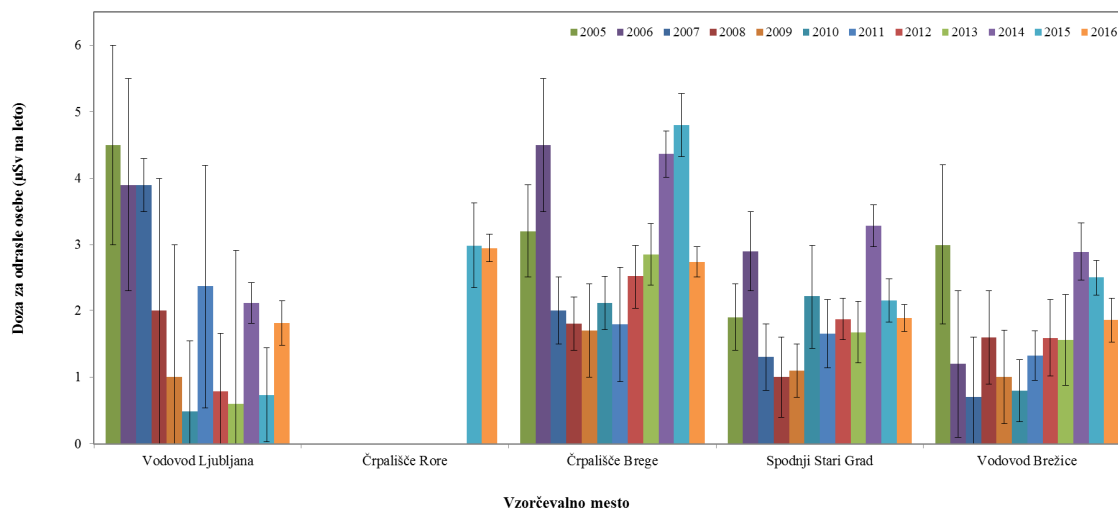
Tabela 2.3: Izračunane letne efektivne doze za odraslega, otroka in dojenčka zaradi umetnih in naravnih radionuklidov v vodovodih ter črpališčih pitne vode in podtalnice v letu 2016

STAROSTNA SKUPINA	DOZA	ENKRATNI LETNI VZOREC	ENKRATNI ČETRTLETNI VZORCI		MESEČNI SESTAVLJENI VZORCI				
		VODOVOD LJUBLJANA	VODOVOD BREŽICE	VODOVOD KRŠKO	VODOVODNI SISTEM BREŽICE		VODOVODNI SISTEM KRŠKO		
					Vodovod Brežice (Volčanšek)	Črpališča Brežice (Glogov Brod)	Črpališče Brege	Črpališče Rore	Vodovod Krško (Spodnji Stari Grad)
		Letna efektivna doza (μSv)							
ODRASLI	za umetne radionuklide	$0,022 \pm 0,001$	$0,005 \pm 0,001$	$0,014 \pm 0,002$	$0,004 \pm 0,001$	$0,004 \pm 0,000$	$0,031 \pm 0,002$	$0,018 \pm 0,001$	$0,026 \pm 0,001$
	za naravne radionuklide	$1,8 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$
Vsota		$1,8 \pm 0,3$	$2,6 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$
OTROCI	za umetne radionuklide	$0,019 \pm 0,001$	$0,004 \pm 0,001$	$0,011 \pm 0,002$	$0,004 \pm 0,001$	$0,003 \pm 0,000$	$0,021 \pm 0,001$	$0,014 \pm 0,001$	$0,021 \pm 0,001$
	za naravne radionuklide	$2,7 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,4$	$2,4 \pm 0,3$	$2,7 \pm 0,4$	$5,1 \pm 0,6$	$4,1 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,3$	$2,9 \pm 0,3$
Vsota		$2,7 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,4$	$2,4 \pm 0,3$	$2,7 \pm 0,4$	$5,1 \pm 0,6$	$4,1 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,3$
DOJENČKI	za umetne radionuklide	$0,051 \pm 0,001$	$0,010 \pm 0,002$	$0,028 \pm 0,007$	$0,010 \pm 0,002$	$0,009 \pm 0,001$	$0,047 \pm 0,004$	$0,036 \pm 0,003$	$0,056 \pm 0,002$
	za naravne radionuklide	$13,3 \pm 4,6$	$14,7 \pm 1,5$	$10,5 \pm 1,3$	$11,3 \pm 1,6$	$21,2 \pm 2,2$	$18,2 \pm 1,5$	$20,8 \pm 1,4$	$13,8 \pm 1,3$
Vsota		$13,3 \pm 4,6$	$14,8 \pm 1,5$	$10,6 \pm 1,4$	$11,3 \pm 1,6$	$21,2 \pm 2,2$	$18,3 \pm 1,5$	$20,8 \pm 1,4$	$13,9 \pm 1,3$

Iz tabele 2.3 lahko ugotovimo, da je v letu 2016 ocenjena letna efektivna doza za odraslo osebo zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov v krškem vodnooskrbnem sistemu $0,03 \mu\text{Sv}$. Od naravnih radionuklidov največ prispeva k celotni dozi Pb-210. Čeprav je črpališče Brege najbližje točki izpustov iz NEK oziroma Savi, je ocenjena letna doza zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov v Bregah v okviru negotovosti primerljiva z ocenjeno letno dozo v Spodnjem Starem Gradu. V brežiškem vodovodnem sistemu je ocenjena povprečna letna efektivna doza v letu 2016 za odraslo osebo zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov $0,004 \mu\text{Sv}$. Celotna povprečna ocenjena letna doza za odraslo osebo zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov v pitni vodi je $1,9 \mu\text{Sv}$ v vodovodu Brežice in $3,5 \mu\text{Sv}$ na črpališču Brežice. Iz tabele je razvidno, da je prispevek umetnih radionuklidov pri obeh enak in je celotna razlika samo zaradi prispevka naravnih radionuklidov. Od naravnih radionuklidov tudi tukaj k celotni dozi največ prispeva Pb-210. V krškem vodovodnem sistemu je prispevek umetnih radionuklidov višji kot v brežiškem vodovodu, kar je bilo opaženo tudi v preteklih letih. Razlog za to je, da je krška pitna voda črpana iz vodonosnika, ki je delno napajana iz rek Save in Krke. V ljubljanskem vodovodu je bil prispevek umetnih radionuklidov ocenjen na $0,022 \mu\text{Sv}$ na leto za odraslo osebo, kar je $1,2 \%$ celotne ocenjene letne doze zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov ($1,8 \mu\text{Sv}$). Tudi v letu 2016 je prispevek umetnih radionuklidov k skupni dozi v Ljubljani primerljiv z izračunanimi vrednostmi za vzorčevalna mesta v okolici NEK, kar še dodatno dokazuje, da je vpliv tekočinskih izpustov iz NEK na okolje zanemarljiv. Poudariti velja, da je letna efektivna doza za odraslo osebo zaradi vnosa naravnih radionuklidov pri pitju vodovodne vode, enako kot pri ingestiji hrane, upoštevana v vsoti prispevkov k dozi naravnega sevanja (tabeli B in C v izvlečku).



Slika 2.12: Ocenjeni prispevek umetnih radionuklidov k letni dozi za odraslo osebo v zadnjih dvanajstih letih na različnih vzorčevalnih lokacijah



Slika 2.13: Ocenjena letna doza zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov za odraslo osebo v zadnjih dvanajst letih na različnih vzorčevalnih lokacijah



Na slikah 2.12 in 2.13 je prikazana primerjava ocenjenih letnih doz za odraslo osebo zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov ter celotnih ocenjenih letnih doz zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov v črpališčih Brege in Rore ter vodovodu Spodnji Stari Grad, ki so blizu NEK, v primerjavi z vodovodom Ljubljana in vodovodom Brežice v zadnjih enajstih letih (ob ocenjeni porabi pitne vode 0,75 m³ na leto). Čeprav so koncentracije naravnih radionuklidov v črpališčih in vodovodih v splošnem nizke, naravni radionuklidi uranove in torijeve razpadne vrste prispevajo največ k ocenjeni letni efektivni dozi. Če podrobno pogledamo sliki 2.12 in 2.13, ugotovimo, da je ordinatna os na sliki 2.12 v primerjavi z ordinatno osjo na sliki 2.13 za faktor sto manjša in je prispevek umetnih radionuklidov k letni dozi 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. Zaradi visokih doznih faktorjev največ prispevajo k celotni ocenjeni dozi Ra-226, Pb-210 in Ra-228.

SKLEPI

Med umetnimi radionuklidi so bili v pitni vodi in podtalnici v letu 2016 zaznani le H-3, Sr-90 in Cs-137, slednji je bil zaznan na meji kvantifikacije. Prvi je naravnega in umetnega izvora (splošna kontaminacija, izpusti NEK), drugi in tretji pa sta v okolje prišla po jedrskih poskusih (splošna kontaminacija), nekaj Sr-90 pa je zaznati tudi v izpustih NEK. Vpliv NEK na pitno vodo je zanemarljiv.

Značilna koncentracija aktivnosti tritija v okolju po Sloveniji je 1 000 Bq/m³. Podobne koncentracije tritija je zaznati tudi v pitni vodi iz krškega in brežiškega vodnooskrbnega sistema. Najvišja koncentracija aktivnosti je bila izmerjena avgusta v Bregah (2 140 ± 466) Bq/m³, vendar se povprečna mesečna koncentracija aktivnosti H-3 na vseh črpališčih in vodovodih ne odmika od dolgoletnega povprečja.

Največja ocenjena letna doza v letu 2016 zaradi prisotnosti umetnih in naravnih radionuklidov v brežiškem vodnooskrbnem sistemu za odraslo osebo je 3,5 μSv. Obremenitev z umetnimi radionuklidi iz brežiškega vodovoda je 0,1 % celotne izračunane letne doze zaradi pitja vodovodne vode za odraslo osebo. Prispevek umetnih radionuklidov k letni efektivni dozi za otroke je 0,07 %, za dojenčke pa 0,04 %.

Največja ocenjena letna doza v krškem vodnooskrbnem sistemu v letu 2016 za odraslo osebo je 3,0 μSv. Obremenitev z umetnimi radionuklidi je približno 0,6 % celotne izračunane letne doze zaradi pitja vode za odraslo osebo. Prispevek umetnih radionuklidov k letni efektivni dozi za otroke je 0,3 %, za dojenčke pa 0,2 %.

Ocenjena letna doza v ljubljanskem vodovodu v letu 2016 je 1,8 μSv za odraslo osebo. Obremenitev z umetnimi radionuklidi iz ljubljanskega vodovoda je 1,2 % celotne izračunane letne doze za odraslo osebo ter 0,7 % za otroka in 0,4 % za dojenčka.

Izračunane letne doze zaradi umetnih radionuklidov v pitni vodi so daleč pod izpeljanimi vrednostmi za mejne koncentracije, ki so izračunane ob upoštevanju, da je vrednost mejne efektivne doze 100 μSv na leto oziroma avtorizirano mejno dozo 50 μSv [11]. Delež doze v primerjavi z avtorizirano mejno dozo v brežiškem vodnooskrbnem sistemu je 7,0 %, v krškem vodnooskrbnem sistemu pa 6,0 %, pri čemer je v obeh primerih prispevek umetnih radionuklidov še veliko manjši.

Dozne obremenitve zaradi prisotnosti naravnih radionuklidov ne vsebujejo prispevka Po-210, ki ga ne merimo. Na podlagi analize koncentracije aktivnosti sevalcev alfa v pitni vodi iz petih vodovodov po Sloveniji ugotavljamo, da je prispevek Po-210 k celotni efektivni dozi od 13 do 46 %. [36].





3 PADAVINE IN SUHI USED

POVZETEK

V poglavju "Padavine in suhi used" smo pregledali 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. Tudi v letu 2016 je bilo izmerjenih po 48 padavinskih vzorcev in vzorcev vazelinskih plošč. Uporabljene so bile tri različne analize tehnike: visokoločljivostna spektrometrija gama, tekočinskoscintilacijska spektrometrija in radiokemijska metoda z meritvami na proporcionalnem števcu.

V padavinskih vzorcih in vazelinskih ploščah so bili izmerjeni radionuklidi H-3, Be-7, Na-22, Cs-137, Sr-90 ter U-238, Ra-226, Ra-228, Pb-210, Th-228, Th-230 in K-40. Izmerjene koncentracije aktivnosti usedov se bistveno ne odmikajo od dolgoletnih povprečij, če seveda izzzvzamemo decembrske vzorce, kjer so vrednosti visoke zaradi izredno majhnih količin padavin.

Študirali smo korelacije med parametri, kot so količina padavin, koncentracija aktivnosti radionuklidov, padavinski in suhi used in neposredni zračni izpusti jedrske elektrarne. Podatke smo primerjali z večletnimi nizi in iskali morebitne odmike od dolgoletnih povprečij.

V splošnem ni opaziti korelacije med izpusti elektrarne in vsebnostjo radionuklidov v okolju. Izjema je seveda tritij. Izračunali smo efektivno dozo zaradi zunanjega sevanja useda in ingestijsko dozo ter ocenili obremenjenost prebivalstva v okolici jedrske elektrarne in na referenčni točki v Ljubljani. Prispevek umetnih radionuklidov v okolici NEK k skupni dozi je zanemarljiv. Doze v okolici NEK so primerljive z dozami na referenčni točki v Ljubljani.

UVOD

Za nadzor vpliva zračnih izpustov na okolje vzorčimo zrak z aerosolnimi in oglenimi filtri (poglavje *Zrak*) ter padavinske vzorce. Lovilniki padavin so postavljeni v bližini jedrskega objekta (Krško, Brege, Dobova) in na referenčni lokaciji (Ljubljana). Del aerosolov zbiramo v obliki suhega useda na vazelinskih ploščah. Postavljene so 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 nepogrešljivi za določitev doznih obremenitev ljudi, ki živijo v okolici jedrskega objekta. Rezultate primerjamo z vrednostmi na referenčni lokaciji.

Usedle radioaktivne snovi s sevanjem neposredno prispevajo k izpostavitvi ljudi, vsrkane v rastline prek korenin ali listov pa pridejo z užitnimi deli v prehransko verigo ljudi, kar se podrobneje obravnava v poglavju *Radionuklidi v hrani*. Padavine s pronicanjem skozi zemeljske plasti postanejo del podzemnih vod, to pa potem uporabljamo kot pitno vodo (poglavje *Voda iz črpališč in vrtin*), zato igrajo 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 takih količinah, da jih lahko merimo tudi v okoljskih vzorcih. Del tritijevega inventarja v ozračju prispevajo tudi različne industrijske panoge, ki ga uporabljajo 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. Koncentracija aktivnosti se dandanes počasi približuje ravni iz predjedrske dobe. Tritij je sicer tudi kozmogen izotop in nastaja v zgornjih plasteh ozračja z interakcijo kozmičnih žarkov in dušika. Tritij 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 2016 so bili v vzorcih padavin in vazelinskih plošč izmerjeni H-3, umetni radionuklidi Cs-137, Sr-90, kozmogen Be-7 in Na-22 ter naravni radionuklidi K-40, U-238, Th-228, Th-230, Ra-226, Ra-228 in Pb-210.



ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Mesečno vzorčevanje padavin in suhega useda poteka kontinuirno v skladu s postopkom *Zbiranje vzorcev deževnice in talnega useda (LMR-DN-04)*.

Lovilniki padavin so v Krškem, Bregah, Dobovi in na referenčni lokaciji v Ljubljani (IJS). Lovilnik padavin je sestavljen iz lijaka in neprozornega temnega 50-litrskega plastičnega soda, ki sta povezana z neprozorno plastično cevjo. Lijak iz polirane nerjavne pločevine, ki zajema padavine na efektivni površini 0,25 m², 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 dnevno odčitava, za lokaciji Brege in Ljubljana pa uporabljamo meritve ARSO.

Zbrani tekočinski vzorec padavin se razdeli na dva dela: v litrskem podvzorcju 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)*.

Koncentracijo aktivnosti tritija določimo s tekočinskoscintilacijskim števcem po elektrolitski obogatitvi po postopkih *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem (SDN-O2-STC(02))*, *Vzorčenje in priprava vzorcev za določitev tritija (LSC-DN-06)*, *Analiza in izračun vsebnosti tritija H-3 (LSC-DN-07)* in *Meritve vsebnosti radionuklidov s tekočinskoscintilacijskim števcem Quantulus (LSC-DN-08)*. V primerih, da je vzorca izredno malo, ga analiziramo po direktni metodi. Akreditirana metoda je opisana v istih delovnih postopkih kot elektrolitska metoda (*LSC-DN-06*, *LSC-DN-07* in *LSC-DN-08*). Meritve ljubljanskih padavin so bile tudi v letu 2016 opravljene v okviru raziskovalnega programa *Odseka F-2*, saj jih predpisani nadzor radioaktivnosti ne predvideva in ne financira. Za določitev aktivnosti sevalcev gama uporabljamo visokoločljivostno spektrometrijo gama. Analizo stroncija opravimo po radiokemičnem postopku *Določanje stroncija z beta štetjem (SDN-O2-STC(01))*.

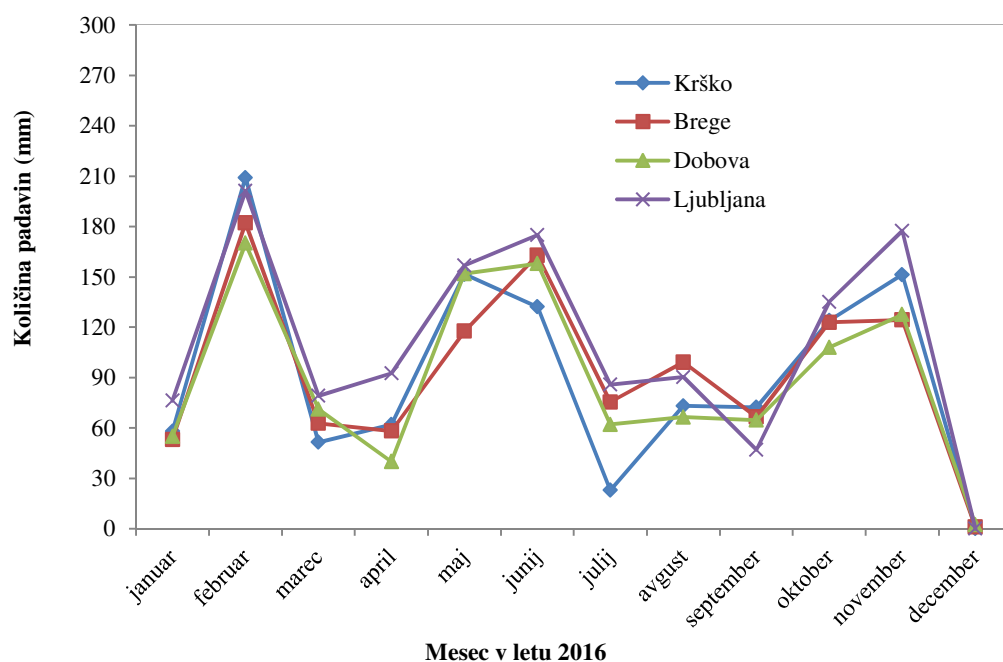
Suhi talni used se zbira na vazelinskih ploščah površine 0,3 m² iz poliakrilatnega pleksi stekla. Postavljene so od 1,8 m do 2 m nad površino tal in premazane s tanko plastjo farmacevtske vazeline. Na ploščah se ujamejo tudi resuspendirani prašni delci. Zbiralniki suhega useda so postavljeni na osmih vzorčevalnih mestih v ožji in širši okolici NEK. Meritve sevalcev gama 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.

REZULTATI MERITEV

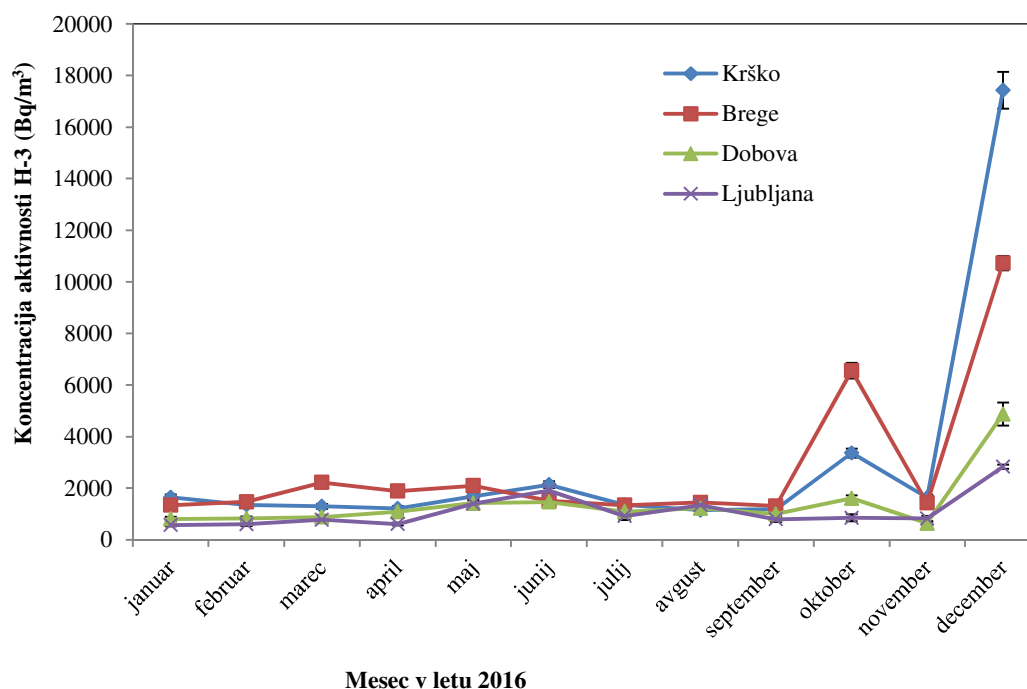
Padavine

V letu 2016 je bilo nekoliko več padavin kot v letu 2015. Količina padavin je bila v Bregah, Krškem in Dobovi primerljiva, razlika je bila kvečjemu 4 %. Največ dežja je padlo v Bregah, najmanj v Dobovi. Največ padavin je padlo v Ljubljani (1317 mm), približno 16 % več od povprečja v okolici NEK. Mesečne količine padavin v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani so prikazane na sliki 3.1. V letu 2016 ni bilo izrazito vodnatega meseca. Na sliki 3.1 opazimo tri med seboj primerljiva obdobja z nekoliko več padavinami. To so februar, maj–junij in oktober–november, s povprečjem 152 mm in raztrosom vrednosti okrog 8 %. V decembru skoraj ni bilo padavin. Iz dnevnih meritev količin padavin sklepamo, da je znaten delež zbrane vode v zbiralnikih pravzaprav kondenz megle, ki je bila decembra na vseh lokacijah pogosta. Pri temperaturi nad 0 °C je v megli namreč včasih toliko kapljic, da se ob vetru iz megle začne na predmetih izločati voda. Temu pojavu pravimo meglena moča.

V ostalih šestih mesecih je v povprečju padlo 66 mm padavin, z raztrosom med lokacijami in meseci okrog 15 %.



Slika 3.1: Mesečne količine padavin v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



Slika 3.2: Mesečne koncentracije aktivnosti tritija v padavinah v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



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 2016, IJS-DP-12291*, marec 2017. V tabelah so rezultati meritev podani z neposrednimi merskimi rezultati in njihovimi negotovostmi, ki se nanašajo na interval zaupanja z 68-odstotno zanesljivostjo. Nekatere vrednosti so podane brez negotovosti. To so vrednosti, izpeljane iz mej detekcij. Po priporočilih Evropske komisije [49] se v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Srednjo vrednost rezultatov meritev v tem letu imenujemo mesečno povprečje, aritmetično povprečje, včasih pa tudi samo povprečje. Števila za znakom "±" so apriorne negotovosti povprečja. Pojmi so ustrezno pojasnjeni v *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*.

V vzorcih padavin so bili ugotovljeni H-3, Be-7, K-40, Cs-137, Sr-90 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 izotop v izpustih NEK v letu 2016, podobno kot v prejšnjih letih, ni bil zaznan.

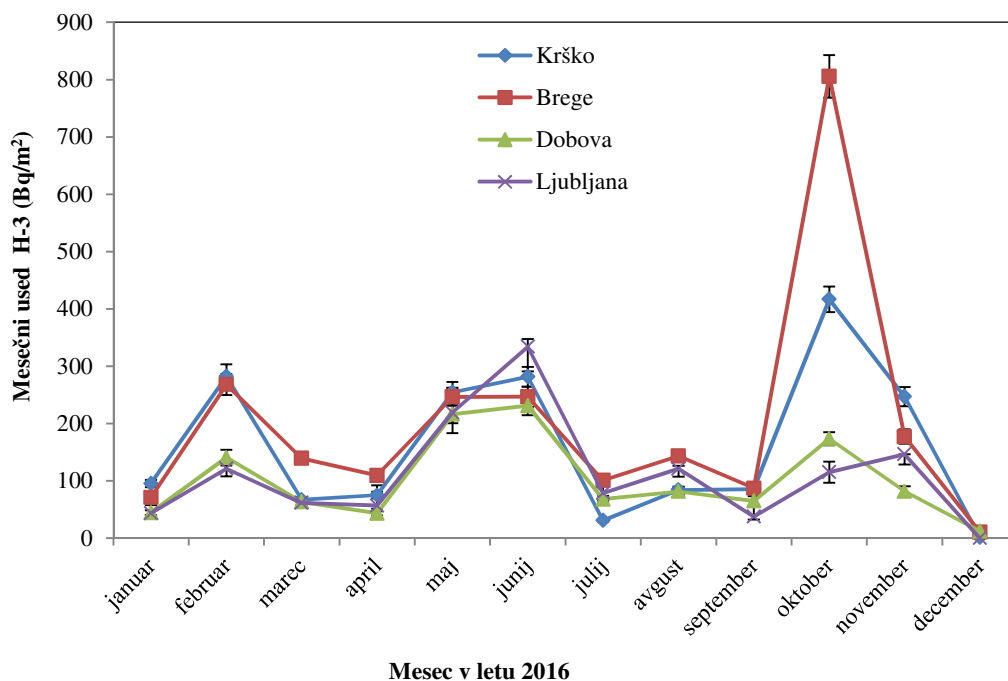
Koncentracije aktivnosti tritija v padavinah so prikazane na sliki 3.2. Decembrske vrednosti so bile pridobljene po akreditirani direktni metodi, saj za elektrolitsko obogatitev ni bilo dovolj vzorca. Decembrske koncentracije so na vseh štirih lokacijah precej višje od drugih izmerjenih in tudi sicer pričakovanih vrednosti in so posledica izredno majhnih količin padavin. Primerjava z decembrom 2015 pokaže, da je bilo v letu 2016 zbranega manj vzorca kot 2015 tudi na lokacijah z enakimi mm padavin. Vzorčenje se ni spremenilo. Zelo verjetno je to posledica velikih negotovosti pri odčitavanju tako majhnih dnevnih količin padavin. Na nekaterih vzorčevalnih mestih namreč vzorčevalci sploh niso vpisali padavinskega dogodka, nekaj vzorca pa je vseeno prišlo v analizo. Koncentracija tritija je bila v 2016 za faktor 1,7 do 2,5 višja kot v letu 2015. Tudi izpusti so bili v letu 2016 v decembru za skoraj faktor 5 večji kot v 2015. V oktobru so bile vrednosti za vse tri lokacije v okolici NEK višje od od povprečnih vrednosti in jih ne moremo razložiti z majhnimi količinami padavin. Najvišja vrednost je bila izmerjena v Bregah, najmanjša, vendar še vedno skoraj dvakrat višja kot v Ljubljani, pa v Dobovi. Pač pa so bili zračni izpusti HTO in HT v 2016 največji prav v oktobru. Za ostalih deset mesecev koncentracije aktivnosti v grobem sledijo običajnim naravnim letnim gibanjem tritija v ozračju severne zemeljske poloble, kjer so vrednosti poleti v splošnem višje kot pozimi [41]. Izjema so koncentracije aktivnosti na lokaciji Brege, kjer se nedvoumno pozna vpliv NEK tudi v pomladanskih mesecih. Vrednosti za Dobovo so, če izzvzamemo oktobrske vrednosti, najbolj podobne koncentracijam aktivnosti na referenčni lokaciji v 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 v Bregah, Krškem, Dobovi in Ljubljani v letu 2016. December je izvzet iz statistike. Zvezdica pomeni, da je bila decembrska vrednost sicer najvišja v letu.

Radionuklid v padavinah	LJUBLJANA	BREGE	KRŠKO	DOBOVA
H-3	junij	* oktober	* oktober	* oktober
Cs-137	januar	*januar	julij	avgust
Be-7	avgust	*avgust	*avgust	*avgust
K-40	september	* januar	* april	* avgust
Pb-210	januar	* januar	*april	avgust



V tabeli 3.1. so izpisani meseci, v katerih smo izmerili maksimalno koncentracijo aktivnosti za posamezen radionuklid. V letu 2015 smo namreč opazili obratno sorazmernost med količino padavin in koncentracijo aktivnosti. V letu 2016, ko ni bilo izrazitih razlik med količinami padavin po mesecih in so v vsakem letnem času meseci z visokimi in nizkimi količinami padavin, te korelacije ne opazimo. Za tritij smo pojavnost najvišje koncentracije v oktobru že pojasnili z izpusti. Največ vzorcev z maksimalnimi koncentracijami ostalih štirih obravnavanih radionuklidov, kar 8 od 16, je poletnih (tabela 3.1). Najvišje koncentracije se pojavljajo v avgustu, aprilu in januarju, v mesecih z manjšo količino padavin. Ta ugotovitev je enaka kot v letu 2015. Na vseh štirih lokacijah so bile najvišje koncentracije za Be-7 izmerjene avgusta. Podobno je bilo tudi v letu 2015, le julija. Sr-90 je v letu 2016 izzzvet iz obravnave, saj so praktično vse izmerjene vrednosti pod mejo detekcije. Z upoštevanjem vseh mesecev, tudi izjemno sušnega decembra, bi se slika precej spremenila. Obravnavali bi lahko le 3 lokacije, saj je bila količina ljubljanskega padavinskega vzorca tako majhna, da vzorec ni bil reprezentativen. Meje detekcije in negotovosti so tudi za druge lokacije zelo visoke, reprezentativnost vzorcev pa dvomljiva. V validacijskem poročilu o minimalnih količinah vzorcev, potrebnih za ponovljiv in točen rezultat z visokoločljivostno spektrometrijo gama, najdemo podatek, da je treba biti zelo previden že pri interpretaciji rezultatov za vzorce z manj kot petimi litri vode [38], [39]. Količina decembrskih vzorcev je bila med 150 g in 280 g, za ljubljanski vzorec še bistveno manj. Pri proceduri, pri kateri imamo tipično opraviti z nekaj deset litri vzorca, se pri tako majhnih količinah zaplete že pri natančnem določanju same mase vzorca oziroma so izgube pri ravnanju z vzorcem lahko velike. Drugi problem je določitev količin padavin. Za lokacije, kjer ni dostopnih podatkov ARSO-a, se količina padavin odčitava z menzuro. Podatki s terena za december sploh ne navajajo padavin, grobe računске ocene pa dopuščajo možnost, da je večina izmerjenega vzorca pravzaprav megla, ki je bila v decembru 2016 zelo pogost pojav. V literaturi najdemo podatke o tem, da drobne kapljice megle temeljiteje sperejo aerosole iz ozračja kot dež [40]. V vzorcu megle torej lahko pričakujemo višje vrednosti radionuklidov kot v enaki količini dežja.

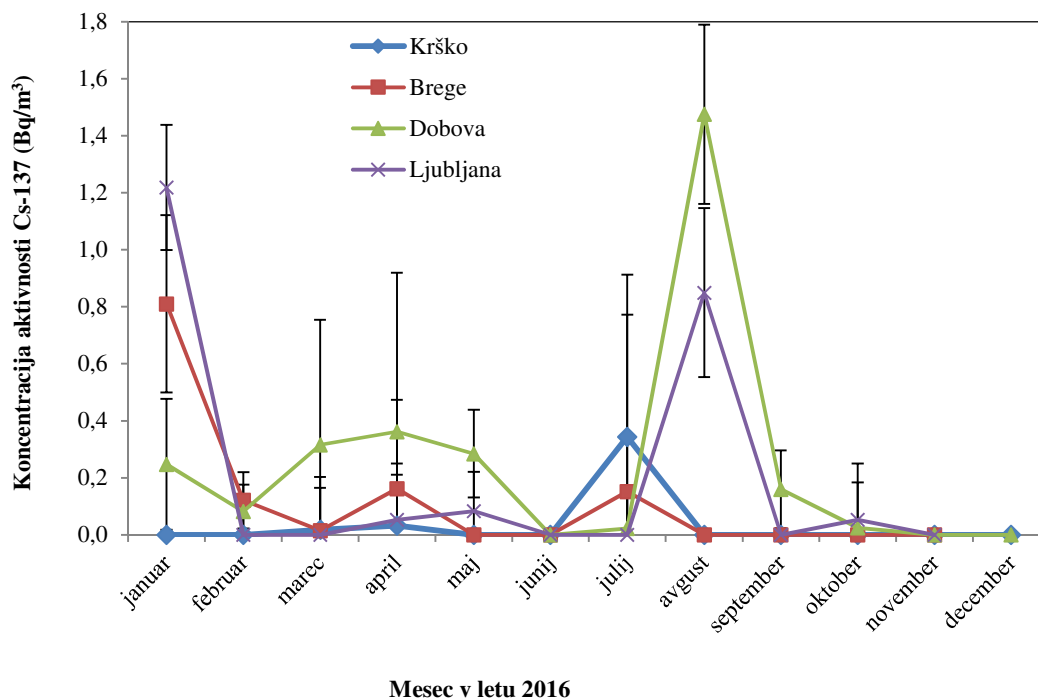


Slika 3.3: Mesečni padavinski used tritija v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



Mesečne padavinske usede, aktivnosti padavin na kvadratni meter površine, izračunamo z množenjem koncentracij aktivnosti in količin padavin. Za Krško in Dobovo smo privzeli enako količino padavin kot v Bregah. Na sliki 3.3 so predstavljeni mesečni padavinski usedi H-3 za vsa štiri vzorčevalna mesta: Ljubljano, Brege, Krško in Dobovo. Profili za lokacije v okolici NEK so primerljivi z ljubljanskim, referenčnim potekom. Odmika opazimo v februarju in oktobru. Februar je bil najbolj vodnat mesec s sorazmerno nizkimi vrednostmi izpustov, medtem ko je za višje vrednosti v oktobru zaslužen predvsem izpust.

V poročilu smo navadno podali tudi slike z mesečnimi koncentracijami aktivnosti stroncija v padavinah in mokrem usedu. Sliki sta letos opuščeni, saj je bila v letu 2016 ena sama izmerjena vrednost za Sr-90/89 v 36 vzorcih padavin nad detekcijsko mejo. V tabelah se torej pojavljajo izpeljane vrednosti iz detekcijskih mej. Natančneje povedano, za predpostavljeno vrednost upoštevamo eno četrtno detekcijske meje. Običajna slika bi torej prinesla predvsem informacijo o količini vzorca. Predpostavljene vrednosti so pomembne zaradi izračuna doznih obremenitev.



Slika 3.4: Mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v padavinah v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani

Mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 v padavinah v Krškem, Bregah, Dobovi in v Ljubljani so prikazane na sliki 3.4, padavinski used pa na sliki 3.5. Medtem ko so bile v letu 2015 najvišje koncentracije izmerjene v Bregah, letos višje vrednosti pripadajo tako imenovanim referenčnim lokacijam, Ljubljani in Dobovi. V okviru negotovosti si je večina vrednosti zelo podobnih.

Suhi used

Rezultati meritev vzorcev suhih usedov so prikazani v tabelah T-42/1 (širša okolica NEK), T-42/2 (vzorčevalno mesto 6), T-42/3 (ožja okolica NEK) in T-42/4 (Ljubljana). Vse meritve je opravil IJS. Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenci v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*, marec 2017.

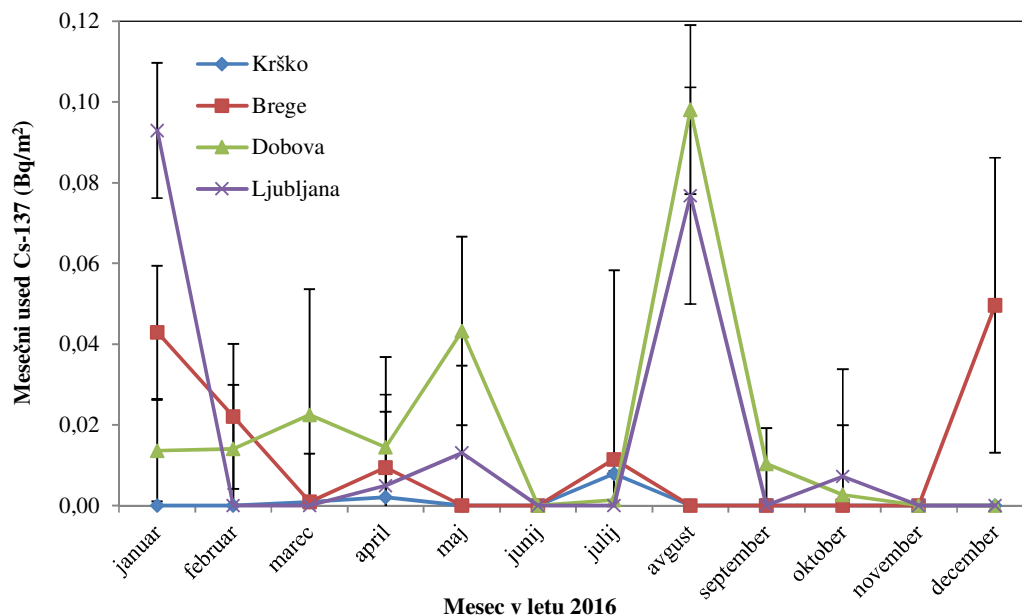
V vzorcih suhega useda so bili v letu 2016 izmerjeni Be-7, K-40, Cs-137 in potomci uranove in torijeve



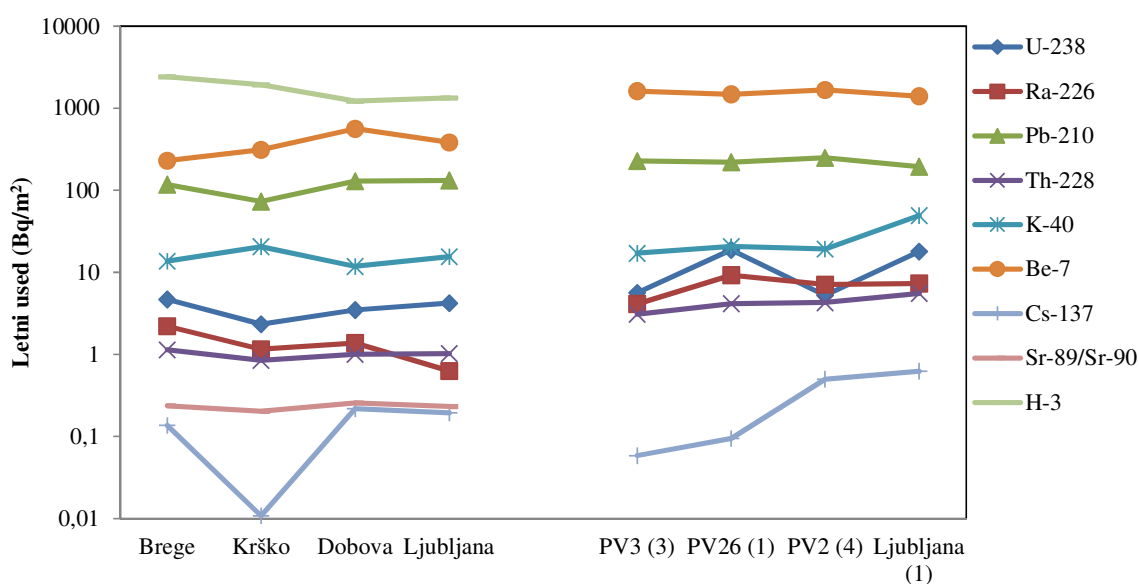
razpadne vrste, skupaj 8 radionuklidov. Analize stroncija se na vzorcih z vazelinskih plošč ne izvaja. Na sliki 3.6 je primerjava med suhim in mokrim usedom na vseh lokacijah, kjer se izvaja vzorčenje.

Količina useda na vazelinskih ploščah v okolici NEK je primerljiva z usedi v Ljubljani. Podobno velja tudi za padavinske usede.

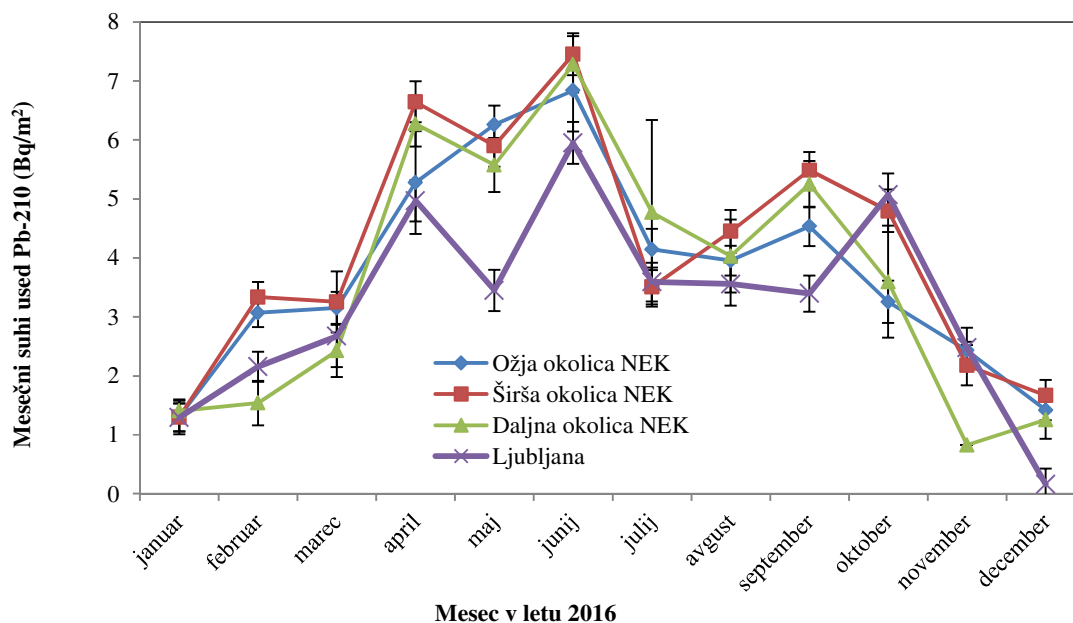
Na sliki 3.7. so prikazani suhi usedi za Pb-210. Ugotovimo zelo podoben potek za vse štiri lokacije. Manjša odmika opazimo v septembru in februarju. Vrednosti za Ljubljano so v splošnem nekoliko nižje od vrednosti za lokacije v okolici NEK. Največje vrednosti so bile izmerjene junija.



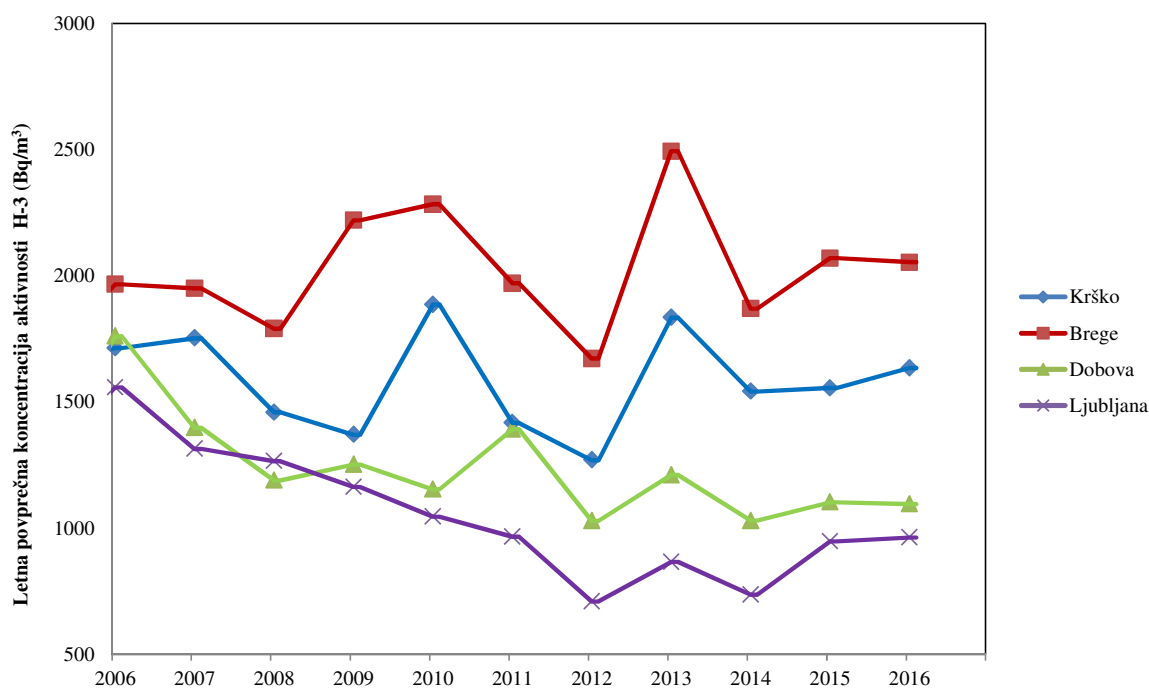
Slika 3.5: Padavinski used Cs-137 v letu 2016 v Krškem, Bregah, Dobovi in Ljubljani



Slika 3.6: Letni usedi v padavinah, zbranih v lovilnikih deževnice (leva stran grafa) in na vazelinskih ploščah na različnih lokacijah okrog NEK (desna stran grafa)

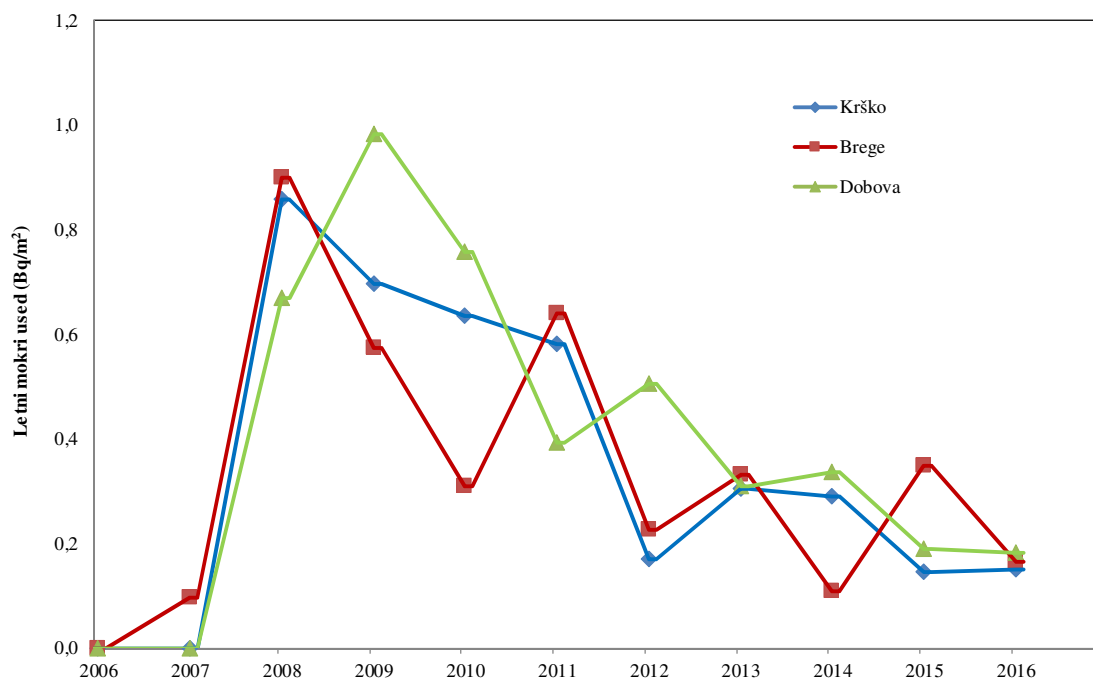


Slika 3.7: Mesečni suhi used Pb-210 v Ljubljani, v širši in ožji okolici NEK ter na vzorčevalnem mestu, ki je najdlje od NEK

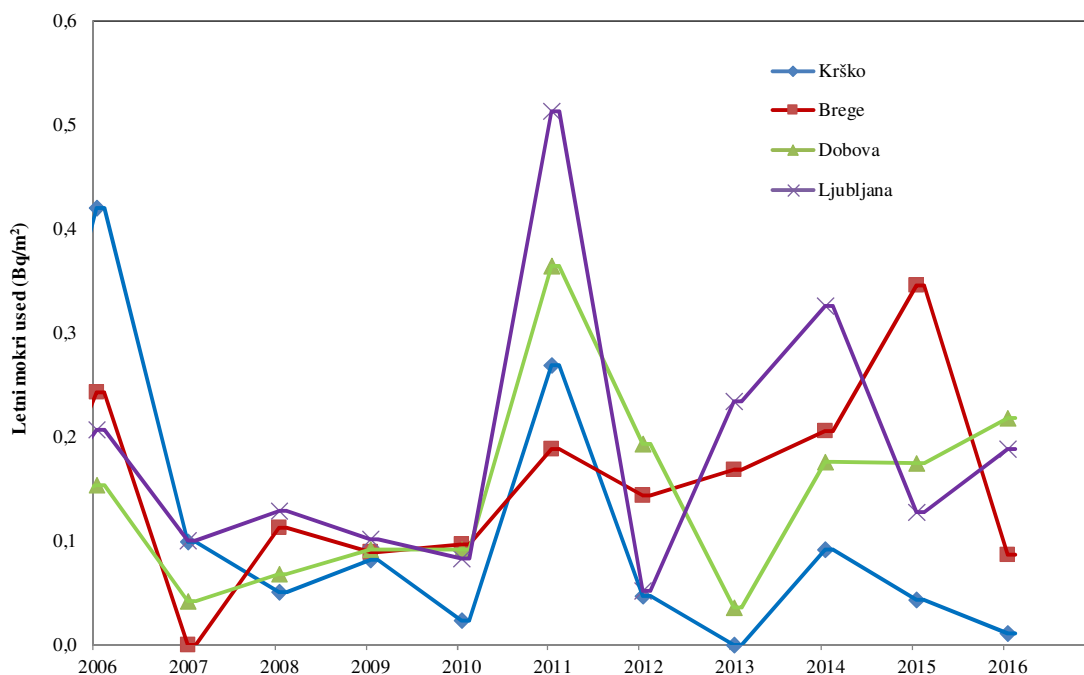


Slika 3.8: Povprečje letnih koncentracij aktivnosti H-3 v padavinah za obdobje 2006–2016

V Bregah in tudi Krškem je vzorec koncentracij aktivnosti tritija nekoliko drugačen kot v Dobovi, kar je lepo razvidno iz dolgoletnih letnih povprečij na sliki 3.8. Povprečna mesečna koncentracija aktivnosti za leto 2016 je bila na vseh lokacijah približno enaka kot v letu 2015; najnižja v Ljubljani, najvišja v Bregah, kar je že ustaljena večletna usmeritev. Decembrske vrednosti niso vključene v povprečje.



Slika 3.9: Letni padavinski used Sr-90 za obdobje 2006–2016



Slika 3.10: Letni padavinski used Cs-137 za obdobje 2006–2016

Slika 3.9 prikazuje letne padavinske usede Sr-90 na vseh treh lokacijah v okolici NEK med 2006 in 2016. Usedi oziroma njihove predvidene vrednosti so v letu 2016 primerljive z vrednostmi v 2016 ali pa so celo nižje. Na sliki 3.10 je prikazan večletni potek letnih padavinskih usedov za Cs-137. Izrazito povišanje v letu 2011 je posledica nesreče v Fukushimi. V Krškem in Bregah je used Cs-137 v primerjavi z letom 2015 nižji. V Bregah se je tako ustavila naraščujoča usmeritev, ki je trajal od leta 2007.



DISKUSIJA

Vpliv NEK na koncentracije aktivnosti tritija v neposredni bližini elektrarne je opazen. V mesecih z majhnimi količinami padavin je korelacija med izpusti in koncentracijami aktivnosti izrazita. Izrazito sušni meseci se pojavljajo praktično vsako leto, ne nujno vedno v istem letnem času. Njihova pogostost je dovolj velika, da bi kazalo razmisliti o nekaterih modifikacijah pri pripravi takih vzorcev za analize visokoločljivostne spektrometrije gama. Zanimiva bi bila tudi študija, ki bi potrdila ali ovrgla tezo o večjih koncentracijah radionuklidov v vzorcih megle. Glede na spremenjene hidrološke značilnosti v bližnji prihodnosti zaradi HE Brežice lahko računamo na več meglenih dni v okolici NEK.

Sezonska nihanja tritija ponazarja tabela 3.2, kjer so nanizani smerni koeficienti korelacij in korelacijski koeficient R^2 med količino padavin in mesečnimi usedi tritija. Precejšnje razlike med smernimi koeficienti za zimo in poletje potrjujejo različne mehanizme za nastanek in transport tritija iz ozračja na Zemljo v obliki padavin. Čim večji je smerni koeficient, tem več tritija iz ozračja preide v padavine in s tem v padavinski used. Poleti so ti koeficienti višji kot pozimi, kar pomeni, da je prenos tritija iz ozračja v padavinske usede učinkovitejši poleti kot pozimi. Korelacije med količino padavin in tritijevim usedom so v letu 2016 izrazitejše za obdobje pomlad–poletje kot za jesen–zimo. Izračunana smerna koeficienta za Brege in Krško v jesensko-zimskem obdobju sicer tudi sledita opisani shemi, vendar ju v tabeli 3.2 ni, saj nam že Pearsonov korelacijski koeficient R^2 za to obdobje pove, da med primerjanima količinama ni korelacije. Razlog je zelo različna količina izpustov v teh mesecih; v novembru in decembru sta bila dva od treh največjih izpustov, medtem ko je bil januarski izpust najnižji v 2016.

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 radionuklidov v Ljubljani in za lokacije v okolici NEK pokaže, da so vrednosti usedov v Ljubljani praktično enake ali celo nekoliko višje kot v okolici NEK.

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 2016

	pomlad–poletje		jesen–zima	
	smerni koeficient	R^2	smerni koeficient	R^2
Ljubljana	2,56	0,92	0,71	0,92
Brege	1,44	0,76		0,28
Krško	2,09	0,93		0,58
Dobova	1,65	0,98	0,83	0,65

OCENA VPLIVOV

Letno dozo izračunamo iz danega mesečnega, četrletnega ali polletnega aritmetičnega povprečja ob predpostavki, da je vnos hrane, vode ali zraka v človeški organizem konstanten vse leto. Oceno vplivov radioaktivnega useda ovrednotimo z efektivno dozo zaradi zunanega sevanja radionuklidov iz useda in z ingestijsko dozo. Efektivne doze zaradi zunanega sevanja useda ocenimo s produktom letnega useda in doznega faktorja [6] za posamezen radionuklid ob predpostavki štiriurnega zadrževanja na prostem. V tabeli 3.3 so povzete sumarne vrednosti zunanjih doz. K dozi največ prispeva kozmogeni Be-7, ki se s padavinami izpira iz ozračja, in sicer med 56 % in 80 %. Efektivna doza zaradi zunanega sevanja useda za umetne radionuklide v okolici NEK je bila v letu 2016 nekoliko nižja kot v letu 2015; v okolici NEK za 4 %, v Ljubljani pa za 20 %. Skupna efektivna doza umetnih in naravnih radionuklidov se je v



primerjavi z letom 2015 povečala za 6 % oziroma 8 %. Efektivna doza zaradi zunanjega sevanja useda umetnih radionuklidov prispeva v okolici NEK in v Ljubljani manj kot 0,5 % k celotni zunanji dozi, enako za vse starostne skupine. Umetni radionuklidi so torej pri računanju zunanjih doz v letu 2016 zaradi obseva zanemarljivi.

Tabela 3.3: Efektivne doze zaradi zunanjega sevanja useda v letu 2016 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 prebivalec zadržuje 20 % časa na prostem in da je faktor ščitenja pri zadrževanju v hiši 0,1.

Starostna skupina	Radionuklidi	Okolica NEK (povprečje lokacij)	Ljubljana
		doza/ μ Sv	
ODRASLI OTROCI DOJENČKI	UMETNI	0,000 33 \pm 0,000 1	0,000 19 \pm 0,000 05
	VSI	0,076 \pm 0,002	0,057 \pm 0,001

Tabela 3.4: Ingestijske doze zaradi letnega padavinskega useda v letu 2016 za odrasle, otroke in dojenčke

Starostna skupina	Masa zaužitega rastlinja (kg)	Radionuklidi	Okolica NEK (povprečje lokacij)	Ljubljana
			doza/ μ Sv	
ODRASLI	25	UMETNI	0,016 \pm 0,002	0,010 \pm 0,001
		VSI	29 \pm 5	36 \pm 1
OTROCI	15	UMETNI	0,013 \pm 0,002	0,0076 \pm 0,000 4
		VSI	49 \pm 8	60 \pm 2
DOJENČKI	2,5	UMETNI	0,041 \pm 0,005	0,021 \pm 0,001
		VSI	220 \pm 30	270 \pm 10

Efektivno ingestijsko dozo 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 [6], [11], [51]. Pri tem se upošteva le used na zeleni del rastlin in posledični vnos radionuklidov v rastlino, medtem ko prevladujoči transport radionuklidov iz zemlje ni upoštevan. Ta je zajet v poglavju *Radionuklidi v hrani*. Pri izračunu nismo upoštevali, da vse rastlinje pred zaužitjem operemo ali olupimo in tako speremo tudi do 90 % vseh radionuklidov na površini. Vrednosti so zbrane v tabeli 3.4. Efektivna ingestijska doza v letu 2016 je za umetne radionuklide višja v okolici NEK, efektivna ingestijska doza za naravne radionuklide pa je višja v Ljubljani. Ugotovitev velja za vse starostne skupine. K skupni ingestijski efektivni dozi tako v Ljubljani kot v okolici NEK največ prispeva Pb-210 (med 92 % in 98,5 %). Efektivna ingestijska doza zaradi umetnih radionuklidov k celotni efektivni ingestijski dozi za odraslo osebo prispeva v okolici NEK okrog 0,05 %, v Ljubljani pa 0,03 %,



kar je primerljivo z letom 2015. Prispevek za otroka in dojenčka je še manjši. Umetni radionuklidi so torej pri računanju zunanjih doz v letu 2016 zaradi ingestije zanemarljivi.

SKLEPI

V letu 2016 ni bilo večjih posebnosti glede radionuklidov v padavinah in suhih usedih, če seveda izvzamemo december, ki je bil tako rekoč brez padavin. Decembrske koncentracije aktivnosti tako niso upoštevane pri izračunu letnih povprečij za potrebe te evalvacije, so pa vključene pri vseh padavinskih in suhih usedih. Različni radionuklidi se sicer zelo različno vedejo v ekstremnih padavinskih razmerah, vseeno pa praviloma velja, da v zelo sušnih mesecih izmerimo sorazmerno visoke koncentracije aktivnosti: v najbolj deževnem mesecu ni niti eden radionuklid dosegel največje letne vrednosti, medtem ko je bilo v decembrskih vzorcih izmerjenih kar 12 od 15 letnih najvišjih izmerjenih koncentracij aktivnosti petih radionuklidov na treh lokacijah. Pri ustaljeni praksi vzorčenja in analiz je reprezentativnost vzorca pri ekstremno majhnih količinah padavin dvomljiva.

Tritij je še vedno edini radionuklid iz zračnih izpustov NEK, ki je neposredno zaznan v padavinah predvsem v Bregah in Krškem. Tritij sicer po splošno uporabljani metodologiji praktično ne vpliva na dozno obremenitev. Prehod tritija iz ozračja v padavinske vzorce je učinkovitejši poleti kot pozimi.

Med umetnimi radionuklidi je bil v padavinah občasno ugotovljen Cs-137. Izmerjen je bil v 48 % vzorcev padavin in v 42 % vazelinskih plošč. Sr-90 je bil v letu 2016 izmerjen samo v enem od 36 vzorcev. Letna koncentracija aktivnosti za Cs-137 se je v letu 2016 znižala v Bregah in Krškem in se nekoliko zvišala v Dobovi in Ljubljani. V Dobovi in Ljubljani je bila tako v 2016 višja kot v Bregah in Krškem. V obdobju zadnjih petnajstih let so to vseeno ene nižjih izmerjenih koncentracij Cs-137 na teh štirih lokacijah.

K efektivni dozi zaradi zunanjega sevanja useda in ingestijski dozi, računani za padavinske usede, prispevajo predvsem naravni radionuklidi. Obremenitvi prebivalcev v okolici NEK in na referenčni točki v Ljubljani sta primerljivi, vpliv NEK pa zanemarljiv.



4 ZRAK

POVZETEK

V poglavju so predstavljeni in evalvirani rezultati meritev plinskih in aerosolnih vzorcev iz okolja (imisije) ter aerosolnih filtrov za vzorčevanje zraka na glavnem oddušniku NEK (emisije). Ocena vpliva na prebivalstvo, izračunana po zračni prenosni poti, je bila narejena na podlagi meritev zračnih izpustov in z uporabo Lagrangeevega modela. Lokacije vzorčevanja so bile v okviru rednega nadzora radioaktivnosti zraka v okolici NEK v letu 2016 enake kot prejšnja leta. Ocenjene letne efektivne doze prebivalcev na podlagi meritev aerosolnih filtrov (imisije) zaradi inhalacije in imerzije umetnih radionuklidov (0,5 nSv) so zanemarljive in več velikostnih redov nižje od letne efektivne doze, ki jo zaradi inhalacije povzročajo naravni radionuklidi (40 μ Sv). Modelna ocena daje oceno efektivne letne doze za odraslo osebo v naselju Spodnji Stari Grad 5,8 nSv, na ograji NEK pa 14 nSv. Modelna ocena zajema vse izpuščene radionuklide, medtem ko efektivna doza, izračunana iz meritev v okolju, upošteva le globalna kontaminanta Cs-137 in Sr-90. Pri dozah zaradi naravnih radionuklidov ne upoštevamo prispevka kratkoživih potomcev radona.

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 spektrometrške analize aerosolnih filtrov za vzorčevanje zraka na glavnem oddušniku NEK tik pred izpustom v okolje (emisije) ter aerosolnih in ogljenih filtrov za prečrpavanje zraka v okolju (imisijske meritve). Izmerjene aktivnosti radionuklidov na izvoru so vhodni podatki za modelne izračune, s katerimi se napoveduje njihova porazdelitev in aktivnost radionuklidov v okolju. Pri oceni doz se uporabljajo sodobni modeli, ki najbolje upoštevajo sprotne izmerjene meteorološke parametre v preteklem letu, dejansko ravninsko geometrijo in druge značilnosti v okolici obravnavanega objekta. Modele lahko preverimo z neposrednimi meritvami v okolju. Neodvisni laboratoriji vzorčijo okoljske vzorce in tako preverjajo vpliv elektrarne na okolje in ljudi.

Vzorčevanje emisij je potekalo na glavnem oddušniku NEK, kjer se odzemajo vzorci za meritve joda, tritija (H-3), ogljika (C-14), aerosolov (aerosolni filtri v monitorju RM-24) ter opravljajo meritve žlahtnih plinov. Njihove koncentracije aktivnosti na izbranih lokacijah v okolici NEK se določajo z uporabo Lagrangeevega disperzijskega modela Spray [43], [44], [45], [46], saj zaradi razredčitev meritve na lokacijah niso praktično mogoče, ker so koncentracije radioaktivnosti zaradi emisij NEK zanemarljivo nizke v primerjavi z imisijami iz okolja. 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 efluentov v vseh smereh (jod I-131 se v Dobovi ne vzorčuje). Poudariti je treba, da so v okolici NEK pogoste spremembe smeri vetra, tudi večkrat na dan, hitrost vetra je nizka in da sta prevladujoči smeri vetra proti jugozahodu in proti jugovzhodu. Kontrolne meritve aerosolov so bile opravljene z vzorci, ki so bili pridobljeni z vzorčevanjem na lokaciji v Ljubljani.

Doze so izračunane na podlagi modelskih izračunov in izmerjenih koncentracij aktivnosti radionuklidov. Izračuni so narejeni tudi za lokacije, kjer so postavljene aerosolne črpalke. Metodologija računanja doz je predstavljena v postopku *Ocena sevalnih obremenitev (LMR-RP-01)*, izdaja 02, julij 2015.

Vzorčevanje in meritve radioaktivnosti zraka v okolici Nuklearne elektrarne Krško se izvaja v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti. Tega mora v skladu s 124. členom *Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV, Ur. l. RS št. 102/2004, 60/2011, 74/2015)* [9] zagotavljati upravljavec jedrskega objekta. Podobno kot spremljamo radioaktivnost v okolju v Sloveniji, jo spremljajo tudi v drugih državah članicah EU, saj to zahteva 35. člen pogodbe o ustanovitvi Evropske skupnosti za atomsko energijo [52].



ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Vzorčevanje zračnih emisij in imisij je v letu 2016 potekalo na podoben način kot v preteklih letih, kar zagotavlja primerljivost z rezultati iz prejšnjih poročil oziroma evalvacij. Aerosole smo vzorčevali na osmih mestih v okolici NEK (slika 4.1): Spodnji Stari Grad – AE1 (1,5 km), Krško - Stara vas – AE2 (1,8 km), Leskovec – AE3 (3 km), Brege – AE4 (2,3 km), Vihre – AE5 (2,9 km), Gornji Lenart – AE6 (5,9 km), Spodnja Libna – AE7 (1,4 km) in Dobova – AE8 (12 km). Na istih mestih kot vzorčevanje aerosolov je potekalo vzorčevanje I-131 z izjemo lokacije v Dobovi. Vzorčevanje za specifično meritev Sr-90 se je izvajalo le v Dobovi. Kontrolne meritve aerosolov so bile opravljene z vzorci, ki so bili pridobljeni z vzorčevanjem na lokaciji v Ljubljani na dvorišču Instituta "Jožef Stefan" v okviru programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS [15].

Vzorčevanje aerosolov je potekalo s kontinuirnim prečrpavanjem zraka skozi aerosolne filtre. Filtri se menjajo vsakih 15 dni, pri čemer se skozi filtre prečrpa najmanj 10 000 m³ zraka mesečno. V Dobovi in na dvorišču IJS v Ljubljani je potekalo vzorčevanje z zračnimi črpalkami, ki skozi filtre mesečno prečrpajo od 100 000 m³ do 150 000 m³ zraka. Izotopska analiza aerosolov se izvaja na sestavljenih mesečnih vzorcih z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Vzorčevanje in meritve vzorcev na vseh osmih mestih ter vzorčevanje in meritve v Ljubljani je opravil IJS.

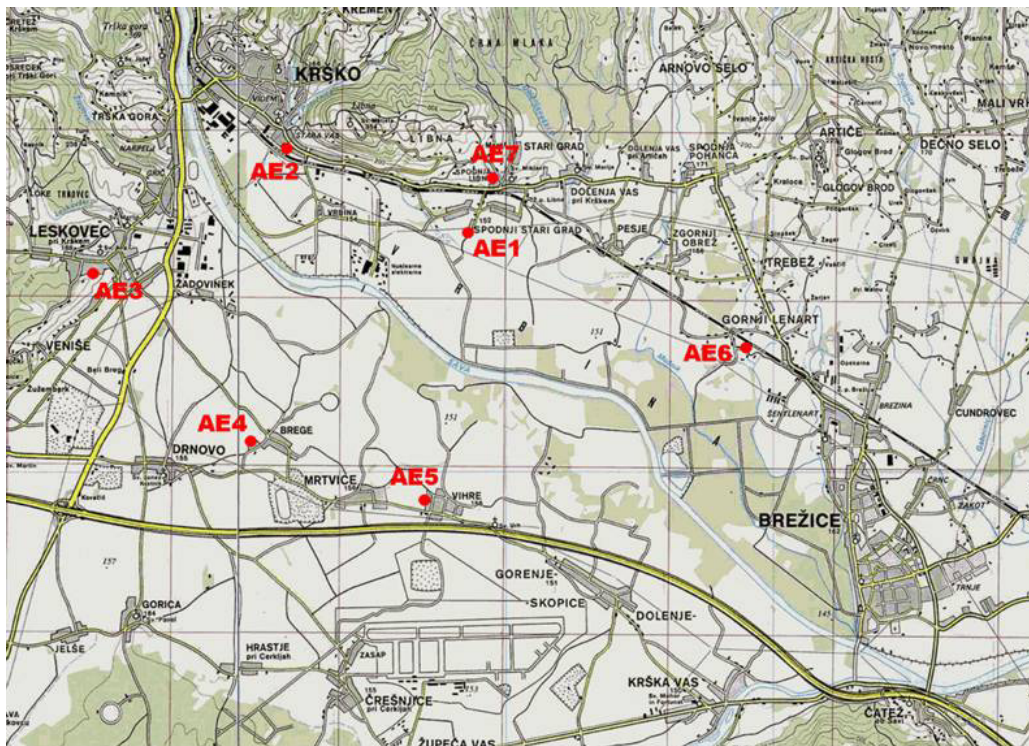
Zaradi specifičnih lastnosti I-131 in njegovih spojin je vzorčevanje I-131 potekalo ločeno s črpalkami z manjšim pretokom in s posebnimi filtri iz steklenih mikrovlaknen in aktivnega oglja, prepojenega s trietilendiaminom. Filtri zbirajo atomski in molekularni jod (I, I₂), metiljodid (CH₃I), HI, HOI in jod, vezan na aerosole. Črpanje je kontinuirno, filtri se menjajo vsakih 15 dni, pri čemer se skozi filtre prečrpa od 1 000 m³ do 1 400 m³ zraka. Specifična meritev adsorbiranega I-131 in izotopska analiza aerosolov se izvaja z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Vzorčevanje in specifične meritve joda je opravil IJS.

Na sliki 4.2 prikazujemo kombinirano zračno črpalko, na katero sta priključena ločena filtra, na katerih poteka paralelno ločeno vzorčevanje jodovih in aerosolnih vzorcev.

Vzorčevanje emisij NEK se opravlja na glavnem oddušniku z odvzemom reprezentativnega vzorca, ki se črpa skozi več merilnikov sevanja in vrača v oddušnik. Posebej se vzorčujejo tritij (H-3), ogljik (C-14), Sr-90 (za specifične analize s scintilacijskim spektrometrom beta) ter aerosoli za izotopsko analizo sevalcev s spektrometrijo gama preko aerosolnih filtrov v monitorju RM-24. Meritev žlahtnih plinov poteka kontinuirno v posebnem merilnem zbiralniku. Vzorčevanje in specifične analize tritija (H-3) in ogljika (C-14) je opravil IJS, meritve vzorcev filtrov za vzorčevanje aerosolov na oddušniku pa NEK in IJS. NEK je opravil tudi meritve emisij joda ter žlahtnih plinov.

REZULTATI MERITEV

Rezultate imisijskih 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) in T-51 (Dobova). V tabeli T-52 so prikazani rezultati meritev v Ljubljani, na dvorišču IJS, ki so vzeti iz programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS v letu 2016 [15]. 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 2016, IJS-DP-12291*, marec 2017. V tabelah so rezultati meritev podani z neposrednimi merskimi rezultati in njihovimi negotovostmi, ki se nanašajo na interval zaupanja z 68-odstotno zanesljivostjo. Nekatero vrednosti so podane brez negotovosti. To so vrednosti, izpeljane iz mej detekcij. Po priporočilih Evropske komisije [44] se v tabelah upošteva 1/4 meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Srednjo vrednost rezultatov meritev v tem letu imenujemo mesečno povprečje, aritmetično povprečje, včasih pa tudi samo povprečje. Števila za znakom "±" so apriorne negotovosti povprečja. Pojmi so ustrezno pojasnjeni v *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*. Pokaže se, da letno dozo lahko izračunamo iz danega mesečnega, četrletnega ali polletnega aritmetičnega povprečja ob predpostavki, da je vnos hrane, vode ali zraka v telo in organizem človeka konstanten skozi celo leto. Pri obravnavi merskih rezultatov se lahko uporablja tudi uteženo povprečje, kar je ustrezno napisano.



Slika 4.1: Načrt okolice NE Krško z vrisanimi lokacijami zračnih črpalk



Slika 4.2: Kombinirana zračna črpalka IIS na lokaciji Spodnji Stari Grad. Gre za tipsko črpalko, ki je tudi na drugih lokacijah v okolici NEK. V letu 2015 je bilo izvedeno prvo ocenjevanje hrupa merilne naprave, ki jo je izvedlo podjetje Epi Spektrum varstvo okolja, informacijski sistemi in storitve, d. o. o. Na podlagi meritev hrupa in modelnega izračuna je bilo ocenjeno, da obremenitev s hrupom zaradi obratovanja vzorčevalnika zraka pri najbližjih stavbah z varovanimi prostori ne presega mejnih vrednosti za vir hrupa in mejnih koničnih vrednosti kazalcev hrupa za obrat ali napravo.



V letu 2016 je bil remont v NEK od 1. 10. 2016 do 5. 11. 2016, ko se je začel 29. gorivni cikel. V času, ko v NEK poteka remont, 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 oddušnik (47 m³/s oziroma 4 059 000 m³ na dan) so bile določene mesečne in letne emisije posameznih radionuklidov (tabela 4.1). Podatki so vzeti iz programa meritev plinastih efluentov (izvajalec IJS) [8] in podatkov o meritvah filtrov RM24 na izvoru, ki jih je posredoval NEK [7].

Tabela 4.1: Zračni izpusti iz dimnika NEK na višini 60 m

	Radionuklid	Letni izpust (Bq)
Pare, plini (inhalacija)	I-131	8,0E+06
	I-132	3,7E+07
	I-133	7,9E+06
	I-135	-
	HTO	5,7E+12
	HT + CHT	5,2E+11
	C-14 v CO ₂	1,1E+11
	C-14 v CH ₄	8,5E+09
Aerosoli (inhalacija)	Mn-54	-
	Co-57	-
	Co-58	-
	Co-60	-
	Nb-95	1,5E+04
	Zr-95	1,2E+04
	Ru-103	1,1E+04
	Ag-110m	-
	Sb-125	-
	Te-125m	-
	Te-127m	-
	Cs-137	6,9E+05
	Fe-55	-
	Sr-90	1,4E+03
Se-75	-	
Žlahtni plini (imerzija)	Xe-131m	1,0E+12
	Xe-133	1,8E+11
	Xe-133m	3,2E+06
	Xe-135	3,3E+10
	Xe-135m	-
	Ar-41	9,7E+09
	Kr-85	-
	Kr-85m	-
Inhalacija – skupna izpuščena aktivnost		6,3E+12
Imerzija – skupna izpuščena aktivnost		1,3E+12
Skupna izpuščena aktivnost		7,6E+12



V tabeli 4.1 so pri aerosolih predstavljene višje vrednosti enega izmed obeh izvajalcev, o aktivnosti žlahtnih plinov pa poroča le NEK. Pri tem je potrebno povedati, da se pri poročanju o merskih rezultatih v bližini meje detekcije uporablja priporočilo Evropske komisije [49], ki določa, da se poroča o četrtini meje detekcije določenega radionuklida za vsak mesec, če je le-ta bil vsaj enkrat detektiran v letu. Takšen način poročanja lahko pomeni, da je letna izpuščena aktivnost precenjena. Na primer, v letu 2015 se je izkazalo, da je bil izpust Cs-137 precenjen za 72 %, Ru-103 za 42 %, Xe-131m za 59 % itd. Teoretično bi tako lahko le ob eni mesečni meritvi tik ob meji detekcije bila poročana letna aktivnost, ki je 3,75-krat višja od dejansko izmerjene ($11 \times 0,25 \text{ MDA} + \approx 1 \text{ MDA}$). Posledično sta tudi ocenjeni učinkoviti dozi zaradi vdihavanja in zunanjega sevanja žlahtnih plinov lahko precenjeni do nekaj procentov (v letu 2015 5 %), v ekstremnih primerih pa celo bistveno več. Pomanjkljivost tovrstnega poročanja je tudi s stališča metrologije, saj se izgubi informacija o negotovosti rezultatov meritev in letne vsote [47].

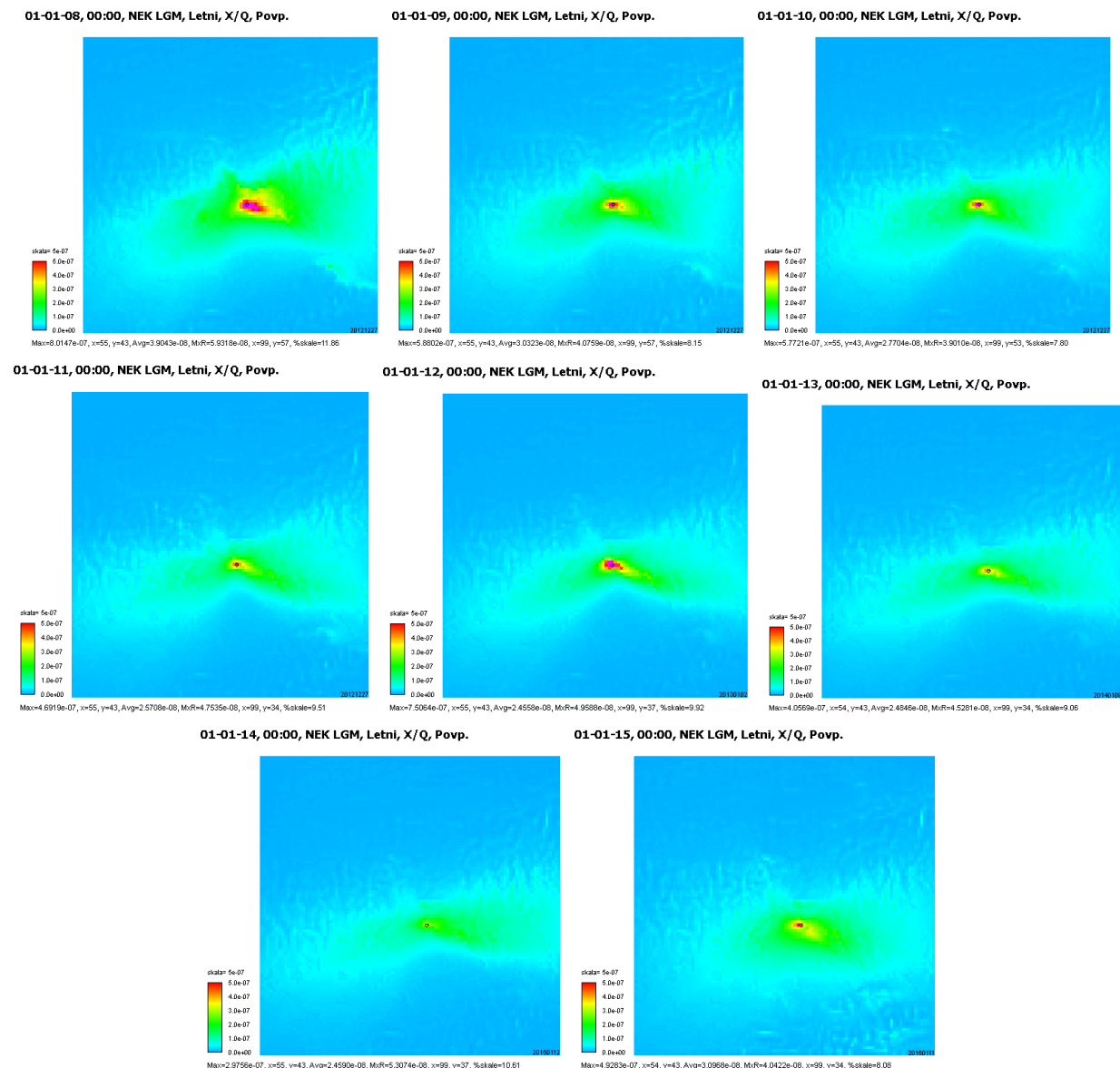
Iz tabele 4.1 je razvidno, da skozi dimnik uhaja največ tritija v obliki vodne pare (HTO). Izkaže se, da je to glavni prispevek k modelski oceni učinkovite doze zaradi vdihavanja na izbranih lokacijah v okolici NEK (tabela 4.5). Znatne so tudi izpuščene aktivnosti žlahtnih plinov, vendar pa je modelska ocena učinkovite doze zaradi zunanjega sevanja red velikosti nižja od učinkovite doze zaradi vdihavanja, izračunane na lokacijah v okolici NEK (tabela 4.6).

Modeliranje širjenja emitiranih snovi v zraku je postopek, s katerim z ustreznimi modeli, realiziranimi v obliki programske opreme, in izmerjenimi meteorološkimi podatki ocenimo koncentracije emitirane snovi v zunanjem zraku. Z modelom izračunamo razredčitvene koeficiente (λ/Q) z enoto s/m^3 . Razredčitveni koeficient je normirano merilo za redčenje v ozračju in nam pove, kolikšna je koncentracija emitirane snovi v obravnavani točki okolja, če je emisija enotska (enaka 1 Bq/s). Razredčitveni koeficient se za podano mrežo celic nad obravnavano domeno (okolica NEK) izračuna za vsak polurni interval v obravnavanem letu posebej. Časovno povprečenje razredčitvenega koeficienta pa se izvrši nad vsako celico posebej. Metodologija privzema, da je emisija v obravnavanih intervalih za povprečenje konstantna.

Tabela 4.2: Razredčitveni koeficienti (λ/Q)/(s/m^3) v letu 2016 za naselja v okolici NEK, ki jih je pripravilo podjetje MEIS storitve za okolje, d. o. o., z uporabo Lagrangeevega modela

	Spodnji Stari Grad	Vrbina	Brežice	Vihre	Mrtvice	Brege	Žadovinek	Leskovec	Krško - Stara vas	Pesje	Dobova	Ograja NEK
Januar	1,2E-07	5,5E-08	4,0E-08	1,4E-08	1,9E-08	3,6E-08	8,1E-08	1,2E-07	3,5E-08	1,3E-07	2,7E-08	8,0E-08
Februar	1,4E-07	6,7E-08	1,8E-08	1,1E-08	1,4E-08	2,2E-08	4,3E-08	7,6E-08	5,1E-08	1,5E-07	7,3E-09	6,9E-08
Marec	1,2E-07	5,4E-08	2,2E-08	1,6E-08	2,1E-08	4,3E-08	5,4E-08	6,8E-08	3,2E-08	7,8E-08	1,3E-08	6,7E-08
April	1,3E-07	1,0E-07	3,0E-08	1,2E-08	1,5E-08	2,7E-08	8,3E-08	1,2E-07	5,2E-08	1,2E-07	1,3E-08	9,1E-08
Maj	1,3E-07	1,5E-07	4,8E-08	2,3E-08	2,7E-08	5,7E-08	9,9E-08	1,0E-07	7,1E-08	1,1E-07	2,7E-08	1,2E-07
Junij	3,0E-07	3,0E-07	5,6E-08	4,1E-08	4,8E-08	6,5E-08	1,1E-07	5,9E-08	9,2E-08	2,2E-07	2,3E-08	8,8E-07
Julij	2,3E-07	5,3E-07	9,7E-08	4,1E-08	4,8E-08	1,1E-07	2,3E-07	1,2E-07	1,1E-07	2,1E-07	4,1E-08	2,0E-06
Avgust	1,7E-07	4,4E-07	9,6E-08	4,8E-08	5,8E-08	1,0E-07	2,1E-07	1,3E-07	1,3E-07	1,4E-07	5,4E-08	8,3E-07
September	1,8E-07	3,1E-07	7,6E-08	2,7E-08	3,1E-08	8,5E-08	1,3E-07	8,1E-08	1,2E-07	1,7E-07	6,0E-08	8,5E-07
Oktober	2,3E-07	1,6E-07	4,7E-08	3,7E-08	3,5E-08	5,9E-08	1,2E-07	1,0E-07	1,1E-07	1,5E-07	2,0E-08	1,7E-07
November	1,9E-07	1,3E-07	3,5E-08	2,0E-08	2,3E-08	5,3E-08	1,1E-07	1,4E-07	1,1E-07	1,3E-07	1,2E-08	1,7E-07
December	1,5E-07	1,1E-07	4,1E-08	1,7E-08	2,3E-08	5,5E-08	1,0E-07	1,7E-07	1,0E-07	9,5E-08	2,1E-08	1,2E-07

* drsniki v posameznih celicah pomenijo relativno velikost razredčitvenega faktorja, posebej za ograjo NEK (rdeča barva) in za vse druge lokacije skupaj (siva barva). Tako so hitro vidne morebitne sezonske/meteorološke variacije.

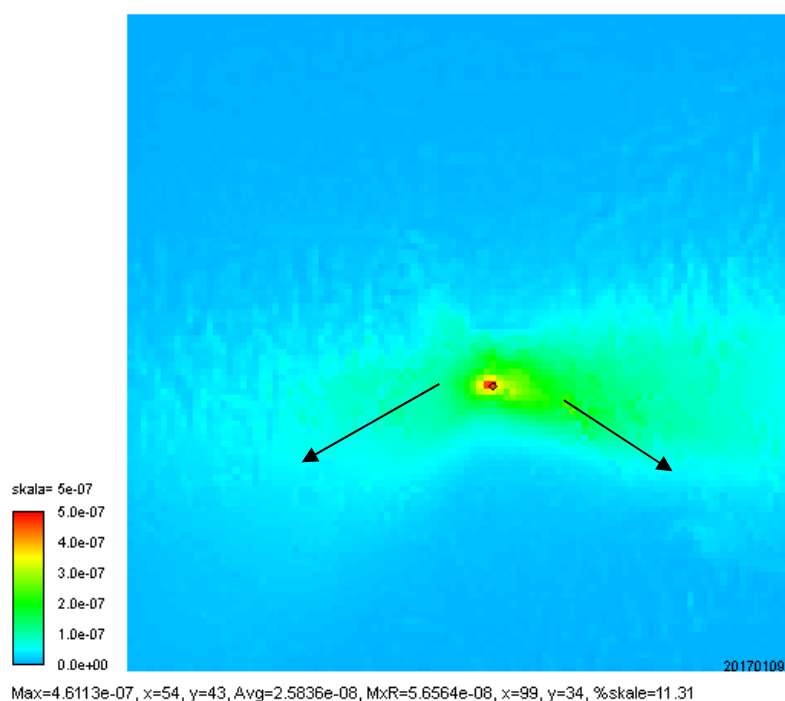


a) Leta od 2008 do 2015

Slika 4.3a: 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 2008–2015
Podatke je posredoval MEIS storitve za okolje, d. o. o.



01-01-16, 00:00, NEK LGM, Letni, X/Q, Povp.



b) Leto 2016 (puščici označujeta prevladujoči smeri vetra)

Slika 4.3b: Povprečni letni razredčitveni koeficienti (X/Q) z enoto s/m^3 , izračunani po Lagrangeevem modelu za izpust z višine 60 m za okolico NEK za leto 2016.

Podatke je posredoval MEIS storitve za okolje, d. o. o.

Tabela 4.3: Primerjava večletnih povprečij izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti Cs-137 v aerosolih v okviru nadzorov radioaktivnosti v okolici NEK in v Republiki Sloveniji s podatki za leto 2016

Lokacija	Od 2005 do 2015	2016
	Koncentracija aktivnosti (Bq/m ³)	
Spodnji Stari Grad	1,9E-06 ± 1E-07	6,0E-07 ± 2E-07
Stara vas	1,8E-06 ± 1E-07	9,0E-07 ± 3E-07
Leskovec	1,9E-06 ± 1E-07	1,8E-06 ± 3E-07
Brege	2,5E-06 ± 1E-07	7,1E-07 ± 3E-07
Vihre	1,8E-06 ± 1E-07	1,1E-06 ± 3E-07
Gornji Lenart	1,6E-06 ± 1E-07	1,1E-06 ± 3E-07
Spodnja Libna	1,4E-06 ± 1E-07	9,1E-07 ± 4E-07
Dobova	1,5E-06 ± 1E-07	1,1E-06 ± 6E-08
Povprečje NEK	1,3E-06 ± 2E-07	1,0E-06 ± 3E-07
Ljubljana	2,0E-06 ± 5E-08	2,0E-06 ± 8E-08
Jareninski vrh	-	8,9E-07 ± 1E-07
Predmeja	-	1,9E-06 ± 2E-07



Tabela 4.4: Primerjava povprečij izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti radionuklidov v aerosolih v okviru nadzorov radioaktivnosti v okolici NEK in v Republiki Sloveniji za leto 2016

Vzorčevalno mesto	JARENINSKI VRH*	PREDMEJA*	LJUBLJANA	POVPREČJE KRAJEV V OKOLICI NEK
IZOTOP	Koncentracija aktivnost (Bq/m ³)			
U-238	4,1E-06 ± 2E-06	1,5E-05 ± 3E-06	1,0E-06 ± 7E-07	9,4E-06 ± 2E-06
Ra-226	2,8E-06 ± 5E-07	6,6E-06 ± 5E-07	1,3E-06 ± 3E-06	3,9E-06 ± 2E-06
Pb-210	4,8E-04 ± 2E-05	5,4E-04 ± 2E-05	7,3E-04 ± 1E-05	6,9E-04 ± 4E-05
Ra-228	1,6E-06 ± 6E-07	2,7E-06 ± 1E-06	7,2E-07 ± 2E-07	5,9E-06 ± 8E-07
Th-230			1,4E-06 ± 3E-06	1,1E-06 ± 1E-06
Th-228	5,6E-06 ± 5E-07	8,0E-06 ± 1E-06	2,8E-06 ± 2E-07	7,0E-06 ± 7E-07
K-40	2,4E-04 ± 7E-06	4,3E-04 ± 2E-05	2,3E-05 ± 2E-05	1,7E-06 ± 2E-06
Be-7	3,3E-03 ± 9E-05	5,0E-03 ± 1E-04	4,0E-03 ± 6E-05	3,6E-03 ± 3E-04
I-131				
Cs-134				
Cs-137	8,9E-07 ± 1E-07	1,9E-06 ± 2E-07	2,0E-06 ± 8E-08	1,0E-06 ± 1E-07
Sr-90	Meritev ni v programu	Meritev ni v programu	Meritev ni v programu	1,0E-07 ± 2E-08

* Rezultati iz programa nadzora radioaktivnost v življenjskem okolju Republike Slovenije

Za zahtevne razmere, kakršne nastopajo v okolici NE Krško, od 2007 dalje uporabljamo Lagrangeev model širjenja emitiranih snovi v zraku, saj ta upošteva konfiguracijo tal in dejanske meteorološke razmere. Prav tako se upošteva izpust na višini 60 m. Pred letom 2007 smo za opis širjenja izpuščenih snovi v ozračju uporabljali le Gaussov model, ki je upošteval izpust pri tleh. Ugotavljamo, da rezultati, obdelani z Gausovim modelom pred letom 2007 in Lagrangeevim modelom po letu 2007, niso primerljivi. Oba modela in razlike med njima smo podrobno opisali v poročilu za leto 2007.

Na slikah 4.3a in 4.3b so predstavljeni mesečni razredčitveni koeficienti (χ/Q) v enotah s/m³ za izpust z višine 60 m za okolico elektrarne. Porazdelitev je narejena na osnovi izračunanih mesečnih koeficientov χ/Q . Podatke je posredoval MEIS storitve za okolje, d. o. o. Prikazani so koeficienti za leto 2016 (slika 4.3b) in za primerjavo še iz prejšnjih let od 2008 do 2015 (slika 4.3a). S slik 4.3a in 4.3b je razvidno, da sta prevladujoči smeri, v katerih se v povprečju gibljejo izpusti NEK, proti jugozahodu in proti jugovzhodu.

Iz podatkov o meritvah mesečnih emisij posameznih radionuklidov (tabela 4.1) ter iz izračunanih mesečnih razredčitvenih koeficientov (χ/Q) (tabela 4.2), so bile izračunane koncentracije aktivnosti posameznih radionuklidov po mesecih a_{jl} na lokaciji l :

$$a_{jl,mes} = a_{js,mes} \cdot \Phi_v \cdot (\chi/Q)_l \quad (4.1)$$

Tu je a_{js} mesečna koncentracija aktivnosti radionuklida j na točki izpusta, Φ_v pretok oziroma hitrost izpusta v enotah m³/s ter $(\chi/Q)_l$ razredčitveni faktor na lokaciji l v enotah s/m³.

Poleg modeliranja in izračuna koncentracij aktivnosti se na izbranih lokacijah opravljajo tudi redne meritve. Izmed umetnih radionuklidov sta bila v letu 2016 v aerosolih, zbranih na filtrihi zračnih črpalk, zaznana Cs-137 in Sr-90. Prisotnost Cs-137 in Sr-90 v okolju je posledica globalne kontaminacije, medtem ko je prispevek NEK nemerljiv glede na modelne ocene. Izmerjene povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 na posameznih merilnih mestih v okolici NEK v letu 2016, v Ljubljani in lokacijah v okviru nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji so prikazane v tabeli 4.3. Za primerjavo so prikazana tudi večletna povprečja za posamezno lokacijo, razen za Jareninski vrh in Predmejo. Meritve aerosolov v okviru republiškega programa potekajo na lokacijah v Ljubljani (Institut "Jožef Stefan"), v Predmeji in na Jareninskem vrhu (ZVD, Zavod za varstvo pri delu) [14]). Iz tabele 4.4 lahko razberemo, da so bile povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v letu 2016 nižje od dolgoletnih povprečij. Povprečje po vseh lokacijah v okolici NEK za leto 2016 je dvakrat nižje kot

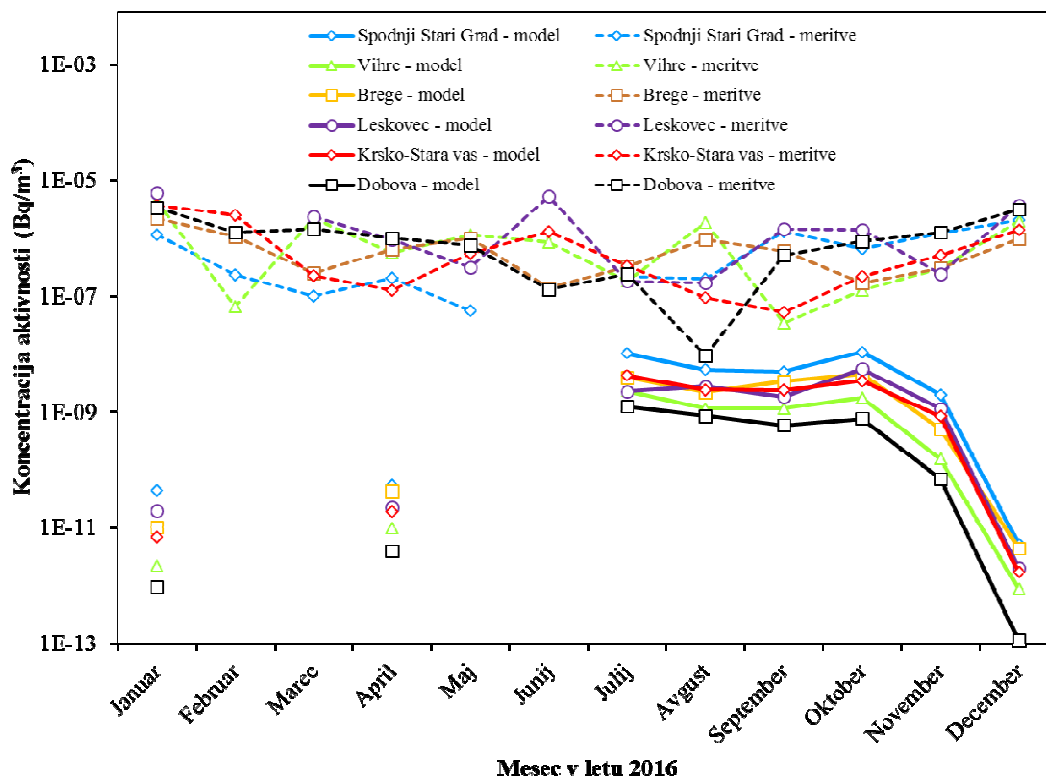


drugod po Sloveniji v letu 2016. Večletno povprečje v Bregah (tabela 4.3) je višje od drugih lokacij v okolici NEK, vendar še vedno primerljivo z vrednostmi v Ljubljani in drugod po Sloveniji. Anomalijo lahko pripišemo okoljskim posebnostim na tej lokaciji.

Na sliki 4.4 prikazujemo izračunane in izmerjene mesečne koncentracije aktivnosti Cs-137 za lokacije: Spodnji Stari Grad, Vihre, Brege, Krško – Stara vas Leskovec in Dobova. Iz predstavljenih podatkov na sliki 4.4 je razvidno, da so koncentracije aktivnosti Cs-137, izračunane iz enačbe (4.1), tudi v primeru najvišje izračunane mesečne koncentracije več velikostnih razredov nižje od izmerjenih vrednosti v okolju. Ordinatna os je logaritemska. Izmerjene mesečne koncentracije Cs-137, ki so nekaj $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ na aerosolnih filtrih v okolici NEK, niso posledica izpustov iz NEK, temveč so posledica splošne onesnaženosti okolja zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij v petdesetih in šestdesetih letih dvajsetega stoletja ter v manjši meri nesreče v Fukušimi. S tem dejansko spremljamo imisije iz okolja, zato je za oceno prispevka NEK k dozi smiselno upoštevati le vrednosti, dobljene z modelnimi izračuni (enačba 4.1).

V dosedanjih evalvacijah v prejšnjih letih smo privzeli hipotezo, da so izmerjene koncentracije aktivnosti Cs-137 na filtrih vzorčevalnih črpalk posledica resuspenzije Cs-137 iz zemlje. Iz literature ([53], [54], [2]) lahko sklenemo, da je prispevek h koncentraciji aktivnosti Cs-137 v zraku v hladnih mesecih v veliki meri posledica uporabe trdih goriv (predvsem lesa, briketov in peletov). V toplih mesecih pa je prispevek manj izrazit in je najverjetneje posledica več dejavnikov, v največji meri zaradi resuspenzije s tal in lebdenja delcev v ozračju ter v manjši meri zaradi prometa in industrije.

Med remontom so bili v izpuhu NEK zaznani tudi izpusti Co-58, Zr-95, Nb-95 in Ru-103, vendar ti izotopi niso bili detektirani na nobenem od sedmih merilnih mest v okolici NEK, kjer so postavljene kombinirane črpalke, in v Ljubljani.



Slika 4.4: Primerjava izračunanih in izmerjenih mesečnih koncentracij aktivnosti Cs-137 v različno oddaljenih naseljih (ordinatna os je logaritemska). V mesecih, ko Cs-137 ni bil izmerjen v izpustih, modelskih izračunov ni mogoče narediti.



Meritve stroncija Sr-90 v okolju se izvajajo le v Dobovi, in še to na trimesečnih sestavljenih vzorcih. Poročana povprečna koncentracija aktivnosti v letu 2016 je bila sicer $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, vendar so bile vse meritve pod mejo detekcije. Večletno povprečje koncentracije aktivnosti za Sr-90 je $0,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Izotop Sr-89 v letu 2016 ni bil detektiran v zračnih izpustih NEK.

Mesečne koncentracije aktivnosti I-131 v zraku (ogleni filtri, tabela T-43) so bile pod mejno merilno koncentracijo aktivnosti $0,1 \text{mBq}/\text{m}^3$, ki jo navaja izvajalec meritev IJS. I-131 prav tako ni bil detektiran v aerosolih (tabele T-44 do T-51), kjer pa izvajalec meritev navaja še nižjo mejno merilno koncentracijo aktivnosti $0,01 \text{mBq}/\text{m}^3$ za I-131 v aerosolih v naseljih v okolici NEK. Z uporabo zmogljivejše aerosolne črpalke v Dobovi pa je mejna merilna koncentracija aktivnosti za jod $0,001 \text{mBq}/\text{m}^3$. Oceno za zgornjo mejo prispevka I-131 v zraku dobimo tako, da za koncentracijo aktivnosti privzamemo najmanjšo merljivo koncentracijo aktivnosti $0,01 \text{mBq}/\text{m}^3$.

Iz rezultatov meritev naravnih radionuklidov v aerosolih v okolju na posameznih mestih je težko potegniti smiselne skupne zaključke ujemanja (tabela 4.4), saj so koncentracije 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 2016 v okolici NEK je bila $3\,600 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, Pb-210 pa $690 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. V Ljubljani sta bili povprečni koncentraciji $4\,000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in $730 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Za kozmogeni Be-7 ugotavljamo, da je bila v okviru negotovosti povprečij na vseh vzorčevalnih mestih v okolici NEK, Jareninskem vrhu, Predmeji in v Ljubljani izmerjena enaka vrednost. Podobna ugotovitev velja tudi za Pb-210. Tak rezultat za Be-7 in Pb-210 je pričakovan predvsem za lokacije s podobnim padavinskim režimom in posledičnega izpiranja aerosolov iz ozračja. Letna količina padavin v okolici NEK je tipično nižja kot v Ljubljani, v letu 2016 na primer približno 15 % nižja (glej poglavje *Padavinski in suhi used*).

Pri drugih naravnih radionuklidih so razlike med posameznimi merilnimi mesti v okolici NEK, Ljubljano in drugimi lokacijami po Sloveniji večje (tabela 4.4). Neujemanje lahko pripišemo različni sestavi tal, bližini obdelovalnih polj, neupoštevanju ekshalacije radona pri meritvah Ra-226 za vzorce iz Predmeje in Jareninskega vrha ter uporabi zračnih črpalk z različnimi pretoki. Meritve koncentracije aktivnosti radionuklidov v aerosolih v Ljubljani so najbolj natančne, zato se v primerjavah uporabljajo kot referenčne. Ob primerjavi vrednosti z lokacij v okolici NEK in v Ljubljani je treba upoštevati, da zračna črpalka na vzorčevalnem mestu v Ljubljani prečrpa približno desetkrat več zraka kot črpalke v okolici NEK, kar zniža mejo detekcije, razen v Dobovi, kjer je črpalka enaka kot v Ljubljani. Ob upoštevanju teh dejstev lahko sklenemo, da so vrednosti naravnih radionuklidov v zraku v okolici NEK podobne tistim, ki jih izmerimo v okviru nadzornih meritev radioaktivnosti v Republiki Sloveniji [13].

Izvajalec meritev od leta 2008 dalje med izmerjenimi radionuklidi v okolju poroča tudi o Na-22, tega leta je namreč povečal občutljivost meritev. Podobno kot Be-7, je Na-22 kozmogeni radionuklid, njegove koncentracije pa so navadno več 1 000-krat nižje od koncentracij Be-7. V letu 2016 je bila povprečna koncentracija aktivnosti Na-22 $0,24 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Radionuklid je bil občasno zaznan tudi v preteklih letih, a se vrednosti v tabelah niso navajale.

DISKUSIJA

Namen spremljanja radioaktivnosti v vzorcih zraka je ocena doz, ki jih prejmejo prebivalci, ki živijo v okolici NEK. Človek z vdihavanjem zraka vnese v telo določeno količino radionuklidov, ki so v zraku. Radionuklidi se lahko nato iz pljuč razširjajo v druge dele telesa in poleg pljuč povzročajo tudi delno obsevanost drugih organov človeka. Prejeta doza je odvisna od koncentracije aktivnosti posameznih radionuklidov v zraku, vrste radionuklidov in hitrosti dihanja. Efektivna doza $E_{l,\text{inh,mes}}(g)$, ki jo prejme posameznik v starostni skupini prebivalstva g v enem mesecu na lokaciji l , se ugotavlja kot vsota vseh prispevkov zaradi vnosa različnih radionuklidov z vdihavanjem:

$$E_{l,\text{inh,mes}}(g) = \sum_j h(g)_{j,\text{inh}} A_{j,l,\text{inh,mes}} \quad (4.2)$$



pri čemer je $h(g)_{j,\text{inh}}$ predvidena efektivna doza na enoto vnosa j -tega radionuklida zaradi vdihavanja, izražena v Sv/Bq, in $A_{j,\text{inh, mes}}$ posamezni mesečni vnos j -tega radionuklida z vdihavanjem, izražen v Bq.

V našem primeru mesečni vnos j -tega radionuklida $A_{j,\text{inh, mes}}$ izračunamo kot:

$$A_{j,\text{inh, mes}} = a_{j,l,\text{mes}} \frac{1}{12} V(g) \quad (4.3)$$

kjer je $a_{j,l,\text{mes}}$ 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 upoštevali, da je hitrost dihanja enakomerna celo leto. Ob upoštevanju privzetih hitrosti dihanja za določeno starostno skupino in podatkov o mesečnih emisijah posameznih radionuklidov lahko ocenimo vnos posameznega radionuklida v telo zaradi vdihavanja. Z upoštevanjem ustreznih doznih pretvorbenih faktorjev $h(g)_{j,\text{inh}}$ [11] za posamezne radionuklide in posamezno starostno skupino dobimo oceno za mesečne prispevke posameznega izotopa k letni dozi. Letna efektivna doza zaradi vdihavanja za posamezno starostno skupino je potem vsota mesečnih efektivnih doz, ki jih izračunamo iz enačbe (4.2).

Efektivno dozo zaradi imerzije izračunamo ob predpostavki, da zanemarimo inhalacijo žlahtnih plinov v primerjavi z zunanjim sevanjem, ki ga povzroča polneskončni oblak žlahtnih plinov. Mesečno efektivno dozo zaradi imerzije na lokaciji l izračunamo kot:

$$E_{l,\text{im,mes}} = \sum_j h_{j,\text{im}} A_{j,l,\text{im, mes}} \quad (4.4)$$

pri čemer je $h_{j,\text{im}}$ predvidena efektivna doza ((Sv/d)/(Bq/m³)) j -tega radionuklida, prejeta v enem dnevu na enoto koncentracije aktivnosti v zraku (tabela 6, [11]). Pretvorbeni dozni koeficienti so enaki za vse starostne skupine. Aktivnost $A_{j,l,\text{im, mes}}$ na lokaciji l izračunamo iz zveze, ki jo podaja enačba (4.5)

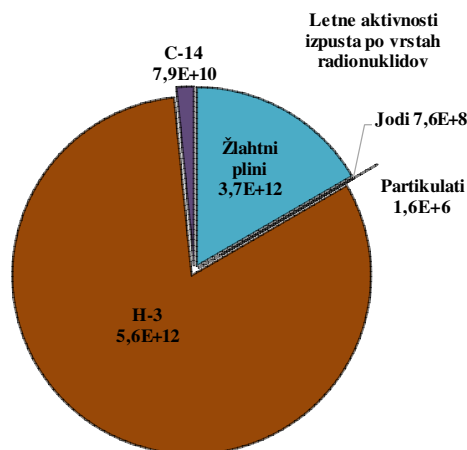
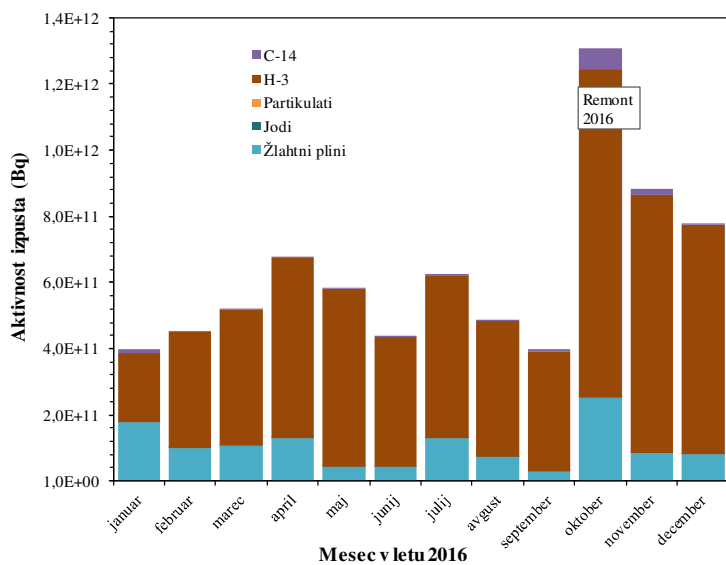
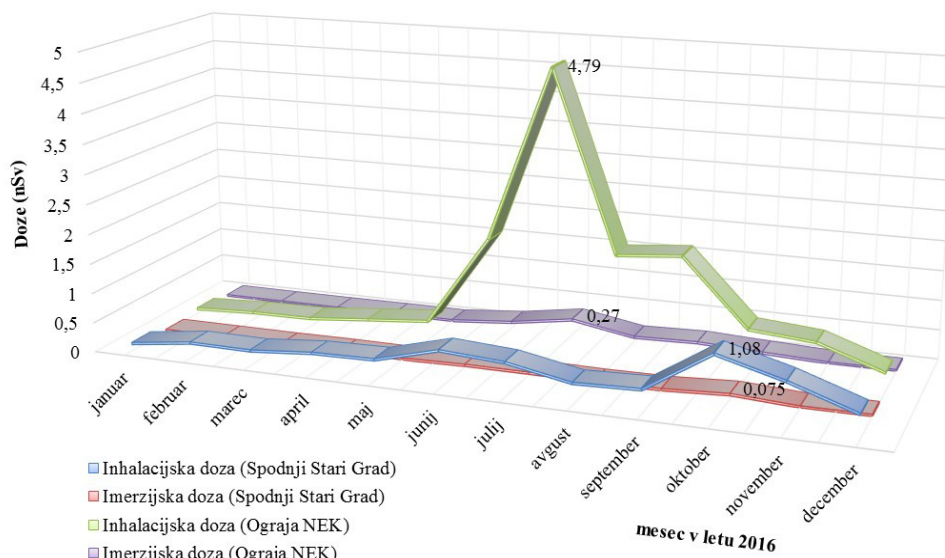
$$A_{j,l,\text{im, mes}} = A_{jS,\text{mes}} (\mathcal{X}/Q)_l \quad (4.5)$$

kjer je $A_{jS,\text{mes}}$ izpuščena mesečna aktivnost, $(\mathcal{X}/Q)_l$ razredčitveni faktor na lokaciji l v enotah s/m³. Letna efektivna doza zaradi imerzije je potem za vse starostne skupine vsota mesečnih efektivnih doz, ki jih izračunamo iz enačbe (4.4). Pri tem upoštevamo, da ima dan 86 400 s.

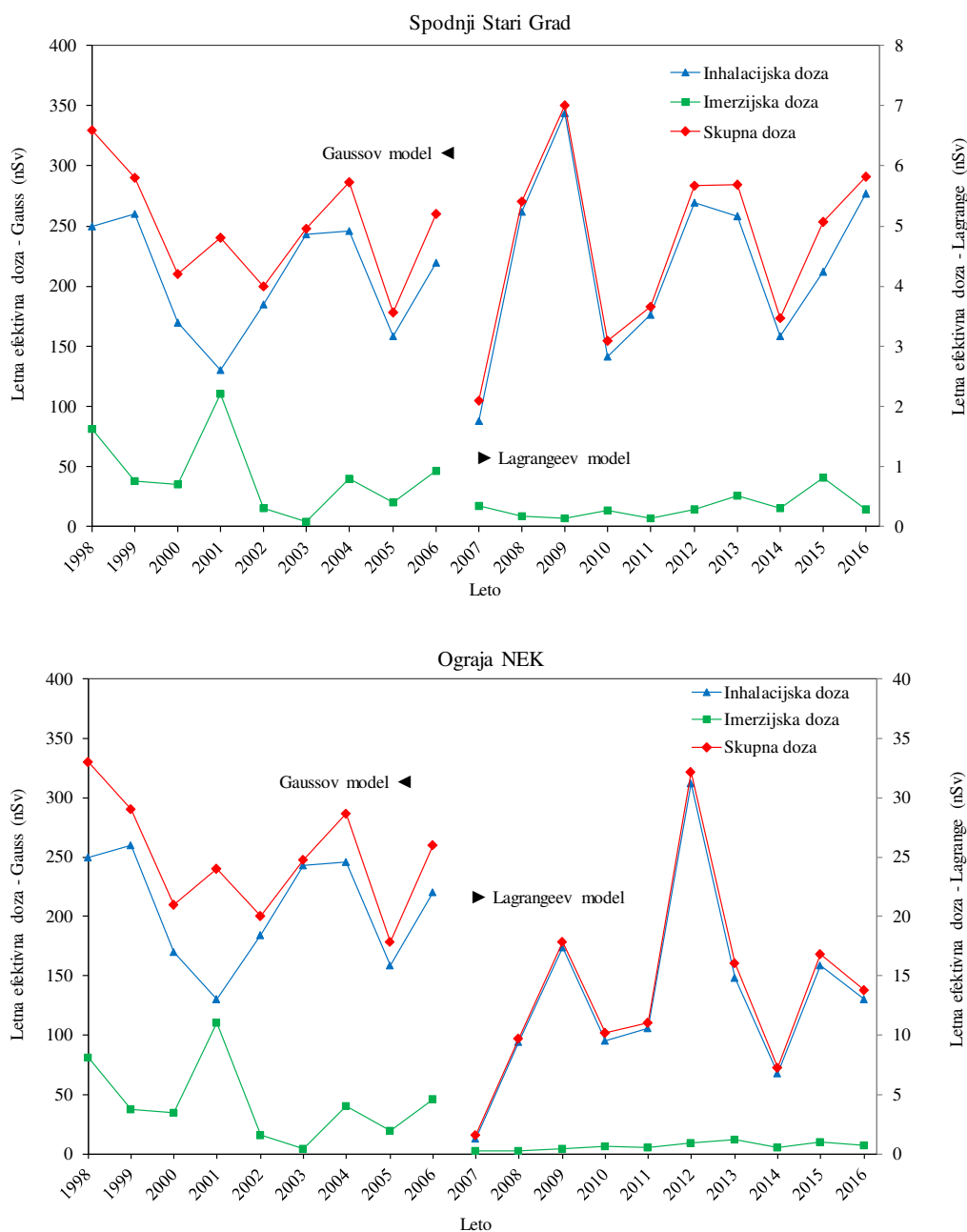
Na podlagi zgoraj opisane metodologije je tako izračun doz narejen ob upoštevanju mesečnih razredčitvenih koeficientov \mathcal{X}/Q , izračunanih na podlagi Lagrangeevega modela na osnovi dejanskih meteoroloških podatkov za vsa naselja v okolici NEK in ograjo NEK. Podatke je posredoval MEIS storitve za okolje, d. o. o.

Inhalacijska doza po mesecih v letu 2016 za posameznika iz prebivalstva v naselju Spodnji Stari Grad in na ograji NEK je prikazana na sliki 4.5. Inhalacijska doza je izračunana na podlagi plinskih izpustov iz NEK, ki so prikazani na sliki 4.5 spodaj. Največja mesečna inhalacijska doza v Spodnjem Starem Gradu je bila v juniju in oktobru 2016, na ograji NEK pa v juliju. Povišana dozi v Spodnjem Starem Gradu in na ograji NEK sta predvsem posledica meteoroloških razmer, v Spodnjem Starem Gradu pa se je vrh mesečne doze tudi časovno pokrival s povišanimi izpusti med remontom NEK (slika 4.5 spodaj). To je lepo razvidno iz tabele 4.2, kjer so izračunani razredčitveni faktorji najvišji.

Zunanje obsevanje zaradi radionuklidov v zraku (imerzijska doza) je predvsem posledica izpustov žlahtnih plinov različnih izotopov ksenona in Ar-41 v letu 2016. Celotna letna imerzijska doza za Spodnji Stari Grad za leto 2016 je bila 0,3 nSv, za ograjo NEK pa 0,7 nSv, vrednosti so zelo nizke v primerjavi z inhalacijsko dozo na istih mestih. Med letom ni bilo opaziti mesečnih variacij imerzijske doze, rahlo se odmikata le julij na ograji NEK, ki je posledica vremenskih razmer, in oktober v Spodnjem Starem Gradu, ki je kombinacija vremenskih razmer in izpustov med remontom, ki se je začel 1. 10. 2016 (slika 4.5).



Slika 4.5: Mesečne inhalacijske in umerzijske doze za posameznika iz prebivalstva v naselju Spodnji Stari Grad in na ograji NEK (zgornji graf). Na spodnjem grafu so mesečni plinski izpusti NEK [7], na podlagi katerih so izračunane doze.

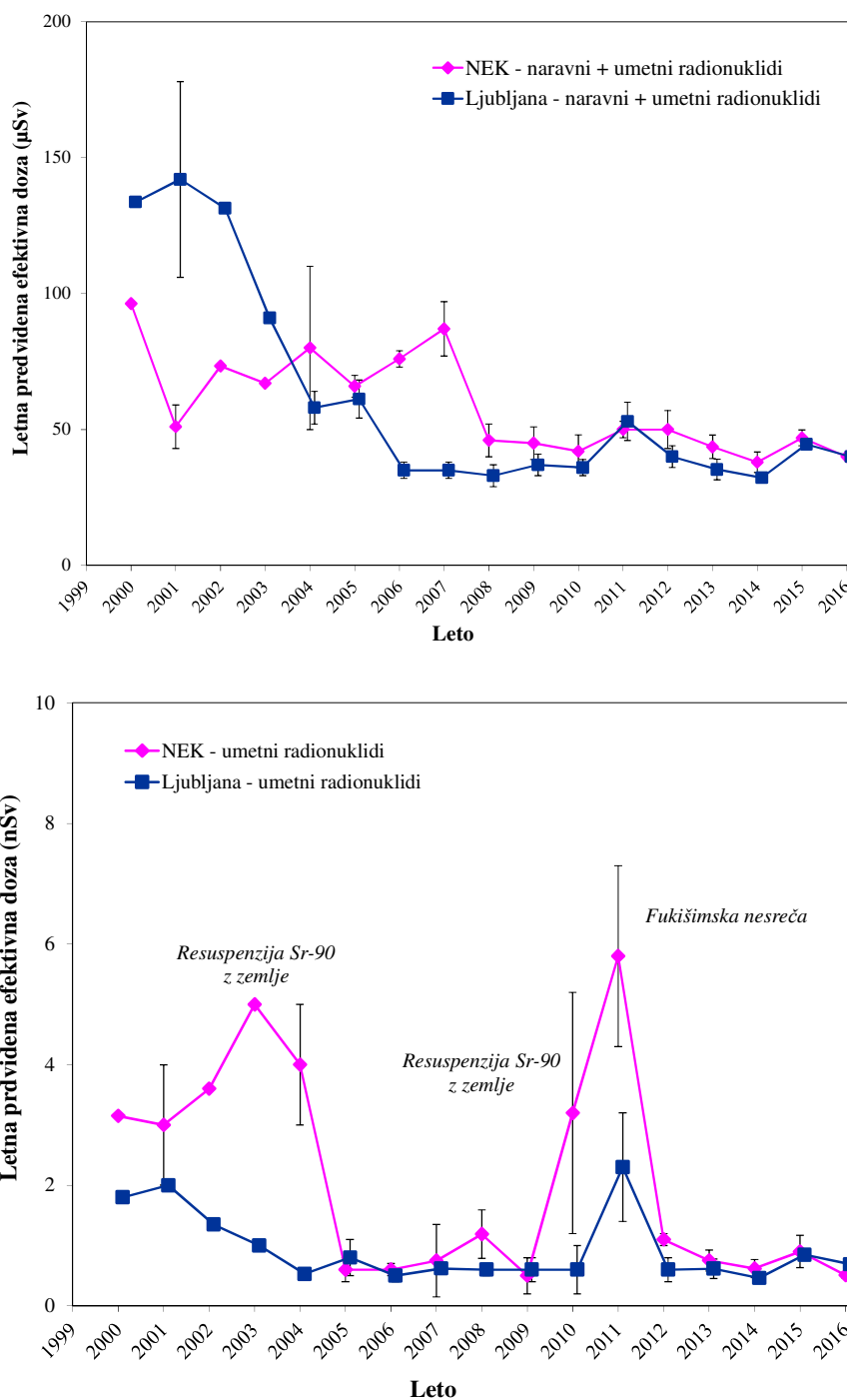


Slika 4.6: Ocena inhalacijskih, imerzijskih in skupnih doz za odrasle za Spodnji Stari Grad (zgoraj) in ograjo NEK (spodaj) od leta 1998 dalje. Opomba: v letu 2007 je bil spremenjen model za izračun razredčitvenih faktorjev. Grafi obeh modelov so prikazani na različnih skalah (Gauss levo na primarni osi in Lagrange desno na sekundarni osi).

Na sliki 4.6 je povzetek ocen inhalacijskih in imerzijskih doz od leta 1998 dalje, izračunanih iz podatkov o plinskih emisijah iz NEK in iz povprečnih mesečnih razredčitvenih koeficientov χ/Q , ki so jih za Spodnji Stari Grad izračunali na Agenciji RS za okolje (do vključno leta 2006) in MEIS storitve za okolje, d. o. o. (od leta 2007 dalje) [4]. Razvidno je, da se z uporabo Lagrangeevega modela za izračun razredčitvenih koeficientov oziroma razširjanja efluentov (aerosoli, partikulati, molekule) v zraku izračunana doza bistveno zmanjša. Sedanja ocenjena letna efektivna doza, ki temelji na izračunanih razredčitvenih koeficientih po Lagrangeevem modelu, je za dva velikostna reda (nekaj 10-krat) manjša od tistih pred 2007 (v neposredni bližini – ograja NEK – je ocena doze nižja za en velikostni red), saj



Lagrangeev model upošteva izpust na višini 60 m, medtem ko je Gaussov model upošteval talni izpust. V dodatku k poročilu za leto 2007 [4] je opisana primerjava med izračunom razredčitvenih faktorjev z različnimi modeli. Izračunane doze zaradi vdihavanja zračnih delcev iz podatkov o zračnih emisijah in razredčitvenih koeficientov iz Lagrangeevega modela so v letu 2016, ob upoštevanju negotovosti določitve doz, na ravni nivojev v obdobju 2007–2015. To kaže na stabilne razmere obratovanja jedrske elektrarne in na podobnost letnih vremenskih razmer.



Slika 4.7: Primerjava predvidenih letnih efektivnih doz v okolici NEK in Ljubljani za odrasle osebe iz meritev aerosolov za naravne in umetne radionuklide skupaj (slika zgoraj v enotah µSv) in posebej za umetne radionuklide (slika spodaj v enotah nSv). Vrisane negotovosti imajo faktor pokritja $k = 1$ (68-odstotna zanesljivost).



Na sliki 4.7 so predstavljene predvidene letne efektivne doze zaradi umetnih radionuklidov (μSv na leto) za odraslega človeka, izračunane iz meritev aerosolnih filtrov v okolici NEK in v Ljubljani v letih od 2000 do 2016. Kot je razvidno s slike 4.7, je prispevek umetnih radionuklidov v Ljubljani in okolici NEK zelo podoben in je v zadnjih letih okoli ali manj od 1 nSv. Visoka doza umetnih radionuklidov v letu 2003 je bila posledica prispevka Sr-90, ki je to leto prispeval kar tri četrtine doze. Vendar pa poročilo o meritvah radioaktivnosti v okolici NEK za leto 2003 ugotavlja, da 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 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 oziroma jedrske nesreče v Fukušimi. 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 določa vsebnosti Sr-90. Če primerjamo doze zaradi drugih umetnih radionuklidov, lahko ugotovimo, da so doze umetnih radionuklidov v Ljubljani in okolici NEK podobne oziroma praktično enake, vsekakor pa zanemarljive v primerjavi s prispevkom naravnih radionuklidov. Prispevek naravnih radionuklidov je za okrog 4 velikostne rede višji od prispevka umetnih.

Za doze naravnih radionuklidov je značilno, da variirajo po letih, kar velja tako za lokacije v okolici NEK kot za lokacijo v Ljubljani. Poleg tega je bil v letu 2006 v Ljubljani spremenjen način vzorčevanja. Največji prispevek k dozi naravnih radionuklidov povzroča Pb-210, kar ni toliko posledica visokih koncentracij v zraku, temveč velikega doznega pretvorbene faktorja, ki ga ima ta izotop [11]. V splošnem lahko rečemo, da so na prostem v okolici NEK efektivne doze zaradi inhalacije naravnih radionuklidov enake kot drugod po Sloveniji in so nekaj 10 μSv na leto [13].

OCENA VPLIVOV

Zaradi zelo nizkih koncentracij umetnih radionuklidov v zračnih izpustih NEK na lokacijah meritev v aerosolih praktično ni mogoče izmeriti njihovih koncentracij oziroma so pod mejo detekcije. Zato si pri oceni koncentracije radionuklidov na posameznih lokacijah pomagamo z računskimi modeli, ki ocenijo razredčitve koncentracije radionuklidov od točke izpusta.

Meritve emisij na izpuhu NEK (tabela 4.1) in podatki o izračunanih povprečnih mesečnih razredčitvenih koeficientih (χ/Q) za posamezna mesta v okolici NEK (tabela 4.2) nam omogočajo, da izračunamo inhalacijski in imerzijski prispevek k letni efektivni dozi zaradi zračnih emisij NEK. V tabelah 4.5 in 4.6 so izračunane inhalacijske in imerzijske doze v okolici NEK. Najvišje izračunane doze so bile v letu 2016 v Vrbini in nato v Žadovinku, kjer so stopnje razredčitve najnižje.

Iz povprečnih mesečnih koncentracij aktivnosti za okolico NEK ter za Ljubljano so določene 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 4.7). Pri tem smo upoštevali dozne pretvorbene faktorje $h(g)_{j,\text{inh}}$ (predvidena efektivna doza na enoto vnosa) iz reference [11] in hitrosti dihanja 17 L/min (9 000 m³ na leto) za odraslega posameznika, 10,6 L/min za otroka (5 585 m³ na leto) in 2,0 L/min (1 044 m³ na leto) za dojenčka. S seštevanjem predvidenih efektivnih doz za posamezne radionuklide dobimo predvideno efektivno dozo zaradi inhalacije umetnih radionuklidov ter za inhalacijo vseh radionuklidov v aerosolih vključno z naravnimi, pri čemer pa ne upoštevamo prispevka kratkoživih potomcev radona in torona. Rezultati izračunov so zbrani v tabeli 4.7.

Letne predvidene efektivne doze, ki jih tako izračunamo, so za odraslega človeka 0,7 nSv, za otroka 1,1 nSv in za dojenčka pa 0,8 nSv na lokaciji aerosolnih črpalk (razlike so posledica pretvorbene doznih faktorjev in količine vdihanega zraka). Za Dobovo bi dobili potem desekrat nižjo predvideno efektivno dozo. Zaradi zračnih izpustov I-131 lahko iz tabele 4.5 preberemo, da je ocenjena predvidena doza za odraslo osebo na ograji NEK 0,0096 nSv, v Spodnjem Starem Gradu 0,0032 nSv in v Dobovi 0,0007 nSv. Iz tega izhaja, da so koncentracije aktivnosti joda v zraku zaradi zračnih izpustov iz NEK prenizke, da bi jih lahko detektirali s črpalkami.



Tabela 4.5: Predvidene letne učinkovite doze zaradi inhalacije in imerzije posameznih radionuklidov zaradi izpustov NEK za odraslega prebivalca na referenčni lokaciji Spodnji Stari Grad (smer VSV, razdalja 1,5 km) in na najbližji lokaciji na ograji NEK (0,5 km) – prispevki v letu 2016.

	Radionuklid	Letna učinkovita doza (μSv)	
		Spodnji Stari Grad	Ograja NEK
Pare, plini (inhalacija)	I-131	3,2E-06	9,6E-06
	I-132	2,7E-07	2,0E-07
	I-133	5,5E-07	1,4E-06
	I-135	-	-
	HTO	5,2E-03	1,2E-02
	HT + CHT	4,7E-06	8,7E-06
	C-14 v CO_2	4,0E-05	4,9E-05
	C-14 v CH_4	2,6E-04	8,7E-04
Aerosoli (inhalacija)	Mn-54	-	-
	Co-57	-	-
	Co-58	7,0E-10	5,1E-10
	Co-60	-	-
	Zr-95	4,0E-09	3,6E-09
	Nb-95	1,5E-09	1,3E-09
	Ru-103	1,8E-09	1,6E-09
	Ag-110m	-	-
	Sb-125	-	-
	Te-125m	-	-
	Te-127m	2,3E-09	1,8E-09
	Cs-137	1,6E-06	6,9E-06
	Fe-55	-	-
	Sr-89/90	1,1E-08	4,1E-08
Se-75	-	-	
Žlahtni plini (imerzija)	Xe-131m	6,4E-05	1,6E-04
	Xe-133	5,3E-05	7,3E-05
	Xe-133m	6,2E-10	4,9E-10
	Xe-135	6,7E-05	1,3E-04
	Xe-135m	-	-
	Ar-41	1,0E-04	3,3E-04
	Kr-85	-	-
	Kr-85m	-	-
Inhalacijska doza		5,5E-03	1,3E-02
Imerzijska doza		2,9E-04	6,9E-04
DOZA - SKUPAJ		5,8E-03	1,4E-02



Iz tabele 4.5 je razvidno, da je praktično vsa inhalacijska doza posledica zračnih emisij tritija. Tritij prispeva k skupni inhalacijski dozi 5,2 nSv na leto v Spodnjem Starem Gradu (predvsem v obliki emisij HTO), kar je podobno kot v preteklih letih (2015: 3,9 nSv, 2014: 3 nSv; 2013: 5,2 nSv; 2012: 5,4 nSv; 2011: 3,5 nSv; 2010: 2,7 nSv; 2009: 5,9 nSv). Na ograji NEK v letu 2016 je prispevek tritija iz zračnih izpustov NEK 12,1 nSv na leto, kar je prav tako podobno kot v prejšnjih letih (2015: 15,1 nSv, 2014: 6,3 nSv; 2013: 11,7 nSv; 2012: 31 nSv; 2011: 10,5 nSv; 2010: 9,0 nSv; 2009: 15,5 nSv). Naslednji največji prispevek k skupni inhalacijski dozi na lokaciji Spodnji Stari Grad je prispevek C-14, 0,30 nSv. V preteklih letih je ta vrednost variirala: 0,3 nSv v 2015, 0,17 nSv v 2014, 1,4 nSv v 2013, 0,05 nSv v 2012, 0,01 nSv v 2011, 0,1 nSv v 2010. Podobni deleži C-14 po letih so tudi za odraslo osebo ob ograji NEK. Na ograji NEK je prispevek H-3 k skupni inhalacijski dozi, v letu 2015 12,1 nSv, medtem ko je prispevek C-14 0,92 nSv..

Ocenjeni prispevek k skupni inhalacijski dozi vseh drugih radionuklidov je bistveno manjši. Podobno kot v letih 2012, 2013, 2014 in 2015 so bili tudi v letu 2016 v izpustih izmerjeni prispevki joda, ki jih sicer ni bilo leta 2011 in 2010. To kaže, da je bila integriteta goriva v 28. gorivnem ciklu (2015–2016) podobna kot v gorivnih ciklih 2012–2013 in 2013–2015, ko je celo prišlo do večjih poškodb gorivnih palic. Izpusti joda so bili v letu 2016 (8,0 GBq) in na nivoju iz leta 2014 (4,6 GBq), medtem ko so bili izpusti bistveno višji leta 2013 (90 GBq) in leta 2015 (200 GBq), torej najvišji v zadnjih desetih letih.

Ocenjena predvidena efektivna letna inhalacijska doza za odraslo osebo za Spodnji Stari Grad za leto 2016 je 5,8 nSv, ob ograji NEK pa 14 nSv. V obdobju 2007–2015 so se predvidene letne inhalacijske doze za odraslo osebo za Spodnji Stari Grad gibale med 1,7 nSv (2007) in 6,9 nSv (2009), za odraslo osebo ob ograji NEK pa med 1,3 nSv (2007) in 31 nSv (2009). Večja doza v letu 2009, 2012 in 2013 je predvsem posledica večjih izpustov tritija (8,8 TBq v 2012, 6,2 TBq v 2013 in 5,9 TBq v 2009 v primerjavi z 1,1 TBq v 2014 in 1,9 TBq v 2007). V letu 2016 so bili izpusti tritija spet med višjimi, in sicer 6,2 TBq.

Precej manj so k dozi prispevali drugi izotopi. V letih 2007–2008 so bile imerzijske doze prav tako okoli 10-krat nižje, vendar ne toliko zaradi manjših izpustov iz NEK, temveč zaradi vremenskih razmer in posledično večjih razredčitev. S slike 4.3 je razvidno, da so razredčitveni koeficienti v letih 2009–2012 zelo podobni in da so razredčitve v zadnjih letih manjše kot npr. v letih 2007 in 2008. Celotna letna doza za odraslega človeka v Spodnjem Starem Gradu, ki je posledica inhalacije in imerzije v letu 2016, je bila 5,8 nSv. Doze so podobne kot v preteklih letih (2015: 5,1 nSv, 2014: 3,5 nSv; 2013: 5,7 nSv; 2012: 5,7 nSv; 2011: 3,7 nSv; 2010: 3,1 nSv). Za primerjavo je v tabeli 4.5 navedena tudi izračunana predvidena letna efektivna doza za najbližjo lokacijo, in sicer ob ograji NEK. Kot je razvidno iz preglednice so doze v bližini NEK (0,2 km) skoraj 10-krat večje kot pa na referenčni lokaciji Spodnji Stari Grad (1,5 km). Razlog takšnega povečanja od prejšnjih let (v 2015 je bilo razmerje doz 3) je v izpustih, ki so se ravno skladali z neugodnimi vremenskimi razmerami na lokaciji.

V tabeli 4.6 so zbrane izračunane doze za odraslega človeka, otroka in dojenčka za različna mesta v okolici NEK. Predvidene letne efektivne doze za odraslega človeka se gibljejo od 0,8 nSv (Dobova) do 14 nSv (ograja NEK).

Meritve na aerosolnih filtrih v okolici NEK kažejo, da je med naravnimi radionuklidi najpomembnejši prispevek k letni predvideni efektivni dozi za odraslega človeka prispevek naravnega izotopa Pb-210, in sicer (35 ± 2) μ Sv na leto, kar je zelo podobno dozam iz preteklih let ($37\text{--}49$ μ Sv na leto v obdobju 2005–2015). Prispevek Pb-210 k celotni dozi je največji tudi zaradi visokega doznega pretvorbenega faktorja [11]. Drugi naravni radionuklid po prispevku k dozi v letu 2016 je Th-228 ($2,5 \pm 0,3$) μ Sv, tretji pa Th-230 ($1,0 \pm 1,0$) μ Sv. Velika negotovost povprečja in vrednosti pod mejo kvantifikacije potrjujejo dejstvo, da so koncentracije aktivnosti Th-230 na meji zaznavanja in izmerjenih vrednosti oziroma prispevkov k dozi, ki jih povzroča Th-230, tega prispevka ne moremo obravnavati z enako pomembnostjo kot pri radionuklidih, ki jih bolje detektiramo.

Prispevek umetnih radionuklidov je v primerjavi s prispevkom naravnih radionuklidov zelo majhen. V letu 2016 sta k dozi med umetnimi radionuklidi prispevala Cs-137 in Sr-90, poudariti je potrebno, da je tu mišljen prispevek imisij, torej radioaktivnosti v okolju iz drugih virov in ne izpustov NEK. V letu 2016 sta prispevka umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 primerljiva. Oba radionuklida navadno zaznamo v



aerosolih zaradi več dejavnikov, v hladnih mesecih predvsem zaradi individualnih kurišč in kontaminacije lesnih kuriv (predvsem Cs-137, za Sr-90 nimamo tako podrobnih podatkov), sicer pa v toplejših mesecih predvsem zaradi resuspenzije prašnih delcev s tal in lebdenja delcev v ozračju. Oba radionuklida sta posledica globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusnih eksplozij in černobilske kontaminacije. Izračunana predvidena efektivna doza za odraslo osebo zaradi umetnih radionuklidov je več kot 10 000-krat manjša od izračunane doze zaradi naravnih radionuklidov. Povprečna izračunana efektivna doza za odraslo osebo zaradi umetnih radionuklidov v obdobju 2007–2016 je bila $(1,6 \pm 0,9)$ nSv. V tem obdobju je bila največja doza v letu 2011 $(5,8 \pm 1,5)$ nSv, ko se je zgodila jedrska nesreča v Fukušimi. Vendar je tudi v letu 2011 največji delež k dozi še vedno prispeval Sr-90 zaradi resuspenzije z zemlje in ne morebitna kontaminacija kot posledica izpustov med nesrečo v Fukušimi. V letu 2016 je izračunana efektivna doza za odraslo osebo zaradi umetnih radionuklidov $(0,51 \pm 0,05)$ nSv. Govorimo o povprečju letnih doz po lokacijah aerosolnih črpalk v okolici NEK. Obremenitev odraslega prebivalstva zaradi vdihavanja Cs-137 in Sr-90 je nizka, v letu 2016 je bil prispevek Cs-137 k letni dozi $(0,36 \pm 0,05)$ nSv in Sr-90 $(0,15 \pm 0,02)$ nSv.

Meritve aerosolnih filtrov v Ljubljani in v okolici NEK kažejo, da je med naravnimi radionuklidi pomemben samo prispevek Pb-210, ki je za odraslo osebo med $35 \mu\text{Sv}$ na leto v okolici NEK in $37 \mu\text{Sv}$ na leto v Ljubljani.

Izračunana predvidena letna efektivna doza zaradi inhalacije za prebivalca v okolici NEK za leto 2016 je v okviru negotovosti vsote vseh prispevkov enaka kot za prebivalca v Ljubljani. Prispevek umetnih radionuklidov je tako v okolici NEK kot v Ljubljani zanemarljiv. Povzetek vsot predvidenih efektivnih doz, izračunanih iz meritev aerosolnih filtrov, je pokazan v tabeli 4.7. Če primerjamo vrednosti tabel 4.6 in 4.7 lahko ugotovimo, da so ocenjene in modelsko izračunane emisijske doze zaradi umetnih radionuklidov (vpliv NEK) za približno en velikostni red višje od imisijskih doz (vpliv globalne kontaminacije v okolju).

Tabela 4.6: Ocene inhalacijskih in imerzijskih doz zaradi atmosferskih izpustov v okolici NEK v letu 2016 z uporabo Lagrangeevega modela – emisijske doze NEK. Uporabljeni so podatki za dozne pretvorbene faktorje iz reference [11] za odrasle in otroke.

PREGLED SKUPNIH LETNIH DOZ (Lagrangeev model)								
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	5,5E-03	4,4E-03	1,7E-03	2,9E-04	5,8E-03	4,7E-03	2,0E-03
Vrbina	0,8	6,1E-03	4,9E-03	1,9E-03	3,1E-04	6,4E-03	5,2E-03	2,2E-03
Brežice	7,1	1,5E-03	1,2E-03	4,7E-04	8,0E-05	1,6E-03	1,3E-03	5,5E-04
Vihre	3,1	8,1E-04	6,5E-04	2,5E-04	4,3E-05	8,6E-04	6,9E-04	2,9E-04
Mrtvice	2,8	9,3E-04	7,4E-04	2,9E-04	4,8E-05	9,8E-04	7,9E-04	3,3E-04
Brege	2,3	1,9E-03	1,5E-03	5,7E-04	9,4E-05	1,9E-03	1,6E-03	6,6E-04
Žadovinek	1,7	3,6E-03	2,8E-03	1,1E-03	1,8E-04	3,7E-03	3,0E-03	1,3E-03
Leskovec	2,9	3,4E-03	2,7E-03	1,0E-03	1,7E-04	3,5E-03	2,9E-03	1,2E-03
Krško - Stara vas	1,7	2,8E-03	2,2E-03	8,5E-04	1,3E-04	2,9E-03	2,3E-03	9,8E-04
Pesje	3,0	4,3E-03	3,4E-03	1,3E-03	2,3E-04	4,6E-03	3,7E-03	1,6E-03
Dobova	12,1	7,8E-04	6,2E-04	2,4E-04	4,1E-05	8,2E-04	6,6E-04	2,8E-04
Ograja NEK (zahod)	0,2	1,3E-02	1,0E-02	4,0E-03	6,9E-04	1,4E-02	1,1E-02	4,7E-03

* Barvna skala sorazmerno izraža skupno dozo – rdeča najvišjo, zelena najnižjo.



Tabela 4.7: Aerosolni filtri v letu 2016 – povzetek vsot predvidenih učinkovitih doz zaradi inhalacije za odrasle, otroke in dojenčke – imisijske doze –, izračunane iz merskih podatkov v T-44 do T-55 ter doznih pretvorbennih faktorjev iz reference [11].

STAROSTNA SKUPINA	VRSTA VSOTE	AEROSOLNI FILTRI – POVPREČJE (μSv na leto)	
		OKOLICA NEK	LJUBLJANA
ODRASLI	umetni radionuklidi	$0,000\ 5 \pm 0,000\ 05$	$0,000\ 7 \pm 0,000\ 03$
	umetni in naravni radionuklidi	40 ± 2	40 ± 3
OTROCI	umetni radionuklidi	$0,000\ 4 \pm 0,000\ 04$	$0,000\ 5 \pm 0,000\ 02$
	umetni in naravni radionuklidi	32 ± 2	32 ± 2
DOJENČKI	umetni radionuklidi	$0,000\ 2 \pm 0,000\ 02$	$0,000\ 2 \pm 0,000\ 01$
	umetni in naravni radionuklidi	15 ± 1	15 ± 1

SKLEPI

Sedanji program vzorčevanja 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.

Od leta 2007 za izračun doz zaradi atmosferskih izpustov uporabljamo Lagrangeev model, ki bolje opisuje razširjanje radioaktivnih snovi od točke izpusta z višine 60 m na razgibanih in zahtevnih terenih, kot je to primer v okolici NEK [4]. Z uporabo tega modela so izračunane predvidene letne učinkovite doze zaradi inhalacije in imerzije skoraj stokrat nižje kot pred letom 2007, ko smo za izračun razredčitvenih koeficientov uporabljali Gaussov model ob privzetku talnega izpusta. Največja razlika med modeloma je v bližini izpustnega mesta, z oddaljenostjo od izpusta pa so razlike med izračunanimi razredčitveni koeficienti po obeh modelih nižje (do nekaj 10-krat).

V letu 2008 je Evropska komisija izdala poročilo [56], v katerem so izračunane predvidene letne učinkovite doze zaradi izpustov iz jedrskih elektrarn in obratov za predelavo jedrskega goriva v Evropi. Doze v poročilu Evropske komisije so izračunane za referenčno skupino prebivalstva za vse objekte ob enakih predpostavkah in na enakih razdaljah 500 m in 5 000 m od objekta. Pri ocenjevanju doze zaradi plinskih izpustov je učinkovita doza za 75 % objektov manjša od $1,4\ \mu\text{Sv}$ na leto na razdalji 500 m in manjša od $0,24\ \mu\text{Sv}$ na leto na razdalji 5 000 m. Za NEK so ocenjene doze bistveno nižje, kot je razvidno iz tabele 4.6, na razdaljah 200 m (ograja) oziroma 800 m (Vrbina) od NEK (ekvivalent 500 m) so doze $0,014\ \mu\text{Sv}$ oziroma $0,0064\ \mu\text{Sv}$ na leto, na večjih razdaljah 3 000 m (Pesje) oziroma 7 100 m (Brežice) od NEK (ekvivalent 5 000 m) pa so doze $0,0046\ \mu\text{Sv}$ oziroma $0,0016\ \mu\text{Sv}$ na leto.

Ovrednotenje imisij na osnovi evalvacije meritev aerosolnih filtrov ter atmosferskih emisij z modelnimi izračuni razredčitvenih koeficientov, ki temeljijo na realnih vremenskih podatkih, je za leto 2016 pokazalo naslednje:

- izpusti hlapov in plinov, ki vsebujejo tritij, povzročajo največjo učinkovito dozo zaradi inhalacije; ta je v Spodnjem Stare Gradu za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva $5,5\ \text{nSv}$ na leto, ob ograji NEK pa $13\ \text{nSv}$ na leto; prispevki drugih radionuklidov k inhalacijski dozi so bistveno manjši, vendar pri tem niso upoštevane posledice prehoda radionuklidov iz zraka v druge prenosne poti;



- ocenjena skupna emisijska letna efektivna doza za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva, ki je posledica inhalacije in imerzije zaradi izpustov NEK, je v Spodnjem Starem Gradu 5,8 nSv, ob ograji NEK pa 14 nSv v letu 2016;
- predvidena efektivna doza zaradi inhalacije aerosolov v okolici NEK je predvsem posledica inhalacije dolgoživih naravnih radionuklidov in je za odraslega posameznika (40 ± 2) μ Sv na leto; doza je v okviru pričakovanj in na ravni povprečne vrednosti zadnjih let;
- predvidena imisijska efektivna doza zaradi inhalacije 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 $(0,5 \pm 0,05)$ nSv na leto;
- ocenjene in modelsko izračunane emisijske doze zaradi umetnih radionuklidov (vpliv NEK) so za približno en velikostni red višje od imisijskih doz (vpliv globalne kontaminacije v okolju), v primerjavi s prispevkom naravnih radionuklidov pa za približno štiri velikostne rede nižje.
- izpusti žlahtnih plinov iz NEK (izotopi Xe) povzročajo glavnino zunanjšega sevanja (imerzijska doza), ki je za odraslega posameznika iz referenčne skupine prebivalstva (naselje Spodnji Stari Grad) 0,3 nSv na leto; na ograji NEK je 0,7 nSv na leto.



5 ZUNANJE SEVANJE

POVZETEK

Prebivalstvo je izpostavljeno zunanjemu sevanju zaradi sevanja naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji, kozmičnega sevanja, sevanja iz oblaka in zunanjega sevanja zaradi useda, ki se odloži po prehodu radioaktivnega oblaka ob izpustu radioaktivnih snovi iz NEK v okolje. Izpostavljenost zunanjemu sevanju se izračuna na podlagi merskih podatkov radioaktivnosti zemlje in zraka, neposredno pa se meri s termoluminiscenčnimi dozimetri in kontinuirnimi merilniki.

Za izračun prispevka sevanja naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji je tudi v letu 2016 v okviru nadzora radioaktivnosti potekalo vzorčevanje zemlje na štirih lokacijah v okolici NEK. Ločeno so bili merjeni vzorci iz različnih globin zaradi spremljanja globinske porazdelitve koncentracije radionuklidov. Rezultati meritev kažejo, da se specifične aktivnosti naravnih radionuklidov z globino ne spreminjajo, so pa manjše na lokacijah, ki so največkrat poplavljene. Vrednosti letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^(10)$ zaradi naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji pri predpostavki enakomerne porazdelitve v letu 2016 v okolici NEK so med $(0,45 \pm 0,02)$ mSv za zemljo v Kusovi Vrbini in $(0,65 \pm 0,03)$ mSv za neobdelano zemljo v Ameriki, pri čemer je prispevek Cs-137, ki izvira iz globalne kontaminacije v drugi polovici 20. stoletja, med 1 % in 18 %. Na podlagi meritev globinske odvisnosti specifične aktivnosti Cs-137 na posameznih lokacijah lahko opazimo kompleksnost delovanja površinske in podtalne vode na porazdelitev useda.*

V letu 2016 so bile v okviru obratovalnega nadzora radioaktivnosti NEK opravljene neodvisne meritve doze zunanjega sevanja s termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD) in kontinuirnimi merilniki hitrosti doze (MFM) po programu, ki ga predvideva Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (Ur. l. RS 20/07) (JV10). Meritve s TLD in MFM kažejo v okviru merske negotovosti enako vrednost letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^(10)$ kot v zadnjih letih. Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ je bil v okolici NEK $(0,81 \pm 0,09)$ mSv, na ograji NEK $(0,58 \pm 0,04)$ mSv in v okolici Zagreba na Hrvaškem $(0,75 \pm 0,12)$ mSv. Vrednost letnega okoljskega doznega ekvivalenta v okolici NEK, ki je bil določen z meritvami z dozimetri tipa TLD-IJS-05, ki jih uporablja IJS, in dozimetri tipa TLD-100(H), ki jih na hrvaški strani uporablja IRB, je v okviru merske negotovosti enaka. Prispevki NEK k zunanjemu sevanju zunaj ograje zaradi sevanja iz objektov NEK in atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi so bili, enako kot prejšnja leta, v letu 2016 nemerljivi z nespecifičnimi detektorji, kot sta to TLD in MFM. Posredno smo konzervativno ocenili, da je bila letna efektivna doza zunanjega sevanja zaradi izpustov iz NEK manjša od $0,01 \mu\text{Sv}$.*

UVOD

Ionizirajoče sevanje prežema naravno okolje in življenjski prostor človeka. V zemlji so s stališča izpostavljenosti ljudi pomembni predvsem radionuklidi iz razpadnih verig urana U-238 (z razpolovnim časom $T_{1/2} = 4,468 \cdot 10^9$ let) in torija Th-232 ($T_{1/2} = 1,405 \cdot 10^{10}$ let) ter radioaktivni kalij K-40 ($T_{1/2} = 1,277 \cdot 10^9$ let). Sevanje iz zemlje je po svetu različno in je povezano z geološkimi in geografskimi značilnostmi. Višje hitrosti doze se pojavljajo tam, kjer so vulkanske kamnine (granit), nižje hitrosti doze pa na področju sedimentnih kamnin. Pri tem so tudi izjeme, kot so skrilavci in kamnine, bogate s fosfati. Povprečne koncentracije, ki jih navaja UNSCEAR za K-40, U-238 in Th-232 so v zemlji: 420 Bq/kg, 33 Bq/kg, in 45 Bq/kg [55].

V Zemljo tudi nenehno trkajo kozmični žarki iz vesolja (pretežno protoni, pomemben delež kozmičnega sevanja na zemljski površini pa so tudi sekundarni mioni in nevtroni). V atmosferi interagirajo na različne načine z jedri dušika, kisika in drugih elementov, pri čemer nastajajo kozmogeni radionuklidi (H-3, Be-7, C-14 itd.), ki se z vremenskimi procesi usedajo na zemljo.

Poleg naravnih radionuklidov je v življenjskem in naravnem okolju razpršenih kar nekaj umetnih



radionuklidov, ki pomenijo globalno antropogeno kontaminacijo. So posledica poskusnih jedrskih eksplozij (H-3, C-14, Cs-137, Sr-90 in drugi), nesreč z jedrskimi materiali (Cs-137, Sr-90 in drugi) in kontaminacije zaradi vplivov jedrskih objektov in uporabnikov jedrskih snovi (raziskovalni centri, jedrske elektrarne, obrati za predelavo izrabljenega goriva, uporaba v medicini itd.).

Tako je tudi prebivalstvo v okolici NEK izpostavljeno omenjenim virom zunanjšega sevanja, potencialno pa še zunanjemu sevanju zaradi vplivov NEK, kot so: neposredno sevanje gama in nevtronov iz objektov znotraj ograje NEK, sevanje gama ob prehodu oblaka pri atmosferskih izpustih radioaktivnih snovi iz NEK, sevanje gama zaradi usedlih radioaktivnih snovi pri atmosferskih izpustih. Zunanje sevanje s kontaminiranega zemljišča sčasoma upada zaradi radioaktivnega razpada in izpiranja radioaktivnih snovi v zemljo.

Ker bi bila prisotnost Cs-137, Sr-90 in drugih fisijskih in aktivacijskih produktov v zemlji lahko tudi posledica izpustov iz jedrske elektrarne Krško (NEK), se na podlagi *Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV)* [9] in *Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (JV10)* [10] izvajajo periodična vzorčenja in meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov v zemlji iz okolice NEK. Namen meritev je ugotoviti in ovrednotiti morebitni vpliv jedrske elektrarne na prisotnost umetnih radionuklidov v zemlji in oceniti njihove prispevke k zunanji dozi sevanja ter spremljati transport radionuklidov v zemlji (vnos radionuklidov v podtalnico in prehranjevalno verigo ljudi).

Termoluminiscenčni dozimetri (TLD) se uporabljajo za spremljanje doze zunanjšega sevanja zaradi ugotavljanja lokalnih posebnosti in razponov, oceno vplivov NEK zaradi atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi oziroma za preverjanje modelnih ocen na podlagi emisij, oceno izpostavitve zunanjemu sevanju ob nezgodi po prehodu radioaktivnega oblaka in oceno izpostavitve zunanjemu sevanju zaradi nelokalnih vplivov (kot je bila npr. černobilska kontaminacija).

Za sprotno spremljanje hitrosti doze zunanjšega sevanja in zgodnjega opozarjanja se uporabljajo kontinuirni merilniki hitrosti doze – MFM, ki so nameščeni v mrežo po Sloveniji.

ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Vzorci zemlje se zbirajo na štirih lokacijah nizvodno od NEK, in sicer na poplavnih območjih. Najpogosteje poplavljen lokacija je Kusova Vrbina, navadno pri pretoku Save večjem od 1 000 m³/s. Prisotnost umetnih radionuklidov v zemlji je lahko posledica radioaktivnega useda iz zraka, kakor tudi posledica odlaganja radionuklidov na poplavnih območjih zaradi tekočih izpustov v reko Savo. Poplavljanje lahko tudi spremeni globinske porazdelitve radionuklidov, ki jih tipično pričakujemo v zemlji.

Tri lokacije, kjer poteka vzorčevanje zemlje, so na neobdelanih površinah, ena pa na njivi (obdelana površina), ki ni vključena v program meritev, definiranem v pravilniku *JV10* [10]. Vzorci zemlje z obdelane površine se uporabljajo za določanje vpliva mešanja zemlje na porazdelitev radionuklidov. Vzorci se zbirajo na štirih globinah, tako da je mogoče spremljati specifične aktivnosti radionuklidov z globino. Pomembno je, da so mesta, kjer se na posamezni lokaciji vzorčuje zemlja, dovolj blizu, da so rezultati meritev med seboj korelirani in je mogoče spremljati transport radionuklidov v zemlji.

Zemlja se je v letu 2016 vzorčevala 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: mivkasta borovina, neobdelana zemlja;
- Gmajnice, desni breg Save, nizvodna razdalja od NEK 3,6 km, tip zemlje je rjava naplavina, obdelana zemlja (rezultati meritev koncentracij radionuklidov na tej lokaciji se ne uporabljajo pri ocenjevanju izpostavljenosti zunanjemu obsevanju);
- Kusova Vrbina – Trnje, levi breg Save, nizvodna razdalja od NEK 8,5 km, tip zemlje je mivkasta borovina.

Zaradi gradnje akumulacije HE Brežice, bo vzorčevalno mesto Amerika v prihodnjih letih morda treba nadomestiti z novim vzorčevalnim mestom.



Vzorčevalna metoda je predpisana s *Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (JV 10)* [10], postopek vzorčevanja pa je opisan v navodilu *Zbiranje in priprava vzorcev zemlje (LMR-DN-07)*. Zaradi izpiranja Cs-137 v globlje plasti zemlje se od leta 2009 kot vrhni sloj vzorčuje zemlja iz globine 0–5 cm in ne več ločeno v dveh plasteh: 0–2 cm in 2–5 cm kot v prejšnjih letih. Tako se na lokacijah, kjer se vzorčuje neobdelana zemlja, zbirajo vzorci iz globin 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm in 15–30 cm. Prav tako se hkrati z vzorci zemlje zberejo še vzorci trave. Specifične aktivnosti sevalcev gama v vzorcih zemlje se merijo z visokoločljivostno spektrometrijo gama, kasneje pa se izmeri še specifična aktivnost stroncija z destruktivno radiokemijsko analizo.

Na podlagi *Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV)* [9] in *Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (JV10)* [10] se zunanje sevanje v okolici NEK neprekinjeno meri z okoljskimi termoluminiscenčnimi dozimetri (TLD). Neposredne meritve zunanje doze sevanja v okolici NEK (sevanje gama in ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja) se izvajajo s 57 TLD (tip TLD-IJS-05) v okolici NEK in z devetimi TLD istega tipa na ograji NEK. Dozimetri so nameščeni krožno okoli NEK na razdaljah do 10 km od elektrarne. Postavljeni so na lokacijah, ki vključujejo tako urbano kot ruralno okolje z obdelanim in neobdelanim zemljiščem in so postavljeni na višini 1 m od tal. Seznam dozimetrov zunaj ograje NEK in na njej z osnovnimi podatki je v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*, v tabelah T-53/a, razmestitev pa je prikazana na drugem zemljevidu v prilogi tega poročila. V okviru nadzornega programa NEK je na Hrvaškem postavljenih še 10 TLD (podatki v tabeli T-55). V Sloveniji neodvisno poteka v okviru programa nadzora radioaktivnosti v RS meritev doze zunanjega sevanja s TLD na 50 lokacijah po vsej državi (podatki so v tabeli T-54). Kot referenčni dozimeter za obdelavo rezultatov meritev doze zunanjega sevanja upoštevamo TLD, ki je postavljen na dvorišču IJS.

Vsi TLD, tako tisti, ki se uporabljajo v programu rednega obratovalnega nadzora, kot tisti, ki so razporejeni po Sloveniji, se odčitavajo polletno, in sicer v obdobju junij–julij in december–januar. Odčitavanje poteka na sistemu IJS MR 200 (C) v *Laboratoriju za termoluminiscenčno dozimetrijo* na IJS. Z merskim sistemom lahko merimo osebne in okoljske doze (okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$) v intervalu doz od 5 μSv do 5 Sv [61]. Dozimetri TLD-IJS-05 ($\text{CaF}_2:\text{Mn}$) so umerjeni v fotonskem sevalnem polju pri energijah od 40 keV do 1 332 keV v *Laboratoriju za dozimetrične standarde (NDS)* na IJS. Pred namestitvijo TLD se opravi individualna kalibracija dozimetrov po postopku *Umerjanje (kalibracija) dozimetrov IJS TLD-05 (TLD-KP-02)*. Od leta 2015 dalje se pri izračunu doz dozimetrov, ki se odčitavajo polletno, upoštevata tudi nov energijski faktor dozimetrov za naravno sevanje in faktor bledenja doz (*fading*), zaradi katerih so doze izračunane od leta 2015 dalje za približno 4 % večje, kot če obeh faktorjev ne bi upoštevali.

Na Hrvaškem se doza zunanjega sevanja meri s TLD-100H (LiF: Mg, Cu, P) in TLD-100 (LiF: Mg, Ti) [62]. Vsi dozimetri so kalibrirani v Sekundarnem standardnem dozimetrijskem laboratoriju (SSDL) na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu [61], [62].

V okolici NEK je postavljenih še 14 kontinuirnih merilnikov MFM-203, 13 jih nadzira NEK, enega pa URSJV v sklopu mreže URSJV. Poleg teh merilnikov je po vsej Sloveniji še 35 merilnikov MFM v sklopu mreže zgodnjega obveščanja (MZO), 18 merilnikov v sklopu mreže URSJV – MZO (podskupina ARSO) in še 7 merilnikov v sklopu mreže URSJV. Kontinuirni merilniki hitrosti doze so povezani v sistem mreže za zgodnje zaznavanje zunanjega sevanja, ki je dostopna na spletnem naslovu <http://www.radioaktivnost.si>.

REZULTATI MERITEV

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 2016, IJS-DP-12291*, marec 2017. Pričakovano so bili izmerjeni naravni radionuklidi ter umetna radionuklida Cs-137 in Sr-90, ki sta povsod prisotna zaradi globalne kontaminacije. Drugi radionuklidi, ki se pojavljajo v izpustih NEK (plinski izpusti so prikazani v tabeli 5.5, tekoči izpusti pa se obravnavajo v poglavju *Reka Sava*), pa niso bili izmerjeni. Specifične

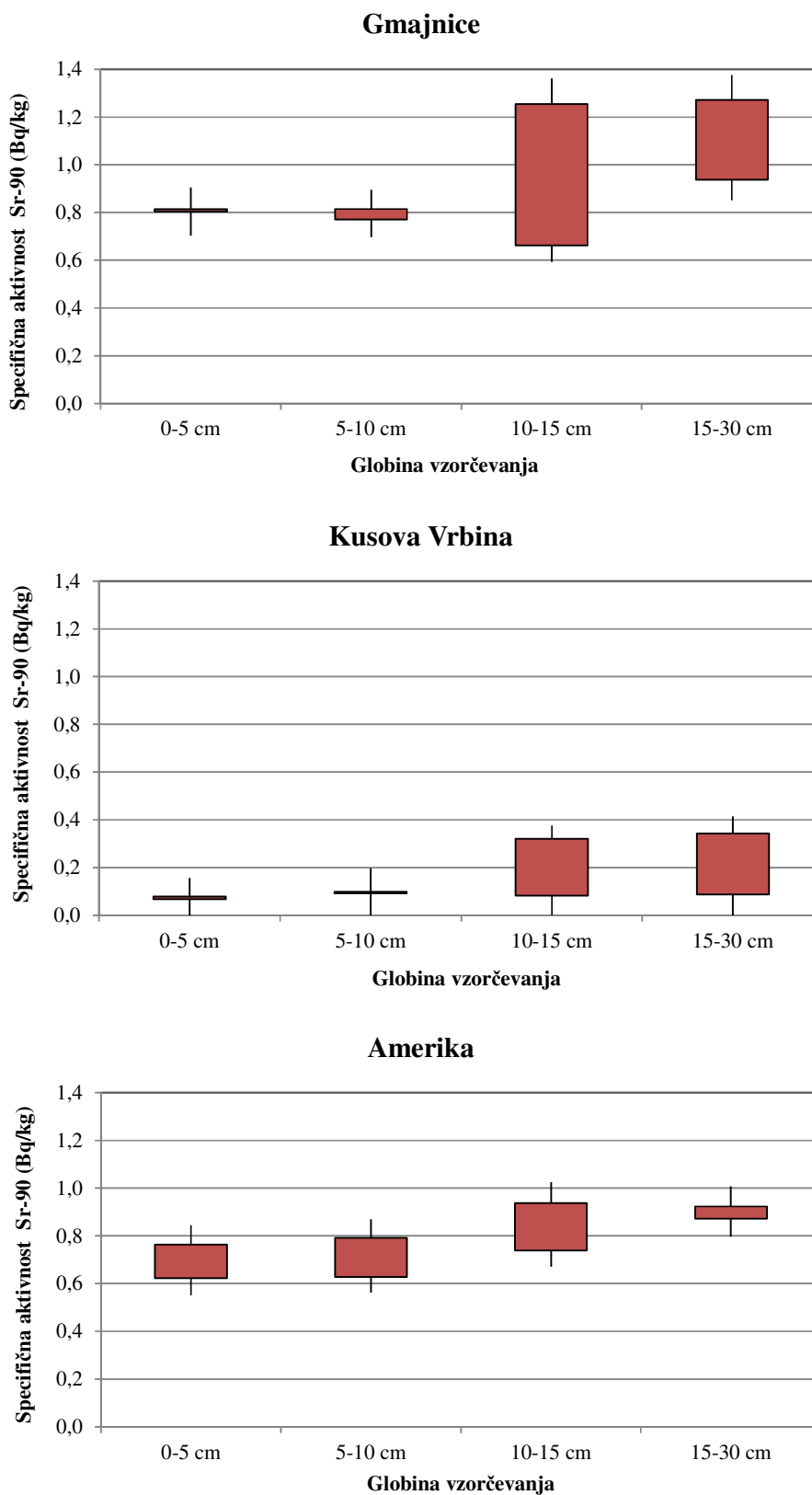


aktivnosti naravnih radionuklidov, članov uranove in torijeve razpadne vrste ter K-40, v zemlji se v okviru negotovosti tipično ujemajo pri spomladanskem in jesenskem vzorčevanju. Specifične aktivnosti ne kažejo nobene značilne odvisnosti od globine vzorčevanja. Izjema je Pb-210, ki se kot razpadni produkt Rn-222 izpira iz atmosfere in zato so njegove koncentracije večje v zgornjih plasteh. Podobno velja za kozmogeni Be-7, ki pa je zaradi kratkega razpolovnega časa v merljivih specifičnih aktivnostih navzoč le v zgornjih plasteh zemlje. Specifični aktivnosti obeh potomcev torijeve razpadne vrste, 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. Specifične aktivnosti K-40, U-238 in Ra-226 se ujemajo s povprečnimi aktivnostmi, ki jih navaja UNSCEAR [55] za države južne Evrope.

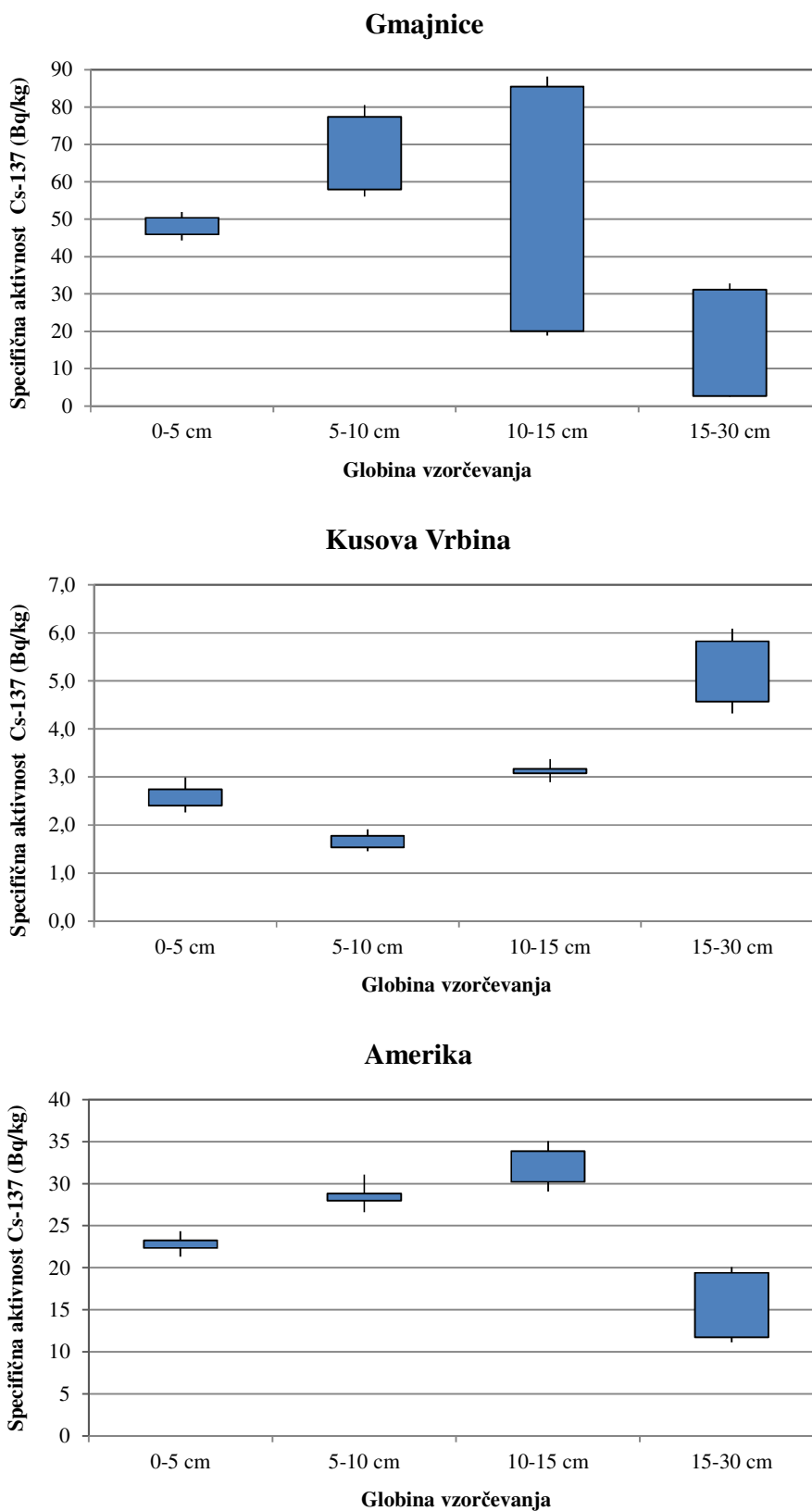
Specifične aktivnosti Sr-90 v letu 2016 so v razponu od 0,07 Bq/kg v Kusovi Vrbini v globini 0–5 cm do 1,3 Bq/kg v globini 15–30 cm v Gmajnicah. Na sliki 5.1 je prikazana globinska porazdelitev specifične aktivnosti Sr-90 za leto 2016. Vzrok za nekoliko nižje specifične aktivnosti v Kusovi Vrbini je lahko prisotnost močnejšega izpiranja zemljine z vodo, saj področje leži na poplavnem območju. Na sliki 5.2 je prikazana globinska porazdelitev za Cs-137. Specifične aktivnosti Cs-137 v zemlji so od 1,5 Bq/kg v globini 5–10 cm v Kusovi Vrbini do 85 Bq/kg v globini 10–15 cm v neobdelani zemlji v Gmajnicah. Primerjave med različnimi lokacijami pokažejo nekoliko večje stresanje izmerjenih specifičnih aktivnosti Cs-137 kot Sr-90, kar bi se lahko pojasnilo z drugačno prehodnostjo Cs-137 skozi zemljino. Pričakovano je na poplavnem območju Kusove Vrbine specifična aktivnost najmanjša, razlika med Gmajnicami in Ameriko v globini 10–15 cm pa je verjetno posledica različne prehodnosti Cs-137 zaradi drugačne sestave zemljine.

Rezultati meritev doze zunanjega sevanja (sevanja gama in ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja) za leto 2016 so v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*, v tabelah T-53/b in T-53/c za okolico NEK in za TLD na ograji NEK. V tabeli 5.1 so povzeti povprečni letni dozni ekvivalenti za okolico NEK, za ograjo NEK, po Sloveniji in za okolico Zagreba na Hrvaškem. V okviru merske negotovosti so letni dozni ekvivalenti za dozimetre v različnih oddaljenostih od NEK primerljivi s tistimi v preteklih letih. Na sliki 5.3 je prikazana pogostost doz po doznih intervalih za vseh 67 TLD, ki se uporabljajo pri rednem nadzoru NEK. S slike je razvidno, da porazdelitev doz ni monotona, prisoten pa je en vrh. Porazdelitev doz med 0,50 mSv in 0,65 mSv ustreza dozam, ki so bile izmerjene na ograji NEK, vrh med 0,70 mSv in 1,00 mSv pa pripada dozam, ki so bile izmerjene z dozimetri v okolici NEK. Nižje doze na ograji NEK lahko pojasnimo s prodnatimi tlemi ter zaščitnim delovanjem zgradb in asfaltiranih površin znotraj ograje NEK, ki slabijo zunanje sevanje naravnih radionuklidov iz zemljišča.

Hitrost doze v okolici NEK se meri s štirinajstimi kontinuirnimi merilniki hitrosti doze MFM. Rezultati so v tabeli T-56/a. Pri rezultatih meritev s temi merilniki je lastno ozadje merilnikov upoštevano in odšteto od izmerkov. V letu 2016 je bil izmerjen povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ ($0,82 \pm 0,13$) mSv v razponu od 0,63 mSv do 1,03 mSv. Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent iz teh meritev je za 1 % večji, kot je povprečni letni okoljski dozni ekvivalent, izmerjen s TLD v okolici NEK (tabela 5.1). Povprečni letni dozni ekvivalent pri preostalih 60 kontinuirnih merilnikih v Sloveniji, ki so pod nadzorom URSJV (mreže ARSO, MZO in URSJV), je bil v letu 2016 ($0,88 \pm 0,15$) mSv v razponu od 0,58 mSv do 1,30 mSv. Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent, izmerjen s 60 MFM, je za 2 % nižji od tistega, ki ga kažejo meritve s TLD na območju Slovenije (tabela 5.1). Iz primerjave letnih okoljskih doznih ekvivalentov v tabelah T-56/c in T-56/d, izmerjenih z MFM, z letnimi okoljskimi doznimi ekvivalenti, izmerjenimi s TLD po Sloveniji [15], ugotavljamo, da vrednosti nihajo tudi za 25 % in več, čeprav so lokacije MFM in TLD bližnje. Za TLD in MFM, ki sta pri meteorološki postaji Reaktorskega centra IJS v Brinju, smo ugotovili zelo dobro ujemanje med mesečnimi izmerki: u -preskus za mesečne izmerke med TLD in MFM je med 0,25 in 1,57, kar pomeni dobro ujemanje. Tako razlike med letnim doznim ekvivalentom, izmerjenim s TLD in MFM, lahko pripišemo sezonskim vplivom, vzorčevanju, postavitvi dozimetra (podlaga) in drugim vplivom, ne pa sami kalibraciji ali morebitni nenatančnosti merilnikov.



Slika 5.1: Globinska porazdelitev specifične aktivnosti Sr-90 na lokacijah Gmajnice (neobdelana zemlja), Kusova Vrbina in Amerika v letu 2016. Višine pravokotnikov ustrezajo vrednostim od najmanjše do največje izmerjene aktivnosti v letu, polne črtice pa pomenijo razširjeno območje izmerjenih vrednosti z upoštevanjem negotovosti.

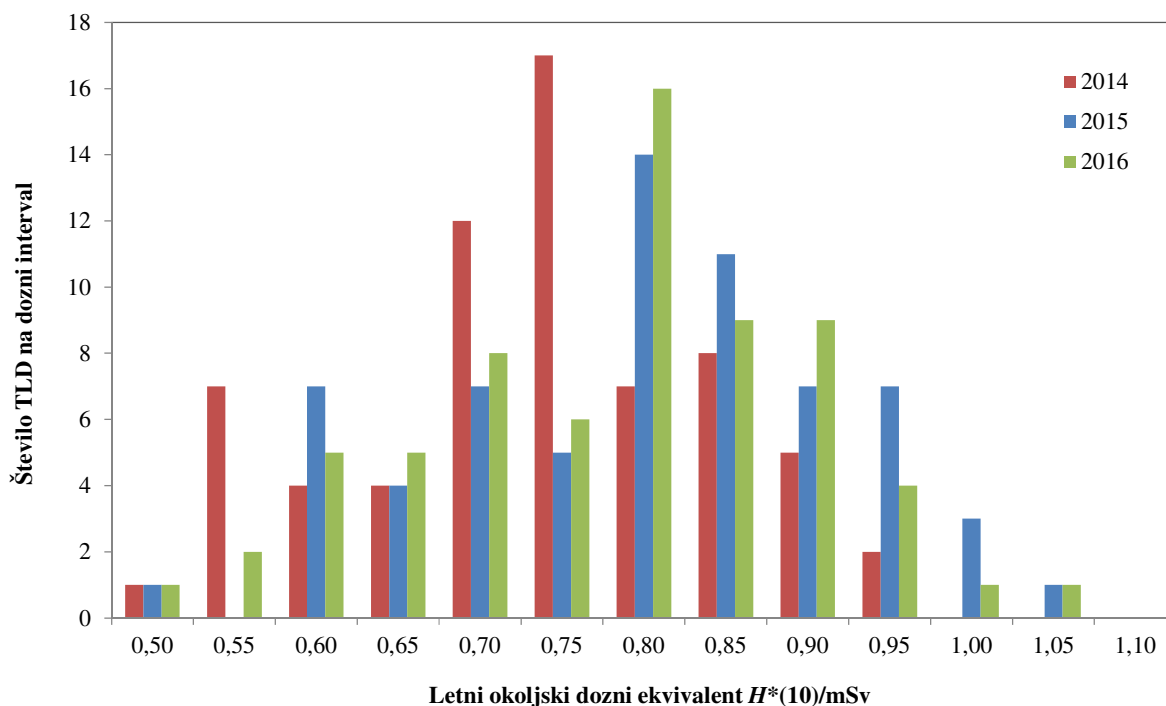


Slika 5.2: Globinska porazdelitev specifične aktivnosti Cs-137 na lokacijah Gmajnice (neobdelana zemlja), Kusova Vrbina in Amerika v letu 2016. Višine pravokotnikov ustrezajo vrednostim od najmanjše do največje izmerjene aktivnosti v letu, polne črtice pa pomenijo razširjeno območje izmerjenih vrednosti z upoštevanjem negotovosti.



Tabela 5.1: Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ na ograji NEK, v okolici NEK, v Sloveniji, Ljubljani in na Hrvaškem v letu 2016

Lokacija	Št. TLD	$H^*(10)/\text{mSv}$	Razpon $H^*(10)/\text{mSv}$
Na ograji NEK	9	$0,581 \pm 0,036$	0,506–0,638
Okolica NEK skupaj	57	$0,814 \pm 0,093$	0,627–1,062
Okolica NEK do 1,5 km	13	$0,791 \pm 0,134$	0,627–1,062
Okolica NEK od 1,5 km do 5 km	22	$0,812 \pm 0,086$	0,630–0,949
Okolica NEK od 5 km do 10 km	22	$0,824 \pm 0,088$	0,674–0,993
Slovenija	50	$0,902 \pm 0,154$	0,634–1,351
Ljubljana – referenčna lokacija	1	$0,856 \pm 0,120$	/
Hrvaška	10	$0,751 \pm 0,125$	0,605–0,923



Slika 5.3: Porazdelitev letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ za vse dozimetre ($N = 67$) na ograji NEK in v okolici NEK ter na referenčni lokaciji v Ljubljani po doznih intervalih 0,05 mSv v letih 2014, 2015 in 2016. Pri posameznem doznem intervalu je navedena srednja vrednost tega intervala (npr. za interval od 0,525 mSv do 0,575 mSv je to 0,55 mSv).



DISKUSIJA

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 v tabeli 5.2. Veliko stresanje izmerkov lahko pripišemo nehomogenosti useda, izpostavljenosti lokacij poplavam (Kusova Vrbina) ter zapletenosti mehanizma migracije useda na mikrolokacijah, saj očitno ni korelacije niti pri zelo bližnjih mestih vzorčevanja (Gmajnice). Eden izmed mogočih vzrokov je vpliv prednostnih smeri toka vode v zemeljski ruši, ki lahko bistveno spremeni pričakovano porazdelitev radionuklidov v zemlji tudi na bližnjih lokacijah [58]. V Kusovi Vrbini in Ameriki se je v zadnjih petih letih zniževanje usedov praktično ustavilo, v Gmajnicah pa stresanje izmerkov kaže na veliko nehomogenost useda. Morda bi veljalo razmisliti o nadomestitvi vzorčevalnega mesta v Gmajnicah z vzorčevalnim mestom, kjer je homogenost useda večja.

Tabela 5.2: Primerjava usedov Cs-137 do globine 30 cm na vzorčevalnih mestih z neobdelano zemljo

LETO / ODVZEM	GMAJNICE	KUSOVA VRBINA	AMERIKA
	Used (kBq/m ²)		
2005/1	13,0 ± 0,4	4,5 ± 0,1	13,4 ± 0,4
2005/2	11,0 ± 0,3	6,4 ± 0,2	8,4 ± 0,3
2006/1	10,0 ± 0,3	3,1 ± 0,1	13,0 ± 0,4
2006/2	10,0 ± 0,3	3,7 ± 0,1	11,0 ± 0,3
2007/1	11,0 ± 0,2	3,6 ± 0,1	8,5 ± 0,2
2007/2	6,9 ± 0,2	7,2 ± 0,2	14,0 ± 0,3
2008/1	13,0 ± 0,3	3,2 ± 0,1	9,3 ± 0,2
2008/2	14,0 ± 0,4	3,4 ± 0,1	9,2 ± 0,3
2009/1	3,20 ± 0,1	3,9 ± 0,1	8,1 ± 0,3
2009/2	6,6 ± 0,2	2,5 ± 0,1	7,7 ± 0,2
2010/1	12,0 ± 0,4	3,1 ± 0,1	7,1 ± 0,2
2010/2	8,2 ± 0,3	1,7 ± 0,1	6,0 ± 0,2
2011/1	8,8 ± 0,3	2,7 ± 0,1	7,4 ± 0,2
2011/2	7,7 ± 0,2	2,4 ± 0,1	7,5 ± 0,3
2012/1	12,2 ± 0,3	1,0 ± 0,1	7,5 ± 0,2
2012/2	11,3 ± 0,3	1,6 ± 0,1	6,7 ± 0,2
2013/1	4,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	6,9 ± 0,2
2013/2	15,8 ± 0,4	1,2 ± 0,1	7,8 ± 0,2
2014/1	3,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1	7,4 ± 0,2
2014/2	1,8 ± 0,1	1,5 ± 0,1	6,9 ± 0,2
2015/1	6,1 ± 0,8	0,7 ± 0,1	6,2 ± 0,2
2015/2	6,2 ± 0,1	1,0 ± 0,1	6,3 ± 0,5
2016/1	12,4 ± 0,3	1,3 ± 0,1	6,3 ± 0,2
2016/2	5,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	7,3 ± 0,2

V okviru nadzora radioaktivnosti v okolju v Republiki Sloveniji se meri used do globine 15 cm v Ljubljani, Kobaridu in Murski Soboti. V letu 2016 so bili na teh lokacijah izmerjeni povprečni usedi Cs-137 ($8,4 \pm 0,1$) kBq/m², ($6,93 \pm 0,07$) kBq/m² in ($2,32 \pm 0,03$) kBq/m². Te vrednosti so primerljive z vrednostmi, ki so bile izmerjene do globine 15 cm v Gmajnicah, Kusovi Vrbini in Ameriki, kjer so bili izmerjeni usedi ($6,3 \pm 0,1$) kBq/m², ($0,38 \pm 0,01$) kBq/m² in ($3,91 \pm 0,08$) kBq/m². To kaže, da izmerjeni



used Cs-137 v okolici NEK ni posledica izpustov NEK. Usedi Sr-90 na lokacijah v okolici NEK so v okviru stresanja izmerkov primerljivi z usedi na lokacijah iz nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji. Usedi na lokacijah iz nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji so $(0,21 \pm 0,01)$ kBq/m², $(0,13 \pm 0,01)$ kBq/m² in $(0,08 \pm 0,03)$ kBq/m², na lokacijah v okolici NEK pa $(0,098 \pm 0,004)$ kBq/m², $(0,020 \pm 0,007)$ kBq/m² in $(0,104 \pm 0,004)$ kBq/m².

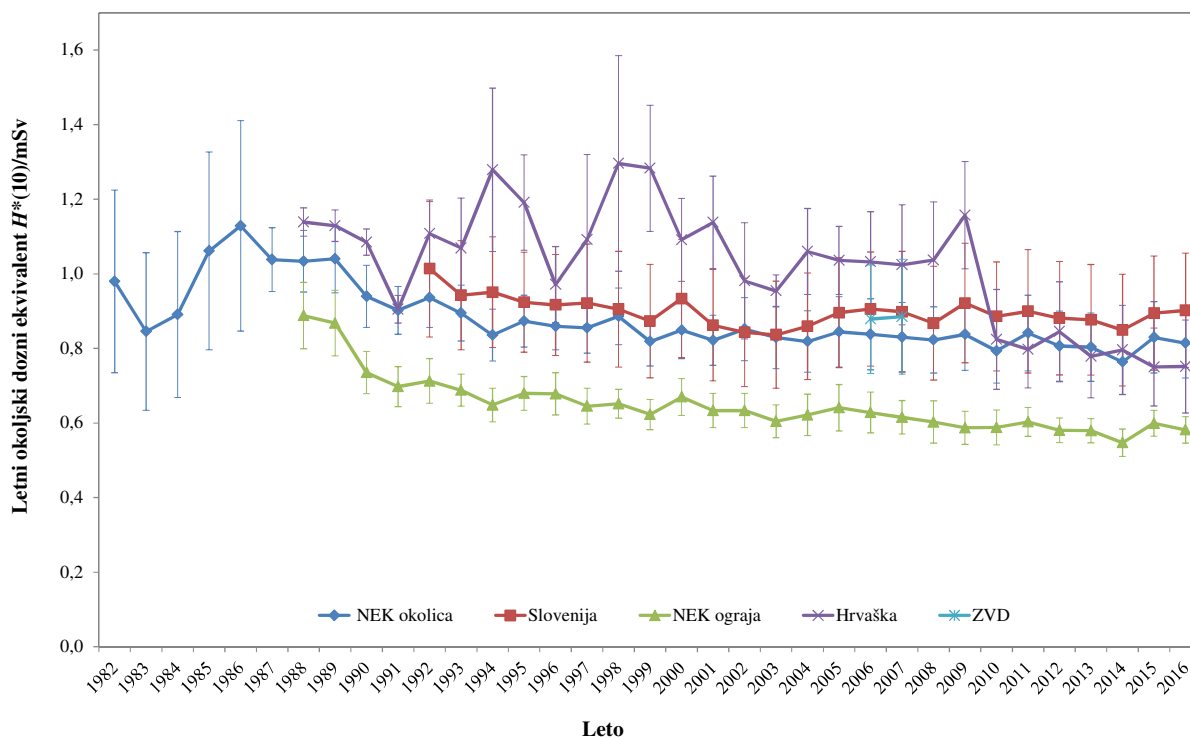
Naravni radionuklidi, potomci uranove in torijeve razpadne verige, ter K-40 so v zemlji porazdeljeni enakomerno, razen Pb-210, ki se useda iz zraka kot potomec Rn-222. Potomca iz torijevega razpadnega niza Ra-228 in Th-228 sta v ravnovesju v vseh globinah in na vseh lokacijah. U-238 in Ra-226 nista v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

Na sliki 5.4 so za obdobje od leta 1982 do 2016 povzeti rezultati letnih okoljskih doznih ekvivalentov, izmerjenih s TLD, v okolici NEK, na ograji NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem. Za leti 2006 in 2007 sta dodani povprečni meritev s TLD za Slovenijo, ki jih je izvajal ZVD.

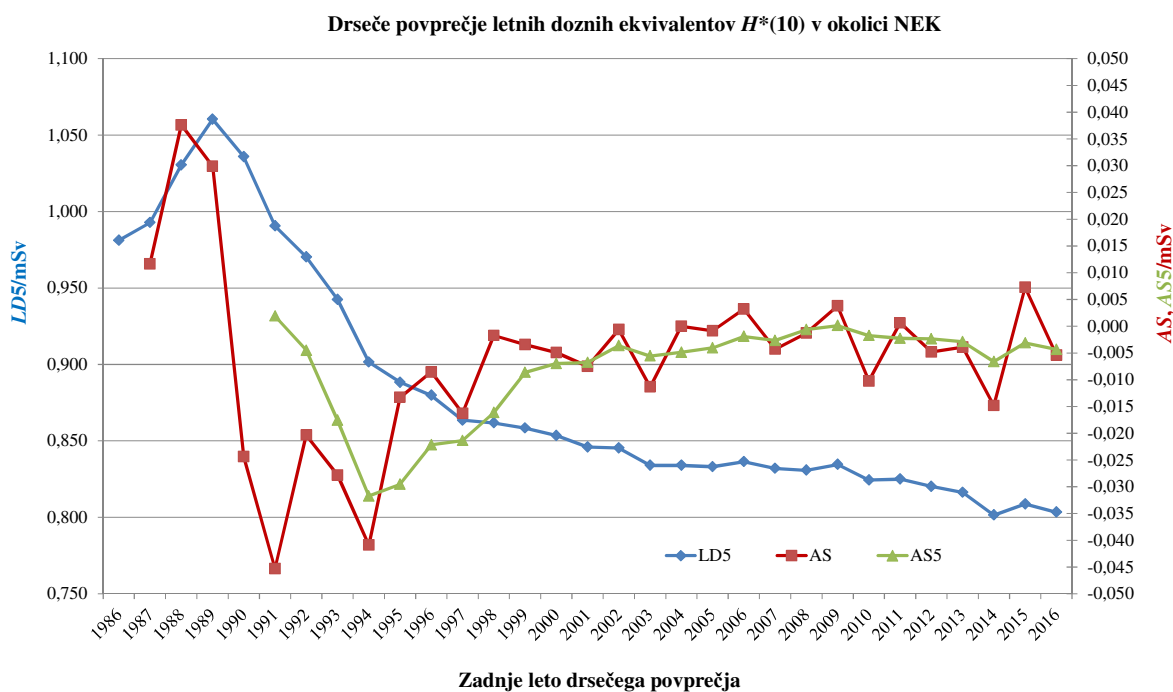
Za meritve, narejene na območju Slovenije, je značilno izrazito zmanjševanje letne doze, predvsem v prvih letih po černobilski nesreči, ki se je zgodila leta 1986. Vzrok je razpad usedlih kratkoživih sevalcev gama, ki so v začetnem obdobju največ prispevali k zunanemu sevanju, in prodiranje Cs-137 v globino. V zadnjih desetih letih, ko je v okolju še edini umetni sevalec gama Cs-137, upadanje, ki ga lahko pripišemo radioaktivnemu razpadu Cs-137 (njegova aktivnost se zmanjšuje za 2,3 % na leto), ni več tako izrazito, saj je sprememba (zmanjšanje) letne doze manjša od negotovosti meritev. Na sliki 5.5 iz 5-letnih drsečih povprečij absolutnih sprememb letnih doz (AS5) v okolici NEK lahko ocenimo, da se letni okoljski dozni ekvivalent vsako leto zmanjša za približno 0,004 mSv. Če celotno zmanjšanje letnega okoljskega doznega ekvivalenta pripišemo izključno radioaktivnemu razpadu Cs-137, dobimo za oceno prispevka Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu 0,17 mSv, kar je približno dvakratnik ocene prispevka Cs-137 k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu iz zemlje, ki jo dobimo z enačbo (5.1) in podatkov iz tabele 5.3 za lokacijo Gmajnice, in je 0,09 mSv.

Od leta 1992 do 2016 so bili povprečni letni okoljski dozni ekvivalenti v Sloveniji višji od tistih v okolici NEK. Razlog je najverjetneje v večji pestrosti točk v programu nadzora radioaktivnosti v Republiki Sloveniji, ki vključuje tudi lokacije, kjer zaradi konfiguracije zemljišča, sestave tal ali večje nadmorske višine pričakujemo višje ravni sevanja. Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK je za 40 % višji od tistega na ograji NEK. Razliko pripisujemo prodnatim tlem (odstranjena plast zemlje) in zaščitnemu delovanju zgradb ter asfaltiranih površin znotraj ograje NEK, ki slabijo zunanje sevanje naravnih radionuklidov iz zemljišča. Neposredni vpliv sevanja iz elektrarniških objektov na ograji ni merljiv. Ta sklep so v preteklosti potrjevale meritve sevanja z ionizacijsko celico na krožni poti znotraj ograje ob rednih obhodih mobilne enote v NEK (ROMENEK). Nekoliko povišane vrednosti so bile izmerjene le v bližini skladišča RAO in rezervoarja RWST, drugod pa so bile nižje od tistih v naravnem okolju. Za dozimetre na ograji NEK pa je poleg nižjih vrednosti značilna še majhna disperzija izmerkov na različnih mestih, kar kaže na enakomerno sevalno okolje.

Vrednosti letnih doz TLD v okolici Zagreba na Hrvaškem so bile v preteklosti sistematično višje od tistih v Sloveniji. Leta 2010 je prišlo do zamenjave izvajalca meritev, zato so se spremenile tudi mikrolokacije, saj so bili dozimetri prestavljeni na ustrenejša mesta. Tako se od leta 2010 povprečni letni dozni ekvivalent, izmerjen s TLD na Hrvaškem, ujema s tistim, ki je bil izmerjen s TLD v okolici NEK, in se sistematsko ne odmika od doz, izmerjenih po Sloveniji. Takšna ugotovitev je zelo pomembna za potrditev kakovosti merskih podatkov, izmerjenih s TLD, saj z različnimi uporabljenimi materiali, ki se uporabljajo kot dozimetri, in z različnimi merskimi postopki dobimo v okviru merske negotovosti enako vrednost povprečnega letnega okoljskega doznega ekvivalenta. To je še dodatna potrditev tega, da dozimetri v okolici NEK kažejo pravo vrednost ter da lahko vsa nihanja merskih podatkov pripišemo fluktuacijam zaradi razgibanega, geološko raznolikega terena in drugih mogočih vplivov (pokritost tal s snežno odejo, posegi v okolje itd.).



Slika 5.4: Povprečni letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ v okolici NEK, na ograji NEK, v Sloveniji in na Hrvaškem od 1982 do 2016



Slika 5.5: Petletno drseče povprečje letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ ($LD5$), absolutna sprememba 5-letnega drsečega povprečja (AS) in 5-letno drseče povprečje absolutne spremembe ($AS5$) v okolici NEK od 1982 do 2016. Negotovosti za $LD5$ so med 0,030 mSv in 0,11 mSv, za AS med 0,043 mSv in 0,13 mSv ter za $AS5$ med 0,019 mSv in 0,033 mSv. Zaradi boljše preglednosti negotovosti na sliki niso prikazane.


Tabela 5.3: Primerjava izračunanega in izmerjenega letnega doznega ekvivalenta v letu 2016 za tri lokacije vzorčevanja zemlje v okolici NEK

Izotop	Povprečna polletna specifična aktivnost (0–15 cm) (Bq/kg)	Letni dozni ekvivalent, $H^*(10)$		Letni dozni ekvivalent, $H^*(10)$ (TLD) (mSv)
		Sevanje tal	Sevanje tal in kozmična komponenta	
		(mSv)		
Gmajnice				št. dozimetra 59
Ra-226	36,1 ± 2,0	0,62 ± 0,03	0,89 ± 0,04	0,72 ± 0,10
Ra-228	28,5 ± 0,6			
K-40	365 ± 21			
Cs-137	56,4 ± 1,3			
Kusova Vrbina				št. dozimetra 21
Ra-226	31,6 ± 1,7	0,45 ± 0,02	0,72 ± 0,04	0,73 ± 0,10
Ra-228	23,0 ± 0,4			
K-40	306 ± 17			
Cs-137	2,4 ± 0,1			
Amerika				št. dozimetra 63
Ra-226	42,7 ± 2,4	0,65 ± 0,03	0,92 ± 0,04	0,81 ± 0,11
Ra-228	32,3 ± 0,6			
K-40	391 ± 22			
Cs-137	28,5 ± 0,8			

Dozimetri v okolici NEK so postavljeni na mestih, kjer se nadmorska višina spreminja od 155 m v Krškem do 434 m v Velikem Trnu nad Krškim. Iz enačbe (7) v poročilu *Ovrednotenje rezultatov meritev radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško* [6] lahko potem izračunamo, da je letna efektivna doza kozmičnih žarkov v Krškem 0,242 mSv na leto, v Velikem Trnu pa 0,255 mSv, kar pomeni, da je doza zaradi kozmičnega sevanja na nadmorskih višinah dozimetrov v okolici jedrskega objekta v Krškem skoraj enaka. Izračun prispevka kozmičnega sevanja lahko naredimo tudi s programom EXPACS [63], ki za prispevek kozmičnega sevanja k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu izračuna vrednost 0,30 mSv. Pri tem v nobenem izračunu nevtronska komponenta kozmičnega sevanja ni bila upoštevana, ker TLD, ki se uporabljajo v okolici NEK, za nevtrone niso občutljivi. Na podlagi obeh izračunov lahko skupen prispevek kozmičnega sevanja k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu ocenimo na $(0,27 \pm 0,03)$ mSv.

Iz meritev specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov v zemlji lahko ocenimo še prispevek zemeljskega sevanja. Za izračun letnega okoljskega doznega ekvivalenta $H^*(10)$ uporabimo novo enačbo (5.1), ki jo dobimo iz stare enačbe (9) v [6]:

$$H^*(10)_{\text{letno}} = \sum_i w_i C_i \quad (5.1)$$

V enačbi (5.1) smo s C_i označili specifične aktivnosti Ra-226, Th-232 (Ra-228), K-40 in Cs-137 v zemlji, ki so 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 4,94, 6,56, 0,449 in 1,68 ter so izraženi v enotah $\mu\text{Sv}/(\text{Bq}/\text{kg})$. Te vrednosti so izračunane na podlagi koeficientov enačbe (9) v [7] ob predpostavki, da ima eno leto 8760 ur. Enačba (9) v [6] je primerna za izračun letnega



okoljskega doznega ekvivalenta, če je porazdelitev radionuklidov neodvisna od globine [64]. To dobro velja za naravne radionuklide, ne velja pa za porazdelitev cezija, ki se z globino spreminja [64]. Vendar v prvem približku, ko gre za oceno, lahko to zanemarimo, saj je prispevek Cs-137 med vsemi radionuklidi, ki nastopajo v enačbi (5.1), v povprečju najnižji (1–18 %). Iz rezultatov meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v zemlji, ki so zbrani v tabelah T-57, T-58, T-59 in T-60, lahko povzamemo povprečne aktivnosti Ra-226, Ra-228 (Th-232), K-40 in Cs-137 v globinah od 0 cm do 15 cm na lokacijah v Gmajnicah, Kusovi Vrbini in Ameriki.

Na lokacijah Gmajnice in Amerika se vzorčuje neobdelana zemlja, ki je podobna kot podlaga pri večini merilnih postaj za TLD. Na lokaciji Kusova Vrbina pa se vzorčuje mešanica naplavin in zemlje, ki je podobna podlagi, na kateri stoji TLD v neposredni bližini. Iz povprečnih specifičnih aktivnosti Ra-226, Ra-228, K-40 in Cs-137 v zemlji na lokacijah Gmajnice, Kusova Vrbina in Amerika po enačbi (5.1) izračunamo okoljske dozne ekvivalente za omenjene lokacije. Rezultati so zbrani v tabeli 5.3. Iz tabele 5.3 lahko ocenimo, da je prispevek zemeljskega sevanja k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu v okolici NEK v razponu od 0,45 mSv do 0,65 mSv. Izračunani prispevek kozmične komponente je približno eno tretjino celotne letne doze brez nevtronske komponente. Za lokaciji Kusova Vrbina in Amerika se vsota obeh prispevkov v okviru negotovosti ujema z izmerki TLD.

OCENA VPLIVOV

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 računa Monte Carlo, ki omogoča določitev prispevkov Cs-137 iz različnih globin [57]. Okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ je bil izračunan iz zveze $H^*(10) = w \cdot D$ po standardu ISO 4037-3, pri čemer je D absorbirana doza v zraku na letni ravni, $w = 1,20$ pa je konverzijski faktor za pretvorbo absorbirane doze v okoljski dozni ekvivalent za Cs-137. Iz tabele 5.4 je razvidno, da so ocenjeni letni okoljski dozni ekvivalenti zaradi Cs-137 na lokacijah v okolici NEK v območju med 0,002 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 razponu od 0,017 mSv do 0,05 mSv.

Tabela 5.4: Ocenjena letna vrednost $H^*(10)$ zaradi globalne kontaminacije s Cs-137 do globine 15 cm v letu 2016

LOKACIJA	$H^*(10)/\text{mSv}$	LOKACIJA	$H^*(10)/\text{mSv}$
Gmajnice, neobdelana	$0,036 \pm 0,007$	Ljubljana	$0,05 \pm 0,01$
Kusova Vrbina	$0,002 \pm 0,001$	Kobarid	$0,05 \pm 0,01$
Amerika	$0,021 \pm 0,004$	Murska Sobota	$0,017 \pm 0,003$

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 [55]. Te vrednosti se dobro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi v zemlji v okolici NEK, ki so navedene v tabeli 5.3 (izmerjene vrednosti za Ra-226 in Th-228 smo primerjali z vrednostmi, ki jih navaja UNSCEAR za U-238 in Th-232).

Kot je bilo ugotovljeno, prispevkov NEK k dozi zunanega sevanja ni mogoče neposredno meriti s TLD in MFM. Mreža TLD zato meri dozo sevanja gama naravnih radionuklidov v okolju, ionizirajoče komponente sevanja kozmičnega porekla ter prispevka globalne kontaminacije s Cs-137. Povprečni izmerjeni letni okoljski dozni ekvivalent v okolici NEK v letu 2016 je bil $(0,81 \pm 0,09)$ mSv (tabela 5.1), kar je v okviru merske negotovosti enako kot v letu 2015, $(0,83 \pm 0,10)$ mSv, v letu 2014 $(0,76 \pm 0,09)$ mSv ter v letu 2013, $(0,80 \pm 0,09)$ mSv.



Ker okoljski TLD ne merijo doze nevtronske komponente kozmičnega sevanja, smo le-to ocenili na podlagi poročila poročila UNSCEAR [55] in izračuna z uporabo programa EXPACS [63]. Pri izpostavitvi svetovnega prebivalstva poročilo ocenjuje po prebivalstvu uteženo povprečje, upoštevajoč nadmorsko višino in geografsko širino. Ker leži območje Krškega 155 m nad morsk gladino, smo privzeli podatek iz poročila [55], kjer za gladino morja na geografski širini 50° ocenjujejo letno efektivno nevtronsko dozo na 0,079 mSv, kar pomeni letni prispevek 0,103 mSv k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu, če upoštevamo pretvorbeni faktor 1,3 med nevtronsko dozo in $H^*(10)$ [66], [67]. S programom EXPACS [63] pa lahko ob upoštevanju dejanske geografske lege in nadmorske višine Krškega ter privzete 10 % vlažnosti tal naredimo izračun, ki nam da za prispevek nevtronov k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu v letu 2016 0,090 mSv. Prispevek nevtronov k letnemu okoljskemu doznemu ekvivalentu lahko na podlagi obeh izračunov ocenimo na $(0,096 \pm 0,007)$ mSv.

Kot smo že ugotovili, je bil prispevek sevanja gama iz objektov znotraj ograje NEK k letni dozi na ograji pod mejo zaznavnosti. V letu 2016 so bili izmerjeni počasni in hitri nevtroni v bližini odprtine za vnos in iznos opreme na zadrževalnem hramu (*equipment hatch*), v strojnici s turbino pa je bilo izmerjeno le še naravno ozadje kozmičnih nevtronov [59]. 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 [60]. Ugotavljamo, da je prispevek sevanj 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.

Used se računa za lokacije, na katerih poteka vzorčevanje 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. 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 $25 \text{ km} \times 25 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ in je razdeljena na 100×100 celic v horizontalni smeri in 20 celic po vertikali. Celica je velika $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$, višina celice pa je spremenljiva in je odvisna od višine, kjer je celica. Tabele vrednosti depozicijskih faktorjev in razredčitvenih koeficientov so v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*, marec 2017.

Depozicijski faktor (imenovan tudi *koeficient relativne depozicije*) D/Q za določeno lokacijo z enoto s/m^2 se izračuna po enačbi:

$$D/Q = k_T \cdot (\chi/Q)_1 \cdot h_1 + k_{\text{WDD}} \cdot \sum_{i=1}^N (\chi/Q)_i \cdot h_i \quad (5.2)$$

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 nivoja prvega prizemnega nivoja, k_{WDD} faktor mokre in suhe depozicije, $(\chi/Q)_i$ razredčitveni koeficienti nivojev i , h_i višina nivoja i in N število nivojev v domeni.

Prispevki k letni efektivni dozi zaradi useda iz oblaka so zbrani v tabeli 5.5. 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 [65]. Dozni pretvorbeni koeficient 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 skozi vse leto (skupni ocenjeni letni izpust je vsota približno 91 dejanskih izpustov v tem letu). Iz rezultatov je razvidno, da je bila v letu 2016 letna efektivna doza največja na oddaljenosti 0,5 km od dimnika NEK, vendar je tudi ta prispevek popolnoma zanemarljiv glede na druge prispevke zunanjega sevanja. Tega prispevka NEK ni mogoče izmeriti niti s TLD niti s kontinuirnimi merilniki, ki so 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.


Tabela 5.5: Ocena letne efektivne doze zunanega sevanja zaradi useda radioaktivnih snovi za različne razdalje r od NEK za leto 2016

Oddaljenost od dimnika NEK (km)			0,5 km	0,8	1	1,5	3,25	7,5
Izotop	Izpust (Bq na leto)	DCF (Sv na leto) / (Bq/m ²)	Letna efektivna doza zunanega sevanja zaradi useda radioaktivnih snovi (mSv)					
I-131	7,96E+06	7,83E-11	2,06E-12	4,01E-13	3,12E-13	2,49E-13	5,43E-14	5,13E-14
I-132	3,68E+07	1,84E-11	2,24E-12	4,35E-13	3,39E-13	2,70E-13	5,89E-14	5,56E-14
I-133	7,93E+06	4,32E-11	1,13E-12	2,20E-13	1,71E-13	1,37E-13	2,98E-14	2,82E-14
H-3	6,17E+12	–	–	–	–	–	–	–
C-14	1,18E+11	–	–	–	–	–	–	–
Cr-51	–	7,02E-12	–	–	–	–	–	–
Mn-54	–	1,94E-10	–	–	–	–	–	–
Co-58	5,01E+03	2,24E-10	3,71E-15	7,22E-16	5,62E-16	4,49E-16	9,77E-17	9,24E-17
Co-60	–	5,67E-10	–	–	–	–	–	–
Zr-95	1,22E+04	1,70E-10	6,86E-15	1,33E-15	1,04E-15	8,30E-16	1,81E-16	1,71E-16
Nb-95	1,46E+04	1,73E-10	8,34E-15	1,62E-15	1,26E-15	1,01E-15	2,20E-16	2,08E-16
Ag-110m	–	6,48E-10	–	–	–	–	–	–
Sb-124	–	4,05E-10	–	–	–	–	–	–
Te-125m	–	2,97E-12	–	–	–	–	–	–
Te-127m	5,36E+03	2,97E-12	5,26E-17	1,02E-17	7,96E-18	6,36E-18	1,38E-18	1,31E-18
Cs-137	6,88E+05	1,35E-10	3,07E-13	5,98E-14	4,65E-14	3,72E-14	8,08E-15	7,64E-15
Fe-55	–	4,86E-14	–	–	–	–	–	–
Sr-90	1,38E+03	2,40E-11	1,09E-16	2,13E-17	1,65E-17	1,32E-17	2,88E-18	2,72E-18
VSOTA			5,75E-12	1,12E-12	8,72E-13	6,96E-13	1,51E-13	1,43E-13

Tabela 5.6: Doze $H^*(10)$ zaradi zunanega sevanja v letu 2016 za prebivalstvo v okolici NEK

Vir	Podatki	$H^*(10)/mSv$
sevanje gama + ionizirajoča komponenta kozmičnega sevanja	TLD	0,81 (89 %)
kozmični nevtroni	[55], [62]	0,10 (11 %)
naravno sevanje – skupaj		0,91 (100 %)
kontaminacija zaradi černobilske nesreče in poskusnih jedrskih eksplozij	Cs-137 v zemlji	0,04 (4 %)*
NEK – atmosferski izpusti	used (model)	6E–12
SKUPAJ		0,95

* Ocena deleža glede na naravno sevanje. V tej oceni ni upoštevano, da se prebivalec 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 [57].



V tabeli 5.6 so povzete ocenjene letne vrednosti $H^*(10)$ za prebivalstvo v okolici NEK. Prevladuje izpostavitve zaradi naravnega sevanja in useda Cs-137 zaradi globalne kontaminacije. Prispevek NEK je, kot že rečeno, zanemarljiv.

SKLEPI

Pri meritvah specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih zemlje, zbranih v letu 2016, vpliva NEK ni bilo mogoče zaznati. Prisotnost umetnih radionuklidov v okolju je posledica globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in černobilske nesreče. Letni okoljski dozni ekvivalent $H^*(10)$ zaradi naravnih radionuklidov v zemlji je med 0,53 mSv in 0,60 mSv, na območjih rednih poplav pa približno 0,44 mSv. Letni okoljski dozni ekvivalenti zaradi globalne kontaminacije so v razponu od 0,004 mSv do 0,095 mSv. Prispevek kontaminacije zemljišča in urbanih površin s Cs-137 (černobilska nesreča in poskusne jedrske eksplozije) k letni dozi $H^*(10)$ v letu 2016 je pri predpostavki enakomerne porazdelitve specifične aktivnosti Cs-137 od 1 % do 18 % skupne doze zaradi naravnih in umetnih radionuklidov v zemlji, ob upoštevanju dejanske globinske porazdelitve specifične aktivnosti Cs-137, pa je prispevek k skupni letni dozi manj kot 4 %.

Prispevki NEK k zunanemu sevanju zunaj ograje zaradi sevanja iz objektov NEK in atmosferskih izpustov radioaktivnih snovi so zanemarljivi in nemerljivi s TLD in kontinuirnimi merilniki. Meja detekcije s TLD je 7,5 μ Sv. Posredno konservativno ocenjujemo, da je letna efektivna doza zaradi sevanja iz NEK manjša od 0,1 μ Sv.

Vrednost $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja naravnih sevalcev gama, ionizirajoče komponente kozmičnega sevanja in kozmičnih nevtronov v letu 2016 je bila za prebivalstvo v okolici NEK 0,91 mSv na leto in je primerljiva z oceno za svetovno prebivalstvo ter z ocenami za okolico NEK v prejšnjih letih. Primerjava ocene vrednosti $H^*(10)$ ter izmerkov s TLD kaže dobro ujemanje.

Primerjava modelnih rezultatov za used iz radioaktivnega oblaka, izračunanih z Lagrangeevim modelom, je pokazala, da je bil prispevek zaradi atmosferskih izpustov NEK v letu 2016 nemerljiv, saj je bil nekaj velikostnih redov manjši od meje detekcije merilnikov. Merilniki pa bi bili še vedno sposobni zaznati morebiten človeku nevaren izpust.





6 RADIONUKLIDI V HRANI

POVZETEK

Namen določanja specifičnih aktivnosti radionuklidov v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, je, da se preveri vpliv izpustov NEK na hrano in posledično oceni sevalna obremenitev prebivalstva zaradi uživanja hrane, ki vsebuje radionuklide. Specifične aktivnosti radionuklidov v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, smo primerjali s specifičnimi aktivnostmi radionuklidov v živilih, vzorčevanih drugod po Sloveniji.

Ocenili smo, da je predvidena efektivna doza prebivalstva v okolici NEK zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov K-40, Pb-210, U-238, Ra-226, Ra-228 in Th-228 v hrani v letu 2016 270 μ Sv za odrasle osebe, brez upoštevanja K-40 pa 99 μ Sv, drugod po Sloveniji pa je predvidena efektivna doza prebivalstva zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov v hrani 250 μ Sv, brez upoštevanja K-40 pa 76 μ Sv.

Vsebnost umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 v hrani je povečala sevalno obremenitev prebivalcev okolice NEK še za 1,4 μ Sv, kar je le 1,0 % celotne izračunane efektivne doze zaradi uživanja hrane brez upoštevanja K-40. To je z biološkega vidika zanemarljivo. Sevalna obremenitev prebivalcev drugod po Sloveniji zaradi uživanja hrane, kontaminirane s Cs-137 in Sr-90, je 0,7 μ Sv, Radionuklida Cs-137 in Sr-90 v hrani izvirata iz kontaminacije zaradi jedrskih poskusov v preteklosti in nesreče v Černobilu in nista posledica atmosferskih izpustov iz NEK. Pri primerjavi merskih rezultatov za hrano iz okolice NEK in Republike Slovenije se upoštevajo le hranila oziroma živila, ki so v skupnem naboru. V letu 2016 k dozi splošnih kontaminantov Cs-137 in Sr-90 v okolici NEK največ prispeva specifična aktivnost Sr-90 1,2 μ Sv v pšenici. Drugih posebnosti v primerjavi s prejšnjimi leti ni bilo opaziti.

V zračnih izpustih NEK je bil izmerjen tudi radioaktivni izotop C-14, ki v naravi nastaja kot produkt kozmičnega sevanja. Lokalno je mogoče opaziti njegove variacije tudi zaradi izpustov iz jedrskih elektrarn in obratov za predelavo goriva, njegova vsebnost pa je bila v preteklosti povečana predvsem zaradi poskusnih jedrskih eksplozij. Izotop C-14 se, enako kot običajni ogljik C-12, v procesu fotosinteze vgrajuje v rastline in preko hrane je tudi v živih bitjih. Aktivnost med remontom izpuščenega C-14 (večinoma v obliki CO₂) je bila namreč v letu 2016 nekoliko manjša kot v preteklih letih. Ocenjena doza prebivalstva v krajih, kjer vpliva NEK v letu 2016 ni bilo mogoče zaznati (Dobova), je bila v rastlinski hrani zaradi vsebnosti naravnega C-14 (14,7 \pm 0,3) μ Sv. V neposredni bližini elektrarne do razdalje 1 km od osi reaktorja je bilo mogoče zaznati v rastlinju tudi C-14 zaradi atmosferskih izpustov iz NEK. Ocenjena doza zaradi atmosferskih izpustov C-14 iz NEK je bila 0,1 μ Sv, celotna ocenjena doza prebivalstva v neposredni bližini NEK pa je bila (14,8 \pm 0,2) μ Sv. V okviru merske negotovosti je tako doza zaradi C-14, prejeta v okolici NEK in v Dobovi, primerljiva z ocenami iz prejšnjih let. Doza, prejeta zaradi C-14, je prav tako kot v primeru doz, prejetih zaradi Cs-137 in Sr-90, z biološkega vidika zanemarljiva.

S programsko opremo XL-STAT smo živila, vzorčevana v okolici NEK od leta 2010 do 2016 statistično obdelali z multivariacijsko diskriminantno analizo (DA). Z analizo smo dopolnili informacijo o značilnih specifičnih aktivnostih radionuklidov v hrani s krško-brežiškega polja.

UVOD

Izpusti radionuklidov v okolje, bodisi zaradi normalnega obratovanja jedrskih objektov ali izrednih dogodkov, lahko potencialno vodijo k izpostavitvi okoliškega prebivalstva ionizirajočemu sevanju. Radionuklidi najpogosteje prehajajo v okolje preko izpustov v atmosfero ali v vodne sisteme, pri čemer lahko posledično prihaja do kontaminacije zraka, voda, tal, rastlinstva in živalstva. Poti vnosa radionuklidov v človeški organizem sta predvsem inhalacija in ingestija, zato je v okolici nuklearnih objektov potreben stalen nadzor radioaktivnosti v zraku, vodi, tleh, pa tudi v hrani rastlinskega in živalskega izvora, ki jo pridelujejo v okolici jedrskih objektov.



V hrano rastlinskega izvora prehajajo radionuklidi predvsem preko koreninskega sistema rastlin, lahko pa tudi s površine listov, kamor se odložijo kot usedi iz atmosfere. Sem spada predvsem kontaminacija s Pb-210, ki je naravne radionuklid in ga ni v izpustih NEK. Stopnja privzema radionuklidov v rastline prek koreninskega sistema je v največji meri odvisna od biodostopnosti posameznih radionuklidov v tleh, na kar pa poleg topnosti radionuklidov vplivajo predvsem številni abiotski in biotski talni dejavniki [68]. Na absorpcijo radionuklidov v rastline prek listne površine vplivajo predvsem morfološke značilnosti rastlin (npr. velikost površine, strukture na listih) in okoljski dejavniki, kot sta npr. količina padavin in vetrovnost. Rastlinski organi se lahko z radionuklidi površinsko kontaminirajo tudi zaradi neposrednega stika z zemljo, kar velja predvsem za gomolje, korenike, čebulo, liste in plodove, ki uspevajo pri tleh, kot npr. jagode [69]. Na vsebnost radionuklidov v rastlinah pa 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, predvsem rastlinojedov, v veliki meri vpliva preferenca prehranjevanja z določenimi vrstami rastlinske hrane [69], 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, predvsem stopnje metabolizma. 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 specifično aktivnost radionuklidov v hrani [69].

Radioaktivni izotop ogljika C-14 nastaja v Zemljini atmosferi kot produkt jedrskih reakcij med jedri dušika N-14 in nevtroni, ki so posledica kozmičnega sevanja [70]. Skupaj z drugimi ogljikovimi izotopi kot CO₂ vstopa v biološki in geokemični ogljikov cikel Zemlje. Do povečanja koncentracij C-14 na zemeljskem površju je prišlo predvsem v sredini 20. stoletja zaradi jedrskih poskusov. Po prepovedi jedrskih poskusov se zaradi izmenjave C-14 in drugih izotopov ogljika med atmosfero, biosfero in oceani vsebnosti C-14 v atmosferi manjšajo, tako so danes le malo večje od naravne ravnotežne vrednosti [70].

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. Aktivnost C-14 v atmosferi se izraža v rastlinju, saj rastline v procesu fotosinteze asimilirajo CO₂. Izmerjena aktivnost C-14 v enoletnih rastlinah ali drevesnih letnicah tako izraža povprečno vsebnost C-14 v atmosferskem CO₂ med rastno sezono. C-14 tako vstopa v prehranjevalno verigo, s tem pa se lahko poveča dozna obremenitev lokalnega prebivalstva zaradi ingestije. Vpliv jedrske elektrarne na povišanje aktivnosti C-14 v rastlinstvu oziroma hrani se določa tako, da se aktivnosti C-14 v rastlinju z neposredne okolice elektrarne primerjajo s tistimi s kontrolnega področja, to je področja, ki je tako oddaljeno od vira radioaktivnosti, da neposrednih vplivov ni več mogoče najti.

Doza pri C-14 se nanaša na hrano in ne na posamezne vrste hrane, saj se specifične aktivnosti C-14 v raznih vrstah sadja ali zelenjave ne razlikujejo. Tudi hrana živalskega izvora ima tako enako specifično aktivnost, če se živali prehranjujejo z rastlinami iz okolice NEK. Treba se je zavedati, da je C-14 del organskih molekul v organizmih, medtem ko drugi radionuklidi (Cs-137, K-40 ...) ne spadajo med strukturne elemente.

ZNAČILNOSTI VZORČEVANJA IN MERITEV

Vzorčevanje živil v okolici Nuklearne elektrarne Krško poteka na mestih, ki imajo podobno sestavo tal kot tista pri vzorčevanju 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 odvezemajo vedno na istem mestu, če je le mogoče. Na primer v Vrbini, Bregah in Spodnjem Starem Gradu se hrana prideluje le za potrebe radiološkega nadzora. Odvzemna mesta vzorcev hrane v letu 2016, ki so označena na priloženem zemljevidu na koncu poročila, so bila: sadovnjak ob NEK



(sadje), Pesje (mleko, zelenjava), Spodnja in Zgornja Pohanca (sadje), Brege (meso, mleko, zelenjava), Vihre (mleko, zelenjava), Vrbinja (jajca, zelenjava, žito), Spodnji Stari Grad (meso, jajca, zelenjava), Žadovinek (zelenjava), Trnje (zelenjava), Krško (zelenjava), Leskovec (meso), Libna (grozdje). V letu 2016 je bilo v okolici NEK skupno vzorčenih 32 vrst živil. Namesto vina smo v letu 2016 vzorčevali in analizirali dve vrsti grozdja.

V vzorcih živil so bile izmerjene specifične aktivnosti sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG) in vsebnost Sr-90/Sr-89 z radiokemijsko metodo. Vzorcevanje, meritve in analize vseh vzorcev živil so bile opravljene na IJS in ZVD. Rastlinski vzorci živil, razen žit, so bili pred analizami 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 detektiramo v izpustih NEK, je v hrani C-14, ki pa se pojavlja v okolju tudi naravno. Meritve vsebnosti C-14 v rastlinskih vzorcih, vzorčenih v juniju in septembru 2016 ob ograji NEK (notranji krog), v bližnji okolici NEK (zunanji krog) in na kontrolni točki v Dobovi, so bile opravljene na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu. Specifična aktivnost C-14 je bila izmerjena v jabolkih, ječmenu, koruzi, pšenici in repici.

Pokritost domače proizvodnje hrane s potrošnjo, tj. stopnja samooskrbe, je v Sloveniji za živalske proizvode precej višja kot za rastlinske proizvode. V letu 2012 je bila pokritost za žita 70 %, zelenjavo 34 %, krompir 55 %, jajca 92 % in meso 83 %. Po podatkih o rabi zemljišč in stopnji samooskrbe v Sloveniji lahko predvidevamo, da tudi prebivalci na krško-brežiškem območju večino hrane kupijo. Kupljena hrana tako prihaja iz drugih območij v Sloveniji oziroma iz uvoza (večji del). Republiški program nadzora radionuklidov v hrani predvideva vzorcevanje 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 dobijo zaradi uživanja hrane. Zato je letna učinkovita doza zaradi ingestije izračunana ob predpostavki, da prebivalci uživajo le hrano, pridelano na krško-brežiškem področju. Pri izračunu doze, prejete zaradi C-14, pa se upošteva, da prebivalci uživajo hrano iz notranjega kroga NEK dva meseca v letu, drugih 10 mesecev pa hrano od drugod [18], [19].

REZULTATI MERITEV

Tabele z merskimi rezultati so na priloženi zgoščenci v poročilu *Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2016, IJS-DP-12291*, marec 2017.

Rezultati meritev vzorcev hrane so prikazani v tabelah T-61 (mleko - Pesje), T-62 (mleko - Vihre), T-63 (mleko - Brege), T-64 (I-131 v vzorcih mleka), T-65, T-66, T-67 (sadje – jabolka, hruške, jagode), T-68 (rdeče in belo grozdje, bezeg), T-69 do T-73 (podzemna zelenjava (korenovke): krompir, korenje, črna redkev, rdeča pesa, čebula; listna zelenjava - solata, zelje, radič, peteršilj; plodovke - paprika, paradižnik, feferoni, bučke, jajčevci, fižol, stročji fižol, kumare; žita - pšenica, koruza, ječmen) T-74, 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 le Cs-137 in Sr-90/Sr-89. Ker Sr-89 ni bil izmerjen v 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, korenovke, listna zelenjava, plodovke, žita in sadje), vzorčenih drugod po Sloveniji. Slednje meritve je izvedel ZVD. Vzorcevana so bila naslednja živila: mleko; sadje - jagode, češnje, breskve, marelice, jabolka in gozdne borovnice; podzemna zelenjava – krompir, korenje; listna zelenjava – solata; plodovke – fižol, paradižnik; žita in kruh - pšenica, koruza, ječmen; jajca in meso (kokošja jajca, kokošje, svinjsko in goveje meso, postrvi ter divjačina).

Rezultati meritev C-14 v hrani so v poročilu *Izveščje o mjenjenjima aktivnosti ¹⁴C u okolišu Nuklearne elektrarne Krško tijekom 2016. godine*, IRB-LNA 7/2017, Institut Ruđer Bošković, Hrvaška [23].



Umetni radionuklidi

Radioaktivni izotop cezija (Cs-137) in radioaktivni izotop stroncija (Sr-90) sta prisotna kot kontaminacija v vrhni plasti zemlje zaradi jedrskih poskusov v preteklosti in nesreče v Černobilu, detektirana pa sta tudi v izpustih NEK. Izotop Cs-137 je bil v letu 2016 tako v okolici NEK kot drugod po Sloveniji detektiran v vseh skupinah vzorčevanih živil. Belo in rdeče grozdje je bilo vzorčevano samo v okolici NEK (slika 6.1). Meritve drugod po Sloveniji je izvedel ZVD.

Specifična aktivnost Cs-137 v živilih v okolici NEK je od 0 Bq/kg do 0,2 Bq/kg in je primerljiva s specifično aktivnostjo Cs-137 v živilih, vzorčevanih drugod po Sloveniji, ki je od 0,06 Bq/kg do 0,2 Bq/kg [13], če ne upoštevamo divjačine. V divjačini (srna) iz Dolenjske (struge) je bila specifična aktivnost Cs-137 ($3,7 \pm 0,1$) Bq/kg. Podatki so prikazani v tabeli 6.1.

Iz tabele 6.1 je razvidno, da na osnovi vsebnosti Cs-137 lahko živila zberemo v tri skupine, in sicer: največjo vsebnost Cs-137 najdemo v mesu, podzemni zelenjavi in žitu, sledijo listna zelenjava, mleko in plodovke ter sadje in vino. Celotna slika je podobna kot pred letom 2016. V okolici NEK je največ Cs-137 v mesu, drugod po Sloveniji pa v mesu, žitu in sadju.

Tabela 6.1: Aritmetične sredine specifičnih aktivnosti Cs-137 (Bq/kg) po skupinah živil enkratno vzorčevanih živil v letu 2016 v okolici NEK in drugod po Sloveniji. 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 tabeli so tako prikazane aritmetične sredine čez vse vzorce v okviru nadzora radioaktivnosti za celo leto 2016.

Območje vzorčevanja	Okolica NEK	Republika Slovenija
Skupina živil	Specifična aktivnost Cs-137 (Bq/kg)	
meso in jajca od-do	8,7E-02 ± 2E-02 2,79E-02 - 2,0E-01	7,8E-01 ± 4E-02 2,00E-02 - 3,7E+00
mleko od-do	2,6E-02 ± 2E-03 1,8E-02 - 3,7E-02	4,8E-02 ± 5E-03 2,8E-02 - 4,1E-02
korenovke od-do	4,4E-02 ± 6E-03 7,00E-03 - 1,4E-01	6,4E-02 ± 5E-03 3,20E-02 - 9,6E-02
listna zelenjava od-do	1,8E-02 ± 1E-02 3,25E-03 - 2,9E-02	3,1E-02 ± 6E-03 3,10E-02 - 3,1E-02
plodovke od-do	2,7E-02 ± 3E-02 9,50E-03 - 7,5E-02	6,9E-02 ± 1E-02 5,70E-02 - 8,1E-02
žita od-do	4,8E-02 ± 1E-02 2,75E-02 - 7,5E-02	1,3E-01 ± 5E-03 5,00E-02 - 1,9E-01
sadje od-do	9,7E-05 ± 2E-03 0,00E+00 - 2,9E-04	1,0E-01 ± 5E-03 6,00E-03 - 2,0E-01
vino/grozdje od-do	0,0E+00 ± 0E+00 0,00E+00 - 0,0E+00	- - - -
skupaj - vsi število živil	3,5E-02 ± 2E-02 34	3,0E-01 ± 3E-02 18*

* Pri računanju aritmetične sredine 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 vzorčujejo. Če je bilo odvzetih več vzorcev iste vrste, je v tabeli poročana aritmetična sredina.



V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Cs-137 izmerjena v svinjskem mesu ($0,20 \pm 0,02$) Bq/kg, medtem ko je bila specifična aktivnost Cs-137 v jabolkih in hruškah, vzorčevanih v sadovnjaku v neposredni bližini NEK, $< 0,001$ Bq/kg. Če izvzamemo divjačino, je bila največja izmerjena specifična aktivnost Cs-137 v hrani, vzorčevani drugod po Sloveniji, v jagodah v Zdolah in sicer ($0,2 \pm 0,007$) Bq/kg.

Radionuklid Sr-90 je bil v okolici NEK v letu 2016 detektiran v vseh skupinah živil (tabela 6.2). Specifična aktivnost Sr-90 v živilih v okolici NEK je od 0 Bq/kg do 0,7 Bq/kg, specifična aktivnost Sr-90 v živilih, vzorčevanih drugod po Sloveniji, pa od 0,008 Bq/kg do 0,57 Bq/kg.

Živila se na osnovi vsebnosti Sr-90 zberejo v štiri skupine. V okolici NEK v skupino živil z večjo vsebnostjo Sr-90 spada hrana rastlinskega izvora, kot je žito, korenovke in listna zelenjava, sledijo plodovke in grozdje, nato mleko in sadje ter skupina živil živalskega izvora, kjer je povprečna specifična aktivnost Sr-90 najnižja. Pri vzorčenju drugod po Sloveniji pa se razvrstitev skupin živil po vsebnosti Sr-90 glede na vzorčevanje v okolici NEK precej razlikuje.

V okolici NEK so bile najvišje vrednosti detektirane v pšenici ($0,68 \pm 0,08$) Bq/kg, drugod po Sloveniji pa v fižolu ($0,57 \pm 0,08$) Bq/kg. Fižol je bil kupljen v Sloveniji, vendar je bil uvožen iz Kitajske.

Tabela 6.2: Aritmetične sredine specifičnih aktivnosti Sr-90 (Bq/kg) po skupinah živil enkratno vzorčevanih živil v letu 2016 v okolici NEK in drugod po Sloveniji. 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 tabeli sta tako prikazani aritmetični sredini čez vse vzorce v okviru izbranega nadzora radioaktivnosti za celo leto 2016.

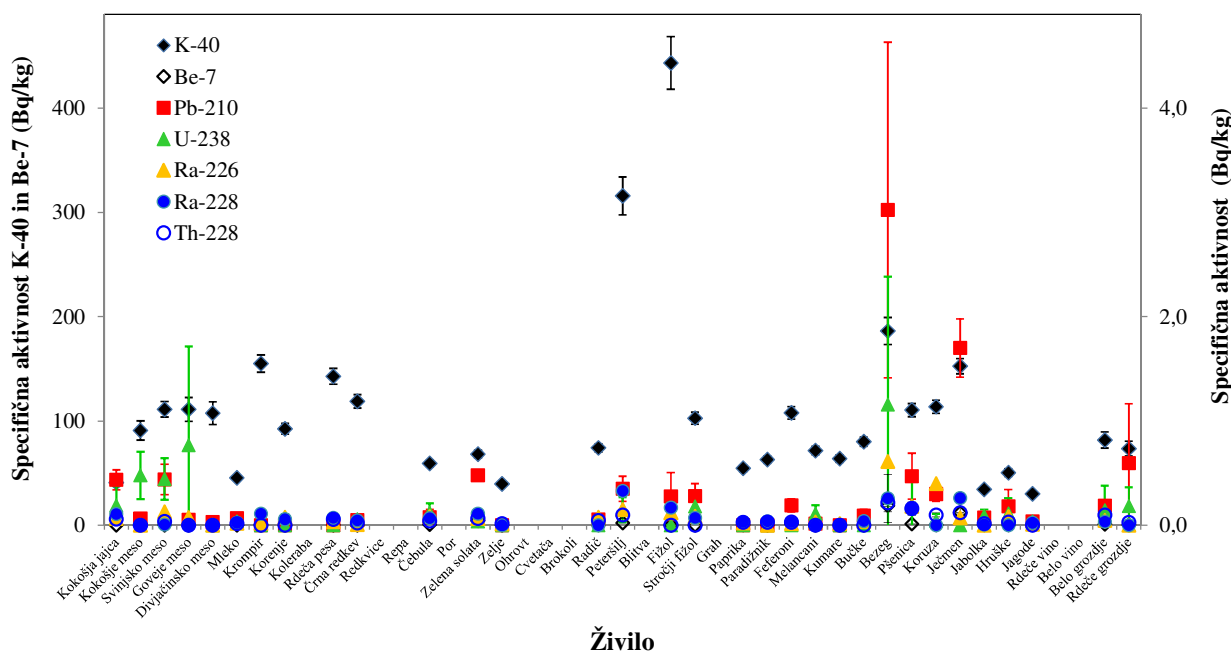
Območje vzorčevanja	Okolica NEK	Republika Slovenija
Skupina živil	Specifična aktivnost Sr-90 (Bq/kg)	
meso in jajca	$4,8E-03 \pm 2E-04$	$8,6E-02 \pm 1E-02$
od-do	$3,6E-03 - 6,9E-03$	$1,7E-02 - 2,8E-01$
mleko	$2,5E-02 \pm 4E-03$	$3,0E-02 \pm 2E-02$
od-do	$2,5E-02 - 2,6E-02$	$2,3E-02 - 4,8E-02$
korenovke	$2,4E-01 \pm 3E-02$	$7,1E-02 \pm 2E-02$
od-do	$3,8E-02 - 6,6E-01$	$2,8E-02 - 1,1E-01$
listna zelenjava	$2,4E-01 \pm 4E-02$	$2,3E-02 \pm 9E-03$
od-do	$6,2E-02 - 7,4E-01$	$2,3E-02 - 2,3E-02$
plodovke	$6,2E-02 \pm 2E-02$	$3,0E-01 \pm 6E-02$
od-do	$0,0E+00 - 1,7E-01$	$2,4E-02 - 5,7E-01$
žita	$3,1E-01 \pm 5E-02$	$1,4E-01 \pm 3E-02$
od-do	$1,1E-02 - 6,8E-01$	$7,0E-02 - 2,6E-01$
sadje	$2,1E-02 \pm 2E-03$	$1,2E-02 \pm 0E+00$
od-do	$1,8E-03 - 4,3E-02$	$7,7E-03 - 1,7E-02$
vino/grozdje	$5,1E-02 \pm 4E-03$	-
od-do	$5,0E-02 - 5,1E-02$	-
skupaj - vsi	$1,2E-01 \pm 3E-02$	$1,0E-01 \pm 3E-02$
	34	18*

* Pri računanju aritmetične sredine 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 vzorčujejo. Če je bilo odvzetih več vzorcev iste vrste, je v tabeli poročana aritmetična sredina.



Naravni radionuklidi

Med naravnimi radionuklidi v hrani, kamor pridejo po različnih prenosnih poteh iz zemlje, umetnih gnojil in zraka, je najbolj zastopan K-40, prisotni pa so tudi radionuklidi iz razpadnih vrst U-238 in Th-232. Njihove specifične aktivnosti v posameznih živilih vzorčevanih v okolici NEK, so prikazane na sliki 6.1. Največ omenjenih radionuklidov v splošnem vsebujejo žita, plodovke in listna zelenjava, najmanj pa mleko, meso in korenovke, kar je razvidno tudi iz tabele 6.3, kjer prikazujemo združene podatke iz programa obratovalnega nadzora radioaktivnosti v okolici NEK in tabele 6.4, kjer so združeni podatki iz programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS za leto 2016. To smo potrdili tudi s statistično obravnavo podatkov od 2010 do 2016 za živila, vzorčevana v okolici NEK (slika 6.5).



Slika 6.1: Izmerjene povprečne specifične aktivnosti naravnih radionuklidov (Bq/kg) v vzorčevanih živilih v letu 2016 v okolici NEK

V letu 2016 je bila specifična aktivnost K-40 v hrani, ki je bila pridelana na krško-brežiškem polju, od 30 Bq/kg (jagode) do 440 Bq/kg (fižol), v hrani, vzorčevani drugod po Sloveniji, pa so se specifične aktivnosti gibale od 31 Bq/kg (jabolka) do 472 Bq/kg (fižol). V skupino z večjo specifično aktivnostjo K-40 spadajo listna zelenjava, žita in grozdje, med živila z manjšo aktivnostjo K-40 pa mleko in sadje. Največ K-40 v letu 2016 je bilo v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, v žitu, plodovkah in listni zelenjavi, v hrani, vzorčevani drugod po Sloveniji, pa prav tako v plodovkah, žitu in podzemni zelenjavi. V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost K-40 izmerjena v fižolu (440 ± 30) Bq/kg, v hrani, vzorčevani po Sloveniji, pa tudi v fižolu (470 ± 30) Bq/kg.

Od naravnih radionuklidov k letni efektivni dozi zaradi uživanja hrane največ prispeva Pb-210 (60 %). Največ Pb-210 je bilo v letu 2016 v okolici NEK v žitih, listni zelenjavi, plodovkah, mesu in grozdju, drugod po Sloveniji pa je bilo podobno. Najmanjše specifične aktivnosti pa so bile izmerjene v podzemni zelenjavi in mleku. V posameznih živilih v okolici NEK je bila najvišja specifična aktivnost Pb-210 izmerjena v bezgu (plodovke) (3,0 ± 2,0) Bq/kg, v živilih, vzorčevanih po Sloveniji, pa v ječmenu (0,74 ± 0,30) Bq/kg.


Tabela 6.3: Povprečne specifične aktivnosti (Bq/kg) naravnih radionuklidov v vzorčenih skupinah živil v letu 2016 v okolici NEK

Radionuklid	K-40	Pb-210	U-238	Ra-226	Ra-228	Th-228	Be-7
Skupina živil	Povprečna specifična aktivnost (Bq/kg)						
Meso in jajca	9,2E+01	2,0E-01	3,8E-01	5,3E-02	2,3E-02	1,9E-02	1,2E-02
mleko	4,5E+01	6,8E-02	3,6E-02	1,8E-02	2,3E-02	1,5E-02	0,0E+00
korenovke	1,1E+02	2,5E-02	3,5E-02	4,3E-02	7,0E-02	2,3E-02	1,8E-01
listna zelenjava	1,2E+02	2,2E-01	4,7E-02	7,6E-02	1,1E-01	5,7E-02	1,7E+00
plodovke	1,3E+02	4,3E-01	1,6E-01	1,0E-01	7,1E-02	3,4E-02	2,3E+00
žita	1,3E+02	8,2E-01	7,7E-02	2,2E-01	1,4E-01	1,3E-01	4,4E+00
sadje	3,8E+01	9,7E-02	8,0E-02	3,1E-02	9,9E-03	1,6E-02	3,6E-01
vino/grozdje	7,8E+01	3,9E-01	1,6E-01	2,3E-02	1,7E-02	6,1E-02	6,9E-01

Tabela 6.4: Povprečne specifične aktivnosti (Bq/kg) naravnih radionuklidov v vzorčenih skupinah živil v letu 2016 drugod po Sloveniji

Radionuklid	K-40	Pb-210	U-238	Ra-226	Ra-228	Th-228	Be-7
Skupina živil	Povprečna specifična aktivnost (Bq/kg)						
Meso in jajca	7,7E+01	5,9E-02	4,8E-02	4,7E-02	1,8E-02	1,0E-01	0,0E+00
mleko	4,9E+01	6,4E-02	6,0E-02	1,0E-02	1,3E-02	2,1E-02	0,0E+00
korenovke	1,1E+02	2,7E-02	0,0E+00	2,7E-02	6,0E-02	0,0E+00	0,0E+00
listna zelenjava	9,0E+01	3,9E-01	1,6E-01	1,0E-01	9,0E-02	8,9E-02	4,1E+00
plodovke	2,7E+02	2,4E-01	5,5E-02	6,1E-02	1,2E-01	1,2E-01	0,0E+00
žita	1,2E+02	2,8E-01	5,3E-02	7,0E-01	2,1E-01	0,0E+00	2,6E+00
sadje	3,1E+01	1,8E-01	6,5E-02	1,5E-01	1,6E-01	1,4E-01	4,2E-02
vino/grozdje	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6.5: Povprečne vsebnosti merjenih radionuklidov (Bq/kg) v živilih, vzorčenih v okolici NEK in drugod po Sloveniji v letu 2016

Program nadzora radioaktivnosti	Okolica NEK	Republika Slovenija
Skupina živil	Specifična aktivnost (Bq/kg)	
Cs-137	3,5E-02 ± 2E-02	3,0E-01 ± 3E-02
Sr-90	1,2E-01 ± 3E-02	1,0E-01 ± 3E-02
K-40	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00
Pb-210	3,0E-01 ± 3E-01	1,5E-01 ± 9E-02
U-238	1,4E-01 ± 3E-01	5,4E-02 ± 5E-02
Ra-226	7,9E-02 ± 9E-02	1,8E-01 ± 2E-02
Ra-228	6,4E-02 ± 5E-02	9,2E-02 ± 3E-02
Th-228	4,1E-02 ± 2E-02	7,0E-02 ± 3E-02
Be-7	1,4E+00 ± 2E-01	7,5E-01 ± 1E-01



Specifična aktivnost U-238 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 1,2 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0 Bq/kg do 0,2 Bq/kg. Specifična aktivnost Ra-226 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 0,6 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0,02 Bq/kg do 1,4 Bq/kg. Specifična aktivnost Ra-228 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 0,3 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0,02 Bq/kg do 0,4 Bq/kg. Specifična aktivnost Th-228 je bila v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, od 0 Bq/kg do 0,2 Bq/kg, drugod po Sloveniji pa od 0 Bq/kg do 0,4 Bq/kg.

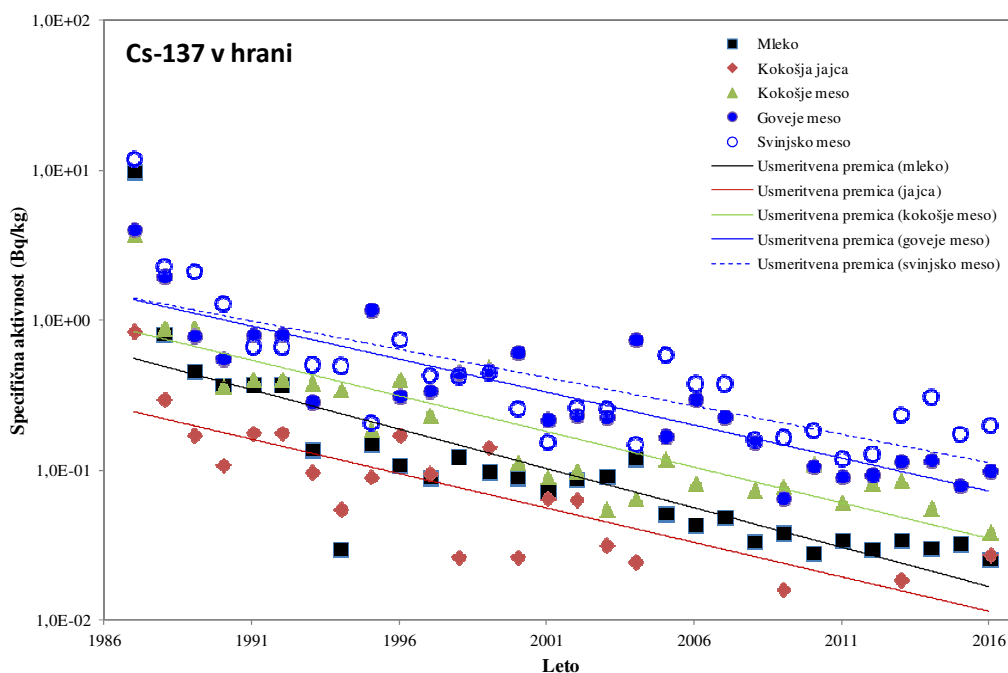
Povprečne specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v živilih, vzorčevanih v okolici NEK, so primerljive s tistimi drugod po Sloveniji (tabela 6.5).

Med naravne radionuklide v hrani spada tudi C-14, hkrati pa je C-14 merljiv tudi v izpustih NEK. C-14 se v hrano rastlinskega izvora asimilira predvsem kot CO₂ v procesu fotosinteze. Specifična aktivnost C-14 je bila v okolici NEK v letu 2016 izmerjena v jabolkih, ječmenu, koruzi, pšenici in repici, in sicer v juniju in septembru. Povprečne vsebnosti C-14 v živilih, vzorčevanih v okolici NEK (na razdalji do 1 km od osi reaktorja), so bile septembra (pred začetkom remonta) največje na ograji NEK (254 ± 6) Bq na kilogram ogljika, sledi zunanji krog (238 ± 6) Bq na kilogram ogljika, na kontrolni točki v Dobovi pa so živila vsebovala (230 ± 4) Bq na kilogram ogljika. V juniju so bile povprečne vsebnosti C-14 v živilih ob ograji NEK, zunanjem krogu in Dobovi, v okviru negotovosti povprečja, enake.

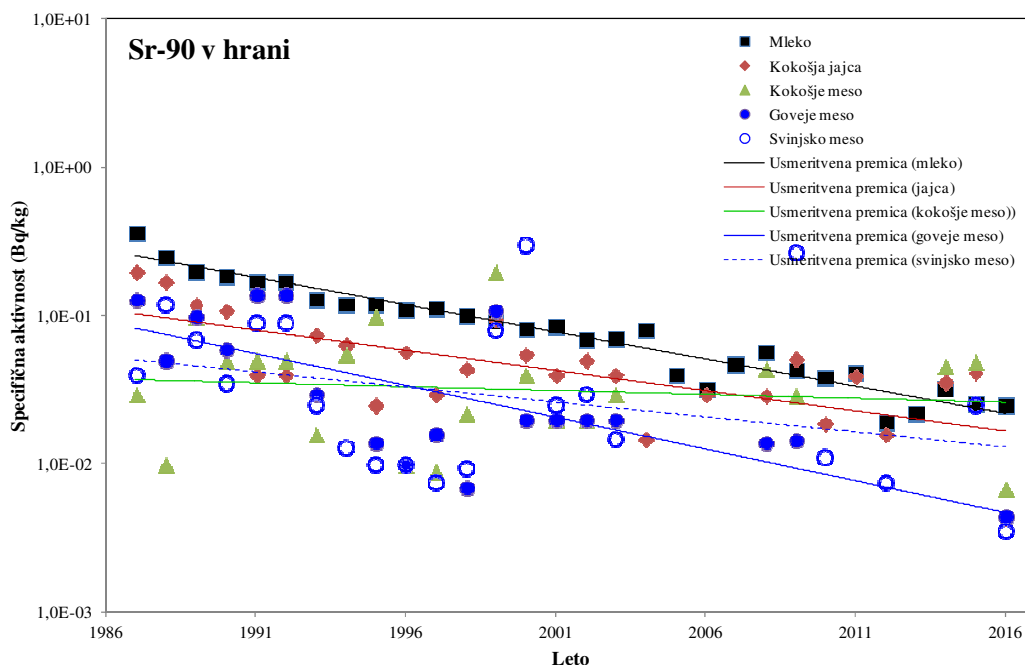
VEČLETNE USMERITVE IN DISKUSIJA

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 200-krat, specifična aktivnost Sr-90 pa se je v enakem obdobju v mleku znižala za faktor 10 (slika 6.3). 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 6.3), medtem ko nesreča v Fukušimi marca 2011 ni vplivala na povišanje specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v hrani v Sloveniji. 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 [69]. Ta proces in pronicanje atomov Cs-137 globlje v zemljo z leti, zmanjšujeta dostopnost Cs-137 rastlinam. Tako v manjšem številu vstopajo v prehransko verigo človeka. To lahko podkrepimo, če povprečnim specifičnim aktivnostim Cs-137 v živilih živalskega izvora po letih, narišemo usmeritvene premice. 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 6.3). Statistično stresanje 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 nižji od fizikalnega razpolovnega časa Sr-90 28,8 let.

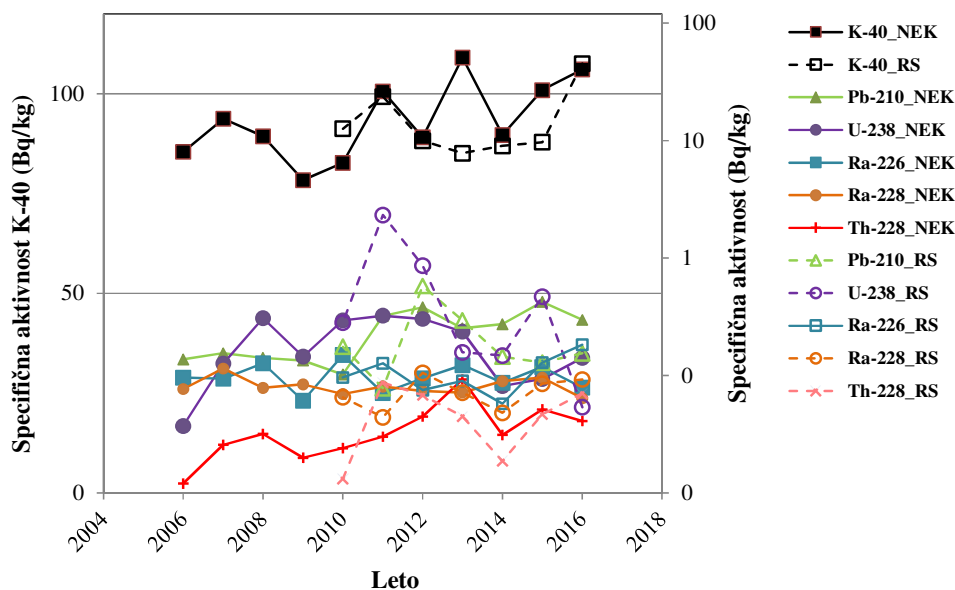
Kljub omenjenim težnjam, pa v živilih, vzorčevanih v gozdnih ekosistemih po Sloveniji, še vedno lahko ugotavljamo, v primerjavi z živili, vzorčevanimi v agrikulturnih ekosistemih, značilno višje specifične aktivnosti Cs-137. V letu 2016 nismo zaznali povišane specifične aktivnosti Cs-137 v divjačini, borovnicah in gobah ter drugih primerljivih vzorcih, kot je bilo to primer v letu 2015 (gobe cigančki, borovnice, divjačina), in kot je bilo ugotovljeno v raziskovalnih študijah, da je bila v gobah iz skupine koprenk, vzorčevanih v letih 2010–2011, specifična aktivnost Cs-137 tudi do 3 240 Bq/kg (*Rozites caperata* - pšenična koprenka ali ciganček) [72], v gozdnih tleh pa so se vrednosti Cs-137 gibale do 812 Bq/kg (Ljubljana Rožnik).



Slika 6.2: Izmerjene specifične aktivnosti Cs-137 v mleku, kokošjih jajcih ter kokošjem, govejem in svinjskem mesu, vzorčevanih v okolici NEK, od leta 1987 do 2016. Vrednosti so prikazane v logaritmski 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 vzorčevano.



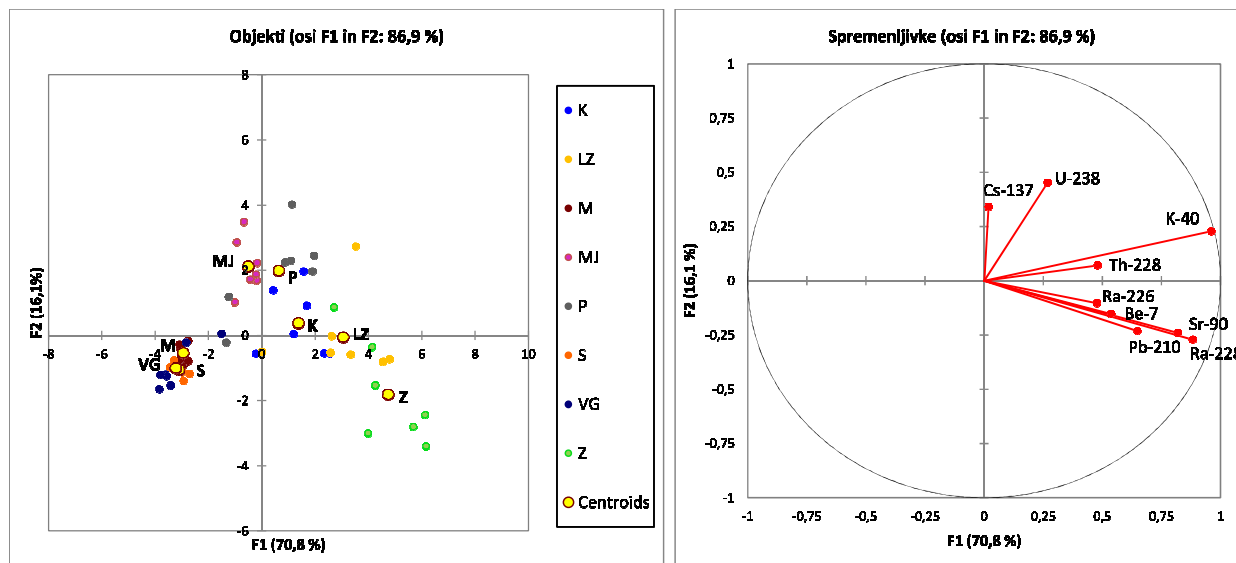
Slika 6.3: Izmerjene specifične aktivnosti Sr-90 od leta 1987 do 2016 v mleku, kokošjih jajcih ter kokošjem, govejem in svinjskem mesu, vzorčevanih v okolici NEK. V letih 2004–2007 in 2011–2013 so bile izmerjene specifične aktivnosti v kokošjem, govejem in svinjskem mesu pod mejo detekcije, v svinjskem mesu pa tudi leta 2008. V kokošjih jajcih pa je bila izmerjena specifična aktivnost Sr-90 pod mejo detekcije v letih 2005, 2007 in 2013.



Slika 6.4: Povprečne izmerjene specifične aktivnosti (Bq/kg) naravnih radionuklidov v hrani, vzorčevani v okolici NEK, po letih od 2006 do 2016 ter drugod po Sloveniji v letih od 2010 do 2016

Vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov v hrani z leti nihajo. V letu 2016 so izmerjene specifične aktivnosti naravnih radionuklidov v hrani iz okolice NEK primerljive s tistimi iz preteklih let in pa s tistimi, izmerjenimi v letih od 2010 do 2016 drugod po Sloveniji (slika 6.4).

Dodatno smo s programsko opremo XL-STAT [73] statistično obdelali podatke od leta 2010 do 2016 za živila vzorčevana v okolici NEK. Z multivariacijsko diskriminantno analizo (DA) poiščemo tako linearno kombinacijo merjenih spremenljivk, da bo maksimalno med seboj ločila vnaprej določene skupine objektov (vzorcev). Pri tej statistični tehniki torej gre za iskanje tistih razsežnosti, ki kar najbolj pojasnjujejo razlike med skupinami. V našem primeru skušamo pojasniti in poiskati razlike med različnimi skupinami hrane (mleko, listnata zelenjava, korenovke itd.) na osnovi linearne kombinacije merjenih specifičnih aktivnosti radionuklidov. Med seboj smo primerjali 7 skupin (vrst) hrane (korenovke, listnato zelenjavo, mleko, mleko in jajca, plodovke, sadje, vino in grozdje, žita) in iskali optimalno linearno kombinacijo spremenljivk (K-40, Th-228, U-238, Cs-137, Ra-226, Ra-228, Be-7, Sr-90), ki skuša med seboj najbolj ločiti omenjene skupine. Na sliki 6.5 je rezultat modeliranja z DA. Vidimo lahko, da se dobro loči skupina, ki vsebuje sadje, vino in grozdje ter mleko od vseh drugih skupin, ki jih sestavljajo tri združene skupine: 1 (meso in jajca, plodovke), 2 (korenovke in listnata zelenjava) in 3 (žita). To pomeni, da so vrste hrane iz združenih skupin tudi med seboj podobne po specifični aktivnosti radionuklidov. Najbolj vplivni parametri za omenjeno ločitev v DA modelu v 1 diskriminantni funkciji (F1) so K-40, Sr-90 in Ra-228 in v drugi diskriminantni funkciji (F2) Pb-210, K-40 in U-238. Pri pregledu grafikona korelacije izvornih spremenljivk – parametrov specifičnih aktivnosti radionuklidov z F1, sta najdaljša vektorja parametrov K-40 in Ra-228, kar pomeni da sta njihovi vrednosti najvišji v skupinah hrane, ki so na desni strani slike 6.5, torej žita > listnata zelenjava > korenovke. Z F2 najbolj korelirata parametra U-238 in Cs-137. To pomeni, da so njuni vrednosti najvišji v skupinah meso in jajca in plodovke, medtem ko so v skupinah v spodnjem delu grafikona najnižje (obratna korelacija v obratni smeri omenjenih dveh vektorjev parametrov).



Slika 6.5: Razsevni grafikon v ravnini prvih dveh diskriminantnih funkcij, dobljenih pri diskriminantni analizi specifičnih aktivnosti devetih parametrov radionuklidov (glej desni grafikon parametrov) na 56 vzorcih hrane od tega po 7 vzorcev korenovk (K), listnate zelenjave (LZ), mleka (M), mesa in jajc (MJ), plodovk (P), sadja (S), vina ter grozdja (VG) in žita (Z), vzorčevanih v letih od 2010 do 2016 v okolici NEK. Prva diskriminantna funkcija pojasni 70,8 % celotne variance, druga pa 16,1 %.

OCENA VPLIVOV

Oceno doznih obremenitev prebivalstva zaradi uživanja 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)*):

$$E_{50-70,i} = a_i h(g)_i m_i \quad \mu\text{Sv} \quad (6.1)$$

Celotna predvidena efektivna doza pri uživanju hrane je vsota posameznih prispevkov doz ob zaužitju posamezne vrste hrane. Podatki za letno porabo posamezne vrste hrane so prikazani v tabeli 6.6, za skupine živil pa v tabeli 6.7. Podatki temeljijo na povprečni količini nabavljenih živil in pijač na člana gospodinjstva, ki jo je pripravil Statistični urad Republike Slovenije za leto 2012. Podatki iz tabele 6.7 so bili osnova za izračun doz, prejetih tako v okolici NEK, kot drugod po Sloveniji, pri čemer so bile upoštevane povprečne specifične aktivnosti živil posamezne skupine, ki jih je izmeril ZVD. Pri oceni sevalne obremenitve prebivalcev v okolici NEK smo predpostavili, da prebivalci uživajo le hrano, pridelano na krško-brežiškem področju, pri oceni sevalne obremenitve prebivalcev drugod po Sloveniji pa smo predpostavili, da prebivalci uživajo hrano s celotnega območja Slovenije.


Tabela 6.6: Okvirna poraba posameznih živil na člana gospodinjstva v Sloveniji v letu 2012 [71]

Živilo	Količina (kg)	Živilo	Količina (kg)
Kokošja jajca	6,3	Kumare	1,5
Kokošje meso	10	Paprika	3,4
Svinjsko meso	9,7	Paradižnik	7,8
Goveje meso	6,0	Feferoni*	1,0
Divjačinsko meso*	1,0	Jajčevci	2,0
Mleko	54,1	Ohrovt	1,0
Krompir	25,1	Fižol	1,5
Korenje	3,3	Pšenica	64,6
Črna redkev	1,0	Koruza	5,0
Rdeča pesa	3,0	Ječmen	2,0
Čebula	6,7	Jabolka	15,7
Zelena solata	8,3	Hruške	3,1
Zelje	6,7	Jagode	3,0
Radič	3,0	Bezeg*	1,0
Blitva	2,0	Rdeče vino	2,0
Peteršilj	1,0	Belo vino	8,9
Grozdje*	5,0		

* Poraba je ocena avtorjev evalvacije.

Tabela 6.7: Okvirna poraba živil po skupinah na člana gospodinjstva v Sloveniji v letu 2012 [71]

Živilo	Količina (kg)
Jajca in meso	33,0
Mleko	54,1
Podzemna zelenjava	40,1
Listna zelenjava	21,0
Plodovke	20,0
Žita	71,6
Sadje	21,8
Vino/grozdje*	10,9

* Poraba je ocena avtorjev evalvacije.

Pri izračunu doze, prejete zaradi C-14 v okolici NEK, smo prav tako privzeli, da prebivalci uživajo hrano s krško-brežiškega področja, vendar smo v izračunu upoštevali, da se prehranjujejo s hrano iz okolice NEK dva meseca v letu, drugih deset mesecev pa s hrano od drugod (Dobova). 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. Tudi hrana živalskega izvora ima tako enako specifično aktivnost, če se živali prehranjujejo z rastlinami iz okolice NEK. Treba se je zavedati, da je C-14 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 učinkovita doza za odrasle osebe ob zaužitju vseh vrst vzorčevane hrane zaradi prisotnosti radionuklidov Cs-137, Sr-90, Pb-210, U-238, Ra-226, Ra-228 in Th-228 v letu 2016 v okolici NEK (73 ± 11) μSv , z upoštevanjem K-40 pa (215 ± 12) μSv . Če računamo dozo po skupinah živil, dobimo v 99 μSv , če ne upoštevamo K-40 in 270 μSv , če omenjeni radionuklid upoštevamo. Razlike v skupnih dozah se pojavljajo predvsem zaradi razlik v dozah, prejetih zaradi naravnih radionuklidov, kot



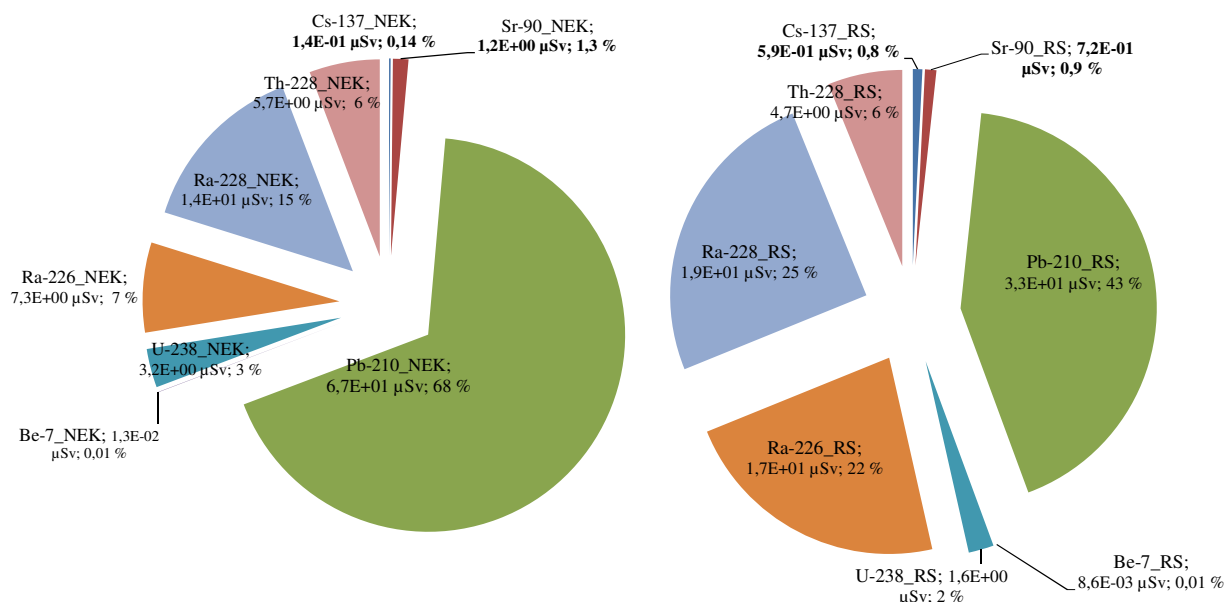
so K-40, Pb-210, U-238 in Ra-228, dodatno pa še iz vsote porabe živil v skupinah korenovk, plodovk in listne zelenjave. Drugod po Sloveniji je bila učinkovita doza odrasle osebe zaradi ingestije brez K-40 (33 ± 3) μSv , z upoštevanjem K-40 pa (150 ± 4) μSv . Če računamo doze iz porabe po skupinah živil, dobimo 76 μSv oziroma 250 μSv . V nadaljevanju obravnavamo doze, izračunane po skupinah živil.

Prispevki posameznih radionuklidov k učinkoviti dozi za odraslo osebo v letu 2016 v okolici NEK in drugod po Sloveniji so prikazani na sliki 6.6 levo, pri čemer ni upoštevana doza, prejeta zaradi K-40. K skupni učinkoviti dozi brez upoštevanja K-40 je v okolici NEK največ prispeval Pb-210 (68 %), sledijo Ra-228 (15 %), Ra-226 (7 %), Th-228 (6 %), U-238 (3 %), Sr-90 (1,3 %) in Cs-137 (0,14 %). Drugod po Sloveniji (slika 6.6 desno) je k skupni učinkoviti dozi brez upoštevanja K-40 ravno tako največ prispeval Pb-210 (43 %), Ra-228 (25 %), Ra-226 (22 %), Th-228 (6 %), U-238 (2 %), Sr (0,9 %) in Cs (0,8 %). Deleži radionuklidov so primerljivi z letom 2015, manjši izjemi sta le Ra-226 in U-238 v hrani iz republiškega programa.

Umetni radionuklidi

Skupna letna učinkovita doza zaradi vsebnosti Cs-137 v hrani je bila v letu 2016 v okolici NEK 0,14 μSv , drugod po Sloveniji pa 0,6 μSv . Skupna učinkovita doza zaradi vsebnosti Sr-90 v hrani pa je bila v letu 2016 v okolici NEK 1,2 μSv , drugod po Sloveniji pa 0,7 μSv . V okolici NEK je bil delež letne učinkovite doze zaradi umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 pri uživanju hrane 1,4 % (0,14 % je delež Cs-137 in 1,3 % je delež Sr-90) glede na celotno prejeto učinkovito dozo (99 μSv brez upoštevanja K-40). Drugod po Sloveniji pa je bil delež letne učinkovite doze zaradi umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 pri uživanju hrane 1,7 % (0,8 % je delež Cs-137 in 0,9 % je delež Sr-90) glede na celotno prejeto učinkovito dozo (93 μSv brez upoštevanja 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 1,4 μSv in drugod po Sloveniji 1,3 μSv , je najbolj prispevalo prehranjevanje z žiti ter mesom in jajci (Cs-137) in žiti (Sr-90) (tabela 6.8).



Slika 6.6: *Levo:* Prispevki posameznih radionuklidov k skupni učinkoviti dozi (μSv), izračunani za odraslo osebo zaradi radionuklidov v hrani a) v okolici NEK v letu 2016; *desno:* drugod po Sloveniji v letu 2016. Doze so bile izračunane za skupine živil. Skupna učinkovita doza zaradi radionuklidov v hrani brez upoštevanja K-40 je bila v okolici NEK v letu 2016 99 μSv , drugod po Sloveniji pa 76 μSv .



Tabela 6.8: Izračunane efektivne doze (μSv) za odraslo osebo zaradi Cs-137 in Sr-90 v različnih skupinah živil, vzorčevanih v okolici NEK in drugod po Sloveniji. Skupna efektivna doza zaradi s Cs-137 in Sr-90 v hrani je bila v okolici NEK v letu 2016 $1,4 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $1,3 \mu\text{Sv}$.

Program nadzora radioaktivnosti	Okolica NEK	Republika Slovenija
Skupina živil	Efektivna doza (μSv)	
Meso in jajca	4,2E-02	4,1E-01
mleko	5,6E-02	7,8E-02
korenovke	3,4E-01	1,3E-01
listna zelenjava	2,0E-01	3,0E-02
plodovke	4,9E-02	2,2E-01
žita	6,6E-01	4,0E-01
sadje	1,3E-02	3,7E-02
vino/grozdje	3,0E-02	-
Vsota	1,4E+00	1,3E+00

V zračnih izpustih, ki jih v okolje spušča NEK, sta tudi Cs-137 in Sr-90. Celoletni izpust v letu 2016 je bil za Cs-137 $0,7 \text{ MBq}$ in za Sr-90 $1,2 \text{ kBq}$. V vzorcih jabolk in hrušk iz neposredne bližine NEK (sadovnjak ob ograji) je bila vsebnost Cs-137 v letu 2016 $< 0,001 \text{ Bq/kg}$, vsebnosti Sr-90 pa $< 0,1 \text{ Bq/kg}$, kar je primerljivo z vsebnostmi v drugih živilih, vzorčevanih v okolici NEK in po Sloveniji. Zato ocenjujemo, da izpusti Cs-137 in Sr-90 iz NEK nimajo neposrednega vpliva na koncentracijo omenjenih radionuklidov v živilih.

V zračnih in tekočinskih izpustih NEK smo v letu 2016 in preteklih letih detektirali tudi naslednje umetne radionuklide, ki niso del globalne kontaminacije: Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Nb-95, Zr-95, Ag-110m, Ru-103, Te-125m in I-131, vendar so bile koncentracije aktivnosti teh radionuklidov v okolju tako nizke, da tudi v letu 2016 v živilih ti radionuklidi niso bili detektirani.

Poleg omenjenih radionuklidov ima pri vnosu naravnih radionuklidov v organizem pomembno težo tudi sevalec alfa Po-210. Iz poročila UNSCEAR [55] lahko razberemo, da je prispevek tega izotopa k celotni dozi zaradi uživanja hrane 64-odstoten ali $(70 \pm 40) \mu\text{Sv}$ na leto. Pri tem pa je treba poudariti, da je največ Po-210 v hranilih morskega izvora. Prispevka Po-210 k efektivni dozi zaradi uživanja živil s krško-brežiškega polja ni mogoče oceniti, saj se le-ta v okviru rednega radiološkega nadzora NEK ne določa.

Naravni radionuklidi

V splošnem se živila glede na prispevke k letni efektivni dozi zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov delijo v tri skupine (Tabela 6.9), pri čemer je v prvi skupini, ki prispeva največji delež k skupni dozi, žito, v drugi skupini so plodovke, listna zelenjava, meso in grozdje, v tretji skupini pa so korenovke, mleko in sadje.

Skupna letna efektivna doza zaradi K-40 je bila v letu 2016 v okolici NEK $170 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $170 \mu\text{Sv}$, kar je primerljivo. Količina kalija v telesu se uravnava homeostatsko, pri čemer se odvečne količine izločijo preko 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 ($2,6 \text{ E}+08 \text{ Bq/kg}$) in doznega pretvorbenega faktorja $3 \mu\text{Sv}$ na leto na Bq/kg je po podatkih UNSCEAR letna doza, ki jo prejmejo odrasli zaradi K-40 $165 \mu\text{Sv}$, letna doza, ki jo prejmejo otroci, pa $185 \mu\text{Sv}$. K vnosu K-40 v telo je v letu 2016 največ prispevalo prehranjevanje z žiti in podzemno zelenjavo, najmanj K-40 pa je bilo v sadju in vinu (tabela 6.9).



Tabela 6.9: Izračunane efektivne doze za odraslo osebo zaradi K-40, Pb-210, Be-7 U-238, Ra-226, Ra-228 in Th-228 (μSv) v različnih skupinah živil, vzorčevanih v okolici NEK in drugod po Sloveniji v letu 2016.

Program nadzora radioaktivnosti	Okolici NEK							Republika Slovenija						
	K-40	Pb-210	Be-7	U-238	Ra-226	Ra-228	Th-228	K-40	Pb-210	Be-7	U-238	Ra-226	Ra-228	Th-228
Skupina živil	Efektivna doza (μSv)													
Meso in jajca	1,8E+01	4,6E+00	1,1E-05	1,2E+00	4,9E-01	5,1E-01	2,3E-01	1,5E+01	1,3E+00	0,0E+00	1,6E-01	4,3E-01	4,1E-01	1,2E+00
mleko	1,5E+01	2,5E+00	0,0E+00	1,9E-01	2,7E-01	8,5E-01	2,9E-01	1,6E+01	2,4E+00	0,0E+00	3,2E-01	1,6E-01	4,8E-01	4,2E-01
korenovke	3,1E+01	8,0E-01	2,3E-04	1,6E-01	5,6E-01	2,2E+00	4,0E-01	3,0E+01	8,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	3,5E-01	1,9E+00	0,0E+00
listna zelenjava	2,2E+01	4,4E+00	1,4E-03	1,3E-01	6,2E-01	2,2E+00	6,0E-01	1,6E+01	7,8E+00	3,3E-03	4,6E-01	8,1E-01	1,8E+00	9,5E-01
plodovke	1,8E+01	7,0E+00	1,5E-03	3,8E-01	6,8E-01	1,1E+00	2,9E-01	3,8E+01	3,8E+00	0,0E+00	1,3E-01	4,0E-01	1,9E+00	1,0E+00
žita	5,4E+01	4,1E+01	8,9E-03	5,5E-01	4,3E+00	6,9E+00	3,3E+00	5,3E+01	1,4E+01	5,2E-03	3,8E-01	1,4E+01	1,0E+01	0,0E+00
sadje	5,0E+00	1,5E+00	2,2E-04	1,7E-01	1,9E-01	1,5E-01	1,3E-01	4,1E+00	2,7E+00	2,5E-05	1,4E-01	9,3E-01	2,3E+00	1,1E+00
vino/grozdje	9,7E+00	5,6E+00	4,0E-04	3,4E-01	1,4E-01	2,4E-01	4,7E-01	-	-	-	-	-	-	-

Skupna letna efektivna doza zaradi Pb-210 v hrani je bila v letu 2016 v okolici NEK $67 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $33 \mu\text{Sv}$, kar je v okviru stresanja podatkov primerljivo z referenčno vrednostjo UNSCEAR [55] in meritvami iz preteklih let. Prejeta doza zaradi Pb-210 po letih zelo variira (od $6,7 \mu\text{Sv}$ v letu 2010 do $88 \mu\text{Sv}$ v letu 2011). Pb-210 lahko prehaja iz tal v rastline preko koreninskega sistema, vendar se večina zadrži v koreninah in le slabo prehaja v nadzemne dele, sploh pa v semena in plodove. Vsebnost Pb-210 v nadzemnih delih je tako v večini posledica usedanja Pb-210 iz zraka. Usedline z rastlinskih organov lahko odstranimo s pranjem (predvsem zelenjava in sadje), v primeru trave (krme) in žit, ki jih pred uporabo ne peremo, pa je vsebnost tako povezana z različnimi okoljskimi dejavniki, kot so količina padavin, vetrovnost itd. Iz meritev v letu 2016 je razvidno, da je k letni dozi zaradi Pb-210 v hrani v okolici NEK največ prispevalo uživanje žit, plodovk in listne zelenjave, enako pa tudi drugod po Sloveniji (tabela 6.9).

Efektivna doza zaradi vsebnosti z U-238 v hrani je bila v letu 2016 v okolici NEK $3,2 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $1,6 \mu\text{Sv}$. K letni dozi, prejeti zaradi U-238, je najbolj prispevalo prehranjevanje z žiti in mesom (tabela 6.9). Efektivna doza zaradi vsebnosti Ra-226 v hrani je bila v okolici NEK $7,3 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $17 \mu\text{Sv}$, zaradi vsebnosti Ra-228 pa je bila v okolici NEK $14 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $19 \mu\text{Sv}$. K letni dozi, prejeti zaradi Ra-226 in Ra-228, je najbolj prispevalo prehranjevanje z žiti (tabela 6.9). 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 $3,7 \mu\text{Sv}$, drugod po Sloveniji pa $4,7 \mu\text{Sv}$, 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 najbolj prispevalo prehranjevanje z žiti (tabela 6.9).

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 kot posledica jedrskih reakcij zaradi kozmičnega sevanja. C-14 se v rastline vgrajuje v procesu fotosinteze, v živalski in človeški organizem pa prehaja z ingestijo predvsem rastlinske hrane. V letih od 2006 do 2016 so potekale meritve C-14 tako v izpustih kot bioloških vzorcih, zbranih v okolici NEK, analize pa so bile opravljene na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]. V letu 2016 je od 1. 10. 2016 do 4. 11. 2016 v NEK potekal remont. Vzorčevanje jabolk, ječmena, koruze, pšenice in repice je bilo opravljeno v juniju in v septembru. Doza zaradi prisotnosti C-14 v hrani je bila v okolici NEK (na razdalji do 1 km od osi reaktorja) ocenjena na $14,8 \mu\text{Sv}$, na kontrolni točki v Dobovi, kjer vpliva NEK ni, pa na $14,7 \mu\text{Sv}$, kar je primerljivo v okviru merske negotovosti in naravne variabilnosti. Glavni del ocenjene doze ($14,8 \mu\text{Sv}$) je prispevek naravnega C-14 in C-14 zaradi jedrskih poskusov v preteklosti, ki sta v razmerju 40 % proti 60 % [74].



Dozi 14,7 μSv in 14,8 μSv sta izračunani glede na podatek, da povprečen prebivalec v Sloveniji porabi 330 kg hrane na leto, kar je več kot predvideva 29. člen *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2)*, Uradni list RS 49/2004) [11], kjer se vzame 250 kg, če masa in sestava zaužite hrane za referenčno skupino prebivalstva ni znana. Iz tega izhaja, da je absolutna vrednost doze zaradi ingestije C-14 nižja. Ocena deleža ogljika je tako pri porabi 330 kg 30 %, kar pomeni, da se v organizmu zaradi ingestije hrane vnese 100 kg ogljika letno. Omenjeni model tudi predpostavlja, 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 doze zaradi C-14 upoštevamo, da prebivalci uživajo hrano, pridelano na krško-brežiškem področju (od ograje NEK 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 uteženo povprečje specifične aktivnosti C-14 glede na lokacijo vzorčevanja, za druge radionuklide pa zaradi različnega načina vzorčevanja to ni mogoče. 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 izraža razmerje med izotopoma v atmosferi.

SKLEPI

V letu 2016 je bilo opravljenih 32 meritev različnih vrst hrane in 36 vzorcev mleka iz okolice NEK. Zelenjavo, žita in sadje smo vzorčevali od junija do oktobra, od vzem mesa in jajc je bil v januarju, marcu in juliju, mleko pa je bilo vzorčevano mesečno. Nadzor vsebnosti v hrani drugod po Sloveniji so izvedli na ZVD v okviru programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS.

Ocenili smo, da je bila učinkovita doza za odraslo osebo v okolici NEK zaradi vsebnosti umetnih in naravnih radionuklidov v hrani, pridelani na krško-brežiškem polju v letu 2016, brez upoštevanja K-40, 99 μSv , z upoštevanjem K-40 pa 270 μSv . Največji delež k skupni učinkoviti ingestivni dozi, brez upoštevanja K-40, prispevajo naravni radionuklidi (99 %), kot so Pb-210 (68 %), Ra-228 (15 %), Ra-226 (7 %), Th-232 (6 %), in U-238 (3 %).

Delež letnih učinkovnih doz glede na celotno prejeto učinkovito dozo zaradi umetnih radionuklidov Cs-137 in Sr-90 pri uživanju hrane sta bila 0,14 % in 1,3 % (1,4 % skupne doze), kar je z biološkega vidika zanemarljivo. 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 manjšata. Manjšanje vsebnosti Cs-137 je, glede na rezultate meritev specifične aktivnosti v hrani po Sloveniji v prejšnjih letih in pa podatke iz diplomskega dela [72], manj izrazito v gozdnih ekosistemih.

Največji delež je k celotni dozi 270 μSv , prejeti zaradi vsebnosti naravnih radionuklidov v hrani in z upoštevanjem K-40, prispevalo prehranjevanje z žiti. Omenjeni rezultati se povezujejo z relativno večjo porabo kot pri drugih živilih. Glavni vir vnosa Cs-137 in Sr-90 sta bila v letu 2016 meso in žita.

Med detektiranimi radionuklidi v zračnih izpustih NEK so tudi drugi umetni radionuklidi, ki pa jih v hrani v letu 2016 nismo detektirali, zato vpliv zračnih izpustov NEK v hrani ni neposredno določljiv. Izračuni učinkovnih doz zaradi uživanja hrane, ki vsebuje umetne in naravne radionuklide, so pokazali, da je delež učinkovite doze v letu 2016 zaradi umetnih radionuklidov v hrani 1,0-odstoten glede na celotno učinkovito dozo zaradi vseh radionuklidov v hrani, kar je z biološkega vidika zanemarljivo. Od tod izhaja, da je prejeta učinkovita doza zaradi uživanja hrane v glavnini posledica vnosa naravnih radionuklidov. Posebej je očitno prispevek Pb-210, 67 μSv , ki pa je v okviru vrednosti nadzornih meritev v okolici NEK v preteklih letih.

Izračunane učinkovite doze v letu 2016 veljajo pri pogoju, da prebivalci uživajo 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 izraža razmerje v atmosferi. Pri oceni letne učinkovite doze bi bilo treba upoštevati delež samooskrbe prebivalcev, saj je iz podatkov o deležu samooskrbe 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 vzorčevanje hrane, pridelane v Sloveniji, medtem ko hrana, ki prihaja iz uvoza, ni analizirana na vsebnost radionuklidov. Podatki o vsebnosti radionuklidov v hrani iz uvoza niso znani in je zato težko oceniti dejanske doze, ki jih prebivalci dobijo zaradi uživanja hrane. Kot kažejo rezultati primerjave vsebnosti radionuklidov v hrani s krško-brežiškega območja s tistimi drugod po Sloveniji, vpliva delovanja NEK na vsebnost radionuklidov v hrani ni zaznati.

V oktobru 2016 je v NEK potekal redni letni remont. Meritve C-14 so bile v letu 2016 izvedene pri vzorcih jabolk, ječmena, koruze, pšenice in repice na Institutu Ruđer Bošković v Zagrebu, rezultati vsebnosti C-14 v omenjenih živilih in krmi kažejo pričakovano rahlo povišanje vsebnosti C-14 v notranjem in zunanem krogu NEK (oddaljenost od osi reaktorja je manjša od 1 km) glede na kontrolno točko v Dobovi, kjer vpliva NEK ni. Ocenjena letna efektivna doza zaradi ingestije hrane, pridelane izključno na razdalji do 1 km od osi reaktorja, je za 0,1 μSv (0,7 %) večja kot na kontrolni točki v Dobovi. Glavni del ocenjene doze (14,7 μSv ; Dobova) je prispevek naravnega C-14 in C-14 zaradi jedrskih poskusov v preteklosti. V okviru stresanja vrednosti je primerljiva z meritvami iz prejšnjih let, z biološkega vidika pa je zanemarljiva.

Edini radionuklid, ki ga sistematično merimo v okolju in je zagotovo vsaj delno posledica plinskih in tekočinskih izpustov NEK, je tritij (H-3), vendar njegove prisotnosti v hrani nismo ugotavljali.

Pokazali smo tudi, da lahko s statistično analizo dopolnimo informacijo o vsebnosti radionuklidov v živilih na krško-brežiškem polju in posamezne skupine živil ločimo med seboj.





7 REFERENCE

- [1] Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2015, interna oznaka 2/2016, Ljubljana, marec 2016
- [2] Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2014, interna oznaka 5/2015, Ljubljana, marec 2015
- [3] B. Zorko et al., *Značilnosti in ocena vplivov radioaktivnosti na prebivalstvo ob normalnem delovanju NEK*, ISBN 978-961-264-082-8, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, marec 2015
- [4] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2007, Ljubljana, interna oznaka 25/2007, ISSN 1318-2161, marec 2008
- [5] Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 2008, Ljubljana, interna oznaka 25/2008, ISSN 1318-2161, marec 2009
- [6] Nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško, Poročilo za leto 2010, interna oznaka 12/2011, Ljubljana, marec 2011
- [7] Mesečna poročila o radioaktivnih emisijah in dozi, NEK, NEK-RETS, Rev. 7, Table 5.9.1, 2014–2016
- [8] Poročilo o meritvah plinastih efluentov v letu 2016, št. poročila 4/2017, IJS, februar 2017
- [9] ZVISJV – Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradno prečiščeno besedilo UPB-2, Uradni list RS 102/2004, 12306) in Zakon o spremembah in dopolnitvah zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV-C), Ur. l. RS št. 60/2011 z dne 13. 8. 2011 in (ZVISJV-D), Ur. l. RS št. 74/2015 z dne 17. 10. 2015
- [10] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10), Ur. l. RS 20/2007, 2509, 6. 3. 2007 in Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o monitoringu radioaktivnosti, Ur. l. RS 97/2009, 12936, 30. 11. 2009
- [11] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2), Uradni list RS 49/2004, 2843
- [12] Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (SV5), Uradni list RS 115 (2003), 15700
- [13] Poročila o obsevanosti prebivalcev Slovenije, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2000–2016
- [14] Radiološki monitoring v okolici NE Krško za leto 2016, ZVD, LMSAR-20/2017-PJ, februar 2017
- [15] Ovrednotenje merskih podatkov o radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2016, IJS-DP-12272, januar 2017
- [16] Poročilo o meritvah radioaktivnosti pitne vode v letu 2016, št. poročila 32/2016, IJS, oktober 2016
- [17] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjenjenjima aktivnosti ^{14}C u vodama (WMT i Sava), uzorkovanje 28. 3. 2013, IRB-ZEF-2013/03, IRB-LNA 20/2013, v2, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 3. 9. 2013, dopolnitve 13. 12. 2013
- [18] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjenjenjima aktivnosti ^{14}C u vodi, WMT2 kvartalni uzorci 2013, IRB-ZEF-2014/01, IRB-LNA 1/2014, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 17. 2. 2014
- [19] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjenjenjima aktivnosti ^{14}C u vodi, WMT2 kvartalni uzorci 2014, IRB-ZEF-2015/02, IRB-LNA 6/2015, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 17. 2. 2015



- [20] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u ribama iz rijeke Save, uzorkovanje 20.6.2014, IRB-ZEF-2014/03, IRB-LNA 27/2014, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 18. 10. 2014
- [21] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u vodi, WMT2 kvartalni uzorci 2015, IRB-ZEF-2016/02, IRB-LNA 6/2016, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 8. 2. 2016
- [22] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u vodi, WMT2 kvartalni uzorci 2016, IRB-LNA 6/2017, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 10. 2. 2017
- [23] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, Izvješće o mjerenjima aktivnosti ^{14}C u okolišu Nuklearne elektrane Krško tijekom 2016. godine, IRB-LNA 7/2017, Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zagreb, Hrvatska, 14. 2. 2017
- [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] Izpostavitve prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NE Krško v reko Savo, IJS-DP-8801 (2003)
- [26] Izpostavitve referenčne skupine prebivalcev sevanju zaradi tekočinskih izpustov NEK v reko Savo – Nova referenčna lokacija, IJS-DP-10114 (2009)
- [27] C. Kunz, Carbon-14 discharges at three light-water reactors, Health Physics, 49 (1985), 25–35
- [28] Delavnica z naslovom C-4 u okolišu (C-14 v okolju), organizirana na IJS dne 9. 12. 2015, predavateljice: Ines Kranjac Bronić in Jadranka Barešić
- [29] J. G. Smith, J. R. Simmonds, The Methodology for assesing the Radiological Consequences of Routine Release of Radionuclides in the Environment Used in PC-CREAM 08, 2009
- [30] Handbook of Parameter Values for Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater environment, IAEA TRS no. 472
- [31] Špela Arh Marinčič, KOSTAK, sporočilo po elektronski pošti z dne 5.11. 2012
- [32] Jadranka Ajković, KOP Brežice, elektronsko sporočilo z dne 11. 1. 2013
- [33] Toni Petrovič, Določitev referenčnih aktivnosti radionuklida K-40 v različnih vzorcih, magistrsko delo, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, avgust 2010
- [34] David R. Lide, ed., CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2005, <<http://www.hbcpnetbase.com>>, CRC Press, Boca Raton, FL, 2005
- [35] A. Kovačič et al., Strokovne podlage za razglasitev ogroženosti podzemne vode v Republiki Sloveniji, 2002
- [36] Dopis IJS za URSVS št. QA – 35/17 z dne 28. 3. 2017, Pojasnilo k rezultatom meritev po pogodbi št. C2717-17-232003
- [37] R. Jamnik, Matematična statistika, Državna založba Slovenije, 1980
- [38] D. Glavič - Cindro, Analiza vpliva količine vode na rezultate meritev vsebnosti radionuklidov, interno validacijsko poročilo IJS, november 2011
- [39] D. Glavič - Cindro, Meritve padavin, ko je malo vzorca – test dveh različnih priprav in meritev teh vzorcev, interno validacijsko poročilo IJS, januar 2015
- [40] M. Scholl, W. Eugster, R. Burkard, Understanding the role of fog in forest hydrology: stable isotopes as tools for determining input and partitioning of cloud water in montane forests, Hydrological Processes (2010), doi: 10.1002/hyp.7762, 14 str.
- [41] Rozanski K., Gonfiantini R., Araguas – Araguas L., Tritium in the Global Atmosphere: Distribution Patterns and Recent Trends, J. Phys. G, Nucl. Part. Phys., 17 (1991), S523 – S536



- [42] 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
- [43] 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
- [44] 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
- [45] 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
- [46] 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 Climatology (ECAC) : Ljubljana, Slovenia, 4–8 September 2006, (EMS annual meeting abstracts, Volume 3). Ljubljana: European Meteorological Society, Agencija RS za okolje, 2006
- [47] 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
- [48] Simon Širca, *Verjetnost v fiziki*, DMFA – založništvo, Ljubljana 2016
- [49] 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
- [50] GNIP, spletni strani IAEA, http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html
- [51] 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
- [52] Treaty establishing the European Atomic Energy Community (Euratom)
- [53] 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
- [54] Povprečna mesečna koncentracija delcev PM₁₀ v letu 2013, ARSO, januar 2014, http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec013_slo.pdf
- [55] 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
- [56] 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 Commission, Bruselj, 2008
- [57] A. Likar, T. Vidmar, B. Pucelj, Monte Carlo Determination of Gamma-ray Dose Rate with the GEANT System, *Health Physics*, 75 (1998), 165–169
- [58] Maya Bundt et al., Impact of Preferential Flow on Radionuclide Distribution in Soil, *Environ. Sci. Technol.*, 34 (2000), 3895–3899
- [59] ROMENEK 1/16 - Poročilo o meritvah po programu vzdrževanja pripravljenosti za primer izrednega dogodka v NEK, IJS-DP-12104 (2016)

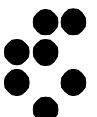


- [60] Matjaž Korun, osebno sporočilo, 2003
- [61] B. Zorko, S. Miljanić, B. Vekić, M. Štuhec, S. Gobec, M. Ranogajec - Komor, Intercomparison of dosimetry systems based on CaF₂: Mn TL-detectors, *Radiat. Protect. Dosim.*, 119 (2006), 300–305
- [62] S. Miljanić, Ž. Knežević, M. Štuhec, M. Ranogajec - Komor, K. Krpan, B. Vekić, Energy Dependence of New Thermoluminescent Detectors in Terms of Hp(10) Values, *Radiat. Protect. Dosim.*, 106 (2003), 253–256
- [63] Program EXPACS, <http://phits.jaea.go.jp/expacs/>
- [64] M. Lemercier, R. Gurriaran, P. Bouissetand, X. Cagnat, Specific activity to $H^*(10)$ conversion coefficients for In-situ gamma spectrometry, *Radiat. Protect. Dosim.*, 128 (2008), 83–89
- [65] FRMAC, Assessment manual Tables, Charts, Worksheets, Glossary, references, Volume 2, SAND2003-1072P, Table 3.5
- [66] W. G. Alberts *et al.*, New dose quantities in radiation protection, PTB, Braunschweig, avgust 1995
- [67] M. Kowatari *et al.*, Altitude Variation of cosmic-ray neutron energy spectrum and ambient dose equivalent at Mt. Fuji in Japan, IRPA, 11th International Conference, Španija, 23.–28. maj 2004
- [68] 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
- [69] F. W. Whicker, Radionuclide transport processes in terrestrial ecosystems. *Radiation research*, 94 (1983), 135–150
- [70] 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
- [71] Statistične informacije, Statistični urad RS, št. 5, 30. julij 2002
- [72] P. Zakrajšek, Vsebnost kovin in radionuklidov v gobah na izbranih področjih v Sloveniji, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Biotehniška fakulteta, 2014
- [73] XL-STAT software package (Addinsoft, New York, USA), Kemometrija, avtor Jure Zupan, 2009, Založba: Kemijski inštitut in Inštitut Nove revije, zavod za humanistiko
- [74] <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-14>
- [75] D. Glavič - Cindro, M. Korun, M. Nečemer, B. Vodenik, B. Zorko, *Evaluation of comparison and proficiency test results of gamma ray spectrometry at Jožef Stefan Institute from 1986 to 2014*, *Applied Radiation and Isotopes*, 109 (2016) 54–60

IJS delovno poročilo
IJS-DP-12291
marec 2017

**MERSKI REZULTATI –
NADZOR RADIOAKTIVNOSTI
V OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRARNE KRŠKO**

POROČILO ZA LETO 2016





- 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.
Chengdujska cesta 25, SI-1000 Ljubljana

Institut Ruđer Bošković
Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Hrvatska
- Pogodbe štev.:* Pogodba št. 3152312 (Z-8140401) z dne 29. 12. 2015 (za IJS)
Pogodba št. 3152313 (Z-8140402) z dne 29. 12. 2015 (za ZVD)
Pogodba št. 3132013 (Z-8131026) z dne 27. 12. 2013 (za IRB)
- Odgovorni nosilec:* dr. Benjamin Zorko
- Naslov poročila:* Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2016
- Poročilo uredila:* mag. Denis Glavič - Cindro
- Avtorji poročila:* *Avtorji na IJS:*
D. Brodnik, B. Črnič, dipl. inž. fiz., A. Duszová, P. Gerjol,
mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. M. Korun, dr. J. Kožar Logar,
dr. R. Krištof, dr. M. Nečemer, P. Osterman, prof. biol., U. Petrač,
B. Svetek, inž. kem. tehnol., dr. M. Štrok, Z. Trkov, inž. kem. tehnol.,
mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko

Avtorji na ZVD:
dr. M. Giacomelli, P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda, M. Levstek,
dr. G. Omahen, L. Peršin

Avtorji na IRB:
dr. J. Barešič, dr. D. Barišič, R. Bernat, dipl. inž., mag. D. Borković,
dr. Ž. Grahek, dr. N. Horvatinčič, T. Jovanovič, dipl. inž., G. Karanović,
dipl. inž., T. Kardum, dr. Ž. Knežević, dr. I. Krajcar Bronić, R. Kušič, dr.
I. Lovrenčič, I. Milanović, dipl. inž., dr. M. Nodilo, A. Rajtarić,
dr. A. Sironić, dr. I. Tucaković, mag. B. Vekić

Avtorji na MEIS storitve za okolje, d. o. o.:
dr. P. Mlakar, dr. B. Grašič, dr. M. Z. Božnar
- Štev. del. poročila:* IJS-DP-12291
- Izvedba projekta je usklajena z zahtevami programov za zagotovitev kakovosti pri posameznih izvajalcih.*



NASLOV POROČILA:

Merski rezultati – nadzor radioaktivnosti
v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2016

IJS-DP-12291
marec 2017

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 2016. Osnova za izvajanje obratovalnega nadzora je Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti JV10 (Ur. l. RS 20/2007, 6. 3. 2007) in Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o monitoringu radioaktivnosti (Ur. l. RS 97/2009, 1. 12. 2009). Program obsega meritve v okolju jedrske elektrarne (imisije – priloga 4, preglednica 3 iz pravilnika JV10). Podroben program meritev je določen v Tehnični specifikaciji za izvedbo storitve obratovalnega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) za leta 2016–2017 v Republiki Sloveniji, NEK, TS št. TO.RZ, 1/2015, revizija: 0 in dodatno v Radiological Effluent Technical Specifications (RETS), NEK-RETS, Rev. 7, poglavje 3.12, strani 43–60.

REPORT TITLE:

Measurement results – surveillance of radioactivity
in the environment of Krško NPP - yearly report for 2016

IJS-DP-12291
March 2017

KEYWORDS:

radioactivity 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, exercises, intercomparison measurements

ABSTRACT:

In the report all measurement results provided by JSI, ZVD and IRB for radioactivity surveillance in the year 2016 in the environment around Krško NPP are presented. Legal basis for radioactivity monitoring is Rules on the monitoring of radioactivity (JV10), Ur. l. RS 20/2007, 6. 3. 2007 and Rules amending the rules on radioactivity monitoring, Ur. l. RS 97/2009, 1. 12. 2009. Programme comprises measurements in the environment of NPP (emission measurements, Appendix 4, table 3 in regulation JV10). Detailed programme is determined in Technical specification for accomplishment of execution environmental radioactivity monitoring of Krško NPP (drinking water, air, foodstuff, Sava river, precipitation, soil and external exposure to radiation with dose assessment) for years 2016 and 2017 in Republic of Slovenia, NEK, TS No. TO.RZ, 1/2015, Revision: 0 and additionally in Radiological Effluent Technical Specifications (RETS), NEK-RETS, Rev. 7, chapter 3.12, pages 43–60.



IZVAJALCI MERITEV

INSTITUT "JOŽEF STEFAN" (IJS), LJUBLJANA

Koordinator projekta za IJS: dr. Benjamin Zorko

Izvajalci na IJS:

Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (Odsek F2)

D. Brodnik, B. Črnič, dipl. inž. fiz., A. Duszová, P. Gerjol, mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. M. Korun, dr. J. Kožar Logar, dr. R. Krištof, dr. M. Nečemer, P. Osterman, prof. biol., U. Petrač, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko

Odsek za znanosti o okolju (Odsek O2)

B. Svetek, inž. kem. tehnol., dr. M. Štrok, Z. Trkov, inž. kem. tehnol.

ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU (ZVD), LJUBLJANA

Koordinator projekta za ZVD: dr. Gregor Omahen

Izvajalci na ZVD:

dr. M. Giacomelli, P. Jovanovič, inž. fiz., D. Konda, M. Levstek, dr. G. Omahen, L. Peršin

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):

dr. D. Barišić, dr. Ž. Grahek, T. Jovanović, dipl. inž., G. Karanović, dipl. inž., T. Kardum, R. Kušić, dr. I. Lovrenčić (do 1. 3. 2016), I. Milanović, dipl. inž., dr. M. Nodilo, dr. Ivana Tucaković

Izvajalci na IRB – Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivnosti – Zavod za eksperimentalnu fiziku:

dr. J. Barešić, mag. D. Borković, dr. N. Horvatinčić, dr. I. Krajcar Bronić, dr. I. Lovrenčić (od 1. 3. 2016) A. Rajtarić, dr. A. Sironić

Izvajalci na IRB – Služba zaštite od zračenja i Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju:

R. Bernat, dipl. inž., dr. Ž. Knežević, mag. B. Vekić

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

Nosilec projekta za NE Krško: mag. Borut Breznik

Izvajalci v NEK:

M. Simončič, univ. dipl. kem., dr. L. Mikelić, M. Pavlin, dipl. str., M. Urbanč, D. Mešiček, B. Vene, kem. tehnik, A. Volčanšek, univ. dipl. kem.

IZVAJALCI IZRAČUNOV RAZREDČITVENIH IN DEPOZICIJSKIH KOEFICIENTOV PO LAGRANGEVEM MODELU DELCEV, MEIS, d. o. o., MALI VRH PRI ŠMARJU

Izvajalci v MEIS storitve za okolje, d. o. o.:

dr. P. Mlakar, dr. B. Grašič, dr. M. Z. Božnar



PROGRAM REDNEGA NADZORA RADIOAKTIVNOSTI V OKOLICI NE KRŠKO ZA LETO 2016

Osnova za izvajanje obratovalnega nadzora je *Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10)*, Ur. l. RS 20/2007, 2509, 6. 3. 2007 in *Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o monitoringu radioaktivnosti*, Ur. l. RS 97/2009, 12936, 1. 12. 2009.

- (i) Program obsega **meritve v okolju jedrske elektrarne (imisije – priloga 4, preglednica 3 iz pravilnika JV 10)**

Podroben program meritev je določen v *Tehnični specifikaciji za izvedbo storitve obratovalnega monitoringa radioaktivnosti v okolici NEK (pitne vode, zraka, hrane, reke Save, padavin, zemlje in sevanja v okolju skupaj z oceno doz prebivalstva) za leta 2014–2015 v Republiki Sloveniji*, NEK, TO.RZ, 4/2013, revizija: 1 in dodatno v *Radiological Effluent Technical Specifications (RETS)*, NEK-RETS, Rev. 7, poglavje 3.12, strani 43–60.

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 2016

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, zvezno zbiran 31 dni	1-krat na 92 dni	4 4
	2. Brežice – 7,8 km nizvodno od NEK	voda in suspendirana snov filtrski ostanek		1-krat na 31 dni	12 12
	3. Jesenice na Dolenjskem, 17,5 km nizvodno od NEK	voda in suspendirana snov filtrski ostanek		1-krat na 31 dni	12 12
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	1. Krško 2. Brežice 3. Jesenice na Dolenjskem	vodni destilat	sestavljen vzorec, zvezno zbiran 31 dni	1-krat na 31 dni	12 12 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, zvezno zbiran 31 dni	1-krat na 92 dni	4 4
	2. Brežice	voda in suspendirana snov filtrski ostanek		1-krat na 31 dni 1-krat na 92 dni	12 4
	3. Jesenice na Dolenjskem	voda in suspendirana snov filtrski ostanek		1-krat na 31 dni 1-krat na 92 dni	12 4



2. REKA SAVA – 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	enkratni sočasno vzeti vzorci (do 6 vzorcev na vsakem mestu)	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	36
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	2. Obala pri Brežicah, 4–7,8 km, nizvodno od NEK, levi breg	voda + suspendirana snov	enkratni sočasno vzeti vzorci (do 6 vzorcev na vsakem mestu)		36
	3. Obala pri Jesenicah, 17,5 km nizvodno od NEK, desni breg	ribe			
Dodatno H-3 v vodi	4. Podsused	vodni destilat	1-krat na 182 dni		12

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)	enkratno vzeti vzorec vode	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	12
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	2. Brežice (vodovod)				12
	3. Vrtina E1 znotraj ograje NEK				
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	4. Podtalnica v bližini NEK na levem bregu Save (samo H-3)				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 - Beli breg (Drnovo)	sestavljene vzorci vode	1-krat na dan	1-krat na 31 dni	12 × 5
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	2. Črpališče vod. Krško - Brege		1-krat na dan	1-krat na 31 dni	12 × 5
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	3. Zajetje Dolenja vas 4. Črpališče vod. Brežice VT1 (novo) 5. Črpališče vod. Brežice 481 (staro)		1-krat na dan	1-krat na 31 dni	12 × 5

Pripomba: V Brežicah se vzorčujejo 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. Libna ZR = 1,6 km	sestavljen vzorec, kontinuirano zbiranje 31 dni	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12 × 3
Tritij (H-3), specifična analiza s scintilacijskim spektrometrom	2. Brege				12 × 3
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	3. Dobova				12 × 3



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	sestavljene mesečni vzorec iz 3 skupin lokacij oz. celomesečni vzorec iz posamezne lokacije pri povišanih vrednostih	kontinuirano zbiranje vzorca 31 dni	1-krat na 31 dni	12 × 3

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	kontinuirano črpanje skozi filter iz steklenih vlaken in skozi oglen filter (15 dni)	1-krat na 15 dni	1-krat na 15 dni	24 × 6
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	1. Dobova ZR = 12,0 km, 6F	ostanek na filtru kontinuirno črpanje skozi aerosolni filter	1-krat na 92 dni	1-krat na 92 dni	4 × 1
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	kontinuirano črpanje skozi aerosolni filter (menjava filtra glede na zamašitev oziroma na 31 dni)	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12 × 7
C-14 v CO ₂ v zraku	A, B – znotraj ograje NEK	CO ₂ absorbiran na NaOH kot Na ₂ CO 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 pol leta	1-krat na pol leta	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	enkratni vzorec zemlje iz 4 globlin 0–5 cm, 5–10 cm, 10–15 cm, 15–30 cm enkratni 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	enkratni vzorec vsakih 31 dni	1-krat na 31 dni	1-krat na 31 dni	12 × 3
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	3. Skopice	enkratni vzorec vsakih 31 dni			12 × 3
I-131, specifična analiza		enkratni vzorec vsakih 31 dni med pašo – 8 mesecev			8 × 3
C-14	Dobova in okolica 15 lokacij okoli NEK (Evrosad in izbrani kraji na polju)	sezonski vzorci raznega sadja, zelenjave ali žit	2-krat na leto (julij in september)	2-krat na leto	okoli 35

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: sadovnjak AKK pri NEK, AKK Sremič, sadovnjak Leskovec	enkratni sezonski vzorci raznega sadja:	1-krat na 365 dni	1-krat na 365 dni	10
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza		jabolka, hruške, ribez, jagode, grozdje			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	enkratni sezonski vzorci širokolistnatih povrtnin in poljščin:	1-krat na 365 dni	1-krat na 365 dni	20
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza		solata, zelje, korenje, krompir, paradižnik, peteršilj, fižol, čebula, pšenica, ječmen, koruza, hmelj			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:	enkratni vzorci raznega mesa in jajc	1-krat na 365 dni	1-krat na 365 dni	6
Stroncij Sr-90/Sr-89, specifična analiza	Žadovinek, Vrbina, Spodnji Stari Grad, Pesje.				6

PROGRAM INTERKOMPARACIJSKIH MERITEV V LETU 2016

Program interkomparacijskih 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 interkomparacij in 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

($1 \text{ Bq/m}^3 = 1\text{E}-3 \text{ Bq/kg} = 1\text{E}-3 \text{ Bq/L}$).

približek velja ob predpostavki, da je $1 \text{ dm}^3 \text{ vode} = 1 \text{ L vode} = 1 \text{ kg vode}$).

1.2 Izraz "suspendirana snov" velja za ostanek filtracije delcev nad $0,45 \mu\text{m}$.

- koncentracija aktivnosti se navaja v enotah Bq/m^3 prefiltrirane vode; izraz "groba suspendirana snov" (filtrski ostanek) velja za filtriranje skozi črni trak oz. velikosti delcev nad $6 \mu\text{m}$;
- 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 podatkom:

- Koncentracija aktivnosti useda na vodoravni prestrežni 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 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ do $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

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), $100 \text{ pMC} = 226 \text{ Bq}$ 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 $384 \mu\text{g/g}$, $100 \text{ pMC} = 46 \text{ E}-3 \text{ Bq/m}^3$.

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
cer	Ce-141	32,50 dni
cer	Ce-144	284,9 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 radioaktivnih snovi v okolju se merijo s specifičnimi metodami, ki omogočajo ugotavljanje njihove izotopske sestave. Uporaba nespecifičnih metod je dopustna le v primeru, ko je izotopska sestava dobro znana in se s časom ne spreminja. Metode morajo omogočiti merjenje množine radioaktivnih snovi, ki povzročijo manj kot tretjino avtorizirane mejne doze. Detekcijske meje metod, s katerimi se merijo posamezne specifične 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 izotope. Navadno se vzorci iz okolja merijo s spektrometri gama, kjer se aktivnosti posameznih radionuklidov določi iz energije in intenzitete vrhov v spektru. Aktivnosti radionuklidov, ki ne sevajo žarkov gama, se merijo z metodami, ki vključujejo njihovo radiokemično separacijo. V okviru meritev radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško se po kemični separaciji merijo aktivnosti tritija in stroncijevih izotopov Sr-90/Sr-89 oziroma Sr-89 in Sr-90, če bi bil Sr-89 prisoten. V emisijah iz jedrske elektrarne pa se radiokemična separacija uporablja še za določanje C-14 in Fe-55.

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 (SA) pod zaporedno številko LP-022 za laboratorijske meritve aktivnosti sevalcev gama in rentgenskih žarkov z visokoločljivostno spektrometrijo gama v energijskem območju od 5 keV do 3 000 keV v trdnih in tekočih vzorcih. Vzorci morajo biti cilindrični z največjim premerom 12 cm in največjo debelino 6 cm. Biti morajo 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. Obseg emisij iz vzorca je med $0,005 \text{ s}^{-1}$ in $50\,000 \text{ s}^{-1}$.

Laboratorij za tekočinskoscintilacijsko spektrometrijo je od oktobra 2008 akreditiran pri Slovenski akreditaciji pod zaporedno številko LP-022 za laboratorijske meritve tritija v vzorcih vode in urina po direktni metodi in metodi z elektrolitsko obogatitvijo.

Laboratorij za termoluminiscenčno dozimetrijo je od julija 2005 akreditiran pri Slovenski akreditaciji pod zaporedno številko LP-022 za meritve doz $H_p(10)$, $H^*(10)$, kerme v zraku in $H_p(0,07)$ s termoluminiscenčnimi dozimetri TLD-400 (CaF₂:Mn) 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 v okviru pogodbe 3152312 z dne 29. 12. 2015 na IJS, napisano v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005, smo izdali ločeno pod zaporedno številko 6/2017. En izvod tega poročila smo poslali naročniku, en izvod pa arhivirali na IJS. V tem poročilu se ob posameznih rezultatih ne podajata 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 za meritve stroncija, tritija in C-14 akreditiran pri Slovenski akreditaciji (SA) od junija 2009 dalje pod zaporedno številko LP 090. Sr-90, Sr-89 ali Sr-90/Sr-89 se lahko določa v tekočinah, trdnem stanju ali usedlinah na zračnem filtru.

Specifično aktivnost tritija v vodi se ugotavlja z direktno metodo ali z elektrolitsko obogatitvijo. Specifično aktivnost C-14 se določa v bazični raztopini. Specifične aktivnosti navedenih radionuklidov v prinesenih vzorcih se izražajo v Bq/kg ali Bq/g.

a) VISOKOLOČLJIVOSTNA SPEKTROMETRIJA GAMA (Odsek F-2)

Aktivnosti sevalcev žarkov gama in rentgenskih žarkov (to so vsi izotopi, navedeni v tabelah, razen H-3, 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 navedeni v [i]. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v [ii]. Rezultati meritev so sledljivi k aktivnostim primarnih standardov v francoskem laboratoriju LNE-LNHB. Sistematski vplivi geometrije vzorca, matrice 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	ZEMLJA	SEDIMENT	VODA	RIBE	GOMOLJ-NICE	MESO	SADJE	SOLATA	MLEKO
Enota	Bq/m ³	Bq/kg	Bq/kg	Bq/m ³	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Količina vzorca (*)	10 000 m ³	0,5 kg	0,1 kg	0,05 m ³	0,5 kg	2 kg	1 kg	2 kg	4 kg	4 kg
Be-7	2,0 E-5	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E-1	2,0 E-1	4,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	4,0 E-2
Na-22	1,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	5,0 E-2	5,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2
Cr-51	1,0 E-5	2,0 E+0	2,0 E-0	1,0 E+0	3,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-1	2,0 E-1	8,0 E-2	3,0 E-2
Mn-54	1,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	6,0 E-3
Co-57	2,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-2	1,0 E-2	2,0 E-2	4,0 E-2	6,0 E-2	1,0 E-2	2,0 E-3
Co-58	2,0 E-7	2,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	6,0 E-3
Fe-59	2,0 E-7	5,0 E-1	5,0 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	5,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2
Co-60	1,0 E-6	2,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	5,0 E-2	3,0 E-2	4,0 E-2	2,0 E-2	8,0 E-3	8,0 E-3
Zn-65	2,0 E-6	5,0 E-1	5,0 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	6,0 E-2	1,0 E-1	4,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2
Zr-95	2,0 E-6	5,0 E-2	5,0 E-2	2,0 E-1	5,0 E-2	5,0 E-2	5,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2
Nb-95	1,0 E-6	3,0 E-1	3,0 E-1	2,0 E-1	5,0 E-2	3,0 E-2	5,0 E-2	2,1 E-2	2,0 E-2	6,0 E-3
Ru-103	1,0 E-6	3,0 E-1	3,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	4,0 E-2	2,0 E-2	2,0 E-2	6,0 E-3
Ru-106	1,0 E-6	2,0 E+0	2,0 E-0	1,0 E+0	2,0 E-1	2,0 E-1	3,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	5,0 E-2
Sb-124	2,0 E-6	5,0 E-1	5,0 E-1	5,0 E-1	5,0 E-2	3,5 E-2	1,0 E-1	3,0 E-2	2,0 E-2	8,0 E-3
Sb-125	1,0 E-5	1,0 E-0	1,0 E+0	2,0 E-1	5,0 E-2	3,0 E-1	1,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2
I-131	4,0 E-5	1,0 E-0	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E-2	5,0 E-2	5,0 E-1	3,0 E-2	3,0 E-2	1,0 E-2
Cs-134	1,0 E-6	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2	2,0 E-2	3,0 E-2	2,0 E-2	1,0 E-2	5,0 E-3
Cs-137	8,0 E-5	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2	2,0 E-2	3,0 E-2	3,0 E-2	1,0 E-2	5,0 E-3
Ba-140	5,4 E-5	2,0 E+0	2,0 E+0	2,0 E+0	3,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	1,0 E-1	3,0 E-2
Pb-210	2,0 E-5			1,0 E+1	2,0 E-1	6,0 E-1	6,0 E-1	6,0 E-1	0,5 E-1	5,0 E-2
Ra-226				2,0 E+0	5,0 E-1	5,0 E-1	2,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-2
Ra-228				1,0 E+0	1,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-1	1,0 E-1	4,0 E-2	3,0 E-2
Th-232				1,0 E+0	1,0 E-1	1,0 E-1	2,0 E-1	4,0 E-1	2,0 E-2	2,0 E-2
U-238				3,0 E+0	3,0 E-1	5,0 E-1	1,0 E+0	2,0 E-0	1,0 E-0	1,0 E-1

(*) Količina vzorca, podana v enotah druge vrstice, velja za sveže vzorce, razen pri zemlji, sedimentih in algah, kjer velja za suhi vzorec.

(**) Zbiranje I-131 se opravlja s posebnimi filtri, opremljenimi z aerosolnim filtrom in filtrom iz aktivnega oglja, impregniranega s TEDA pri prečrpanem volumnu 1 000 m³.



Komentar:

Tabelirane spodnje detekcijske meje z intervalom zaupanja 95 % dosegamo:

- z detektorji (spektrometri), ki ustrezajo pogojem, navedenim v [i];
- z vzorci iz navadnega nekontaminiranega materiala; velike koncentracije posameznih radionuklidov dvignejo (poslabšajo) detekcijsko mejo za radionuklide, katerih karakteristične črte ležijo v območju Comptonskega praga intenzivnih črt v odvisnosti od vrste detektorja;
- ob predpostavki, da je čas zakasnitve t_n med časom vzorčevanja (postavljenim v sredo vzorčevalnega intervala) in časom meritve pri zraku 15 dni, pri vodi 30 dni in pri drugih vzorcih 60 dni. Kadar je dejanska zakasnitev t_d različna od navedene nominalne t_n , potem se spodnja detekcijska meja dobi, če se tabelirana vrednost pomnoži s faktorjem

$$e^{-0,692 \frac{(t_n - t_d)}{T_{1/2}}}$$

kjer je $T_{1/2}$ razpolovna doba opazovanega radionuklida.

Reference:

- [i] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti, Uradni list RS 20 (2007) 2509
- [ii] *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, izdaja izdaja 12 (feb. 2012) in izdaja 13 (okt. 2016), IJS, Ljubljana
- [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 03, mar. 2013, IJS, Ljubljana

b) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-90/Sr-89 (Odsek O-2)

Princip določanja 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 SrCO₃. Aktivnosti beta se izmeri na proporcionalnem števcu beta s pretokom plina. Kot plin smo uporabili mešanico 90 % Ar in 10 % CH₄. 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 SrCO₃ 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), 7. izdaja, apr. 2014 in 8. izdaja, dec. 2015
- [vii] *Navodilo za uporabo proporcionalnega števca*, DP-O2-STC(01), 3. izdaja, apr. 2014



c) RADIOKEMIČNA 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] in [ix]. 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 Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Izkoristek števca za H-3 ugotavljamo s kalibracijskim certificiranim standardom proizvajalca NIST.

Reference:

- [viii] *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem*, SDN-O2-STC(02), 6. izdaja, apr. 2014 in 7. izdaja, dec. 2015
- [ix] *Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca TRICARB 3170 TR/SL, DP-O2-STC(02)*, 3. izdaja, apr. 2014

č) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3 (Odsek F-2)

Na *Odseku F-2* poteka določitev tritija v vzorcih vod z elektrolitsko obogatitvijo in tekočinskoscintilacijskim 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:

- [x] *Umeritvene krivulje za tekočinsko scintilacijski spektrometer (LSC-DN-05)*, izdaja 02 (jul. 2014), IJS, Ljubljana
- [xi] *Vzorčenje in priprava vzorcev za določitev tritija (LSC-DN-06)*, izdaja 05 (avg. 2014), IJS, Ljubljana
- [xii] *Analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07)*, izdaja 05 (jul. 2014), IJS, Ljubljana
- [xiii] *Meritve vsebnosti radionuklidov s tekočinskoscintilacijskim števcem Quantulus (LSC-DN-08)*, izdaja 00 (maj 2014)

d) RADIOKEMIČNA ANALIZA C-14 (Odsek O-2)

Ogljik C-14 določamo v bazični raztopini po postopku, ki je opisan v [xiv – xv]. Raztopljeni $^{14}\text{CO}_2$ 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 Scintillation Analyzer (Canberra Packard). Izkoristek števca za C-14 določamo s certificiranim kalibracijskim standardom proizvajalca Eckert&Ziegler Analytics.

Reference:

- [xiv] 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*, Radionucl. Cem., 239 (1999) 3, 649–655
- [xv] *Določanje ^{14}C v bazični raztopini*, SDN-O2-STC(03), 7. izdaja, apr. 2014 in 8. izdaja, dec. 2015
- [xvi] *Navodilo za uporabo tekočinsko scintilacijskega števca TRICARB 3170 TR/SL, D-O2-STC(02)*, 3. izdaja, apr. 2014



e) 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 CaF₂: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* [xix]. Karakteristike sistema za TL-dozimetrijo so podrobno opisane v delovnih poročilih IJS [xvii, xviii].

Reference:

- [xvii] *Validacija termoluminiscenčnega sistema TLD IJS MR 200 C po standardu IEC/CEI 61066*, IJS-DP-10126, feb. 2009
- [xviii] *Validacija termoluminiscenčnega sistema TLD IJS MR 200 C po standardu IEC/CEI 62387*, IJS-DP-11217, jan. 2013
- [xix] *Čitanje (merjenje) termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD) (TLD-DN-02)*, izdaja 09 (maj 2013) in izdaja 10 (dec. 2016), IJS, Ljubljana

INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ

Institut Ruđer Bošković, *Laboratorij za radioekologijo* je novembra 2008 pridobil akreditacijo pri Hrvatski akreditacijski agenciji (HAA) v skladu s standardom HRN EN ISO/IEC 17025:2007 pod zaporedno številko 1162/08 za določanje vsebnosti radionuklidov z visokoločljivostno spektrometrijo gama in za določanje vsebnosti Sr-90 po radiokemijski metodi v vzorcih iz okolja in proizvodih, vključno s hrano in pitno vodo, ter za določanje vsebnosti Fe-55 v vodnih vzorcih.

Metodi določanja tritija in Sr-89/Sr-90 sta akreditirani pri Hrvatski akreditacijski agenciji (HAA) od konca leta 2009 dalje.

Referenca:

- [xx] Priručnik sustava upravljanja kvalitetom PK (izdaja 11), Institut Ruđer Bošković, 2016

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 5.4/1 [xxi]. Izkoristke detektorjev merimo s certificiranimi standardi ČMI, ANALYTICS in LEA-CERCA, skladno z zahtevami, predpisanimi v postopkih in delovnih navodlih PS 5.4/1 in RU 5.4/1-1 [xxii] ali matematično z uporabo programske opreme ISOX/LABSOCS. Meritve so bile opravljene po postopku, opisanem v PS 5.4/1 in RU 5.4/1-1. Negotovosti rezultatov so ocenjene v



skladu s postopkoma PS 5.4/7 [xxiii] in PS 5.4/1 [xxi].

Spodnja meja detekcije in minimalna aktivnost, ki so določene z intervalom zaupanja 95 %, je za izmerjene vzorce opisana v PS 5.4/1, izdaja (11), in RU 5.4/1-1, izdaja (13).

ORIENTACIJSKE SPODNJE DETEKCIJSKE MEJE (MDA) ZA SPEKTROMETRIJO GAMA ZA DVA DETEKTORJA*

Detektor	BE3830			GR2520		
	RIBE	VODA	SEDIMENT	RIBE	VODA	SEDIMENT
Medij						
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 (števeni čas, masa, statistične fluktuacije sevanja ipd.).

Reference:

- [xxi] SUK PS 5.4/1 (izdaja 11), Gama spektrometrijska odreditev, Institut Ruđer Bošković, 2016
 [xxii] SUK RU 5.4/1-1 (izdaja 13) Gama spektrometrijska odreditev, Institut Ruđer Bošković, 2016
 [xxiii] SUK PS 5.4/7 (izdaja 01), Izračun mjerne nesigurnosti, 2013

b) RADIOKEMIČNA ANALIZA Sr-90/Sr-89

Princip določanja stroncija v okoljskih vzorcih (voda, hrana in krma, tla in sedimenti) temelji na raztapljanju vzorca v ustreznih raztopinah in uporabi ionskih izmenjevalcev [xxiv, xxv]. Radiokemična separacija temelji na ločitvi stroncija od kalcija na koloni, napolnjeni z anionskim izmenjevalcem Amberlite CG-400 in raztopino 0,25 M HNO₃ v metanolu [xxvi]. Izkoristek separacije določimo gravimetrično s tehtanjem oborine SrCO₃. Aktivnosti beta se izmeri 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 SrCO₃ 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 sistemskem postopku PS 5.4/2 [xxvii] in v delovnih navodilih RU 5.4/2-1/ [xxviii], izračun merilne negotovosti pa je opisan v PS 5.4/2 in PS 5.4/7 [xxviii, xxiii].



Reference:

- [xxiv] IAEA, Technical Reports Series No. 295, Measurement of radionuclides in food and the environment, 1989
- [xxv] Grahek Ž., Košutić K., Rožmarić-Mačefat M., Strontium isolation from natural samples with Sr resin and subsequent determination of Sr-90. Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry, 268 (2006), 179–190
- [xxvi] Grahek Ž. et al, Improved methods for the radioactive strontium determination, Journal Radioanal. Nucl. Chem., 242 (1999), 33–40
- [xxvii] SUK PS 5.4/2 (izdaja 08), Određivanje ^{89,90}Sr, Institut Ruđer Bošković, 2013
- [xxviii] SUK RU 5.4/2-1/ (izdaja 11), Određivanje ^{89,90}Sr, Institut Ruđer Bošković, 2016

c) RADIOKEMIČNA ANALIZA H-3

Tritij določamo v zračnih izpustih in v vodnih vzorcih po postopkih, ki so natančno opisani v referencah [xxix–xxxiii]. Vzorec vode se predestilira z dodatkom KMnO₄. 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 (Perkin Elmer). Ozadje je nižje od 3 sunkov na minuto. Izkoristek določamo z uporabo certificiranih "quench" standardov H-3 (Perkin Elmer).

Reference:

- [xxix] Reference Manual TRI-CARB Liquid Scintillation Analyzer, Model 3180 TR/SL Series, Perkin Elmer, 2011
- [xxx] IAEA, Technical Reports Series No. 295, Measurement of radionuclides in food and the environment, 1989
- [xxxi] SUK PS 5.4/7 (izdaja 01), Izračun mjerne nesigurnosti, 2013
- [xxxii] SUK PS 5.4/3 (izdaja 08), Određivanje tritija, Institut Ruđer Bošković, 2013
- [xxxiii] SUK RU 5.4/3-1/ (izdaja 10), Određivanje tritija, Institut Ruđer Bošković, 2016

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 5.4/4 in delovnem navodilu RU 5.4/4-1 [xxxiv, xxxv]. Aktivnost Fe-55 v vzorcih se izmeri s spektrometrom Liquid Scintillation Spectrometra TriCarb 3180 TR/SL (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 5.4/4, RU 5.4/4-1 ter v referencah [xxxvi, xxxvii].

Reference:

- [xxxiv] SUK PS 5.4/4 (izdaja 08), Određivanje ⁵⁵Fe, Institut Ruđer Bošković, 2013
- [xxxv] SUK RU 5.4/4-1/ (izdaja 11), Određivanje ⁵⁵Fe, Institut Ruđer Bošković, 2016
- [xxxvi] 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
- [xxxvii] Ž. Grahek, M. Rožmarić, Isolation of iron and strontium from liquid samples and the determination of ⁵⁵Fe and ^{89,90}Sr in liquid radioactive waste, Analytica Chimica Acta, 511 (2004), 339–348



d) TERMOLUMINISCENČNA DOZIMETRIJA

Meritve zunanje doze na 10 lokacijah na Hrvaškem so opravljene s termoluminiscenčnimi (TLD) in radiofotoluminescentnimi (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 ^{137}Cs (serijska št. 1234, aktivnost (februar 2004) 740 GBq). Vir je kalibriran po standardu ISO 4037. Polje ionizirajočega sevanja se kalibrira z uporabo ionizacijske celice LS-01, ki ima sledljivost k primarnemu standardu v Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) v Nemčiji.

e) RADIOKEMIČNA ANALIZA C-14

Radiokemijsko analizo ogljika C-14 opravlja *Laboratorij za mjerenje niskih aktivnosti, Zavod za eksperimentalnu fiziku, IRB*.

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) [xxxviii–xli]. 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 2,5 pMC. Skupna merilna negotovost je okoli 3,5 pMC za posamezno meritev oziroma 2,5 pMC za dve ponovitvi.

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 dm², 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 [xxxix–xli]. 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. Najnižja aktivnost ^{14}C , ki jo lahko določimo v vzorcih benzena, je 0,12 pMC, skupna merilna negotovost za vzorce iz okolja pa je 0,5 pMC.



Reference:

- [xxxviii] N. Horvatinčič, J. Barešič, 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
- [xxxix] J. Barešič, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčič, 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
- [xli] J. Barešič, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčič, 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
- [xlii] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčič, J. Barešič, B. Obelić, . Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. Applied Radiation and Isotopes 2009;. 67:800–8

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 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 z oznako LMSAR-23/2016-PJ o vseh meritvah, opravljenih na ZVD v okviru pogodbe št. 3140470 z dne 31. 3. 2014 in napisano v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005, 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 našteje 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, parametrov, 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	10000
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 predstavljene 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 96/29/EURATOM z dne 13. maja 1996 o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo zdravja delavcev in prebivalstva pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja (UL L št. 159 z dne 29. 6. 1996, str. 1), 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 (UL 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 (UL 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 zunanemu 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 threshold 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 enkratno odvzetih vzorcih so preračunane na datum vzorčevanja.
Specifične aktivnosti sevalcev gama pri kontinuirano 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 ($< 5 \text{ Bq/kg}$ 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 številčna 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 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) 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 $\frac{dV}{dt} = \dot{V} = konst$. 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 aktivnostjo v obdobju T , ki je enaka specifični aktivnosti sestavljenega vzorca, zbranega v obdobju T .

Velja namreč:

$$A / (\text{Bq}) = \int_0^T \dot{V} / \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \cdot a(t) / \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}\right) \cdot dt / (\text{s}) = (\dot{V} \cdot T) \frac{1}{T} \int_0^T a(t) \cdot dt = V_T \cdot \langle a(t) \rangle = V_T \cdot a_T$$

kjer sta $V_T = (\dot{V} \cdot T)$ v času T vnesena količina (volumen) medija v organizem in $\langle a(t) \rangle = a_T$ 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 kontinuirnega vzorčenja vzorcev reke Save, saj se vzorec zbira dnevno, meritev sestavljenega vzorca pa je le enkrat mesečno. S takšnim načinom vzorčenja in periode izvajanja meritev lahko izgubimo informacijo o morebitnih izpustih iz opazovanega objekta. Res je, da kontinuirno 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), potem je letna aktivnost A letna vsota (integral) obdobjnih (npr. mesečnih) specifičnih aktivnosti $a(t)$. Ob predpostavki, da je vnos v organizem konstanten, potem sicer lahko govorimo o letni aritmetični srednji vrednosti (navadno ali neuteženo povprečje) specifične aktivnosti, vendar pa se je treba zavedati, da gre za letno vsoto obdobjnih specifičnih aktivnosti deljeno s številom meritev.

Program nadzora radioaktivnosti v nekem mediju mora tako 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) nabereмо N delnih vzorcev z volumnom v :

$$a_T = \frac{1}{N \cdot v} \cdot \sum_{j=1}^N v \cdot a_j = \langle a \rangle$$

Kadar računamo vneseno aktivnost za neko obdobje (npr. leto) iz zaporedja ločenih (diskretnih) meritev (npr. mesečnih sestavljenih vzorcev; $T = \text{mesec}$), nadomestimo zgornji integral z vsoto:

$$A_{\text{leto}} = \sum_{i=1}^{12} V_{\text{mes}} \cdot a_{\text{mes},i} = V_{\text{mes}} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i} = (V_{\text{mes}} \cdot 12) \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i}$$

$$A_{\text{leto}} = V_{\text{leto}} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} a_{\text{mes},i}$$

kjer je pomen veličin isti kot zgoraj.

7. Ocena negotovosti oziroma stresanja letne doze:

Letna učinkovita doza E_j j -tega radionuklida je sorazmerna z mesečno aritmetično srednjo vrednostjo obdobjnih specifičnih aktivnosti (navadno ali neuteženo povprečje) in porabi (ventiliran zrak, masa popite vode ali zaužite hrane itd.):

$$(E)_j = h(g)_{j, \text{ing, inh}} \cdot V_{\text{leto}} \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (a_{\text{mes},i})_j$$

kjer je $h(g)_{j, \text{ing, inh}}$ predvidena učinkovita doza na enoto vnosa j -tega radionuklida zaradi zaužitja ali vdihavanja, izražena v Sv/Bq.

Relativna negotovost mesečne učinkovite doze j -tega radionuklida je potem:

$$\frac{(\delta E_{\text{mes}})_j}{(E_{\text{mes}})_j} = \sqrt{\left(\frac{\delta h(g)_{j, \text{ing, inh}}}{h(g)_{j, \text{ing, inh}}} \right)^2 + \left(\frac{\delta V_{\text{mes}}}{V_{\text{mes}}} \right)^2 + \left(\frac{\delta (a_{\text{mes}})_j}{(a_{\text{mes}})_j} \right)^2}$$

Oziroma negotovost letne učinkovite doze, sešeta po vseh radionuklidih, je:

$$\delta E = \sqrt{\sum_{j, \text{mes}} (\delta E_{\text{mes}})_j^2}$$



Letno efektivno dozo za določeno prenosno pot zapišemo potem kot $E \pm \delta E$. Stresanje mesečnih merskih rezultatov pa lahko zapišemo kot:

$$\Delta E = \sqrt{\sum_j \frac{\sum_{\text{mes}} (E_{\text{mes}} - E)_j^2}{11}}$$

Pri čemer je ta vrednost zapisana ločeno, brez predznaka \pm .

8. Ocena negotovosti mesečne aritmetične srednje vrednosti, ali krajše mesečnega povprečja specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\bar{a}_{\text{leto}, j}$ za j -ti radionuklid v določenem letu:

$$\bar{a}_{\text{leto}, j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{i,j}, \text{ kjer je } N \text{ število meritev v enem letu } (i = 1..N).$$

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) $\delta \bar{a}_{\text{leto}, j}$ za j -ti radionuklid v določenem letu:

$$\delta \bar{a}_{\text{leto}, j} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_i (\delta a_i)_j^2}$$

Standardna deviacija $\sigma_{\text{leto}, j}$ ali stresanje obdobjnih merskih rezultatov za j -ti radionuklid v določenem letu:

$$\sigma_{\text{leto}, j} = \sqrt{\frac{\sum_i (a_i - \bar{a}_{\text{leto}})_j^2}{N - 1}}; \text{ excelova funkcija "STDEV"}$$

Aposteriorna negotovost povprečja (aritmetične srednje vrednosti) specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\delta \bar{a}_{\text{leto}, j}$ zaradi stresanja podatkov v določenem letu:

$$\delta \bar{a}_{\text{leto}, j} = \sqrt{\frac{\sum_i (a_i - \bar{a}_{\text{leto}})_j^2}{N(N - 1)}}; \text{ excelova funkcija "STDEV" deljeno s korenem iz števila meritev}$$

Negotovost letne vsote useda j -tega radionuklida, $\delta a_{\text{used, leto}, j}$ pa podajamo kot:

$$\delta a_{\text{used, leto}, j} = \sqrt{\sum_i (\delta a_{\text{used}, i})_j^2}$$

9. Pri evalvaciji podatkov se za mesečno povprečje (aritmetično srednjo vrednost) specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti) $\bar{a}_{\text{leto}, j}$ za j -ti radionuklid v določenem letu uporabljata zapisa:

- i) $(\bar{a}_{\text{leto}, j} \pm \delta \bar{a}_{\text{leto}, j})$ v primeru uporabe apriorne negotovosti povprečja (aritmetične srednje vrednosti)
- ii) $(\bar{a}_{\text{leto}, j}; \delta \bar{a}_{\text{leto}, j})$ 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, izračunamo iz ekshalacije 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 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.





SEZNAM TABEL MERITEV IZ PROGRAMA IMISIJSKIH MERITEV

	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 – enkratni 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 – enkratni 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
vertina E1 v NEK	T – V1	M–21
vertina 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 – enkratni oz. sestavljeni mesečni vzorci

- izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

MEDSAVE (R Hrvaška)	T – 35	M–27
ŠIBICE (R Hrvaška)	T – 36	M–28

5. PADAVINE – mesečni vzorci

- izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

BREGE	T – 37	M–30
KRŠKO	T – 38	M–32
DOBOVA	T – 39	M–34
LJUBLJANA *)	T – 40	M–36
PREGLED SPECIFIČNIH ANALIZ H-3 V DEŽEVNICI	T – 41	M–38

6. SUHI USEDNI – mesečni vzorci

- izotopska analiza sevalcev gama

SUHI USED – vazelinske plošče	T – 42	M–39
-------------------------------	--------	------

*) 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–44
SPODNJI STARI GRAD	T – 44	M–45
STARA VAS	T – 45	M–46
LESKOVEC	T – 46	M–47
BREGE	T – 47	M–48
VIHRE	T – 48	M–49
GORNJI LENART	T – 49	M–50
LIBNA	T – 50	M–51
DOBOVA	T – 51	M–52
LJUBLJANA *)	T – 52	M–54

8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA

TL-dozimetri v okolici NEK in na ograji NEK	T – 53	M–56
TL-dozimetri v Republiki Sloveniji	T – 54	M–60
TL-dozimetri v Republiki Hrvaški	T – 55	M–62
Kontinuirni merilniki hitrosti doze MFM-202	T – 56	M–63
Izračun razredčitvenih in depozicijskih koeficientov po Lagrangeevem modelu (MEIS storitve za okolje d. o. o.)		M–68

9. ZEMLJA – enkratni vzorci

– izotopska analiza sevalcev gama in
specifična analiza Sr-90/Sr-89

GMAJNICE – neobdelana zemlja	T – 57	M–70
– normalno orana njiva	T – 58	M–72
KUSOVA VRBINA – neobdelana zemlja	T – 59	M–74
AMERIKA – neobdelana zemlja	T – 60	M–76

10. MLEKO – enkratni oz. sestavljeni mesečni vzorci

– izotopska analiza sevalcev gama in
specifični analizi Sr-90 in I-131

PESJE	T – 61	M–80
VIHRE	T – 62	M–81
BREGE	T – 63	M–82
PESJE, VIHRE, BREGE (I-131)	T – 64	M–83

11. SADJE – enkratni 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
GROZDJE IN BEZEG	T – 68	M–85

*) Iz programa nadzora radioaktivnosti v življenjskem okolju RS



12. POVRTNINE IN POLJŠČINE – enkratni vzorci

– izotopska analiza sevalcev gama in
specifična analiza Sr-90/Sr-89

SOLATA, ČEBULA, PETERŠILJ, KUMARE	T – 69	M–85
BUČKE, RDEČA PEŠA, STROČJI FIŽOL, KORENJE	T – 70	M–86
KROMPIR, PARADIŽNIK, MELANCANI, ZELJE	T – 71	M–86
PAPRIKA, FEFERONI, RADIČ, ČRNA REDKEV	T – 72	M–87
KORUZA, PŠENICA, JEČMEN, FIŽOL V ZRNJU	T – 73	M–87

13. MESO IN KOKOŠJA JAJCA – enkratni 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

TABELE REZULTATOV PRIMERJALNIH MERITEV

M–89

1. VODA - REKA SAVA

VODA - SESTAVLJENI MESEČNI VZORCI

VODA - ENKRATNI VZORCI

2. SEDIMENTI

VODNA BIOTA – RIBE

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	Januar - Marec	April - Junij	Julij - September	Oktober - December	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	133,15	139,20	135,40	136,90	
Pretok (m ³ /s)	306,4	220,2	93,1	231,0	
Oznaka vzorca	NEKVKRK116	NEKVKRK216	NEKVKRK316	NEKVKRK416	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	2,0E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 1E+00	4,7E+00 ± 2E+00	3,8E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 6E-01
Ra-226	1,1E+00 ± 1E-01	7,2E-01 ± 1E-01	1,5E+00 ± 1E-01	2,0E+00 ± 2E-01	1,3E+00 ± 7E-02
Pb-210	7,0E+00 ± 1E+00	2,2E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 4E+00	1,9E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 1E+00
Ra-228	6,4E-01 ± 3E-01		6,8E-01 ± 3E-01	1,9E+00 ± 4E-01	8,1E-01 ± 1E-01
Th-228	7,8E-01 ± 3E-01	2,9E-01 ± 2E-01	3,8E-01 ± 3E-01	6,8E-01 ± 4E-01	5,3E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	3,5E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 2E+00	3,5E+01 ± 3E+00	3,7E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 1E+00
Be-7	4,0E+01 ± 2E+00	2,7E+02 ± 8E+00	1,6E+02 ± 6E+00	1,2E+02 ± 5E+00	1,5E+02 ± 3E+00
I-131		4,3E+00 ± 1E+00		7,9E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 5E-01
Cs-134					
Cs-137	1,5E-01 †	1,0E-01 †	1,4E-01 †	2,1E-01 †	1,5E-01 ± 2E-02 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	2,5E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 1E-01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(†) 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 specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	Januar - Marec	April - Junij	Julij - September	Oktober - December	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	145,60	145,60	147,20	147,20	
Susp. snov (g)	0,359	0,196	0,820	0,481	
Oznaka vzorca	NEKFKRK116	NEKFKRK216	NEKFKRK316	NEKFKRK416	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	2,0E-01 ± 1E-01		8,2E-01 ± 6E-01		2,6E-01 ± 2E-01
Ra-226	1,1E-01 ± 4E-02	1,3E-01 ± 5E-02	1,0E+00 ± 8E-02	7,1E-01 ± 8E-01 ‡	4,9E-01 ± 2E-01
Pb-210	1,1E+00 ± 2E-01	7,1E-01 ± 5E-01	9,7E-01 ± 5E-01		7,0E-01 ± 2E-01
Ra-228	3,4E-01 ± 8E-02	1,6E-01 ± 1E-01			1,3E-01 ± 4E-02
Th-228	8,4E-02 ± 7E-02		3,3E-01 ± 2E-01	2,7E+00 ± 8E-01	7,8E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	1,7E+00 ± 5E-01	2,7E+00 ± 8E-01	1,6E+00 ± 1E+00	2,6E+00 ± 1E+00	2,2E+00 ± 4E-01
Be-7			1,7E+00 ± 5E-01		4,3E-01 ± 1E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	3,5E-02 †	5,0E-02 †	8,5E-02 †	8,5E-02 †	6,4E-02 ± 1E-02 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	7,3E-01 ± 1E-01	1,3E-02 †	1,2E-02 †	2,3E-01 ± 6E-02	2,4E-01 ± 2E-01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) 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 2016 T - 1b
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrirane vode (voda + fina susp. snov)

Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Pretok (m ³ /s)	197,0	403,6	318,6	167,9	265,5	227,3	
Oznaka vzorca	NEKVKR0116	NEKVKR0216	NEKVKR0316	NEKVKR0416	NEKVKR0516	NEKVKR0616	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
H-3	6,8E+02 ± 7E+01	4,9E+02 ± 6E+01	6,7E+02 ± 7E+01	4,8E+02 ± 7E+01	6,4E+02 ± 7E+01	8,0E+02 ± 8E+01	6,2E+02 ± 3E+01

Vzorč. mesto	Krško						
Datum vzor.	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Pretok (m ³ /s)	105,0	104,7	69,5	133,0	441,7	118,3	
Oznaka vzorca	NEKVKR0716	NEKVKR0816	NEKVKR0916	NEKVKR1016	NEKVKR1116	NEKVKR1216	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
H-3	6,1E+02 ± 7E+01	7,9E+02 ± 8E+01	7,0E+02 ± 7E+01	5,4E+02 ± 7E+01	5,9E+02 ± 7E+01	3,7E+02 ± 6E+01	6,1E+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 2016 T - 4c
1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brežice (kont. vz.) - 8,2 km od NEK				
Datum vzor.	Januar - Marec	April - Junij	Julij - September	Oktober - December	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	319,15	332,23	311,13	290,89	
Susp. snov (g)	1,541	0,876	0,966	1,046	
Oznaka vzorca	NEKFBRK115	NEKFBRK215	NEKFBRK315	NEKFBRK415	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
Sr-90	1,7E-01 4E-02	1,3E-02 †	1,3E-02 †	1,0E-02 †	5,2E-02 ± 4E-02 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(†) 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 a posteriori negotovostjo.

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 (kont. vz.) - 8,2 km od NEK						
Datum vzor.	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	48,20	45,20	48,40	46,70	48,10	46,30	
Pretok (m ³ /s)	197,0	403,6	318,6	167,9	265,5	227,3	
Oznaka vzorca	NEKVBR0116	NEKVBR0216	NEKVBR0316	NEKVBR0416	NEKVBR0516	NEKVBR0616	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	1,6E+00 ± 7E-01	2,9E+00 ± 7E-01	2,4E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 6E-01	6,4E-01 ± 6E-01 ‡	6,2E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 3E-01
Ra-226	3,0E-01 ± 2E-01	4,4E-01 ± 2E-01	6,1E-01 ± 2E-01	6,7E-01 ± 1E-01	6,2E-01 ± 1E-01	6,2E-01 ± 2E-01	5,4E-01 ± 7E-02
Pb-210	1,0E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 1E+00	5,0E+00 ± 6E-01	1,3E+01 ± 2E+00	1,5E+01 ± 6E-01
Ra-228	1,5E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 3E-01	5,8E-01 ± 4E-01	6,1E-01 ± 2E-01	7,0E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 3E-01	1,0E+00 ± 1E-01
Th-228	5,9E-01 ± 5E-01 ‡	1,6E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 4E-01	4,9E-01 ± 2E-01	3,2E-01 ± 2E-01	3,2E-01 ± 2E-01	7,0E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	3,0E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 2E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 1E+00
Be-7	1,6E+01 ± 2E+00	5,0E+01 ± 2E+00	1,5E+01 ± 1E+00	1,3E+02 ± 4E+00	1,5E+01 ± 9E-01	1,1E+02 ± 5E+00	5,6E+01 ± 1E+00
I-131			2,4E+00 ± 6E-01	3,9E+00 ± 4E-01	3,9E+00 ± 3E-01	5,3E+00 ± 9E-01	2,6E+00 ± 2E-01
Cs-134							
Cs-137	1,1E-01 †	1,4E-01 †	1,8E-01 †	9,3E-02 †	1,2E-01 †	1,6E-01 †	1,3E-01 ± 1E-02 x
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,8E+00 ± 3E-01	2,4E+00 ± 3E-01	3,5E+00 ± 4E-01	2,0E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 4E-01	2,7E+00 ± 4E-01	2,5E+00 ± 1E-01
H-3	1,4E+03 ± 1E+02	6,1E+02 ± 7E+01	3,1E+03 ± 2E+02	2,3E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	7,6E+02 ± 8E+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.

‡) 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.

1. REKA SAVA – VODA - sestavljeni vzorci filtrskega ostanka (groba susp. snov)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Brežice (kont. vz.) - 8,2 km od NEK						
Datum vzor.	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	113,80	106,87	98,48	108,81	112,12	111,30	
Susp. snov (g)	2,292	1,364	0,864	0,418	1,253	0,944	
Oznaka vzorca	NEKFBR0116	NEKFBR0216	NEKFBR0316	NEKFBR0416	NEKFBR0516	NEKFBR0616	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	4,3E+00 ± 1E+00	2,5E-01 ± 8E-01 ‡	7,7E-01 ± 7E-01 ‡	3,3E-01 ± 8E-01 ‡	3,3E-01 ± 8E-01 ‡	5,0E-01 ± 9E-02	9,4E-01 ± 3E-01
Ra-226	5,3E-01 ± 1E-01	7,2E-01 ± 1E-01	5,8E-01 ± 1E-01	1,4E-01 ± 4E-02	3,4E-01 ± 1E-01 ‡	5,0E-01 ± 9E-02	4,7E-01 ± 4E-02
Pb-210	1,8E+00 ± 8E-01	1,7E+00 ± 9E-01	8,4E-01 ± 8E-01 ‡	8,0E-01 ± 7E-01 ‡	8,0E-01 ± 7E-01 ‡	2,1E+00 ± 6E-01	1,2E+00 ± 3E-01
Ra-228	8,5E-01 ± 3E-01	8,8E-01 ± 2E-01	3,1E-01 ± 2E-01	1,4E-01 ± 9E-02	6,5E-01 ± 3E-01	4,7E-01 ± 8E-02	4,7E-01 ± 8E-02
Th-228	8,7E-01 ± 3E-01	9,4E-01 ± 2E-01		1,6E-01 ± 8E-02		2,5E-01 ± 2E-01	3,7E-01 ± 7E-02
Th-230							
K-40	4,2E+00 ± 2E+00	9,6E+00 ± 2E+00	5,6E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 5E-01	2,1E+00 ± 1E+00	3,4E+00 ± 1E+00	4,5E+00 ± 6E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,8E-01 †	1,1E-01 †	9,0E-02 †	4,0E-02 †	6,5E-02 †	1,0E-01 †	9,7E-02 ± 2E-02 x
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.

†) 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 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Brežice (kont. vz.) - 8,2 km od NEK						
Datum vzor.	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	53,40	47,90	35,80	48,00	44,70	48,10	
Pretok (m ³ /s)	105,0	104,7	69,5	133,0	441,7	118,3	
Oznaka vzorca	NEKVBR0716	NEKVBR0816	NEKVBR0916	NEKVBR1016	NEKVBR1116	NEKVBR1216	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238		2,5E+00 ± 2E+00	5,0E+00 ± 2E+00		4,4E+00 ± 2E+00	3,0E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 3E-01
Ra-226	3,6E-01 ± 2E-01	1,0E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 4E-01	9,1E-01 ± 6E-02
Pb-210	2,2E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 2E+00	2,8E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 2E+00	1,2E+01 ± 2E+00	9,2E+00 ± 3E+00	1,7E+01 ± 6E-01
Ra-228	6,5E-01 ± 3E-01	1,3E+00 ± 6E-01	9,7E-01 ± 6E-01	2,2E+00 ± 3E-01	8,1E-01 ± 4E-01	1,6E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 1E-01
Th-228		6,6E-01 ± 5E-01	7,1E-01 ± 6E-01 ‡	6,1E-01 ± 4E-01	1,3E+00 ± 4E-01		6,2E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	2,3E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 4E+00	4,9E+01 ± 2E+00	3,9E+01 ± 3E+00	4,2E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 8E-01
Be-7	1,0E+02 ± 3E+00	2,5E+01 ± 2E+00	1,0E+02 ± 4E+00	1,8E+02 ± 5E+00	1,6E+02 ± 5E+00	6,0E+01 ± 3E+00	8,1E+01 ± 1E+00
I-131			2,7E+00 ± 1E+00	3,0E+00 ± 5E-01		6,2E+00 ± 1E+00	2,3E+00 ± 2E-01
Cs-134							
Cs-137	1,4E-01 †	2,5E-01 †	2,8E-01 †	1,4E-01 †	2,1E-01 †	2,8E-01 †	1,7E-01 ± 2E-02 x
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,9E+00 ± 2E-01	1,7E-01 ± 2E-01 ‡	2,5E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 2E-01	3,6E+00 ± 5E-01	3,4E+00 ± 4E-01	2,4E+00 ± 9E-02
H-3	5,9E+03 ± 3E+02	2,2E+04 ± 9E+02	1,5E+04 ± 6E+02	3,2E+03 ± 2E+02	9,6E+02 ± 8E+01	1,4E+03 ± 1E+02	4,8E+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 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 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

Vzorč. mesto	Brežice (kont. vz.) - 8,2 km od NEK						
Datum vzor.	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	114,95	116,42	79,76	92,93	94,31	103,65	
Susp. snov (g)	1,251	1,241	0,154	0,700	2,012	0,476	
Oznaka vzorca	NEKFBR0716	NEKFBR0816	NEKFBR0916	NEKFBR1016	NEKFBR1116	NEKFBR1216	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)						
U-238				1,8E+00 ± 8E-01	4,9E-01 ± 8E-01 ‡	3,7E-01 ± 3E-01 ‡	6,9E-01 ± 2E-01
Ra-226	3,9E-01 ± 8E-02	6,6E-01 ± 8E-02		6,9E-01 ± 2E-01	1,9E+00 ± 1E-01		5,4E-01 ± 3E-02
Pb-210	8,9E-01 ± 7E-01 ‡	1,4E+00 ± 8E-01		1,2E+00 ± 9E-01	3,7E+00 ± 1E+00		1,2E+00 ± 2E-01
Ra-228	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	4,5E-01 ± 2E-01		6,4E-01 ± 4E-01	8,9E-01 ± 2E-01		4,2E-01 ± 6E-02
Th-228	2,3E-01 ± 2E-01	3,1E-01 ± 2E-01	6,2E-01 ± 4E-01	3,1E-01 ± 2E-01	6,3E-01 ± 2E-01		3,6E-01 ± 6E-02
Th-230							
K-40	3,8E+00 ± 1E+00			1,2E+00 ± 1E+00 ‡	9,4E+00 ± 2E+00	1,8E+00 ± 8E-01	3,6E+00 ± 3E-01
Be-7	1,8E+00 ± 4E-01	2,9E+00 ± 5E-01			2,7E+00 ± 6E-01		6,2E-01 ± 7E-02
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,6E-02 ± 7E-02 ‡	8,3E-02 †	2,1E-01 †	1,0E-01 †	2,7E-01 ± 5E-02	7,0E-02 †	1,1E-01 ± 2E-02 x
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.

(†) 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 2016 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)	271,10	244,70	265,10	263,70	266,00	260,80	
Pretok (m ³ /s)	262,0	313,0	303,0	181,0	206,0	239,0	
Oznaka vzorca	JFV01-16	JFV02-16	JFV03-16	JFV04-16	JFV05-16	JFV06-16	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	7,0E+00 ± 3E+00	6,5E+00 ± 3E+00	8,0E+00 ± 3E+00	6,4E+00 ± 3E+00	3,0E+00 ± 6E-01	4,2E+00 ± 2E+00	5,3E+00 ± 1E+00
Ra-226			1,8E+00 ± 5E-01	1,8E+00 ± 5E-01			1,1E+00 ± 2E-01
Pb-210							
Ra-228	1,0E+00 ± 6E-01		1,4E+00 ± 7E-01	1,2E+00 ± 6E-01	1,2E+00 ± 6E-01	1,2E+00 ± 6E-01	1,0E+00 ± 2E-01
Tb-228							
Tb-230							
K-40	5,1E+01 ± 7E+00	4,0E+01 ± 6E+00	3,3E+01 ± 6E+00	4,1E+01 ± 6E+00	4,0E+01 ± 6E+00	5,1E+01 ± 7E+00	4,3E+01 ± 3E+00
Be-7		4,4E+00 ± 2E+00	2,8E+00 ± 1E+00	3,2E+00 ± 1E+00	3,7E+00 ± 2E+00	5,8E+00 ± 2E+00	3,3E+00 ± 6E-01
I-131						4,4E+00 ± 2E+00	7,3E-01 ± 4E-01
Cs-134							
Cs-137	1,7E-01 ± 1E-01	2,4E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 9E-02	1,5E-01 ± 1E-01			1,1E-01 ± 3E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,4E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 2E-01	2,4E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 2E-01	2,6E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 2E-01	2,4E+00 ± 9E-02
H-3	9,8E+02 ± 1E+02	6,7E+02 ± 1E+02	1,5E+03 ± 2E+02	2,5E+03 ± 2E+02	7,3E+02 ± 1E+02	2,6E+03 ± 2E+02	1,5E+03 ± 7E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2016 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	270,00	279,00	270,00	
Susp. snov (g/m ³)	1,9	5,5	4,5	3,1	6,5	20,3	
Oznaka vzorca	JST01-16	JST02-16	JST03-16	JST04-16	JST05-16	JST06-16	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238					2,4E+00 ± 6E-01	2,1E+00 ± 6E-01	7,4E-01 ± 1E-01
Ra-226							
Pb-210							
Ra-228							
Tb-228							
Tb-230							
K-40	8,1E+00 ± 4E+00	1,3E+01 ± 4E+00					3,4E+00 ± 9E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,7E-01 ± 1E-01	3,5E-01 ± 1E-01	1,4E-01 ± 9E-02		1,3E-01 ± 7E-02		1,6E-01 ± 4E-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 2016 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	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (L)	270,30	270,80	262,80	272,40	247,60	271,80	
Pretok (m ³ /s)	127,0	118,0	179,0	453,0	149,0	110,0	
Oznaka vzorca	JFV07-16	JFV08-16	JFV09-16	JFV10-16	JFV11-16	JFV12-16	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	4,1E+00 ± 2E+00	5,5E+00 ± 2E+00	5,5E+00 ± 2E+00	5,0E+00 ± 2E+00	9,9E+00 ± 3E+00	6,9E+00 ± 2E+00	5,7E+00 ± 7E-01
Ra-226	2,8E+00 ± 6E-01	1,9E+00 ± 6E-01		1,5E+00 ± 5E-01		8,3E-01 ± 3E-01	1,1E+00 ± 1E-01
Pb-210							
Ra-228	1,4E+00 ± 6E-01		1,5E+00 ± 7E-01	1,8E+00 ± 8E-01	2,4E+00 ± 8E-01	1,3E+00 ± 4E-01	1,2E+00 ± 2E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	5,3E+01 ± 7E+00	6,6E+01 ± 9E+00	7,0E+01 ± 9E+00	5,2E+01 ± 7E+00	5,2E+01 ± 7E+00	3,7E+01 ± 5E+00	4,9E+01 ± 2E+00
Be-7							2,2E+00 ± 4E-01
I-131			4,3E+00 ± 2E+00	8,1E+00 ± 4E+00	2,5E+00 ± 1E+00	4,7E+00 ± 8E-01	2,0E+00 ± 5E-01
Cs-134							
Cs-137					2,0E-01 ± 1E-01		7,3E-02 ± 2E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,7E+00 ± 2E-01	2,0E+00 ± 2E-01	1,9E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 2E-01	2,8E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 6E-02
H-3	3,8E+03 ± 3E+02	1,1E+04 ± 7E+02	1,1E+04 ± 7E+02	4,7E+03 ± 4E+02	5,7E+02 ± 1E+02	7,5E+02 ± 1E+02	3,4E+03 ± 1E+02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2016 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	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (L)	279,00	279,00	270,00	279,00	270,00	279,00	
Susp. snov (g/m ³)	5,3	2,6	3,7	11,9	1,3	0,9	
Oznaka vzorca	JST07-16	JST08-16	JST09-16	JST10-16	JST11-16	JST12-16	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238					2,6E+00 ± 9E-01	1,3E+00 ± 7E-01	3,2E-01 ± 9E-02
Ra-226	1,8E+00 ± 5E-01				2,0E+00 ± 4E-01		6,9E-01 ± 8E-02
Pb-210							
Ra-228					2,4E+00 ± 6E-01		2,0E-01 ± 5E-02
Th-228							
Th-230							
K-40				7,7E+00 ± 4E+00	3,1E+01 ± 4E+00	5,2E+00 ± 2E+00	5,3E+00 ± 7E-01
Be-7			3,0E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 2E+00	5,8E+00 ± 2E+00		9,6E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137			1,7E-01 ± 1E-01		8,3E-01 ± 2E-01		1,6E-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 2016 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	Četrtno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	810,00	819,00	828,00	828,00	
Susp. snov (g/m ³)	11,9	29,9	11,6	14,1	
Oznaka vzorca	JST-I-16	JST-II-16	JST-III-16	JST-IV-16	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
Sr-90	2,3E-03 †	2,5E-03 †	1,8E-03 †	2,3E-03 †	2,2E-03 ± 2E-04 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(†) 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 aposteriornimi negotovostjo.

LETO 2016 T - 7

1. REKA SAVA – VODA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	29. 3. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	2. 12. 2016	Četrtno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (kg)	47,55	49,00	45,60	45,9	
Oznaka vzorca	RSKRK116	RSKRK216	RSKRK316	RSKRK416	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	4,9E+00 ± 2E+00		3,2E+00 ± 2E+00		2,0E+00 ± 6E-01
Ra-226	1,4E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 2E-01	1,8E+00 ± 2E-01	1,6E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 1E-01
Pb-210	8,0E+00 ± 2E+00	1,6E+01 ± 2E+00	9,3E+00 ± 2E+00	3,0E+00 ± 2E+00	9,1E+00 ± 8E-01
Ra-228	5,2E-01 ± 5E-01 ‡	1,2E+00 ± 5E-01	5,9E-01 ± 4E-01	2,4E+00 ± 9E-01	1,2E+00 ± 3E-01
Th-228		1,9E+00 ± 5E-01			4,8E-01 ± 1E-01
Th-230					
K-40	1,7E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 3E+00	4,2E+01 ± 3E+00	1,6E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 2E+00
Be-7	5,9E+01 ± 2E+00	7,1E+01 ± 3E+00	8,8E+01 ± 3E+00	2,6E+01 ± 2E+00	6,1E+01 ± 1E+00
I-131	5,0E+00 ± 3E-01	4,2E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 2E-01		2,7E+00 ± 1E-01
Cs-134					
Cs-137	2,8E-01 †	2,8E-01 †	2,0E-01 †	2,8E-01 †	2,6E-01 ± 2E-02 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	3,1E+00 ± 3E-01	2,5E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 2E-01	2,9E+00 ± 3E-01	2,6E+00 ± 2E-01
H-3	6,5E+02 ± 1E+02	7,1E+02 ± 7E+01	5,7E+02 ± 7E+01	1,0E+03 ± 3E+02	7,4E+02 ± 8E+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.

(†) 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 aposteriornimi negotovostjo.

LETO 2016 T - 9
1. REKA SAVA – VODA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevancev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Brežice				
Datum vzor.	29. 3. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	2. 12. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (kg)	44,35	43,40	44,60	44,50	
Oznaka vzorca	RSBRK116	RSBRK216	RSBRK316	RSBRK416	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	1,3E+00 ± 1E+00 ‡		3,1E+00 ± 1E+00		1,1E+00 ± 4E-01
Ra-226	7,0E-01 ± 2E-01	5,8E-01 ± 3E-01	1,5E+00 ± 1E-01	5,1E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 1E-01
Pb-210	1,5E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 1E+00
Ra-228		2,3E+00 ± 4E-01	8,5E-01 ± 3E-01		7,9E-01 ± 1E-01
Th-228	1,5E+00 ± 5E-01	7,5E-01 ± 4E-01	9,6E-01 ± 4E-01		8,0E-01 ± 2E-01
Th-230			1,6E+01 ± 9E+00		4,0E+00 ± 2E+00
K-40	2,0E+01 ± 3E+00	3,2E+01 ± 3E+00	4,4E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 1E+00
Be-7	2,0E+01 ± 1E+00	7,8E+01 ± 3E+00	2,6E+02 ± 7E+00	2,4E+02 ± 7E+00	1,5E+02 ± 3E+00
I-131	4,1E+00 ± 3E-01	5,9E+00 ± 3E-01	1,7E+00 ± 1E-01	1,2E+00 ± 2E-01	3,2E+00 ± 1E-01
Cs-134					
Cs-137	2,0E-01	2,1E-01 †	2,3E-01 ± 7E-02	2,5E-01 †	2,2E-01 ± 1E-02 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	2,8E+00 ± 4E-01	2,2E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 3E-01	3,2E+00 ± 3E-01	2,6E+00 ± 2E-01
H-3	5,6E+02 ± 1E+02	9,1E+02 ± 1E+02	6,9E+02 ± 9E+01	1,0E+03 ± 2E+02	7,9E+02 ± 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 opravljena na ZVD, analiza H-3 pa na IJS 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 aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2016 T - 10
1. REKA SAVA – VODA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevancev gama in specifični analizi Sr-90 in H-3 (***)

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	29. 3. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	2. 12. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (kg)	44,00	42,80	46,10	45,35	
Oznaka vzorca	RSJEK116	RSJEK216	RSJEK316	RSJEK416	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	4,0E+00 ± 2E+00			4,1E+00 ± 2E+00	2,0E+00 ± 6E-01
Ra-226	6,4E-01 ± 3E-01	1,4E+00 ± 4E-01	1,7E+00 ± 2E-01	2,0E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 1E-01
Pb-210	9,8E+00 ± 2E+00	5,4E+00 ± 2E+00	1,7E+01 ± 2E+00	1,3E+01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 1E+00
Ra-228	2,9E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 5E-01	2,0E+00 ± 5E-01	2,3E+00 ± 9E-01	2,1E+00 ± 4E-01
Th-228	6,5E-01 ± 5E-01	8,5E-01 ± 5E-01	7,5E-01 ± 5E-01	7,5E-01 ± 4E-01	7,5E-01 ± 2E-01
Th-230					
K-40	1,5E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 4E+00	4,8E+01 ± 4E+00	2,8E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 2E+00
Be-7	7,1E+00 ± 1E+00	2,1E+01 ± 2E+00	1,4E+02 ± 4E+00	7,8E+01 ± 3E+00	6,1E+01 ± 1E+00
I-131	2,3E+00 ± 5E-01	3,3E+00 ± 4E-01	1,3E+00 ± 1E-01	1,3E+00 ± 3E-01	2,1E+00 ± 2E-01
Cs-134					
Cs-137	2,4E-01	2,8E-01 †	2,3E-01 †	2,1E-01 †	2,4E-01 ± 1E-02 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	4,1E+00 ± 5E-01	1,8E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 2E-01	2,8E+00 ± 4E-01	2,7E+00 ± 2E-01
H-3	6,5E+02 ± 8E+01	8,0E+02 ± 1E+02	8,1E+02 ± 1E+02	9,9E+02 ± 2E+02	8,1E+02 ± 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 opravljena na ZVD, analiza H-3 pa na IJS na Odseku F-2.
- (‡) 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 2016 T - 11
1. REKA SAVA – VODA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Specifična analiza H-3

Vzorč. mesto	Podsused (R Hrvatska)				
Datum vzor.	Januar - Marec	April - Junij	Julij - September	Oktober - December	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Oznaka vzorca	PO-I-16	PO-II-16	PO-III-16	PO-IV-16	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
H-3	6,3E+02 ± 1E+02	4,2E+02 ± 1E+02	2,3E+04 ± 1E+03	4,6E+02 ± 1E+02	6,1E+03 ± 4E+02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

LETO 2016 T - 12
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - enkratni vzorci sedimentov



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Datum vzor.	29. 3. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	2. 12. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	51,2	58,8	59,8	61,9	
Oznaka vzorca	SDKR116	SDKR216	SDKR316	SDKR416	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	4,4E+01 ± 6E+00	2,9E+01 ± 7E+00	2,8E+01 ± 6E+00	3,7E+01 ± 8E+00	3,4E+01 ± 3E+00
Ra-226	3,4E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 8E-01	2,6E+01 ± 7E-01	3,7E+01 ± 8E-01	3,3E+01 ± 4E-01
Pb-210	9,5E+01 ± 9E+00	7,5E+01 ± 7E+00	6,6E+01 ± 7E+00	8,7E+01 ± 8E+00	8,1E+01 ± 4E+00
Ra-228	3,2E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 7E-01
Th-228	3,3E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 8E-01
Th-230					
K-40	4,0E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 2E+01	3,1E+02 ± 2E+01	3,9E+02 ± 2E+01	3,8E+02 ± 1E+01
Be-7		8,5E+01 ± 4E+00	6,3E+01 ± 4E+00	3,7E+01 ± 3E+00	4,6E+01 ± 2E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	7,9E+00 ± 5E-01	7,7E+00 ± 4E-01	5,6E+00 ± 4E-01	6,7E+00 ± 4E-01	7,0E+00 ± 2E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	4,9E-02 †	2,5E-01 ± 1E-01	7,3E-01 ± 2E-01	8,0E-02 †	2,8E-01 ± 2E-01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(†) 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 2016 T - 13
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - enkratni vzorci sedimentov



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brežice				
Datum vzor.	29. 3. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	2. 12. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	71,7	71,1	65,9	60,0	
Oznaka vzorca	SDBRK116	SDBRK216	SDBRK316	SDBRK416	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,6E+01 ± 4E+00	1,5E+01 ± 4E+00	2,3E+01 ± 5E+00	2,8E+01 ± 7E+00	2,3E+01 ± 3E+00
Ra-226	2,5E+01 ± 6E-01	2,7E+01 ± 6E-01	2,4E+01 ± 6E-01	3,4E+01 ± 9E-01	2,7E+01 ± 3E-01
Pb-210	4,3E+01 ± 5E+00	4,0E+01 ± 5E+00	4,0E+01 ± 5E+00	6,4E+01 ± 7E+00	4,7E+01 ± 3E+00
Ra-228	2,4E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 2E+00	2,8E+01 ± 6E-01
Th-228	2,3E+01 ± 1E+00	2,3E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 2E+00	2,5E+01 ± 7E-01
Th-230					
K-40	3,1E+02 ± 2E+01	3,2E+02 ± 2E+01	3,0E+02 ± 2E+01	4,7E+02 ± 3E+01	3,5E+02 ± 1E+01
Be-7		1,6E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 3E+00	2,0E+01 ± 1E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	4,8E-01 †	3,1E+00 ± 2E-01	2,7E+00 ± 2E-01	7,2E+00 ± 5E-01	3,4E+00 ± 1E+00 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	4,1E-02 †	1,8E+00 ± 3E-01	2,9E+00 ± 4E-01	6,5E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 6E-01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(†) 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 2016 T - 14
2. REKA SAVA – SEDIMENTI - enkratni vzorci sedimentov



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	29. 3. 2016	26. 5. 2016	27. 9. 2016	2. 12. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	69,2	76,8	63,7	74,9	
Oznaka vzorca	SDJEK116	SDJEK216	SDJEK316	SDJEK416	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,8E+01 ± 4E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 6E+00	2,9E+01 ± 6E+00	2,7E+01 ± 3E+00
Ra-226	2,9E+01 ± 7E-01	2,5E+01 ± 5E-01	3,0E+01 ± 6E-01	3,4E+01 ± 8E-01	2,9E+01 ± 3E-01
Pb-210	3,0E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 3E+00	5,6E+01 ± 6E+00	2,7E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 2E+00
Ra-228	2,6E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 7E-01	2,6E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 5E-01
Th-228	2,3E+01 ± 1E+00	1,8E+01 ± 8E-01	2,3E+01 ± 1E+00	2,2E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 5E-01
Th-230					
K-40	2,9E+02 ± 2E+01	2,3E+02 ± 1E+01	3,1E+02 ± 2E+01	3,0E+02 ± 2E+01	2,8E+02 ± 8E+00
Be-7		1,1E+01 ± 9E-01	6,4E+01 ± 3E+00		1,9E+01 ± 8E-01
I-131					
Cs-134					
Cs-137	4,4E+00 ± 3E-01	1,8E+00 ± 1E-01	3,7E+00 ± 2E-01	1,6E+00 ± 3E-01	2,9E+00 ± 1E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	9,3E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 3E-01	1,4E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 6E-01	1,1E+00 ± 2E-01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

LETO 2016 T - 15/p
2. REKA SAVA – SEDIMENTI



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Krško pod mostom				
Datum vzor.	3. 2. 2016	23. 5. 2016	10. 8. 2016	18. 11. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	135,0	161,6	126,5	133,9	
Oznaka vzorca	SIZ02-16	SIZ05-16	SIZ08-16	SIZ11-16	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,2E+01 ± 1E+01	3,0E+01 ± 9E+00	3,3E+01 ± 1E+01	3,7E+01 ± 1E+01	3,3E+01 ± 5E+00
Ra-226	3,1E+01 ± 4E+00	3,7E+01 ± 5E+00	3,8E+01 ± 5E+00	3,8E+01 ± 5E+00	3,6E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	3,6E+01 ± 6E+00	3,6E+01 ± 6E+00	3,0E+01 ± 6E+00	3,7E+01 ± 6E+00	3,4E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	4,4E+02 ± 5E+01	4,3E+02 ± 5E+01	3,8E+02 ± 5E+01	4,4E+02 ± 5E+01	4,2E+02 ± 3E+01
Be-7	2,0E+01 ± 1E+01	5,3E+01 ± 9E+00	8,1E+01 ± 1E+01	4,4E+01 ± 1E+01	4,9E+01 ± 6E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	7,6E+00 ± 1E+00	6,7E+00 ± 1E+00	6,6E+00 ± 1E+00	5,3E+00 ± 1E+00	6,6E+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 2016 T - 16/p1
2. REKA SAVA – SEDIMENTI



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Krško pod jezom NEK				
Datum vzor.	3. 2. 2016	23. 5. 2016	10. 8. 2016	18. 11. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	152,4	152,4	156,5	145,1	
Oznaka vzorca	SIS02-16	SIS05-16	SIS08-16	SIS11-16	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,1E+01 ± 9E+00	3,0E+01 ± 1E+01	2,5E+01 ± 8E+00	3,1E+01 ± 9E+00	2,9E+01 ± 5E+00
Ra-226	3,1E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 4E+00	2,8E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	3,1E+01 ± 5E+00	2,7E+01 ± 5E+00	2,8E+01 ± 5E+00	3,5E+01 ± 6E+00	3,0E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	3,7E+02 ± 4E+01	3,2E+02 ± 4E+01	3,3E+02 ± 4E+01	4,8E+02 ± 5E+01	3,7E+02 ± 2E+01
Be-7			1,1E+01 ± 7E+00	2,8E+01 ± 9E+00	9,7E+00 ± 3E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	3,3E+00 ± 9E-01	3,2E+00 ± 7E-01	1,2E+00 ± 6E-01	5,8E+00 ± 1E+00	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 2016 T - 16/p2
2. REKA SAVA – SEDIMENTI



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Pesje				
	Datum vzor.	3. 2. 2016	23. 5. 2016	10. 8. 2016	18. 11. 2016
Kol. vzor. (g)	186,0	130,2	157,3	155,6	
Oznaka vzorca	SPE02-16	SPE05-16	SPE08-16	SPE11-16	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,1E+01 ± 8E+00	3,1E+01 ± 9E+00	2,7E+01 ± 8E+00	3,0E+01 ± 9E+00	2,7E+01 ± 4E+00
Ra-226	2,1E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 4E+00	2,8E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	1,8E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 7E+00	2,8E+01 ± 5E+00	3,7E+01 ± 7E+00	3,0E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	3,2E+02 ± 4E+01	3,7E+02 ± 5E+01	3,3E+02 ± 4E+01	4,0E+02 ± 5E+01	3,6E+02 ± 2E+01
Be-7			1,8E+01 ± 7E+00	1,4E+01 ± 9E+00	8,2E+00 ± 3E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	1,5E+00 ± 7E-01	3,5E+00 ± 1E+00	1,6E+00 ± 8E-01	4,7E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 5E-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 2016 T - 16/p3
2. REKA SAVA – SEDIMENTI



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Brežice				
	Datum vzor.	3. 2. 2016	23. 5. 2016	10. 8. 2016	18. 11. 2016
Kol. vzor. (g)	149,9	150,5	161,8	138,9	
Oznaka vzorca	SBR02-16	SBR06-16	SBR08-16	SBR11-16	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,1E+01 ± 1E+01	3,0E+01 ± 1E+01	2,5E+01 ± 9E+00	3,4E+01 ± 1E+01	3,0E+01 ± 5E+00
Ra-226	3,2E+01 ± 4E+00	2,8E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	3,0E+01 ± 5E+00	2,3E+01 ± 5E+00	2,6E+01 ± 5E+00	3,5E+01 ± 6E+00	2,8E+01 ± 3E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	4,0E+02 ± 5E+01	3,6E+02 ± 4E+01	3,1E+02 ± 4E+01	4,4E+02 ± 5E+01	3,8E+02 ± 2E+01
Be-7			3,2E+01 ± 1E+01	2,9E+01 ± 1E+01	1,5E+01 ± 5E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	2,4E+00 ± 8E-01	2,1E+00 ± 6E-01	2,0E+00 ± 8E-01	5,7E+00 ± 1E+00	3,1E+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 2016 T - 17/p
2. REKA SAVA – SEDIMENTI



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Datum vzor.	3. 2. 2016	23. 5. 2016	10. 8. 2016	18. 11. 2016	Četrtno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	176,9	141,8	179,3	193,7	
Oznaka vzorca	SJE02-16	SJE05-16	SJE08-16	SJE11-16	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,4E+01 ± 8E+00	3,4E+01 ± 1E+01	2,2E+01 ± 7E+00	2,3E+01 ± 7E+00	2,6E+01 ± 4E+00
Ra-226	2,4E+01 ± 3E+00	4,4E+01 ± 5E+00	2,4E+01 ± 3E+00	2,3E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	2,1E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 6E+00	1,6E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 4E+00	2,1E+01 ± 2E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	2,9E+02 ± 4E+01	3,7E+02 ± 5E+01	2,2E+02 ± 3E+01	2,3E+02 ± 3E+01	2,8E+02 ± 2E+01
Be-7		1,4E+01 ± 7E+00	2,1E+01 ± 8E+00		8,8E+00 ± 3E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	1,2E+00 ± 6E-01	4,9E+00 ± 9E-01	6,7E-01 ± 5E-01	1,5E+00 ± 6E-01	2,1E+00 ± 3E-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 2016 T - 18
2. REKA SAVA – SEDIMENTI



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Podsused (R Hrvška)				
Datum vzor.	3. 2. 2016	23. 5. 2016	10. 8. 2016	18. 11. 2016	Četrtno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzor. (g)	182,7	145,3	192,4	166,3	
Oznaka vzorca	SPO02-16	SPO05-16	SPO08-16	SPO11-16	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,6E+01 ± 8E+00	2,9E+01 ± 9E+00	2,2E+01 ± 7E+00	2,7E+01 ± 9E+00	2,6E+01 ± 4E+00
Ra-226	2,3E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 2E+00
Pb-210					
Ra-228	1,8E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 5E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 5E+00	2,4E+01 ± 2E+00
Th-228					
Th-230					
K-40	2,4E+02 ± 3E+01	3,0E+02 ± 4E+01	1,6E+02 ± 2E+01	2,9E+02 ± 4E+01	2,5E+02 ± 2E+01
Be-7			1,1E+01 ± 6E+00	6,3E+00 ± 5E+00 ‡	4,4E+00 ± 2E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	1,1E+00 ± 4E-01	2,2E+00 ± 8E-01	6,4E-01 ± 4E-01	1,5E+00 ± 6E-01	1,4E+00 ± 3E-01
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	3,8E-02 †	3,7E-02 †	3,8E-02 †	3,9E-02 †	3,8E-02 ± 4E-04 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(‡) 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 2016 T - 19
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Krško				
Vrsta vzorca	podust	krap	klen	krap	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	21. 5. 2016	21. 5. 2016	4. 7. 2016	22. 9. 2016	
Oznaka vzorca	RIKR0116	RIKR0416	RIKR0716	RIKR1016	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,0E-01 ± 1E-01				5,0E-02 ± 4E-02
Ra-226	8,7E-02 ± 2E-02	1,9E-01 ± 2E-02	1,6E-01 ± 4E-02	3,5E-01 ± 3E-02	2,0E-01 ± 2E-02
Pb-210	3,9E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 2E-01	6,5E-01 ± 3E-01	1,7E-01 ± 2E-01 ‡	3,7E-01 ± 1E-01
Ra-228		1,7E-01 ± 7E-02		8,7E-02 ± 5E-02	6,4E-02 ± 2E-02
Th-228	1,5E-01 ± 4E-02		1,7E-01 ± 8E-02	1,2E-01 ± 6E-02	1,1E-01 ± 3E-02
Th-230					
K-40	1,3E+02 ± 9E+00	9,9E+01 ± 6E+00	7,9E+01 ± 5E+00	8,3E+01 ± 5E+00	9,9E+01 ± 3E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137	5,5E-02 ± 1E-02	5,9E-02 ± 2E-02	5,3E-02 †	3,9E-02 †	5,1E-02 ± 4E-03 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	3,1E-01 ± 4E-02	1,7E-01 ± 4E-02	2,5E-01 ± 6E-02	5,5E-01 ± 6E-02	3,2E-01 ± 3E-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.

(†) 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 2016 T - 21
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brežice				
Vrsta vzorca	podust	krap	podust	klen	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	21. 5. 2016	21. 5. 2016	4. 7. 2016	22. 9. 2016	
Oznaka vzorca	RIBR0216	RIBR0516	RIBR0816	RIBR1116	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	4,7E-02 ± 2E-01 ‡				1,2E-02 ± 6E-02
Ra-226	8,5E-02 ± 3E-02	7,0E-02 ± 2E-02	6,4E-02 ± 2E-02	3,5E-01 ± 3E-02	1,4E-01 ± 1E-02
Pb-210	3,3E-01 ± 2E-01	5,7E-01 ± 3E-01	6,5E-01 ± 2E-01	6,2E-02 ± 2E-01 ‡	4,0E-01 ± 1E-01
Ra-228	1,4E-01 ± 6E-02	1,2E-01 ± 5E-02	1,7E-01 ± 5E-02	1,5E-01 ± 9E-02	1,5E-01 ± 3E-02
Th-228		6,7E-02 ± 5E-02		1,7E-01 ± 7E-02	5,9E-02 ± 2E-02
Th-230					
K-40	1,0E+02 ± 6E+00	1,1E+02 ± 6E+00	7,8E+01 ± 5E+00	8,8E+01 ± 6E+00	9,4E+01 ± 3E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137	3,5E-02 †	4,5E-02 ± 1E-02	3,3E-02 †	4,4E-02 ± 1E-02	3,9E-02 ± 3E-03 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	7,1E-02 ± 3E-02	1,2E-01 ± 5E-02	1,9E-01 ± 4E-02	1,0E-01 ± 4E-02	1,2E-01 ± 2E-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.

(†) 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 2016 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	krap	klen	mrena	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	21. 5. 2016	4. 7. 2016	22. 9. 2016	22. 9. 2016	
Oznaka vzorca	RJE0316	RJE0616	RJE0916	RJE1216	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238				1,9E-01 ± 2E-01	4,8E-02 ± 4E-02
Ra-226	2,3E-01 ± 2E-02	1,4E-01 ± 4E-02	2,2E-01 ± 2E-02	4,2E-01 ± 4E-02	2,5E-01 ± 1E-02
Pb-210	3,7E-01 ± 1E-01	4,1E-01 ± 4E-01 ‡	5,1E-01 ± 2E-01	5,3E-01 ± 2E-01	4,6E-01 ± 1E-01
Ra-228	5,6E-02 ± 4E-02		1,8E-01 ± 5E-02	1,8E-01 ± 4E-02	1,0E-01 ± 2E-02
Th-228		2,9E-01 ± 8E-02	5,3E-02 ± 5E-02 ‡	1,6E-01 ± 4E-02	1,3E-01 ± 2E-02
Th-230					
K-40	8,1E+01 ± 5E+00	8,2E+01 ± 4E+00	7,7E+01 ± 5E+00	1,2E+02 ± 7E+00	9,0E+01 ± 3E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137	2,3E-02 †	4,0E-02 †	5,9E-02 ± 1E-02	9,0E-02 ± 2E-02	5,3E-02 ± 1E-02 x
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-90	3,8E-02 ± 2E-02	2,8E-01 ± 6E-02	7,8E-02 ± 3E-02	3,1E-01 ± 5E-02	1,8E-01 ± 2E-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.

(†) 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 2016 T - 22/p1
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Jesenice na Dolenjskem				
Vrsta vzorca	Mrena	Krap	Klen	Platnica	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	<i>Barbus barbus</i> 15. 6. 2016	<i>Cyprinus carpio</i> 15. 6. 2016	<i>Leuciscus cephalus</i> 15. 11. 2016	<i>Rutilus pigus virgo</i> 15. 11. 2016	
Kol. vzor. (kg)	0,371	0,411	0,397	0,410	
Odstotek suhe snovi	27,32	30,97	25,85	30,19	
Oznaka vzorca	JE0616R1	JE0616R2	JE1116R1	JE1116R2	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226					
Pb-210					
Ra-228					
Th-228					
Th-230					
K-40	1,0E+02 ± 1E+01	9,9E+01 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01	1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 7E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137	1,7E-01 ± 1E-01			1,4E-01 ± 1E-01 ‡	7,7E-02 ± 4E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 24
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Otok (R Hrvatska)				
Vrsta vzorca	Klen <i>Leuciscus cephalus</i>	Platnica <i>Rutilus pigus virgo</i>	Mrena <i>Barbus barbus</i>	Ploščič <i>Abramis brama</i>	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	15. 6. 2016	15. 6. 2016	15. 11. 2016	15. 11. 2016	
Kol. vzor. (kg)	0,423	0,349	0,495	0,488	
Odstotek suhe snovi	30,80	34,47	26,80	27,03	
Oznaka vzorca	OT0616R1	OT0616R2	OT1116R1	OT1116R2	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226					
Pb-210					
Ra-228					
Th-228					
Th-230					
K-40	1,2E+02 ± 1E+01	1,0E+02 ± 1E+01	1,0E+02 ± 1E+01	1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 6E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137			1,1E-01 ± 9E-02 ‡		2,8E-02 ± 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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 25
2. REKA SAVA – VODNA BIOTA - RIBE



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Podsused (R Hrvatska)				
Vrsta vzorca	Podust <i>Chondrostoma nasus</i>	Jez <i>Leuciscus idus</i>	Ščuka <i>Esox lucius</i>	Bolen <i>Aspius aspius</i>	Povprečje za vzorčevalno mesto (*)
Datum vzor.	15. 6. 2016	15. 6. 2016	15. 11. 2016	15. 11. 2016	
Kol. vzor. (kg)	0,429	0,399	0,504	0,504	
Odstotek suhe snovi	28,38	32,75	22,57	23,57	
Oznaka vzorca	PO0616R1	PO0616R2	PO1116R1	PO1116R2	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238					
Ra-226					
Pb-210					
Ra-228					
Th-228					
Th-230					
K-40	1,2E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01	1,3E+02 ± 2E+01	1,2E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 7E+00
Be-7					
I-131					
Cs-134					
Cs-137				1,5E-01 ± 1E-01	3,7E-02 ± 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).

VODOVODI, ČRPALIŠČA in ZAJETJA

- 3. ENKRATNI VZORCI PITNE VODE
PODTALNICE**
- 4. ČRPALIŠČA VODOVODA KRŠKO IN BREŽICE**

LETO 2016 T - 28
3. VODOVOD KRŠKO – enkratni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Krško (Petrol)				
	9. 2. 2016	25. 4. 2016	5. 9. 2016	22. 11. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	50,62	50,60	48,47	51,84	
Kol. vzorca (L)	K16VD121	K16VD141	K16VD191	K16VD1B1	
Oznaka vzorca					
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	7,9E-01 ± 2E+00 ‡	2,6E+00 ± 7E-01	2,0E+00 ± 8E-01	1,3E+00 ± 5E+00 ‡	1,7E+00 ± 1E+00
Ra-226	1,4E+00 ± 4E-01	2,1E+00 ± 3E-01	2,0E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 6E-01	1,7E+00 ± 2E-01
Pb-210	1,2E+00 †	1,2E+00 ± 7E-01	2,3E+00 ± 4E-01	1,6E+00 ± 2E+00 ‡	1,6E+00 ± 3E-01 x
Ra-228		5,3E-01 ± 2E-01	9,5E-01 ± 3E-01	3,0E-01 ± 5E-01 ‡	4,5E-01 ± 1E-01
Th-228	8,1E-02 ± 3E-01 ‡	2,0E-01 ± 8E-02	3,0E-01 ± 6E-02	4,9E-01 ± 2E-01	2,7E-01 ± 9E-02
Th-230			1,5E+00 ± 3E+00 ‡	3,3E+00 ± 1E+01 ‡	1,2E+00 ± 3E+00
K-40	6,5E+01 ± 7E+00	2,9E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 3E+00	3,6E+01 ± 2E+00
Be-7	2,3E+00 ± 1E+00	2,1E+00 ± 5E-01	3,1E+00 ± 7E-01		1,9E+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	1,4E-01 †	1,0E-01 †	6,0E-01 ± 8E-02	3,9E-01 ± 7E-02	3,1E-01 ± 1E-01 x
H-3	7,2E+02 ± 8E+01	4,2E+02 ± 7E+01	5,5E+02 ± 7E+01	5,9E+02 ± 7E+01	5,7E+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.

LETO 2016 T - 29
3. VODOVOD BREŽICE – enkratni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Brežice (Petrol)				
	9. 2. 2016	25. 4. 2016	5. 9. 2016	22. 11. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	50,16	50,60	51,07	51,85	
Kol. vzorca (L)	K16VD321	K16VD341	K16VD391	K16VD3B1	
Oznaka vzorca					
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	2,0E+00 ± 5E-01	1,3E+00 ± 1E+00	1,5E+00 ± 7E-01		1,2E+00 ± 3E-01
Ra-226	8,5E-01 ± 2E-01	8,6E-01 ± 7E-01 ‡	1,2E+00 ± 2E-01	7,1E+00 ± 1E+00	2,5E+00 ± 3E-01
Pb-210	3,8E+00 ± 5E-01	5,6E-01 ± 1E+00 ‡	5,7E+00 ± 9E-01	1,6E+00 ± 2E+00 ‡	2,9E+00 ± 5E-01
Ra-228		6,7E-01 ± 3E-01	1,0E+00 ± 4E-01		4,2E-01 ± 1E-01
Th-228	1,6E-01 ± 6E-02	2,7E-01 ± 2E-01	3,7E-01 ± 8E-02	1,0E+00 ± 2E-01	4,6E-01 ± 7E-02
Th-230					
K-40	2,2E+01 ± 2E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,0E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00
Be-7	1,4E+00 ± 4E-01	1,5E+00 ± 1E+00 ‡	8,4E+00 ± 9E-01	4,5E+00 ± 8E-01	4,0E+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	2,0E-01 ± 4E-02	9,0E-02 †	9,2E-02 †	8,3E-02 †	1,2E-01 ± 3E-02 x
H-3	2,2E+02 ± 6E+01	2,0E+02 ± 6E+01	3,1E+02 ± 6E+01	3,8E+01 †	1,9E+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 2016 T - V1
3. VRTINA E1 V NEK – enkratni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	Vrtina E1 NEK				
Datum vzor.	9. 2. 2016	25. 4. 2016	5. 9. 2016	22. 11. 2016	Četrletno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	41,82	48,50	40,67	50,64	
Oznaka vzorca	K16VRE121	K16VRE141	K16VRE191	K16VRE1B1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
U-238	2,0E+00 ± 3E+00 ‡	9,6E+00 ± 2E+00	3,8E+00 ± 3E+00	4,9E+00 ± 9E-01	5,1E+00 ± 1E+00
Ra-226	2,3E+00 ± 6E-01	1,9E+00 ± 4E-01	2,2E+00 ± 2E+00	3,5E+00 ± 7E-01	2,5E+00 ± 5E-01
Pb-210	1,3E+00 †	1,0E+00 ± 4E+00 ‡	1,5E+00 ± 4E+00 ‡	4,3E+00 ± 7E-01	2,0E+00 ± 8E-01 x
Ra-228	2,2E+00 ± 6E-01	1,7E+00 ± 5E-01	2,5E+00 ± 6E-01	1,1E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 2E-01
Th-228		3,8E-01 ± 2E-01	4,0E-01 ± 3E-01	9,2E-01 ± 2E-01	4,2E-01 ± 9E-02
Th-230					
K-40	1,2E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 1E+01	1,4E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 6E+00
Be-7		2,2E+00 ± 1E+00	2,3E+00 ± 2E+00	2,3E+00 ± 8E-01	1,7E+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	3,4E+00 ± 2E-01	4,3E+00 ± 3E-01	3,9E+00 ± 4E-01	3,5E+00 ± 2E-01	3,8E+00 ± 1E-01
H-3	1,3E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 5E+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.

(†) 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 2016 T - V2
3. VRTINA VOP-4 V VRBINI – enkratni vzorci



Specifična analiza H-3 (**)

Vzorč. mesto	VOP - 4						
Datum vzor.	30. 12. 2015	1. 2. 2016	1. 3. 2016	4. 4. 2016	3. 5. 2016	1. 6. 2016	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K16VRP411	K16VRP421	K16VRP431	K16VRP441	K16VRP451	K16VRP461	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
H-3	1,6E+03 ± 1E+02	1,8E+03 ± 2E+02	6,6E+02 ± 1E+02	2,1E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 7E+01

Vzorč. mesto	VOP - 4						
Datum vzor.	4. 7. 2016	1. 8. 2016	1. 9. 2016	3. 10. 2016	2. 11. 2016	1. 12. 2016	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Oznaka vzorca	K16VRP471	K16VRP481	K16VRP491	K16VRP4A1	K16VRP4B1	K16VRP4C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
H-3	2,0E+03 ± 3E+02	2,5E+03 ± 4E+02	2,7E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 3E+02	2,2E+03 ± 3E+02	3,8E+03 ± 6E+02	2,1E+03 ± 8E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na IJS na Odseku F-2.

LETO 2016 T - 30a
4. VODOVOD BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Brežice (M. Volčanšek)							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	16. 12. 2015 - 18. 1. 2016	18. 1. 2016 - 16. 2. 2016	16. 2. 2016 - 16. 3. 2016	16. 3. 2016 - 18. 4. 2016	18. 4. 2016 - 16. 5. 2016	16. 5. 2016 - 16. 6. 2016		
Kol. vzorca (L)	48,08	46,17	46,15	49,67	45,23	49,98		
Oznaka vzorca	K16VC3111	K16VC3121	K16VC3131	K16VC3141	K16VC3151	K16VC3161		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238	5,3E-01 ± 2E+00 ‡	2,8E+00 ± 9E-01	3,0E+00 ± 2E+00	1,9E+00 ± 1E+00	6,8E-02 ± 2E-01 ‡	1,9E+00 ± 6E-01	1,7E+00 ± 5E-01	
Ra-226	6,1E-01 ± 6E-01 ‡	1,8E-01 ± 4E-01 ‡		1,8E+00 ± 4E-01	8,9E-02 ± 7E-01 ‡	3,6E-01 ± 2E-01	5,1E-01 ± 2E-01	
Pb-210	1,3E+00	3,1E+00 ± 5E-01 ‡	5,7E-01 ± 3E+00 ‡	5,3E-01	3,2E-01 ± 1E+00 ‡	2,9E+00 ± 4E-01	1,4E+00 ± 5E-01	x
Ra-228	5,5E-01 ± 5E-01 ‡		1,1E+00 ± 5E-01	8,3E-01 ± 4E-01	5,7E-01 ± 4E-01	3,1E-01 ± 2E-01	5,5E-01 ± 2E-01	
Th-228	3,3E-01 ± 5E-01 ‡	2,2E-01 ± 1E-01	4,1E-01 ± 3E-01	2,6E-01 ± 2E-01	5,9E-01 ± 4E-01	2,8E-01 ± 6E-02	3,5E-01 ± 1E-01	
Th-230								
K-40	3,8E+01 ± 5E+00	2,0E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 1E+00	
Be-7	1,8E+00 ± 1E+00 ‡	1,6E+00 ± 6E-01	6,5E+00 ± 1E+00		2,9E+00 ± 2E+00	4,4E+00 ± 6E-01	2,9E+00 ± 5E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137		2,5E-03 ± 3E-02 ‡					4,2E-04 ± 6E-03	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	9,5E-02 †	1,0E-01 †	9,0E-02 †	1,2E-01 †	9,2E-02 †	1,1E-01 †	1,0E-01 ± 4E-03	x
H-3	1,3E+02 ± 2E+01	1,5E+02 ± 2E+01	1,5E+01 †	6,0E+01 ± 2E+01	2,0E+02 ± 3E+01	1,9E+01 †	9,6E+01 ± 3E+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 2016 T - 30b
4. VODOVOD BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Brežice (M. Volčanšek)						Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	16. 6. 2016 - 18. 7. 2016	18. 7. 2016 - 16. 8. 2016	16. 8. 2016 - 15. 9. 2016	15. 9. 2016 - 17. 10. 2016	17. 10. 2016 - 16. 11. 2016	16. 11. 2016 - 15. 12. 2016	
Kol. vzorca (L)	49,19	49,18	50,05	46,42	48,35	44,14	
Oznaka vzorca	K16VC3171	K16VC3181	K16VC3191	K16VC31A1	K16VC31B1	K16VC31C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	3,4E+00 ± 2E+00	4,5E+00 ± 2E+00	3,4E+00 ± 5E+00 ‡	2,0E+00 ± 7E-01	1,1E-01 ± 2E-01 ‡	1,3E+00 ± 1E+00 ‡	2,1E+00 ± 5E-01
Ra-226	1,0E+00 ± 1E+00 ‡		2,7E+00 ± 7E-01 ‡	1,2E+00 ± 2E-01	3,4E-01 ± 3E-01 ‡	7,3E-01 ± 4E-01 ‡	7,6E-01 ± 2E-01
Pb-210	1,8E+00 ± 1E+00	7,3E+00 ± 1E+00	5,3E-01	2,4E+00 ± 5E-01	5,2E+00 ± 7E-01	7,7E-01 ± 2E+00 ‡	2,2E+00 ± 6E-01
Ra-228	1,3E+00 ± 5E-01		7,4E-01 ± 3E-01	4,8E-01 ± 4E-01 ‡			4,9E-01 ± 1E-01
Th-228	5,1E-01 ± 6E-01 ‡	6,5E-01 ± 3E-01		1,6E-02 ± 9E-02 ‡	9,3E-01 ± 1E-01	4,4E-02 ± 2E-01 ‡	3,5E-01 ± 9E-02
Th-230							
K-40	2,3E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 3E+00	9,1E+00 ± 2E+00	2,3E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 3E+00	4,5E+01 ± 5E+00	2,5E+01 ± 9E-01
Be-7	7,8E+00 ± 2E+00	8,5E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 1E+00	2,2E+00 ± 9E-01	4,6E+00 ± 9E-01	1,4E+00 ± 8E-01	3,6E+00 ± 4E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	4,4E-03 ± 6E-02 ‡						5,8E-04 ± 6E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	9,9E-02 †	1,0E-01 †	9,5E-02 †	3,9E-01 †	8,8E-02 †	8,5E-02 †	1,2E-01 ± 2E-02
H-3	1,5E+02 ± 3E+01	3,1E+01 †	1,3E+02 ± 1E+01	3,8E+02 ± 5E+01	1,9E+02 ± 4E+01	2,6E+02 ± 2E+01	1,4E+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 2016 T - 31a
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpaljšče Brege						
Datum vzor.	16.12.2015 - 18.1.2016	18.1.2016 - 16.2.2016	16.2.2016 - 16.3.2016	16.3.2016 - 18.4.2016	18.4.2016 - 16.5.2016	16.5.2016 - 16.6.2016	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	51,87	45,18	45,13	51,11	43,41	47,91	
Oznaka vzorca	K16VC1111	K16VC1121	K16VC1131	K16VC1141	K16VC1151	K16VC1161	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	3,4E+00 ± 2E+00	3,2E+00 ± 6E+00 ‡	3,4E+00 ± 3E+00 ‡	7,9E-01 ± 3E-01	1,2E+00 ± 2E+00 ‡	4,5E-01 ± 1E+00 ‡	1,9E+00 ± 1E+00
Ra-226	4,4E-01 ± 5E-01 ‡		2,7E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 3E-01	1,3E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 3E-01
Pb-210	2,3E+00 ± 1E+00	1,3E+00 †	2,7E+00 ± 1E+00	2,4E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 2E+00	5,0E+00 ± 8E-01	2,8E+00 ± 5E-01 x
Ra-228	9,0E-01 ± 5E-01		8,7E-01 ± 4E-01	6,0E-01 ± 4E-01	6,8E-01 ± 4E-01	9,4E-01 ± 3E-01	6,6E-01 ± 2E-01
Th-228	1,9E-01 ± 3E-01 ‡	1,6E-01 ± 2E-01 ‡	5,2E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 4E-01	2,9E-01 ± 2E-01	2,4E-01 ± 9E-02	4,2E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	6,5E+01 ± 7E+00	8,1E+01 ± 8E+00	7,5E+01 ± 8E+00	7,8E+01 ± 8E+00	5,7E+01 ± 6E+00	7,3E+01 ± 8E+00	7,1E+01 ± 3E+00
Be-7	3,8E+00 ± 2E+00		3,5E+00 ± 1E+00	3,3E+00 ± 1E+00		5,6E+00 ± 1E+00	2,7E+00 ± 5E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137				1,5E-02 ± 7E-02 ‡			2,6E-03 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	1,5E-01 †	6,4E-01 ± 1E-01	1,2E-01 †	5,1E-01 ± 9E-02	1,5E-01 †	1,9E-01 †	2,9E-01 ± 9E-02 x
H-3	1,6E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 2E+02	2,1E+03 ± 2E+02	1,8E+03 ± 2E+02	1,9E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 3E+02	1,9E+03 ± 8E+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 2016 T - 31b
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpaljšče Brege						
Datum vzor.	16.6.2016 - 18.7.2016	18.7.2016 - 16.8.2016	16.8.2016 - 15.9.2016	15.9.2016 - 17.10.2016	17.10.2016 - 16.11.2016	16.11.2016 - 15.12.2016	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	49,33	44,72	46,09	47,51	45,96	45,48	
Oznaka vzorca	K16VC1171	K16VC1181	K16VC1191	K16VC11A1	K16VC11B1	K16VC11C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	6,4E+00 ± 4E+00	2,9E-01 ± 2E+00 ‡	3,0E+00 ± 3E+00 ‡	5,9E+00 ± 5E+00 ‡	4,6E+00 ± 7E+00 ‡		2,7E+00 ± 1E+00
Ra-226		2,6E+00 ± 6E-01	4,4E-01 ± 4E-01 ‡	2,7E-01 ± 5E-01 ‡	7,0E-01 ± 8E-01 ‡	5,4E+00 ± 7E-01	1,3E+00 ± 2E-01
Pb-210	2,3E+00 †	5,5E-01 †	2,7E+00 ± 2E+00	4,0E+00 ± 1E+00	4,7E+00 ± 2E+00	6,1E-01 ± 2E+00 ‡	2,6E+00 ± 4E-01 x
Ra-228	2,2E+00 ± 1E+00	8,0E-01 ± 3E-01	6,7E-01 ± 4E-01	1,2E+00 ± 6E-01	1,1E+00 ± 6E-01	2,8E+00 ± 3E-01	1,1E+00 ± 1E-01
Th-228	1,3E-01 ± 3E-01 ‡	4,5E-01 ± 1E-01	7,4E-01 ± 3E-01	2,8E-01 ± 2E-01 ‡	2,6E-01 ± 3E-01 ‡	4,6E-01 ± 1E-01	4,0E-01 ± 7E-02
Th-230							
K-40	6,9E+01 ± 1E+01	7,3E+01 ± 8E+00	5,4E+01 ± 6E+00	8,1E+01 ± 8E+00	5,4E+01 ± 6E+00	6,7E+01 ± 7E+00	6,9E+01 ± 2E+00
Be-7	4,9E-01 ± 3E+00 ‡		1,0E+00 ± 1E+00 ‡	8,4E+00 ± 2E+00	1,2E+01 ± 2E+00	1,1E+00 ± 8E-01	3,3E+00 ± 4E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137							1,3E-03 ± 6E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	9,1E-02 †	1,1E-01 †	1,1E-01 †	5,1E-01 ± 1E-01	4,8E-01 ± 8E-02	1,4E-01 †	2,7E-01 ± 6E-02 x
H-3	2,1E+03 ± 3E+02	2,1E+03 ± 5E+02	1,9E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 3E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 7E+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 2016 T - 32a
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Rore							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
	16. 12. 2015 - 18. 1. 2016	18. 1. 2016 - 16. 2. 2016	16. 2. 2016 - 16. 3. 2016	16. 3. 2016 - 18. 4. 2016	18. 4. 2016 - 16. 5. 2016	16. 5. 2016 - 16. 6. 2016		
Datum vzor.	41,74	37,33	38,10	42,32	40,56	39,43		
Kol. vzorca (L)								
Oznaka vzorca	K16VC1411	K16VC1421	K16VC1431	K16VC1441	K16VC1451	K16VC1461		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)							
U-238	1,6E+00 ± 6E-01	2,4E+00 ± 8E-01	1,0E+00 ± 1E+00 ‡	1,3E+00 ± 1E+00 ‡	2,0E+00 ± 2E+00 ‡	1,7E+00 ± 2E+00 ‡	1,7E+00 ± 6E-01	
Ra-226	1,5E+00 ± 5E-01	3,1E+00 ± 7E-01	2,4E+00 ± 7E-01	8,5E-01 ± 5E-01	1,8E+00 ± 1E+00	1,6E+00 ± 5E-01	1,9E+00 ± 3E-01	
Pb-210	2,9E+00 ± 5E-01	3,5E+00 ± 8E-01	5,5E+00 ± 8E-01	2,6E+00 ± 1E+00	1,9E+00 †	2,5E+00 ± 1E+00	3,2E+00 ± 5E-01 x	
Ra-228	1,7E-01 ± 2E-01 ‡	5,0E-01 ± 4E-01		1,0E+00 ± 4E-01	1,1E+00 ± 5E-01	7,0E-01 ± 4E-01	5,8E-01 ± 1E-01	
Th-228	1,1E+00 ± 9E-02	2,2E-01 ± 2E-01 ‡	3,3E+00 ± 2E-01	6,4E-01 ± 2E-01	2,0E+00 ± 2E-01	5,6E-01 ± 3E-01	1,3E+00 ± 9E-02	
Th-230								
K-40	2,2E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 5E+00	2,9E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 1E+00	
Be-7	3,1E+00 ± 7E-01	6,3E-01 ± 2E+00 ‡	6,3E+00 ± 1E+00			9,0E+00 ± 2E+00	3,2E+00 ± 5E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137				3,8E-02 ± 2E-01 ‡	1,9E-01 ± 2E-01 ‡	2,8E-01 ± 2E-01	8,5E-02 ± 6E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,2E-01 †	1,3E-01 †	1,2E-01 †	5,0E-01 ± 8E-02	4,0E-01 ± 7E-02	4,8E-01 †	2,9E-01 ± 8E-02 x	
H-3	7,2E+02 ± 7E+01	7,8E+02 ± 7E+01	6,0E+02 ± 6E+01	5,8E+02 ± 7E+01	9,8E+02 ± 1E+02	5,6E+02 ± 9E+01	7,0E+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 2016 T - 32b
4. ČRPALIŠČE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Rore							Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
	16. 6. 2016 - 18. 7. 2016	18. 7. 2016 - 16. 8. 2016	16. 8. 2016 - 15. 9. 2016	15. 9. 2016 - 17. 10. 2016	17. 10. 2016 - 16. 11. 2016	16. 11. 2016 - 15. 12. 2016		
Datum vzor.	40,53	37,79	39,83	42,57	39,51	38,02		
Kol. vzorca (L)								
Oznaka vzorca	K16VC1471	K16VC1481	K16VC1491	K16VC14A1	K16VC14B1	K16VC14C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)							
U-238	7,8E-01 ± 9E-01 ‡		2,2E+00 ± 9E-01	1,7E+00 ± 4E+00 ‡	4,4E+00 ± 2E+00	8,5E-01 ± 9E-01 ‡	1,7E+00 ± 5E-01	
Ra-226	1,9E+00 ± 4E-01	6,8E+00 ± 9E-01	2,6E+00 ± 4E-01	1,5E+00 ± 4E-01	2,9E+00 ± 1E+00	6,7E+00 ± 9E-01	2,8E+00 ± 2E-01	
Pb-210	3,1E+00 ± 7E-01	5,7E-01 †	2,6E+00 ± 9E-01	3,6E+00 ± 3E+00	1,5E+00 ± 1E+00 ‡	1,5E+00 ± 7E-01	2,6E+00 ± 4E-01 x	
Ra-228	4,9E-01 ± 4E-01	5,8E-01 ± 7E-01 ‡	7,1E-01 ± 6E-01 ‡	8,2E-01 ± 7E-01 ‡	2,3E-01 ± 7E-01 ‡	6,1E+00 ± 4E-01	1,0E+00 ± 1E-01	
Th-228	4,9E-01 ± 1E-01	6,0E-01 ± 2E-01	2,9E-01 ± 9E-02		1,3E+00 ± 8E-01	7,6E-01 ± 9E-02	9,4E-01 ± 8E-02	
Th-230	4,5E+00 ± 5E+00 ‡						3,7E-01 ± 4E-01	
K-40	3,0E+01 ± 5E+00	2,7E+01 ± 3E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 4E+00	3,3E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 1E+00	
Be-7	7,3E+00 ± 1E+00	2,9E+00 ± 2E+00	8,3E+00 ± 1E+00	2,3E+00 ± 1E+00	1,7E+01 ± 2E+00	5,5E+00 ± 1E+00	5,2E+00 ± 4E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137					5,4E-03 ± 8E-02 ‡		4,3E-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-01 ± 9E-02	5,2E-01 ± 9E-02	5,1E-01 ± 8E-02	4,8E-01 ± 8E-02	5,4E-01 ± 9E-02	6,3E-01 ± 9E-02	4,1E-01 ± 5E-02 x	
H-3	6,5E+02 ± 1E+02	6,8E+02 ± 2E+02	6,5E+02 ± 6E+01	7,1E+02 ± 1E+02	7,1E+02 ± 9E+01	5,3E+02 ± 5E+01	6,8E+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 2016 T - 33a
4. ZAJETJE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Spodnji Stari Grad							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	16. 12. 2015 - 18. 1. 2016	18. 1. 2016 - 16. 2. 2016	16. 2. 2016 - 16. 3. 2016	16. 3. 2016 - 18. 4. 2016	18. 4. 2016 - 16. 5. 2016	16. 5. 2016 - 16. 6. 2016		
Kol. vzorca (L)	47,40	48,09	44,17	50,14	39,77	48,29		
Oznaka vzorca	K16VC211	K16VC221	K16VC231	K16VC241	K16VC251	K16VC261		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238	2,9E+00 ± 1E+00	4,2E+00 ± 2E+00	1,7E+00 ± 2E+00 ‡	2,7E+00 ± 2E+00	4,3E+00 ± 2E+00	2,2E+00 ± 3E+00 ‡	3,0E+00 ± 9E-01	
Ra-226	1,4E+00 ± 9E-01	2,9E-01 ± 4E-01 ‡	4,3E+00 ± 2E+00	4,6E-01 ± 3E-01	1,9E-01 ± 7E-01 ‡		1,1E+00 ± 3E-01	
Pb-210	3,4E-01 †	1,6E+00 ± 3E+00 ‡	6,7E-01 †	3,8E+00 ± 2E+00	1,7E+00 †	7,7E-01 †	1,5E+00 ± 5E-01	x
Ra-228	5,0E-01 ± 3E-01	1,3E+00 ± 7E-01	7,6E-01 ± 5E-01	3,9E-01 ± 5E-01 ‡		6,0E-01 ± 3E-01	5,9E-01 ± 2E-01	
Th-228	1,4E+00 ± 2E-01	2,4E-01 ± 2E-01	1,5E+00 ± 3E-01	8,0E-02 ± 3E-01 ‡		7,8E-01 ± 5E-01	7,0E-01 ± 1E-01	
Th-230								
K-40	2,0E+01 ± 3E+00	1,8E+01 ± 3E+00	1,7E+01 ± 3E+00	1,8E+01 ± 3E+00	1,5E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 2E+00	1,8E+01 ± 1E+00	
Be-7	1,3E+00 ± 8E-01	4,3E-01 ± 1E+00 ‡		2,5E+00 ± 1E+00	1,4E+00 ± 2E+00 ‡		9,4E-01 ± 5E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137		4,2E-01 ± 1E-01					7,0E-02 ± 2E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	7,0E-01 ± 9E-02	6,7E-01 ± 8E-02	9,7E-01 ± 1E-01	8,5E-01 ± 9E-02	4,9E-01 ± 9E-02	7,0E-01 ± 1E-01	7,3E-01 ± 4E-02	
H-3	6,6E+02 ± 6E+01	7,2E+02 ± 6E+01	6,4E+02 ± 6E+01	6,3E+02 ± 9E+01	8,7E+02 ± 8E+01	6,6E+02 ± 8E+01	7,0E+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 aposteriornimi negotovostjo.

LETO 2016 T - 33b
4. ZAJETJE VODOVODA KRŠKO – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	vodovod Spodnji Stari Grad						Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	16. 6. 2016 - 18. 7. 2016	18. 7. 2016 - 16. 8. 2016	16. 8. 2016 - 15. 9. 2016	15. 9. 2016 - 17. 10. 2016	17. 10. 2016 - 16. 11. 2016	16. 11. 2016 - 15. 12. 2016	
Kol. vzorca (L)	43,78	48,61	45,34	47,08	45,43	44,22	
Oznaka vzorca	K16VC271	K16VC281	K16VC291	K16VC2A1	K16VC2B1	K16VC2C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	8,9E+00 ± 1E+01 ‡	1,5E+00 ± 5E-01	1,7E+00 ± 2E+00 ‡	2,1E+00 ± 2E+00	3,7E+00 ± 6E+00 ‡	2,8E+00 ± 4E+00 ‡	3,2E+00 ± 1E+00
Ra-226	6,0E-02 ± 8E-01 ‡	5,0E-01 ± 2E-01	3,1E-01 ± 1E+00 ‡	4,6E-01 ± 6E-01 ‡	8,1E-01 ± 8E-01 ‡	3,2E+00 ± 7E-01	1,0E+00 ± 2E-01
Pb-210	3,8E+00 ± 2E+00	1,2E+00 ± 5E-01	2,1E+00 ± 2E+00 ‡	4,0E-01 †	1,6E+00 ± 1E+00 ‡	1,4E+00 ± 1E+00 ‡	1,6E+00 ± 3E-01
Ra-228	1,4E+00 ± 4E-01		1,2E+00 ± 5E-01	2,5E-01 ± 4E-01 ‡	1,3E+00 ± 7E-01	2,7E+00 ± 4E-01	8,6E-01 ± 1E-01
Th-228	3,6E-01 ± 5E-01 ‡	1,7E-01 ± 6E-02	4,7E-01 ± 7E-01 ‡	5,2E-01 ± 3E-01	2,8E-01 ± 2E-01	4,6E-01 ± 3E-01	5,4E-01 ± 1E-01
Th-230							
K-40	1,8E+01 ± 3E+00	1,7E+01 ± 2E+00	1,7E+01 ± 5E+00	1,4E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 4E+00	6,5E+01 ± 7E+00	2,2E+01 ± 1E+00
Be-7	3,7E+00 ± 2E+00		1,3E+00 ± 1E+00 ‡		6,9E-01 ± 1E+00 ‡	2,8E+00 ± 2E+00	1,2E+00 ± 4E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137				4,2E-03 ± 6E-02 ‡			3,5E-02 ± 1E-02
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	7,4E-01 ± 1E-01	6,5E-01 ± 8E-02	6,8E-01 ± 1E-01	7,7E-01 ± 1E-01	6,5E-01 ± 8E-02	7,2E-01 ± 1E-01	7,1E-01 ± 3E-02
H-3	7,5E+02 ± 8E+01	6,6E+02 ± 1E+02	6,1E+02 ± 7E+01	5,9E+02 ± 1E+02	9,7E+02 ± 1E+02	1,6E+03 ± 2E+02	7,8E+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 aposteriornimi negotovostjo.

LETO 2016 T - 34a
4. ČRPALIŠČE VODOVODA BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Brežice (Glogov Brod novo)							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	16. 12. 2015 - 18. 1. 2016	18. 1. 2016 - 16. 2. 2016	16. 2. 2016 - 16. 3. 2016	16. 3. 2016 - 18. 4. 2016	18. 4. 2016 - 16. 5. 2016	16. 5. 2016 - 16. 6. 2016		
Kol. vzorca (L)	43,11	36,93	35,42	38,81	34,35	35,16		
Oznaka vzorca	K16VC3211	K16VC3221	K16VC3231	K16VC3241	K16VC3251	K16VC3261		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238	2,2E+00 ± 8E-01	2,7E+00 ± 1E+00	1,4E+00 ± 2E+00 ‡	4,6E+00 ± 2E+00		3,9E+00 ± 6E+00 ‡	2,5E+00 ± 1E+00	
Ra-226	4,1E-01 ± 2E-01	8,6E-01 ± 6E-01			2,4E+00 ± 2E+00 ‡	4,5E+00 ± 2E+00 ‡	6,1E-01 ± 4E-01	
Pb-210	5,5E+00 ± 7E-01	3,8E+00 ± 1E+00	3,7E+00 ± 2E+00	1,7E+00 †			3,9E+00 ± 5E-01	x
Ra-228	3,3E-01 ± 3E-01	7,6E-01 ± 5E-01		1,1E+00 ± 5E-01			3,1E-01 ± 8E-01 ‡	
Th-228	1,7E-01 ± 8E-02	4,6E-01 ± 3E-01			1,1E+00 ± 3E-01		3,2E-01 ± 6E-01 ‡	
Th-230								
K-40	2,4E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 3E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,3E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 4E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,2E+01 ± 1E+00	
Be-7	1,1E+00 ± 7E-01	5,3E-01 ± 2E+00 ‡	8,2E+00 ± 4E+00	7,6E-01 ± 9E-01 ‡	2,9E+00 ± 2E+00	8,3E+00 ± 1E+00	3,6E+00 ± 8E-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	8,7E-02 †	1,2E-01 †	1,1E-01 †	1,0E-01 †	1,7E-01 †	1,3E-01 †	1,2E-01 ± 1E-02	x
H-3	7,1E+01 ± 9E+00	1,9E+02 ± 2E+01	1,6E+02 ± 2E+01	1,1E+02 ± 3E+01	1,3E+02 ± 3E+01	1,6E+02 ± 4E+01	1,4E+02 ± 1E+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 2016 T - 34b
4. ČRPALIŠČE VODOVODA BREŽICE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**)

Vzorč. mesto	črpališče Brežice (Glogov Brod novo)						Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	16. 6. 2016 - 18. 7. 2016	18. 7. 2016 - 16. 8. 2016	16. 8. 2016 - 15. 9. 2016	15. 9. 2016 - 17. 10. 2016	17. 10. 2016 - 16. 11. 2016	16. 11. 2016 - 15. 12. 2016	
Kol. vzorca (L)	35,61	31,87	40,31	31,90	51,49	47,18	
Oznaka vzorca	K16VC3271	K16VC3281	K16VC3291	K16VC32A1	K16VC32B1	K16VC32C1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
U-238	1,9E+00 ± 1E+00	6,4E+00 ± 2E+00	7,3E-02 ± 2E-01 ‡	2,9E+00 ± 3E+00 ‡	3,3E+00 ± 1E+00	5,0E+00 ± 1E+00	2,9E+00 ± 7E-01
Ra-226			7,3E-01 ± 5E-01	1,8E+00 ± 3E+00 ‡	2,1E-01 ± 4E-01 ‡	6,7E-01 ± 1E+00 ‡	5,9E-01 ± 3E-01
Pb-210	5,8E+00 ± 2E+00	9,7E+00 ± 4E+00	4,0E+00 ± 2E+00	4,0E+00 ± 2E+00	1,7E+00 ± 3E+00 ‡	1,0E+01 ± 3E+00	4,9E+00 ± 8E-01
Ra-228	1,9E-01 ± 5E-01 ‡	1,8E+00 ± 7E-01	4,4E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 5E-01	1,2E+00 ± 5E-01	7,9E-01 ± 5E-01	9,0E-01 ± 2E-01
Th-228	3,8E-01 ± 1E-01 ‡	7,9E-01 ± 2E-01	3,9E-01 ± 3E-01	1,4E+00 ± 4E-01	3,3E-01 ± 2E-01	2,5E+00 ± 2E-01	6,5E-01 ± 8E-02
Th-230							
K-40	2,0E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 5E+00	2,2E+01 ± 5E+00	2,3E+01 ± 5E+00	2,4E+01 ± 3E+00	2,2E+01 ± 3E+00	2,2E+01 ± 1E+00
Be-7	9,8E+00 ± 1E+00	5,9E+00 ± 1E+00		1,2E+00 ± 3E+00 ‡	1,6E+00 ± 1E+00	2,5E+01 ± 1E+00	5,4E+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	1,2E-01 †	1,4E-01 †	1,0E-01 †	1,3E-01 †	7,3E-02 †	9,8E-02 †	1,2E-01 ± 8E-03
H-3	3,1E+01 †	2,1E+02 ± 4E+01	9,9E+01 ± 2E+01	1,4E+02 ± 3E+01	1,2E+02 ± 2E+01	1,2E+02 ± 5E+01	1,3E+02 ± 1E+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 2016 T - 35a

4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	MEDSAVE (R Hrvatska)						
Datum vzor.	15. 1. 2016	4. 2. 2016	3. 3. 2016	7. 4. 2016	2. 5. 2016	3. 6. 2016	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	58,03	60,53	50,67	50,42	54,67	49,04	
Oznaka vzorca	MED01-16	MED02-16	MED03-16	MED04-16	MED05-16	MED06-16	
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238					2,5E+00 ± 1E+00	3,9E+00 ± 1E+00	1,1E+00 ± 2E-01
Ra-226							
Pb-210							
Ra-228	1,5E+00 ± 1E+00						2,6E-01 ± 2E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	4,9E+01 ± 1E+01	6,6E+01 ± 1E+01	4,9E+01 ± 1E+01	7,3E+01 ± 1E+01	8,7E+01 ± 1E+01	6,4E+01 ± 1E+01	6,5E+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	1,3E+00 ± 2E-01	2,5E+00 ± 3E-01	1,9E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 3E-01	2,7E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 1E-01
H-3	4,9E+02 ± 2E+02	4,0E+02 ± 1E+02	3,2E+02 ± 1E+02	8,0E+02 ± 1E+02	1,2E+03 ± 1E+02	5,9E+02 ± 1E+02	6,3E+02 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 35b

4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	MEDSAVE (R Hrvatska)						
Datum vzor.	1. 7. 2016	8. 8. 2016	7. 9. 2016	10. 10. 2016	14. 11. 2016	5. 12. 2016	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	50,94	52,27	52,02	51,78	49,63	52,10	
Oznaka vzorca	MED07-16	MED08-16	MED09-16	MED10-16	MED11-16	MED12-16	
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238						3,5E+00 ± 2E+00	2,9E-01 ± 2E-01
Ra-226	4,2E+00 ± 1E+00	3,6E+00 ± 1E+00					1,2E+00 ± 2E-01
Pb-210							
Ra-228							1,3E-01 ± 9E-02
Th-228							
Th-230							
K-40	7,1E+01 ± 1E+01	7,9E+01 ± 1E+01	8,1E+01 ± 1E+01	7,9E+01 ± 1E+01	5,5E+01 ± 1E+01	3,6E+01 ± 7E+00	6,6E+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	2,5E+00 ± 2E-01	2,2E+00 ± 3E-01	2,1E+00 ± 2E-01	1,9E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 7E-02
H-3	1,7E+03 ± 2E+02	1,6E+03 ± 2E+02	5,7E+03 ± 4E+02	3,0E+03 ± 3E+02	4,4E+03 ± 3E+02	4,1E+02 ± 8E+01	1,7E+03 ± 6E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 36a
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	ŠIBICE (R Hrvatska)						
Datum vzor.	15. 1. 2016	4. 2. 2016	3. 3. 2016	7. 4. 2016	2. 5. 2016	3. 6. 2016	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	51,63	50,83	60,29	48,41	52,87	49,63	
Oznaka vzorca	SIB01-16	SIB02-16	SIB03-16	SIB04-16	SIB05-16	SIB06-16	
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238				3,4E+00 ± 1E+00	3,0E+00 ± 1E+00		1,1E+00 ± 3E-01
Ra-226							
Pb-210							
Ra-228	2,6E+00 ± 1E+00	1,6E+00 ± 1E+00		4,4E+00 ± 2E+00	2,6E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 1E+00	2,3E+00 ± 5E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	4,9E+01 ± 1E+01	5,9E+01 ± 1E+01	4,3E+01 ± 9E+00	6,1E+01 ± 1E+01	4,7E+01 ± 1E+01	5,6E+01 ± 1E+01	5,3E+01 ± 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	3,0E+00 ± 3E-01	3,3E+00 ± 4E-01	2,8E+00 ± 3E-01	3,7E+00 ± 4E-01	2,9E+00 ± 4E-01	3,3E+00 ± 3E-01	3,2E+00 ± 1E-01
H-3	5,8E+02 ± 1E+02	4,6E+02 ± 1E+02	3,9E+02 ± 1E+02	2,9E+02 ± 1E+02	2,1E+02 ± 1E+02	4,4E+01 †	3,3E+02 ± 8E+01 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(†) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 36b
4. PODTALNICA – R HRVAŠKA - enkratni vzorci nefiltrirane vode



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3

Vzorč. mesto	ŠIBICE (R Hrvatska)						
Datum vzor.	1. 7. 2016	8. 8. 2016	7. 9. 2016	28. 10. 2016	14. 11. 2016	5. 12. 2016	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (L)	41,57	47,88	47,56	48,03	51,13	48,16	
Oznaka vzorca	SIB07-16	SIB08-16	SIB09-16	SIB10-16	SIB11-16	SIB12-16	
KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
U-238						6,1E+00 ± 2E+00	5,1E-01 ± 2E-01
Ra-226		4,7E+00 ± 1E+00	2,6E+00 ± 1E+00	2,2E+00 ± 1E+00		2,2E+00 ± 6E-01	1,5E+00 ± 2E-01
Pb-210							
Ra-228			1,9E+00 ± 1E+00	3,1E+00 ± 1E+00	1,7E+00 ± 1E+00	3,3E+00 ± 1E+00	2,0E+00 ± 3E-01
Th-228							
Th-230							
K-40	7,1E+01 ± 1E+01	5,8E+01 ± 1E+01	6,4E+01 ± 1E+01	6,7E+01 ± 1E+01	5,1E+01 ± 1E+01	4,5E+01 ± 8E+00	5,6E+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	3,0E+00 ± 3E-01	3,3E+00 ± 4E-01	2,8E+00 ± 3E-01	3,7E+00 ± 4E-01	2,9E+00 ± 4E-01	3,3E+00 ± 3E-01	3,2E+00 ± 1E-01
H-3	3,3E+02 ± 1E+02	5,7E+02 ± 1E+02	3,2E+02 ± 2E+02	4,4E+02 ± 1E+02	4,8E+02 ± 1E+02	2,6E+03 ± 3E+02	5,6E+02 ± 2E+02 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(†) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

5. PADAVINE IN USEDI

6. USEDI – VAZELINSKE PLOŠČE

LETO 2016 T - 37a
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Bregje							
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	15,33	44,04	11,70	18,96	28,03	38,20		
Padavine (mm)***	53,0	182,1	62,8	58,2	117,6	162,9		
Oznaka vzorca	K16PD211	K16PD221	K16PD231	K16PD241	K16PD251	K16PD261		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22		1,2E+00 ± 8E-01			4,1E-01 ± 8E-01 ‡			2,7E-01 ± 2E-01
U-238			1,2E+01 ± 4E+00		2,6E-01 ± 3E-01 ‡			3,5E+00 ± 1E+00
Ra-226	9,3E+00 ± 6E+00	6,3E+01 ± 4E+00	8,9E+01 ± 1E+01	1,2E+02 ± 2E+01	3,4E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 3E+00		1,5E+02 ± 6E+00
Pb-210	5,7E+02 ± 3E+01	3,5E-01 ± 3E-01 ‡		8,5E-01 ± 1E+00 ‡		3,3E-01 ± 6E-01 ‡		2,6E-01 ± 2E-01
Ra-228				1,2E+01 ± 5E+01 ‡				2,0E+00 ± 8E+00
Th-230			2,7E+00 ± 1E+00	5,9E-01 ± 4E-01				1,1E+00 ± 2E-01
Th-228	2,8E+00 ± 5E-01	1,5E-01 ± 1E-01 ‡	1,2E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 5E+00	7,8E+00 ± 2E+00	1,8E+01 ± 4E+00		1,8E+01 ± 2E+00
K-40	3,2E+01 ± 6E+00	4,5E+00 ± 2E+01	1,7E+02 ± 1E+01	2,6E+02 ± 2E+01	1,7E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 6E+00		2,3E+02 ± 7E+00
Be-7	4,2E+02 ± 2E+01							
I-131								
Cs-134								
Cs-137	8,1E-01 ± 3E-01	1,2E-01 ± 1E-01 ‡	1,5E-02 ± 2E-01 ‡	1,6E-01 ± 3E-01 ‡				1,8E-01 ± 8E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,5E-01 †	9,7E-02 †	3,9E-01 †	2,2E-01 †	1,6E-01 †	1,2E-01 †		2,1E-01 ± 4E-02 x
H-3	1,3E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 1E+02	2,2E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 1E+02	2,1E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 1E+02		1,8E+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.
*** 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	Bregje							
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		Polletni used (*)
Kol. vzorca (L)	15,3	44,0	11,7	19,0	28,0	38,2		
Padavine (mm)***	53,0	182,1	62,8	58,2	117,6	162,9		
Oznaka vzorca	K16PD211	K16PD221	K16PD231	K16PD241	K16PD251	K16PD261		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22		2,2E-01 ± 1E-01			4,8E-02 ± 1E-01 ‡			2,6E-01 ± 2E-01
U-238			7,3E-01 ± 3E-01		3,1E-02 ± 4E-02 ‡			1,3E+00 ± 4E-01
Ra-226	4,9E-01 ± 3E-01	1,1E+01 ± 7E-01	5,6E+00 ± 7E-01	7,2E+00 ± 9E-01	4,0E+00 ± 2E-01	3,1E+00 ± 5E-01		6,2E+01 ± 2E+00
Pb-210	3,0E+01 ± 2E+00	6,4E-02 ± 6E-02 ‡		5,0E-02 ± 7E-02 ‡		5,4E-02 ± 1E-01 ‡		1,7E-01 ± 1E-01
Ra-228				6,9E-01 ± 3E+00 ‡				6,9E-01 ± 3E+00
Th-230				1,2E+01 ± 5E+01 ‡				4,0E-01 ± 8E-02
Th-228	1,5E-01 ± 3E-02	2,8E-02 ± 2E-02 ‡	1,7E-01 ± 6E-02	3,4E-02 ± 2E-02	2,4E-02 ± 1E-02	2,9E+00 ± 6E-01		8,9E+00 ± 8E-01
K-40	1,7E+00 ± 3E-01	8,2E-01 ± 2E-01	7,7E-01 ± 3E-01	1,8E+00 ± 3E-01	9,1E-01 ± 3E-01	2,9E+00 ± 6E-01		1,3E+02 ± 5E+00
Be-7	2,2E+01 ± 1E+00	4,7E+01 ± 4E+00	1,1E+01 ± 8E-01	1,5E+01 ± 1E+00	2,0E+01 ± 1E+00	1,9E+01 ± 1E+00		
I-131								
Cs-134								
Cs-137	4,3E-02 ± 2E-02	2,2E-02 ± 2E-02 ‡	9,5E-04 ± 1E-02 ‡	9,4E-03 ± 2E-02 ‡				7,5E-02 ± 3E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,3E-02 †	1,8E-02 †	2,4E-02 †	1,3E-02 †	1,8E-02 †	2,0E-02 †		1,1E-01 x
H-3	7,1E+01 ± 5E+00	2,7E+02 ± 2E+01	1,4E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 7E+00	2,5E+02 ± 2E+01	2,5E+02 ± 2E+01		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 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.

LETO 2016 T - 37b
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Bregje							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Kol. vzorca (L)	12,37	20,59	22,40	24,33	29,58	0,16		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)***	75,5	99,2	66,6	122,9	124,3	1,0		
Oznaka vzorca	K16PD271	K16PD281	K16PD291	K16PD2A1	K16PD2B1	K16PD2C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22								
U-238	1,0E+01 ± 3E+01 ‡	9,1E+00 ± 2E+00	5,6E+00 ± 5E+00 ‡	9,4E-01 ± 1E+00 ‡		2,3E+03 ± 1E+03	2,5E+00 ± 3E+00	
Ra-226		1,6E+00 ± 7E-01	9,0E-01 ± 2E+00 ‡		2,6E+00 ± 6E-01	4,2E+02 ± 1E+02	2,4E+00 ± 7E-01	
Pb-210	1,7E+01 ± 5E+00	1,3E+02 ± 8E+00	5,0E+01 ± 4E+00	1,8E+01 ± 1E+00	3,8E+01 ± 3E+00	3,1E+04 ± 3E+03	1,0E+02 ± 4E+00	
Ra-228	3,5E+00 ± 2E+00	4,6E-01 ± 9E-01 ‡	1,0E+00 ± 2E+00 ‡		1,5E+00 ± 4E-01	3,5E+02 ± 1E+02	7,3E-01 ± 3E-01	
Th-230						3,7E+02 ± 4E+03 ‡	1,1E+00 ± 4E+00	
Th-228	3,9E+00 ± 3E+00 ‡	1,1E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 5E-01	2,4E-01 ± 2E-01	4,3E-01 ± 2E-01	1,7E+02 ± 5E+01	1,2E+00 ± 3E-01	
K-40	1,9E+01 ± 6E+00		1,1E+01 ± 5E+00	2,0E+00 ± 2E+00 ‡	4,1E+00 ± 2E+00	1,8E+03 ± 6E+02	1,3E+01 ± 1E+00	
Be-7	1,1E+02 ± 7E+00	4,5E+02 ± 3E+01	1,1E+02 ± 5E+00	8,2E+01 ± 6E+00	8,7E+01 ± 4E+00	1,4E+04 ± 1E+03	2,0E+02 ± 5E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,5E-01 ± 6E-01 ‡					5,0E+01 ± 4E+01	1,1E-01 ± 7E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	3,4E-01	2,0E-01 †	2,1E-01 †	2,0E-01 †	1,4E-01 †	2,9E+01 †	2,1E-01 ± 3E-02 x	
H-3	1,3E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	6,6E+03 ± 3E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,1E+04 ± 3E+02	2,1E+03 ± 4E+01	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost). V mesečnem povprečju za celo leto decembrski vzorec ni upoštevan.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2. Decembrski vzorec H-3 je bil analiziran na Odseku F-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	Bregje							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Kol. vzorca (L)	12,4	20,6	22,4	24,3	29,6	0,2		Letni used (*)
Padavine (mm)***	75,5	99,2	66,6	122,9	124,3	1,0		
Oznaka vzorca	K16PD271	K16PD281	K16PD291	K16PD2A1	K16PD2B1	K16PD2C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22								
U-238	7,6E-01 ± 2E+00 ‡	9,0E-01 ± 2E-01	3,7E-01 ± 3E-01 ‡	1,2E-01 ± 1E-01 ‡		2,3E+00 ± 1E+00	4,7E+00 ± 3E+00	
Ra-226		1,6E-01 ± 7E-02	6,0E-02 ± 1E-01 ‡		3,2E-01 ± 7E-02	4,2E-01 ± 1E-01	2,2E+00 ± 5E-01	
Pb-210	1,3E+00 ± 4E-01	1,3E+01 ± 8E-01	3,3E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 2E-01	4,7E+00 ± 4E-01	3,1E+01 ± 3E+00	1,2E+02 ± 4E+00	
Ra-228	2,6E-01 ± 1E-01	4,6E-02 ± 9E-02 ‡	6,9E-02 ± 1E-01 ‡		1,8E-01 ± 5E-02	3,5E-01 ± 1E-01	1,1E+00 ± 3E-01	
Th-230						3,7E-01 ± 4E+00 ‡	1,1E+00 ± 5E+00	
Th-228	3,0E-01 ± 2E-01 ‡	1,1E-01 ± 3E-02	7,9E-02 ± 3E-02	3,0E-02 ± 2E-02	5,3E-02 ± 3E-02	1,7E-01 ± 5E-02	1,1E+00 ± 3E-01	
K-40	1,5E+00 ± 5E-01		7,1E-01 ± 3E-01	2,5E-01 ± 3E-01 ‡	5,1E-01 ± 2E-01	1,8E+00 ± 6E-01	1,4E+01 ± 1E+00	
Be-7	8,3E+00 ± 5E-01	4,5E+01 ± 3E+00	7,2E+00 ± 4E-01	1,0E+01 ± 8E-01	1,1E+01 ± 5E-01	1,4E+01 ± 1E+00	2,3E+02 ± 6E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,1E-02 ± 5E-02 ‡					5,0E-02 ± 4E-02	1,4E-01 ± 7E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,6E-02	2,0E-02 †	1,4E-02 †	2,4E-02 †	1,8E-02 †	2,9E-02 †	2,4E-01 x	
H-3	1,0E+02 ± 8E+00	1,4E+02 ± 1E+01	8,7E+01 ± 7E+00	8,1E+02 ± 4E+01	1,8E+02 ± 1E+01	1,1E+01 ± 3E-01	2,4E+03 ± 5E+01	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost). V letnem usedu je upoštevan tudi decembrski vzorec.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2. Decembrski vzorec H-3 je bil analiziran na Odseku F-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.

LETO 2016 T - 38a
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Krško							
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (L)	13,48	49,03	11,50	19,78	32,26	37,89		
Padavine (mm)	58,1	209,1	51,5	62,0	151,6	132,2		
Oznaka vzorca	K16PD311	K16PD321	K16PD331	K16PD341	K16PD351	K16PD361		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22		1,1E+00 ± 2E+00 ‡		8,1E+00 ± 7E+00 ‡	1,0E-01 ± 1E-01 ‡		1,7E-02 ± 2E-02	
U-238						3,7E+00 ± 4E+00 ‡	2,2E+00 ± 1E+00	
Ra-226	2,6E-01 ± 1E+00 ‡				2,4E+00 ± 9E-01	1,4E+00 ± 2E+00 ‡	6,8E-01 ± 5E-01	
Pb-210	1,5E+02 ± 9E+00 ‡	6,0E+01 ± 3E+00	7,0E+01 ± 5E+00	1,8E+02 ± 1E+01	6,0E+01 ± 5E+00	3,0E+01 ± 5E+00	9,2E+01 ± 3E+00	
Ra-228	1,4E+00 ± 1E+00 ‡	1,0E+00 ± 7E-01		6,4E-01 ± 9E-01 ‡		9,7E-01 ± 1E+00 ‡	6,7E-01 ± 4E-01	
Th-230								
Th-228	7,5E-01 ± 2E+00 ‡	4,6E-02 ± 1E-01 ‡	5,0E-01 ± 2E-01	2,8E+00 ± 1E+00	4,7E-01 ± 2E-01	1,6E-01 ± 3E-01 ‡	7,8E-01 ± 4E-01	
K-40	5,0E+01 ± 8E+00	6,0E+00 ± 2E+00	1,3E+01 ± 3E+00	7,1E+01 ± 1E+01	2,6E+01 ± 3E+00	2,1E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 3E+00	
Be-7	1,0E+02 ± 6E+00	3,1E+02 ± 2E+01	1,6E+02 ± 1E+01	5,6E+02 ± 2E+01	4,0E+02 ± 2E+01	2,4E+02 ± 1E+01	3,0E+02 ± 6E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137			1,8E-02 ± 1E-01 ‡	3,3E-02 ± 2E-01 ‡			8,5E-03 ± 4E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,8E-01	8,4E-02 †	3,1E-01 †	2,3E-01 †	1,3E-01 †	1,6E-01 †	2,0E-01 ± 4E-02	x
H-3	1,6E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 1E+02	2,1E+03 ± 1E+02	1,6E+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.

(‡) 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.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		Polletni used (*)
Kol. vzorca (L)	13,5	49,0	11,5	19,8	32,3	37,9		
Padavine (mm)	58,1	209,1	51,5	62,0	151,6	132,2		
Oznaka vzorca	K16PD311	K16PD321	K16PD331	K16PD341	K16PD351	K16PD361		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22		2,3E-01 ± 3E-01 ‡		5,0E-01 ± 4E-01 ‡	1,6E-02 ± 2E-02 ‡		1,6E-02 ± 2E-02	
U-238						4,9E-01 ± 5E-01 ‡	1,2E+00 ± 8E-01	
Ra-226	1,5E-02 ± 7E-02 ‡				3,6E-01 ± 1E-01	1,9E-01 ± 3E-01 ‡	5,6E-01 ± 4E-01	
Pb-210	8,5E+00 ± 5E-01	1,2E+01 ± 6E-01	3,6E+00 ± 2E-01	1,1E+01 ± 8E-01	9,1E+00 ± 7E-01	3,9E+00 ± 7E-01	4,9E+01 ± 2E+00	
Ra-228	8,0E-02 ± 7E-02 ‡	2,1E-01 ± 1E-01		4,0E-02 ± 6E-02 ‡		1,3E-01 ± 2E-01 ‡	4,6E-01 ± 3E-01	
Th-230								
Th-228	4,4E-02 ± 1E-01 ‡	9,6E-03 ± 3E-02 ‡	2,6E-02 ± 1E-02	1,7E-01 ± 7E-02	7,2E-02 ± 4E-02	2,1E-02 ± 4E-02 ‡	3,4E-01 ± 1E-01	
K-40	2,9E+00 ± 4E-01	1,3E+00 ± 5E-01	6,8E-01 ± 2E-01	4,4E+00 ± 9E-01	3,9E+00 ± 5E-01	2,7E+00 ± 6E-01	1,6E+01 ± 1E+00	
Be-7	5,9E+00 ± 4E-01	6,5E+01 ± 3E+00	8,2E+00 ± 6E-01	3,5E+01 ± 1E+00	6,1E+01 ± 3E+00	3,2E+01 ± 1E+00	2,1E+02 ± 5E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137			9,3E-04 ± 8E-03 ‡	2,0E-03 ± 1E-02 ‡			3,0E-03 ± 1E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,6E-02	1,8E-02 †	1,6E-02 †	1,5E-02 †	2,0E-02 †	2,2E-02 †	1,1E-01	x
H-3	9,6E+01 ± 6E+00	2,8E+02 ± 2E+01	6,7E+01 ± 5E+00	7,5E+01 ± 6E+00	2,5E+02 ± 2E+01	2,8E+02 ± 2E+01	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 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.

LETO 2016 T - 38b
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Krško							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Kol. vzorca (L)	7,49	20,69	24,06	27,09	21,43	0,28		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)	23,0	73,2	72,3	124,0	151,4	1,0		
Oznaka vzorca	K16PD371	K16PD381	K16PD391	K16PD3A1	K16PD3B1	K16PD3C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22								
U-238	1,0E+00 ± 4E+00 ‡	6,1E+00 ± 1E+01 ‡	2,4E+00 ± 5E+00 ‡		2,5E+00 ± 4E+00 ‡	8,9E+02 ± 5E+02		9,3E-03 ± 1E-02
Ra-226	5,8E+00 ± 4E+00				3,1E+00 ± 3E+00 ‡			2,3E+00 ± 1E+00
Pb-210	9,2E+01 ± 6E+00	1,4E+02 ± 1E+01	6,8E+01 ± 9E+00	1,3E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 6E+00	2,8E+03 ± 6E+02		1,2E+00 ± 5E-01
Ra-228			4,2E-01 ± 1E+00 ‡		1,0E+00 ± 1E+00 ‡	5,3E+01 ± 8E+01 ‡		8,1E+01 ± 2E+00
Th-230			7,9E+00 ± 3E+01 ‡					5,0E-01 ± 3E-01
Th-228	5,4E+00 ± 6E-01	1,8E+00 ± 1E+00 ‡		1,2E+00 ± 1E+00 ‡	6,5E-01 ± 5E-01	3,0E+01 ± 3E+01 ‡		7,2E-01 ± 3E+00
K-40	2,0E+01 ± 7E+00	1,1E+01 ± 8E+00	2,2E+01 ± 5E+00	8,4E+00 ± 4E+00	5,0E+00 ± 4E+00			1,3E+00 ± 3E-01
Be-7	4,5E+02 ± 3E+01	6,4E+02 ± 4E+01	1,3E+02 ± 7E+00	1,4E+02 ± 8E+00	1,4E+02 ± 2E+01	5,0E+03 ± 4E+02		2,3E+01 ± 2E+00
I-131								3,0E+02 ± 6E+00
Cs-134								
Cs-137	3,4E-01 ± 6E-01 ‡							3,6E-02 ± 6E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	6,6E-01	2,1E-01 †	1,7E-01 †	1,6E-01 †	2,0E-01 †	1,6E+01 †		2,4E-01 ± 5E-02 x
H-3	1,3E+03 ± 1E+02	1,1E+03 ± 9E+01	1,2E+03 ± 1E+02	3,4E+03 ± 2E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,7E+04 ± 7E+02		1,6E+03 ± 3E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost). V mesečnem povprečju za celo leto decembrski vzorec ni upoštevan.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2. Decembrski vzorec H-3 je bil analiziran 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 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.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Kol. vzorca (L)	7,5	20,7	24,1	27,1	21,4	0,3		Letni usod (*)
Padavine (mm)	23,0	73,2	72,3	124,0	151,4	1,0		
Oznaka vzorca	K16PD371	K16PD381	K16PD391	K16PD3A1	K16PD3B1	K16PD3C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22								
U-238	2,4E-02 ± 1E-01 ‡	4,4E-01 ± 7E-01 ‡	1,7E-01 ± 4E-01 ‡		3,8E-01 ± 6E-01 ‡	8,9E-01 ± 5E-01		1,6E-02 ± 2E-02
Ra-226	1,3E-01 ± 8E-02				4,6E-01 ± 4E-01 ‡			3,1E+00 ± 1E+00
Pb-210	2,1E+00 ± 1E-01	1,0E+01 ± 9E-01	4,9E+00 ± 6E-01	1,7E+00 ± 5E-01	5,2E+00 ± 8E-01	2,8E+00 ± 6E-01		1,2E+00 ± 6E-01
Ra-228			3,1E-02 ± 8E-02 ‡		1,6E-01 ± 2E-01 ‡	5,3E-02 ± 8E-02 ‡		7,6E+01 ± 2E+00
Th-230			5,7E-01 ± 2E+00 ‡					7,0E-01 ± 3E-01
Th-228	1,3E-01 ± 1E-02	1,3E-01 ± 1E-01 ‡		1,4E-01 ± 2E-01 ‡	9,8E-02 ± 7E-02	3,0E-02 ± 3E-02 ‡		5,7E-01 ± 2E+00
K-40	4,5E-01 ± 2E-01	7,8E-01 ± 6E-01	1,6E+00 ± 4E-01	1,0E+00 ± 5E-01	7,6E-01 ± 6E-01			8,8E-01 ± 3E-01
Be-7	1,0E+01 ± 7E-01	4,7E+01 ± 3E+00	9,1E+00 ± 5E-01	1,8E+01 ± 1E+00	2,1E+01 ± 2E+00	5,0E+00 ± 4E-01		2,1E+01 ± 2E+00
I-131								3,2E+02 ± 6E+00
Cs-134								
Cs-137	7,9E-03 ± 1E-02 ‡							1,1E-02 ± 2E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,5E-02	1,5E-02 †	1,3E-02 †	2,0E-02 †	3,1E-02 †	1,6E-02 †		2,2E-01 x
H-3	3,1E+01 ± 2E+00	8,4E+01 ± 6E+00	8,6E+01 ± 7E+00	4,2E+02 ± 2E+01	2,5E+02 ± 2E+01	1,7E+01 ± 7E-01		1,9E+03 ± 5E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost usoda (apriorna negotovost). V letnem usedu je upoštevan tudi decembrski vzorec.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2. Decembrski vzorec H-3 je bil analiziran 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 usoda za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2016 T - 39a
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Dobova							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		
Datum vzor.	17,44	47,31	15,00	15,56	35,92	41,90		
Kol. vzorca (L)	54,9	170,0	71,2	40,0	152,0	158,0		
Padavine (mm)	K16PD411	K16PD421	K16PD431	K16PD441	K16PD451	K16PD461		
Oznaka vzorca	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
IZOTOP								
Na-22		1,0E-01 ± 2E-01 ‡	5,7E+00 ± 9E+00 ‡	5,3E+00 ± 5E+00 ‡	2,3E-01 ± 2E-01 ‡	3,1E-01 ± 2E-01 ‡	1,1E-01 ± 5E-02 ‡	
U-238		3,4E+00 ± 3E+00 ‡			3,3E+00 ± 4E+00 ‡	2,2E+00 ± 2E+00 ‡	3,3E+00 ± 2E+00 ‡	
Ra-226	2,9E+00 ± 1E+00 ‡	4,3E-01 ± 6E-01 ‡		5,3E+00 ± 3E+00 ‡	1,9E+00 ± 8E-01 ‡		1,8E+00 ± 6E-01 ‡	
Pb-210	2,6E+02 ± 5E+01 ‡	7,7E+01 ± 7E+00 ‡	1,1E+02 ± 2E+01 ‡	2,4E+02 ± 2E+01 ‡	6,9E+01 ± 6E+00 ‡	5,8E+01 ± 4E+00 ‡	1,4E+02 ± 9E+00 ‡	
Ra-228	1,7E+00 ± 1E+00 ‡		2,8E+00 ± 2E+00 ‡	1,9E+00 ± 1E+00 ‡	5,6E-01 ± 4E-01 ‡		1,1E+00 ± 4E-01 ‡	
Th-230								
Th-228	2,0E+00 ± 4E-01 ‡	4,0E-01 ± 2E-01 ‡	7,6E-01 ± 6E-01 ‡	2,8E+00 ± 7E-01 ‡	5,8E-01 ± 2E-01 ‡	8,2E-02 ± 4E-01 ‡	1,1E+00 ± 2E-01 ‡	
K-40	2,0E+01 ± 4E+00 ‡	5,5E+00 ± 2E+00 ‡		3,9E+01 ± 6E+00 ‡	6,7E+00 ± 2E+00 ‡	9,4E+00 ± 2E+00 ‡	1,4E+01 ± 1E+00 ‡	
Be-7	3,1E+02 ± 1E+01 ‡	6,0E+02 ± 2E+01 ‡	4,9E+02 ± 2E+01 ‡	6,3E+02 ± 2E+01 ‡	4,7E+02 ± 2E+01 ‡	3,2E+02 ± 2E+01 ‡	4,7E+02 ± 8E+00 ‡	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,5E-01 ± 2E-01 ‡	8,3E-02 ± 9E-02 ‡	3,2E-01 ± 4E-01 ‡	3,6E-01 ± 6E-01 ‡	2,8E-01 ± 2E-01 ‡		2,2E-01 ± 1E-01 ‡	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,3E-01 †	9,0E-02 †	2,5E-01 †	2,7E-01 †	1,2E-01 †	1,0E-01 †	1,8E-01 ± 3E-02 x	
H-3	8,1E+02 ± 8E+01 ‡	8,3E+02 ± 8E+01 ‡	8,8E+02 ± 8E+01 ‡	1,1E+03 ± 9E+01 ‡	1,4E+03 ± 1E+02 ‡	1,5E+03 ± 1E+02 ‡	1,1E+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.

(‡) 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							Polletni used (*)
	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		
Datum vzor.	17,4	47,3	15,0	15,6	35,9	41,9		
Kol. vzorca (L)	54,9	170,0	71,2	40,0	152,0	158,0		
Padavine (mm)	K16PD411	K16PD421	K16PD431	K16PD441	K16PD451	K16PD461		
Oznaka vzorca	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
IZOTOP								
Na-22		1,8E-02 ± 3E-02 ‡			3,4E-02 ± 2E-02 ‡	4,9E-02 ± 3E-02 ‡	1,0E-01 ± 5E-02 ‡	
U-238		5,8E-01 ± 5E-01 ‡	4,1E-01 ± 7E-01 ‡	2,1E-01 ± 2E-01 ‡	5,0E-01 ± 6E-01 ‡	3,4E-01 ± 3E-01 ‡	2,0E+00 ± 1E+00 ‡	
Ra-226	1,6E-01 ± 8E-02 ‡	7,3E-02 ± 1E-01 ‡		2,1E-01 ± 1E-01 ‡	2,9E-01 ± 1E-01 ‡		7,3E-01 ± 2E-01 ‡	
Pb-210	1,4E+01 ± 3E+00 ‡	1,3E+01 ± 1E+00 ‡	7,8E+00 ± 1E+00 ‡	9,7E+00 ± 7E-01 ‡	1,0E+01 ± 9E-01 ‡	9,1E+00 ± 7E-01 ‡	6,5E+01 ± 3E+00 ‡	
Ra-228	9,3E-02 ± 6E-02 ‡		2,0E-01 ± 1E-01 ‡	7,5E-02 ± 5E-02 ‡	8,5E-02 ± 6E-02 ‡		4,5E-01 ± 1E-01 ‡	
Th-230								
Th-228	1,1E-01 ± 2E-02 ‡	6,7E-02 ± 3E-02 ‡	5,4E-02 ± 5E-02 ‡	1,1E-01 ± 3E-02 ‡	8,8E-02 ± 3E-02 ‡	1,3E-02 ± 6E-02 ‡	4,5E-01 ± 1E-01 ‡	
K-40	1,1E+00 ± 2E-01 ‡	9,3E-01 ± 3E-01 ‡		1,6E+00 ± 2E-01 ‡	1,0E+00 ± 3E-01 ‡	1,5E+00 ± 2E-01 ‡	6,1E+00 ± 6E-01 ‡	
Be-7	1,7E+01 ± 8E-01 ‡	1,0E+02 ± 4E+00 ‡	3,5E+01 ± 1E+00 ‡	2,5E+01 ± 1E+00 ‡	7,1E+01 ± 3E+00 ‡	5,0E+01 ± 3E+00 ‡	3,0E+02 ± 6E+00 ‡	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,4E-02 ± 1E-02 ‡	1,4E-02 ± 2E-02 ‡	2,2E-02 ± 3E-02 ‡	1,4E-02 ± 2E-02 ‡	4,3E-02 ± 2E-02 ‡		1,1E-01 ± 5E-02 ‡	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,3E-02 †	1,5E-02 †	1,7E-02 †	1,1E-02 †	1,8E-02 †	1,6E-02 †	9,1E-02 x	
H-3	4,4E+01 ± 4E+00 ‡	1,4E+02 ± 1E+01 ‡	6,3E+01 ± 6E+00 ‡	4,3E+01 ± 4E+00 ‡	2,2E+02 ± 2E+01 ‡	2,3E+02 ± 2E+01 ‡	7,4E+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.

LETO 2016 T - 39b
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifični analizi Sr-90/Sr-89 in H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Dobova							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016	Mesečni povprečje (za celo leto) (*)	
Kol. vzorca (L)	16,13	21,57	31,33	31,61	37,19	0,22		
Padavine (mm)	62,1	66,5	64,7	108,0	127,6	1,0		
Oznaka vzorca	K16PD471	K16PD481	K16PD491	K16PD4A1	K16PD4B1	K16PD4C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	2,3E+00 ± 2E+00	2,2E+00 ± 6E+00 ‡	2,5E+00 ± 2E+00 ‡	2,2E+00 ± 3E+00 ‡	2,0E+00 ± 2E+00 ‡	2,0E+02 ± 1E+02	5,8E-02 ± 3E-02	2,8E+00 ± 1E+00
U-238		3,9E+00 ± 8E-01	6,2E+01 ± 6E+00	2,9E+00 ± 3E+00 ‡	6,1E-01 ± 5E-01		1,6E+00 ± 4E-01	1,4E+02 ± 6E+00
Ra-226	8,3E+01 ± 1E+01	4,8E+02 ± 4E+01	7,1E-01 ± 6E-01	1,3E+01 ± 2E+00	4,5E+01 ± 6E+00	6,3E+03 ± 5E+02	1,4E+02 ± 2E-01	1,1E+00 ± 1E-01
Pb-210		2,7E+00 ± 6E-01		3,8E-01 ± 5E-01 ‡	1,0E+00 ± 6E-01		1,3E+01 ± 1E-01	1,3E+01 ± 8E-02
Ra-228	1,4E-01 ± 2E-01 ‡	3,5E+00 ± 5E-01	5,2E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 3E-01	3,8E-01 ± 2E-01	4,8E+01 ± 2E+01	1,1E+00 ± 1E-01	1,3E+01 ± 8E-02
Th-230	4,2E+00 ± 4E+00 ‡	4,4E+01 ± 5E+00	6,4E+00 ± 3E+00	4,8E+00 ± 3E+00	3,8E+00 ± 3E+00	4,4E+02 ± 2E+02	1,3E+01 ± 1E-01	1,3E+01 ± 8E-02
Th-228	5,5E+02 ± 4E+01	1,5E+03 ± 6E+01	5,4E+02 ± 2E+01	2,1E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 1E+01	8,3E+03 ± 7E+02	5,5E+02 ± 8E+00	
K-40								
Be-7								
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,3E-02 ± 1E-01 ‡	1,5E+00 ± 3E-01	1,6E-01 ± 1E-01 ‡	2,5E-02 ± 2E-01 ‡			2,7E-01 ± 8E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	2,5E-01	1,0E+00 ± 2E-01	1,3E-01	1,4E-01	9,8E-02	2,0E+01	2,4E-01 ± 8E-02	x
H-3	1,1E+03 ± 9E+01	1,2E+03 ± 9E+01	1,0E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	6,4E+02 ± 7E+01	4,9E+03 ± 4E+02	1,1E+03 ± 3E+01	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost). V mesečnem povprečju za celo leto decembrski vzorec ni upoštevan.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2. Decembrski vzorec H-3 je bil analiziran 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 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.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016	Letni used (*)	
Kol. vzorca (L)	16,1	21,6	31,3	31,6	37,2	0,2		
Padavine (mm)	62,1	66,5	64,7	108,0	127,6	1,0		
Oznaka vzorca	K16PD471	K16PD481	K16PD491	K16PD4A1	K16PD4B1	K16PD4C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22							1,0E-01 ± 5E-02	
U-238	1,4E-01 ± 1E-01	1,5E-01 ± 4E-01 ‡	1,6E-01 ± 1E-01 ‡	2,4E-01 ± 3E-01 ‡	2,5E-01 ± 3E-01 ‡	2,0E-01 ± 1E-01	3,2E+00 ± 1E+00	
Ra-226		2,6E-01 ± 5E-02	3,1E-01 ± 3E-01 ‡	3,1E-01 ± 3E-01 ‡	7,7E-02 ± 6E-02		1,4E+00 ± 4E-01	
Pb-210	5,2E+00 ± 8E-01	3,2E+01 ± 2E+00	4,0E+00 ± 4E-01	1,4E+00 ± 2E-01	5,8E+00 ± 7E-01	6,3E+00 ± 5E-01	1,2E+02 ± 4E+00	
Ra-228		1,8E-01 ± 4E-02	4,6E-02 ± 4E-02	4,2E-02 ± 6E-02 ‡	1,3E-01 ± 8E-02		8,4E-01 ± 2E-01	
Th-230								
Th-228	8,7E-03 ± 1E-02 ‡	2,3E-01 ± 3E-02	3,4E-02 ± 2E-02	1,2E-01 ± 3E-02	4,8E-02 ± 3E-02	4,8E-02 ± 2E-02	9,4E-01 ± 1E-01	
K-40	2,6E-01 ± 2E-01 ‡	2,9E+00 ± 3E-01	4,1E-01 ± 2E-01	5,2E-01 ± 3E-01	4,9E-01 ± 3E-01	4,4E-01 ± 2E-01	1,1E+01 ± 9E-01	
Be-7	3,4E+01 ± 2E+00	9,8E+01 ± 4E+00	3,5E+01 ± 1E+00	2,3E+01 ± 2E+00	5,2E+01 ± 2E+00	8,3E+00 ± 7E-01	5,5E+02 ± 8E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,4E-03 ± 7E-03 ‡	9,8E-02 ± 2E-02	1,0E-02 ± 9E-03 ‡	2,7E-03 ± 2E-02 ‡			2,2E-01 ± 6E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,5E-02	6,7E-02 ± 1E-02	8,5E-03	1,5E-02	1,3E-02	2,0E-02	2,3E-01 ± 1E-02	x
H-3	6,8E+01 ± 6E+00	8,1E+01 ± 6E+00	6,5E+01 ± 8E+00	1,7E+02 ± 1E+01	8,2E+01 ± 9E+00	4,9E+00 ± 4E-01	1,2E+03 ± 3E+01	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost). V letnem usedu je upoštevan tudi decembrski vzorec.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama je bila opravljena na Odseku F-2, radiokemijske analize Sr-89/Sr-90 in H-3 pa na Odseku O-2. Decembrski vzorec H-3 je bil analiziran 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 2016 T - 40 a
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS							
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		
Kol. vzorca (L)	23,38	50,46	20,41	27,82	28,67	50,96		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Padavine (mm)***	76,3	201,2	79,2	92,6	156,8	174,9		
Oznaka vzorca	L16PD111	L16PD121	L16PD131	L16PD141	L16PD151	L16PD161		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22			3,7E+00 ± 4E+00 ‡	1,5E-01 ± 2E-01 ‡	3,2E-01 ± 2E-01	3,3E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 4E-02	
U-238	4,1E+00 ± 2E+00		2,4E-01 ± 3E+00 ‡	1,0E+00 ± 7E-01	2,4E+00 ± 4E+00 ‡	4,9E+00 ± 2E+00	2,5E+00 ± 1E+00	
Ra-226	3,4E+00 ± 1E+00		2,9E+01 ± 3E+00	5,6E+01 ± 5E+00	7,8E-01 ± 5E-01		9,1E-01 ± 5E-01	
Pb-210	4,3E+02 ± 4E+01	3,8E+01 ± 4E+00	8,8E-01 ± 1E+00 ‡	1,7E+00 ± 1E+00	1,4E+02 ± 1E+01		1,2E+02 ± 8E+00	
Ra-228	2,5E+00 ± 8E-01				9,9E-01 ± 6E-01		1,0E+00 ± 3E-01	
Th-230								
Th-228	1,9E+00 ± 4E-01	1,6E-01 ± 8E-02	1,1E+00 ± 6E-01	8,5E-01 ± 3E-01	4,7E-01 ± 2E-01	4,6E-01 ± 2E-01	8,2E-01 ± 1E-01	
K-40	2,1E+01 ± 4E+00	2,6E+00 ± 9E-01	1,0E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 3E+00	1,5E+01 ± 9E+00	5,1E+00 ± 1E+00	1,3E+01 ± 1E+00	
Be-7	3,6E+02 ± 2E+01	2,7E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 9E+00	2,2E+02 ± 1E+01	4,6E+02 ± 2E+01	2,5E+02 ± 1E+01	2,8E+02 ± 6E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,2E+00 ± 2E-01			5,3E-02 ± 2E-01 ‡	8,3E-02 ± 1E-01 ‡		2,3E-01 ± 5E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
H-3	5,7E+02 ± 5E+01	6,0E+02 ± 7E+01	7,7E+02 ± 1E+02	6,1E+02 ± 6E+01	1,4E+03 ± 2E+02	1,9E+03 ± 2E+02	9,8E+02 ± 6E+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 v okviru raziskovalnih aktivnosti Odseka F-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.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		
Kol. vzorca (L)	23,4	50,5	20,4	27,8	28,7	51,0		Polletni used (*)
Padavine (mm)***	76,3	201,2	79,2	92,6	156,8	174,9		
Oznaka vzorca	L16PD111	L16PD121	L16PD131	L16PD141	L16PD151	L16PD161		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22			3,0E-01 ± 3E-01 ‡	1,4E-02 ± 1E-02 ‡	5,0E-02 ± 2E-02	5,7E-02 ± 2E-02	1,2E-01 ± 4E-02	
U-238	3,1E-01 ± 2E-01		1,9E-02 ± 2E-01 ‡	9,6E-02 ± 7E-02	3,7E-01 ± 6E-01 ‡	8,6E-01 ± 3E-01	1,8E+00 ± 8E-01	
Ra-226	2,6E-01 ± 9E-02		2,3E+00 ± 2E-01	5,2E+00 ± 5E-01	1,2E-01 ± 8E-02		5,0E-01 ± 2E-01	
Pb-210	3,3E+01 ± 3E+00	7,6E+00 ± 9E-01	7,0E-02 ± 8E-02 ‡	1,6E-01 ± 1E-01	2,2E+01 ± 2E+00	7,4E+00 ± 6E-01	7,7E+01 ± 4E+00	
Ra-228	1,9E-01 ± 6E-02				1,6E-01 ± 9E-02		5,8E-01 ± 2E-01	
Th-230								
Th-228	1,4E-01 ± 3E-02	3,2E-02 ± 2E-02	8,6E-02 ± 5E-02	7,8E-02 ± 3E-02	7,3E-02 ± 3E-02	8,0E-02 ± 4E-02	4,9E-01 ± 8E-02	
K-40	1,6E+00 ± 3E-01	5,3E-01 ± 2E-01	8,2E-01 ± 3E-01	2,3E+00 ± 3E-01	2,4E+00 ± 4E-01	8,9E-01 ± 2E-01	8,6E+00 ± 7E-01	
Be-7	2,8E+01 ± 1E+00	5,5E+01 ± 3E+00	8,7E+00 ± 7E-01	2,1E+01 ± 1E+00	7,2E+01 ± 3E+00	4,4E+01 ± 2E+00	2,3E+02 ± 5E+00	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	9,3E-02 ± 2E-02			4,9E-03 ± 2E-02 ‡	1,3E-02 ± 2E-02 ‡		1,1E-01 ± 3E-02	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
H-3	4,3E+01 ± 4E+00	1,2E+02 ± 1E+01	6,1E+01 ± 9E+00	5,7E+01 ± 5E+00	2,2E+02 ± 4E+01	3,3E+02 ± 4E+01	8,4E+02 ± 6E+01	

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost useda (apriorna negotovost).

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2 v okviru raziskovalnih aktivnosti Odseka F-2.

*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 40 b
5. PADAVINE – mesečni sestavljeni vzorci

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza H-3 (**), preračunane na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Kol. vzorca (L)	11,80	21,30	18,69	32,76	50,51	0,003		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Padavine (mm)***	85,9	90,4	47,0	135,1	177,4	0,1		
Oznaka vzorca	L16PD171	L16PD181	L16PD191	L16PD1A1	L16PD1B1	L16PD1C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	7,1E+00 ± 8E+00 ‡	6,4E+00 ± 5E+00	1,1E+01 ± 9E+00 ‡	5,1E+00 ± 3E+00				7,2E-02 ± 2E-02
U-238				9,9E-01 ± 8E-01				4,1E+00 ± 1E+00
Ra-226				3,4E+01 ± 3E+00				5,9E-01 ± 3E-01
Pb-210	7,1E+01 ± 9E+00	3,2E+02 ± 2E+01	9,2E+01 ± 8E+00	6,1E+01 ± 3E+00				1,2E+02 ± 5E+00
Ra-228		1,3E+00 ± 9E-01		1,0E+00 ± 6E-01				8,4E-01 ± 2E-01
Th-230				7,4E+00 ± 1E+01 ‡				6,7E-01 ± 1E+00
Th-228	1,2E+00 ± 1E+00 ‡	2,3E+00 ± 1E+00	1,7E+00 ± 1E+00	5,6E-01 ± 4E-01				1,0E+00 ± 2E-01
K-40	1,2E+01 ± 8E+00	1,4E+01 ± 4E+00	4,4E+01 ± 7E+00	6,7E+00 ± 2E+00				1,5E+01 ± 1E+00
Be-7	3,0E+02 ± 1E+01	7,5E+02 ± 3E+01	1,9E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 4E+00				3,0E+02 ± 5E+00
I-131								
Cs-134								
Cs-137		8,5E-01 ± 3E-01		5,3E-02 ± 2E-01 ‡				2,1E-01 ± 4E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
H-3	9,2E+02 ± 2E+02	1,3E+03 ± 2E+02	8,0E+02 ± 1E+02	8,5E+02 ± 1E+02	8,3E+02 ± 1E+02	2,8E+03 ± 9E+01		9,6E+02 ± 4E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost). Ker je bilo v decembru premalo vzorca (dežja), je bila meritev zavržena, meritev H-3 pa ne. V mesečnem povprečju za celo leto decembrski vzorec ni upoštevan.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2 v okviru raziskovalnih aktivnosti Odseka F-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.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Kol. vzorca (L)	11,8	21,3	18,7	32,8	50,5	0,003		Letni usod (*)
Padavine (mm)***	85,9	90,4	47,0	135,1	177,4	0,1		
Oznaka vzorca	L16PD171	L16PD181	L16PD191	L16PD1A1	L16PD1B1	L16PD1C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22	6,1E-01 ± 7E-01 ‡	5,8E-01 ± 5E-01	5,2E-01 ± 4E-01 ‡	6,9E-01 ± 5E-01				1,2E-01 ± 4E-02
U-238				1,3E-01 ± 1E-01				4,2E+00 ± 1E+00
Ra-226				4,6E+00 ± 4E-01				6,3E-01 ± 3E-01
Pb-210	6,1E+00 ± 8E-01	2,9E+01 ± 2E+00	4,3E+00 ± 4E-01	1,1E+01 ± 6E-01				1,3E+02 ± 5E+00
Ra-228		1,1E-01 ± 8E-02		1,4E-01 ± 8E-02				9,8E-01 ± 2E-01
Th-230				1,0E+00 ± 2E+00 ‡				1,0E+00 ± 2E+00
Th-228	1,0E-01 ± 8E-02 ‡	2,1E-01 ± 1E-01	7,9E-02 ± 5E-02	7,5E-02 ± 6E-02				1,0E+00 ± 2E-01
K-40	1,1E+00 ± 6E-01	1,3E+00 ± 3E-01	2,1E+00 ± 3E-01	9,0E-01 ± 3E-01				1,5E+01 ± 1E+00
Be-7	2,6E+01 ± 1E+00	6,8E+01 ± 3E+00	9,1E+00 ± 5E-01	1,5E+01 ± 5E-01				3,8E+02 ± 6E+00
I-131								
Cs-134								
Cs-137		7,7E-02 ± 3E-02		7,2E-03 ± 3E-02 ‡				1,9E-01 ± 5E-02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
H-3	7,9E+01 ± 1E+01	1,2E+02 ± 1E+01	3,8E+01 ± 5E+00	1,2E+02 ± 2E+01	1,5E+02 ± 2E+01	2,8E-01 ± 9E-03		1,3E+03 ± 7E+01

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost usoda (apriorna negotovost). Ker je bilo v decembru premalo vzorca (dežja), je bila meritev zavržena, meritev H-3 pa ne. V letnem usodu decembrski vzorec ni upoštevan.

(**) Visokoločljivostna spektrometrija gama in radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku F-2 v okviru raziskovalnih aktivnosti Odseka F-2.

*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

5. PREGLED SPECIFIČNIH ANALIZ H-3 V DEŽEVNICI V LETU 2016

Specifična analiza H-3 (**) preračunana na KOLIČINO TEKOČIH PADAVIN in ENOTO PRESTREZNE POVRŠINE

Vzorč. mesto	Krško			Brege			Dobova			Ljubljana		
	Padavine***	Koncentracija aktivnosti		Padavine***	Koncentracija aktivnosti		Padavine***	Koncentracija aktivnosti		Padavine***	Koncentracija aktivnosti	
Mesec vzorčevanja	mm	kBq/m ³	kBq/m ²	mm	kBq/m ³	kBq/m ²	mm	kBq/m ³	kBq/m ²	mm	kBq/m ³	kBq/m ²
Januar	58,1	1,6E+00	9,6E-02	53,0	1,3E+00	7,1E-02	54,9	8,1E-01	4,4E-02	76,3	5,7E-01	4,3E-02
Februar	209,1	1,4E+00	2,8E-01	182,1	1,5E+00	2,7E-01	170,0	8,3E-01	1,4E-01	201,2	6,0E-01	1,2E-01
Marec	51,5	1,3E+00	6,7E-02	62,8	2,2E+00	1,4E-01	71,2	8,8E-01	6,3E-02	79,2	7,7E-01	6,1E-02
April	62,0	1,2E+00	7,5E-02	58,2	1,9E+00	1,1E-01	40,0	1,1E+00	4,3E-02	92,6	6,1E-01	5,7E-02
Maj	151,6	1,7E+00	2,5E-01	117,6	2,1E+00	2,5E-01	152,0	1,4E+00	2,2E-01	156,8	1,4E+00	2,2E-01
Junij	132,2	2,1E+00	2,8E-01	162,9	1,5E+00	2,5E-01	158,0	1,5E+00	2,3E-01	174,9	1,9E+00	3,3E-01
Julij	23,0	1,3E+00	3,1E-02	75,5	1,3E+00	1,0E-01	62,1	1,1E+00	6,8E-02	85,9	9,2E-01	7,9E-02
Avgust	73,2	1,1E+00	8,4E-02	99,2	1,4E+00	1,4E-01	66,5	1,2E+00	8,1E-02	90,4	1,3E+00	1,2E-01
September	72,3	1,2E+00	8,6E-02	66,6	1,3E+00	8,7E-02	64,7	1,0E+00	6,5E-02	47,0	8,0E-01	3,8E-02
Oktober	124,0	3,4E+00	4,2E-01	122,9	6,6E+00	8,1E-01	108,0	1,6E+00	1,7E-01	135,1	8,5E-01	1,2E-01
November	151,4	1,6E+00	2,5E-01	124,3	1,4E+00	1,8E-01	127,6	6,4E-01	8,2E-02	177,4	8,3E-01	1,5E-01
December	1,0	1,7E+01	1,7E-02	1,0	1,1E+01	1,1E-02	1,0	4,9E+00	4,9E-03	0,1	2,8E+00	2,8E-04
Mesečno povprečje (za celo leto) (kBq/m ³)	1,63E+00	±	3,4E-02	2,05E+00	±	4,2E-02	1,10E+00	±	2,9E-02	9,64E-01	±	4,3E-02
Celotna vrednost	1109		1,9E+00	1126		2,4E+00	1076		1,2E+00	1317		1,3E+00
	mm		kBq/m ²	mm		kBq/m ²	mm		kBq/m ²	mm		kBq/m ²

(**) Radiokemijske analize H-3 so bile opravljene na Odseku O-2.

(***) Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

LETO 2016 T - 42/1a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Širša okolica NEK (mesta 2–5)								Polletna vsota	Polletni used (*)			
Datum vzor.	30. 12. 2015	1. 2. 2016	1. 2. 2016	1. 3. 2016	1. 3. 2016	4. 4. 2016	4. 4. 2016	3. 5. 2016	3. 5. 2016	1. 6. 2016	1. 6. 2016	4. 7. 2016	
Kol. vzorca (g)	62,9		51,8		83,6		63,1		45,1		45,0		
Padavine (mm)***	55,6		195,6		57,2		60,1		134,6		147,6		
Oznaka vzorca	K16PV211		K16PV221		K16PV231		K16PV241		K16PV251		K16PV261		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)												
Na-22													
U-238	1,4E-01 ± 1E-01	‡	2,7E-02 ± 5E-02	‡		9,1E-02 ± 1E-01	‡	2,8E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 1E-01		7,4E-02 ± 3E-02	7,2E-01 ± 3E-01	3,6E+00 ± 1E+00
Ra-226	1,6E-02 ± 2E-02	‡	6,0E-02 ± 3E-02					1,3E-02 ± 4E-02	2,9E-02 ± 4E-02	‡	7,4E-02 ± 3E-02	2,8E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 8E-01
Pb-210	1,3E+00 ± 2E-01		3,3E+00 ± 3E-01		3,3E+00 ± 5E-01			6,6E+00 ± 3E-01	5,9E+00 ± 4E-01		7,5E+00 ± 4E-01	2,8E+01 ± 9E-01	1,4E+02 ± 4E+00
Ra-228								7,5E-02 ± 4E-02			6,1E-02 ± 2E-02	1,4E-01 ± 4E-02	6,8E-01 ± 2E-01
Tl-208													
Tl-228	2,9E-02 ± 1E-02		2,6E-02 ± 7E-03		9,4E-02 ± 2E-02		6,4E-02 ± 2E-02	4,5E-02 ± 1E-02	4,5E-02 ± 1E-02		5,1E-02 ± 1E-02	3,1E-01 ± 4E-02	1,5E+00 ± 2E-01
K-40	6,7E-02 ± 2E-01	‡	1,0E-01 ± 1E-01	‡	7,3E-01 ± 2E-01		5,5E-01 ± 2E-01	2,6E-01 ± 1E-01	2,6E-01 ± 1E-01		6,9E-01 ± 2E-01	2,4E+00 ± 4E-01	1,2E+01 ± 2E+00
Be-7	7,6E+00 ± 4E-01		2,0E+01 ± 1E+00		1,4E+01 ± 6E-01		6,3E+01 ± 3E+00	4,2E+01 ± 2E+00	4,2E+01 ± 2E+00		5,4E+01 ± 3E+00	2,0E+02 ± 5E+00	1,0E+03 ± 2E+01
I-131													
Cs-134													
Cs-137	2,2E-02 ± 1E-02				1,1E-02 ± 1E-02	‡	2,0E-02 ± 2E-02	2,0E-02 ± 1E-02	2,0E-02 ± 1E-02		1,7E-02 ± 5E-03	9,0E-02 ± 3E-02	4,5E-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.

*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 42/1b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Širša okolica NEK (mesta 2–5)								Letna vsota	Letni used (*)			
Datum vzor.	4. 7. 2016	1. 8. 2016	1. 8. 2016	1. 9. 2016	1. 9. 2016	3. 10. 2016	3. 10. 2016	2. 11. 2016	2. 11. 2016	1. 12. 2016	1. 12. 2016	28. 12. 2016	
Kol. vzorca (g)	45,7		48,5		54,6		48,5		48,0		54,8		
Padavine (mm)***	49,3		86,2		69,5		123,5		137,9		1,0		
Oznaka vzorca	K16PV271		K16PV281		K16PV291		K16PV2A1		K16PV2B1		K16PV2C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)												
Na-22													
U-238			2,5E-01 ± 1E-01		8,5E-02 ± 7E-02	‡						1,0E+00 ± 3E-01	5,2E+00 ± 1E+00
Ra-226	2,2E-01 ± 7E-02		5,7E-02 ± 3E-02		1,4E-01 ± 1E-01		1,4E-01 ± 5E-02	3,8E-01 ± 1E-01	3,8E-01 ± 1E-01		2,0E-01 ± 1E-01	1,4E+00 ± 3E-01	7,1E+00 ± 1E+00
Pb-210	3,5E+00 ± 3E-01		4,5E+00 ± 4E-01		5,5E+00 ± 3E-01		4,8E+00 ± 4E-01	2,2E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 3E-01		1,7E+00 ± 3E-01	5,0E+01 ± 1E+00	2,5E+02 ± 6E+00
Ra-228			5,3E-02 ± 4E-02	‡								1,9E-01 ± 6E-02	9,5E-01 ± 3E-01
Tl-208													
Tl-228	7,5E-02 ± 1E-02		3,9E-02 ± 1E-02		1,5E-01 ± 2E-02		4,9E-02 ± 1E-02	1,2E-02 ± 2E-02	1,2E-02 ± 2E-02	‡	2,2E-01 ± 2E-02	8,6E-01 ± 5E-02	4,3E+00 ± 3E-01
K-40	4,2E-01 ± 1E-01		4,2E-01 ± 3E-01		3,3E-01 ± 1E-01		3,0E-01 ± 1E-01	3,0E-01 ± 1E-01	3,0E-01 ± 1E-01		3,9E+00 ± 6E-01	3,9E+00 ± 6E-01	1,9E+01 ± 3E+00
Be-7	2,5E+01 ± 1E+00		3,2E+01 ± 1E+00		4,8E+01 ± 3E+00		2,0E+01 ± 9E-01	6,4E+00 ± 3E-01	6,4E+00 ± 3E-01		3,1E+00 ± 2E-01	3,3E+02 ± 6E+00	1,7E+03 ± 3E+01
I-131													
Cs-134													
Cs-137			5,9E-03 ± 1E-02	‡			4,0E-03 ± 9E-03	‡	4,0E-04 ± 4E-03	‡		1,0E-01 ± 3E-02	5,0E-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.

*** Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 42/2a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	daljna okolica NEK								Polletna vsota	Polletni used (*)
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016				
Kol. vzorca (g)	16,1	13,5	26,4	14,8	11,9	11,6				
Padavine (mm)	54,9	170,0	71,2	40,0	152,0	158,0				
Oznaka vzorca	K16PV2611	K16PV2621	K16PV2631	K16PV2641	K16PV2651	K16PV2661				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)									
Na-22										
U-238	1,3E-01 ± 1E-01 ‡	1,6E-01 ± 6E-01 ‡	3,8E-01 ± 4E-01 ‡	8,7E-02 ± 3E-01 ‡		8,8E-02 ± 7E-02 ‡	8,5E-01 ± 8E-01	4,2E+00 ± 4E+00		
Ra-226	4,5E-02 ± 4E-02 ‡		1,4E-01 ± 8E-01 ‡	1,9E-01 ± 7E-02	7,4E-01 ± 1E-01	7,8E-02 ± 5E-02	1,2E+00 ± 8E-01	6,0E+00 ± 4E+00		
Pb-210	1,4E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 4E-01	2,4E+00 ± 4E-01	6,3E+00 ± 4E-01	5,6E+00 ± 5E-01	7,3E+00 ± 5E-01	2,5E+01 ± 1E+00	1,2E+02 ± 5E+00		
Ra-228		7,2E-02 ± 7E-02 ‡	1,1E-01 ± 8E-02	7,7E-02 ± 1E-01 ‡	1,7E-02 ± 5E-02 ‡		2,7E-01 ± 2E-01	1,4E+00 ± 8E-01		
Th-230		2,5E+00 ± 3E+00 ‡					2,5E+00 ± 3E+00	1,3E+01 ± 1E+01		
Th-228	1,0E-02 ± 2E-02 ‡	1,6E-01 ± 9E-02	7,5E-02 ± 4E-02	2,7E-02 ± 2E-02 ‡	1,3E-01 ± 8E-02	5,5E-02 ± 2E-02	4,6E-01 ± 1E-01	2,3E+00 ± 6E-01		
K-40	2,9E-01 ± 2E-01		7,6E-01 ± 3E-01	1,3E-01 ± 2E-01 ‡	4,2E-01 ± 3E-01	3,7E-01 ± 1E-01	2,0E+00 ± 6E-01	9,8E+00 ± 3E+00		
Be-7	5,7E+00 ± 5E-01	2,2E+01 ± 1E+00	7,5E+00 ± 5E-01	6,7E+01 ± 4E+00	3,8E+01 ± 2E+00	5,1E+01 ± 3E+00	1,9E+02 ± 6E+00	9,5E+02 ± 3E+01		
I-131										
Cs-134										
Cs-137			1,7E-02 ± 2E-02 ‡				1,7E-02 ± 2E-02	8,6E-02 ± 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 2016 T - 42/2b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	daljna okolica NEK								Letna vsota	Letni used (*)
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016				
Kol. vzorca (g)	10,5	11,3	10,6	10,9	12,1	12,0				
Padavine (mm)	62,1	66,5	64,7	108,0	127,6	1,0				
Oznaka vzorca	K16PV2671	K16PV2681	K16PV2691	K16PV26A1	K16PV26B1	K16PV26C1				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)									
Na-22										
U-238	2,0E+00 ± 1E+00	6,1E-01 ± 4E-01	3,2E-02 ± 2E-01 ‡	2,6E-01 ± 4E-01 ‡	8,7E-03 ± 9E-02 ‡		3,8E+00 ± 2E+00	1,9E+01 ± 8E+00		
Ra-226			6,7E-02 ± 4E-02	6,7E-02 ± 4E-02	5,9E-01 ± 2E-01		1,8E+00 ± 8E-01	9,2E+00 ± 4E+00		
Pb-210	4,8E+00 ± 2E+00	4,0E+00 ± 6E-01	5,3E+00 ± 4E-01	3,6E+00 ± 1E+00	8,3E-01	1,3E+00 ± 3E-01	4,4E+01 ± 2E+00	2,2E+02 ± 1E+01		
Ra-228				1,8E-01 ± 1E-01		4,5E-02 ± 8E-02 ‡	5,0E-01 ± 2E-01	2,5E+00 ± 1E+00		
Th-230							2,5E+00 ± 3E+00	1,3E+01 ± 1E+01		
Th-228		1,0E-01 ± 3E-02	3,7E-02 ± 3E-02	1,3E-01 ± 4E-02	1,0E-01 ± 6E-02		8,4E-01 ± 2E-01	4,2E+00 ± 8E-01		
K-40		8,1E-01 ± 5E-01		4,3E-01 ± 3E-01	5,0E-01 ± 4E-01		4,1E+00 ± 1E+00	2,1E+01 ± 5E+00		
Be-7	1,8E+01 ± 1E+00	2,4E+01 ± 1E+00	4,2E+01 ± 3E+00	1,3E+01 ± 1E+00	4,5E+00 ± 4E-01	3,4E+00 ± 4E-01	3,0E+02 ± 7E+00	1,5E+03 ± 3E+01		
I-131										
Cs-134										
Cs-137					1,7E-03 ± 2E-02 ‡		1,9E-02 ± 3E-02	9,5E-02 ± 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.

(†) 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 2016 T - 42/3a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	ožja okolica NEK (mesta 1, 7, 8)								Polletna vsota	Polletni used (*)
	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016				
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016			Polletna vsota	Polletni used (*)
Kol. vzorca (g)	53,6	37,2	62,1	44,6	40,3	34,9				
Padavine (mm)	58,1	209,1	51,5	62,0	151,6	132,2				
Oznaka vzorca	K16PV311	K16PV321	K16PV331	K16PV341	K16PV351	K16PV361				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)									
Na-22										
U-238	3,3E-01 ± 2E-01		1,5E-01 ± 2E-01 ‡		1,6E-01 ± 2E-01 ‡			6,5E-01 ± 4E-01		3,3E+00 ± 2E+00
Ra-226	1,1E-01 ± 9E-02		2,1E-01 ± 2E-01 ‡		2,6E-02 ± 3E-02 ‡		8,3E-02 ± 5E-02	4,3E-01 ± 2E-01		2,2E+00 ± 1E+00
Pb-210	1,3E+00 ± 3E-01	3,1E+00 ± 2E-01	3,2E+00 ± 3E-01		5,3E+00 ± 9E-01 ‡		6,3E+00 ± 3E-01	2,6E+01 ± 1E+00		1,3E+02 ± 6E+00
Ra-228	6,3E-02 ± 5E-02						6,8E+00 ± 7E-01	6,3E-02 ± 5E-02		3,2E-01 ± 2E-01
Tb-230								1,2E+00 ± 1E+00		6,0E+00 ± 7E+00
Tb-228	2,3E-02 ± 2E-02		1,2E+00 ± 1E+00 ‡		4,4E-02 ± 3E-02		3,3E-02 ± 2E-02	3,5E-02 ± 2E-02		2,3E-01 ± 5E-02
K-40		3,7E-01 ± 2E-01	9,7E-01 ± 4E-01		3,6E-01 ± 1E-01		8,2E-02 ± 3E-01 ‡	4,7E-01 ± 1E-01		2,2E+00 ± 5E-01
Be-7	8,7E+00 ± 4E-01	2,0E+01 ± 1E+00	1,6E+01 ± 8E-01		6,4E+01 ± 3E+00		3,9E+01 ± 2E+00	5,2E+01 ± 2E+00		1,1E+01 ± 3E+00
I-131								2,0E+02 ± 4E+00		1,0E+03 ± 2E+01
Cs-134										
Cs-137					6,3E-04 ± 6E-03 ‡		1,1E-02 ± 1E-02 ‡	3,2E-04 ± 6E-03 ‡	1,2E-02 ± 1E-02	5,9E-02 ± 6E-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.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 42/3b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	ožja okolica NEK (mesta 1, 7, 8)							Letna vsota	Letni used (*)	
	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016				
Datum vzor.	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016			Letna vsota	Letni used (*)
Kol. vzorca (g)	30,9	35,6	34,2	36,6	40,0	40,7				
Padavine (mm)	23,0	73,2	72,3	124,0	151,4	1,0				
Oznaka vzorca	K16PV371	K16PV381	K16PV391	K16PV3A1	K16PV3B1	K16PV3C1				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)									
Na-22										
U-238			2,6E-01 ± 2E-01		6,0E-02 ± 1E-01 ‡		1,3E-01 ± 1E-01 ‡	2,7E-02 ± 2E-01 ‡	1,1E+00 ± 5E-01	5,6E+00 ± 2E+00
Ra-226	1,3E-01 ± 5E-02	4,2E-02 ± 3E-02	3,0E-02 ± 2E-01 ‡		6,7E-02 ± 7E-02 ‡		1,3E-01 ± 1E-01 ‡	8,3E-01 ± 3E-01		4,1E+00 ± 2E+00
Pb-210	4,1E+00 ± 3E-01	4,0E+00 ± 3E-01	4,5E+00 ± 3E-01		3,3E+00 ± 4E-01		2,4E+00 ± 1E-01	1,4E+00 ± 2E-01	4,6E+01 ± 1E+00	2,3E+02 ± 7E+00
Ra-228			1,4E-02 ± 4E-02 ‡		3,4E-02 ± 7E-02 ‡		1,7E-02 ± 3E-02 ‡	1,3E-01 ± 1E-01		6,4E-01 ± 5E-01
Tb-230								1,2E+00 ± 1E+00		6,0E+00 ± 7E+00
Tb-228	4,8E-02 ± 2E-02	2,6E-02 ± 2E-02 ‡	6,0E-02 ± 2E-02		5,4E-02 ± 2E-02		3,0E-02 ± 8E-03	1,7E-01 ± 3E-02		3,1E+00 ± 4E-01
K-40	1,8E-01 ± 1E-01	3,2E-01 ± 2E-01	2,5E-01 ± 2E-01		2,8E-01 ± 1E-01		1,4E-01 ± 2E-01 ‡	3,4E+00 ± 6E-01		1,7E+01 ± 3E+00
Be-7	2,7E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 2E+00	3,5E+01 ± 1E+00		1,9E+01 ± 1E+00		7,4E+00 ± 5E-01	3,7E+00 ± 2E-01		1,6E+03 ± 2E+01
I-131										
Cs-134										
Cs-137								1,2E-02 ± 1E-02		5,9E-02 ± 6E-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.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 42/4a
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS								Polletna vsota	Polletni used
	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016				
Datum vzor.	17,4	14,8	22,5	14,1	14,0	12,6				
Kol. vzorca (g)	76,3	201,2	79,2	92,6	156,8	174,9				
Padavine (mm)***	L16PV111	L16PV121	L16PV131	L16PV141	L16PV151	L16PV161				
Oznaka vzorca	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)									
Na-22		7,4E-01 ± 5E-01	2,6E-01 ± 3E-01 ‡	2,2E-01 ± 5E-01 ‡	1,4E-01 ± 3E-01 ‡	2,1E-01 ± 4E-01 ‡	1,6E+00 ± 9E-01	7,8E+00 ± 4E+00		
U-238	4,4E-02 ± 9E-02 ‡		1,6E-01 ± 5E-01 ‡				2,3E-01 ± 5E-01	1,2E+00 ± 3E+00		
Ra-226		2,2E+00 ± 3E-01	2,7E+00 ± 7E-01	5,0E+00 ± 5E-01	3,4E+00 ± 4E-01	5,9E+00 ± 5E-01	2,0E+01 ± 1E+00	1,0E+02 ± 6E+00		
Pb-210	1,3E+00 ± 4E-01	8,4E-02 ± 1E-01 ‡		1,9E-01 ± 3E-01 ‡			5,5E-01 ± 3E-01	2,7E+00 ± 2E+00		
Ra-228	2,2E-01 ± 1E-01									
Pb-214										
Th-230										
Th-232	7,2E-02 ± 8E-02 ‡	5,5E-02 ± 4E-02	8,1E-02 ± 4E-02	2,1E-01 ± 1E-01	8,3E-02 ± 5E-02	6,3E-02 ± 2E-02	5,6E-01 ± 2E-01	2,8E+00 ± 9E-01		
K-40	1,9E+00 ± 4E-01	2,5E+00 ± 4E-01	9,6E-01 ± 4E-01	1,4E+00 ± 1E+00	5,6E-01 ± 4E-01	4,6E-01 ± 2E-01	7,8E+00 ± 1E+00	3,9E+01 ± 7E+00		
Be-7	9,2E+00 ± 6E-01	1,6E+01 ± 8E-01	1,4E+01 ± 7E-01	4,2E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 2E+00	4,2E+01 ± 2E+00	1,5E+02 ± 4E+00	7,6E+02 ± 2E+01		
I-131										
Cs-134										
Cs-137		1,4E-03 ± 1E-02 ‡		6,0E-02 ± 2E-02			5,1E-03 ± 1E-02 ‡	6,6E-02 ± 3E-02	3,3E-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.

(***) Meritve količine padavin je opravila in posredovala Agencija RS za okolje (ARSO).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 42/4b
6. SUHI USED – VAZELINSKE PLOŠČE



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS						Letna vsota	Letni used
	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		
Datum vzor.	13,5	11,2	12,4	11,1	12,4	13,7		
Kol. vzorca (g)	85,9	90,4	47,0	135,1	177,4	0,1		
Padavine (mm)***	L16PV171	L16PV181	L16PV191	L16PV1A1	L16PV1B1	L16PV1C1		
Oznaka vzorca	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
Na-22	5,6E-01 ± 4E-01	5,0E-01 ± 6E-01 ‡		3,6E-01 ± 3E-01 ‡	1,2E-01 ± 5E-01 ‡	4,9E-01 ± 3E-01	3,6E+00 ± 1E+00	1,8E+01 ± 7E+00
U-238	7,4E-02 ± 9E-02 ‡	2,1E-01 ± 1E-01 ‡	1,3E-01 ± 3E-01 ‡		6,8E-01 ± 5E-01 ‡	1,4E-01 ± 8E-02	1,5E+00 ± 8E-01	7,3E+00 ± 4E+00
Ra-226	3,6E+00 ± 5E-01	3,6E+00 ± 4E-01	3,4E+00 ± 3E-01	5,1E+00 ± 4E-01	2,5E+00 ± 4E-01	1,6E-01 ± 5E-01 ‡	3,9E+01 ± 2E+00	1,9E+02 ± 8E+00
Pb-210	8,7E-02 ± 1E-01 ‡			5,3E-02 ± 1E-01 ‡	2,8E-02 ± 1E-01 ‡	2,9E-02 ± 4E-02 ‡	7,4E-01 ± 4E-01	3,7E+00 ± 2E+00
Ra-228							3,7E+00 ± 2E+00	1,8E+01 ± 1E+01
Pb-214							3,7E+00 ± 2E+00	1,8E+01 ± 1E+01
Th-230							1,1E+00 ± 2E-01	5,6E+00 ± 1E+00
Th-232	1,7E-01 ± 7E-02	1,5E-01 ± 6E-02	6,8E-02 ± 5E-02	5,2E-02 ± 4E-02	2,9E-02 ± 5E-02 ‡	7,7E-02 ± 2E-02	9,8E+00 ± 2E+00	4,9E+01 ± 9E+00
K-40	3,3E-01 ± 4E-01 ‡	2,4E-01 ± 6E-01 ‡	3,9E+01 ± 2E+00	2,1E+01 ± 1E+00	1,0E+00 ± 7E-01	4,4E-01 ± 2E-01	2,8E+02 ± 5E+00	1,4E+03 ± 3E+01
Be-7	2,8E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00			5,0E+00 ± 4E-01	1,7E+00 ± 2E-01		
I-131								
Cs-134								
Cs-137	3,7E-02 ± 5E-02 ‡		1,8E-03 ± 2E-02 ‡		1,4E-03 ± 1E-02 ‡	1,9E-02 ± 1E-02	1,2E-01 ± 6E-02	6,2E-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

LETO 2016 T - 43
7. ZRAK - PREGLED MERITEV JODA I-131 V ZRAKU V LETU 2016



Specifična analiza I-131 v zraku (aerosolni, atomarni, CH₃I) (**)

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
30. 12. 2015	18. 1. 2016	1287,8	< 4E-05	1419,6	< 4E-05	1563,9	< 1E-05	1610,0	< 1E-05	1511,7	< 3E-05	1376,2	< 2E-05	1349,8	< 3E-05
18. 1. 2016	1. 2. 2016	1061,1	< 3E-05	1078,4	< 4E-05	1083,6	< 2E-05	1041,5	< 1E-05	1232,7	< 3E-05	958,3	< 3E-05	1055,2	< 3E-05
1. 2. 2016	16. 2. 2016	1341,1	< 1E-05	1130,6	< 7E-05	358,3	< 1E-04	1281,7	< 2E-05	1397,2	< 2E-05	1073,2	< 4E-05	1151,4	< 3E-05
16. 2. 2016	1. 3. 2016	1229,7	< 3E-05	1082,2	< 6E-05	1026,2	< 3E-05	1120,4	< 1E-05	1167,4	< 3E-05	999,0	< 2E-05	1187,4	< 3E-05
1. 3. 2016	16. 3. 2016	1417,0	< 3E-05	1197,1	< 7E-05	1265,1	< 2E-05	1078,8	< 1E-05	1277,0	< 2E-05	1107,1	< 2E-05	1245,5	< 2E-05
16. 3. 2016	4. 4. 2016	1707,9	< 2E-05	1514,7	< 3E-05	1609,8	< 2E-05	1561,6	< 3E-05	1637,0	< 3E-05	1317,2	< 3E-05	1501,7	< 2E-05
4. 4. 2016	18. 4. 2016	1206,6	< 3E-05	1100,4	< 4E-05	1104,4	< 2E-05	1215,9	< 4E-05	1327,2	< 1E-05	1025,2	< 7E-05	1124,4	< 4E-05
18. 4. 2016	3. 5. 2016	1453,1	< 2E-05	1246,5	< 2E-05	1059,8	< 5E-05	1267,7	< 1E-05	1407,4	< 3E-05	1071,4	< 3E-05	1252,4	< 1E-05
3. 5. 2016	16. 5. 2016	1295,9	< 2E-05	1076,7	< 4E-05	879,5	< 4E-05	1105,0	< 3E-05	1292,0	< 3E-05	938,7	< 5E-05	1156,5	< 1E-05
16. 5. 2016	1. 6. 2016	1434,5	< 2E-05	1266,6	< 3E-05	1157,0	< 5E-05	1259,0	< 2E-05	1456,7	< 5E-05	1192,5	< 3E-05	1418,7	< 2E-05
1. 6. 2016	16. 6. 2016	1545,5	< 1E-05	1187,5	< 4E-05	1069,1	< 3E-05	1255,1	< 2E-05	1453,8	< 4E-05	1152,2	< 4E-05	1323,9	< 2E-05
16. 6. 2016	4. 7. 2016	1813,8	< 1E-05	1532,3	< 1E-05	1239,6	< 2E-05	1466,4	< 2E-05	1619,3	< 2E-05	1339,2	< 6E-05	1515,0	< 1E-05
4. 7. 2016	18. 7. 2016	1297,0	< 1E-05	1200,8	< 2E-05	1041,4	< 2E-05	1063,6	< 3E-05	1241,6	< 3E-05	1064,4	< 6E-05	1248,5	< 1E-05
18. 7. 2016	1. 8. 2016	1259,1	< 2E-05	1168,3	< 2E-05	1057,0	< 4E-05	1238,2	< 5E-05	1296,7	< 3E-05	1031,8	< 5E-05	1175,8	< 2E-04
1. 8. 2016	16. 8. 2016	1404,1	< 8E-05	1289,0	< 2E-05	1131,8	< 3E-05	1248,1	< 2E-05	846,1	< 1E-04	1100,5	< 2E-05	1372,1	< 2E-05
16. 8. 2016	1. 9. 2016	1532,3	< 2E-05	1372,4	< 4E-05	1195,4	< 9E-06	1357,7	< 6E-05	1481,0	< 4E-05	1171,1	< 3E-05	1391,7	< 2E-05
1. 9. 2016	15. 9. 2016	1304,8	< 1E-05	1163,5	< 2E-05	1082,6	< 3E-05	1123,6	< 2E-05	1249,8	< 3E-05	1009,5	< 5E-05	1233,1	< 2E-05
15. 9. 2016	3. 10. 2016	1654,4	< 2E-05	1610,4	< 6E-05	1354,8	< 3E-05	1471,1	< 2E-05	1616,6	< 9E-06	1385,7	< 2E-05	1568,8	< 2E-05
3. 10. 2016	17. 10. 2016	1357,0	< 2E-05	1276,2	< 2E-05	1078,4	< 8E-06	1203,8	< 4E-05	1270,2	< 8E-05	993,3	< 4E-05	1207,1	< 3E-05
17. 10. 2016	2. 11. 2016	1530,5	< 2E-05	1334,6	< 2E-05	1134,4	< 4E-05	1323,7	< 1E-05	1445,4	< 8E-06	1101,5	< 7E-05	1304,7	< 2E-05
2. 11. 2016	16. 11. 2016	1286,9	< 2E-05	1292,0	< 2E-05	912,9	< 2E-05	1156,1	< 2E-05	1246,6	< 2E-05	998,5	< 4E-05	1154,2	< 2E-05
16. 11. 2016	1. 12. 2016	1460,0	< 2E-05	1288,9	< 9E-06	1136,6	< 5E-05	1260,8	< 2E-05	1299,3	< 1E-04	1090,4	< 3E-05	1309,9	< 2E-05
1. 12. 2016	15. 12. 2016	1278,3	< 3E-05	1128,0	< 3E-05	698,6	< 3E-05	973,6	< 1E-05	1157,7	< 1E-05	988,9	< 2E-05	1187,1	< 4E-05
15. 12. 2016	28. 12. 2016	1029,9	< 2E-05	1132,8	< 1E-05	1297,8	< 3E-05	1095,2	< 2E-05	1140,3	< 3E-05	847,1	< 1E-05	1102,8	< 1E-05

(**) Specifična analiza I-131 je bila opravljena z visokoločljivostno spektrometrijo gama na Odseku F-2.

LETO 2016 T - 44a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad							
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m ³)	13447,25	11573,48	13395,70	11406,49	11320,54	12774,80		
Oznaka vzorca	K16AE11S	K16AE12S	K16AE13S	K16AE14S	K16AE15S	K16AE16S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22				1,5E-06 ± 1E-06				2,4E-07 ± 2E-07
U-238	2,5E-05 ± 1E-05	1,2E-06 ± 5E-06 ‡		4,8E-06 ± 5E-06 ‡				5,2E-06 ± 2E-06
Ra-226	6,2E-06 ± 3E-05 ‡							1,0E-06 ± 4E-06
Pb-210	6,5E-04 ± 7E-05	2,3E-04 ± 1E-05	2,7E-04 ± 2E-05	2,6E-04 ± 2E-05	3,1E-04 ± 3E-05	2,9E-04 ± 2E-05		3,3E-04 ± 1E-05
Ra-228	6,5E-06 ± 4E-06	6,5E-06 ± 2E-06	4,3E-06 ± 3E-06	5,0E-06 ± 3E-06	4,1E-06 ± 3E-06	3,1E-06 ± 3E-06 ‡		4,9E-06 ± 1E-06
Th-230						4,2E-05 ± 7E-05 ‡		7,0E-06 ± 1E-05
Th-228	5,4E-06 ± 1E-06	7,6E-06 ± 2E-06	4,4E-06 ± 1E-06	6,2E-06 ± 1E-06	8,9E-06 ± 2E-06	3,6E-06 ± 2E-06		6,0E-06 ± 6E-07
K-40								
Be-7	1,4E-03 ± 5E-05	1,2E-03 ± 8E-05	1,8E-03 ± 1E-04	2,5E-03 ± 2E-04	2,7E-03 ± 1E-04	2,6E-03 ± 1E-04		2,0E-03 ± 5E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,1E-06 ± 7E-07	2,3E-07 ± 4E-07 ‡	1,0E-07 ± 4E-07 ‡	2,0E-07 ± 4E-07 ‡	5,5E-08 ± 4E-07 ‡			2,8E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 44b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m ³)	10378,89	11018,35	11281,56	10629,46	10180,60	9483,63		
Oznaka vzorca	K16AE17S	K16AE18S	K16AE19S	K16AE1AS	K16AE1BS	K16AE1CS		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22				1,4E-05 ± 1E-05 ‡	1,7E-05 ± 2E-05 ‡	7,6E-06 ± 2E-05 ‡		1,2E-07 ± 1E-07
U-238	9,0E-06 ± 8E-06 ‡			1,0E-05 ± 4E-05 ‡				6,6E-06 ± 3E-06
Ra-226				3,8E-04 ± 5E-05				1,4E-06 ± 4E-06
Pb-210	4,1E-04 ± 2E-05	4,0E-04 ± 2E-05	7,3E-04 ± 3E-05	3,6E-04 ± 3E-05	3,6E-04 ± 3E-05	9,2E-04 ± 4E-05		4,3E-04 ± 1E-05
Ra-228	5,0E-06 ± 3E-06	5,1E-06 ± 3E-06	3,5E-06 ± 2E-06	6,2E-06 ± 3E-06	9,0E-06 ± 4E-06	5,8E-06 ± 5E-06		5,4E-06 ± 9E-07
Th-230								3,5E-06 ± 6E-06
Th-228	9,2E-06 ± 1E-06	7,7E-06 ± 2E-06	6,7E-06 ± 2E-06	4,9E-06 ± 2E-06	8,5E-06 ± 2E-06	2,7E-06 ± 3E-06 ‡		6,3E-06 ± 6E-07
K-40								
Be-7	2,8E-03 ± 2E-04	2,7E-03 ± 1E-04	3,6E-03 ± 2E-04	1,3E-03 ± 8E-05	1,7E-03 ± 8E-05	1,9E-03 ± 1E-04		2,2E-03 ± 4E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,2E-07 ± 4E-07 ‡	1,9E-07 ± 4E-07 ‡	1,3E-06 ± 6E-07	6,4E-07 ± 1E-06 ‡	1,2E-06 ± 2E-06 ‡	2,0E-06 ± 1E-06		6,0E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 45a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Stara vas							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		
Kol. vzorca (m ³)	10300,62	8615,16	8994,56	4778,69	3811,65	11961,04		
Oznaka vzorca	K16AE21S	K16AE22S	K16AE23S	K16AE24S	K16AE25S	K16AE26S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	2,2E-06 ± 1E-06	1,8E-05 ± 1E-05	1,0E-05 ± 9E-06 ‡				3,2E-05 ± 1E-05	3,6E-07 ± 2E-07
U-238								1,0E-05 ± 3E-06
Ra-226	3,0E-05 ± 5E-05 ‡							8,8E-06 ± 2E-05
Pb-210	1,7E-03 ± 1E-04	4,3E-04 ± 4E-05	6,2E-04 ± 3E-05	9,9E-04 ± 1E-04	2,3E-05 ± 8E-05 ‡		4,2E-04 ± 7E-05	9,0E-04 ± 3E-05
Ra-228	9,0E-06 ± 4E-06	1,1E-05 ± 5E-06	1,0E-05 ± 3E-06	1,3E-05 ± 6E-06	1,8E-05 ± 9E-06		6,6E-06 ± 3E-06	1,1E-05 ± 2E-06
Th-230								
Th-228	8,8E-06 ± 2E-06	7,1E-06 ± 3E-06	7,9E-06 ± 2E-06	1,5E-05 ± 4E-06	1,6E-05 ± 6E-06		8,8E-06 ± 2E-06	1,1E-05 ± 1E-06
K-40								
Be-7	3,1E-03 ± 1E-04	2,3E-03 ± 1E-04	4,2E-03 ± 3E-04	8,9E-03 ± 4E-04	1,2E-02 ± 6E-04		4,6E-03 ± 2E-04	5,9E-03 ± 1E-04
L-131								
Cs-134								
Cs-137	3,7E-06 ± 9E-07	2,4E-06 ± 2E-06	2,2E-07 ± 4E-07 ‡	1,2E-07 ± 1E-06 ‡	5,3E-07 ± 1E-06 ‡		1,3E-06 ± 2E-06 ‡	1,4E-06 ± 5E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 45b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Stara vas							Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016		
Kol. vzorca (m ³)	11297,42	12669,87	13347,86	12799,44	12509,61	11533,94		
Oznaka vzorca	K16AE27S	K16AE28S	K16AE29S	K16AE2AS	K16AE2BS	K16AE2CS		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	6,4E-05 ± 5E-05		9,2E-06 ± 2E-05 ‡	2,0E-06 ± 2E-05 ‡	1,1E-05 ± 1E-05 ‡	1,1E-05 ± 9E-06 ‡		1,8E-07 ± 1E-07
U-238								1,3E-05 ± 5E-06
Ra-226	3,1E-06 ± 4E-05 ‡	5,8E-05 ± 5E-05 ‡					2,3E-05 ± 4E-05 ‡	1,1E-05 ± 1E-05
Pb-210	7,1E-04 ± 5E-05	6,1E-04 ± 4E-05	1,2E-03 ± 7E-05	6,1E-04 ± 3E-05	6,1E-04 ± 5E-05	1,1E-03 ± 7E-05		8,4E-04 ± 2E-05
Ra-228		5,7E-06 ± 3E-06	4,0E-06 ± 2E-06	5,3E-06 ± 3E-06	3,3E-06 ± 4E-06 ‡	9,8E-06 ± 3E-06		7,9E-06 ± 1E-06
Th-230								
Th-228	2,0E-05 ± 6E-06	1,1E-05 ± 2E-06	2,2E-06 ± 2E-06	3,2E-06 ± 3E-06 ‡	7,8E-06 ± 4E-06	4,9E-06 ± 4E-06 ‡		9,5E-06 ± 1E-06
K-40								
Be-7	4,9E-03 ± 2E-04	4,4E-03 ± 2E-04	5,7E-03 ± 3E-04	2,0E-03 ± 1E-04	2,5E-03 ± 1E-04	3,0E-03 ± 1E-04		4,8E-03 ± 8E-05
L-131								
Cs-134								
Cs-137	3,3E-07 ± 1E-06 ‡	9,3E-08 ± 3E-07 ‡	5,1E-08 ± 4E-07 ‡	2,1E-07 ± 4E-07 ‡	5,0E-07 ± 9E-07 ‡	1,4E-06 ± 8E-07		9,0E-07 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 46a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Leskovec							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		
Kol. vzorca (m ³)	9062,21	5367,30	8010,65	5095,43	10445,98	12135,76		
Oznaka vzorca	K16AE31S	K16AE32S	K16AE33S	K16AE34S	K16AE35S	K16AE36S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	7,5E-07 ± 2E-05 ‡		2,0E-05 ± 2E-05 ‡	3,1E-05 ± 2E-05	6,3E-06 ± 1E-05 ‡			9,5E-06 ± 6E-06
U-238								
Ra-226								
Pb-210	1,5E-03 ± 7E-05	5,6E-04 ± 5E-05	8,4E-04 ± 5E-05	8,0E-04 ± 7E-05	4,3E-04 ± 2E-05	4,9E-04 ± 4E-05		7,8E-04 ± 2E-05
Ra-228	5,6E-06 ± 3E-06	1,4E-05 ± 9E-06	8,1E-06 ± 5E-06	1,6E-05 ± 5E-06	7,4E-06 ± 4E-06	3,7E-06 ± 2E-06		9,2E-06 ± 2E-06
Th-230								
Th-228	7,2E-06 ± 2E-06	1,8E-05 ± 5E-06	6,4E-06 ± 4E-06	1,4E-05 ± 4E-06	5,0E-06 ± 2E-06	6,3E-06 ± 2E-06		9,4E-06 ± 1E-06
K-40								
Be-7	3,3E-03 ± 2E-04	2,9E-03 ± 1E-04	5,6E-03 ± 2E-04	8,5E-03 ± 5E-04	4,3E-03 ± 2E-04	4,2E-03 ± 2E-04		4,8E-03 ± 1E-04
L-131								
Cs-134								
Cs-137	5,9E-06 ± 3E-06		2,3E-06 ± 1E-06	9,3E-07 ± 2E-06 ‡	3,1E-07 ± 5E-07 ‡	5,2E-06 ± 3E-07		2,4E-06 ± 6E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 46b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Leskovec							Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016		
Kol. vzorca (m ³)	10066,57	11063,54	11484,51	10838,73	10439,72	8126,42		
Oznaka vzorca	K16AE37S	K16AE38S	K16AE39S	K16AE3AS	K16AE3BS	K16AE3CS		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	1,4E-06 ± 7E-06 ‡	3,8E-06 ± 7E-06 ‡	1,4E-05 ± 6E-06	8,7E-06 ± 8E-06 ‡	2,7E-06 ± 1E-05 ‡	2,5E-05 ± 4E-05 ‡		7,3E-06 ± 3E-06
U-238								2,1E-06 ± 4E-06
Ra-226								
Pb-210	6,5E-04 ± 4E-05	5,5E-04 ± 7E-05	1,1E-03 ± 6E-05	6,1E-04 ± 3E-05	6,4E-04 ± 4E-05 ‡	1,6E-03 ± 7E-05		8,2E-04 ± 2E-05
Ra-228	6,4E-06 ± 3E-06	7,7E-06 ± 2E-06	7,6E-06 ± 2E-06	5,3E-06 ± 2E-06		9,3E-06 ± 4E-06		7,6E-06 ± 1E-06
Th-230			1,7E-05 ± 6E-05 ‡					1,4E-06 ± 5E-06
Th-228	7,9E-06 ± 2E-06	7,8E-06 ± 2E-06	6,2E-06 ± 1E-06	6,6E-06 ± 2E-06	4,2E-06 ± 2E-06	6,1E-06 ± 3E-06		7,9E-06 ± 8E-07
K-40								
Be-7	4,8E-03 ± 3E-04	4,5E-03 ± 3E-04	5,8E-03 ± 4E-04	2,2E-03 ± 2E-04	2,5E-03 ± 2E-04	3,2E-03 ± 2E-04		4,3E-03 ± 8E-05
L-131								
Cs-134								
Cs-137	1,8E-07 ± 4E-07 ‡	1,7E-07 ± 3E-07 ‡	1,4E-06 ± 9E-07	1,4E-06 ± 8E-07	2,4E-07 ± 5E-07 ‡	3,7E-06 ± 2E-06		1,8E-06 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 47a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Brege							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		
Kol. vzorca (m ³)	11998,72	11103,51	13102,98	11158,10	11245,05	12885,73		
Oznaka vzorca	K16AE41S	K16AE42S	K16AE43S	K16AE44S	K16AE45S	K16AE46S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	1,9E-05 ± 1E-05	1,1E-05 ± 7E-06	7,3E-07 ± 1E-05 ‡		3,2E-05 ± 2E-05	1,3E-05 ± 1E-05 ‡	1,3E-05 ± 5E-06	
U-238						2,1E-06 ± 2E-05 ‡	3,5E-07 ± 4E-06	
Ra-226							5,1E-04 ± 3E-05	
Pb-210	1,1E-03 ± 1E-04	3,0E-04 ± 2E-05	4,0E-04 ± 2E-05	4,9E-04 ± 9E-05	4,4E-04 ± 3E-05	3,5E-04 ± 1E-04	5,9E-06 ± 1E-06	
Ra-228	8,2E-06 ± 2E-06	5,9E-06 ± 2E-06	2,7E-06 ± 3E-06 ‡	6,3E-07 ± 3E-06 ‡	1,1E-05 ± 4E-06	7,1E-06 ± 2E-06	7,8E-06 ± 1E-05	
Th-230	4,7E-05 ± 6E-05 ‡						8,0E-06 ± 1E-06	
Th-228	1,3E-05 ± 2E-06	6,6E-06 ± 1E-06	4,7E-06 ± 2E-06	8,2E-06 ± 2E-06	1,1E-05 ± 7E-06	5,1E-06 ± 1E-06	8,0E-06 ± 1E-06	
K-40								
Be-7	2,3E-03 ± 8E-05	1,6E-03 ± 1E-04	2,6E-03 ± 1E-04	3,5E-03 ± 2E-04	4,2E-03 ± 2E-04	4,0E-03 ± 2E-04	3,0E-03 ± 6E-05	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,2E-06 ± 5E-07	1,1E-06 ± 8E-07	2,5E-07 ± 5E-07 ‡	6,3E-07 ± 7E-07 ‡	9,8E-07 ± 2E-06 ‡	1,4E-07 ± 4E-07 ‡	8,7E-07 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 47b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Brege							Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016		
Kol. vzorca (m ³)	11039,92	12199,39	12314,40	11462,00	11128,68	10316,13		
Oznaka vzorca	K16AE47S	K16AE48S	K16AE49S	K16AE4AS	K16AE4BS	K16AE4CS		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22								
U-238	4,1E-05 ± 3E-05		3,8E-07 ± 6E-06 ‡	1,2E-05 ± 2E-05 ‡		1,5E-05 ± 1E-05 ‡	1,2E-05 ± 4E-06	
Ra-226	8,3E-05 ± 9E-05 ‡	8,4E-06 ± 4E-05 ‡					7,8E-06 ± 8E-06	
Pb-210	6,0E-04 ± 6E-05	5,1E-04 ± 4E-05	1,1E-03 ± 6E-05	6,3E-04 ± 6E-05	6,5E-04 ± 3E-05	1,4E-03 ± 8E-05	6,6E-04 ± 2E-05	
Ra-228	4,5E-06 ± 1E-05 ‡	1,8E-06 ± 3E-06 ‡	2,5E-06 ± 2E-06 ‡	1,3E-05 ± 4E-06	5,6E-06 ± 4E-06	9,3E-06 ± 4E-06	6,0E-06 ± 1E-06	
Th-230							3,9E-06 ± 5E-06	
Th-228	1,9E-05 ± 6E-06	7,2E-06 ± 2E-06	6,3E-06 ± 1E-06	5,5E-06 ± 2E-06	7,9E-06 ± 2E-06	2,4E-06 ± 2E-06 ‡	8,0E-06 ± 9E-07	
K-40								
Be-7	4,5E-03 ± 2E-04	4,0E-03 ± 2E-04	5,2E-03 ± 3E-04	1,9E-03 ± 7E-05	2,3E-03 ± 1E-04	2,7E-03 ± 1E-04	3,2E-03 ± 5E-05	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	3,2E-07 ± 1E-06 ‡	9,1E-07 ± 1E-06 ‡	5,9E-07 ± 7E-07 ‡	1,7E-07 ± 5E-07 ‡	2,9E-07 ± 5E-07 ‡	9,6E-07 ± 1E-06 ‡	7,1E-07 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 48a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Vihre							
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 1. 2. 2016	1. 2. 2016 - 1. 3. 2016	1. 3. 2016 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 3. 5. 2016	3. 5. 2016 - 1. 6. 2016	1. 6. 2016 - 4. 7. 2016		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m ³)	13584,33	11653,67	13551,26	11539,06	11546,74	12971,35		
Oznaka vzorca	K16AE51S	K16AE52S	K16AE53S	K16AE54S	K16AE55S	K16AE56S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	7,6E-06 ± 3E-05 ‡	2,3E-05 ± 3E-05 ‡	6,8E-06 ± 7E-06 ‡		1,3E-05 ± 1E-05 ‡	7,8E-06 ± 1E-05 ‡		9,7E-06 ± 9E-06
U-238				5,7E-06 ± 3E-05 ‡				9,5E-07 ± 5E-06
Ra-226				4,0E-04 ± 2E-05		4,0E-04 ± 4E-05		5,2E-04 ± 2E-05
Pb-210	1,2E-03 ± 5E-05	3,4E-04 ± 1E-04	3,9E-04 ± 2E-05					4,3E-06 ± 1E-06
Ra-228	4,2E-07 ± 3E-06 ‡	3,0E-06 ± 3E-06 ‡	5,9E-06 ± 3E-06	5,2E-06 ± 3E-06	7,1E-06 ± 4E-06	4,2E-06 ± 4E-06 ‡		
Th-230								
Th-228	3,8E-06 ± 3E-06	6,7E-06 ± 2E-06	6,0E-06 ± 1E-06	5,8E-06 ± 2E-06	7,1E-06 ± 2E-06	5,2E-06 ± 2E-06		5,8E-06 ± 8E-07
K-40								
Be-7	2,1E-03 ± 1E-04	1,7E-03 ± 7E-05	2,6E-03 ± 2E-04	3,6E-03 ± 1E-04	4,1E-03 ± 2E-04	4,0E-03 ± 2E-04		3,0E-03 ± 6E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	4,3E-06 ± 2E-06	6,4E-08 ± 7E-07 ‡	2,1E-06 ± 1E-06	5,4E-07 ± 6E-07 ‡	1,1E-06 ± 1E-06 ‡	8,3E-07 ± 5E-07		1,5E-06 ± 5E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 48b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Vihre							
Datum vzor.	4. 7. 2016 - 1. 8. 2016	1. 8. 2016 - 1. 9. 2016	1. 9. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 2. 11. 2016	2. 11. 2016 - 1. 12. 2016	1. 12. 2016 - 28. 12. 2016		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m ³)	10829,94	9499,85	11811,77	10959,20	10662,65	10019,02		
Oznaka vzorca	K16AE57S	K16AE58S	K16AE59S	K16AE5AS	K16AE5BS	K16AE5CS		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	3,9E-06 ± 6E-06 ‡	8,6E-06 ± 2E-05 ‡	1,2E-05 ± 1E-05 ‡		5,1E-06 ± 1E-05 ‡	2,1E-05 ± 2E-05 ‡		9,1E-06 ± 5E-06
U-238				1,3E-05 ± 4E-05 ‡				2,0E-06 ± 5E-06
Ra-226		5,1E-06 ± 4E-05 ‡		6,8E-04 ± 4E-05		6,9E-04 ± 4E-05		7,0E-04 ± 2E-05
Pb-210	6,3E-04 ± 4E-05	5,8E-04 ± 4E-05	1,2E-03 ± 7E-05					5,3E-06 ± 1E-06
Ra-228	4,1E-06 ± 3E-06	1,8E-05 ± 5E-06	1,7E-06 ± 3E-06 ‡	2,7E-06 ± 4E-06 ‡	1,7E-06 ± 5E-06 ‡	9,1E-06 ± 3E-06		
Th-230								
Th-228	7,4E-06 ± 1E-06	1,0E-05 ± 2E-06	3,7E-06 ± 2E-06	6,1E-06 ± 2E-06	7,5E-06 ± 3E-06	4,8E-06 ± 3E-06		6,2E-06 ± 6E-07
K-40								
Be-7	4,4E-03 ± 3E-04	4,5E-03 ± 2E-04	5,3E-03 ± 3E-04	1,9E-03 ± 1E-04	2,4E-03 ± 1E-04	2,8E-03 ± 1E-04		3,3E-03 ± 5E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,8E-07 ± 4E-07 ‡	1,8E-06 ± 2E-06 ‡	3,4E-08 ± 4E-07 ‡	1,3E-07 ± 5E-07 ‡	3,0E-07 ± 5E-07 ‡	1,9E-06 ± 1E-06		1,1E-06 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 49a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Gornji Lenart							
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m ³)	11691,88	10262,29	11994,54	10074,64	10184,86	11603,07		
Oznaka vzorca	K16AE61S	K16AE62S	K16AE63S	K16AE64S	K16AE65S	K16AE66S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22			2,6E-06 ± 2E-05 ‡	3,4E-06 ± 1E-05 ‡	2,5E-05 ± 3E-05 ‡	7,6E-06 ± 2E-05 ‡	1,3E-05 ± 7E-06	
U-238	3,9E-05 ± 1E-05						5,0E-06 ± 7E-06	
Ra-226	3,0E-05 ± 4E-05 ‡						5,4E-04 ± 2E-05	
Pb-210	1,1E-03 ± 9E-05	4,2E-04 ± 9E-05	4,1E-04 ± 2E-05	4,1E-04 ± 3E-05	4,5E-04 ± 2E-05	4,0E-04 ± 4E-05	5,4E-06 ± 1E-06	
Ra-228	2,5E-06 ± 2E-06 ‡	1,2E-05 ± 3E-06	7,0E-06 ± 3E-06	3,4E-06 ± 3E-06 ‡	3,4E-06 ± 3E-06 ‡	4,0E-06 ± 3E-06 ‡		
Th-230								
Th-228	9,4E-06 ± 2E-06	1,2E-05 ± 5E-06	5,9E-06 ± 1E-06	5,2E-06 ± 2E-06	1,0E-05 ± 2E-06	5,2E-06 ± 4E-06	7,9E-06 ± 1E-06	
K-40								
Be-7	2,3E-03 ± 8E-05	1,7E-03 ± 8E-05	2,6E-03 ± 1E-04	3,6E-03 ± 1E-04	4,1E-03 ± 2E-04	3,8E-03 ± 2E-04	3,0E-03 ± 6E-05	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,3E-06 ± 7E-07	6,6E-07 ± 5E-07	1,1E-06 ± 1E-06 ‡	2,2E-07 ± 6E-07 ‡	1,2E-07 ± 5E-07 ‡		5,6E-07 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 49b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Gornji Lenart							
Datum vzor.	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m ³)	9876,14	10829,98	11157,07	10288,32	9927,84	8956,08		
Oznaka vzorca	K16AE67S	K16AE68S	K16AE69S	K16AE6AS	K16AE6BS	K16AE6CS		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22				3,4E-07 ± 1E-06 ‡	1,6E-05 ± 1E-05	2,7E-06 ± 8E-06 ‡	2,8E-08 ± 8E-08	
U-238	5,3E-05 ± 5E-05 ‡	7,5E-06 ± 2E-05 ‡	2,9E-05 ± 1E-05	7,3E-06 ± 1E-05 ‡			1,6E-05 ± 6E-06	
Ra-226	1,5E-05 ± 5E-05 ‡			2,3E-06 ± 3E-05 ‡			3,9E-06 ± 6E-06	
Pb-210	7,5E-04 ± 8E-05	5,1E-04 ± 4E-05	1,1E-03 ± 5E-05	6,9E-04 ± 4E-05	6,1E-04 ± 4E-05	1,4E-03 ± 8E-05	6,9E-04 ± 2E-05	
Ra-228	1,6E-05 ± 1E-05	8,0E-06 ± 2E-06	8,8E-06 ± 3E-06		5,2E-06 ± 4E-06	8,4E-06 ± 3E-06	6,6E-06 ± 1E-06	
Th-230								
Th-228	1,1E-05 ± 5E-06	1,1E-05 ± 1E-06	7,0E-06 ± 2E-06	4,9E-06 ± 2E-06	7,4E-06 ± 3E-06	1,1E-05 ± 2E-06	8,3E-06 ± 9E-07	
K-40								
Be-7	4,7E-03 ± 2E-04	4,2E-03 ± 2E-04	5,4E-03 ± 2E-04	1,9E-03 ± 1E-04	2,4E-03 ± 1E-04	2,8E-03 ± 2E-04	3,3E-03 ± 5E-05	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	4,7E-06 ± 2E-06	2,2E-07 ± 8E-07 ‡	8,0E-07 ± 1E-06 ‡	3,3E-07 ± 5E-07 ‡	5,6E-07 ± 9E-07 ‡	3,0E-06 ± 1E-06	1,1E-06 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 50a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Libna							Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		
Datum vzor.								
Kol. vzorca (m ³)	11616,61	10152,09	11828,40	10142,84	10138,15	11461,16		
Oznaka vzorca	K16AE71S	K16AE72S	K16AE73S	K16AE74S	K16AE75S	K16AE76S		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22		4,7E-06 ± 1E-05 ‡	1,0E-05 ± 3E-05 ‡	1,0E-05 ± 2E-05 ‡	6,2E-06 ± 2E-05 ‡	6,1E-06 ± 6E-06 ‡	6,3E-06 ± 7E-06	
U-238							5,4E-06 ± 9E-06	
Ra-226							5,4E-04 ± 2E-05	
Pb-210	1,2E-03 ± 5E-05	3,5E-04 ± 3E-05	4,3E-04 ± 3E-05	3,9E-04 ± 1E-04	4,6E-04 ± 3E-05	4,5E-04 ± 3E-05	7,3E-06 ± 1E-06	
Ra-228	5,5E-06 ± 2E-06	1,1E-05 ± 3E-06	6,2E-06 ± 3E-06	8,1E-06 ± 4E-06	5,6E-06 ± 3E-06	6,9E-06 ± 2E-06	6,0E-06 ± 7E-07	
Th-230							3,4E-03 ± 7E-05	
Th-228	4,8E-06 ± 1E-06	6,6E-06 ± 2E-06	5,0E-06 ± 2E-06	7,4E-06 ± 2E-06	7,3E-06 ± 2E-06	5,0E-06 ± 1E-06	6,7E-07 ± 3E-07	
K-40								
Be-7	2,4E-03 ± 1E-04	1,8E-03 ± 8E-05	2,9E-03 ± 1E-04	4,0E-03 ± 2E-04	4,6E-03 ± 2E-04	4,4E-03 ± 3E-04		
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,9E-06 ± 4E-07	1,6E-06 ± 2E-06 ‡	2,9E-07 ± 4E-07 ‡			1,8E-07 ± 3E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 50b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)

Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Libna						Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016	
Datum vzor.							
Kol. vzorca (m ³)	9590,97	5876,48	10818,86	11608,34	11074,53	10061,13	
Oznaka vzorca	K16AE77S	K16AE78S	K16AE79S	K16AE7AS	K16AE7BS	K16AE7CS	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)						
Na-22	1,1E-05 ± 3E-05 ‡	3,4E-05 ± 3E-05 ‡	3,1E-05 ± 6E-05 ‡	6,3E-06 ± 2E-05 ‡	4,3E-06 ± 1E-05 ‡	3,0E-06 ± 7E-06 ‡	1,1E-05 ± 7E-06
U-238							2,7E-06 ± 4E-06
Ra-226							6,9E-04 ± 2E-05
Pb-210	6,4E-04 ± 6E-05	8,6E-04 ± 1E-04	1,2E-03 ± 5E-05	6,0E-04 ± 3E-05	5,1E-04 ± 4E-05	1,3E-03 ± 7E-05	7,5E-06 ± 1E-06
Ra-228	8,3E-06 ± 4E-06	1,2E-05 ± 5E-06	3,8E-06 ± 3E-06 ‡	6,1E-06 ± 4E-06	1,1E-05 ± 4E-06	5,6E-06 ± 4E-06	
Th-230							7,0E-06 ± 7E-07
Th-228	8,5E-06 ± 3E-06	1,3E-05 ± 3E-06	7,3E-06 ± 2E-06	5,5E-06 ± 2E-06	7,5E-06 ± 4E-06	5,8E-06 ± 2E-06	
K-40							3,8E-03 ± 6E-05
Be-7	5,0E-03 ± 2E-04	8,2E-03 ± 4E-04	6,0E-03 ± 2E-04	1,9E-03 ± 7E-05	2,2E-03 ± 9E-05	2,7E-03 ± 2E-04	
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,7E-06 ± 2E-06 ‡	1,9E-06 ± 3E-06 ‡	1,9E-07 ± 5E-07 ‡	1,2E-07 ± 4E-07 ‡	2,2E-06 ± 1E-06	7,6E-07 ± 8E-07 ‡	9,1E-07 ± 4E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 51a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Dobova							
	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)	
Datum vzor.	99432,3	117713,1	144817,3	127685,0	128052,9	139765,6		
Kol. vzorca (m ³)								
Oznaka vzorca	K16AE811	K16AE821	K16AE831	K16AE841	K16AE851	K16AE861		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22		1,4E-06 ± 2E-06 ‡	2,1E-07 ± 2E-07 ‡	6,1E-07 ± 2E-07	5,0E-07 ± 4E-07	6,8E-07 ± 5E-07	3,3E-07 ± 1E-07	3,2E-07 ± 5E-07
U-238				5,2E-07 ± 2E-06 ‡				
Ra-226								
Pb-210	1,2E-03 ± 7E-05	3,4E-04 ± 2E-05	4,3E-04 ± 2E-05	3,9E-04 ± 2E-05	4,7E-04 ± 2E-05	5,1E-04 ± 2E-05	5,6E-04 ± 1E-05	5,6E-04 ± 1E-05
Ra-228	1,4E-07 ± 7E-07 ‡	1,4E-06 ± 6E-07	2,8E-08 ± 1E-06 ‡	1,1E-06 ± 8E-07	2,4E-07 ± 9E-07 ‡	2,6E-07 ± 6E-07 ‡	5,2E-07 ± 3E-07	5,2E-07 ± 3E-07
Th-230								
Th-228		2,5E-06 ± 4E-07	3,3E-06 ± 6E-07	2,9E-06 ± 4E-07	2,7E-06 ± 5E-07	1,9E-06 ± 3E-07	2,2E-06 ± 2E-07	2,2E-06 ± 2E-07
K-40		2,6E-05 ± 6E-05 ‡	3,3E-05 ± 5E-05 ‡	2,9E-05 ± 6E-05 ‡	1,6E-05 ± 5E-05 ‡	4,5E-06 ± 5E-05 ‡	1,8E-05 ± 2E-05	1,8E-05 ± 2E-05
Be-7	2,8E-03 ± 2E-04	2,2E-03 ± 2E-04	3,3E-03 ± 1E-04	4,5E-03 ± 3E-04	5,2E-03 ± 2E-04	5,2E-03 ± 3E-04	3,9E-03 ± 9E-05	3,9E-03 ± 9E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	3,3E-06 ± 2E-07	1,2E-06 ± 1E-07	1,4E-06 ± 2E-07	1,0E-06 ± 2E-07	7,4E-07 ± 2E-07	1,3E-07 ± 1E-07 ‡	1,3E-06 ± 7E-08	1,3E-06 ± 7E-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 2016 T - 51b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama (**)

Vzorč. mesto	Dobova							
	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)	
Datum vzor.	119627,3	131216,6	130314,0	122813,4	114616,5	76115,1		
Kol. vzorca (m ³)								
Oznaka vzorca	K16AE871	K16AE881	K16AE891	K16AE8A1	K16AE8B1	K16AE8C1		
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	4,3E-07 ± 1E-07	3,9E-07 ± 4E-07 ‡	1,3E-06 ± 3E-06 ‡	1,5E-06 ± 5E-06 ‡	8,9E-08 ± 3E-07 ‡	1,2E-06 ± 5E-06 ‡	2,4E-07 ± 7E-08	4,9E-07 ± 7E-07
U-238								
Ra-226								
Pb-210	7,2E-04 ± 4E-05	5,8E-04 ± 3E-05	1,1E-03 ± 6E-05	6,6E-04 ± 4E-05	7,0E-04 ± 6E-05	1,4E-03 ± 6E-05	7,2E-04 ± 1E-05	7,2E-04 ± 1E-05
Ra-228	2,0E-06 ± 7E-07	1,1E-06 ± 9E-07 ‡			8,0E-07 ± 8E-07 ‡	3,2E-07 ± 2E-06 ‡	6,1E-07 ± 2E-07	6,1E-07 ± 2E-07
Th-230								
Th-228	5,2E-06 ± 5E-07	2,8E-06 ± 6E-07	1,6E-06 ± 4E-07	1,8E-06 ± 5E-07	3,4E-06 ± 6E-07	4,5E-06 ± 7E-07	2,7E-06 ± 1E-07	2,7E-06 ± 1E-07
K-40	5,9E-06 ± 6E-05 ‡				1,6E-05 ± 6E-05 ‡	3,2E-05 ± 9E-05 ‡	1,4E-05 ± 1E-05	1,4E-05 ± 1E-05
Be-7	5,7E-03 ± 2E-04	5,1E-03 ± 2E-04	6,2E-03 ± 4E-04	2,2E-03 ± 9E-05	3,1E-03 ± 1E-04	3,1E-03 ± 1E-04	4,0E-03 ± 6E-05	4,0E-03 ± 6E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,4E-07 ± 1E-07	9,2E-09 ± 1E-07 ‡	4,9E-07 ± 2E-07	8,7E-07 ± 1E-07	1,2E-06 ± 2E-07	3,1E-06 ± 3E-07	1,1E-06 ± 6E-08	1,1E-06 ± 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 2016 T - 51a, 51b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Institut
 "Jožef Stefan"
 Ljubljana
 Slovenija

Specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Dobova				
Datum vzor.	30. 12. 2015 - 4. 4. 2016	4. 4. 2016 - 4. 7. 2016	4. 7. 2016 - 3. 10. 2016	3. 10. 2016 - 28. 12. 2016	Četrtno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m ³)	361962,7	395503,5	381157,9	303545,0	
Oznaka vzorca	K16AE8D1	K16AE8E1	K16AE8F1	K16AE8G1	
IZOTOP:	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)				
Sr-89/Sr-90	1,2E-07 †	6,6E-08 †	8,4E-08 †	1,4E-07 †	1,0E-07 ± 2E-08 x

(*) 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 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 2016 T - 52a
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS							
Datum vzor.	30.12.2015 - 1.2.2016	1.2.2016 - 1.3.2016	1.3.2016 - 4.4.2016	4.4.2016 - 3.5.2016	3.5.2016 - 1.6.2016	1.6.2016 - 4.7.2016		Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Kol. vzorca (m ³)	85851,5	114387,3	141554,2	136019,8	146886,5	146432,6		
Oznaka vzorca	RP16AE111	RP16AE121	RP16AE131	RP16AE141	RP16AE151	RP16AE161		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22				5,0E-07 ± 2E-07	5,8E-07 ± 1E-07	6,4E-07 ± 3E-07		2,9E-07 ± 6E-08
U-238				1,5E-06 ± 3E-06 ‡	6,8E-06 ± 2E-06			1,4E-06 ± 7E-07
Ra-226								
Pb-210	1,3E-03 ± 7E-05	3,4E-04 ± 2E-05	4,5E-04 ± 3E-05	4,5E-04 ± 3E-05	4,7E-04 ± 2E-05	5,0E-04 ± 3E-05		5,8E-04 ± 1E-05
Ra-228	7,1E-07 ± 8E-07 ‡	1,8E-08 ± 1E-06 ‡	9,8E-07 ± 7E-07	5,7E-07 ± 8E-07 ‡	1,3E-06 ± 6E-07	1,2E-06 ± 6E-07		8,0E-07 ± 3E-07
Th-230				1,6E-05 ± 3E-05 ‡				2,7E-06 ± 6E-06
Th-228	3,5E-06 ± 5E-07	3,0E-06 ± 7E-07	2,4E-06 ± 5E-07	2,7E-06 ± 4E-07	2,4E-06 ± 4E-07	2,7E-06 ± 3E-07		2,8E-06 ± 2E-07
K-40	2,5E-05 ± 8E-05 ‡	1,9E-05 ± 6E-05 ‡	3,7E-05 ± 5E-05 ‡	2,6E-05 ± 5E-05 ‡	2,4E-05 ± 5E-05 ‡	1,3E-05 ± 5E-05 ‡		2,4E-05 ± 2E-05
Be-7	2,5E-03 ± 1E-04	1,7E-03 ± 7E-05	3,3E-03 ± 1E-04	4,3E-03 ± 2E-04	5,1E-03 ± 2E-04	5,4E-03 ± 4E-04		3,7E-03 ± 8E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	5,1E-06 ± 3E-07	2,1E-06 ± 3E-07	1,7E-06 ± 2E-07	1,1E-06 ± 2E-07	6,8E-07 ± 9E-08	2,0E-07 ± 1E-07		1,8E-06 ± 8E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 52b
7. ZRAK – zračni delci (aerosoli)



Izotopska analiza sevalcev gama

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS							
Datum vzor.	4.7.2016 - 1.8.2016	1.8.2016 - 1.9.2016	1.9.2016 - 3.10.2016	3.10.2016 - 2.11.2016	2.11.2016 - 1.12.2016	1.12.2016 - 28.12.2016		Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Kol. vzorca (m ³)	127153,7	140292,9	140240,0	124776,9	111344,9	61761,6		
Oznaka vzorca	RP16AE171	RP16AE181	RP16AE191	RP16AE1A1	RP16AE1B1	RP16AE1C1		
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)							
Na-22	6,8E-07 ± 2E-07	9,5E-07 ± 2E-07	3,4E-07 ± 2E-07	1,4E-06 ± 4E-06 ‡	1,2E-05 ± 3E-05 ‡	4,5E-07 ± 4E-06 ‡		3,1E-07 ± 4E-08
U-238			1,8E-06 ± 3E-06 ‡					1,0E-06 ± 7E-07
Ra-226			4,1E-06 ± 2E-05 ‡		1,2E-05 ± 3E-05 ‡			1,3E-06 ± 3E-06
Pb-210	8,2E-04 ± 5E-05	6,2E-04 ± 3E-05	1,2E-03 ± 7E-05	7,0E-04 ± 3E-05	6,4E-04 ± 4E-05	1,4E-03 ± 8E-05		7,3E-04 ± 1E-05
Ra-228	1,2E-06 ± 1E-06 ‡				1,5E-06 ± 1E-06	1,2E-06 ± 1E-06 ‡		7,2E-07 ± 2E-07
Th-230				6,8E-07 ± 2E-05 ‡				1,4E-06 ± 3E-06
Th-228	3,3E-06 ± 8E-07	2,2E-06 ± 5E-07	2,0E-06 ± 6E-07	1,8E-06 ± 5E-07	2,7E-06 ± 5E-07	5,4E-06 ± 7E-07		2,8E-06 ± 2E-07
K-40	2,5E-05 ± 6E-05 ‡	4,5E-06 ± 5E-05 ‡			3,4E-05 ± 7E-05 ‡	7,1E-05 ± 1E-04 ‡		2,3E-05 ± 2E-05
Be-7	6,5E-03 ± 3E-04	5,3E-03 ± 2E-04	5,7E-03 ± 2E-04	2,2E-03 ± 8E-05	3,0E-03 ± 1E-04	3,7E-03 ± 2E-04		4,0E-03 ± 6E-05
I-131								
Cs-134								
Cs-137	4,1E-07 ± 3E-07	4,3E-07 ± 1E-07	6,1E-07 ± 2E-07	1,5E-06 ± 2E-07	2,3E-06 ± 3E-07	7,3E-06 ± 7E-07		2,0E-06 ± 8E-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).

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

8. DOZA IN HITROST DOZE ZUNANJEGA SEVANJA

DOZA Z OKOLJSKIMI TL-DOZIMETRI

MERITVE HITROSTI DOZE SEVANJA GAMA

SEZNAM DOZIMETROV TLD V OKOLICI NEK

Sektor	št.	Oznaka	GEOGRAFSKE KOORDINATE	d /km	Kraj in naslov
1 N	60	T1B1	45°56'54" / 15°30'56"	1,2	Spodnja Libna 5, M. Klinec (ob cesti)
	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 Brļavec
2 NNE	3	T2B1	45°56'46" / 15°31'20"	0,79	Spodnji Stari Grad 1
	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 16, Maks Urek
	6	T2E1	46°00'44" / 15°34'41"	9,72	Pečice 33, KS Križe
3 NE	61	T3C1	45°57'04" / 15°32'07"	2,1	Libna 33, Božidar Volčanšek
	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 ENE	9	T4B1	45°56'35" / 15°31'53"	1,37	Spodnji Stari Grad 27, Mitja Stergar
	62	T4D1	45°56'50" / 15°32'45"	2,7	Dolenja vas 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 E	12	T5B1	45°56'06" / 15°31'56"	1,25	Spodnji Stari Grad - Gmajna
	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 (met. postaja)
	15	T5E1	45°56'46" / 15°38'22"	9,67	Globoko 21, Jože Hotko
6 ESE	16	T6B1	45°55'52" / 15°31'30"	1,25	VOP-4
	63	T6D1	45°55'48" / 15°33'15"	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 SE	59	T7D1	45°55'10" / 15°32'37"	3,2	Gmajnice, bivše vojaško skladišče
	20	T7E1	45°53'25" / 15°33'40"	6,42	Krška vas 3, Franc Tomše
	21	T7E2	45°53'50" / 15°35'43"	7,8	Brežice, Prešernova cesta 25, Sobak
8 SSE	22	T8D1	45°54'50" / 15°31'30"	2,7	Vihre 17, Martin Račič
	58	T8E1	45°53'16" / 15°32'52"	6,1	Boršt 1, Alojz Zofič
9 S	23	T9D1	45°53'41" / 15°30'33"	5	Črešnjice 30a, Avgust Kovač
	24	T9D2	45°54'52" / 15°30'57"	2,6	Mrtvice 27, Vili Kuhar
10 SSW	57	T10E1	45°53'46" / 15°29'34"	5	Hrastje pri Cerkljah 33a, Leopold Jerele
	26	T10C1	45°55'13" / 15°30'05"	2,3	Brege 17a, Smiljana Jurečič
11 SW	25	T11D2	45°55'09" / 15°29'53"	2,62	Brege 52, Franc Škofljanc (met. postaja)
	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 WSW	29	T12C1	45°56'03" / 15°29'44"	1,57	Žadovinek 20a, Anton Dušič
	30	T12E1	45°54'37" / 15°24'11"	9,35	Zaloke 10, Martin Tomažin
13 W	31	T13C1	45°56'19" / 15°29'31"	1,87	Žadovinek 10, Marjan Pešec
	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, Ljudmila 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

LETO 2016 T - 53/b
8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA – TL-DOZIMETRI



Krajevna porazdelitev doz zunanje sevanja $H^*(10)$ v posameznih obdobjih (mSv) v letu 2016																					
Obdobje ekspozicije	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016		od 1. 7. 2016 do 1. 1. 2017		Letna doza	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016		od 1. 7. 2016 do 1. 1. 2017		Letna doza	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016		od 1. 7. 2016 do 1. 1. 2017		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										
N 1	št.		št.			št.		št.			št.		št.								
NNE 2	67	0,284	0,277	0,561	60	0,337	0,350	0,687	1	0,354	0,369	0,723	2	0,421	0,451	0,872	0,371	0,390	0,761		
					3	0,383	0,420	0,803	5	0,375	0,403	0,778	6	0,353	0,368	0,721	0,412	0,429	0,841		
					4	0,534	0,527	1,062													
NE 3	55	0,308	0,330	0,638					61	0,458	0,475	0,933	7	0,395	0,400	0,794	0,409	0,419	0,828		
													8	0,375	0,382	0,757					
ENE 4					9	0,359	0,406	0,765	62	0,480	0,469	0,949	10	0,456	0,452	0,909	0,435	0,445	0,881		
													11	0,445	0,454	0,899					
E 5					12	0,432	0,440	0,872	13	0,405	0,396	0,801	15	0,370	0,396	0,766	0,395	0,408	0,803		
									14	0,373	0,401	0,774									
ESE 6	51	0,285	0,287	0,572	16	0,347	0,364	0,711	63	0,404	0,409	0,813	17	0,340	0,333	0,674	0,390	0,390	0,780		
													18	0,410	0,394	0,804					
													19	0,448	0,450	0,898					
SE 7									59	0,339	0,380	0,719	20	0,434	0,470	0,904	0,380	0,406	0,786		
													21	0,368	0,367	0,735					
SSE 8	52	0,249	0,256	0,506					22	0,397	0,409	0,806	58	0,457	0,465	0,922	0,427	0,437	0,864		
													23	0,463	0,482	0,945	0,435	0,454	0,889		
S 9									24	0,407	0,426	0,833									
									26	0,420	0,448	0,868	57	0,484	0,509	0,993	0,452	0,478	0,930		
SSW 10									25	0,394	0,425	0,818	28	0,405	0,411	0,817	0,397	0,412	0,808		
									27	0,391	0,399	0,790									
SW 11	53	0,289	0,304	0,593					29	0,359	0,375	0,734	30	0,389	0,386	0,776	0,374	0,381	0,755		
									31	0,395	0,417	0,811	33	0,431	0,432	0,864	0,410	0,417	0,827		
WSW 12	65	0,304	0,296	0,600					32	0,430	0,426	0,856	34	0,383	0,395	0,777					
									35	0,450	0,443	0,893	36	0,396	0,396	0,792	0,426	0,426	0,852		
W 13	54	0,285	0,305	0,590					38	0,386	0,408	0,794	43	0,428	0,465	0,892	0,360	0,377	0,737		
									40	0,309	0,321	0,630	44	0,342	0,337	0,679					
WNW 14	66	0,289	0,294	0,583					41	0,329	0,363	0,692									
									42	0,327	0,341	0,668									
NW 15	56	0,291	0,300	0,591	39	0,398	0,404	0,801	46	0,446	0,484	0,930	50	0,334	0,376	0,710	0,403	0,423	0,826		
									47	0,443	0,468	0,912									
									48	0,458	0,458	0,916									
NNW 16					45	0,329	0,298	0,627	49	0,405	0,456	0,861									
Povprečje po pasovih	(9)	0,287	0,294	0,581	(8)	0,390	0,401	0,791	(25)	0,397	0,415	0,812	(24)	0,407	0,417	0,824	(57)	0,400	0,414	0,814	
	±	0,017	0,021	0,036	±	0,068	0,068	0,134	±	0,045	0,042	0,086	±	0,043	0,047	0,088	±	0,047	0,048	0,093	
Ljubljana																	št.	64	0,419	0,438	0,856

št. – številka merilnega mesta (glej tabelo T – 53/a)
 () – število merilnih mest upoštevanih v povprečju posameznega pasu
 ± – pomeni standardno deviacijo porazdelitve doz v pasu

Povprečna mesečna doza $H^*(10)$ (mSv na mesec) za 6-mesečni obdobji in povprečna mesečna doza $H^*(10)$ (mSv na mesec) v letu 2016																					
Obdobje ekspozicije	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016			v 2016	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016			v 2016	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016			v 2016	od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016			v 2016					
	do 1. 1. 2017	do 1. 1. 2017	do 1. 1. 2017		do 1. 1. 2017	do 1. 1. 2017	do 1. 1. 2017		do 1. 1. 2017	do 1. 1. 2017	do 1. 1. 2017		do 1. 1. 2017								
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	0,057	0,058	0,057	1	0,060	0,061	0,060	2	0,071	0,075	0,073	0,062	0,064	0,063		
NNE 2	67	0,048	0,046	0,047	3	0,064	0,069	0,067	5	0,063	0,067	0,065	6	0,059	0,061	0,060	0,069	0,071	0,070		
NE 3	55	0,052	0,055	0,053	4	0,090	0,087	0,088	61	0,077	0,079	0,078	7	0,066	0,066	0,066	0,069	0,069	0,069		
ENE 4					9	0,060	0,067	0,064	62	0,081	0,078	0,079	8	0,063	0,063	0,063	0,073	0,074	0,073		
E 5					12	0,073	0,073	0,073	13	0,068	0,065	0,067	15	0,062	0,066	0,064	0,066	0,067	0,067		
ESE 6	51	0,048	0,047	0,048	16	0,058	0,060	0,059	63	0,068	0,068	0,068	17	0,057	0,055	0,056	0,065	0,065	0,065		
SE 7									59	0,057	0,063	0,060	18	0,069	0,065	0,067					
SSE 8	52	0,042	0,042	0,042					22	0,067	0,068	0,067	19	0,075	0,074	0,075					
S 9									24	0,068	0,070	0,069	20	0,073	0,078	0,075	0,067	0,069	0,066		
SSW 10									26	0,071	0,074	0,072	21	0,062	0,061	0,061					
SW 11	53	0,049	0,050	0,049					27	0,066	0,066	0,066	57	0,081	0,084	0,083	0,076	0,079	0,078		
WSW 12	65	0,051	0,049	0,050					29	0,060	0,062	0,061	28	0,068	0,068	0,068	0,067	0,068	0,067		
W 13	54	0,048	0,050	0,049					25	0,066	0,070	0,068	30	0,065	0,064	0,065	0,063	0,063	0,063		
WNW 14	66	0,049	0,049	0,049					26	0,066	0,069	0,068	33	0,072	0,071	0,072	0,069	0,069	0,069		
NW 15	56	0,049	0,050	0,049	39	0,067	0,067	0,067	32	0,072	0,070	0,071	34	0,064	0,065	0,065					
NNW 16					40	0,052	0,053	0,053	35	0,076	0,073	0,074	36	0,067	0,065	0,066	0,072	0,070	0,071		
					41	0,055	0,060	0,058	37	0,073	0,072	0,072	37	0,073	0,072	0,073					
					42	0,055	0,056	0,056	43	0,072	0,077	0,074	43	0,072	0,077	0,074	0,060	0,062	0,061		
					44	0,057	0,056	0,057	44	0,057	0,056	0,056	44	0,057	0,056	0,057					
					45	0,055	0,049	0,052	46	0,075	0,080	0,077	50	0,056	0,062	0,059	0,068	0,070	0,069		
					47	0,075	0,077	0,076	47	0,075	0,077	0,076									
					48	0,077	0,076	0,076	48	0,077	0,076	0,076									
					49	0,068	0,075	0,072	49	0,068	0,075	0,072									
Povprečje po pasovih	(9)	0,048	0,049	0,048	(8)	0,066	0,066	0,066	(25)	0,067	0,069	0,068	(24)	0,068	0,069	0,069	(57)	0,067	0,069	0,068	
	±	0,003	0,003	0,003	±	0,011	0,011	0,011	±	0,008	0,007	0,007	±	0,007	0,008	0,007	±	0,008	0,008	0,008	
Ljubljana																	št.	64	0,070	0,072	0,071

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 2016 T - 54/a
8. SEZNAM TL-DOZIMETROV V REPUBLIKI SLOVENIJI

Št.	KRAJ	GPS-KOORDINATE
1	KOČEVJE	45°38'46" / 14°51'01"
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°26'45" / 15°19'22"
12	MARIBOR	46°32'22" / 15°38'42"
13	PTUJ	46°25'48" / 15°53'00"
14	JERUZALEM (ORMOŽ)	46°28'34" / 16°11'15"
15	LEDAVA	46°33'25" / 16°28'20"
16	MURSKA SOBOTA (RAKIČAN)	46°39'08" / 16°11'29"
17	VELIKI DOLENCI (ŠALOVCI)	46°50'12" / 16°17'16"
18	GORNJA RADGONA	46°40'52" / 15°59'44"
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°21'51" / 15°07'11"
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°03'58" / 14°30'46"
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	HLEBCE (LESCE)	46°21'55" / 14°10'28"
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°37'28"
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	45°46'23" / 14°30'34"
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"

LETO 2016 T - 54/b
8. TLD polletne meritve (**)

Št. TLD	Mesto postavitve	Izmerjena doza H*(10) (mSv) v obdobju				Letna doza H*(10) (mSv) v 2016	Povprečna mesečna doza H*(10) (mSv) v obdobju			
		od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016		od 1. 7. 2016 do 1. 1. 2017			od 1. 1. 2016 do 1. 7. 2016		od 1. 7. 2016 do 1. 1. 2017	
		v 2016								
1	KOČEVJE	0,457 ± 0,070	0,467 ± 0,072	0,925 ± 0,101	0,076 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	
2	DVOR PRI ŽUŽEMBERKU	0,487 ± 0,075	0,521 ± 0,080	1,009 ± 0,110	0,081 ± 0,013	0,086 ± 0,013	0,086 ± 0,013	0,086 ± 0,013	0,086 ± 0,013	
3	DOBLIČE, ČRNOMELJ	0,587 ± 0,090	0,591 ± 0,091	1,178 ± 0,128	0,098 ± 0,015	0,098 ± 0,015	0,098 ± 0,015	0,098 ± 0,015	0,098 ± 0,015	
4	DRAŠIČI, METLIKA	0,440 ± 0,068	0,463 ± 0,071	0,903 ± 0,098	0,073 ± 0,011	0,077 ± 0,011	0,077 ± 0,011	0,077 ± 0,011	0,077 ± 0,011	
5	NOVO MESTO	0,342 ± 0,053	0,354 ± 0,055	0,697 ± 0,076	0,057 ± 0,009	0,059 ± 0,009	0,059 ± 0,009	0,059 ± 0,009	0,059 ± 0,009	
6	MALKOVEC, MOKRONOG	0,389 ± 0,060	0,388 ± 0,060	0,777 ± 0,085	0,065 ± 0,010	0,064 ± 0,010	0,064 ± 0,010	0,064 ± 0,010	0,064 ± 0,010	
7	LISCA	0,414 ± 0,064	0,406 ± 0,063	0,821 ± 0,089	0,069 ± 0,011	0,067 ± 0,010	0,067 ± 0,010	0,067 ± 0,010	0,067 ± 0,010	
8	CELJE	0,417 ± 0,064	0,447 ± 0,069	0,864 ± 0,094	0,070 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	
9	ROGAŠKA SLATINA	0,419 ± 0,065	0,417 ± 0,064	0,836 ± 0,091	0,070 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	
10	SLOVENSKE KONJICE	0,411 ± 0,063	0,411 ± 0,063	0,822 ± 0,090	0,069 ± 0,011	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	
11	ROGLA	0,522 ± 0,080	0,558 ± 0,086	1,081 ± 0,118	0,087 ± 0,013	0,092 ± 0,014	0,092 ± 0,014	0,092 ± 0,014	0,092 ± 0,014	
12	MARIBOR	0,359 ± 0,055	0,418 ± 0,064	0,777 ± 0,085	0,060 ± 0,009	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	
13	PTUJ	0,477 ± 0,073	0,480 ± 0,074	0,957 ± 0,104	0,080 ± 0,012	0,079 ± 0,012	0,079 ± 0,012	0,079 ± 0,012	0,079 ± 0,012	
14	JERUZALEM, ORMOŽ	0,396 ± 0,061	0,428 ± 0,066	0,823 ± 0,090	0,066 ± 0,010	0,071 ± 0,011	0,071 ± 0,011	0,071 ± 0,011	0,071 ± 0,011	
15	LENDAVA	0,436 ± 0,067	0,465 ± 0,072	0,901 ± 0,098	0,073 ± 0,011	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	
16	MURSKA SOBOTA	0,383 ± 0,059	0,412 ± 0,063	0,794 ± 0,087	0,064 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	
17	VELIKI DOLENCI	0,449 ± 0,069	0,477 ± 0,074	0,926 ± 0,101	0,075 ± 0,012	0,079 ± 0,012	0,079 ± 0,012	0,079 ± 0,012	0,079 ± 0,012	
18	GORNJA RADGONA	0,384 ± 0,059	0,403 ± 0,062	0,787 ± 0,086	0,064 ± 0,010	0,067 ± 0,010	0,067 ± 0,010	0,067 ± 0,010	0,067 ± 0,010	
19	SVEČINA, PLAČ	0,488 ± 0,075	0,494 ± 0,076	0,982 ± 0,107	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	
20	RIBNICA NA POHORJU	0,467 ± 0,072	0,448 ± 0,069	0,915 ± 0,100	0,078 ± 0,012	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	
21	KOTLJE	0,516 ± 0,079	0,515 ± 0,079	1,030 ± 0,112	0,086 ± 0,013	0,085 ± 0,013	0,085 ± 0,013	0,085 ± 0,013	0,085 ± 0,013	
22	VELENJE	0,440 ± 0,068	0,447 ± 0,069	0,887 ± 0,097	0,073 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	
23	NAZARJE, MOZIRJE	0,450 ± 0,069	0,447 ± 0,069	0,897 ± 0,098	0,075 ± 0,012	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	
24	LUČE OB SAVINJI	0,419 ± 0,065	0,451 ± 0,069	0,870 ± 0,095	0,070 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	0,074 ± 0,011	
25	VAČE	0,461 ± 0,071	0,466 ± 0,072	0,926 ± 0,101	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	0,077 ± 0,012	
26	LJUBLJANA, BEŽIGRAD	0,397 ± 0,061	0,417 ± 0,064	0,814 ± 0,089	0,066 ± 0,010	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	
27	BRNIK, AERODROM	0,539 ± 0,083	0,535 ± 0,082	1,074 ± 0,117	0,090 ± 0,014	0,088 ± 0,014	0,088 ± 0,014	0,088 ± 0,014	0,088 ± 0,014	
28	JEZERSKO	0,541 ± 0,083	0,544 ± 0,084	1,084 ± 0,118	0,090 ± 0,014	0,090 ± 0,014	0,090 ± 0,014	0,090 ± 0,014	0,090 ± 0,014	
29	PODLJUBELJ	0,455 ± 0,070	0,409 ± 0,063	0,865 ± 0,094	0,076 ± 0,012	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	0,068 ± 0,010	
30	LESCE	0,454 ± 0,070	0,459 ± 0,071	0,914 ± 0,100	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	
31	PLANINA POD GOLICO	0,473 ± 0,073	0,512 ± 0,079	0,985 ± 0,107	0,079 ± 0,012	0,085 ± 0,013	0,085 ± 0,013	0,085 ± 0,013	0,085 ± 0,013	
32	ZDENSKA VAS	0,503 ± 0,078	0,501 ± 0,077	1,004 ± 0,109	0,084 ± 0,013	0,083 ± 0,013	0,083 ± 0,013	0,083 ± 0,013	0,083 ± 0,013	
33	RATEČE	0,478 ± 0,074	0,474 ± 0,073	0,952 ± 0,104	0,080 ± 0,012	0,078 ± 0,012	0,078 ± 0,012	0,078 ± 0,012	0,078 ± 0,012	
34	TRENTA	0,320 ± 0,049	0,317 ± 0,049	0,637 ± 0,069	0,054 ± 0,008	0,052 ± 0,008	0,052 ± 0,008	0,052 ± 0,008	0,052 ± 0,008	
35	LOG POD MANGARTOM	0,483 ± 0,074	0,458 ± 0,071	0,941 ± 0,103	0,081 ± 0,012	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	0,076 ± 0,012	
36	BOVEC	0,379 ± 0,058	0,381 ± 0,059	0,760 ± 0,083	0,063 ± 0,010	0,063 ± 0,010	0,063 ± 0,010	0,063 ± 0,010	0,063 ± 0,010	
37	TOLMIN	0,393 ± 0,060	0,386 ± 0,059	0,779 ± 0,085	0,066 ± 0,010	0,064 ± 0,010	0,064 ± 0,010	0,064 ± 0,010	0,064 ± 0,010	
38	BILJE, NOVA GORICA	0,313 ± 0,048	0,321 ± 0,049	0,634 ± 0,069	0,052 ± 0,008	0,053 ± 0,008	0,053 ± 0,008	0,053 ± 0,008	0,053 ± 0,008	
39	VEDRIJAN, KOJSKO	0,410 ± 0,063	0,402 ± 0,062	0,812 ± 0,088	0,068 ± 0,011	0,066 ± 0,010	0,066 ± 0,010	0,066 ± 0,010	0,066 ± 0,010	
40	LOKEV PRI LIPICI	0,515 ± 0,079	0,498 ± 0,077	1,013 ± 0,110	0,086 ± 0,013	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	0,082 ± 0,013	
41	SEČOVLJE, AERODROM	0,363 ± 0,056	0,337 ± 0,052	0,700 ± 0,076	0,061 ± 0,009	0,056 ± 0,009	0,056 ± 0,009	0,056 ± 0,009	0,056 ± 0,009	
42	KOSEZE, IL. BISTRICA	0,410 ± 0,063	0,415 ± 0,064	0,825 ± 0,090	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	0,069 ± 0,011	
43	ZALOG, POSTOJNA	0,474 ± 0,073	0,453 ± 0,070	0,927 ± 0,101	0,079 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	
44	NOVA VAS NA BLOKAH	0,598 ± 0,092	0,559 ± 0,086	1,157 ± 0,126	0,100 ± 0,015	0,092 ± 0,014	0,092 ± 0,014	0,092 ± 0,014	0,092 ± 0,014	
45	VRHNIKA	0,703 ± 0,108	0,645 ± 0,099	1,348 ± 0,147	0,117 ± 0,018	0,107 ± 0,016	0,107 ± 0,016	0,107 ± 0,016	0,107 ± 0,016	
46	VOJSKO	0,438 ± 0,068	0,456 ± 0,070	0,895 ± 0,097	0,073 ± 0,011	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	
47	SORICA	0,411 ± 0,063	0,369 ± 0,057	0,781 ± 0,085	0,069 ± 0,011	0,061 ± 0,009	0,061 ± 0,009	0,061 ± 0,009	0,061 ± 0,009	
48	STARA FUŽINA	0,360 ± 0,056	0,316 ± 0,049	0,676 ± 0,074	0,060 ± 0,009	0,052 ± 0,008	0,052 ± 0,008	0,052 ± 0,008	0,052 ± 0,008	
49	JELENJA VAS, ISKRBA	0,702 ± 0,108	0,649 ± 0,100	1,351 ± 0,147	0,117 ± 0,018	0,107 ± 0,017	0,107 ± 0,017	0,107 ± 0,017	0,107 ± 0,017	
50	KREDARICA	0,391 ± 0,060	0,395 ± 0,061	0,786 ± 0,086	0,065 ± 0,010	0,065 ± 0,010	0,065 ± 0,010	0,065 ± 0,010	0,065 ± 0,010	
Število merilnih mest		50	50	50	50	50	50	50	50	
Povprečje - merilna mesta		0,450 ± 0,081	0,452 ± 0,075	0,902 ± 0,154	0,075 ± 0,014	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	0,075 ± 0,012	
Najvišja doza		0,703 ± 0,108 ⁽⁴⁵⁾	0,649 ± 0,100 ⁽⁴⁹⁾	1,351 ± 0,147 ⁽⁴⁹⁾	0,117 ± 0,018 ⁽⁴⁵⁾	0,107 ± 0,017 ⁽⁴⁹⁾	0,107 ± 0,017 ⁽⁴⁹⁾	0,107 ± 0,017 ⁽⁴⁹⁾	0,113 ± 0,024 ⁽⁴⁹⁾	
Najnižja doza		0,313 ± 0,048 ⁽³⁶⁾	0,316 ± 0,049 ⁽⁴⁶⁾	0,634 ± 0,069 ⁽³⁶⁾	0,052 ± 0,008 ⁽³⁶⁾	0,052 ± 0,008 ⁽⁴⁸⁾	0,052 ± 0,008 ⁽⁴⁸⁾	0,052 ± 0,008 ⁽⁴⁸⁾	0,053 ± 0,011 ⁽³⁶⁾	

* Dozimeter je bil izgubljen oz. ukraden; vrednosti so dobljene z ekstrapolacijo iz podatkov za prvo oz. drugo polletje.

(**) Meritve doze zunanega sevanja s TL-dozimetri so opravljene na Odseku F-2. Negotovost rezultatov meritev so podane z intervalom zaupanja 95 % .

LETO 2016 T - 55

8. DOZA ZUNANJEGA SEVANJA – TL-DOZIMETRI (R HRVAŠKA)

	Polletne doze		Letna doza
	29. 12. 2015 - 30. 6. 2016	30. 6. 2016 – 20. 12. 2016	
Vzorč. mesto	$H^*(10)$ (mSv)		
Bistra	0,44	0,46	0,90
Bregana	0,35	0,42	0,77
Harmica	0,47	0,43	0,90
Jastrebarsko	0,30	0,32	0,62
Klanjec	0,30	0,29	0,59
Novaki	0,33	0,32	0,65
Oroslavlje	0,43	0,42	0,85
Samobor	0,32	0,30	0,62
Zagreb (IRB)	0,39	0,39	0,78
Zaprešić	0,34	0,31	0,65

Dne 20. 12. 2016 so bili na vseh lokacijah postavljeni novi TL dozimetri.

LETO 2016 T - 56/a

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2016 V REPUBLIKI SLOVENIJI – sistem OKOLICA NEK / letni pregled

Sistem	Postaja	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Polletno povprečje (nSv/h)	Polletna doza (mSv)
		Januar				Februar				Marec				April				Maj				Junij					
		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		
NEK (Gamma)	Brege	95 ± 7	76	118	97 ± 8	82	133	95 ± 6	81	128	95 ± 6	81	134	94 ± 9	16	139	96 ± 7	85	127	95,3 ± 2,8	0,43 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Gor. Lenart	106 ± 7	88	132	107 ± 10	89	160	105 ± 6	88	140	109 ± 6	95	152	105 ± 8	87	167	111 ± 10	92	183	106,9 ± 3,0	0,48 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Krško	101 ± 6	86	122	102 ± 8	87	142	100 ± 6	86	127	101 ± 6	87	153	100 ± 8	84	153	101 ± 7	83	139	100,8 ± 2,7	0,45 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Leskovec	113 ± 6	98	142	114 ± 9	97	163	112 ± 6	98	145	114 ± 7	98	169	114 ± 7	96	164	114 ± 7	97	152	113,4 ± 2,8	0,51 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Libna	79 ± 4	70	93	80 ± 5	71	103	78 ± 3	70	99	78 ± 3	71	100	78 ± 4	70	104	78 ± 4	69	97	78,3 ± 1,5	0,35 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Pesje	124 ± 6	109	142	124 ± 6	108	146	124 ± 5	107	141	123 ± 6	107	143	123 ± 6	109	149	123 ± 5	109	149	123,5 ± 2,3	0,56 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Skopice	105 ± 7	84	131	109 ± 9	90	157	107 ± 6	91	136	109 ± 6	93	155	107 ± 8	91	169	109 ± 8	88	180	107,6 ± 2,9	0,49 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Sp. Stari Grad	93 ± 7	75	119	94 ± 9	78	133	91 ± 6	78	123	93 ± 6	76	153	92 ± 8	79	157	96 ± 8	80	147	92,9 ± 2,9	0,42 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Vihre	96 ± 5	81	114	96 ± 6	82	124	94 ± 5	82	114	96 ± 5	81	125	95 ± 5	82	123	96 ± 6	79	140	95,4 ± 2,2	0,43 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Brežice	95 ± 4	84	109	93 ± 9	73	126	79 ± 4	70	101	80 ± 3	71	110	80 ± 5	70	116	80 ± 5	70	117	83,2 ± 1,7	0,38 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Cerklje	99 ± 4	87	113	97 ± 9	77	127	83 ± 4	73	105	84 ± 4	74	108	84 ± 5	72	118	84 ± 5	74	117	87,7 ± 1,9	0,40 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Krško-NEK	72 ± 9	56	100	67 ± 8	54	104	72 ± 7	54	93	74 ± 4	66	116	74 ± 5	60	108	75 ± 5	58	110	73,3 ± 2,3	0,33 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Krško-Videm	69 ± 5	57	88	68 ± 8	57	109	71 ± 5	56	98	74 ± 4	64	121	74 ± 7	64	132	75 ± 6	65	118	72,1 ± 2,2	0,33 ± 0,01						
Sistem	Postaja	Julij				Avgust				September				Oktober				November				December				Letno povprečje (nSv/h)	Letna doza (mSv)
NEK (Gamma)	Brege	97 ± 6	84	137	97 ± 9	80	199	100 ± 7	86	151	99 ± 9	83	162	99 ± 8	83	136	98 ± 6	81	117	96,7 ± 2,0	0,85 ± 0,02						
NEK (Gamma)	Gor. Lenart	113 ± 8	95	178	116 ± 9	98	203	118 ± 8	99	173	115 ± 11	96	193	111 ± 9	91	164	112 ± 7	92	134	110,0 ± 2,3	0,97 ± 0,02						
NEK (Gamma)	Krško	102 ± 6	87	138	103 ± 8	88	178	102 ± 7	86	149	100 ± 8	85	162	99 ± 8	82	137	98 ± 6	82	114	100,7 ± 2,0	0,88 ± 0,02						
NEK (Gamma)	Leskovec	107 ± 7	92	143	107 ± 8	90	187	107 ± 7	88	155	105 ± 9	87	178	104 ± 8	90	141	104 ± 6	88	124	109,8 ± 2,0	0,96 ± 0,02						
NEK (Gamma)	Libna	78 ± 3	62	98	78 ± 4	70	113	79 ± 4	71	100	79 ± 5	66	107	79 ± 4	70	100	78 ± 3	71	96	78,3 ± 1,1	0,69 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Pesje	123 ± 5	109	141	123 ± 5	107	147	112 ± 11	90	142	102 ± 5	88	120	102 ± 5	89	120	102 ± 5	90	118	116,7 ± 1,6	1,03 ± 0,01						
NEK (Gamma)	Skopice	110 ± 8	92	171	110 ± 10	92	219	112 ± 8	95	162	110 ± 10	91	177	110 ± 8	92	149	111 ± 7	95	138	108,9 ± 2,2	0,96 ± 0,02						
NEK (Gamma)	Sp. Stari Grad	101 ± 7	86	143	103 ± 8	83	175	104 ± 8	87	162	101 ± 9	79	163	100 ± 8	83	143	99 ± 6	84	120	96,8 ± 2,1	0,85 ± 0,02						
NEK (Gamma)	Vihre	96 ± 5	85	112	98 ± 7	81	148	98 ± 7	82	131	97 ± 7	80	144	97 ± 6	84	125	97 ± 5	82	114	96,1 ± 1,6	0,84 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Brežice	80 ± 4	72	115	80 ± 5	70	121	81 ± 5	71	120	81 ± 6	69	134	81 ± 5	70	104	80 ± 4	69	93	81,9 ± 1,3	0,72 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Cerklje	85 ± 4	75	113	85 ± 5	74	135	86 ± 5	74	133	85 ± 6	74	127	85 ± 5	73	110	85 ± 4	72	100	86,4 ± 1,3	0,76 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Krško-NEK	79 ± 5	64	106	80 ± 6	52	161	81 ± 6	68	125	80 ± 8	67	138	80 ± 7	69	116	81 ± 5	69	96	76,5 ± 1,7	0,67 ± 0,01						
NEK (Gamma-meteo)	Krško-Videm	76 ± 4	66	110	75 ± 7	66	138	76 ± 6	65	118	76 ± 8	65	139	76 ± 8	64	119	76 ± 5	66	92	73,9 ± 1,6	0,65 ± 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.

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA Z MFM-202 ZA LETO 2016 V REPUBLIKI SLOVENIJI – sistem MZO in URSJV / 1. polletje

		Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																				Polletno povprečje (nSv/h)		Polletna doza (mSv)						
		Januar				Februar				Marec				April				Maj								Junij				
Sistem	Postaja	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					
MZO	Brinje	109	± 7	92	137	108	± 10	92	159	106	± 7	90	144	107	± 8	85	159	107	± 9	88	172	107	± 9	90	190	107,3	± 3,3	0,48	± 0,01	
MZO	Brnik	110	± 7	93	141	111	± 10	92	159	109	± 8	93	176	110	± 9	85	178	109	± 10	93	180	110	± 10	92	181	109,8	± 3,6	0,50	± 0,02	
MZO	Celje	94	± 6	79	114	93	± 8	77	138	91	± 5	79	126	92	± 6	78	131	91	± 6	76	119	92	± 6	78	121	92,0	± 2,4	0,42	± 0,01	
MZO	Dolenje	86	± 7	72	119	85	± 8	70	120	84	± 5	71	126	84	± 5	69	112	83	± 6	69	124	82	± 7	68	130	83,9	± 2,5	0,38	± 0,01	
MZO	Dvor	105	± 7	90	131	105	± 8	89	143	103	± 6	90	151	102	± 7	86	148	101	± 7	86	150	100	± 7	83	156	102,6	± 2,8	0,46	± 0,01	
MZO	Gačnik	114	± 6	99	146	114	± 8	98	152	112	± 6	97	147	116	± 7	94	146	114	± 10	97	236	113	± 8	99	164	113,7	± 2,9	0,51	± 0,01	
MZO	Gornja Radgona	100	± 5	88	124	99	± 6	83	132	98	± 5	86	115	100	± 5	88	121	98	± 6	84	120	98	± 5	84	122	98,9	± 2,2	0,45	± 0,01	
MZO	Hrastje	78	± 6	61	105	77	± 9	62	131	75	± 6	61	109	74	± 7	61	127	75	± 8	59	132	75	± 8	62	152	75,7	± 2,9	0,34	± 0,01	
MZO	Hrastnik	92	± 6	74	120	93	± 8	79	127	90	± 6	75	139	90	± 6	77	126	91	± 6	78	126	91	± 7	77	133	91,0	± 2,6	0,41	± 0,01	
MZO	Ilirska Bistrica	111	± 9	94	172	111	± 9	95	148	109	± 7	93	169	109	± 6	94	140	108	± 7	94	146	107	± 7	91	135	108,9	± 3,0	0,49	± 0,01	
MZO	Iška vas	87	± 7	70	113	87	± 10	68	141	85	± 9	71	190	84	± 6	70	132	86	± 7	70	127	86	± 9	71	151	85,6	± 3,1	0,39	± 0,01	
MZO	Jesenice na Dol.	78	± 5	64	96	77	± 7	63	108	75	± 5	63	107	76	± 5	64	103	76	± 6	61	118	76	± 7	62	112	76,3	± 2,3	0,34	± 0,01	
MZO	Kamnik	81	± 6	67	103	80	± 6	67	108	78	± 5	68	105	78	± 5	68	105	78	± 6	68	114	78	± 6	60	115	78,7	± 2,3	0,36	± 0,01	
MZO	Koper	95	± 7	79	142	93	± 7	78	130	93	± 7	76	162	94	± 5	80	120	95	± 7	82	152	94	± 6	80	142	94,0	± 2,6	0,42	± 0,01	
MZO	Krajinski park Goričko	106	± 6	91	134	106	± 9	89	167	105	± 5	90	123	108	± 6	91	149	105	± 7	88	151	105	± 8	92	171	105,9	± 2,6	0,48	± 0,01	
MZO	Lendava	93	± 5	81	116	93	± 8	80	129	91	± 5	78	110	95	± 5	81	128	93	± 6	80	152	95	± 6	81	138	93,3	± 2,3	0,42	± 0,01	
MZO	Levec	108	± 6	95	135	108	± 8	93	156	106	± 7	91	169	107	± 7	94	162	105	± 7	93	147	106	± 7	88	144	106,7	± 2,8	0,48	± 0,01	
MZO	Loče	104	± 6	88	124	103	± 7	88	144	102	± 5	89	129	105	± 6	89	133	103	± 7	88	139	103	± 7	87	182	103,3	± 2,5	0,47	± 0,01	
MZO	Malkovec	103	± 6	90	123	104	± 8	89	135	102	± 8	10	136	103	± 6	89	134	102	± 7	88	148	103	± 7	86	142	102,8	± 2,8	0,46	± 0,01	
MZO	MB-Center	85	± 5	72	109	85	± 6	70	108	83	± 5	70	104	83	± 5	70	106	84	± 7	70	140	82	± 5	69	105	83,6	± 2,2	0,38	± 0,01	
MZO	MB-Slivnica	99	± 6	82	131	100	± 9	83	149	98	± 6	82	136	100	± 6	86	145	99	± 9	82	163	100	± 8	82	153	99,2	± 2,8	0,45	± 0,01	
MZO	Muta	104	± 6	89	127	102	± 8	84	150	99	± 6	85	121	101	± 6	70	136	97	± 8	78	145	100	± 8	82	148	100,7	± 2,8	0,45	± 0,01	
MZO	N. Gorica	99	± 7	85	129	99	± 8	81	139	96	± 6	84	138	97	± 6	84	125	96	± 5	82	126	97	± 7	84	141	97,0	± 2,6	0,44	± 0,01	
MZO	Park Škocjanske jame	95	± 8	79	137	94	± 8	80	131	93	± 7	79	152	93	± 6	80	114	93	± 7	79	135	92	± 7	78	132	93,2	± 2,9	0,42	± 0,01	
MZO	Podbočje	92	± 7	76	115	91	± 8	76	128	89	± 6	76	132	90	± 6	75	133	90	± 7	76	132	91	± 7	77	136	90,4	± 2,7	0,41	± 0,01	
MZO	Podčetrtek	108	± 6	90	133	107	± 9	89	151	105	± 6	88	136	108	± 6	91	156	106	± 8	91	156	108	± 9	91	185	107,0	± 2,8	0,48	± 0,01	
MZO	Ptuj	116	± 7	100	151	117	± 9	101	191	115	± 6	100	149	119	± 6	102	147	116	± 8	100	165	119	± 9	101	191	116,9	± 2,9	0,53	± 0,01	
MZO	Radenci	92	± 6	80	116	92	± 8	78	132	90	± 5	79	110	93	± 6	81	130	90	± 7	76	136	91	± 7	76	136	91,3	± 2,6	0,41	± 0,01	
MZO	Ravne na Koroškem	107	± 6	90	143	105	± 7	92	135	104	± 7	87	150	105	± 7	86	147	104	± 8	88	154	104	± 8	88	155	105,0	± 2,9	0,47	± 0,01	
MZO	Rogla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MZO	Rudno polje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MZO	Suha	97	± 6	82	118	97	± 8	81	130	96	± 7	83	143	96	± 6	82	132	95	± 8	79	166	95	± 7	82	142	96,1	± 2,8	0,43	± 0,01	
MZO	Todraž	130	± 8	110	156	130	± 12	106	186	130	± 8	113	185	130	± 7	109	172	131	± 10	112	199	132	± 10	113	176	130,4	± 3,6	0,59	± 0,02	
MZO	Trbovlje	79	± 7	25	108	77	± 8	65	107	75	± 6	63	119	74	± 6	61	103	74	± 6	61	101	75	± 8	60	117	75,4	± 2,7	0,34	± 0,01	
MZO	Zagorje	79	± 7	62	113	79	± 7	65	105	77	± 6	65	110	77	± 5	66	100	77	± 6	63	105	77	± 7	64	114	77,5	± 2,5	0,35	± 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.

LETO 2016 T - 56/c

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA Z MFM-202 ZA LETO 2016 V REPUBLIKI SLOVENIJI – sistem MZO in URSJV / 2. polletje

		Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Letno povprečje (nSv/h)		Letna doza (mSv)	
		Julij				Avgust				September				Oktober				November				December							
Sistem	Postaja	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				
MZO	Brinje	111	± 10	93	184	112	± 11	91	198	115	± 8	99	189	113	± 11	94	184	112	± 10	90	191	112	± 7	96	138	109,7	± 2,5	0,96	± 0,02
MZO	Brnik	113	± 10	95	189	115	± 14	93	225	116	± 9	96	190	113	± 13	96	189	112	± 12	92	181	112	± 7	94	134	111,3	± 2,7	0,98	± 0,02
MZO	Celje	93	± 8	80	182	92	± 9	76	150	93	± 6	79	122	93	± 8	78	137	93	± 8	77	143	93	± 5	78	107	92,4	± 1,8	0,81	± 0,02
MZO	Dolenje	84	± 7	69	168	84	± 6	71	123	85	± 6	71	128	85	± 8	69	124	85	± 8	70	131	84	± 6	67	103	84,2	± 1,8	0,74	± 0,02
MZO	Dvor	102	± 7	86	144	103	± 9	88	175	106	± 7	89	146	106	± 9	91	158	105	± 9	88	154	99	± 7	81	122	102,9	± 2,1	0,90	± 0,02
MZO	Gačnik	116	± 7	96	170	117	± 14	97	289	115	± 10	98	204	114	± 10	96	169	114	± 13	94	212	113	± 6	97	131	114,0	± 2,3	1,00	± 0,02
MZO	Gornja Radgona	98	± 6	84	143	98	± 6	84	131	101	± 6	87	142	100	± 6	87	130	99	± 7	85	148	99	± 6	80	116	99,0	± 1,6	0,87	± 0,01
MZO	Hrastje	76	± 9	63	163	76	± 10	64	178	77	± 8	64	154	77	± 9	59	132	77	± 11	62	161	77	± 6	61	95	76,2	± 2,2	0,67	± 0,02
MZO	Hrastnik	91	± 6	78	125	92	± 10	77	180	91	± 7	78	135	92	± 8	78	144	92	± 9	76	146	91	± 5	78	109	91,2	± 1,9	0,80	± 0,02
MZO	Ilirska Bistrica	114	± 8	91	184	113	± 9	95	203	114	± 7	93	152	112	± 10	94	203	109	± 8	92	182	111	± 6	94	129	110,4	± 2,2	0,97	± 0,02
MZO	Iška vas	86	± 6	73	134	87	± 12	71	269	86	± 7	72	152	88	± 12	70	169	86	± 8	71	140	87	± 7	69	108	86,0	± 2,2	0,76	± 0,02
MZO	Jesenice na Dol.	76	± 6	63	118	77	± 7	63	136	78	± 7	66	145	78	± 8	62	127	77	± 7	62	107	77	± 6	64	100	76,6	± 1,8	0,67	± 0,02
MZO	Kamnik	79	± 5	66	109	79	± 7	66	124	80	± 5	67	109	81	± 6	66	109	80	± 6	67	113	80	± 5	68	98	79,3	± 1,6	0,70	± 0,01
MZO	Koper	98	± 5	83	119	99	± 7	83	148	98	± 7	76	169	95	± 9	80	155	93	± 7	77	127	93	± 5	81	110	95,0	± 1,8	0,83	± 0,02
MZO	Krajinski park Goričko	107	± 9	91	210	107	± 9	88	169	109	± 8	94	220	109	± 9	91	155	106	± 8	92	175	105	± 5	88	118	106,2	± 2,0	0,93	± 0,02
MZO	Lendava	97	± 7	82	149	96	± 9	81	199	98	± 7	80	143	95	± 9	80	149	94	± 9	79	151	93	± 6	81	113	94,1	± 1,8	0,83	± 0,02
MZO	Levec	108	± 7	92	169	108	± 11	91	197	108	± 6	89	142	108	± 9	91	158	108	± 9	93	173	107	± 6	91	126	107,2	± 2,1	0,94	± 0,02
MZO	Loče	105	± 7	89	158	104	± 8	87	160	106	± 6	90	156	104	± 9	89	184	102	± 8	87	158	103	± 5	86	118	103,6	± 1,9	0,91	± 0,02
MZO	Malkovec	105	± 7	87	157	105	± 9	85	170	105	± 7	89	146	104	± 9	88	158	104	± 9	84	156	104	± 6	88	121	103,6	± 2,1	0,91	± 0,02
MZO	MB-Center	82	± 5	69	116	83	± 9	69	187	83	± 6	71	118	84	± 7	71	118	85	± 9	69	138	83	± 5	70	101	83,3	± 1,7	0,73	± 0,01
MZO	MB-Slivnica	101	± 8	84	169	100	± 10	84	195	101	± 10	86	181	100	± 10	83	159	99	± 12	31	196	99	± 6	76	114	99,5	± 2,2	0,87	± 0,02
MZO	Muta	101	± 9	83	163	100	± 11	79	199	101	± 7	87	185	102	± 8	87	146	101	± 11	79	176	103	± 6	86	121	101,1	± 2,1	0,89	± 0,02
MZO	N. Gorica	99	± 6	85	146	99	± 7	81	166	99	± 7	84	153	98	± 6	82	129	98	± 7	84	129	97	± 5	82	111	97,6	± 1,8	0,86	± 0,02
MZO	Park Škocjanske jame	95	± 5	80	118	96	± 6	81	125	97	± 7	82	157	94	± 9	80	168	94	± 8	78	142	94	± 6	79	115	94,2	± 1,9	0,83	± 0,02
MZO	Podbočje	92	± 6	78	125	92	± 9	78	205	93	± 7	76	143	92	± 9	73	157	92	± 8	71	140	92	± 7	75	111	91,2	± 2,0	0,80	± 0,02
MZO	Podčetrtek	110	± 6	90	138	111	± 9	87	181	112	± 7	94	152	109	± 8	87	156	108	± 10	91	164	108	± 7	90	136	108,3	± 2,1	0,95	± 0,02
MZO	Ptuj	119	± 8	100	178	119	± 11	101	256	120	± 9	101	227	117	± 10	95	173	117	± 12	99	194	117	± 6	100	137	117,4	± 2,3	1,03	± 0,02
MZO	Radenci	91	± 7	78	145	92	± 8	74	142	95	± 8	78	191	94	± 9	76	150	92	± 8	74	159	92	± 6	77	109	91,8	± 2,0	0,81	± 0,02
MZO	Ravne na Koroškem	104	± 8	89	145	105	± 10	86	170	105	± 7	85	143	105	± 8	86	145	106	± 9	91	187	107	± 6	89	126	105,3	± 2,1	0,92	± 0,02
MZO	Rogla	-	-	-	-	93	± 2	92	97	101	± 6	88	133	103	± 8	85	145	103	± 10	79	145	99	± 5	85	120	95,1	± 1,7	0,84	± 0,01
MZO	Rudno polje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	± 10	94	161	111	± 10	92	191	104	± 5	93	119	106,5	± 4,1	0,94	± 0,04
MZO	Suha	97	± 8	81	168	97	± 11	82	213	97	± 7	80	136	98	± 9	80	150	98	± 9	80	150	98	± 6	80	119	96,7	± 2,1	0,85	± 0,02
MZO	Todraž	135	± 9	111	204	136	± 11	115	246	134	± 8	112	192	135	± 12	115	198	134	± 12	109	199	121	± 7	101	144	130,6	± 2,6	1,15	± 0,02
MZO	Trbovlje	75	± 7	62	121	76	± 11	59	196	76	± 7	63	146	76	± 8	60	121	76	± 8	62	126	77	± 6	61	94	75,7	± 2,0	0,67	± 0,02
MZO	Zagorje	77	± 6	62	107	78	± 9	64	173	79	± 8	64	149	78	± 7	66	108	79	± 7	65	119	80	± 6	65	94	78,0	± 1,9	0,68	± 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.

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2016 V REPUBLIKI SLOVENIJI – sistem ARSO / letni pregled

Sistem	Postaja	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Polletno povprečje (nSv/h)	Polletna doza (mSv)
		Januar				Februar				Marec				April				Maj				Junij					
		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		
ARSO	Bovec	88 ± 8	74	129	91 ± 13	70	145	86 ± 9	72	148	86 ± 8	73	125	86 ± 9	73	143	86 ± 10	72	162	86,8 ± 3,7	0,39 ± 0,02						
ARSO	Dobliče	140 ± 12	110	176	141 ± 12	116	210	138 ± 8	119	179	139 ± 9	122	182	139 ± 10	119	196	143 ± 10	120	198	139,7 ± 4,0	0,63 ± 0,02						
ARSO	Kočevje	147 ± 13	119	192	140 ± 15	105	206	146 ± 9	117	194	148 ± 10	126	231	146 ± 9	127	182	148 ± 11	127	198	146,3 ± 4,3	0,66 ± 0,02						
ARSO	Kredarica	139 ± 6	123	165	138 ± 6	123	157	134 ± 5	122	156	134 ± 5	120	153	134 ± 6	121	165	135 ± 6	123	163	135,5 ± 2,3	0,61 ± 0,01						
ARSO	Krvavec	113 ± 10	92	164	101 ± 11	79	166	88 ± 8	74	143	107 ± 11	79	143	115 ± 7	99	154	114 ± 7	94	150	107,2 ± 3,5	0,48 ± 0,02						
ARSO	Lesce	95 ± 7	78	147	97 ± 11	81	148	94 ± 8	78	147	95 ± 8	76	129	94 ± 11	79	179	93 ± 9	79	165	94,6 ± 3,5	0,43 ± 0,02						
ARSO	Lisca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
ARSO	LJ-Bežigrad	119 ± 7	101	147	120 ± 10	100	176	118 ± 7	103	169	119 ± 8	97	166	119 ± 9	102	187	119 ± 9	102	179	118,9 ± 3,3	0,54 ± 0,01						
ARSO	MB-Tabor	110 ± 7	94	145	110 ± 9	96	166	109 ± 6	93	134	112 ± 7	93	150	110 ± 11	90	217	110 ± 8	95	157	110,1 ± 3,1	0,50 ± 0,01						
ARSO	MS-Rakičan	104 ± 6	87	127	104 ± 8	86	149	103 ± 5	89	121	106 ± 6	92	138	103 ± 8	89	164	104 ± 8	89	165	104,0 ± 2,6	0,47 ± 0,01						
ARSO	NG-Bilje	78 ± 9	60	126	77 ± 10	62	125	75 ± 6	59	128	74 ± 6	58	114	73 ± 6	56	110	74 ± 8	54	149	74,7 ± 2,9	0,34 ± 0,01						
ARSO	Novo mesto	92 ± 8	75	128	90 ± 9	73	145	87 ± 7	71	118	86 ± 6	74	119	87 ± 7	72	120	88 ± 8	74	131	87,9 ± 3,0	0,40 ± 0,01						
ARSO	Postojna	118 ± 10	96	188	117 ± 11	98	176	115 ± 7	100	154	115 ± 7	101	141	115 ± 9	99	169	114 ± 9	99	164	115,4 ± 3,5	0,52 ± 0,02						
ARSO	Rateče	113 ± 7	95	144	102 ± 15	74	172	79 ± 8	60	121	120 ± 9	93	166	124 ± 10	106	178	123 ± 8	105	175	110,1 ± 3,6	0,50 ± 0,02						
ARSO	Sečovelje	82 ± 9	67	136	81 ± 9	67	133	80 ± 9	67	180	82 ± 5	70	104	82 ± 8	66	152	81 ± 8	67	162	81,5 ± 3,0	0,37 ± 0,01						
ARSO	Sl. Gradec	131 ± 7	113	167	130 ± 9	109	174	130 ± 7	111	165	135 ± 8	110	168	132 ± 8	114	188	131 ± 9	109	186	131,5 ± 3,2	0,59 ± 0,01						
ARSO	Velenje	109 ± 7	92	143	110 ± 9	93	156	108 ± 6	92	143	109 ± 7	93	146	108 ± 7	92	152	109 ± 8	92	151	108,7 ± 2,9	0,49 ± 0,01						
EIMV	Vnjanarje	129 ± 6	111	154	129 ± 8	111	159	129 ± 6	108	161	130 ± 7	106	189	128 ± 8	113	194	128 ± 8	110	180	128,9 ± 2,9	0,58 ± 0,01						
Sistem	Postaja	Julij				Avgust				September				Oktober				November				December				Letno povprečje (nSv/h)	Letna doza (mSv)
ARSO	Bovec	86 ± 9	72	148	87 ± 13	70	186	86 ± 8	72	169	89 ± 14	69	167	89 ± 12	71	158	84 ± 4	72	97	85,9 ± 2,4	0,75 ± 0,02						
ARSO	Dobliče	147 ± 11	127	237	146 ± 13	121	242	146 ± 11	124	218	143 ± 15	120	241	142 ± 12	120	210	145 ± 10	121	183	141,9 ± 3,1	1,25 ± 0,03						
ARSO	Kočevje	154 ± 12	131	264	150 ± 13	126	246	152 ± 12	125	200	149 ± 16	51	254	148 ± 11	124	211	141 ± 45	0	190	147,9 ± 3,4	1,30 ± 0,03						
ARSO	Kredarica	134 ± 5	121	163	134 ± 6	121	165	135 ± 5	122	158	137 ± 6	125	159	134 ± 7	117	165	127 ± 4	115	140	133,9 ± 1,6	1,18 ± 0,01						
ARSO	Krvavec	113 ± 7	99	150	113 ± 9	97	171	114 ± 7	98	170	116 ± 8	98	150	115 ± 10	90	153	112 ± 5	96	138	110,9 ± 2,2	0,97 ± 0,02						
ARSO	Lesce	96 ± 10	78	192	95 ± 13	80	184	96 ± 8	79	147	96 ± 11	77	180	96 ± 10	78	149	94 ± 5	81	110	94,8 ± 2,4	0,83 ± 0,02						
ARSO	Lisca	-	-	-	100 ± 15	88	169	98 ± 5	83	135	99 ± 8	79	145	97 ± 9	75	145	94 ± 5	81	112	96,7 ± 3,0	0,85 ± 0,03						
ARSO	LJ-Bežigrad	121 ± 9	102	220	123 ± 11	102	261	123 ± 8	105	205	122 ± 10	99	193	120 ± 10	104	185	120 ± 7	99	139	120,0 ± 2,4	1,05 ± 0,02						
ARSO	MB-Tabor	112 ± 8	93	170	113 ± 15	94	364	111 ± 8	95	180	110 ± 10	94	165	110 ± 13	93	208	108 ± 6	94	123	110,1 ± 2,3	0,97 ± 0,02						
ARSO	MS-Rakičan	105 ± 9	88	166	107 ± 8	90	158	110 ± 8	93	196	108 ± 10	88	169	105 ± 8	89	166	104 ± 6	87	123	104,9 ± 2,0	0,92 ± 0,02						
ARSO	NG-Bilje	75 ± 8	59	156	75 ± 10	57	151	76 ± 8	62	155	76 ± 9	58	137	76 ± 9	63	131	75 ± 5	59	95	75,0 ± 2,1	0,66 ± 0,02						
ARSO	Novo mesto	89 ± 8	74	134	89 ± 10	68	156	91 ± 9	73	143	90 ± 10	74	150	90 ± 10	72	148	92 ± 8	69	115	88,8 ± 2,3	0,78 ± 0,02						
ARSO	Postojna	119 ± 9	100	155	122 ± 10	103	188	123 ± 10	99	166	119 ± 12	101	191	116 ± 9	101	170	119 ± 8	99	154	117,2 ± 2,6	1,03 ± 0,02						
ARSO	Rateče	124 ± 10	104	177	123 ± 12	105	210	124 ± 8	105	195	123 ± 10	107	184	122 ± 10	104	170	118 ± 5	99	136	116,0 ± 2,4	1,02 ± 0,02						
ARSO	Sečovelje	84 ± 5	70	118	85 ± 8	72	169	84 ± 6	73	126	82 ± 9	66	139	80 ± 8	67	143	80 ± 4	69	93	81,9 ± 1,9	0,72 ± 0,02						
ARSO	Sl. Gradec	134 ± 9	113	189	135 ± 14	114	300	134 ± 9	111	217	131 ± 10	113	200	131 ± 10	112	199	130 ± 7	111	152	131,7 ± 2,4	1,16 ± 0,02						
ARSO	Velenje	110 ± 8	92	181	109 ± 11	93	199	109 ± 6	96	145	109 ± 9	93	158	109 ± 9	89	175	108 ± 6	91	128	108,8 ± 2,1	0,96 ± 0,02						
EIMV	Vnjanarje	116 ± 43	0	200	-	-	-	134 ± 6	118	173	131 ± 10	114	199	129 ± 8	112	182	128 ± 6	114	148	129,6 ± 2,2	1,14 ± 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.

8. KONTINUIRNE MERITVE DOZ ZUNANJEGA SEVANJA ZA LETO 2016 V REPUBLIKI SLOVENIJI – sistem URSJV / letni pregled

Sistem	Postaja	Mesečne povprečne vrednosti (nSv/h) - polurna obdelava podatkov																								Polletno povprečje (nSv/h)	Polletna doza (mSv)
		Januar				Februar				Marec				April				Maj				Junij					
		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		
URSJV	Lakonca	67 ± 6	54	89	68 ± 9	53	109	65 ± 6	52	119	65 ± 5	53	94	65 ± 6	52	106	65 ± 7	52	109	65,6 ± 2,5	0,30 ± 0,01						
URSJV	LJ-Brinje-IJS	87 ± 9	100	98	86 ± 11	100	98	86 ± 16	100	98	86 ± 10	100	98	85 ± 10	100	98	85 ± 11	100	98	85,9 ± 4,4	0,39 ± 0,02						
URSJV	LJ-Brinje-URSJV	75 ± 6	100	90	77 ± 8	100	90	77 ± 6	100	90	85 ± 9	0	90	86 ± 9	100	90	89 ± 11	100	90	79,4 ± 3,1	0,36 ± 0,01						
URSJV	LJ-Vič	106 ± 7	89	137	106 ± 8	91	150	104 ± 7	89	160	105 ± 6	91	140	105 ± 7	91	155	106 ± 7	91	140	105,3 ± 2,8	0,48 ± 0,01						
URSJV	NEK-URSJV	71 ± 6	0	90	72 ± 7	100	90	70 ± 4	100	90	71 ± 4	100	90	71 ± 7	0	90	72 ± 6	100	90	70,9 ± 2,1	0,32 ± 0,01						
URSJV	Prapretno	93 ± 7	76	118	93 ± 8	80	130	91 ± 6	76	127	92 ± 6	78	131	90 ± 7	75	131	91 ± 7	76	127	91,6 ± 2,7	0,41 ± 0,01						
URSJV	Sv. Mohor	79 ± 5	64	106	79 ± 6	67	109	77 ± 5	63	99	-	-	-	78 ± 6	64	115	78 ± 6	64	126	78,2 ± 2,5	0,35 ± 0,01						
URSJV	Šoštanj	116 ± 7	97	157	116 ± 9	100	156	114 ± 6	100	151	117 ± 7	102	149	114 ± 7	99	157	116 ± 8	97	164	115,4 ± 2,9	0,52 ± 0,01						
Sistem	Postaja	Julij				Avgust				September				Oktober				November				December				Letno povprečje (nSv/h)	Letna doza (mSv)
URSJV	Lakonca	66 ± 6	52	103	66 ± 11	54	168	66 ± 8	55	157	67 ± 8	52	112	68 ± 10	54	125	66 ± 5	53	81	65,9 ± 1,9	0,58 ± 0,02						
URSJV	LJ-Brinje-IJS	89 ± 11	100	98	89 ± 13	100	98	90 ± 10	100	98	88 ± 12	100	98	87 ± 12	100	98	88 ± 9	100	98	87,2 ± 3,1	0,77 ± 0,03						
URSJV	LJ-Brinje-URSJV	91 ± 12	100	90	99 ± 13	100	90	107 ± 14	0	90	98 ± 12	100	90	87 ± 10	100	90	79 ± 6	70	90	82,6 ± 2,4	0,73 ± 0,02						
URSJV	LJ-Vič	108 ± 8	90	160	108 ± 9	92	195	107 ± 7	94	178	106 ± 8	88	171	105 ± 8	88	154	106 ± 6	89	124	105,9 ± 2,1	0,93 ± 0,02						
URSJV	NEK-URSJV	75 ± 6	100	90	75 ± 8	100	90	76 ± 7	100	90	73 ± 8	100	90	72 ± 7	0	90	72 ± 5	60	90	72,0 ± 1,7	0,63 ± 0,01						
URSJV	Prapretno	93 ± 7	79	137	94 ± 11	78	183	93 ± 8	76	179	93 ± 8	80	139	93 ± 9	77	154	92 ± 6	75	110	92,1 ± 2,1	0,81 ± 0,02						
URSJV	Sv. Mohor	79 ± 5	65	113	79 ± 7	66	136	80 ± 6	68	118	79 ± 6	63	125	79 ± 7	65	115	72 ± 5	60	87	77,9 ± 1,7	0,68 ± 0,02						
URSJV	Šoštanj	116 ± 8	98	166	115 ± 12	97	235	116 ± 7	98	163	116 ± 10	98	162	115 ± 10	99	198	115 ± 5	102	133	115,4 ± 2,1	1,01 ± 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.

LETO 2016

8. IZRAČUN RAZREDČITVENIH IN DEPOZICIJSKIH KOEFICIENTOV PO LAGRANGEEVEM MODELU (MEIS, d. o. o.)

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													
Januar	8,00E-08	7,00E-08	9,78E-08	1,21E-07	5,50E-08	4,02E-08	1,38E-08	1,94E-08	3,56E-08	8,11E-08	1,18E-07	3,52E-08	1,26E-07	2,75E-08
Februar	6,92E-08	5,45E-08	7,21E-08	1,36E-07	6,67E-08	1,77E-08	1,15E-08	1,45E-08	2,15E-08	4,34E-08	7,62E-08	5,06E-08	1,50E-07	7,26E-09
Marec	6,72E-08	5,90E-08	6,82E-08	1,18E-07	5,44E-08	2,24E-08	1,62E-08	2,11E-08	4,28E-08	5,40E-08	6,81E-08	3,22E-08	7,81E-08	1,27E-08
April	9,09E-08	8,16E-08	5,98E-08	1,28E-07	1,03E-07	2,96E-08	1,17E-08	1,52E-08	2,71E-08	8,27E-08	1,17E-07	5,22E-08	1,16E-07	1,27E-08
Maj	1,20E-07	1,51E-07	8,48E-08	1,28E-07	1,54E-07	4,83E-08	2,33E-08	2,66E-08	5,68E-08	9,91E-08	1,03E-07	7,09E-08	1,10E-07	2,71E-08
Junij	8,83E-07	9,10E-07	4,79E-07	2,99E-07	3,03E-07	5,65E-08	4,14E-08	4,81E-08	6,50E-08	1,10E-07	5,92E-08	9,22E-08	2,23E-07	2,30E-08
Julij	1,96E-06	1,81E-06	1,18E-06	2,30E-07	5,29E-07	9,73E-08	4,11E-08	4,77E-08	1,15E-07	2,29E-07	1,23E-07	1,12E-07	2,13E-07	4,09E-08
Avgust	8,31E-07	1,22E-06	4,25E-07	1,66E-07	4,36E-07	9,60E-08	4,79E-08	5,79E-08	1,01E-07	2,08E-07	1,31E-07	1,26E-07	1,37E-07	5,37E-08
September	8,50E-07	6,71E-07	6,41E-07	1,76E-07	3,09E-07	7,62E-08	2,74E-08	3,06E-08	8,55E-08	1,31E-07	8,13E-08	1,18E-07	1,71E-07	6,05E-08
Oktober	1,71E-07	1,55E-07	1,78E-07	2,34E-07	1,60E-07	4,75E-08	3,66E-08	3,46E-08	5,92E-08	1,16E-07	1,04E-07	1,06E-07	1,51E-07	2,05E-08
November	1,74E-07	1,54E-07	1,36E-07	1,94E-07	1,25E-07	3,54E-08	2,02E-08	2,32E-08	5,25E-08	1,11E-07	1,38E-07	1,12E-07	1,29E-07	1,21E-08
December	1,19E-07	1,13E-07	1,26E-07	1,51E-07	1,11E-07	4,09E-08	1,73E-08	2,31E-08	5,48E-08	1,00E-07	1,65E-07	1,03E-07	9,48E-08	2,13E-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	3,11E-06	1,07E-06	6,03E-07	1,51E-07	1,51E-07	2,08E-08	1,55E-08	1,27E-08	1,88E-08	1,53E-07	6,39E-08	4,20E-08	1,92E-07	1,36E-08
Februar	3,14E-06	1,25E-06	4,34E-07	1,97E-07	2,07E-07	1,92E-08	2,88E-08	3,48E-08	5,69E-08	1,56E-07	7,93E-08	6,33E-08	1,69E-07	7,81E-09
Marec	2,31E-06	8,02E-07	3,81E-07	1,05E-07	1,01E-07	1,57E-08	1,64E-08	2,28E-08	7,60E-08	8,40E-08	4,07E-08	2,88E-08	1,03E-07	9,69E-09
April	2,15E-06	8,54E-07	3,21E-07	1,22E-07	1,51E-07	1,19E-08	1,48E-08	1,47E-08	3,62E-08	1,10E-07	5,70E-08	4,14E-08	1,09E-07	5,52E-09
Maj	2,67E-06	1,08E-06	5,40E-07	1,06E-07	1,91E-07	2,66E-08	2,56E-08	3,32E-08	8,73E-08	1,32E-07	7,97E-08	5,76E-08	1,10E-07	1,26E-08
Junij	3,05E-06	6,51E-07	6,30E-07	3,17E-07	1,72E-07	2,90E-08	4,86E-08	4,77E-08	5,06E-08	7,99E-08	3,76E-08	5,35E-08	1,48E-07	1,11E-08
Julij	3,14E-06	1,08E-06	7,83E-07	1,37E-07	3,04E-07	3,85E-08	2,78E-08	3,10E-08	4,61E-08	1,08E-07	7,79E-08	8,25E-08	1,45E-07	1,77E-08
Avgust	3,42E-06	1,27E-06	8,85E-07	1,32E-07	3,44E-07	5,23E-08	4,18E-08	5,14E-08	6,26E-08	1,39E-07	7,89E-08	8,80E-08	1,07E-07	2,16E-08
September	3,35E-06	9,96E-07	9,49E-07	1,18E-07	2,38E-07	4,68E-08	3,69E-08	4,71E-08	8,91E-08	1,15E-07	5,81E-08	6,54E-08	1,43E-07	2,73E-08
Oktober	4,37E-06	1,61E-06	8,21E-07	2,59E-07	3,35E-07	3,97E-08	7,01E-08	6,01E-08	9,88E-08	2,01E-07	9,34E-08	8,61E-08	1,86E-07	1,32E-08
November	3,61E-06	1,50E-06	4,48E-07	2,55E-07	2,56E-07	2,03E-08	1,35E-08	1,57E-08	6,26E-08	1,75E-07	1,11E-07	6,41E-08	1,37E-07	7,15E-09
December	3,12E-06	1,52E-06	5,13E-07	1,72E-07	2,08E-07	1,93E-08	2,02E-08	2,09E-08	3,74E-08	2,04E-07	1,10E-07	6,17E-08	1,43E-07	1,11E-08

9. ZEMLJA

LETO 2016 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, neobdelana zemlja							
Datum vzor.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzorca (kg/m ²)	0,2	30,1	35,0	41,9	147,3	107,0	+ trava	254,2
Oznaka vzorca	K16ZN11T61	K16ZN11AB61	K16ZN11C61	K16ZN11D61	K16ZN11E61			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	7,6E-01 ± 4E-01	8,2E+02 ± 1E+02	1,0E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 2E+02	3,7E+03 ± 4E+02	3,1E+03 ± 2E+02	3,1E+03 ± 2E+02	6,8E+03 ± 5E+02
Ra-226	1,6E-01 ± 2E-01 ‡	1,1E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	1,5E+03 ± 1E+02	5,1E+03 ± 5E+02	4,0E+03 ± 2E+02	4,0E+03 ± 2E+02	9,1E+03 ± 5E+02
Pb-210	9,4E+00 ± 9E-01	2,5E+03 ± 2E+02	2,3E+03 ± 2E+02	2,4E+03 ± 2E+02	5,3E+03 ± 4E+02	7,1E+03 ± 3E+02	7,1E+03 ± 3E+02	1,2E+04 ± 6E+02
Ra-228		8,5E+02 ± 3E+01	1,1E+03 ± 4E+01	1,2E+03 ± 4E+01	4,0E+03 ± 1E+02	3,1E+03 ± 6E+01	3,1E+03 ± 6E+01	7,1E+03 ± 1E+02
Th-228		9,2E+02 ± 3E+01	1,1E+03 ± 4E+01	1,3E+03 ± 4E+01	3,9E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 6E+01	3,3E+03 ± 6E+01	7,2E+03 ± 1E+02
Th-230	8,9E-02 ± 5E-02			2,1E+03 ± 2E+03 ‡	4,8E+03 ± 3E+03	2,1E+03 ± 2E+03	2,1E+03 ± 2E+03	7,0E+03 ± 4E+03
K-40	1,4E+02 ± 1E+01	1,1E+04 ± 1E+03	1,3E+04 ± 1E+03	1,6E+04 ± 2E+03	4,8E+04 ± 5E+03	4,1E+04 ± 2E+03	4,1E+04 ± 2E+03	8,9E+04 ± 5E+03
Be-7	1,0E+02 ± 4E+00	1,9E+02 ± 6E+01				1,9E+02 ± 6E+01	2,9E+02 ± 6E+01	1,9E+02 ± 6E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,4E-02 ± 4E-02 ‡	1,5E+03 ± 5E+01	2,7E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 1E+02	4,6E+03 ± 2E+02	7,8E+03 ± 2E+02	7,8E+03 ± 2E+02	1,2E+04 ± 3E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	1,9E-01 ± 1E-02	2,4E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 3E+00	5,2E+01 ± 4E+00	1,9E+02 ± 2E+01	1,1E+02 ± 6E+00	1,1E+02 ± 6E+00	2,9E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Gmajnice, neobdelana zemlja						
Datum vzor.	21. 6. 2016						
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo	Uteženo
Kol. vzorca (kg)	0,15	0,36	0,39	0,42	0,45	povprečje (*)	povprečje (*)
Kol. (kg/m ²)	0,2	30,1	35,0	41,9	147,3	0-15	0-30
Oznaka vzorca	K16ZN11T61	K16ZN11AB61	K16ZN11C61	K16ZN11D61	K16ZN11E61		
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						
U-238	3,7E+00 ± 2E+00	2,7E+01 ± 4E+00	2,9E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 4E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 2E+00	2,7E+01 ± 2E+00
Ra-226	7,9E-01 ± 1E+00 ‡	3,5E+01 ± 3E+00	4,0E+01 ± 4E+00	3,7E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 3E+00	3,7E+01 ± 2E+00	3,6E+01 ± 2E+00
Pb-210	4,6E+01 ± 4E+00	8,2E+01 ± 5E+00	6,6E+01 ± 6E+00	5,6E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 3E+00	6,7E+01 ± 3E+00	4,9E+01 ± 2E+00
Ra-228		2,8E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 9E-01	2,7E+01 ± 9E-01	2,9E+01 ± 6E-01	2,8E+01 ± 6E-01
Th-228	4,3E-01 ± 2E-01	3,1E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	2,7E+01 ± 8E-01	3,1E+01 ± 6E-01	2,8E+01 ± 5E-01
Th-230				5,0E+01 ± 5E+01 ‡	3,3E+01 ± 2E+01	2,0E+01 ± 2E+01	2,7E+01 ± 1E+01
K-40	6,6E+02 ± 6E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,3E+02 ± 3E+01	3,8E+02 ± 2E+01	3,5E+02 ± 2E+01
Be-7	4,9E+02 ± 2E+01	6,3E+00 ± 2E+00				1,8E+00 ± 6E-01	7,4E-01 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137	1,2E-01 ± 2E-01 ‡	5,0E+01 ± 2E+00	7,7E+01 ± 3E+00	8,5E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 2E+00	7,3E+01 ± 2E+00	4,9E+01 ± 1E+00
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	9,2E-01 ± 6E-02	8,0E-01 ± 1E-01	8,2E-01 ± 8E-02	1,3E+00 ± 1E-01	1,3E+00 ± 1E-01	9,8E-01 ± 6E-02	1,2E+00 ± 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.

LETO 2016 T – 57b

9. ZEMLJA - OBDELANA - poplavno področje ob Savi - 7D (rjava naplavina, normalno oranje)

Izotopska analiza sevalcev gama (***)

Vzorč. mesto	Gmajnice, neobdelana zemlja							
Datum vzor.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzorca (kg/m ²)	0,6	25,8	43,5	55,0	154,6	124,3	+ trava	278,9
Oznaka vzorca	K16ZN11T91	K16ZN11AB91	K16ZN11C91	K16ZN11D91	K16ZN11E91			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	3,3E+00 ± 1E+00	6,4E+02 ± 8E+01	1,2E+03 ± 2E+02	1,4E+03 ± 1E+02	3,4E+03 ± 4E+02	3,2E+03 ± 2E+02	3,2E+03 ± 2E+02	6,6E+03 ± 4E+02
Ra-226	5,0E+00 ± 2E+00	8,9E+02 ± 9E+01	1,6E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 2E+02	4,9E+03 ± 5E+02	4,3E+03 ± 3E+02	4,3E+03 ± 3E+02	9,2E+03 ± 5E+02
Pb-210	3,9E+01 ± 2E+00	2,6E+03 ± 4E+02	1,3E+03 ± 1E+03	1,9E+03 ± 2E+02	4,4E+03 ± 5E+02	5,8E+03 ± 1E+03	5,8E+03 ± 1E+03	1,0E+04 ± 1E+03
Ra-228	3,7E+00 ± 4E-01	7,2E+02 ± 3E+01	1,3E+03 ± 4E+01	1,4E+03 ± 5E+01	3,9E+03 ± 1E+02	3,4E+03 ± 7E+01	3,4E+03 ± 7E+01	7,3E+03 ± 1E+02
Th-228	3,5E+00 ± 2E-01	7,6E+02 ± 2E+01	1,3E+03 ± 4E+01	1,5E+03 ± 6E+01	3,8E+03 ± 1E+02	3,5E+03 ± 7E+01	3,5E+03 ± 7E+01	7,4E+03 ± 1E+02
Th-230				1,9E+03 ± 6E+02		1,9E+03 ± 6E+02	1,9E+03 ± 6E+02	1,9E+03 ± 6E+02
K-40	1,8E+02 ± 2E+01	9,8E+03 ± 9E+02	1,6E+04 ± 2E+03	1,8E+04 ± 2E+03	5,0E+04 ± 5E+03	4,3E+04 ± 3E+03	4,4E+04 ± 3E+03	9,3E+04 ± 5E+03
Be-7	2,4E+02 ± 9E+00	1,9E+02 ± 4E+01				1,9E+02 ± 4E+01	4,3E+02 ± 5E+01	1,9E+02 ± 4E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,6E+00 ± 1E-01	1,2E+03 ± 4E+01	2,5E+03 ± 8E+01	1,1E+03 ± 7E+01	4,1E+02 ± 2E+01	4,8E+03 ± 1E+02	4,8E+03 ± 1E+02	5,2E+03 ± 1E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	5,6E-01 ± 4E-02	2,1E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 3E+00	3,6E+01 ± 4E+00	1,5E+02 ± 1E+01	9,1E+01 ± 5E+00	9,1E+01 ± 5E+00	2,4E+02 ± 1E+01

Vzorč. mesto	Gmajnice, neobdelana zemlja							
Datum vzor.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo	Uteženo	
Kol. vzorca (kg)	0,19	0,33	0,40	0,45	0,03	povprečje (°)	povprečje (°)	
Kol. (kg/m ²)	0,6	25,8	43,5	55,0	154,6	0-15	0-30	
Oznaka vzorca	K16ZN11T91	K16ZN11AB91	K16ZN11C91	K16ZN11D91	K16ZN11E91			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	5,7E+00 ± 3E+00	2,5E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 4E+00	2,6E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 2E+00	2,4E+01 ± 2E+00	
Ra-226	8,7E+00 ± 4E+00	3,4E+01 ± 3E+00	3,6E+01 ± 3E+00	3,4E+01 ± 3E+00	3,2E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 2E+00	
Pb-210	6,8E+01 ± 4E+00	1,0E+02 ± 2E+01	2,9E+01 ± 3E+01	3,4E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 3E+00	5,1E+01 ± 1E+01	3,8E+01 ± 5E+00	
Ra-228	6,5E+00 ± 7E-01	2,8E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 9E-01	2,6E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 8E-01	2,8E+01 ± 6E-01	2,6E+01 ± 5E-01	
Th-228	6,0E+00 ± 4E-01	3,0E+01 ± 8E-01	3,0E+01 ± 8E-01	2,7E+01 ± 1E+00	2,5E+01 ± 7E-01	2,8E+01 ± 5E-01	2,6E+01 ± 5E-01	
Th-230				3,5E+01 ± 1E+01		1,4E+01 ± 4E+00	5,7E+00 ± 2E+00	
K-40	3,2E+02 ± 3E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,6E+02 ± 3E+01	3,2E+02 ± 3E+01	3,2E+02 ± 3E+01	3,5E+02 ± 2E+01	3,3E+02 ± 2E+01	
Be-7	4,2E+02 ± 2E+01	7,3E+00 ± 2E+00				2,1E+00 ± 5E-01	8,7E-01 ± 2E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	4,5E+00 ± 3E-01	4,6E+01 ± 2E+00	5,8E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 1E+00	2,7E+00 ± 2E-01	4,0E+01 ± 9E-01	1,8E+01 ± 4E-01	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	9,8E-01 ± 7E-02	8,1E-01 ± 8E-02	7,7E-01 ± 7E-02	6,6E-01 ± 7E-02	9,4E-01 ± 9E-02	7,4E-01 ± 4E-02	8,5E-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 2016 T – 58a

9. ZEMLJA - OBDELANA - poplavno področje ob Savi - 7D (rjava naplavina, normalno oranje)

Izotopska analiza sevalcev gama (***)

Vzorč. mesto	Gmajnice, obdelana zemlja							
Datum vzor.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-30	0-40	0-50
Kol. vzorca (kg/m ²)	97,5	91,6	111,2	111,9	116,3	300,3	412,2	528,5
Oznaka vzorca	K16ZP13A61	K16ZP13B61	K16ZP13C61	K16ZP13D61	K16ZP13E61			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	3,5E+03 ± 4E+02	3,5E+03 ± 4E+02	3,7E+03 ± 4E+02	3,5E+03 ± 5E+02	3,6E+03 ± 3E+02	1,1E+04 ± 7E+02	1,4E+04 ± 9E+02	1,8E+04 ± 9E+02
Ra-226	4,4E+03 ± 4E+02	4,1E+03 ± 4E+02	5,0E+03 ± 5E+02	4,9E+03 ± 5E+02	4,6E+03 ± 4E+02	1,3E+04 ± 7E+02	1,8E+04 ± 9E+02	2,3E+04 ± 1E+03
Pb-210	5,4E+03 ± 6E+02	1,5E+03	5,1E+03 ± 6E+02	4,2E+03 ± 5E+02	3,4E+03 ± 3E+02	1,2E+04 ± 9E+02	1,6E+04 ± 1E+03	2,0E+04 ± 1E+03
Ra-228	3,7E+03 ± 1E+02	3,5E+03 ± 1E+02	4,3E+03 ± 1E+02	4,3E+03 ± 1E+02	4,2E+03 ± 1E+02	1,1E+04 ± 2E+02	1,6E+04 ± 3E+02	2,0E+04 ± 3E+02
Th-228	3,8E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 9E+01	4,3E+03 ± 1E+02	4,3E+03 ± 1E+02	4,3E+03 ± 1E+02	1,2E+04 ± 2E+02	1,6E+04 ± 2E+02	2,0E+04 ± 3E+02
Th-230			7,9E+02 ± 2E+03		3,4E+03 ± 4E+03	7,9E+02 ± 2E+03	7,9E+02 ± 2E+03	4,2E+03 ± 5E+03
K-40	4,8E+04 ± 5E+03	4,4E+04 ± 4E+03	5,3E+04 ± 5E+03	5,6E+04 ± 5E+03	5,0E+04 ± 5E+03	1,5E+05 ± 8E+03	2,0E+05 ± 1E+04	2,5E+05 ± 1E+04
Be-7	6,7E+02 ± 2E+02					6,7E+02 ± 2E+02	6,7E+02 ± 2E+02	6,7E+02 ± 2E+02
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,8E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 1E+02	1,8E+03 ± 7E+01	6,8E+02 ± 4E+01	1,4E+02 ± 1E+01	5,3E+03 ± 2E+02	6,0E+03 ± 2E+02	6,1E+03 ± 2E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

Vzorč. mesto	Gmajnice, obdelana zemlja							
Datum vzor.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	Uteženo povprečje (*)	Uteženo povprečje (*)	
Kol. vzorca (kg)	0,44	0,41	0,45	0,47	0,46			
Kol. (kg/m ²)	97,5	91,6	111,2	111,9	116,3	0-40	0-50	
Oznaka vzorca	K16ZP13A61	K16ZP13B61	K16ZP13C61	K16ZP13D61	K16ZP13E61			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	3,6E+01 ± 4E+00	3,8E+01 ± 5E+00	3,4E+01 ± 4E+00	3,2E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 3E+00	3,4E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	
Ra-226	4,5E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	4,4E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00	
Pb-210	5,5E+01 ± 6E+00	1,6E+01	4,6E+01 ± 6E+00	3,7E+01 ± 5E+00	2,9E+01 ± 3E+00	3,9E+01 ± 3E+00	3,7E+01 ± 2E+00	
Ra-228	3,8E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 1E+00	3,8E+01 ± 1E+00	3,8E+01 ± 1E+00	3,6E+01 ± 1E+00	3,8E+01 ± 6E-01	3,8E+01 ± 5E-01	
Th-228	3,9E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 9E-01	3,9E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 5E-01	3,8E+01 ± 5E-01	
Th-230			7,1E+00 ± 2E+01		2,9E+01 ± 4E+01	1,9E+00 ± 5E+00	8,0E+00 ± 9E+00	
K-40	4,9E+02 ± 5E+01	4,8E+02 ± 5E+01	4,8E+02 ± 5E+01	5,0E+02 ± 5E+01	4,3E+02 ± 4E+01	4,9E+02 ± 2E+01	4,7E+02 ± 2E+01	
Be-7	6,9E+00 ± 2E+00					1,6E+00 ± 5E-01	1,3E+00 ± 4E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,8E+01 ± 2E+00	1,9E+01 ± 1E+00	1,6E+01 ± 7E-01	6,1E+00 ± 4E-01	1,2E+00 ± 1E-01	1,5E+01 ± 5E-01	1,2E+01 ± 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).

(***) 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 aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podajajo z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo.

LETO 2016 T – 58b

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	Gmajnice, obdelana zemlja							
Datum vzor.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-30	0-40	0-50
Kol. vzorca (kg/m ²)	75,4	97,0	113,6	110,2	120,7	210,5	320,7	441,3
Oznaka vzorca	K16ZP13A91	K16ZP13B91	K16ZP13C91	K16ZP13D91	K16ZP13E91			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	2,4E+03 ± 3E+02	3,4E+03 ± 4E+02	3,1E+03 ± 3E+02	3,2E+03 ± 4E+02	3,9E+03 ± 5E+02	8,8E+03 ± 6E+02	1,2E+04 ± 7E+02	1,6E+04 ± 9E+02
Ra-226	3,2E+03 ± 3E+02	4,0E+03 ± 4E+02	4,6E+03 ± 4E+02	4,4E+03 ± 4E+02	4,2E+03 ± 4E+02	1,2E+04 ± 6E+02	1,6E+04 ± 8E+02	2,0E+04 ± 9E+02
Pb-210	6,9E+02 ± 3E+02 †	6,7E+02 ± 4E+02 †	5,2E+03 ± 1E+03	2,4E+03 ± 2E+03 ‡	4,2E+02 ± 4E+03 ‡	6,6E+03 ± 1E+03	8,9E+03 ± 3E+03	9,4E+03 ± 4E+03 x
Ra-228	2,6E+03 ± 8E+01	3,2E+03 ± 1E+02	3,7E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 1E+02	3,8E+03 ± 1E+02	9,5E+03 ± 2E+02	1,3E+04 ± 2E+02	1,7E+04 ± 2E+02
Th-228	2,6E+03 ± 7E+01	3,4E+03 ± 9E+01	3,7E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 1E+02	3,9E+03 ± 1E+02	9,7E+03 ± 1E+02	1,3E+04 ± 2E+02	1,7E+04 ± 2E+02
Th-230			3,0E+03 ± 2E+03			3,0E+03 ± 2E+03	3,0E+03 ± 2E+03	3,0E+03 ± 2E+03
K-40	3,3E+04 ± 3E+03	4,1E+04 ± 4E+03	4,7E+04 ± 5E+03	4,3E+04 ± 4E+03	4,7E+04 ± 4E+03	1,2E+05 ± 7E+03	1,6E+05 ± 8E+03	2,1E+05 ± 9E+03
Be-7	3,7E+02 ± 2E+02					3,7E+02 ± 2E+02	3,7E+02 ± 2E+02	3,7E+02 ± 2E+02
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,1E+03 ± 7E+01	1,3E+03 ± 5E+01	1,6E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 5E+01	9,3E+02 ± 6E+01	4,1E+03 ± 1E+02	5,2E+03 ± 1E+02	6,2E+03 ± 2E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								

Vzorč. mesto	Gmajnice, obdelana zemlja							
Datum vzor.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	Uteženo povprečje (*)	Uteženo povprečje (*)	
Kol. vzorca (kg)	0,43	0,44	0,46	0,48	0,48			
Kol. (kg/m ²)	75,4	97,0	113,6	110,2	120,7	0-40	0-50	
Oznaka vzorca	K16ZP13A91	K16ZP13B91	K16ZP13C91	K16ZP13D91	K16ZP13E91			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	3,2E+01 ± 5E+00	3,5E+01 ± 4E+00	2,7E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 4E+00	3,2E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 2E+00	3,1E+01 ± 2E+00	
Ra-226	4,2E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 4E+00	3,5E+01 ± 4E+00	4,1E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 2E+00	
Pb-210	9,1E+00	6,9E+00 †	4,6E+01 ± 1E+01	2,1E+01 ± 2E+01 ‡	3,5E+00 ± 3E+01 ‡	2,3E+01 ± 1E+01	1,8E+01 ± 1E+01 x	
Ra-228	3,5E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 5E-01	3,3E+01 ± 5E-01	
Th-228	3,4E+01 ± 9E-01	3,5E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 4E-01	3,3E+01 ± 4E-01	
Th-230			2,6E+01 ± 1E+01			7,5E+00 ± 4E+00	5,7E+00 ± 3E+00	
K-40	4,4E+02 ± 4E+01	4,2E+02 ± 4E+01	4,2E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 4E+01	4,1E+02 ± 2E+01	4,1E+02 ± 2E+01	
Be-7	4,9E+00 ± 2E+00					9,2E-01 ± 4E-01	7,1E-01 ± 3E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,5E+01 ± 9E-01	1,4E+01 ± 5E-01	1,4E+01 ± 1E+00	1,1E+01 ± 4E-01	7,7E+00 ± 5E-01	1,3E+01 ± 4E-01	1,2E+01 ± 3E-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).

(***) 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 2016 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 Vrbinca							
Datum vzor.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzorca (kg/m ²)	0,2	37,6	55,1	57,7	162,1	150,5	+ trava	312,6
Oznaka vzorca	K16ZN2T61	K16ZN2AB61	K16ZN2C61	K16ZN2D61	K16ZN2E61			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	1,8E-01 ± 2E-01 ‡	1,2E+03 ± 2E+02	1,1E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 4E+02	3,7E+03 ± 2E+02	3,7E+03 ± 2E+02	7,3E+03 ± 5E+02
Ra-226	6,1E-01 ± 3E-01	1,2E+03 ± 1E+02	1,6E+03 ± 1E+02	1,8E+03 ± 2E+02	5,4E+03 ± 5E+02	4,6E+03 ± 3E+02	4,6E+03 ± 3E+02	9,9E+03 ± 6E+02
Pb-210	8,0E+00 ± 5E-01	1,9E+03 ± 2E+02	1,2E+03 ± 7E+02	2,1E+03 ± 2E+02	6,1E+03 ± 5E+02	5,2E+03 ± 8E+02	5,2E+03 ± 8E+02	1,1E+04 ± 9E+02
Ra-228	2,0E-01 ± 2E-01 ‡	8,9E+02 ± 4E+01	1,1E+03 ± 3E+01	1,3E+03 ± 4E+01	3,8E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 6E+01	3,3E+03 ± 6E+01	7,1E+03 ± 1E+02
Th-228	2,0E-01 ± 2E-02	9,4E+02 ± 3E+01	1,1E+03 ± 3E+01	1,3E+03 ± 3E+01	3,9E+03 ± 1E+02	3,4E+03 ± 6E+01	3,4E+03 ± 6E+01	7,3E+03 ± 1E+02
Th-230					4,3E+03 ± 2E+03			4,3E+03 ± 2E+03
K-40	1,7E+02 ± 2E+01	1,2E+04 ± 1E+03	1,5E+04 ± 1E+03	1,8E+04 ± 2E+03	4,9E+04 ± 5E+03	4,5E+04 ± 3E+03	4,5E+04 ± 3E+03	9,4E+04 ± 5E+03
Be-7	1,1E+02 ± 8E+00	1,8E+02 ± 7E+01				1,8E+02 ± 7E+01	2,9E+02 ± 7E+01	1,8E+02 ± 7E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	1,1E-01 ± 3E-02	1,0E+02 ± 9E+00	8,5E+01 ± 5E+00	1,8E+02 ± 1E+01	9,4E+02 ± 4E+01	3,7E+02 ± 2E+01	3,7E+02 ± 2E+01	1,3E+03 ± 5E+01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	-----	2,5E+00 †	5,0E+00 †	4,7E+00 †	5,6E+01 ± 1E+01	1,2E+01	1,2E+01	6,8E+01 ± 1E+01 x

Vzorč. mesto	Kusova Vrbinca							
Datum vzor.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje (*)	Uteženo povprečje (*)	
Kol. vzorca (kg)	0,15	0,44	0,52	0,51	0,45			
Kol. (kg/m ²)	0,2	37,6	55,1	57,7	162,1	0-15	0-30	
Oznaka vzorca	K16ZN2T61	K16ZN2AB61	K16ZN2C61	K16ZN2D61	K16ZN2E61			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	8,0E-01 ± 7E-01 ‡	3,1E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 2E+00	2,4E+01 ± 2E+00	2,2E+01 ± 2E+00	2,4E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00	
Ra-226	2,7E+00 ± 1E+00	3,2E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00	
Pb-210	3,5E+01 ± 2E+00	5,1E+01 ± 7E+00	2,1E+01 ± 1E+01	3,6E+01 ± 3E+00	3,8E+01 ± 3E+00	3,4E+01 ± 5E+00	3,6E+01 ± 3E+00	
Ra-228	9,0E-01 ± 7E-01 ‡	2,4E+01 ± 9E-01	2,0E+01 ± 6E-01	2,2E+01 ± 7E-01	2,3E+01 ± 7E-01	2,2E+01 ± 4E-01	2,3E+01 ± 4E-01	
Th-228	8,7E-01 ± 1E-01	2,5E+01 ± 9E-01	2,1E+01 ± 5E-01	2,3E+01 ± 6E-01	2,4E+01 ± 7E-01	2,3E+01 ± 4E-01	2,3E+01 ± 4E-01	
Th-230					2,7E+01 ± 1E+01		1,4E+01 ± 8E+00	
K-40	7,5E+02 ± 9E+01	3,2E+02 ± 3E+01	2,8E+02 ± 3E+01	3,0E+02 ± 3E+01	3,0E+02 ± 3E+01	3,0E+02 ± 2E+01	3,0E+02 ± 2E+01	
Be-7	5,0E+02 ± 4E+01	4,8E+00 ± 2E+00				1,2E+00 ± 4E-01	5,8E-01 ± 2E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	5,0E-01 ± 1E-01	2,7E+00 ± 2E-01	1,5E+00 ± 8E-02	3,2E+00 ± 2E-01	5,8E+00 ± 3E-01	2,5E+00 ± 1E-01	4,2E+00 ± 1E-01	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	-----	6,8E-02 †	9,2E-02 †	8,2E-02 †	3,4E-01 ± 7E-02	8,2E-02	2,2E-01 ± 7E-02 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 2016 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.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m ²)	0,3	49,1	58,2	54,2	159,2	161,6	+ trava	320,7
Oznaka vzorca	K16ZN2T91	K16ZN2AB91	K16ZN2C91	K16ZN2D91	K16ZN2E91			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	2,4E+00 ± 1E+00	9,8E+02 ± 2E+02	1,1E+03 ± 1E+02	1,2E+03 ± 2E+02	4,3E+03 ± 6E+02	3,2E+03 ± 3E+02	3,2E+03 ± 3E+02	7,6E+03 ± 7E+02
Ra-226	8,3E-01 ± 6E-01	1,6E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 2E+02	5,6E+03 ± 5E+02	5,3E+03 ± 3E+02	5,3E+03 ± 3E+02	1,1E+04 ± 6E+02
Pb-210	1,2E+01 ± 2E+00	8,0E+02 ± 1E+03	1,7E+03 ± 2E+02	5,1E+02	1,2E+03	3,0E+03 ± 1E+03	3,0E+03 ± 1E+03	4,2E+03 ± 1E+03
Ra-228	2,6E-01 ± 3E-01	1,2E+03 ± 4E+01	1,3E+03 ± 4E+01	1,4E+03 ± 5E+01	3,9E+03 ± 1E+02	3,9E+03 ± 8E+01	3,9E+03 ± 8E+01	7,8E+03 ± 1E+02
Th-228	4,6E-01 ± 8E-02	1,2E+03 ± 3E+01	1,2E+03 ± 3E+01	1,4E+03 ± 4E+01	3,9E+03 ± 1E+02	3,8E+03 ± 6E+01	3,8E+03 ± 6E+01	7,8E+03 ± 1E+02
Th-230			1,8E+03 ± 1E+03			1,8E+03 ± 1E+03	1,8E+03 ± 1E+03	1,8E+03 ± 1E+03
K-40	2,5E+02 ± 2E+01	1,6E+04 ± 1E+03	1,7E+04 ± 2E+03	1,8E+04 ± 2E+03	4,8E+04 ± 5E+03	5,0E+04 ± 3E+03	5,1E+04 ± 3E+03	9,8E+04 ± 5E+03
Be-7	1,1E+02 ± 4E+00	3,0E+02 ± 4E+01				3,0E+02 ± 4E+01	4,0E+02 ± 4E+01	3,0E+02 ± 4E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,3E-01 ± 5E-02	1,2E+02 ± 7E+00	1,0E+02 ± 8E+00	1,7E+02 ± 1E+01	7,3E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 1E+01	3,9E+02 ± 1E+01	1,1E+03 ± 4E+01
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	-----	3,8E+00	5,8E+00	1,7E+01 ± 3E+00	1,4E+01	2,7E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 3E+00	4,1E+01 ± 3E+00

Vzorč. mesto	Kusova Vrbina							
Datum vzor.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje (*)	Uteženo povprečje (*)	
Kol. vzorca (kg)	0,14	0,45	0,48	0,46	0,47			
Kol. (kg/m ²)	0,3	49,1	58,2	54,2	159,2	0-15	0-30	
Oznaka vzorca	K16ZN2T91	K16ZN2AB91	K16ZN2C91	K16ZN2D91	K16ZN2E91			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	7,7E+00 ± 3E+00	2,0E+01 ± 3E+00	1,9E+01 ± 2E+00	2,1E+01 ± 4E+00	2,7E+01 ± 4E+00	2,0E+01 ± 2E+00	2,4E+01 ± 2E+00	
Ra-226	2,6E+00 ± 2E+00	3,3E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 3E+00	3,6E+01 ± 3E+00	3,5E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 2E+00	3,4E+01 ± 2E+00	
Pb-210	4,0E+01 ± 5E+00	1,6E+01 ± 2E+01	2,8E+01 ± 3E+00	9,3E+00	7,6E+00	1,8E+01 ± 2E+01	1,3E+01 ± 1E+01	
Ra-228	8,4E-01 ± 9E-01	2,5E+01 ± 8E-01	2,2E+01 ± 7E-01	2,6E+01 ± 9E-01	2,5E+01 ± 8E-01	2,4E+01 ± 5E-01	2,4E+01 ± 5E-01	
Th-228	1,5E+00 ± 3E-01	2,5E+01 ± 7E-01	2,1E+01 ± 6E-01	2,6E+01 ± 7E-01	2,5E+01 ± 7E-01	2,4E+01 ± 4E-01	2,4E+01 ± 4E-01	
Th-230			3,1E+01 ± 2E+01			1,1E+01 ± 6E+00	5,6E+00 ± 3E+00	
K-40	8,0E+02 ± 8E+01	3,2E+02 ± 3E+01	2,9E+02 ± 3E+01	3,3E+02 ± 3E+01	3,0E+02 ± 3E+01	3,1E+02 ± 2E+01	3,1E+02 ± 2E+01	
Be-7	3,4E+02 ± 1E+01	6,1E+00 ± 8E-01				1,8E+00 ± 3E-01	9,3E-01 ± 1E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	7,5E-01 ± 2E-01	2,4E+00 ± 1E-01	1,8E+00 ± 1E-01	3,1E+00 ± 2E-01	4,6E+00 ± 2E-01	2,4E+00 ± 9E-02	3,5E+00 ± 1E-01	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	-----	7,8E-02	9,9E-02	3,2E-01 ± 6E-02	8,7E-02	1,7E-01 ± 6E-02	1,3E-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 2016 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.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzorca (kg/m ²)	0,3	34,3	48,7	56,4	189,2	139,4	+ trava	328,6
Oznaka vzorca	K16ZN3T61	K16ZN3AB61	K16ZN3C61	K16ZN3D61	K16ZN3E61			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	1,6E+00 ± 2E+00 ‡	1,1E+03 ± 1E+02	1,4E+03 ± 2E+02	2,0E+03 ± 2E+02	6,2E+03 ± 7E+02	4,6E+03 ± 3E+02	4,6E+03 ± 3E+02	1,1E+04 ± 7E+02
Ra-226	8,9E-01 ± 8E-01 ‡	1,5E+03 ± 1E+02	2,3E+03 ± 2E+02	2,3E+03 ± 2E+02	6,8E+03 ± 6E+02	6,1E+03 ± 3E+02	6,1E+03 ± 3E+02	1,3E+04 ± 7E+02
Pb-210	6,5E+00 ± 2E+00	1,8E+03 ± 1E+03	2,9E+03 ± 3E+02	1,2E+03 ± 8E+02	4,9E+03 ± 8E+02	5,9E+03 ± 1E+03	5,9E+03 ± 1E+03	1,1E+04 ± 2E+03
Ra-228		1,2E+03 ± 4E+01	1,6E+03 ± 5E+01	1,8E+03 ± 5E+01	5,6E+03 ± 2E+02	4,5E+03 ± 8E+01	4,5E+03 ± 8E+01	1,0E+04 ± 2E+02
Th-228	8,5E-02 ± 9E-02 ‡	1,2E+03 ± 3E+01	1,6E+03 ± 5E+01	1,8E+03 ± 4E+01	5,6E+03 ± 2E+02	4,6E+03 ± 7E+01	4,6E+03 ± 7E+01	1,0E+04 ± 2E+02
Th-230					6,2E+03 ± 5E+03 ‡			6,2E+03 ± 5E+03
K-40	1,7E+02 ± 2E+01	1,4E+04 ± 1E+03	1,9E+04 ± 2E+03	2,2E+04 ± 2E+03	7,2E+04 ± 7E+03	5,5E+04 ± 3E+03	5,5E+04 ± 3E+03	1,3E+05 ± 8E+03
Be-7	9,0E+01 ± 4E+00	3,9E+02 ± 1E+02				3,9E+02 ± 1E+02	4,8E+02 ± 1E+02	3,9E+02 ± 1E+02
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,1E-02 ± 8E-02 ‡	8,0E+02 ± 4E+01	1,4E+03 ± 6E+01	1,9E+03 ± 7E+01	2,2E+03 ± 1E+02	4,1E+03 ± 1E+02	4,1E+03 ± 1E+02	6,3E+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 ± 3E+00	3,9E+01 ± 4E+00	5,3E+01 ± 5E+00	1,6E+02 ± 1E+01	1,2E+02 ± 7E+00	1,2E+02 ± 7E+00	2,8E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Amerika							
Datum vzor.	21. 6. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje (*)	Uteženo povprečje (*)	
Kol. vzorca (kg)	0,14	0,38	0,42	0,42	0,49			
Kol. (kg/m ²)	0,3	34,3	48,7	56,4	189,2	0-15	0-30	
Oznaka vzorca	K16ZN3T61	K16ZN3AB61	K16ZN3C61	K16ZN3D61	K16ZN3E61			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	5,8E+00 ± 7E+00 ‡	3,2E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 2E+00	3,3E+01 ± 2E+00
Ra-226	3,2E+00 ± 3E+00 ‡	4,4E+01 ± 4E+00	4,6E+01 ± 5E+00	4,1E+01 ± 4E+00	3,6E+01 ± 3E+00	4,4E+01 ± 2E+00	3,9E+01 ± 2E+00	3,9E+01 ± 2E+00
Pb-210	2,3E+01 ± 7E+00	5,1E+01 ± 3E+01	6,0E+01 ± 5E+00	2,1E+01 ± 1E+01	2,6E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 9E+00	3,3E+01 ± 5E+00	3,3E+01 ± 5E+00
Ra-228		3,4E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 9E-01	3,0E+01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 6E-01	3,1E+01 ± 7E-01	3,1E+01 ± 7E-01
Th-228	3,1E-01 ± 3E-01 ‡	3,5E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 9E-01	3,2E+01 ± 8E-01	3,0E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 5E-01	3,1E+01 ± 6E-01	3,1E+01 ± 6E-01
Th-230					3,3E+01 ± 3E+01 ‡		1,9E+01 ± 2E+01	1,9E+01 ± 2E+01
K-40	6,0E+02 ± 6E+01	4,2E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 4E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 2E+01	3,8E+02 ± 2E+01	3,8E+02 ± 2E+01
Be-7	3,3E+02 ± 1E+01	1,1E+01 ± 3E+00				2,8E+00 ± 7E-01	1,2E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 3E-01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	7,7E-02 ± 3E-01 ‡	2,3E+01 ± 1E+00	2,8E+01 ± 1E+00	3,4E+01 ± 1E+00	1,2E+01 ± 6E-01	2,9E+01 ± 7E-01	1,9E+01 ± 5E-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	-----	7,6E-01 ± 8E-02	7,9E-01 ± 8E-02	9,4E-01 ± 9E-02	8,7E-01 ± 8E-02	8,4E-01 ± 5E-02	8,6E-01 ± 5E-02	8,6E-01 ± 5E-02

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (aprioma 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.

LETO 2016 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.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	0-15	0-15	0-30
Kol. vzor. (kg/m ²)	0,4	32,9	45,5	56,2	183,6	134,6	+ trava	318,3
Oznaka vzorca	K16ZN3T91	K16ZN3AB91	K16ZN3C91	K16ZN3D91	K16ZN3E91			
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ²)							
U-238	1,2E+00 ± 1E+00 ‡	1,0E+03 ± 1E+02	1,3E+03 ± 2E+02	1,7E+03 ± 2E+02	6,0E+03 ± 8E+02	4,0E+03 ± 3E+02	4,0E+03 ± 3E+02	1,0E+04 ± 8E+02
Ra-226	3,9E+00 ± 2E+00	1,4E+03 ± 1E+02	1,9E+03 ± 2E+02	2,4E+03 ± 2E+02	6,0E+03 ± 1E+03	5,6E+03 ± 3E+02	5,6E+03 ± 3E+02	1,2E+04 ± 1E+03
Pb-210	2,9E+01 ± 2E+00	2,4E+03 ± 2E+02	1,6E+03 ± 9E+02	3,0E+03 ± 2E+02	1,7E+03	7,0E+03 ± 1E+03	7,0E+03 ± 1E+03	8,7E+03 ± 1E+03 x
Ra-228	1,5E+00 ± 3E-01	1,1E+03 ± 3E+01	1,4E+03 ± 5E+01	1,8E+03 ± 6E+01	5,7E+03 ± 2E+02	4,3E+03 ± 8E+01	4,3E+03 ± 8E+01	1,0E+04 ± 2E+02
Th-228	1,1E+00 ± 2E-01	1,1E+03 ± 3E+01	1,4E+03 ± 4E+01	1,7E+03 ± 5E+01	6,0E+03 ± 2E+02	4,2E+03 ± 7E+01	4,2E+03 ± 7E+01	1,0E+04 ± 2E+02
Th-230				4,5E+03 ± 1E+03		4,5E+03 ± 1E+03	4,5E+03 ± 1E+03	4,5E+03 ± 1E+03
K-40	1,7E+02 ± 2E+01	1,4E+04 ± 1E+03	1,7E+04 ± 2E+03	2,1E+04 ± 2E+03	7,2E+04 ± 7E+03	5,2E+04 ± 3E+03	5,2E+04 ± 3E+03	1,2E+05 ± 8E+03
Be-7	1,9E+02 ± 7E+00	3,7E+02 ± 5E+01	6,1E+01 ± 5E+01			4,3E+02 ± 7E+01	6,3E+02 ± 7E+01	4,3E+02 ± 7E+01
I-131								
Cs-134								
Cs-137	9,9E-01 ± 9E-02	7,4E+02 ± 4E+01	1,3E+03 ± 1E+02	1,7E+03 ± 6E+01	3,6E+03 ± 1E+02	3,7E+03 ± 1E+02	3,7E+03 ± 1E+02	7,3E+03 ± 2E+02
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	-----	2,0E+01 ± 2E+00	2,9E+01 ± 3E+00	4,1E+01 ± 4E+00	1,7E+02 ± 2E+01	9,1E+01 ± 5E+00	9,1E+01 ± 5E+00	2,6E+02 ± 2E+01

Vzorč. mesto	Amerika							
Datum vzor.	7. 9. 2016							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-5	5-10	10-15	15-30	Uteženo povprečje (*)	Uteženo povprečje (*)	
Kol. vzorca (kg)	0,13	0,38	0,41	0,44	0,48			
Kol. (kg/m ²)	0,4	32,9	45,5	56,2	183,6	0-15	0-30	
Oznaka vzorca	K16ZN3T91	K16ZN3AB91	K16ZN3C91	K16ZN3D91	K16ZN3E91			
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)							
U-238	2,9E+00 ± 3E+00 ‡	3,1E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 3E+00	
Ra-226	9,4E+00 ± 4E+00	4,1E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 4E+00	3,3E+01 ± 5E+00	4,2E+01 ± 2E+00	3,7E+01 ± 3E+00	
Pb-210	6,9E+01 ± 6E+00	7,4E+01 ± 5E+00	3,5E+01 ± 2E+01	5,3E+01 ± 4E+00	9,1E+00	5,2E+01 ± 7E+00	2,7E+01 ± 7E+00 x	
Ra-228	3,6E+00 ± 7E-01	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 1E+00	3,2E+01 ± 6E-01	3,1E+01 ± 7E-01	
Th-228	2,7E+00 ± 5E-01	3,3E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 9E-01	3,0E+01 ± 9E-01	3,3E+01 ± 9E-01	3,1E+01 ± 6E-01	3,2E+01 ± 5E-01	
Th-230				7,9E+01 ± 2E+01		3,3E+01 ± 1E+01	1,4E+01 ± 4E+00	
K-40	4,0E+02 ± 4E+01	4,2E+02 ± 4E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,8E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 4E+01	3,9E+02 ± 2E+01	3,9E+02 ± 2E+01	
Be-7	4,7E+02 ± 2E+01	1,1E+01 ± 2E+00	1,3E+00 ± 1E+00			3,2E+00 ± 5E-01	1,4E+00 ± 2E-01	
I-131								
Cs-134								
Cs-137	2,4E+00 ± 2E-01	2,2E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 2E+00	3,0E+01 ± 1E+00	1,9E+01 ± 7E-01	2,8E+01 ± 9E-01	2,3E+01 ± 6E-01	
Co-58								
Co-60								
Cr-51								
Mn-54								
Zn-65								
Nb-95								
Ru-106								
Sb-125								
Sr-89/Sr-90	-----	6,2E-01 ± 7E-02	6,3E-01 ± 7E-02	7,4E-01 ± 7E-02	9,2E-01 ± 9E-02	6,7E-01 ± 4E-02	8,2E-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.

(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.

HRANILA

10. MLEKO
11. SADJE
12. POVRTNINE IN POLJŠČINE
13. MESO IN KOKOŠJA JAJCA

LETO 2016 T - 61 a
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)	5,29	5,35	5,29	5,37	5,40	5,39	
Oznaka vzorca	MLPE0116	MLPE0216	MLPE0316	MLPE0416	MLPE0516	MLPE0616	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)						
U-238	2,2E-02 ± 2E-02 ‡	5,7E-02 ± 4E-02	2,4E-01 ± 7E-02			7,8E-02 ± 3E-02	6,6E-02 ± 1E-02
Ra-226	2,0E-02 ± 1E-02	3,5E-02 ± 5E-03	1,3E-02 ± 8E-03			3,0E-02 ± 2E-02	1,9E-02 ± 5E-03
Pb-210	7,7E-02 ± 2E-02		1,0E-01 ± 6E-02	1,0E-01 ± 7E-02		4,9E-02 ± 5E-02 ‡	5,4E-02 ± 2E-02
Ra-228	2,6E-02 ± 5E-03		3,5E-02 ± 2E-02				1,0E-02 ± 3E-03
Th-228		1,7E-02 ± 9E-03	2,1E-02 ± 2E-02	2,5E-02 ± 2E-02		3,2E-02 ± 7E-03	1,6E-02 ± 4E-03
Th-230							
K-40	5,1E+01 ± 1E+00	5,3E+01 ± 2E+00	4,7E+01 ± 3E+00	4,9E+01 ± 2E+00	5,0E+01 ± 2E+00	4,4E+01 ± 2E+00	4,9E+01 ± 9E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	6,0E-02 ± 2E-03	5,2E-02 ± 3E-03	6,1E-02 ± 6E-03	5,0E-02 ± 7E-03	3,8E-02 ± 3E-03	1,1E-02 ± 2E-03	4,5E-02 ± 2E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	5,5E-02 ± 6E-03	3,5E-02 ± 5E-03	1,0E-02 ± 4E-03	5,5E-03 ± 4E-03	2,9E-02 ± 7E-03	1,3E-02 ± 4E-03	2,5E-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 2016 T - 61 b
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)	5,40	5,37	5,25	5402,00	5,23	5,36	
Oznaka vzorca	MLPE0716	MLPE0816	MLPE0916	MLPE1016	MLPE1116	MLPE1216	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)						
U-238	9,6E-02 ± 6E-02	4,9E-02 ± 4E-02 ‡	1,2E-01 ± 6E-02			8,1E-02 ± 3E-02	6,2E-02 ± 1E-02
Ra-226	9,4E-03 ± 8E-03 ‡	2,3E-02 ± 1E-02	1,0E-01 ± 7E-03	2,5E-02 ± 4E-03			2,2E-02 ± 3E-03
Pb-210	1,7E-01 ± 6E-02				9,6E-02 ± 5E-02		4,9E-02 ± 1E-02
Ra-228				3,0E-02 ± 2E-02		2,3E-02 ± 7E-03	9,5E-03 ± 2E-03
Th-228		1,7E-02 ± 1E-02				3,1E-02 ± 1E-02	1,2E-02 ± 3E-03
Th-230							
K-40	5,3E+01 ± 3E+00	4,8E+01 ± 2E+00	5,1E+01 ± 3E+00	4,9E+01 ± 3E+00	5,0E+01 ± 3E+00	5,2E+01 ± 2E+00	5,0E+01 ± 7E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,0E-02 ± 4E-03	1,7E-02 ± 3E-03	2,6E-02 ± 5E-03	3,9E-02 ± 4E-03	3,0E-02 ± 4E-03	2,8E-02 ± 3E-03	3,7E-02 ± 1E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	2,4E-02 ± 4E-03	7,5E-03 ± 4E-03	1,5E-02 ± 5E-03	2,6E-02 ± 5E-03	1,9E-02 ± 4E-03	6,4E-02 ± 8E-03	2,5E-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 2016 T - 62 a
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Vihre						
	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	5,22	5,20	5,35	5,49	5,35	5,30	
Kol. vzorca (kg)							
Oznaka vzorca	MLVH0116	MLVH0216	MLVH0316	MLVH0416	MLVH0516	MLVH0616	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)						
U-238		8,1E-03 ± 3E-02 ‡			1,2E-02 ± 2E-02 ‡		3,4E-03 ± 5E-03
Ra-226	1,8E-02 ± 4E-03	3,9E-03 ± 3E-03 ‡		2,6E-02 ± 1E-02	3,3E-03 ± 6E-03 ‡		8,5E-03 ± 3E-03
Pb-210	6,3E-02 ± 4E-02		2,1E-02 ± 2E-02	9,5E-02 ± 7E-02	4,7E-02 ± 3E-02		3,8E-02 ± 1E-02
Ra-228	2,0E-02 ± 1E-02			1,9E-02 ± 1E-02		3,7E-02 ± 2E-02	1,3E-02 ± 4E-03
Th-228		8,1E-03 ± 7E-03 ‡	1,6E-02 ± 5E-03			1,7E-01 ± 6E-02	3,2E-02 ± 1E-02
Th-230							
K-40	5,2E+01 ± 1E+00	4,3E+01 ± 2E+00	4,9E+01 ± 3E+00	4,1E+01 ± 2E+00	4,4E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 2E+00	4,5E+01 ± 9E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	3,2E-02 ± 3E-03	2,8E-02 ± 3E-03	2,4E-02 ± 2E-03	1,3E-02 ± 3E-03	7,4E-03 ± 2E-03	8,0E-03 †	1,9E-02 ± 4E-03 x
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,9E-03 †	2,8E-02 ± 5E-03	3,4E-02 ± 5E-03	3,2E-02 ± 5E-03	2,8E-02 ± 5E-03	4,0E-02 ± 6E-03	2,7E-02 ± 5E-03 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) 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 2016 T - 62 b
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Vihre						
	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	5,27	5,25	5,20	5,27	5,31	5,29	
Kol. vzorca (kg)							
Oznaka vzorca	MLVH0716	MLVH0816	MLVH0916	MLVH1016	MLVH1116	MLVH1216	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)						
U-238		2,1E-02 ± 1E-02	1,9E-02 ± 9E-03	4,5E-02 ± 7E-03	4,9E-02 ± 4E-02 ‡	2,6E-02 ± 2E-02	7,9E-03 ± 5E-03
Ra-226	1,2E-02 ± 8E-03		5,4E-02 ± 5E-02 ‡	1,4E-02 ± 8E-03	1,4E-02 ± 8E-03		1,4E-02 ± 2E-03
Pb-210	1,1E-01 ± 8E-02			5,7E-02 ± 7E-02 ‡	2,9E-02 ± 4E-02 ‡	8,0E-02 ± 2E-02	4,6E-02 ± 1E-02
Ra-228	2,8E-02 ± 2E-02	3,0E-01 ± 9E-02		4,0E-02 ± 2E-02	4,0E-02 ± 2E-02		3,7E-02 ± 8E-03
Th-228			3,3E-02 ± 2E-02	3,5E-02 ± 1E-02			2,2E-02 ± 5E-03
Th-230							
K-40	5,6E+01 ± 3E+00	5,3E+01 ± 3E+00	4,5E+01 ± 2E+00	4,9E+01 ± 2E+00	4,1E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 2E+00	4,6E+01 ± 7E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	5,0E-03 †	5,0E-02 ± 7E-03	9,8E-03 †	7,8E-03 †	1,6E-02 ± 4E-03	2,0E-02 ± 2E-03	1,8E-02 ± 4E-03 x
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	1,5E-02 ± 6E-03	3,2E-03 ± 6E-03 ‡	2,2E-02 ± 6E-03	2,6E-02 ± 5E-03	2,5E-02 ± 5E-03	4,2E-02 ± 7E-03	2,5E-02 ± 4E-03 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) 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 2016 T - 63 a
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Breg						
	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)
Datum vzor.	5,14	5,40	5,45	5,38	5,40	5,35	
Kol. vzorca (kg)							
Oznaka vzorca	MLBG0116	MLBG0216	MLBG0316	MLBG0416	MLBG0516	MLBG0616	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)						
U-238	1,0E-02 ± 1E-02 ‡	4,4E-01 ± 7E-02	8,5E-03 ± 4E-03	1,9E-02 ± 6E-03	3,4E-02 ± 2E-02	1,0E-02 ± 3E-03	7,5E-02 ± 1E-02
Ra-226							
Pb-210	2,7E-02 ± 2E-02	7,9E-01 ± 8E-02	3,9E-02 ± 3E-02	1,1E-01 ± 5E-02	1,0E-01 ± 7E-02	6,6E-02 ± 2E-02	1,2E-02 ± 3E-03
Ra-228		5,9E-02 ± 2E-02		2,9E-02 ± 2E-02 ‡		1,6E-02 ± 5E-03	1,9E-01 ± 2E-02
Th-228		3,8E-02 ± 2E-02			3,4E-02 ± 1E-02		1,7E-02 ± 5E-03
Th-230							1,2E-02 ± 3E-03
K-40	4,4E+01 ± 1E+00	4,1E+01 ± 2E+00	5,3E+01 ± 3E+00	4,6E+01 ± 2E+00	5,1E+01 ± 2E+00	4,2E+01 ± 2E+00	4,6E+01 ± 9E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,0E-02 ± 2E-03	2,1E-02 ± 5E-03	2,9E-02 ± 3E-03	1,0E-02 ± 3E-03	1,6E-02 ± 4E-03	2,8E-02 ± 2E-03	2,1E-02 ± 1E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	7,0E-02 ± 5E-03	1,6E-02 ± 4E-03	2,0E-02 ± 4E-03	8,9E-04 †	1,9E-02 ± 4E-03	1,3E-02 ± 4E-03	2,3E-02 ± 1E-02 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) 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 2016 T - 63 b
10. MLEKO – sestavljeni mesečni vzorci (VLG, Sr-90)



Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Breg						
	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December	Mesečno povprečje (za celo leto) (*)
Datum vzor.	4,96	4,42	5,35	5,25	4,65	5,46	
Kol. vzorca (kg)							
Oznaka vzorca	MLBG0716	MLBG0816	MLBG0916	MLBG1016	MLBG1116	MLBG1216	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)						
U-238		1,7E-02 ± 6E-03	1,3E-02 ± 4E-03	3,7E-02 ± 2E-02	5,6E-02 ± 7E-03	1,6E-02 ± 5E-03	3,8E-02 ± 6E-03
Ra-226				1,8E-02 ± 6E-02 ‡	5,9E-02 ± 7E-02 ‡	8,8E-02 ± 6E-02	1,8E-02 ± 2E-03
Pb-210							1,1E-01 ± 1E-02
Ra-228		4,0E-02 ± 3E-02 ‡	2,5E-02 ± 6E-03	4,3E-02 ± 2E-02		4,7E-02 ± 2E-02	2,2E-02 ± 4E-03
Th-228				2,9E-02 ± 2E-02	2,7E-02 ± 1E-02		1,1E-02 ± 2E-03
Th-230							
K-40	2,9E+01 ± 2E+00	3,2E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00	3,0E+01 ± 2E+00	5,0E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00	4,0E+01 ± 6E-01
Be-7							
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,4E-02 ± 4E-03	2,4E-02 ± 4E-03	1,5E-02 ± 3E-03	2,8E-02 ± 6E-03	2,0E-02 ± 4E-03	2,4E-02 ± 4E-03	2,2E-02 ± 1E-03
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-90	7,7E-02 ± 3E-03	1,5E-02 ± 4E-03	1,7E-02 ± 5E-03	2,4E-02 ± 6E-03	2,2E-02 ± 5E-03	1,9E-02 ± 5E-03	2,6E-02 ± 7E-03 x

(*) Število, ki sledi znaku ±, je negotovost povprečja (apriorna negotovost).

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) 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 2016 T - 64
10. MLEKO – enkratni vzorci (I-131)



Specifična analiza I-131

Datum vzorčenja	Datum meritve	Vzorčevalno mesto		
		Pesje	Vihre	Brege
		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI I-131 [Bq/L] #		
1. 6. 2016	2. 6. 2016	< 7,32E-3	< 6,56E-3	< 6,57E-3
15. 6. 2016	16. 6. 2016	< 7,55E-3	< 7,41E-3	< 7,63E-3
1. 8. 2016	2. 8. 2016	< 6,81E-3	< 7,63E-3	< 6,15E-3
11. 8. 2016	12. 8. 2016	< 6,73E-3	< 7,52E-3	< 6,32E-3
1. 9. 2016	2. 9. 2016	< 9,15E-3	< 6,74E-3	< 4,80E-3
14. 9. 2016	15. 9. 2016	< 5,41E-3	< 6,28E-3	< 4,66E-3
3. 10. 2016	4. 10. 2016	< 6,59E-3	< 7,20E-3	< 5,07E-3
19. 10. 2016	20. 10. 2016	< 6,35E-3	< 7,05E-3	< 5,41E-3

LETO 2016 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 - sadovnjak okoli NEK	Evrosad Krško - sadovnjak okoli NEK	Povprečje - jabolka (*)
Vrsta vzorca	Jabolka	Jabolka	Jabolka	Jabolka	
Datum vzor.	27. 9. 2016	27. 9. 2016	27. 9. 2016	27. 9. 2016	
Kol. vzorca (kg)	0,33	0,45	0,32	0,42	
Odstotek suhe snovi	15,30	13,00	14,10	13,90	
Oznaka vzorca	K16HSJB191	K16HSJB591	K16HSJB691	K16HSJB791	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)				
U-238	1,2E-01 ± 8E-02	8,8E-02 ± 1E-01 ‡	7,2E-02 ± 2E-01 ‡	7,8E-02 ± 6E-02	8,9E-02 ± 6E-02
Ra-226					
Pb-210	2,5E-02 †	1,1E-01 †	1,5E-01 †	1,9E-02 †	7,4E-02 ± 3E-02 x
Ra-228		2,6E-02 ± 4E-02 ‡	4,8E-03 ± 5E-02 ‡		7,6E-03 ± 2E-02
Th-228	2,1E-02 ± 1E-02	2,0E-02 ± 1E-02	2,5E-02 ± 2E-02	1,3E-03 ± 8E-03 ‡	1,7E-02 ± 6E-03
Th-230					
K-40	3,5E+01 ± 4E+00	3,9E+01 ± 4E+00	3,0E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 3E+00	3,4E+01 ± 2E+00
Be-7	6,6E-01 ± 2E-01	3,1E-01 ± 8E-02	2,3E-01 ± 1E-01	1,5E-01 ± 1E-01	3,4E-01 ± 7E-02
I-131					
Cs-134					
Cs-137		1,2E-03 ± 1E-02 ‡			2,9E-04 ± 3E-03
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-89/Sr-90	2,1E-03 †	1,4E-03 †	2,2E-03 †	1,5E-03 †	1,8E-03 ± 2E-04 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 2016 T - 66
11. HRANILA – SADJE - hruške

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89

Vzorč. mesto	Evrosad Krško	Evrosad Krško	Povprečje - hruške (*)	
Vrsta vzorca	Hruške pachams	Hruške viljamovka		
Datum vzor.	27. 9. 2016	27. 9. 2016		
Kol. vzorca (kg)	0,46	0,53		
Odstotek suhe snovi	19,40	16,70		
Oznaka vzorca	K16HSHR191	K16HSHR691		
IZOTOP				
SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)				
U-238	1,9E-01 ± 3E-01 ‡	3,6E-02 ± 5E-02 ‡	1,1E-01 ± 1E-01	
Ra-226	1,4E-01 ± 8E-02 ‡	2,3E-02 ± 2E-02 ‡	8,1E-02 ± 4E-02	
Pb-210	3,4E-01 †	1,9E-02 †	1,8E-01 ± 2E-01 x	
Ra-228				
Th-228	5,1E-02 ± 2E-02	1,1E-02 ± 7E-03	3,1E-02 ± 1E-02	
Th-230				
K-40	5,8E+01 ± 6E+00	4,3E+01 ± 4E+00	5,0E+01 ± 4E+00	
Be-7	5,2E-01 ± 3E-01	3,9E-01 ± 1E-01	4,6E-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-89/Sr-90	2,4E-02 ± 3E-03	1,5E-02 ± 2E-03	1,9E-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.

(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 2016 T - 67
11. HRANILA – SADJE - jagode

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Spodnja Pohanca	Zgornja Pohanca	Povprečje - jagode (*)	
Vrsta vzorca	Jagode	Jagode		
Datum vzor.	26. 5. 2016	26. 5. 2016		
Kol. vzorca (kg)	0,27	0,15		
Odstotek suhe snovi	5,10	3,80		
Oznaka vzorca	K16HSJG2151	K16HSJG2251		
IZOTOP				
SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)				
U-238	4,8E-02 ± 7E-02 ‡	2,7E-02 ± 3E-02 ‡	3,8E-02 ± 4E-02	
Ra-226	2,5E-03 ± 3E-02 ‡	1,9E-02 ± 1E-02 ‡	1,1E-02 ± 2E-02	
Pb-210	6,4E-02 ± 1E-01 ‡	8,2E-03 †	3,6E-02 ± 3E-02 x	
Ra-228	4,4E-02 ± 2E-02		2,2E-02 ± 1E-02	
Th-228	9,1E-04 ± 6E-03 ‡		4,5E-04 ± 3E-03	
Th-230				
K-40	2,7E+01 ± 3E+00	3,3E+01 ± 3E+00	3,0E+01 ± 2E+00	
Be-7	5,9E-01 ± 7E-02		2,9E-01 ± 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	6,6E-02 ± 4E-03	2,1E-02 ± 2E-03	4,3E-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.

(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 2016 T - 68
11. HRANILA – SADJE – rdeče in belo vino ter bezeg

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Libna	Libna	Vrbina
Vrsta vzorca	Grozdje - rdeče	Grozdje - belo	Bezeg
Datum vzor.	15. 9. 2016	15. 9. 2016	16. 8. 2016
Kol. vzorca (kg)	0,52	0,57	0,15
Odstotek suhe snovi	22,20	23,20	45,80
Oznaka vzorca	K16HSGR191	K16HSGR291	K16HSBZ381
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)		
U-238	1,8E-01 ± 2E-01 ‡	1,4E-01 ± 2E-01 ‡	1,2E+00 ± 1E+00 ‡
Ra-226		4,6E-02 ± 6E-02 ‡	6,1E-01 ± 5E-01
Pb-210	5,9E-01 ± 6E-01 ‡	1,9E-01 †	3,0E+00 ± 2E+00
Ra-228		3,3E-02 ± 6E-02 ‡	2,6E-01 ± 2E-01 ‡
Th-228	2,6E-02 ± 2E-02	9,6E-02 ± 2E-02	2,2E-01 ± 9E-02
Th-230			
K-40	7,4E+01 ± 7E+00	8,2E+01 ± 8E+00	1,9E+02 ± 1E+01
Be-7	4,6E-01 ± 2E-01	9,1E-01 ± 2E-01	1,9E+01 ± 8E-01
I-131			
Cs-134			
Cs-137			7,5E-02 ± 9E-02 ‡
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Sr-89/Sr-90	5,1E-02 ± 4E-03	5,0E-02 ± 3E-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 2016 T - 69
12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE - solata, čebula, peteršilj, kumare

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Vihre	Pesje	Pesje	Vrbina
Vrsta vzorca	solata	čebula	peteršilj	kumare
Datum vzor.	15. 6. 2016	15. 6. 2016	30. 7. 2016	30. 7. 2016
Oznaka vzorca	SZNEK010616	SZNEK020616	SZNEK030716	SZNEK040716
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)			
U-238	3,6E-02 ± 3E-02	1,2E-01 ± 9E-02	1,5E-01 ± 1E-01	
Ra-226	6,6E-02 ± 3E-03	8,3E-02 ± 1E-02	1,5E-01 ± 2E-02	1,7E-02 ± 7E-03
Pb-210	4,8E-01 ± 5E-02	7,7E-02 ± 7E-02 ‡	3,5E-01 ± 1E-01	
Ra-228	1,1E-01 ± 9E-03	6,7E-02 ± 2E-02	3,3E-01 ± 4E-02	
Th-228	6,3E-02 ± 9E-03	4,0E-02 ± 2E-02	1,0E-01 ± 3E-02	
Th-230				
K-40	6,8E+01 ± 4E+00	5,9E+01 ± 3E+00	3,2E+02 ± 2E+01	6,4E+01 ± 3E+00
Be-7	4,5E+00 ± 1E-01	5,8E-01 ± 5E-02	2,2E+00 ± 1E-01	
I-131				
Cs-134				
Cs-137	2,9E-02 ± 3E-03	7,4E-03 ± 1E-02 ‡	1,4E-02 ± 2E-02 ‡	3,9E-02 ± 5E-03
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	8,1E-02 ± 1E-02	2,4E-01 ± 2E-02	7,4E-01 ± 7E-02	5,9E-02 ± 9E-03

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

LETO 2016 T - 70

12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – bučke, rdeča pesa, stročji fižol, korenje

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Žadovinek	Vhre	Brege	Vihre
Vrsta vzorca	bučke	rdeča pesa	stročji fižol	korenje
Datum vzor.	30. 7. 2016	30. 7. 2016	30. 7. 2016	30. 7. 2016
Oznaka vzorca	SZNEK050716	SZNEK060716	SZNEK070716	SZNEK080716
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)			
U-238			1,8E-01 ± 1E-01	
Ra-226	3,7E-02 ± 7E-03	3,4E-02 ± 5E-03	8,4E-02 ± 2E-02	7,5E-02 ± 2E-02
Pb-210	9,1E-02 ± 6E-02		2,8E-01 ± 1E-01	
Ra-228	4,0E-02 ± 2E-02	7,0E-02 ± 1E-02	6,9E-02 ± 3E-02	5,6E-02 ± 5E-02 ‡
Th-228		5,7E-02 ± 1E-02		
Th-230				
K-40	8,0E+01 ± 4E+00	1,4E+02 ± 8E+00	1,0E+02 ± 6E+00	9,2E+01 ± 5E+00
Be-7		1,6E-01 ± 2E-02		
I-131				
Cs-134				
Cs-137	3,5E-02 ± 5E-03	7,0E-03 †	2,1E-02 †	3,0E-02 †
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	5,5E-02 ± 2E-02	1,7E-01 ± 2E-02	5,6E-02 ± 2E-02	6,6E-01 ± 7E-02

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.

LETO 2016 T - 71

12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – krompir, paradižnik, melancani, zelje

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Pesje	Spodnji Stari Grad	Spodnji Grad	Žadovinek
Vrsta vzorca	krompir	paradižnik	malancani	zelje
Datum vzor.	30. 7. 2016	27. 8. 2016	27. 8. 2016	27. 8. 2016
Oznaka vzorca	SZNEK090716	SZNEK100816	SZNEK110816	SZNEK120816
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)			
U-238			1,1E-01 ± 8E-02	
Ra-226	1,8E-02 ± 8E-03		3,1E-02 ± 1E-02	1,2E-02 ± 3E-03
Pb-210			1,7E-02 ± 7E-02 ‡	
Ra-228	1,1E-01 ± 2E-02	3,7E-02 ± 3E-02		
Th-228		3,0E-02 ± 2E-02		1,6E-02 ± 7E-03
Th-230				
K-40	1,6E+02 ± 8E+00	6,3E+01 ± 3E+00	7,2E+01 ± 4E+00	4,0E+01 ± 8E-01
Be-7	1,3E-01 ± 4E-02		1,6E-01 ± 4E-02	
I-131				
Cs-134				
Cs-137	3,5E-02 ± 6E-03	1,4E-02 †	1,1E-02 †	3,3E-03 †
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	3,8E-02 ± 1E-02	4,1E-03 †	4,5E-02 ± 2E-02	6,2E-02 ± 8E-03

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.

LETO 2016 T - 72

12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – paprika, feferoni, radič, črna redkev

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Brege	Brege	Vihre	Pesje
Vrsta vzorca	paprika		radič	
Datum vzor.	27. 8. 2016		14. 9. 2016	
Oznaka vzorca	SZNEK130816		SZNEK150916	
	SZNEK140816		SZNEK160916	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)			
U-238				5,6E-02 ± 3E-02
Ra-226	2,0E-02 ± 9E-03	1,4E-02 ± 9E-03	7,5E-02 ± 5E-02	6,4E-03 ± 4E-03
Pb-210		1,9E-01 ± 6E-02	5,5E-02 ± 4E-02	4,8E-02 ± 3E-02
Ra-228	3,2E-02 ± 2E-02	3,1E-02 ± 7E-03		4,6E-02 ± 1E-02
Th-228	2,7E-02 ± 2E-02	3,0E-02 ± 2E-02	4,7E-02 ± 2E-02	2,0E-02 ± 5E-03
Th-230				
K-40	5,5E+01 ± 3E+00	1,1E+02 ± 6E+00	7,4E+01 ± 4E+00	1,2E+02 ± 6E+00
Be-7	4,4E-01 ± 4E-02	1,3E+00 ± 8E-02	2,7E-01 ± 4E-02	2,7E-02 ± 1E-02
I-131				
Cs-134				
Cs-137	9,5E-03 †	1,2E-02 †	2,4E-02 ± 5E-03	1,4E-01 ± 5E-03
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	1,7E-01 ± 2E-02	7,4E-03 †	8,2E-02 ± 9E-03	1,2E-01 ± 2E-02

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.

LETO 2016 T - 73

12. HRANILA – POVRTNINE IN POLJŠČINE – kuruza, pšenica, ječmen, fižol v zrnju

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90

Vzorč. mesto	Vrbina	Žadovinek	Stari Grad	Trnje
Vrsta vzorca	koruza		ječmen	
Datum vzor.	14. 9. 2016		14. 9. 2016	
Oznaka vzorca	SZNEK170916		SZNEK190916	
	SZNEK180916		SZNEK201016	
	SZNEK180916		SZNEK201016	
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)			
U-238	4,2E-02 ± 7E-02 ‡	1,9E-01 ± 2E-01 ‡		
Ra-226	4,0E-01 ± 2E-02	1,8E-01 ± 3E-02	7,0E-02 ± 2E-02	1,2E-01 ± 2E-02
Pb-210	3,0E-01 ± 7E-02	4,7E-01 ± 2E-01	1,7E+00 ± 3E-01	2,8E-01 ± 2E-01 ‡
Ra-228		1,6E-01 ± 6E-02	2,6E-01 ± 5E-02	1,7E-01 ± 7E-02
Th-228	1,0E-01 ± 2E-02	1,6E-01 ± 6E-02	1,2E-01 ± 5E-02	
Th-230				
K-40	1,1E+02 ± 6E+00	1,1E+02 ± 6E+00	1,5E+02 ± 7E+00	4,4E+02 ± 3E+01
Be-7	2,6E-01 ± 4E-02	1,2E+00 ± 2E-01	1,2E+01 ± 5E-01	
I-131				
Cs-134				
Cs-137	4,1E-02 ± 7E-03	7,5E-02 ± 2E-02	2,8E-02 †	2,8E-02 †
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-90	1,1E-02 †	6,8E-01 ± 8E-02	2,3E-01 ± 4E-02	1,5E-01 ± 4E-02

(**) Izhajanje radona iz posodice pri izračunu aktivnosti ni upoštevano.

(‡) Rezultat meritve je pod mejo kvantifikacije.

(†) Rezultat meritve je pod mejo detekcije.

LETO 2016 T - 74
13. HRANILA – KOKOŠJE MESO IN JAJCA

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad (Turnšek)	Vrbina		Spodnji Stari Grad (Turnšek)
Vrsta vzorca	Kokošja jajca	Kokošja jajca	Povprečje - jajca (*)	Kokošje meso
Datum vzor.	9. 2. 2016	25. 4. 2016		9. 2. 2016
Kol. vzorca (kg)	0,25	0,26		0,19
Odstotek suhe snovi	24,00	26,90		27,10
Oznaka vzorca	K16HJ121	K16HJ341		K16HMK121
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)			
U-238	2,2E-01 ± 3E-01 ‡	1,6E-01 ± 3E-01 ‡	1,9E-01 ± 2E-01	4,8E-01 ± 2E-01
Ra-226	1,3E-01 ± 1E-01 ‡		6,4E-02 ± 6E-02	
Pb-210	5,3E-01 ± 6E-01 ‡	3,4E-01 †	4,4E-01 ± 1E-01 x	6,2E-02 †
Ra-228	7,3E-02 ± 8E-02 ‡	1,4E-01 ± 8E-02	1,1E-01 ± 6E-02	
Th-228	9,0E-02 ± 3E-02	2,9E-02 ± 3E-02 ‡	6,0E-02 ± 2E-02	
Th-230				
K-40	4,0E+01 ± 4E+00	4,2E+01 ± 4E+00	4,1E+01 ± 3E+00	9,1E+01 ± 9E+00
Be-7				
I-131				
Cs-134				
Cs-137	5,0E-02 ± 2E-02	5,8E-03 ± 3E-02 ‡	2,8E-02 ± 2E-02	3,9E-02 ± 2E-02
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-89/Sr-90	4,3E-03 †	4,4E-03 †	4,3E-03 ± 9E-05 x	6,9E-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 2016 T - 75
13. HRANILA – SVINJSKO, GOVEJE IN DIVJAČINSKO MESO

Izotopska analiza sevalcev gama in specifična analiza Sr-90/Sr-89 (**)

Vzorč. mesto	Spodnji Stari Grad (Turnšek)	Brege (Škoflanc)		Leskovec	Leskovec
Vrsta vzorca	Svinjsko meso	Svinjsko meso	Povprečje - svinjsko meso (*)	Goveje meso	Divjačinsko meso
Datum vzor.	9. 2. 2016	16. 2. 2016		16. 3. 2016	1. 3. 2016
Kol. vzorca (kg)	0,33	0,36		0,30	0,28
Odstotek suhe snovi	29,00	27,50		27,20	27,80
Oznaka vzorca	K16HMS121	K16HMS221		K16HMG331	K16HMD331
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST V SVEŽI SNOVI (Bq/kg)				
U-238	7,5E-01 ± 3E-01 ‡	1,3E-01 ± 2E-01 ‡	4,4E-01 ± 2E-01	7,7E-01 ± 9E-01 ‡	
Ra-226	1,2E-01 ± 2E-01 ‡	1,4E-01 ± 1E-01	1,3E-01 ± 1E-01	7,4E-02 ± 7E-02 ‡	
Pb-210	5,9E-01 ± 7E-01 ‡	2,9E-01 †	4,4E-01 ± 1E-01 x	5,1E-02 †	3,0E-02 †
Ra-228	1,1E-02 ± 3E-02 ‡		5,4E-03 ± 2E-02		
Th-228	2,5E-02 ± 3E-02 ‡	4,6E-02 ± 5E-02 ‡	3,5E-02 ± 3E-02		
Th-230	1,0E+00 ± 3E+00 ‡		5,1E-01 ± 2E+00		
K-40	1,2E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 7E+00	1,1E+02 ± 1E+01	1,1E+02 ± 1E+01
Be-7		1,2E-01 ± 2E-01 ‡	6,1E-02 ± 9E-02		
I-131					
Cs-134					
Cs-137	2,8E-01 ± 3E-02	1,2E-01 ± 2E-02	2,0E-01 ± 2E-02	9,9E-02 ± 3E-02	6,8E-02 ± 1E-02
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					
Sr-89/Sr-90	4,0E-03 †	3,2E-03 †	3,6E-03 ± 4E-04 x	4,4E-03 †	4,8E-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.

**TABELE
REZULTATOV
PRIMERJALNIH MERITEV**

REZULTATI PREVERJANJA

IAEA-TEL-2016-03 World-wide open proficiency test on the determination of natural and artificial radionuclides in water, clover and spruce needles samples, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory

V maju 2016 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 2 vzorca umetno kontaminirane vode, vzorec deteljice in vzorec smrekovih iglic za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je IJS, Odsek F-2, sodeloval pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama, IRB pa pri določitvi sevalcev gama in Sr-90 v dveh vzorcih vode ter v vzorcu smrekovih iglic. Končne individualne rezultate je IJS, Odsek F-2, prejel oktobra 2016 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 207 (IJS, Odsek F-2) for the Proficiency Test IAEA-TEL-2016-03, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2016*], IRB pa ravno tako oktobra 2016 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 38 (IRB) for the World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL-2016-03, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2016*].

V naslednjih tabelah so zbrani rezultati analiz IJS, Odsek F-2 (koda laboratorija 207), in IRB (koda laboratorija 38) ter primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec smrekovih iglic št. 4 je realen vzorec iz okolice Seibersdorfa, vzorčevan kmalu po nesreči v Černobilu. Rezultati meritev Pb-210 in Ra-226 v tem vzorcu so primerjani s povprečnimi vrednostmi sodelujočih laboratorijev (Robust Mean in Robust Standard Deviation). Vzorec deteljice je bil referenčni in je imel vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za ta vzorec. u-test in relativne odmike za ta vzorec smo določili sami.

Izračun povprečnih vrednosti in meril za primerjavo drugih rezultatov (Z-test):

Robust Mean: $x^* = \text{median of } x_i (i= 1, 2 \dots p)$, robust standard deviation $s^* = 1,483 * \text{median of } |x_i - x^*|$

Z-test: $z = (\text{Reported-Value} - \text{TargetValue})/s^*$

Z-test: $z < 2$: acceptable, $2 \leq z \leq 3$: warning, $z > 3$: not acceptable

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

IAEA-TEL-2016-03 Sample 1, Spiked Water analize IJS, opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 207	Rel. Bias %	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	19,9 ± 0,6	19,1 ± 0,6	-4,02	-0,94	-0,80	A
Cs-137	39,6 ± 1	38,6 ± 1,2	-2,53	-0,64	-0,67	A
Na-22	53,2 ± 1,5	50,4 ± 1,5	-5,26	-1,32	-0,80	A

IAEA-TEL-2016-03
Sample 2, Spiked Water

analize IJS, opravljene *avgusta in septembra 2016*, individualni rezultati objavljeni *oktobra 2016*

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 207	Rel. Bias %	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	26,7 ± 0,7	24,4 ± 1,2	-8,61	-1,66	-1,21	A

IAEA-TEL-2016-03
Sample 4, Spruce Needles

analize IJS, opravljene *avgusta in septembra 2016*, individualni rezultati objavljeni *oktobra 2016*

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 207	Rel. Bias %	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-137	209 ± 11	195 ± 6	-6,70	-1,12	-0,82	A
K-40	216 ± 13	196 ± 9	-9,26	-1,26	-0,87	A
Pb-210	19,7 ± 3,63	22,5 ± 5	14,2	0,45	0,77	A
Ra-226	-	14,5 ± 2,9	-	-	-	-

IAEA-TEL-2016-03
Sample 3, Spiked Clover, QC sample

analize IJS, opravljene *avgusta in septembra 2016*, individualni rezultati objavljeni *oktobra 2016*

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 207	Rel. Bias %	<i>u</i> -test	Final score
	(Bq/kg)				
Na-22	180 ± 6	179 ± 6	0,56	0,12	A
Mn-54	171 ± 5	175 ± 6	-2,34	-0,51	A
Zn-65	496 ± 20	492 ± 15	0,81	0,16	A
Cs-134	124 ± 5	122 ± 6	1,61	0,26	A
Cs-137	177 ± 10	181 ± 6	-2,26	-0,34	A
Am-241	205 ± 8	196 ± 7	4,39	0,85	A

REZULTATI IRB:

IAEA-TEL-2016-03						
Sample 1, Spiked Water						
analize IRB, opravljene <i>od maja do septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IRB Lab. No. 17	Rel. Bias (%)	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	19,9 ± 0,6	19,5 ± 1,2	-2,01	-0,30	-0,40	A
Cs-137	39,6 ± 1	39,9 ± 2,2	0,76	0,12	0,20	A
Sr-90	14,7 ± 0,5	15,0 ± 0,6	2,04	0,38	0,19	A
Na-22	53,2 ± 1,5	49,5 ± 2,8	-6,59	-1,16	-1,06	A

IAEA-TEL-2016-03						
Sample 2, Spiked Water						
analize IRB, opravljene <i>od maja do septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IRB Lab. No. 17	Rel. Bias (%)	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	26,7 ± 0,7	27,6 ± 1,7	3,37	0,49	0,47	A
Sr-89	373 ± 15	407,0 ± 20,3	9,12	1,35	0,47	A
Sr-90	20,5 ± 0,5	18,8 ± 0,9	-8,29	-1,65	-0,55	A

IAEA-TEL-2016-03						
Sample 4, Spruce Needles						
analize IRB, opravljene <i>od maja do septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IRB Lab. No. 17	Rel. Bias (%)	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-137	209 ± 11	213,2 ± 11,1	2,01	0,49	0,25	A
K-40	216 ± 13	221,3 ± 19,5	2,45	1,35	0,23	A
Sr-90	17 ± 2	11,6 ± 1,2	-31,76	-2,32	-2,32	N

REZULTATI PREVERJANJA

IAEA ALMERA proficiency test on the determination of natural and artificial radionuclides in water, clover and spruce needles samples, IAEA-TEL-2016-04 ALMERA, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory

V maju 2016 je Terrestrial Environment Laboratory z IAEA razposlal 2 vzorca umetno kontaminirane vode, vzorec deteljice in vzorec smrekovih iglic za določanje vsebnosti naravnih in umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je IJS, Odsek F-2, sodeloval pri določitvi sevalcev gama z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Končne individualne rezultate smo prejeli oktobra 2016 [*Individual Evaluation Report for Laboratory No. 35 (IJS, Odsek F-2) for the ALMERA Proficiency Test IAEA-TEL-2016-04, IAEA, Terrestrial Environment Laboratory, S. Tarjan, Seibersdorf, October 2016*].

V tabelah v prilogi 1 so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 35 za Odsek F-2) in primerjave rezultatov z referenčnimi vrednostmi IAEA. Vzorec smrekovih iglic št. 4 je realen vzorec iz okolice Seibersdorfa, vzorčen kmalu po nesreči v Černobilu. Rezultati meritev Pb-210 v tem vzorcu so primerjani s povprečnimi vrednostmi sodelujočih laboratorijev (Robust Mean in Robust Standard Deviation). Vzorec deteljice je bil referenčni in je imel vnaprej podane vrednosti za vse radionuklide, zato v individualnem poročilu ni rezultatov za ta vzorec. u-test in relativne odmike za ta vzorec smo določili sami.

Izračun povprečnih vrednosti in meril za primerjavo drugih rezultatov (Z-test):

Robust Mean: $x^* = \text{median of } x_i (i = 1, 2 \dots p)$, robust standard deviation $s^* = 1,483 * \text{median of } |x_i - x^*|$

Z-test: $z = (\text{Reported-Value} - \text{TargetValue})/s^*$

Z-test: $z < 2$: acceptable, $2 \leq z \leq 3$: warning, $z > 3$: not acceptable

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

IAEA-TEL-2016-04						
Sample 01, Spiked Water						
analize IJS, opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-134	19,9 ± 0,6	18,8 ± 0,6	-5,53	-1,30	-1,10	A
Cs-137	39,6 ± 1	37,8 ± 1,2	-4,55	-1,15	-1,20	A
Na-22	53,2 ± 1,5	49,7 ± 1,5	-6,58	-1,65	-1,00	A

IAEA-TEL-2016-04						
Sample 02, Spiked Water						
analize IJS, opravljene <i>avgusta in septembra 2016</i> , individualni rezultati objavljeni <i>oktobra 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	u-test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Am-241	26,7 ± 0,7	25,2 ± 0,8	-5,62	-1,41	-0,79	A

IAEA-TEL-2016-04
Sample 04, Spruce Needles

analize IJS, opravljene *avgusta in septembra 2016*, individualni rezultati objavljeni *oktobra 2016*

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	<i>u</i> -test	Z-score	Final score
	(Bq/kg)					
Cs-137	209 ± 11	200 ± 6	-4,31	-0,72	-0,53	A
K-40	216 ± 13	191 ± 11	-11,57	-1,47	-1,09	A
Pb-210	19,7 ± 3,63	17,2 ± 2,8	-12,69	-0,55	-0,69	A

IAEA-TEL-2016-04
Sample 03, Spiked Clover, QC sample

analize IJS, opravljene *avgusta in septembra 2016*, individualni rezultati objavljeni *oktobra 2016*

IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 35	Rel. Bias %	<i>u</i> -test	Final score
	(Bq/kg)				
Na-22	180 ± 6	179 ± 6	0,56	0,12	A
Mn-54	171 ± 5	175 ± 6	-2,34	-0,51	A
Zn-65	496 ± 20	492 ± 15	0,81	0,16	A
Cs-134	124 ± 5	122 ± 6	1,61	0,26	A
Cs-137	177 ± 10	181 ± 6	-2,26	-0,34	A
Am-241	205 ± 8	196 ± 7	4,39	0,85	A

REZULTATI PREVERJANJA

IAEA Proficiency test for determination of radionuclides in sea water, IAEA-RML-2015-02 IAEA, NAEL, Environmental laboratories, Monaco

V septembru 2015 je IAEA (NAEL, Monaco) razposlala vzorec morske vode iz Mediterana, kontaminirane s H-3, Sr-90, Cs-134 in Cs-137. Pri tem preverjanju je Odsek O-2 sodeloval pri določitvi vsebnosti stroncija Sr-90 in tritija H-3. Odsek O-2 je prejel poročilo v januarju 2016.

V naslednji tabeli sta prikazana rezultata analiz IJS, Odsek O-2 (koda laboratorija 15), za H-3 in Sr-90 in primerjava z referenčnima vrednostima IAEA.

Izračun kriterija za primerjavo rezultatov:

Precision: $P = [(IAEA \text{ negotovost} / IAEA \text{ rezultat})^2 + (IJS \text{ negotovost} / IJS \text{ rezultat})^2]^{1/2} \cdot 100 \%$,
 $P < 25 \%$: acceptable

REZULTATI IJS (Odsek O-2):

IAEA-RML-2015-02 Spiked Mediterranean Seawater						
analize IJS, opravljene <i>od septembra do oktobra 2015</i> , individualni rezultati objavljeni <i>januarja 2016</i>						
IZOTOP	IAEA	IJS Lab. No. 15	Rel. Bias (%)	<i>P</i> / (%)	Trueness limit (%)	Final score
	(Bq/kg)					
H-3	3,14 ± 0,06	3,00 ± 0,25	-4,5	8,6	21	A
Sr-90	0,1000 ± 0,0007	0,097 ± 0,007	-3,0	7,3	18	A

**KONČNI REZULTATI MEDNARODNE PRIMERJAVE
ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY COMPARISON EXERCISE 2015
NPL – Velika Britanija**

AB, B1 – kontaminirani vodni raztopini

V avgustu 2016 je bilo izdano končno poročilo za mednarodne primerjalne meritve "Environmental Radioactivity Comparison Exercise 2015" [NPL REPORT IR 36, Environmental Radioactivity Proficiency Test Exercise 2015, J. Dean, P. Aitken-Smith, S. Collins, M. Garcia Miranda and S. Woods, August 2016], kjer je sodeloval Odsek O-2 z IJS (koda laboratorija 106) pri meritvah vzorcev kontaminiranih vodnih raztopin B1 in AB, kjer 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 = (IJS rezultat – NPL vrednost) · 100 % / NPL vrednost

zeta-preskus = (IJS rezultat – NPL vrednost) · [(IJS negotovost)² + (NPL negotovost)²]^{-1/2}

z-preskus = (IJS rezultat – NPL vrednost) / (0,05823 · NPL vrednost)

REZULTATI IJS, Odsek O-2:

NPL – AB / Lab Code 106 kontaminirana vodna raztopina analize IJS, Odsek O-2, opravljene <i>od decembra 2015 do februarja 2016</i> končno poročilo objavljeno <i>avgusta 2016</i>					
IZOTOP	NPL	IJS	odmik (%)	zeta-preskus	z-preskus
	(Bq/kg)				
Sr-90	9,546 ± 0,042	9,20 ± 0,74	-3,6	-0,47	-0,62

NPL – B1 / Lab Code 106 kontaminirana vodna raztopina analize IJS, Odsek O-2, opravljene <i>od decembra 2015 do februarja 2016</i> , končno poročilo objavljeno <i>avgusta 2016</i>					
IZOTOP	NPL	IJS	odmik (%)	zeta-preskus	z-preskus
	(Bq/kg)				
H-3	1,898 ± 0,024	1,973 ± 0,034	4,0	1,80	0,68
C-14	1,0146 ± 0,0066	0,932 ± 0,059	-8,1	-1,39	-1,40

REZULTATI PREVERJANJA

IARMA ERAD-PT-2016

Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom

V letu 2016 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 je Odsek F-2 sodeloval pri določitvi sevalcev gama v vzorcih vod z visokoločljivostno spektrometrijo gama. Pri vzorcu sena se teh primerjalnih meritev ni udeležil, saj je sodeloval predhodno pri karakterizaciji tega materiala za primerjalne meritve. Individualna poročila smo prejeli septembra 2016 [IARMA ERAD-PT-2016, *Environmental Radioactivity Proficiency Test on the Determination of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Hay and Water, Individual Evaluation Report for Laboratory Code 05, International Atomic Reference Material Agency (IARMA), Thurso, Highland, United Kingdom, september 2016*].

V naslednjih 4 tabelah so zbrani rezultati analiz IJS (koda laboratorija 05 za Odsek F-2), primerjave z referenčnimi vrednostmi IARMA za umetne in naravne radionuklide v vzorcih kontaminirane vode in zemlje.

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

IARMA ERAD-PT-2016					
Sample IARMA-044, Water Sample					
analize IJS, opravljene <i>maja in avgusta 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>					
IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
Co-57	3,03 ± 0,20	3,04 ± 0,09	0,3	0,0	A
Co-60	5,13 ± 0,15	5,09 ± 0,15	-0,7	0,1	A
Ba-133	1,97 ± 0,06	1,87 ± 0,06	-5,3	0,5	A
Cs-134	1,81 ± 0,05	1,77 ± 0,05	-2,5	0,2	A
Cs-137	2,57 ± 0,08	2,56 ± 0,08	-0,5	0,1	A
Pb-210	7,90 ± 0,80	6,93 ± 0,55	-12,3	1,2	A
Ra-226	3,35 ± 0,25	3,97 ± 0,49	18,5	-1,9	A
Am-241	1,47 ± 0,05	1,52 ± 0,06	3,4	-0,3	A

IARMA ERAD-PT-2016
Sample IARMA-045, Water Sample

analize IJS, opravljene *maja in avgusta 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	7,52 ± 0,23	7,69 ± 0,23	2,3	-0,2	A
Co-60	12,73 ± 0,38	12,53 ± 0,38	-1,6	0,2	A
Ba-133	4,90 ± 0,15	4,64 ± 0,14	-5,4	0,5	A
Cs-134	4,51 ± 0,14	4,43 ± 0,13	-1,7	0,2	A
Cs-137	6,39 ± 0,19	6,32 ± 0,19	-1,1	0,1	A
Pb-210	19,20 ± 1,50	19,16 ± 0,87	-0,2	0,0	A
Ra-226	8,32 ± 0,70	9,50 ± 0,68	14,2	-1,4	A
Am-241	3,66 ± 0,11	3,63 ± 0,11	-0,8	0,1	A

IARMA ERAD-PT-2016
Sample IARMA-046, Water Sample

analize IJS, opravljene *maja in avgusta 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	IARMA	IJS Lab. No. 05	Rel. Bias %	Z-test	Final score
	(Bq/kg)				
Co-57	15,10 ± 0,45	15,31 ± 0,46	1,4	-0,1	A
Co-60	25,54 ± 0,77	24,96 ± 0,75	-2,3	0,2	A
Ba-133	9,84 ± 0,30	9,28 ± 0,28	-5,6	0,6	A
Cs-134	9,04 ± 0,27	8,77 ± 0,26	-3,0	0,3	A
Cs-137	12,82 ± 0,38	12,55 ± 0,38	-2,1	0,2	A
Pb-210	37,00 ± 4,00	38,48 ± 1,15	4,0	-0,4	A
Ra-226	16,70 ± 1,40	17,56 ± 0,56	5,2	-0,5	A
Am-241	7,34 ± 0,22	7,12 ± 0,21	-30	0,3	A

REZULTATI MEDNARODNIH PRIMERJALNIH MERITEV

Study MRAD-24 ERA (Environmental Resource Associates), ZDA

V maju 2016 so bili objavljeni končni rezultati primerjalnih meritev MRAD-24 [Study MRAD-24, Final Report, MRaD™ Proficiency Testing, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 05/17/16, ERA Customer Number: Z495414 (za ZVD), Arvada, ZDA, maj 2016)], ki jih je ERA, Environmental Resource Associates, ZDA, razposlala marca 2016. Pri tej primerjavi je sodeloval ZVD, ki je analiziral vzorce zemlje, vegetacije in aerosolnega filtra.

Rezultati analiz ZVD ter primerjave s pripisanimi vrednostmi (assigned values) so zbrane v naslednjih 3 preglednicah.

REZULTATI ZVD:

ERA, Study MRAD-24 Soil Radionuclides					
analize, opravljene <i>od marca do maja 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>maja 2016</i>					
IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	ZVD value	Performance Evaluation ZVD	z-score
	[pCi/kg]				
Ac-228	1 240	795–1 720	1 086	Acceptable	–0,939
Am-241	1 360	796–1 770	1 371	Acceptable	–0,00632
Bi-212	1 240	330–1 820	1 142	Acceptable	–0,415
Bi-214	3 530	2 130–5 080	2 396	Acceptable	–1,76
Cs-134	3 450	2 260–4 140	3 467	Acceptable	0,787
Cs-137	4 310	3 300–5 550	4 341	Acceptable	–0,254
Co-60	5 490	3 710–7 560	5 623	Acceptable	0,130
Pb-212	1 240	812–1 730	1 126	Acceptable	–0,825
Pb-214,1	3 710	2 170–5 530	2 396	Acceptable	–2,14
Mn-54	<1 000	0,00–1 000	<50	Acceptable	–
K-40	10 600	7 740–14 200	9 326	Acceptable	–1,33
Sr-90	8 560	3 260–13 500	7 716	Acceptable	–0,547
Th-234	3 430	1 080–6 450	3 267	Acceptable	–0,993
U-238	3 430	2 120–4 350	3 267	Acceptable	0,0634
Zn-65	2 450	1 950–3 260	2 487	Acceptable	–0,752

**ERA, Study MRAD-24
Vegetation Radionuclides**

analize, opravljene *od marca do maja 2016*, končni rezultati objavljeni *maja 2016*

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	ZVD value	Performance Evaluation ZVD	z-score
	[pCi/kg]				
Am-241	2 120	1 300–2 820	2 468	Acceptable	0,870
Cs-134	1 070	687–1 390	1 185	Acceptable	0,859
Cs-137	838	608–1 170	929	Acceptable	0,0262
Co-60	1 100	759–1 540	1 227	Acceptable	0,251
K-40	31 000	22 400–43 500	32 162	Acceptable	–0,0301
Sr-90	8 710	4 960–11 500	10 117	Acceptable	4,16
U-238	4 120	2 750–5 230	4 243	Acceptable	0,0148
Zn-65	2 820	2 030–3 960	3 158	Acceptable	–0,128

**ERA, Study MRAD-24
Air Filter , Radionuclides**

analize, opravljene *od marca do maja 2016*, končni rezultati objavljeni *maja 2016*

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	ZVD value	Performance Evaluation ZVD	z-score
	[pCi/L]				
Am-241	45,9	28,3–62,1	40,5*	Acceptable	–0,889
Cs-134	304	193–377	269,3	Acceptable	0,375
Cs-137	1 150	864–1 510	1 002,1	Acceptable	–0,791
Co-60	623	482–778	540,5	Acceptable	–1,20
Sr-90	150	73,3–225	177	Acceptable	1,86
U-238	64,2	41,5–88,8	57,2	Acceptable	0,400
Zn-65	356	255–492	295,6	Acceptable	–1,56

* Revidiran rezultat

REZULTATI MEDNARODNIH PRIMERJALNIH MERITEV

Study MRAD-25 ERA (Environmental Resource Associates), ZDA

V novembru 2016 so bili objavljeni končni rezultati primerjalnih meritev MRAD-25 [*Study MRAD-25, Final Report, MRaD™ Proficiency Testing, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 11/22/16, ERA Customer Number: R460987 (za IRB), Arvada, ZDA, novembru 2016*]), ki jih je ERA, Environmental Resource Associates, ZDA, razposlala septembra 2016. Pri tej primerjavi je sodeloval IRB, ki je poročal o rezultatih za pet vzorcev (vzorec vegetacije, zemlje in trije vzorci vode, od katerih je bil eden za določitev tritija, eden za celotne sevalce alfa in beta in eden za določitev drugih druge radionuklidov).

Rezultati analiz ZVD ter primerjave s pripisanimi vrednostmi (assigned values) so zbrane v naslednjih 3 preglednicah.

REZULTATI IRB:

ERA, Study MRAD-25 Soil Radionuclides					
analize, opravljene <i>oktobra in novembra 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>novembra 2016</i>					
IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	IRB value	Performance Evaluation IRB	z-score
	[pCi/kg]				
Ac-228	1 170	750–1 620	1 281	Acceptable	0,845
Am-241	878	514–1 140	793	Acceptable	–0,646
Bi-214	1 230	741–1 770	1 335	Acceptable	0,657
Cs-134	5 470	3 580–6 570	5 168	Acceptable	0,215
Cs-137	6 700	5 130–8 620	6 281	Acceptable	–0,736
Co-60	8 020	5 420–11 000	7 145	Acceptable	–1,58
K-40	10 600	7 740–14 200	10 622	Acceptable	0,275
Sr-90	4 540	1 730–7 170	3 679	Acceptable	–0,365
Th-234	1 750	553–3 290	1 815	Acceptable	–0,527
U-238	1 750	1 080–2 220	1 931	Acceptable	0,778
Zn-65	2 920	2 330–3 880	2 717	Acceptable	–1,60

**ERA, Study MRAD-25
Vegetation Radionuclides**

analize, opravljene *oktobra in novembra 2016*, končni rezultati objavljeni *novembra 2016*

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	IRB value	Performance Evaluation IRB	z-score
	[pCi/kg]				
Am-241	1 530	935–2 030	1 739	Acceptable	0,0662
Cs-134	1 690	1 090–2 200	1 875	Acceptable	0,439
Cs-137	1 030	747–1 430	1 129	Acceptable	–0,0965
Co-60	1 560	1 080–2 180	1 792	Acceptable	0,509
K-40	30 900	22 300–43 400	32 014	Acceptable	0,677
Sr-90	4 670	2 660–6 190	3 473	Acceptable	–1,56
U-238	3 090	2 060–3 930	3 178	Acceptable	–0,911
Zn-65	1 690	1 220–2 370	2 142	Acceptable	0,270

**ERA, Study MRAD-25
Water Radionuclides**

analize, opravljene *oktobra in novembra 2016*, končni rezultati objavljeni *novembra 2016*

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	IRB value	Performance Evaluation IRB	z-score
	[pCi/L]				
Am-241	56,2	37,9–75,4	57,7	Acceptable	–0,0668
Cs-134	1 260	925–1 450	1 132	Acceptable	–0,505
Cs-137	987	838–1 180	894	Acceptable	–4,23
Co-60	1 960	1 700–2 290	1 766	Acceptable	–1,79
Fe-55	245	146–332	247	Acceptable	0,379
Sr-90	751	489–993	575	Acceptable	–1,92
Zn-65	724	604–913	652	Acceptable	–2,14

**ERA, Study MRAD-25
Water Tritium**

analize, opravljene *oktobra in novembra 2016*, končni rezultati objavljeni *novembra 2016*

IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	IRB value	Performance Evaluation IRB	z-score
	[pCi/L]				
H-3	10 100	6 770–14 400	10 135	Acceptable	0,725

**REZULTATI
MEDNARODNE PRIMERJALNE MERITVE**

**Study RAD-107
ERA (Environmental Resource Associates), ZDA**

V novembru 2016 so bili objavljeni končni rezultati primerjalne meritve RAD-107 [*Study RAD-107, Final Report, MRaD™ Proficiency Testing, ERA, Environmental Resource Associates, Report issued 11/23/16, ERA Customer Number: R460987 (za IRB), Arvada, ZDA, november 2016*] za en vzorec vode, ki ga je ERA, Environmental Resource Associates, ZDA, razposlala oktobra 2016.

Na IRB so v okviru te interkomparacije opravili meritve vsebnosti stroncija. Rezultati IRB ter primerjave s pripisanimi vrednostmi (assigned values) so zbrani v naslednji preglednici.

REZULTATI IRB:

ERA, Study RAD-107 Water Radionuclides					
analize, opravljene <i>oktobra in novembra 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>novembra 2016</i>					
IZOTOP	ERA Assigned value	ERA Acceptance Limits	IRB value	Performance Evaluation IRB	z-score
	[pCi/L]				
Sr-89	43,3	33,4–50,5	43,5	Acceptable	0,490
Sr-90	33,6	24,6–38,8	31,9	Acceptable	–0,853

REZULTATI PREVERJANJA RINGVERSUCH 2/2015

Ringversuch 2/2015 zur Bestimmung von Alpha- and Beta-Sthralen in Wasser BfS, Bundesamt für Strahlenschutz, Nemčija

Marca 2016 je BfS, Bundesamt für Strahlenschutz, iz Nemčije poročal o primerjalnih meritvah vsebnosti radionuklidov v dveh vzorcih umetno kontaminirane vode, kjer je sodeloval IJS, Odsek O-2 (koda laboratorija 10-1), [Ringversuch 2/2015 zur Bestimmung von Alpha- and Beta-Sthralen in Wasser, BfS, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin, Nemčija, marec 2016]. Meritve so bile opravljene v oktobru 2015. Rezultati meritev IJS, Odsek O-2, in primerjave z referenčnimi vrednostmi so zbrane v spodnjih tabelah.

REZULTATI IJS, Odsek O-2:

Probe 1 – Modellwasser				
analize, opravljene <i>oktobra 2015</i> , končni rezultati objavljeni <i>marca 2016</i>				
IZOTOP	BfS Sollwert*	IJS, Odsek O-2** (koda laboratorija 10-1)	z-Wert	Final Score
	Bq/L			
H-3	69,1	71,1	0,147	A
Sr-90	8,59	8,19	0,236	A

* povprečna vrednost sprejetih laboratorijev

** podano je povprečje posameznih poročanih rezultatov

Probe 2 – Reales Wasser				
analize, opravljene <i>oktobra 2015</i> , končni rezultati objavljeni <i>marca 2016</i>				
IZOTOP	PTB-Wert	IJS, Odsek O-2** (koda laboratorija 10-1)	z-Wert	Final Score
	Bq/L			
H-3	70,9	71,8	< 0,10	A
Sr-90	4,21	4,26	< 0,10	A

** podano je povprečje posameznih poročanih rezultatov in pripadajoča standardna deviacija

REZULTATI PREVERJANJA RINGVERSUCH

Ringversuch "H-3 and C-14 in Molekularsiebschüttungen" im Jahr 2015 BfS, Bundesamt für Strahlenschutz, Nemčija

Maja 2016 je BfS, Bundesamt für Strahlenschutz, iz Nemčije poročal o primerjalnih meritvah vsebnosti H-3 in C-14 v molekularnih sitih, kjer je sodeloval IJS, Odsek O-2 (koda laboratorija 15a), [*Ringversuch "H-3 and C-14 in Molekularsiebschüttungen" im Jahr 2015, Vergleichmessung für die Bestimmung der 3H und 14C-Aktivität in Molekularsiebschüttungen, A. Deller, J. Seeger, A. Heckel, SW 1.4 – 05/16, BfS, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin, Nemčija, marec 2016*].

Meritve so bile opravljene avgusta 2015. Rezultat meritev IJS, Odsek O-2, in primerjava z referenčno vrednostjo je v spodnji tabeli.

REZULTATI IJS, Odsek O-2:

Molekularsiebschüttungen				
analize IJS, Odsek O-2, opravljene <i>avgusta 2015</i> , končni rezultati objavljeni <i>maja 2016</i>				
IZOTOP	PTB Sollwert	IJS, Odsek O-2 (koda laboratorija 15a)	z-Wert	Final Score
	Bq/L			
H-3	297,6 ± 7,8	265,0 ± 10,0	2,10	W

INTERLABORATORY COMPARISON

»RAW MILK 2016«

**MRI, Max Rubner-Institut,
Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Kiel, Nemčija**

V letu 2016 je MRI, Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel iz Kiela, Nemčija, organiziral primerjalne meritve, kjer je bilo treba v vzorcu surovega mleka določiti vsebnost umetnih radionuklidov. Pri tem preverjanju je IJS, Odsek F-2, poročal o meritvah vzorca #012 z visokoločljivostno spektrometrijo gama na dveh spektrometrih: SE in HG, IJS, Odsek O-2 o meritvah vsebnosti stroncija v vzorcu #045. ZVD je poročal o meritvah štirih vzorcev #022, #029, #088 in #116 s spektrometrijo gama z do tremi spektrometri (BEGE, REGE in LOAX) ter o meritvi vsebnosti stroncija v treh vzorcih (#029, #088 in #116). Po navodilih organizatorja primerjalnih meritev smo poročali o treh paralelkah meritev na vsakem spektrometru. Individualna poročila smo prejeli septembra 2016.

V spodnjih tabelah so zbrani rezultati analiz IJS, Odseka F-2 in O-2, in ZVD ter primerjave z referenčnimi vrednostmi MRI. Referenčne vrednosti so bile določene v PTB, Nemčija. Poleg so za primerjavo podana še povprečja sodelujočih laboratorijev, ki imajo sprejemljive rezultate. Kriterij za ustreznost rezultatov je test E_n , rezultati so ustrezni, če je $E_n < 1$. Ovrednotenje je izračunano glede na referenčno vrednost PTB. Merilne negotovosti so v tabelah podane s $k = 1$.

REZULTATI IJS (Odsek F-2):

Raw Milk 2016, Sample No. #012						
analize IJS, Odsek F-2, opravljene <i>junija 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>						
IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	IJS Spektrometer HG	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ -test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	50,4 ± 5,3	51,5 ± 6,8	-0,3	-0,1	A
I-131	115 ± 2	101,3 ± 7,1	109 ± 11	-1,1	-0,5	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	8,32 ± 0,3	8,08 ± 1,19	-0,4	-0,2	A
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,8 ± 0,3	10,2 ± 1,2	-0,2	-0,1	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,11 ± 0,3	5,04 ± 0,47	-0,3	-0,1	A

Raw Milk 2016, Sample No. #012						
analize IJS, Odsek F-2, opravljene <i>junija 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>						
IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	IJS Spektrometer SE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ -test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	50,9 ± 5,5	51,5 ± 6,8	-0,2	-0,1	A
I-131	115 ± 2	105,6 ± 7,8	109 ± 11	-0,7	-0,4	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	8,22 ± 0,25	8,08 ± 1,19	-0,6	-0,3	A
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,4 ± 0,4	10,2 ± 1,2	-0,8	-0,4	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,05 ± 0,35	5,04 ± 0,47	-0,5	-0,3	A

REZULTATI IJS (Odsek O-2):

Raw Milk 2016, Sample No. #045						
analize IJS, Odsek O-2, opravljene <i>od maja do junija 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>						
IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	IJS *	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ -test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
Sr-89	94,1 ± 7,0	88,3 ± 1,7	88,9 ± 9,0	-0,8	-0,4	A
Sr-90	5,15 ± 0,38	4,38 ± 0,14	4,87 ± 0,97	-1,8	-0,9	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

REZULTATI ZVD:

Raw Milk 2016, Sample No. #022						
analize ZVD, opravljene <i>maja 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>						
IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer BEGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ -test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	50,4 ± 0,4	51,5 ± 6,8	-1,7	-0,9	A
I-131	115 ± 2	111,2 ± 0,1	109 ± 11	-0,6	-0,3	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	8,82 ± 0,07	8,08 ± 1,19	-2,1	1,1	W/N
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,8 ± 0,1	10,2 ± 1,2	-0,3	-0,2	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,16 ± 0,00	5,04 ± 0,47	-1,5	-0,7	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #022						
analize ZVD, opravljene <i>maja 2016</i> , končni rezultati objavljeni <i>septembra 2016</i>						
IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer REGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ -test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	52,5 ± 1,6	51,5 ± 6,8	-0,2	-0,1	A
I-131	115 ± 2	117,1 ± 0,7	109 ± 11	0,3	0,1	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	7,48 ± 0,07	8,08 ± 1,19	-6,9	-3,5	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,9 ± 0,6	10,2 ± 1,2	0,2	0,1	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,05 ± 0,29	5,04 ± 0,47	-2,7	-1,3	W/N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #022analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer LOAX	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	46,7 ± 1,2	51,5 ± 6,8	-3,7	-1,9	N
I-131	115 ± 2	111,8 ± 1,2	109 ± 11	-0,5	-0,3	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	7,22 ± 0,10	8,08 ± 1,19	-8,8	-4,4	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	11,0 ± 0,1	10,2 ± 1,2	0,3	0,2	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	4,99 ± 0,06	5,04 ± 0,47	-3,6	-1,8	N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #029analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer BEGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	37,9 ± 0,0	51,5 ± 6,8	-12,6	-6,3	N
I-131	115 ± 2	102,5 ± 0,0	109 ± 11	-2,3	-1,2	W/N
Ba-133	8,50 ± 0,14	8,50 ± 0,00	8,08 ± 1,19	0,0	0,0	A
Cs-134	10,9 ± 0,2	9,8 ± 0,0	10,2 ± 1,2	-5,2	-2,6	N
Cs-137	5,28 ± 0,08	4,61 ± 0,00	5,04 ± 0,47	-8,2	-4,1	N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #029analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer REGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	50,6 ± 5,5	51,5 ± 6,8	-1,1	-0,6	A
I-131	115 ± 2	111,0 ± 3,6	109 ± 11	-0,6	-0,3	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	7,58 ± 0,45	8,08 ± 1,19	-6,3	-3,1	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	11,2 ± 0,5	10,2 ± 1,2	1,3	0,6	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,23 ± 0,00	5,04 ± 0,47	-0,7	-0,3	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #029analize ZVD opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer LOAX	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	43,5 ± 1,5	51,5 ± 6,8	-5,3	-2,7	N
I-131	115 ± 2	106,5 ± 0,0	109 ± 11	-1,4	-0,7	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	7,02 ± 0,07	8,08 ± 1,19	-10,3	-5,1	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,2 ± 0,4	10,2 ± 1,2	-3,4	-1,7	N
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,07 ± 0,36	5,04 ± 0,47	-2,5	-1,3	W/N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #029analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
Sr-89	94,1 ± 7,0	82,6 ± 0,0	88,9 ± 9,0	-0,9	-0,5	A
Sr-90	5,15 ± 0,38	5,71 ± 0,00	4,87 ± 0,97	1,5	0,7	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #088analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer BEGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	52,0 ± 0,0	51,5 ± 6,8	-0,6	-0,3	A
I-131	115 ± 2	110,6 ± 0,0	109 ± 11	-0,7	-0,4	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	8,58 ± 0,00	8,08 ± 1,19	0,5	0,3	A
Cs-134	10,9 ± 0,2	11,6 ± 0,0	10,2 ± 1,2	3,4	1,7	N
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,41 ± 0,00	5,04 ± 0,47	1,6	0,8	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #088analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer REGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	52,5 ± 0,5	51,5 ± 6,8	-0,3	-0,2	A
I-131	115 ± 2	117,4 ± 0,0	109 ± 11	0,4	0,2	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	7,52 ± 0,00	8,08 ± 1,19	-6,7	-3,4	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	11,1 ± 0,2	10,2 ± 1,2	0,8	0,4	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,25 ± 0,00	5,04 ± 0,47	-0,3	0,2	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #088analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
Sr-89	94,1 ± 7,0	83,1 ± 0,0	88,9 ± 9,0	-0,9	-0,4	A
Sr-90	5,15 ± 0,38	5,41 ± 0,00	4,87 ± 0,97	0,7	0,3	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #116analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer BEGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	48,2 ± 1,4	51,5 ± 6,8	-3,2	-1,6	N
I-131	115 ± 2	102,9 ± 0,6	109 ± 11	-2,2	-1,1	W/N
Ba-133	8,50 ± 0,14	8,38 ± 0,36	8,08 ± 1,19	-0,8	-0,4	A
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,5 ± 0,3	10,2 ± 1,2	-2,0	-1,0	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	4,75 ± 0,47	5,04 ± 0,47	-6,4	-3,2	N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #116analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer REGE	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	50,9 ± 0,0	51,5 ± 6,8	-1,1	-0,5	A
I-131	115 ± 2	106,4 ± 0,0	109 ± 11	-1,4	-0,7	A
Ba-133	8,50 ± 0,14	6,77 ± 0,00	8,08 ± 1,19	-12,0	-6,0	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,7 ± 0,0	10,2 ± 1,2	-1,1	-0,6	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	5,03 ± 0,00	5,04 ± 0,47	-3,1	-1,5	N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #116analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD Spektrometer LOAX	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
K-40	53,1 ± 0,8	45,5 ± 1,4	51,5 ± 6,8	-5,0	-2,5	N
I-131	115 ± 2	103,6 ± 1,5	109 ± 11	-2,1	-1,1	W/N
Ba-133	8,50 ± 0,14	6,87 ± 0,15	8,08 ± 1,19	-11,3	-5,6	N
Cs-134	10,9 ± 0,2	10,6 ± 0,1	10,2 ± 1,2	-1,6	-0,8	A
Cs-137	5,28 ± 0,08	4,72 ± 0,00	5,04 ± 0,47	-6,9	-3,4	N

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

Raw Milk 2016, Sample No. #116analize ZVD, opravljene *maja 2016*, končni rezultati objavljeni *septembra 2016*

IZOTOP	MRI (referenčna vrednost PTB)	ZVD	Povprečje sodelujočih laboratorijev	ζ-test	E_n	Final score
	(Bq/L)					
Sr-89	94,1 ± 7,0	76,0 ± 0,0	88,9 ± 9,0	-1,6	-0,8	A
Sr-90	5,15 ± 0,38	4,78 ± 0,00	4,87 ± 0,97	-1,0	-0,5	A

* Podana je standardna deviacija 3 meritev.

REZULTATI PRIMERJAVE

Meritve koncentracije radionuklidov v vzorcu pepela iz Tušnice, Bosna in Hercegovina

V oktobru 2015 je IMI iz Zagreba organiziral primerjalne meritve vzorca pepela. Določiti je bilo treba vsebnost vseh radionuklidov. Vzorec je bil zbran v oktobru 2015 ter pripravljen na IMI. Pri meritvah so sodelovali IJS (Odsek F-2), ZVD, IMI, Veterinarski fakultet in Zavod za higijenski nadzor namirnica i zaščitu životne sredine, Katedra za radiobiologiju sa radijacionom higijenom, biofiziku i zaščitu životne sredine iz Sarajeva. IJS je opravil meritve januarja 2016, ZVD pa marca 2016.

Rezultate je zbral IMI, poročilo z naslovom *Izveščće o međulaboratorijskom usporednom ispitivanju pepeo mrkog ugljena, Tušnica, Bosna i Hercegovina* so pripravili in objavili marca 2016.

Rezultati posameznih laboratorijev in primerjave s povprečno vrednostjo so v spodnji tabeli.

REZULTATI MERITEV IJS, IMI in ZVD

Radionuklid	Povprečna vrednost	IJS	IMI	ZVD
	Bq/kg			
K-40	131 ± 6	130 ± 8	144 ± 12	131 ± 12
Cs-137	–	1,9 ± 0,4	2,54 ± 0,66	–
Ra-228	55,7 ± 1,3	55 ± 2	54,6 ± 2,5	58 ± 3
U-238	2 010 ± 60	2 100 ± 60	1 810 ± 20	2 090 ± 200
Th-228	46,3 ± 0,9	48 ± 1	–	44,4 ± 2,2
Ra-226	1 990 ± 30	2 600 ± 100	1 810 ± 10	1 850 ± 37
Pb-212	–	–	–	55,7 ± 2,3
Pb-210	1 550 ± 420	1 800 ± 50	1 290 ± 20	1 680 ± 130
U-235	110 ± 4	–	121 ± 2	102 ± 6
Th-230	–	2 200 ± 100	–	2 200 ± 96

