



ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d., Center za fizikalne meritve, Laboratorij
za meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov

Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije v letu 2011

Poročilo je napisano na osnovi naslednjih posameznih poročil:

Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto
2011

naročnik Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost

Monitoring radioaktivnosti živil za leto 2011

naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Monitoring radioaktivnosti pitne vode za leto 2011

naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Monitoring radioaktivnosti živalske krme za leto 2011

*naročnik Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Direktorat za
varno hrano*

Naročnik: Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Marec 2012

Center za fizikalne meritve
Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti
radionuklidov

Št. poročila: LMSAR-20120007-MG

Datum: 29.03.2012

Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije za leto 2011

Naročnik / uporabnik (koda):	Ministrstvo za zdravje Uprava RS za varstvo pred sevanji Ajdovščina 4 1000 Ljubljana
Skrbnik v imenu naročnika:	dr. Tomaž Šutej
Številka pogodbe z ZVD d.d.:	C2717-12-232001
Skrbnik v imenu izvajalca:	dr. Gregor Omahen
Program:	Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2011 Radioactivity in the living environment of Slovenia for the year 2011
Izvajalca programa:	ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d. in Institut "Jožef Stefan"
Koordinatorja:	dr. Gregor OMAHEN, univ.dipl.fiz. (ZVD), dr. Benjamin Zorko (IJS)
Izvajalci:	ZVD: Peter Jovanovič, Majda Levstek, Lili Peršin, dr. Marko Giacomelli, dr. Gregor Omahen IJS: D. Brodnik, B. Črnič, dipl. inž. fiz., mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. M. Korun, K. Kovačič, univ. dipl. inž. geol., dr. J. Kožar Logar, R. Krištof, dipl. san. inž., dr. M. Nečemer, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko (vsi <i>Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij</i>), B. Svetek, inž. kem. tehnol., iz. prof. dr. V. Stibilj, Z. Trkov, inž. kem. tehnol. (vsi <i>Odsek za znanosti o okolju</i>)

Poslano: 6 × naročnik in 2 × arhiv ZVD

Poročilo pripravil: Dr. Marko Giacomelli, univ. dipl. fiz.	Poročilo pregledal in odobril: Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.
--	--

Poročilo vsebuje skupaj 68 strani in eno prilogo (Poročilo o meritvah radioaktivnosti vzorcev iz okolja Republike Slovenije v letu 2011) ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti

Povzetek

Podani so rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v vzorcih biosfere, kakor tudi v posameznih členih prehrambne verige. Radioaktivnost okolja je posledica globalnega onesnaženja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij v ozračju in radioloških nesreč v Černobilu. Prispevek zaradi nesreče v Fukušimi je v Sloveniji zanemarljiv. Ocenjene so doze sevanja po ekspozicijskih prenosnih poteh. Ocenjena doza zaradi izpostavljenosti umetnim radionuklidom po vseh prenosnih poteh, znaša v letu 2011 za dojenčke < 16,0 μSv , za otroke od 7 do 12 let < 12,0 μSv in za odrasle < 10,0 μSv . Ta vrednost predstavlja približno 1 % mejne letne doze za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju.

Ključne besede

radioaktivno onesnaženje okolja, umetni in naravni radionuklidi, specifična aktivnost radionuklidov, reke, vodovodi, suhi in mokri used, zrak, aerosoli, zemlja, hrana, ingestija, doze zunanega sevanja, ocena efektivnih doz, primerjalne meritve

Abstract

Summarized results of radioactivity measurements for manmade and natural radionuclides in the biosphere and in the particular elements of the food chain are presented. Radioactivity of the environment is a consequence of the general radioactive contamination due to the nuclear test explosions and Chernobyl accident. The contribution of the Fukushima accident is in Slovenia negligible. Dose estimates for important exposure pathways are presented. Dose estimates for infants, children for 7 up to 12 years and adults for manmade radionuclides in the year 2011 are < 16.0 μSv , < 12.0 and < 10.0 μSv , respectively. These values represent approximately 1 % of the annual dose limit for the long term exposure of the individuals from the population, exposed to the man made sources of ionizing radiation.

Keywords

radioactive contamination of the environment, artificial and natural radionuclides, specific activity, rivers, tap water, dry and wet deposition, air, aerosols, soil, food, ingestion, external dose, effective dose assessments, intercomparison measurements

Kazalo

Povzetek	4
Ključne besede	4
Abstract	4
Keywords	4
Kazalo	5
Kazalo slik	7
Kazalo tabel	9
1 Uvod	10
2 Program meritev	11
3 Metodologija meritev	18
3.1 Akreditirane meritve.....	18
3.2 Izračuni specifičnih aktivnosti	19
4 Rezultati meritev in komentar	20
4.1 Tekoče vode	20
4.2 Zrak.....	22
4.2.1 Dolgoročna odvisnost koncentracij Be-7 od sončevega ciklusa	23
4.2.2 Sezonske variacije Be-7	25
4.3 Padavine.....	29
4.3.1 Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90	29
4.3.2 Specifična aktivnost H-3	33
4.3.3 Specifična aktivnost kozmogenega Be-7	34
4.4 Zemlja.....	36
4.5 Zunanje sevanje	43
4.6 Pitna voda	44
4.7 Hrana.....	45
4.7.1 Mleko	45
4.7.2 Živila živalskega izvora.....	54
4.7.3 Žitarice, moka, kruh.....	54
4.7.4 Sadje	54
4.7.5 Zelenjava	55
4.7.6 Otroška hrana.....	55
4.8 Krmila	55
5 Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fisijskih produktov	56
5.1 Osnovne enačbe.....	56

5.2	Uporabljeni podatki in predpostavke	57
5.2.1	Umetni radionuklidi.....	57
5.2.2	Naravni radionuklidi	57
5.2.3	Starostne skupine	58
5.2.4	Prehranjevalne predpostavke	58
5.2.5	Privzete specifične aktivnosti	59
5.3	Doza zaradi ingestije in inhalacije	60
5.4	Doza zaradi zunanjega sevanja	63
5.5	Skupna ocena doze	64
6	Zaključki	67
6.1	Priporočila	67
7	Literatura	68

Kazalo slik

Slika 1: Lokacije vzorčenja vzorcev iz okolja.....	15
Slika 2: Lokacije TLD za meritve letne doze zunanje sevanja	16
Slika 3: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi (povprečje lokacij Ljubljana in Brežice) in Dravi od leta 2002 dalje.	21
Slika 4: Povprečne celoletne specifične aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od leta 1996 dalje za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja).....	22
Slika 5: S površine Sonca izhaja t.i. solarni veter, ki praktično ne more prodreti v zemljino atmosfero (shematski prikaz).	23
Slika 6: V času večje sončeve aktivnosti heliosfera zmanjšuje fluks galaktičnih kozmičnih žarkov do zemljine atmosfere.....	24
Slika 7: Povprečno mesečno število sončevih peg (črtkana črta predstavlja drseče povprečje), ki je merilo za sončevo aktivnost in solarni veter.	25
Slika 8: Antikorelacija sončevega cikla s koncentracijami Be-7 v zraku.	25
Slika 9: Sezonske variacije izmerjenih koncentracij atmosferskega Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2011	26
Slika 10: Korelacija padavin in izmerjenega mesečnega useda Be-7 v padavinah iz Ljubljane	27
Slika 11: Sezonska variacija koncentracij atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku v Ljubljani	27
Slika 12: Zimske in poletne korelacije med izmerjenimi koncentracijami atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2011 – številka ob meritvi pomeni mesec vzorčevanja.	28
Slika 13: Povprečne mesečne specifične aktivnosti Cs-137 v zraku na lokaciji Ljubljana za obdobje od leta 1986 dalje	29
Slika 14: Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij po Sloveniji).....	32
Slika 15: Korelacija količine padavin s povprečnim letnim usedom Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine (povprečje vseh lokacij po Sloveniji).....	33
Slika 16: Specifične aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje	34
Slika 17: Specifične aktivnosti Be-7 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1996 dalje	35
Slika 18: Povprečna letna specifična aktivnost K-40, Cs-137 in Sr-90 v zemlji	37
Slika 19: Specifične aktivnosti – depozit za Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje	38
Slika 20: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje.	39
Slika 21: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje	40
Slika 22: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje.....	41
Slika 23: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje.....	42
Slika 24: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje	43
Slika 25: Doza zunanje sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje	44
Slika 26: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v mleku na različnih lokacijah v Sloveniji za leto 2011.....	45

Slika 27: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane.....	46
Slika 28: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida.....	47
Slika 29: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice.....	48
Slika 30: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobote.....	49
Slika 31: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Ljubljana.....	50
Slika 32: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Kobarid.....	51
Slika 33: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Bohinjska Bistrica.....	52
Slika 34: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Murska Sobota.....	53
Slika 35: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije ali prehranjevalnih navad.....	59
Slika 36: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).....	62
Slika 37: Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).....	63
Slika 38: Predvidena efektivna doza H_E zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fizijskimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje.....	66

Kazalo tabel

Tabela 1: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2011 (modra – ZVD, zelena - IJS)	12
Tabela 2: Seznam TL-dozimetrov v Republiki Sloveniji z GPS koordinatami	17
Tabela 3: Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide	19
Tabela 4: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod	20
Tabela 5: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij).....	30
Tabela 6: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine	58
Tabela 7: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 ter H-3 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2011	59
Tabela 8: Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2011.	61
Tabela 9: Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja	64
Tabela 10: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2011 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi	65

1 Uvod

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV, Ur.l. RS, 102/04, 60/11) ureja varstvo pred ionizirajočimi sevanji z namenom zmanjšanja škode za zdravje ljudi in radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja zaradi uporabe virov ionizirajočih sevanj do najmanjše možne mere, tako da se hkrati mogoči uporaba virov sevanj in izvajanje sevalnih dejavnosti. V 123. členu ZVISJV so podane zahteve za spremljanje stanja radioaktivnosti okolja, na podlagi katerih se izvajajo meritve v okolju, ki jih ureja Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10, Ur.l. RS, 20/07, 97/09). V 19. čl. ZVISJV so podane zahteve za mejne doze za prebivalstvo, ki jih podrobneje razčlenjujeta Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (SV5, Ur.l. RS, 115/03) in Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (UV2, Ur.l. RS, 49/04). V 54. členu ZVISJV so podane zahteve za izdelavo poročila o ocenah prejetih doz za prebivalstvo, ki temelji na prej omenjenih pravilnikih in uredbi.

V pravilniku JV10 so navedene metode vzorčenja in merilne metode ter program meritev, ki upošteva vse pomembne načine izpostavljenosti prebivalstva ionizirajočim sevanjem, prenosne poti razširjanja radioaktivnosti in radionuklide, ki pomembno prispevajo k efektivni dozi.

Program zajema merjenje zunanjega sevanja, merjenje radioaktivne kontaminacije zraka, vode in tal, merjenje radioaktivne kontaminacije živil, kmetijskih proizvodov, hrane in krme.

V celotnem programu so zajeti enkratni vzorci (npr. vzorci mesa), vzorci, ki se odzemajo enkrat in zbirajo, ovrednoti pa se radioaktivnost zbirnega vzorca v nekoliko daljšem časovnem obdobju kot npr. mleko (dvomesečni kompozitni vzorec) ter vzorci, ki se zbirajo kontinuirano skozi celotni mesec, meri pa se mesečni kompozitni vzorec (npr. vzorci zraka).

Izvajalca nadzornih meritev v življenjskem okolju Republike Slovenije sta ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d. in Institut "Jožef Stefan". Oba izvajalca sta se udeležila tudi mednarodnih interkomparacijskih meritev z namenom, da se zagotovi in preverja kakovost meritev. Dodatne primerjalne meritve vzorcev sta izvajalca opravljala v sklopu nadzornih meritev v programu nadzora radioaktivnosti v okolici NE Krško.

V poročilu o obsevanosti prebivalcev Slovenije analiziramo meritve radioaktivnosti v okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v Sloveniji, ki ga financirata Ministrstvo za okolje in prostor ter Ministrstvo za zdravje. Namen meritev je izračun doze, ki jo zaradi življenja v Sloveniji prejme povprečen prebivalec Slovenije. Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije nima namena prikazati sevalnih obremenitev, katerim je izpostavljeno prebivalstvo zaradi tehnološko-modificiranih naravnih virov sevanja (radon v bivalnem okolju, rudnik urana Žirovski vrh), delovanja jedrske elektrarne Krško ali vpliva medicinskih virov.

V poročilu so zajeti predvsem podatki o stanju radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja kot posledice izvajanja preteklih jedrskih eksplozij in černobilske ter fukušimske jedrske nesreče.

2 Program meritev

Program meritev radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja v Republiki Sloveniji je bil v letu 2011 enak kot v prejšnjih treh letih. Način zbiranja in odvzema vzorcev, priprava in obdelava ter meritve radioaktivnosti so v skladu z enotno metodologijo, predpisano s Pravilnikom JV10.

Stalen nadzor nad kontaminacijo okolja s sevalci gama, Sr-90, I-131 in H-3 je tudi v letu 2011 zajel najpomembnejše člene prehranske verige in tako kot v prejšnjih letih, upošteval padavinsko različna področja. Na podlagi černobilskih izkušenj so v programu tudi termoluminiscentni dozimetri in sicer na večjih krajih v Sloveniji, ki služijo za indikacijo nihanj zunanjega sevanja gama oziroma za določevanje prejetih doz prebivalstva zaradi zunanjega sevanja gama.

Lokacije vzorčenja zraka, padavin, zemlje, tekočih in pitnih vod ter merilna mesta doz zunanjega sevanja so ostala v splošnem enaka kot v prejšnjih letih. ZVD je v letu 2011 izvajal meritve radioaktivnosti zraka, zemlje, padavin, hrane, IJS pa meritve radioaktivnosti tekočih vod, krmil in zunanjega sevanja ter kot podizvajalec tudi meritve radioaktivnosti pitnih vod.

Program meritev v Sloveniji v letu 2011 je prikazan v spodnji tabeli (Tabela 1). Z modro barvo so označene meritve, ki ji je opravil ZVD, z zeleno pa meritve IJS.

Lokacije vzorčenja vzorcev in meritev zunanjega sevanja s TLD so prikazane na spodnjih dveh zemljevidih Slovenije (Slika 1, Slika 2).

Tabela 1: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2011 (modra – ZVD, zelena - IJS)

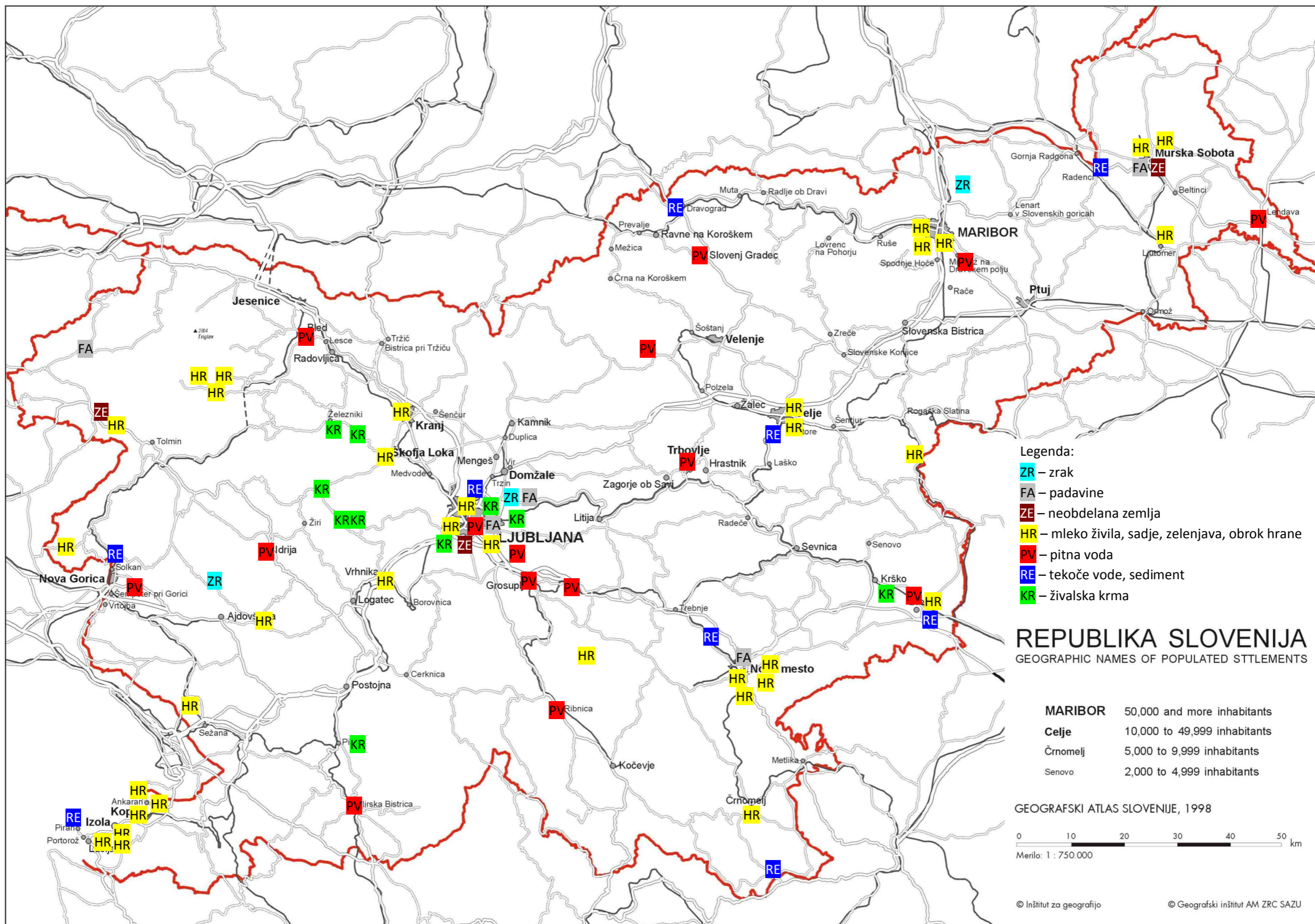
Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
1.0. REKE, MORJE				
1.1. Izotopska analiza	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno	2
VL spektrometrija	SAVA (Brežice)	voda	polletno	2
gama	DRAVA (Dravograd)	voda	polletno	2
	SOČA (Solkan)	voda	polletno	2
	SAVINJA (Celje)	voda	polletno	2
	MURA (Petanjci)	voda	polletno	2
	KRKA (Otočec)	voda	polletno	2
	KOLPA (Vinica)	voda	polletno	2
	MORJE (Piran)	voda	polletno	2
	MORJE (Piran)	sediment	polletno	2
1.2. Specifična analiza	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno	2
H-3	SAVA (Brežice)	voda	polletno	2
	DRAVA (Dravograd)	voda	polletno	2
	MURA (Petanjci)	voda	polletno	2
1.3. Specifična analiza	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno	2
Sr-90	DRAVA (Maribor)	voda	polletno	2
	MURA (Petanjci)	voda	polletno	2
1.4. I-131	DRAVA (Dravograd)	voda	kvartalno	4
	MURA	voda	kvartalno	4
2.0. ZRAK				
2.1. Izotopska analiza	Ljubljana	Kontinuirano	mesečno	12
partikulatov	Jareninski vrh	črpanje skozi	mesečno	12
VL gamaspektrometrija	Predmeja	filter	mesečno	12
3.0. ZEMLJIŠČE				
3.1. Izotopska analiza	Ljubljana	Vzorec neobdelanega		
VL spektrometrija gama	Kobarid	zemljišča v globinah:		
	Murska Sobota	0 - 5 cm	2 x letno	6
		5 - 10 cm	2 x letno	6
		10 - 15 cm	2 x letno	6
3.2. Specifična analiza	Ljubljana	Vzorec neobdelanega		
Sr-90	Kobarid	zemljišča v globinah:		
	Murska Sobota	0 - 5 cm	2 x letno	6
		5 - 10 cm	2 x letno	6
		10 - 15 cm	2 x letno	6
3.3. Meritev letne doze	50 lokacij			
zunanjskega sevanja s TLD	Sloveniji	TL - H*(10)	polletno	100

Tabela 1 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2011 (modra – ZVD, zelena - IJS)

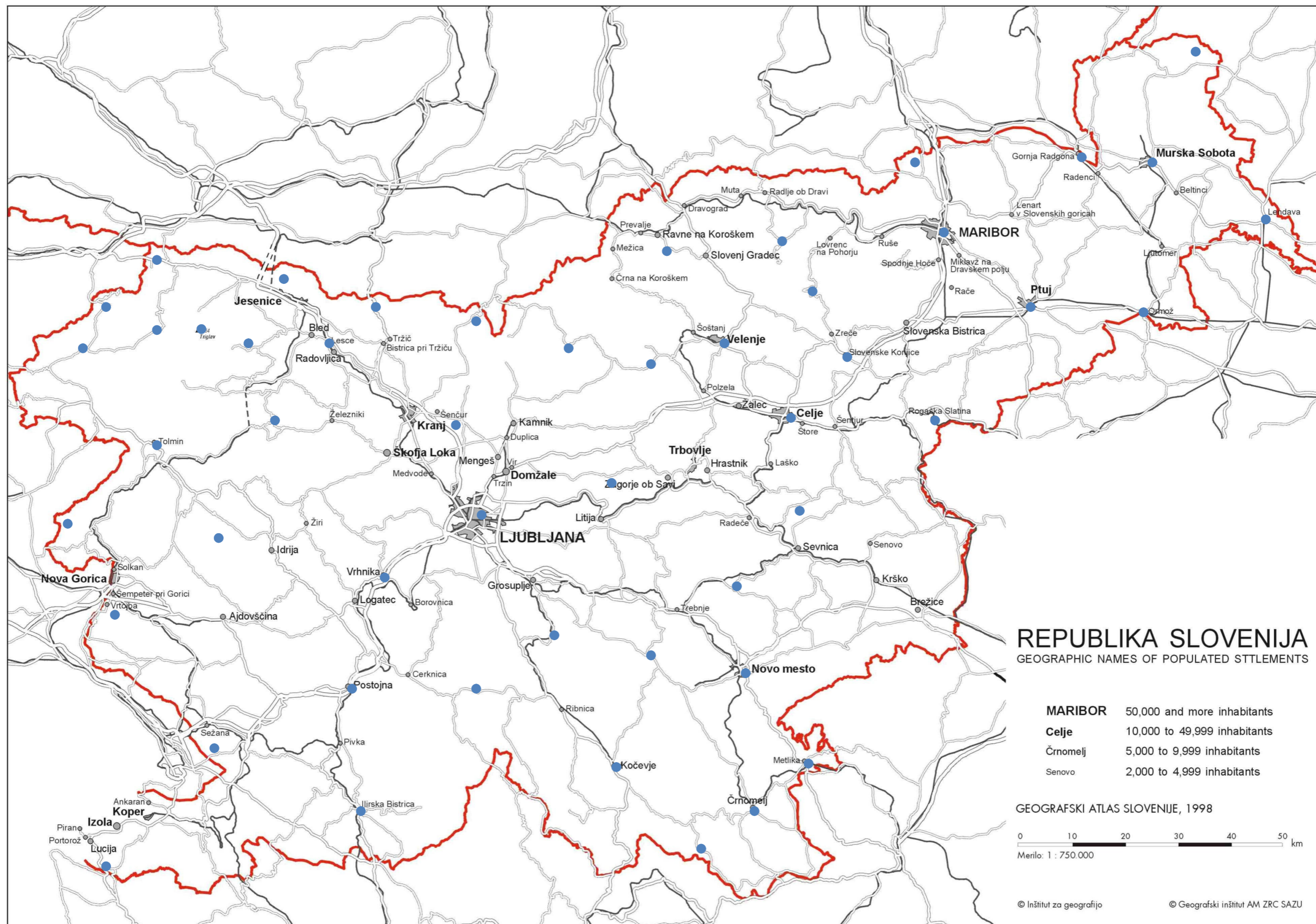
Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
4.0. TRDE IN TEKOČE PADAVINE				
4.1. Izotopska analiza	Ljubljana	Zbirna količina	mesečno	12+12
	Bovec	skupnega useda	tromesečno	4
VL spektrometrija gama	Murska Sobota	v enem mesecu na	tromesečno	4
	Novo mesto	višini 1m od tal	tromesečno	4
4.2. Specifična analiza Sr-90	Ljubljana	Zbirna količina	tromesečno	4
	Bovec	skupnega useda	tromesečno	4
	Murska Sobota		tromesečno	4
	Novo mesto		tromesečno	4
4.3. Specifična analiza H-3	Ljubljana	Zbirna količina skupnega useda	mesečno	12
5.0. PITNA VODA				
Izotopska analiza				
5.1. VL spektrometrija gama	vodovodi:	enkratni vzorec	1 x letno	15
5.2. Specifična analiza H-3	15 lokacij		1 x letno	15
5.3. Specifična analiza Sr-90	po Sloveniji		1 x letno	15
6.0. HRANA				
6.1. Hrana rastlinskega porekla (1)				
6.1.1. Zelenjava	Večja mesta	Sezonska zelenjava	1 x letno	6
6.1.1.1. Izotopska analiza VL gama	po celotni Sloveniji	(7 močno zastopanih vrst): krompir, solata, špinača, korenje, zelje, fižol, paradižnik		
6.1.1.2. Specifična analiza Sr-90	Večja mesta po celotni Sloveniji	Sezonska zelenjava (7 močno zastopanih vrst)	1 x letno	6
6.1.2. Sadje	Večja mesta	Sezonsko sadje	1 x letno	6
6.1.2.1. Izotopska analiza VL gama	po celotni Sloveniji	jabolka, breskve, češnje, slive, hruške, (jagode, češnje samo na dveh lokacijah)		
6.1.2.2. Specifična analiza Sr-90	Večja mesta po celotni Sloveniji	Sezonsko sadje jabolka, breskve, češnje, slive, hruške, (jagode, češnje samo na dveh lokacijah)	1 x letno	6

Tabela 1 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2011 (modra – ZVD, zelena - IJS)

Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
6.1.3. Žito, kruh	Večja mesta	pšenica, koruza, rž, ječmen (vse lokacije)	1 x letno	6
6.1.3.1. Izotopska analiza VL gama	po celotni Sloveniji	kruh, bela moka (dve lokaciji)	1 x letno	
6.1.3.2. Specifična analiza Sr-90	Večja mesta po celotni Sloveniji	pšenica, koruza, rž, ječmen (vse lokacije) kruh, bela moka (dve lokaciji)	1 x letno	6
6.2. Hrana živalskega porekla (1)				
6.2.1. Izotopska analiza VL gama	Večja mesta po celotni Sloveniji	sir, jajca, goveje meso, svinjsko meso, ribe, perutnina, med, divjačina (na eni lokaciji)	1 x letno	8
	Večja mesta po celotni Sloveniji	mleko		6
		mleko		6
		mleko		6
		mleko		6
6.2.2. Specifična analiza Sr-90	Večja mesta po celotni Sloveniji	mleko		6
		mleko		6
		mleko		6
		mleko		6
6.2.3. Specifična analiza Sr-90		svinjsko meso, goveje meso	1 x letno	4
6.3. Celoviti obroki hrane				
6.3.1. Izotopska analiza VL gama	Vrtci po različnih slovenskih mestih	enkratni vzorec	1 x letno	5
6.3.2. Specifična analiza Sr-90	Vrtci po različnih slovenskih mestih	enkratni vzorec	1 x letno	5
7.0. KRMILA, GNOJILA, FOSFATI				
7.1. Izotopska analiza VL gama	10 lokacij	enkratni vzorec	1 x letno	12
7.2. Specifična analiza Sr-90	10 lokacij	enkratni vzorec	1 x letno	12



Slika 1: Lokacije vzorčenja vzorcev iz okolja



Slika 2: Lokacije TLD za meritve letne doze zunanjega sevanja

Tabela 2: Seznam TL-dozimetrov v Republiki Sloveniji z GPS koordinatami

Št.	KRAJ	GPS-KOORDINATE
1	KOČEVJE	45°38'47" / 14°51'02"
2	DVOR PRI ŽUŽEMBERKU	45°48'30" / 14°57'42"
3	DOBLIČE (ČRNO MELJ)	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	MOKRONOG	45°56'29" / 15°09'01"
7	LISCA	46°04'04" / 15°17'06"
8	CELJE	46°14'11" / 15°13'34"
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°52'58"
14	JERUZALEM (ORMOŽ)	46°28'34" / 16°11'15"
15	LENDAVA	46°33'25" / 16°28'20"
16	MURSKA SOBOTA (RAKIČAN)	46°39'08" / 16°11'29"
17	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°13'39" / 14°27'40"
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°42'27"
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°53'46" / 13°37'28"
39	VEDRIJAN (KOJSKO)	46°00'50" / 13°32'29"
40	LOKEV PRI LIPICI	45°39'51" / 13°55'21"
41	PORTOROŽ - AERODROM	45°28'29" / 13°37'01"
42	KOSEZE (ILIRSKA BISTRICA)	45°33'11" / 14°14'05"
43	ZALOG (POSTOJNA)	45°45'57" / 14°11'35"
44	NOVA VAS NA BLOKAH	45°46'23" / 14°30'34"
45	VRHNIKA	45°57'42" / 14°16'26"
46	VOJSKO	46°01'31" / 13°54'09"
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°22'59" / 13°50'59"

3 Metodologija meritev

Meritve v okviru rednega monitoringa življenjskega okolja v Republiki Sloveniji v letu 2011 sta izvajala ZVD in IJS. Za določanje specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih iz okolja smo uporabljali visokoločljivostno spektrometrijo gama (ZVD in IJS), radiokemično analizo Sr-90 (ZVD in IJS), radiokemično analizo H-3 (IJS) in radiokemično analizo I-131 (ZVD). Za meritve doze zunanjskega sevanja smo uporabljali TL dozimetre (IJS).

Vzorke zraka, padavin, neobdelane zemlje ter hrane rastlinskega in živalskega porekla smo v letu 2011 na ZVD vzorčili, pripravili in merili v skladu z odobrenimi delovnimi postopki za vzorčenje, pripravo vzorcev in izvajanje meritev specifičnih aktivnosti gama in beta sevalcev v vzorcih iz življenjskega okolja, DP-LMSAR-01, DP-LMSAR-02, DP-LMSAR-03, DP-LMSAR-07, DP-LMSAR-16, DP-LMSAR-18, DP-LMSAR-4.01, DP-LMSAR-4.02, DP-LMSAR-4.03. Rezultati meritev, ki jih je izvajal ZVD, so v tabelah v prilogi tega poročila.

IJS je v letu 2011 izvajal meritve radioaktivnosti tekočih vod, pitnih vod, sedimenta, zemlje in zraka v Ljubljani in krmil ter zunanjskega sevanja. Vzorke so na IJS vzorčili, pripravili in merili v skladu s sprejetimi postopki IJS. Sevalce gama določajo v skladu s postopkom *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, vsebnost Sr-89/90 v skladu s postopki *Določanje stroncija z beta štetjem (SDN-O2-STC(01))* in *Navodilo za uporabo proporcionalnega števca (DP-O2-STC(01))*, vsebnost tritija pa v skladu s postopkom *Meritve, analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07)* ali *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem (SDN-O2-SZC(02))*. Rezultati meritev, ki jih je izvajal IJS, so v tabelah v prilogi tega poročila.

Stalno izvajanje kontrolnih meritev v laboratorijih po definiranih programih, udeležba na interkomparacijskih meritvah doma in v tujini, uporaba standardnih virov radioaktivnosti s certifikati, zagotavljajo kakovostne meritve, zanesljivost rezultatov in sledljivost do mednarodnih etalonov za merila.

3.1 Akreditirane meritve

ZVD in IJS sta za izvajanje meritev z metodo visoko ločljivostne spektrometrije gama, radiokemične analize Sr-89, Sr-90 in H-3 (samo IJS) ter meritve doze zunanjskega sevanja akreditirana v skladu s standardom SIST EN ISO/IEC 17025 – akreditacijske listine številka LP-022, LP-032 in LP-090. Radiokemične analize I-131 se ne izvajajo po akreditirani metodi, vendar izvajalci meritev vzdržujejo sistem kakovosti in nenehnega izboljševanja. Rezultati, ki se ne nanašajo na akreditirano dejavnost, so posebej označeni.

3.2 Izračuni specifičnih aktivnosti

Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih zraka podajamo v Bq/m³, v vzorcih tekočih in pitnih vod v Bq/m³, v vzorcih padavin na količino padavin v Bq/mm, v Bq/m³ in preračunane na enoto prestrezne površine, v Bq/m². V vzorcih zemlje podajamo specifične aktivnosti radionuklidov v Bq/kg in preračunane na enoto površine v Bq/m². Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih hrane (mleko, meso, sadje, zelenjava in močnati izdelki) podajamo v Bq/kg. Doze zunanjega sevanja in efektivne doze za prebivalstvo podajamo v mSv oziroma μSv.

Za vsako vrsto vzorca smo v tem poročilu izračunali povprečno letno vrednost specifične aktivnosti in njeno negotovost, ki ju kasneje upoštevamo v izračunu doz prebivalcev. Povprečno vrednost v tem poročilu izračunamo kot povprečje vseh poročanih izmerjenih vrednosti ali, če so aktivnosti prenizke, vrednosti meje detekcije za vsako specifično meritev. Negotovosti posameznih meritev so podane v tabelah v prilogi. K negotovosti izračunanega povprečja specifičnih aktivnosti vzorca prispevajo tako negotovosti posameznih meritev σ in standardna deviacija posameznih meritev od povprečne vrednosti $\sigma_{\bar{x}}$, kot je prikazano v spodnjih enačbah.

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ in } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \dots$$

kjer je $\sigma_{\bar{x}}$ - negotovost povprečne vrednosti. To pomeni, da bo, na primer, pri izmerjenih vzorcih, ki imajo velik razpon vrednosti prevladovala negotovost zaradi velike standardne deviacije od povprečja, pri vzorcih s konstantnimi vrednostmi pa negotovost zaradi negotovosti posamičnih meritev. Zato se je v primeru velikih negotovosti za povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti vzorcev v tem poročilu potrebno zavedati, da te v večini primerov niso posledica merske negotovosti, ampak predvsem širokega razpona aktivnosti v posameznih vzorcih iste vrste.

V spodnji tabeli so prikazane orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide za metodo visokoločljivostne spektrometrije gama (Tabela 3).

Tabela 3: Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide

Vrsta vzorca	zemlja	voda	sediment	zrak
Količina vzorca	1 kg	0,02 m ³	1 kg	10000 m ³
Trajanje meritve	1 dan	1 dan	2 dni	1 dan
Spodnja meja detekcije				
Radionuklid	Bq/kg	Bq/m ³	Bq/kg	Bq/m ³
K-40	9,0E-01	1,8E+01	7,0E-01	3,5E-05
Co-60	1,0E-01	4,1E+00	8,1E-01	5,4E-05
I-131	8,9E-02	3,2E+00	7,1E-01	4,3E-05
Cs-134	9,6E-02	3,6E+00	7,7E-01	5,1E-05
Cs-137	1,0E-01	3,8E+00	8,1E-01	5,4E-05
Pb-210	1,1E+00	1,3E+01	7,0E-01	2,6E-05
Ra-228	5,0E-01	7,0E+00	4,0E-01	1,4E-05
Th-228	2,0E-01	4,0E+00	2,0E-01	8,0E-06
Ra-226	3,0E-01	2,3E+00	2,0E-01	4,5E-06
U-238	8,0E-01	1,2E+01	6,0E-01	2,3E-05
Am-241	1,5E-01	3,5E+00	1,0E+00	5,1E-05

4 Rezultati meritev in komentar

4.1 Tekoče vode

Meritve tekočih voda so bile opravljene v dveh enkratnih vzorcih rek Save v Ljubljani in Brežicah, Drave pri Dravogradu, Mure pri Petanjcih, Savinje pod Celjem, Krke pri Otočcu, Soče pri Solkanu in Kolpe pri Vinici ter morja in sedimenta v Piranu. V vzorcih rek Save, Drave in Mure so bile opravljene meritve specifične aktivnosti H-3. V rekah Muri in Dravi so se opravljale trimesečne enkratne meritve specifične aktivnosti I-131. Rezultati so prikazani v prilogi v tabeli 1.

V vzorcih rek smo merili umetne radionuklide Cs-137, Sr-90 in H-3, ki so produkt človekovih dejavnosti, ter I-131, ki se uporablja v terapevtske namene v bolnišnicah v Sloveniji in v Avstriji. Določali smo tudi specifične aktivnosti naravnih radionuklidov uranove in torijeve vrste ter K-40 in Be-7. Najvišje izmerjene koncentracije in povprečne vrednosti so predstavljene v spodnji tabeli (Tabela 4)

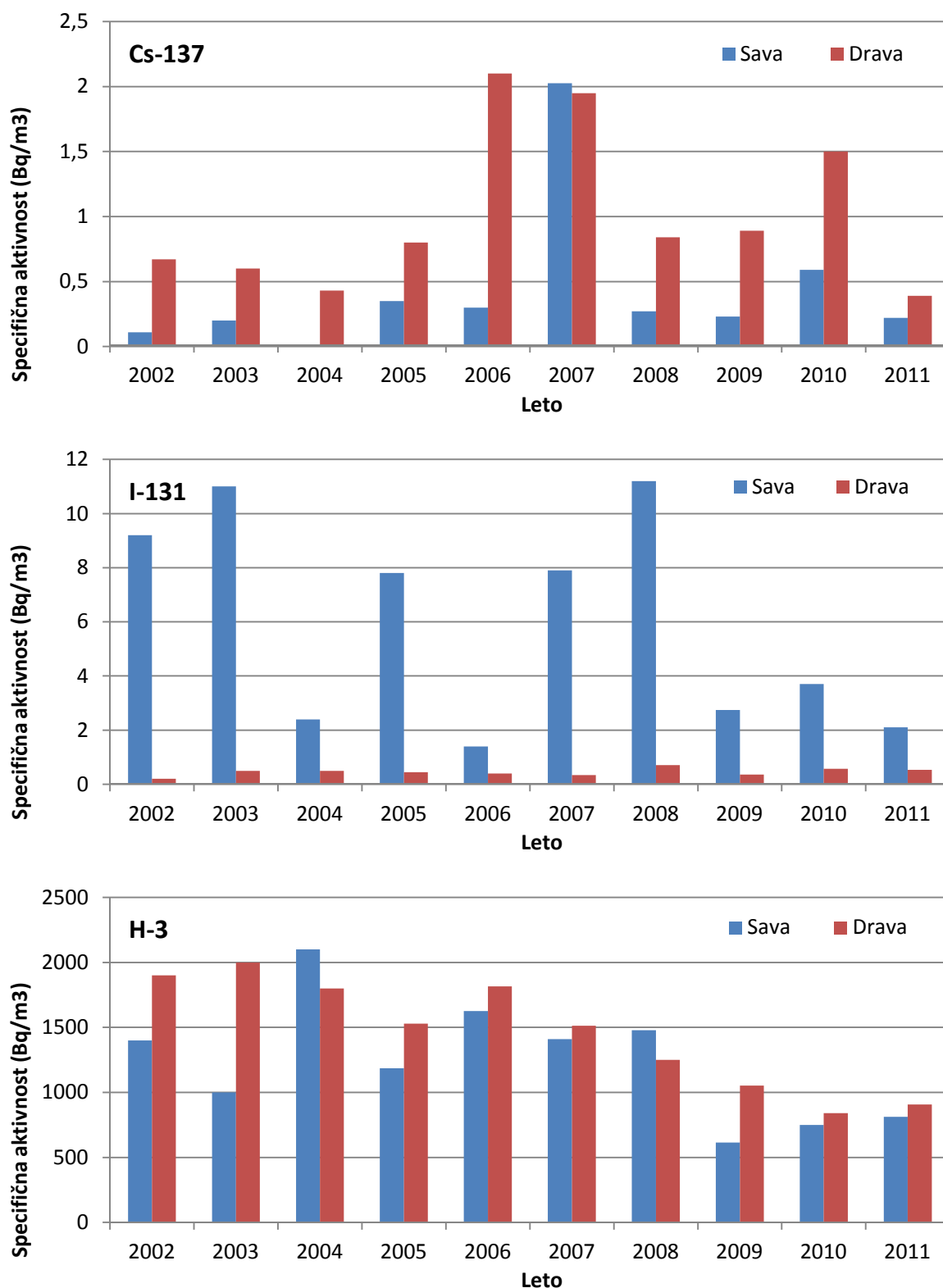
Iz tabele meritev (Tabela 1 v prilogi) vidimo, da je koncentracija K-40 v Savinji pri Celju za približno en velikostni red višja kot na drugih mestih. Utemeljene razlage za to ni, lahko je posledica uporabe surovin v industriji ali pa izdelkov v poljedelstvu, ki vsebujejo večje količine kalija. Predlagamo, da se v Celjski kotlini testno izmeri tudi koncentracije K-40 v zemlji, iz česar bi lahko potem sklepali glede povečanja v Savinji.

Tabela 4: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod

Radionuklid	Najvišja izm. spec. akt. (Bq/m ³)	Lokacija	Povprečna vrednost (Bq/m ³)
Cs-137	0,84	Mura	0,2 ± 0,3
Sr-90	3,7	Sava - Ljubljana	2,7 ± 0,8
I-131	10,8	Sava - Brežice	2,1 ± 3,0
H-3	1280	Mura	812 ± 197
Pb-210	4,9	Sava - Ljubljana	0,9 ± 1,6
K-40	88,3	Savinja	44 ± 22
Be-7	2,7	Sava - Ljubljana	0,9 ± 1,0

Na spodnji sliki (Slika 3) so prikazane povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v rekah Savi (povprečje lokacije pri Ljubljani in Brežicah) in Dravi v Dravogradu za obdobje od leta 2002 dalje. V letu 2007 opazimo navidezno višjo vrednost koncentracij Cs-137 v reki Savi, vendar lahko ugotovimo, da je bila koncentracija pod mejo detekcije, ki je bila v tem primeru višja za to specifično meritev. Enako velja tudi za koncentracije Cs-137 v reki Dravi v letih 2006 in 2007. Opazimo lahko tudi, da je I-131 v Savi (Ljubljana) za skoraj dva velikostna reda več kot v Dravi, kar je najbrž posledica izpustov I-131 iz Univerzitetnega kliničnega centra v Ljubljani, kjer izvajajo terapijo z omenjenim izotopom in kjer so lahko izmerjene koncentracije močno odvisne od dneva vzorčenja. Zaključke o

razmerjih izotopa v obeh rekah pa je zaradi narave izvajanja terapevtskih postopkov in le dveh letnih meritev enkratnih vzorcev težko potegniti.



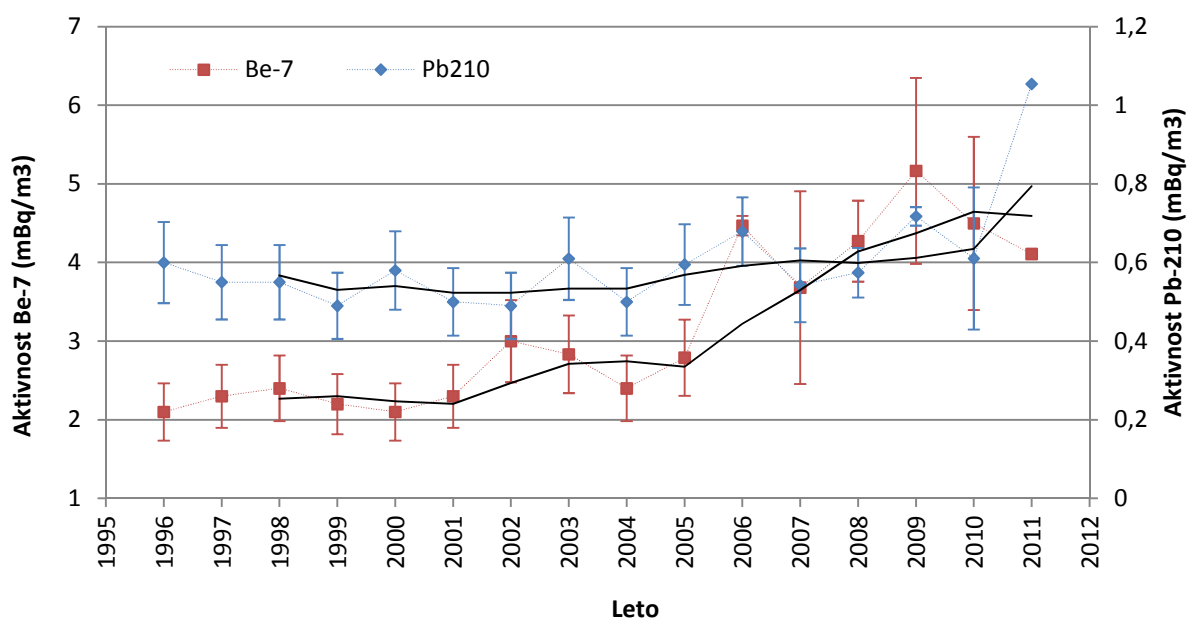
Slika 3: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi (povprečje lokacij Ljubljana in Brežice) in Dravi od leta 2002 dalje.

4.2 Zrak

Meritve so se kot v preteklih letih izvajale na lokacijah Ljubljana in Predmeja, namesto lokacije Jezersko pa od leta 2005 dalje poteka vzorčenje zraka na Jareninskem vrhu pri Mariboru. Od avgusta 2009 se vzorčenje v Ljubljani namesto na lokaciji Reaktorskega centra Podgorica izvaja na lokaciji IJS na Jamovi cesti. Zrak se kontinuirano vzorči, analize sevalcev gama sestavljenih vzorcev pa se opravljajo mesečno. Rezultati so podani v prilogi (Tabela 2).

Celoletna letna povprečna vrednost specifične aktivnosti Cs-137 na lokaciji vzorčenja v Ljubljani je bila $3,2 \pm 1,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, na lokaciji vzorčenja na Jareninskem vrhu $5,0 \pm 6,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in na lokaciji vzorčenja na Predmeji $3,7 \pm 3,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Povprečna vrednost koncentracije Cs-137 za področje cele Slovenije v letu 2011 je $4,0 \pm 0,9 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. V mesecih po jedrskih nesreči 11.3.2001 v Fukušimi na Japonskem (marec, april, delno maj) je bilo moč izmeriti tudi prisotnost kratkoživih izotopov zaradi izpustov iz omenjene jedrske elektrarne, in sicer I-131 in Cs-134. Povprečna vrednost specifične aktivnosti, iz nekaj mesečnih meritev preračunana na letno vrednost, je znašala za na lokaciji vzorčenja v Ljubljani $15 \pm 12 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ za I-131 in $1,7 \pm 1,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ za Cs-134, na lokaciji vzorčenja na Jareninskem vrhu $16,9 \pm 1,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ za I-131 in $1,9 \pm 0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ za Cs-134 in na lokaciji vzorčenja na Predmeji $16,1 \pm 1,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ za I-131 in $1,2 \pm 0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ za Cs-134.

Poleg naravnih radionuklidov je opaziti tudi kozmogeni Be-7. Povprečna letna vrednost specifične aktivnosti je bila na Jareninskem vrhu za Be-7 $4,2 \pm 1,4 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $1,4 \pm 1,4 \text{ mBq}/\text{m}^3$, v Ljubljani za Be-7 $4,4 \pm 1,2 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,95 \pm 0,38 \text{ mBq}/\text{m}^3$ in na Predmeji za Be-7 $4,0 \pm 1,2 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,80 \pm 0,53 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Povprečna vrednost koncentracije Be-7 za področje cele Slovenije v letu 2011 je $4,1 \pm 0,4 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $1,05 \pm 0,32 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Na spodnji sliki (Slika 4) so prikazane povprečne celoletne vrednosti specifičnih aktivnosti v zraku iz vseh treh lokacij vzorčenja za Pb-210 in kozmogeni Be-7 za obdobje od dalje 1996 dalje.



Slika 4: Povprečne celoletne specifične aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od leta 1996 dalje za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja)

Iz slike (Slika 4) je razvidno, da je specifična aktivnost Pb-210 skozi celotno obdobje dokaj konstantna in variira okrog povprečne vrednosti $0,55 \text{ mBq/m}^3$. Vrednosti specifičnih aktivnosti Be-7 se gibajo med $2,1\text{-}5,1 \text{ mBq/m}^3$. V letih 2006-2011 so izmerjene vrednosti Be-7 v zraku za slabo polovico višje kot v prejšnjih letih (do 2005), dodatno je opazen rahel vrh okrog leta 2002.

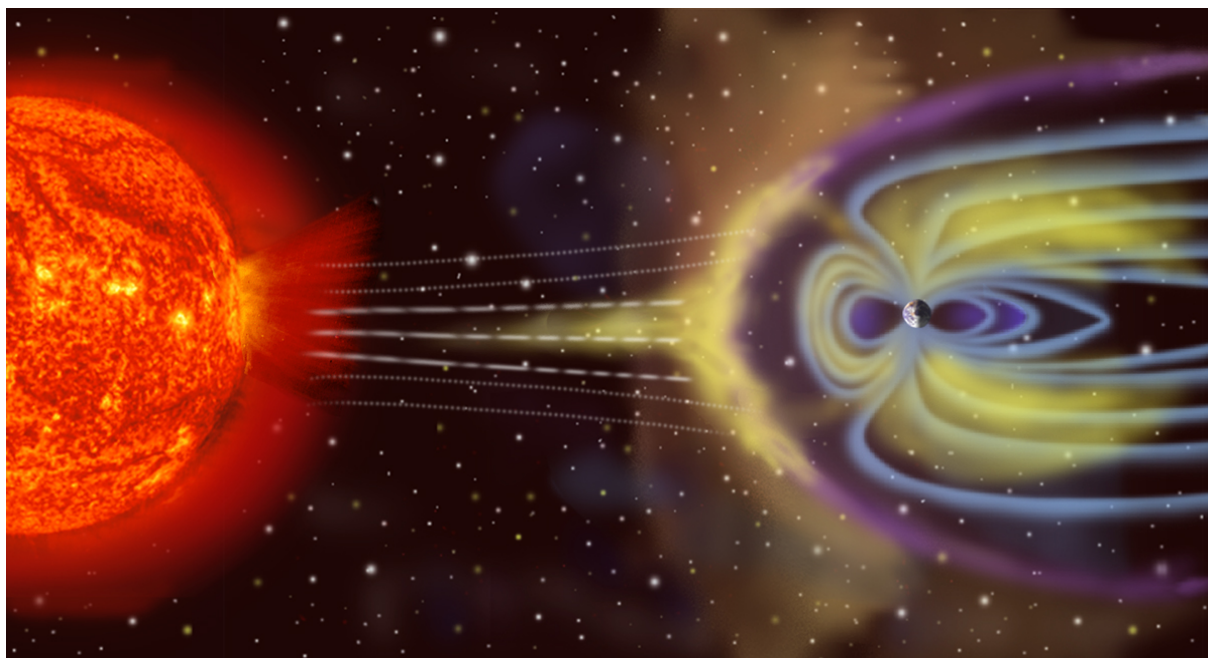
Podoben trend je možno opaziti tudi pri vrednostih Be-7 v vzorcih padavin (Slika 17), kjer je tudi opazno povišanje koncentracij v letih 2006-2011 v primerjavi s preteklimi leti. Potrebno pa se je zavedati, da je vsebnost Be-7 v padavinah v kratkih vzorčevalnih obdobjih (npr. mesečnih) antikorelirana z vsebnostjo Be-7 v zraku, v letnih povprečjih pa so koncentracije korelirane.

4.2.1 Dolgoročna odvisnost koncentracij Be-7 od sončevega ciklusa

Variacije glede na leta opazovanja v koncentracijah Be-7 bi lahko pojasnili s t.i. sončevim ciklusom, razlago pa podajamo v nadaljevanju.

Kozmogeni Be-7 nastaja kot fragmentacijski produkt jeder O in N pri trkih z bodisi visoko energijskimi galaktičnimi kozmičnimi žarki bodisi nizko energijskimi delci solarnega vetra v zemeljski atmosferi, pri čemer je prispevek slednjih precej manjši.

Solarni veter je sestavljen iz protonov in elektronov pospešenih v sončevi koroni ali ob solarnih izbruhih. Večinoma so energije teh delcev prenizke, da bi prispeli v zemljino atmosfero, saj se zaradi Zemljinega magnetnega polja uklanjajo (Slika 5). Njihov sicer majhen vpliv je možen le na magnetnih polih, kjer je usmerjenost magnetnih silnic taka, da delci solarnega vetra lahko prodrejo do nižjih nadmorskih višin.

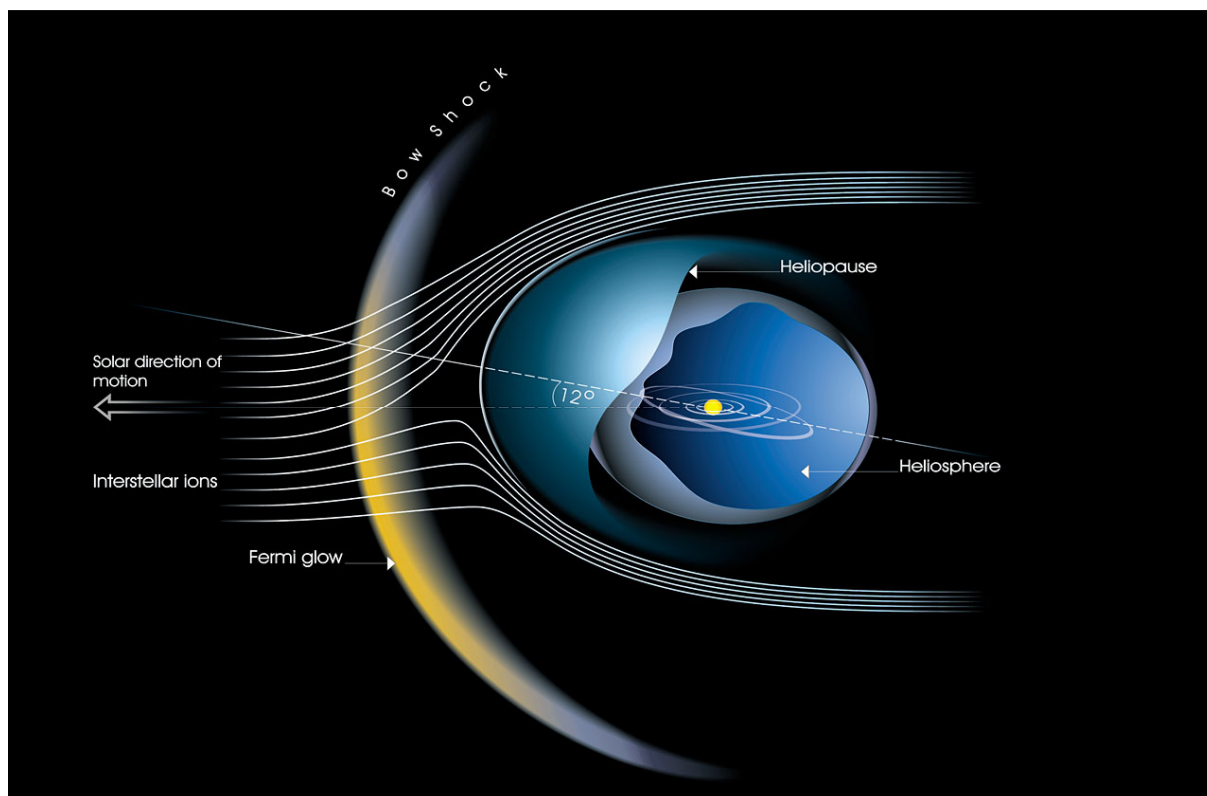


Slika 5: S površine Sonca izhaja t.i. solarni veter, ki praktično ne more prodreti v zemljino atmosfero (shematski prikaz).

Solarni veter gledano v celotnem našem osončju pomeni tudi kontinuiran tok plazme (protoni in elektroni), območje vpliva te plazme pa imenujemo heliosfera in sega onkraj Plutonove orbite. Ker je

plazma električno prevodna, prenaša del Sončevega magnetnega polja. Na ta način ima solarni veter močan vpliv na galaktične kozmične žarke.

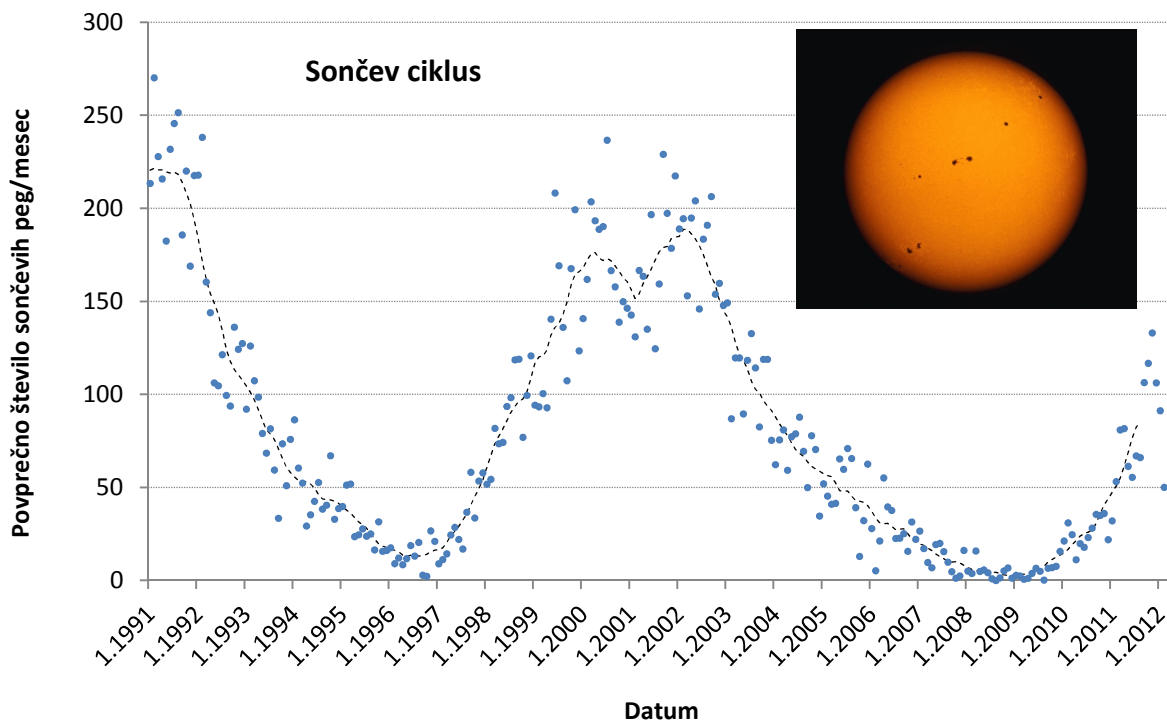
Galaktični kozmični žarki prihajajo tipično izven našega osončja iz medzvezdnega prostora naše galaksije. To so visoko energijski nabiti delci – protoni, elektroni in popolnoma ionizirana jedra lahkih elementov. Ko se galaktični kozmični žarki približajo našemu osončju, v heliosferi lahko izgubijo precejšen del svoje energije in posledično v manjši meri prodrejo v Zemljino atmosfero (Slika 6). V tem primeru je verjetnost nastajanja kozmogenega Be-7 zmanjšana.



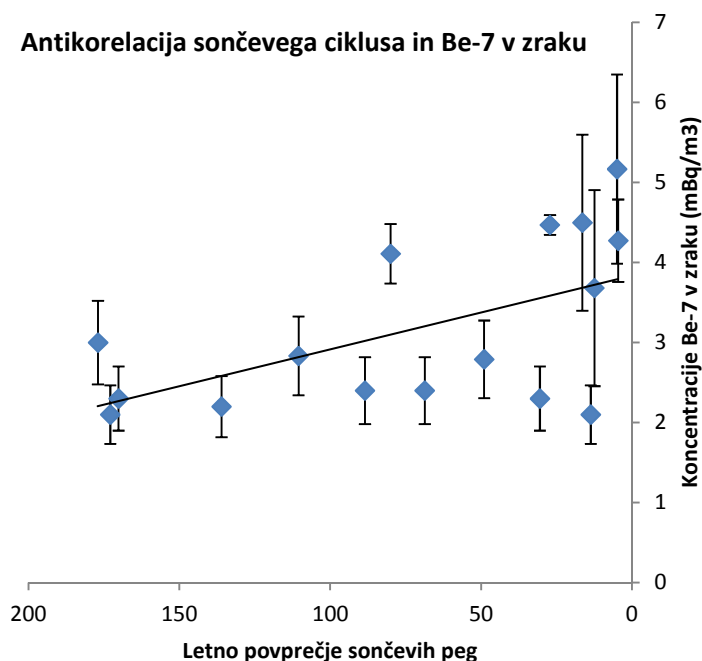
Slika 6: V času večje sončeve aktivnosti heliosfera zmanjšuje fluks galaktičnih kozmičnih žarkov do zemljine atmosfere.

Sončeva aktivnost ima svoj tipični 11-letni cikel. Odras aktivnosti je viden kot povečanje ali zmanjšanje števila sončevih peg. V času solarnega maksimuma je število peg večje, v času minimuma pa manjše. Med sončevim maksimumom je tudi solarni veter močnejši, kar posledično preko močnejše heliosfere pomeni zmanjšan vpliv galaktičnih kozmičnih žarkov na Zemljino atmosfero. Časovna odvisnost sončeve aktivnosti je prikazana na spodnji sliki (Slika 7).

Če primerjamo izmerjene specifične aktivnosti Be-7 v zraku (Slika 4) in sončevo aktivnost (Slika 7) ugotovimo močno antikorelacijo (Slika 8). V času sončevega minimuma (od 2006 do 2010) je zaradi večjega fluksa galaktičnih kozmičnih žarkov narasla specifična aktivnost Be-7, v času sončevega maksimuma (od 1999 do 2003) pa so specifične aktivnosti Be-7 v zraku nizke, z izjemo lokalnega sončevega minimuma v letu 2001-2002, ki se prav tako odraža v lokalnem maksimumu izmerjene specifične aktivnosti Be-7 v zraku v letu 2002. Z letom 2011 se začne nov sončev maksimum, zato so pričakovano koncentracije Be-7 v zraku nižje, predvidevamo, da bi v prihodnjih letih morale še dodatno pasti.



Slika 7: Povprečno mesečno število sončevih peg (črtkana črta predstavlja drseče povprečje), ki je merilo za sončevo aktivnost in solarni veter.



Slika 8: Antikorelacija sončevega cikla s koncentracijami Be-7 v zraku.

4.2.2 Sezonske variacije Be-7

Dodatno smo analizirali tudi sezonske variacije specifičnih aktivnosti Be-7 v letu 2011, ki so prikazane na spodnji sliki (Slika 9). Kozmogeni radionuklid Be-7 nastaja v jedrskih reakcijah fragmentacije ob

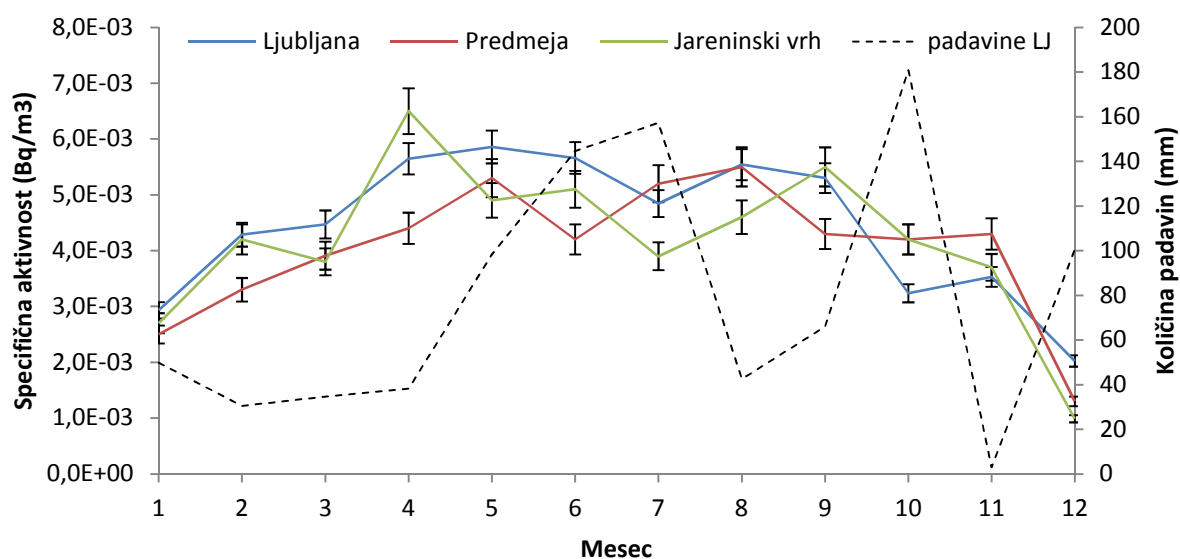
interakcijah s galaktičnimi kozmičnimi žarki v zemeljski atmosferi. Večina Be-7 nastane v spodnji stratosferi in nato počasi prehaja navzdol do nadmorskih višin zemeljskega površja.

Sezonske variacije koncentracij Be-7 v zraku so povezane z vsaj štirimi faktorji:

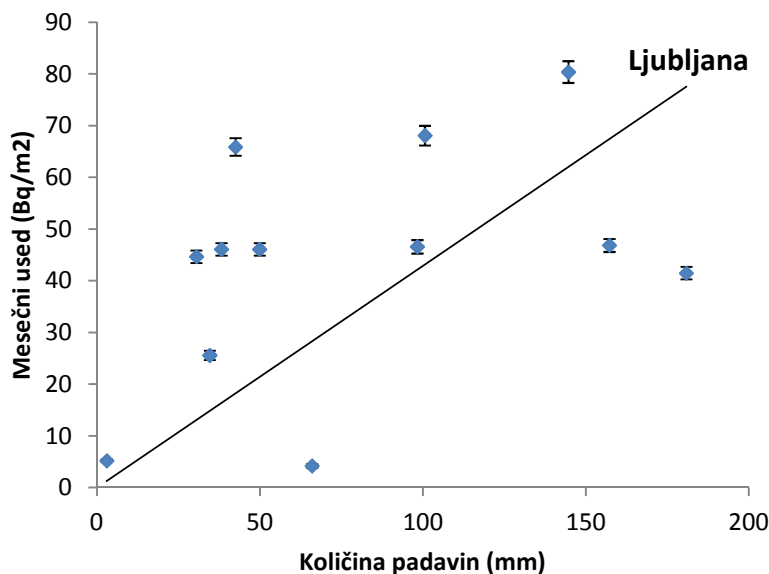
- hitrost prehajanja zračnih mas med stratosfero (višine do 50-60 km) in troposfero (višine do 8-15 km)
- vertikalno mešanje zračnih mas v troposferi
- prehajanje zračnih mas iz srednjih do visokih nadmorskih višin v troposferi in
- izpiranje atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin.

Izpiranje Be-7 s pomočjo padavin je dobro vidno na spodnjih slikah (Slika 9, Slika 10), kjer so prikazane mesečne vrednosti aktivnosti Be-7 v zraku, dodatno pa za primerjavo še količina padavin v Ljubljani. Lepo je tudi vidna korelacija med količino padavin in mesečnim usedom Be-7 v padavinah (Slika 10).

Poleg izpiranja s padavinami, pa so sezonske variacije v obdobjih, kjer ni zaznanih velikih sprememb v količinah padavinah – predvsem hladnejši meseci –, nedvomno povezane s premiki atmosferskih zračnih mas.

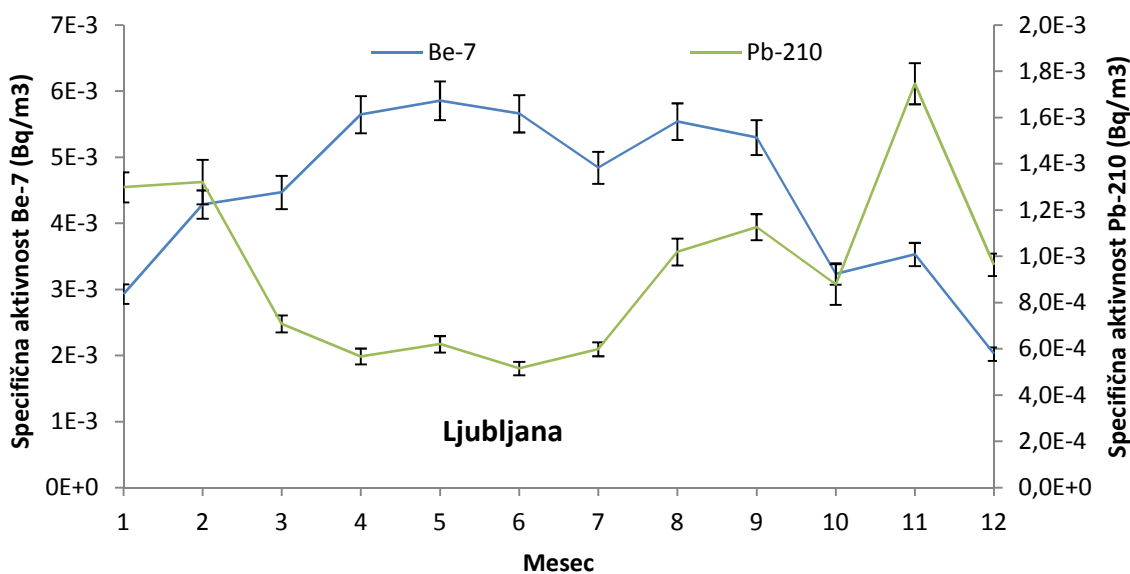


Slika 9: Sezonske variacije izmerjenih koncentracij atmosferskega Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2011



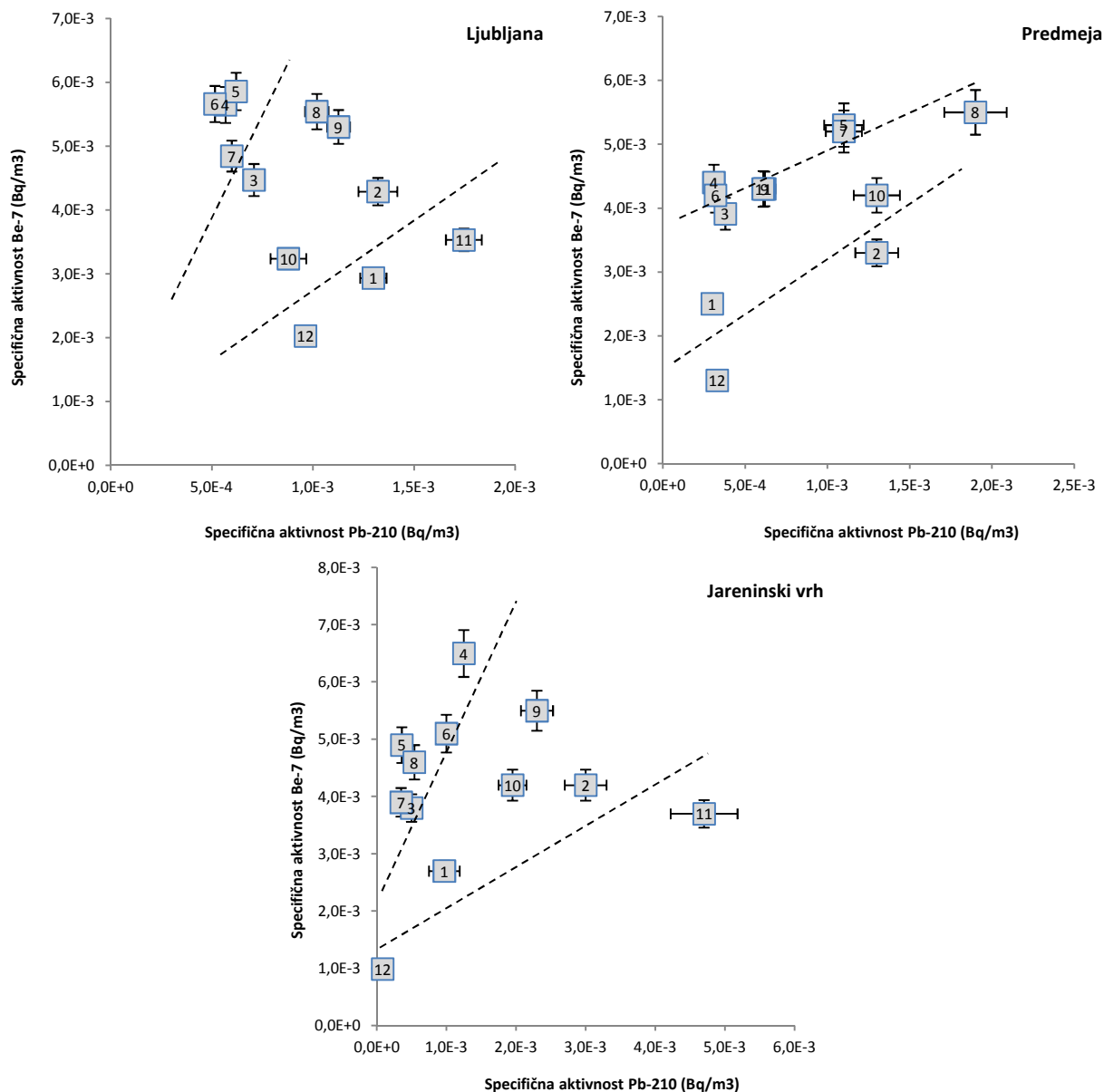
Slika 10: Korelacija padavin in izmerjenega mesečnega useda Be-7 v padavinah iz Ljubljane

Na spodnji sliki (Slika 11) podrobneje analiziramo sezonske variacije, kjer poleg Be-7 analiziramo tudi koncentracije Pb-210. Oba radionuklida sta v literaturi uporabljena kot dobra sledilca atmosferskih gibanj zraka, Pb-210 za aerosole v nizkih višinah atmosfere (saj izhaja iz tal), Be-7 pa za aerosole na visokih nadmorskih višinah (nastaja pri interakcijah z galaktičnimi kozmičnimi žarki). V Sloveniji so koncentracije Pb-210 v zraku višje v zimskih mesecih, predvsem ob nizki vlažnosti, posledično manjših padavinah in majhnim usedom. Ob deževnih mesecih (tipično spomladi in jeseni) se koncentracije Pb-210 v zraku zmanjšajo. Koncentracija Be-7 v zraku najbolj naraste v poletnih mesecih, kjer najverjetneje poletni azorski anticiklon poskrbi za pretakanje zračnih mas iz višjih plasti troposfere oziroma stratosfere v nižje. Na ta način pride do povečanja koncentracij Be-7 na nadmorskih višinah ob zemeljskem površju.



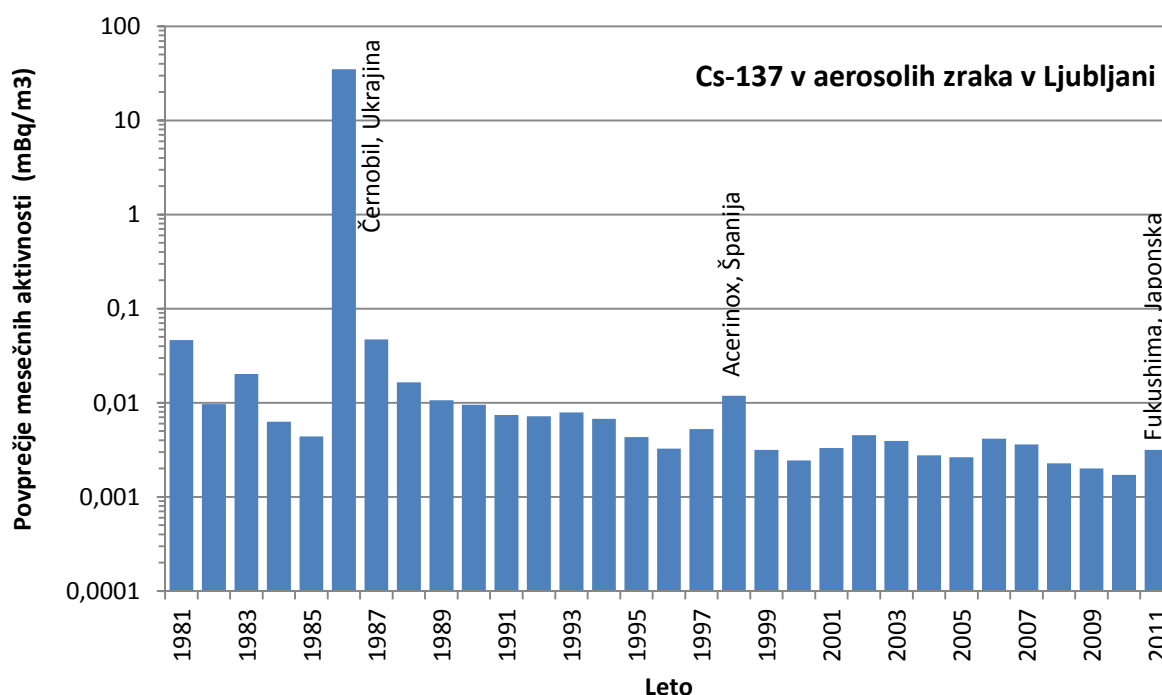
Slika 11: Sezonska variacija koncentracij atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku v Ljubljani

Oba opisana pojava za koncentracije Pb-210 in Be-7 pomenita dvojno korelacijsko funkcijo za zimske in poletne mesece, ki sta lepo opazni na lokacijah Ljubljana in Jareninski vrh (Slika 12). Lokacija v Predmeji je izpostavljena stalnim vetrovom, zato je ta dvojna korelacija najmanj opazna.



Slika 12: Zimske in poletne korelacije med izmerjenimi koncentracijami atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2011 – številka ob meritvi pomeni mesec vzorčevanja.

Na spodnji sliki (Slika 13) so prikazane povprečne mesečne specifične aktivnosti za Cs-137 za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje.



Slika 13: Povprečne mesečne specifične aktivnosti Cs-137 v zraku na lokaciji Ljubljana za obdobje od leta 1986 dalje

Mesečne koncentracije Cs-137 po letu 1986, ko so bile najvišje zaradi černobilske nesreče padajo. Povprečne letne koncentracije Cs-137 v zraku v Ljubljani se po letu 2000 gibljejo v območju vrednosti 2 – 5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Edino povišanje po černobilski nesreči je bilo vidno leta 1998, v času nezgode v jeklarni Acerinox v Španiji (Algeciras), kjer so stalili radioaktivni vir Cs-137, zaradi česar so bile izmerjene vrednosti okoli 10 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ter prvih nekaj mesecev po nesreči v jedrski elektrarni v Fukušimi na Japonskem. Zaradi velike oddaljenosti in posledične razredčitve vpliv nesreče v Sloveniji ni bil močno opazen, povišane vrednosti za velikostni red od siceršnjih vrednosti so bile opazne le v prvih dveh mesecih po nesreči. Tako je letno povprečje koncentracij Cs-137 v letu 2011 za približno polovico višje od vrednosti letnih povprečij v preteklih letih.

4.3 Padavine

4.3.1 Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90

Padavine smo vzorčili kontinuirano in merili enkrat mesečno v Ljubljani. V Murski Soboti, Bovcu in Novem mestu je bilo vzorčenje kontinuirano, meril se je trimesečni kompozitni vzorec.

Rezultati meritev so zbrani v prilogi (Tabela 5).

Letna količina padavin v letu 2011 v Ljubljani je bila 946 mm, v Bovcu 2169 mm, v Novem mestu 834 mm in v Murski Soboti 693 mm. Poleg umetnih radionuklidov Cs-137, Sr-90 in H-3 smo določali tudi naravne radionuklide U-238, Ra-226, Pb-210, Th-228, Ra-228, K-40 ter kozmogeni Be-7.

Primerjava rezultatov z letom poprej kaže, da se koncentracije posameznih radionuklidov v padavinah niso bistveno spremenile. Prisotnosti naravnih radionuklidov ni smiselno komentirati, saj ne predstavljajo pravega atmosferskega useda.

Od umetnih radionuklidov sta dolgoročno opazna samo Cs-137 in Sr-90, vendar so specifične aktivnosti večkrat na meji detekcije, tako da so negotovosti pri meritvah precej velike. Najvišji letni used Cs-137 je bil izmerjen v Ljubljani $4,6 \pm 2,4$ Bq/m² in najmanjši v Murski Soboti, kjer je znašal $0,58 \pm 0,06$ Bq/m². Najvišji letni used Sr-90 je bil izmerjen v Bovcu $0,9 \pm 0,1$ Bq/m², najnižji pa v Ljubljani $0,18 \pm 0,13$ Bq/m².

V mesecih po jedrskih nesreči 11.3.2001 v Fukušimi na Japonskem (marec, april) je bilo moč izmeriti tudi prisotnost kratkoživih izotopov zaradi izpustov iz omenjene jedrske elektrarne, in sicer I-131 in v manjši meri Cs-134. Letni used je znašal v Ljubljani $6,1 \pm 3,1$ Bq/m² (lokacija ZVD) oziroma $3,0 \pm 0,2$ Bq/m² (lokacija IJS) za I-131 in $0,1 \pm 0,03$ Bq/m² za Cs-134 (lokacija IJS), v Novem mestu $14,7 \pm 0,5$ Bq/m² za I-131 in v Murski Soboti $2,6 \pm 0,2$ Bq/m² za I-131.

Od naravnih radionuklidov naj omenimo še skupne vrednosti kozmogenega Be-7, katerega rezultati znašajo od 189 Bq/m² v Novem mestu do 1278 Bq/m² v Bovcu.

V tabeli (Tabela 5) so prikazane povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine povprečene na vse lokacije vzorčenja za obdobje od leta 2000 naprej. Dodane so tudi povprečne količine padavin na vseh merskih lokacijah za to obdobje. Na spodnji sliki (Slika 14) pa je prikazana časovna odvisnost letnega useda od leta 2000 dalje.

Tabela 5: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij)

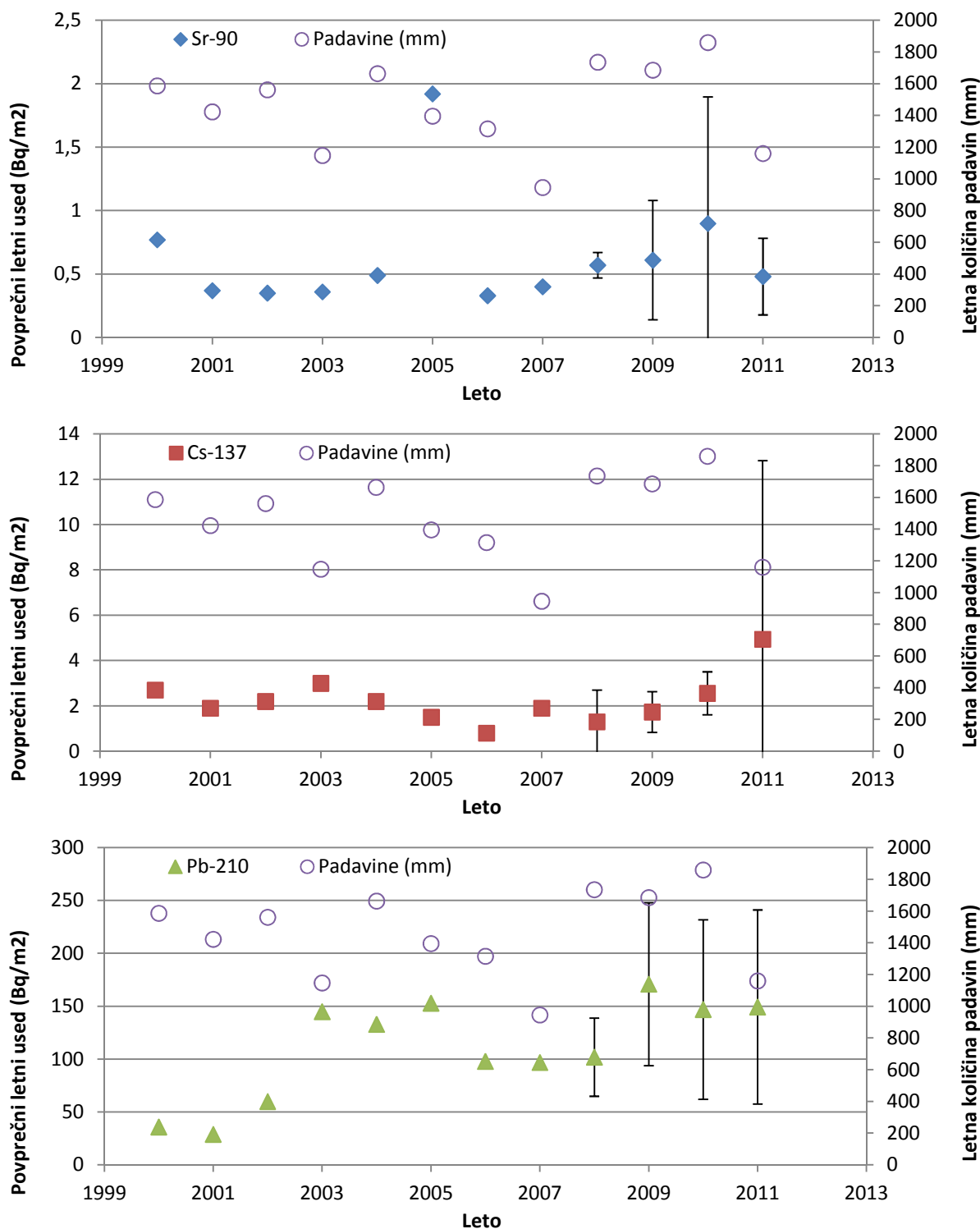
Leto	Radionuklid			Količina padavin (mm)
	Sr-90	Cs-137	Pb-210	
	Letni used (Bq/m ²)			
2000	0,77	2,7	36	1587
2001	0,37	1,9	29	1423
2002	0,35	2,2	60	1562
2003	0,36	3,0	145	1148
2004	0,49	2,2	133	1664
2005	1,92	1,5	153	1396
2006	0,33	0,8	98	1316
2007	0,40	1,9	97	946
2008	$0,57 \pm 0,10$	$1,3 \pm 1,4$	102 ± 37	1736
2009	$0,61 \pm 0,47$	$1,73 \pm 0,90$	171 ± 77	1686
2010	$0,90 \pm 1,00$	$2,56 \pm 0,95$	147 ± 85	1860 ± 1172
2011	$0,48 \pm 0,30$	$4,9 \pm 8,0$	149 ± 92	1161 ± 680

Iz rezultatov v tabeli je razvidno, da vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 na enoto površine povprečene po lokacijah Slovenije variirajo z leti. Relativno visoka vrednost za Sr-90 v 2005 v Ljubljani je posledica ene same visoke vrednosti, izmerjene v marcu 2005 $41,0 \pm 0,2$ Bq/m³. Vendar pa, če primerjamo odvisnost letnega useda od letne količine padavin (Slika 15), korelacija med njima ni zelo

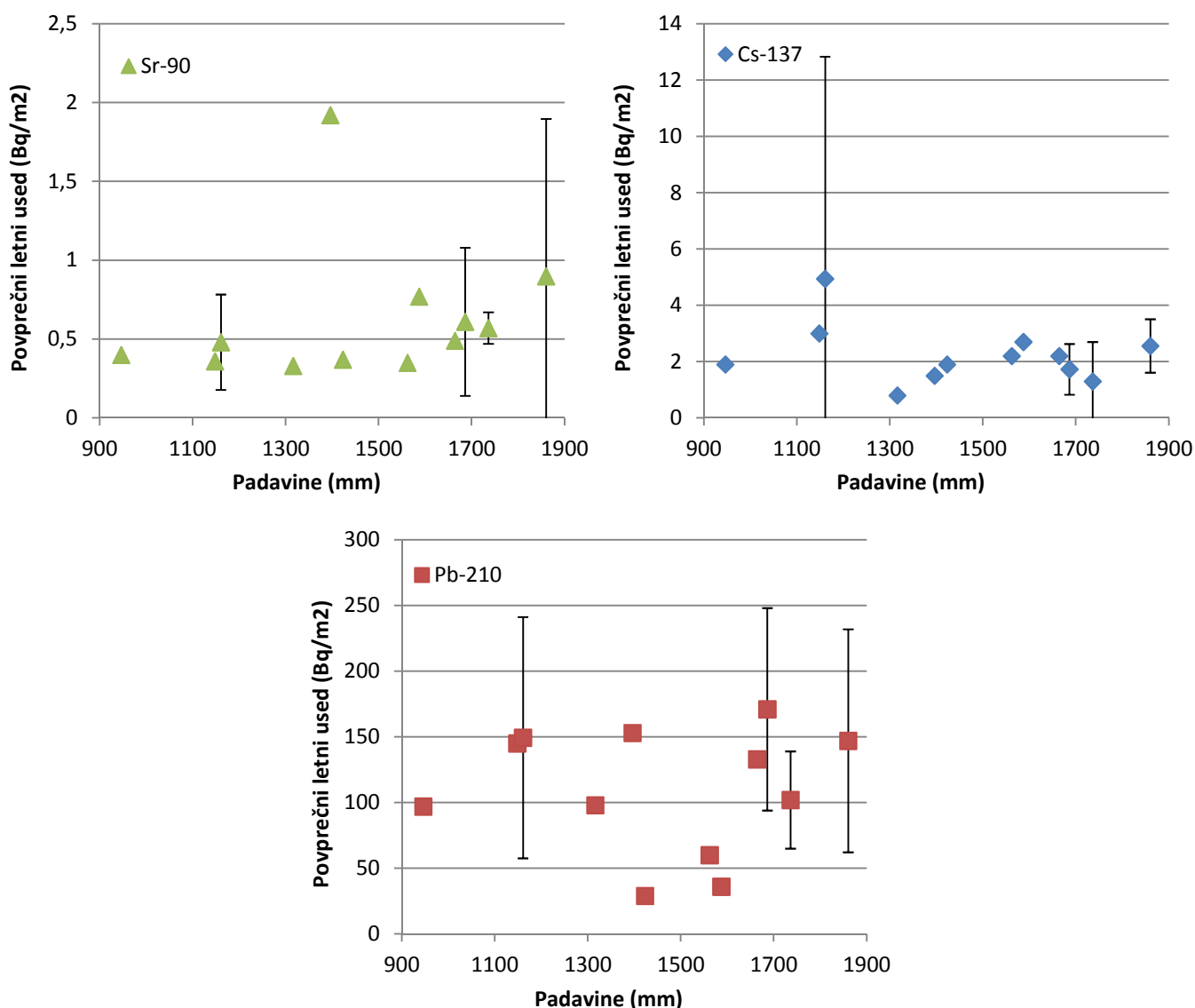
opazna. To najverjetneje pomeni, da ne glede na količino padavin, le-te izperejo praktično celotno aktivnost v zraku, zato na letni ravni ni zaznati velikih variacij.

Primerjava rezultatov za merjene radionuklide pokaže, da se koncentracije posameznih radionuklidov v padavinah niso bistveno spremenile v primerjavi s prejšnjimi leti. Dejstvo pa je, da so koncentracije pogosto blizu meje detekcije, tako da so tudi merske negotovosti relativno velike in prispevajo k vsakoletnim in medletnim sipanjem rezultatov.

Največja odstopanja v rezultatih po posameznih trimesečjih povzročajo zimski meseci, ki so lahko zelo suhi ali pa obilni s padavinami (glej tabele z rezultati meritev).



Slika 14: Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij po Sloveniji)

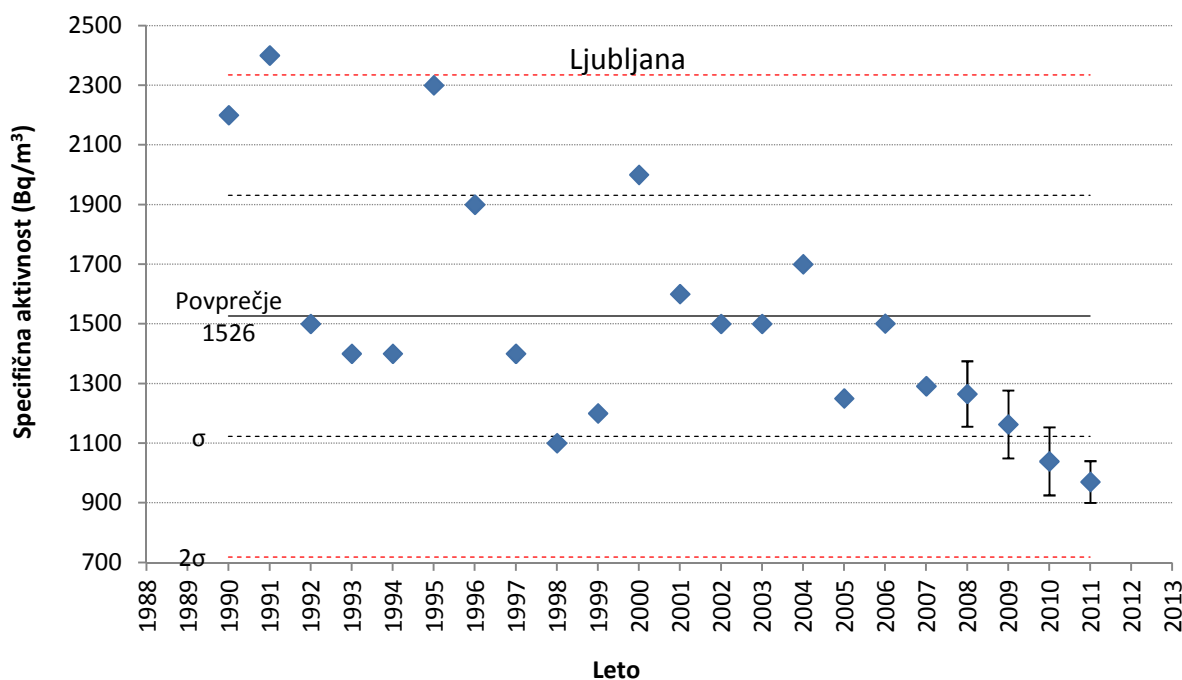


Slika 15: Korelacija količine padavin s povprečnim letnim usedom Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine (povprečje vseh lokacij po Sloveniji)

4.3.2 Specifična aktivnost H-3

Meritve specifične aktivnosti H-3 v vzorcih padavin smo opravili le v mesečnih vzorcih iz Ljubljane (meritve je izvajal IJS). Rezultati meritev so prikazani v prilogi. Koncentracije aktivnosti H-3 v deževnici v letu 2011 so v okviru dolgoletnega povprečja. Vrednosti specifičnih aktivnosti H-3 v obdobju od leta 1990 dalje se gibajo v območju 1000-2400 Bq/m³. Povprečna dolgoletna koncentracija H-3 znaša 1526 Bq/m³, v letu 2011 pa je znašala koncentracija H-3 970 ± 70 Bq/m³. Potrebno je omeniti, da so nekatere primerjave meritev koncentracij H-3 laboratorija v IJS in v Seibersdorfu, ki so opravljali nekatere meritve v prejšnjih letih, pokazale odstopanje tudi za faktor 2 (IJS izmeri višje vrednosti).

Na spodnji sliki (Slika 16) so prikazane vrednosti specifičnih aktivnosti H-3 v vzorcih padavin iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje in povprečje teh vrednosti za izbrano obdobje ter označene standardne deviacije (σ , 2σ).

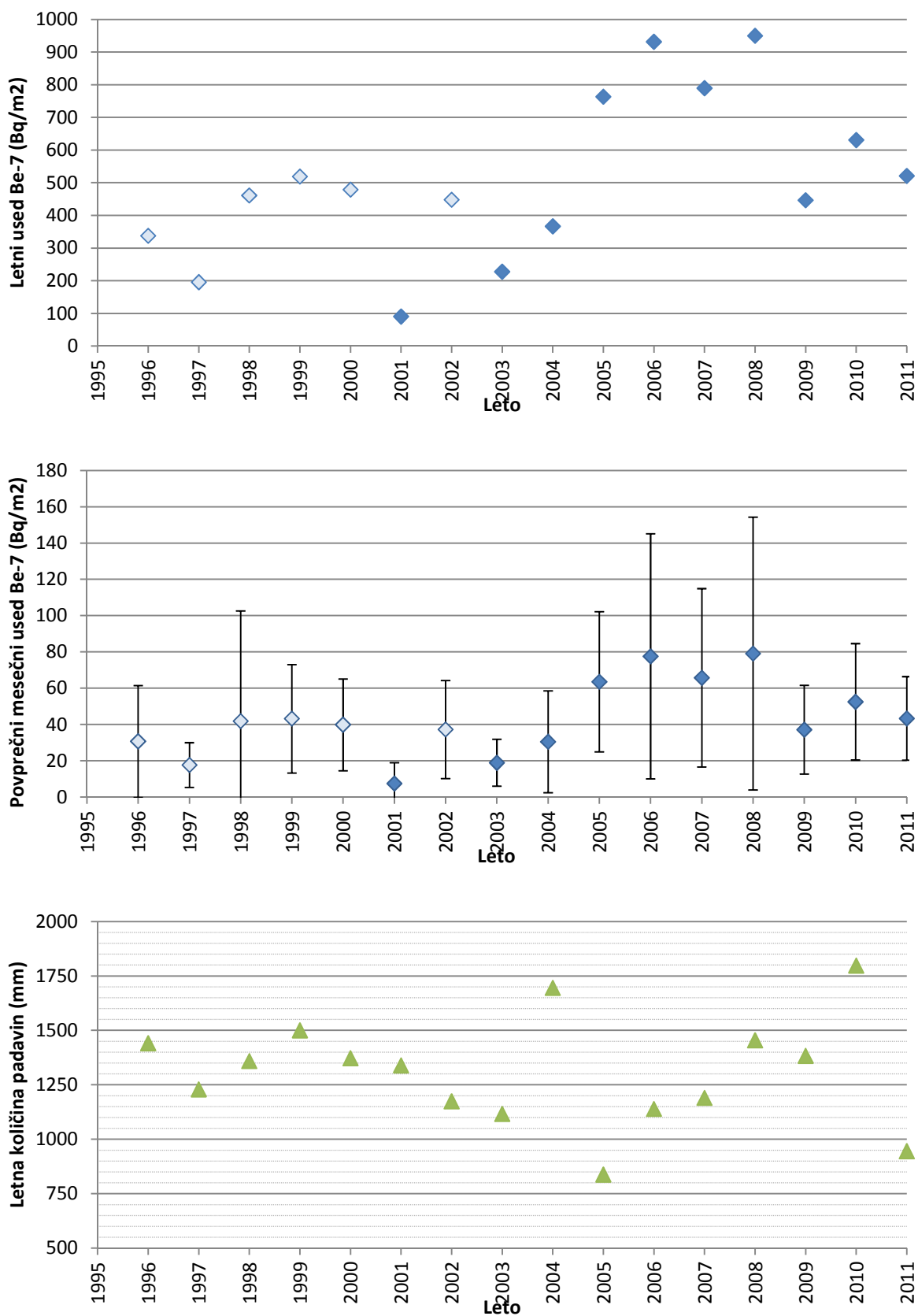


Slika 16: Specifične aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje

4.3.3 Specifična aktivnost kozmogenega Be-7

Na spodnjih slikah (Slika 17) so predstavljene dolgoročne meritve vsebnosti kozmogenega Be-7 v padavinah iz Ljubljane. Posebej podajamo skupni letni used (Bq/m²) in povprečni mesečni used (Bq/m²) ter za orientacijo še količino padavin. Posebej so v grafih označene starejše vrednosti v letih do 2000 in v letu 2002, kjer so koncentracije useda Be-7 izračunane na podlagi specifične aktivnosti zbranega vzorca padavin na enoto mase. V obdobju enomesečnega zbiranja padavin lahko del vzorca tudi izpari, kar pomeni, da so vrednosti navedene v grafih lahko celo za faktor 1-2 previsoke.

V letih okrog 2007 so opazne višje koncentracije Be-7 glede na prejšnja leta, in sicer približno za polovico. Podobno kot za vzorce zraka, lahko takšno povečanje pojasnimo s sončevim ciklusom, ki je podrobno opisan že v podpoglavju 4.2.1.



Slika 17: Specifične aktivnosti Be-7 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1996 dalje

4.4 Zemlja

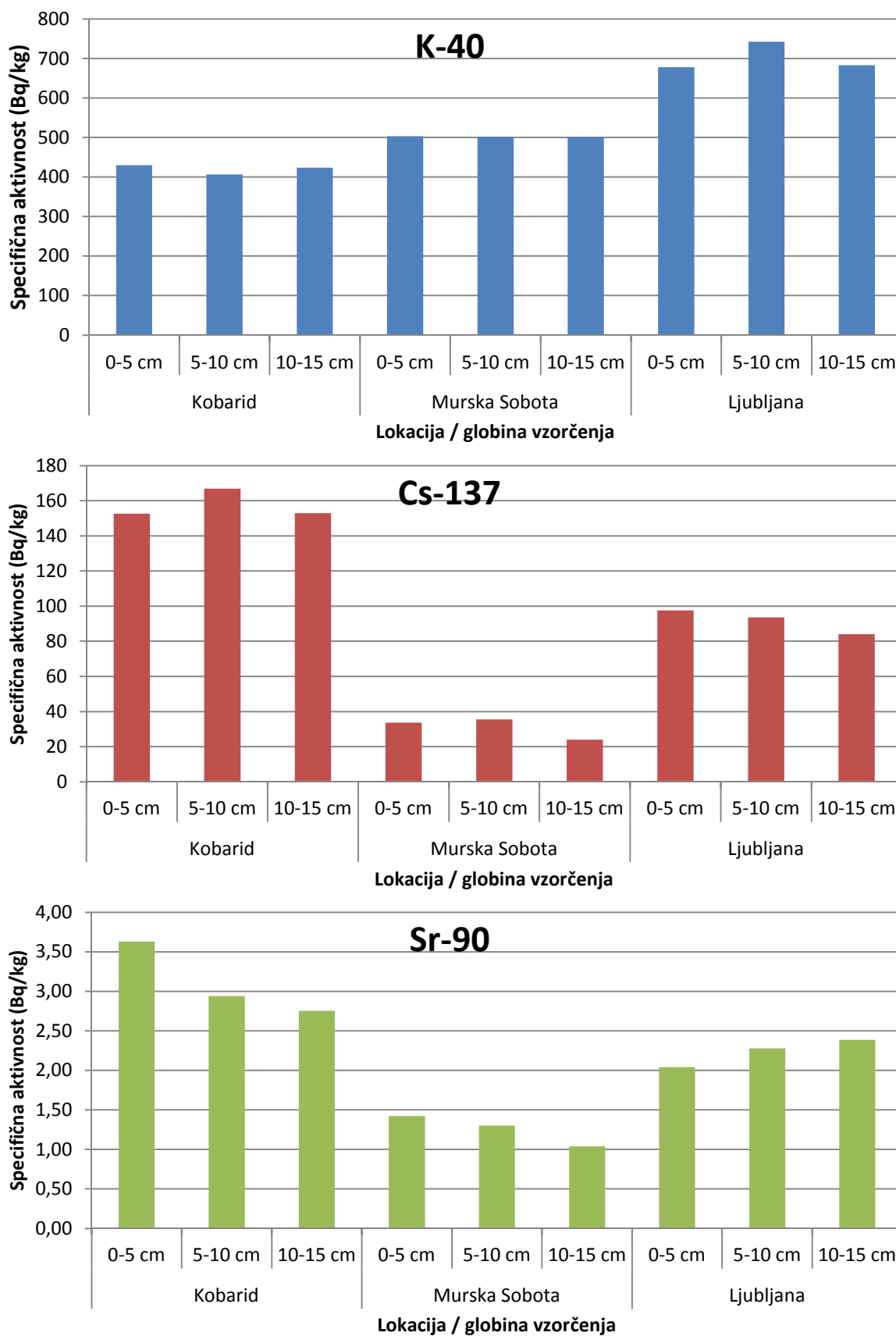
Zemljo smo vzorčili na treh globinah 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm na lokacijah Ljubljana (IJS), Kobarid in Murska Sobota (obe ZVD) v spomladanskem in jesenskem obdobju. V letu 2009 je začel IJS vzorčiti zemljo v Ljubljani na lokaciji Ceste dveh cesarjev, kjer je prejšnja leta vzorčil ZVD (v letu 2008 in 2006 je vzorčenje potekalo na lokaciji IJS Podgorica). Rezultati meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih zemlje so prikazani v prilogi (Tabela 3) ter spodnjih slikah (Slika 18).

Specifične aktivnosti v vseh treh plasteh so v prilogi (Tabela 3) prikazane v enotah Bq/kg posušene zemlje in tudi preračunane na enoto površine v Bq/m². Pri tem so preračunane tudi vrednosti za naravne radionuklide, za katere pa vemo, da ne predstavljajo površinske kontaminacije.

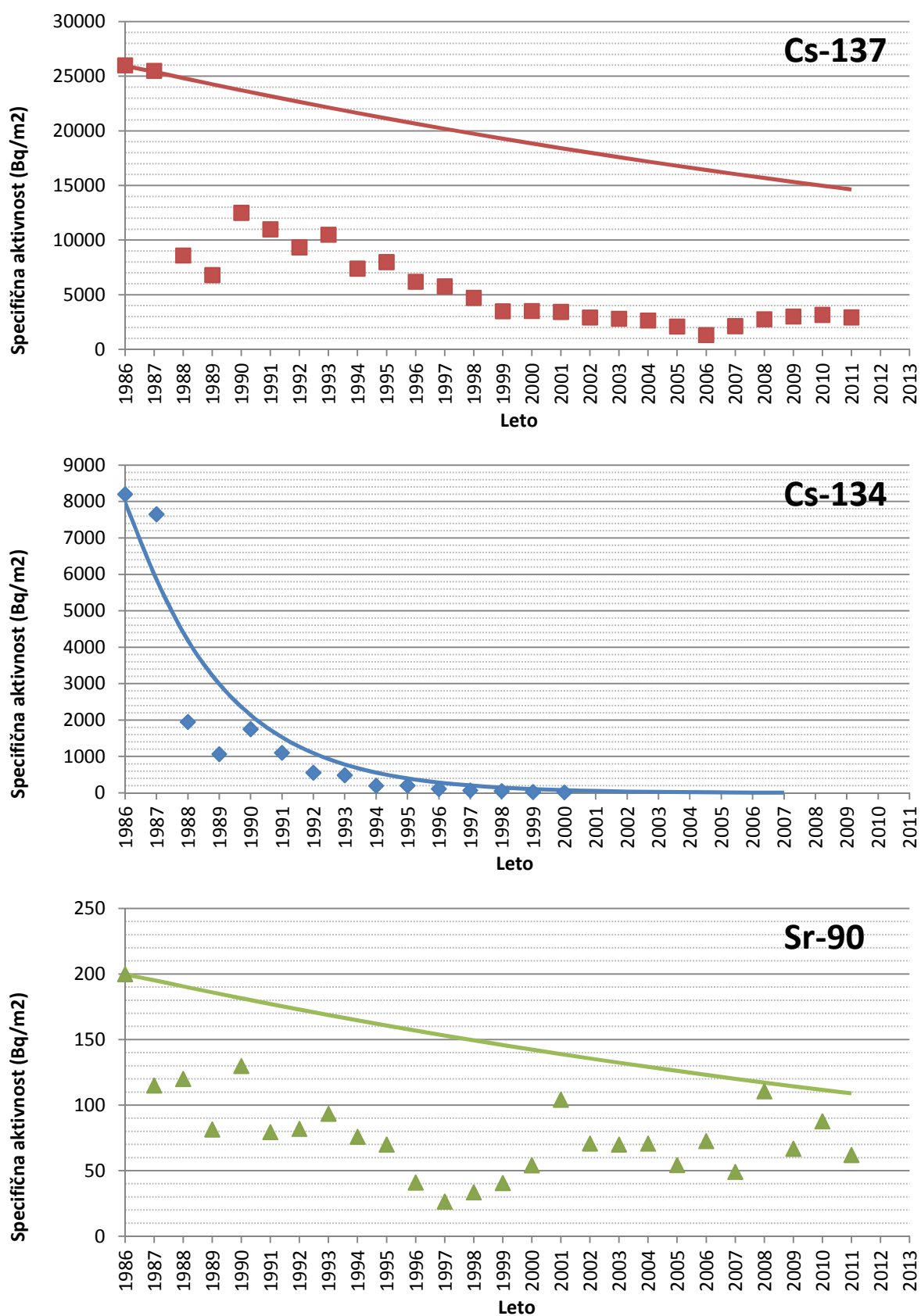
V vzorcih zemlje iz Ljubljane je bilo povprečje specifične aktivnosti v vseh treh plasteh 92 ± 7 Bq/kg Cs-137 in $2,2 \pm 0,2$ Bq/kg Sr-90, po plasteh pa je vsebnost Cs-137 konstantna, vsebnost Sr-90 pa narašča z globino vzorčenja. V vzorcih zemlje iz Kobarida je bilo povprečje specifične aktivnosti 158 ± 8 Bq/kg Cs-137 in $3,1 \pm 0,5$ Bq/kg Sr-90, po plasteh je vsebnost Cs-137 približno konstantna, vsebnost Sr-90 pa pada z globino vzorčenja. V vzorcih zemlje iz Murske Sobote je bilo povprečje specifične aktivnosti Cs-137 $31,1 \pm 6,2$ Bq/kg in Sr-90 $1,3 \pm 0,2$ Bq/kg, po plasteh vsebnosti Cs-137 in Sr-90 padata z globino vzorčenja.

Zaradi značilnosti terena, kotanjavosti, nagnjenosti, difuzijskih lastnosti zemlje in lokalnih posebnosti padavin v času černobilske nesreče, se vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137 ali Sr-90 močno razlikujejo že na lokalni ravni. Že na razdalji nekaj metrov med lokacijama vzorčenja se lahko specifične aktivnosti razlikujejo za nekajkrat. Očitno so difuzijski procesi Sr-90 in Cs-137 v različnih tipih zemlje različni.

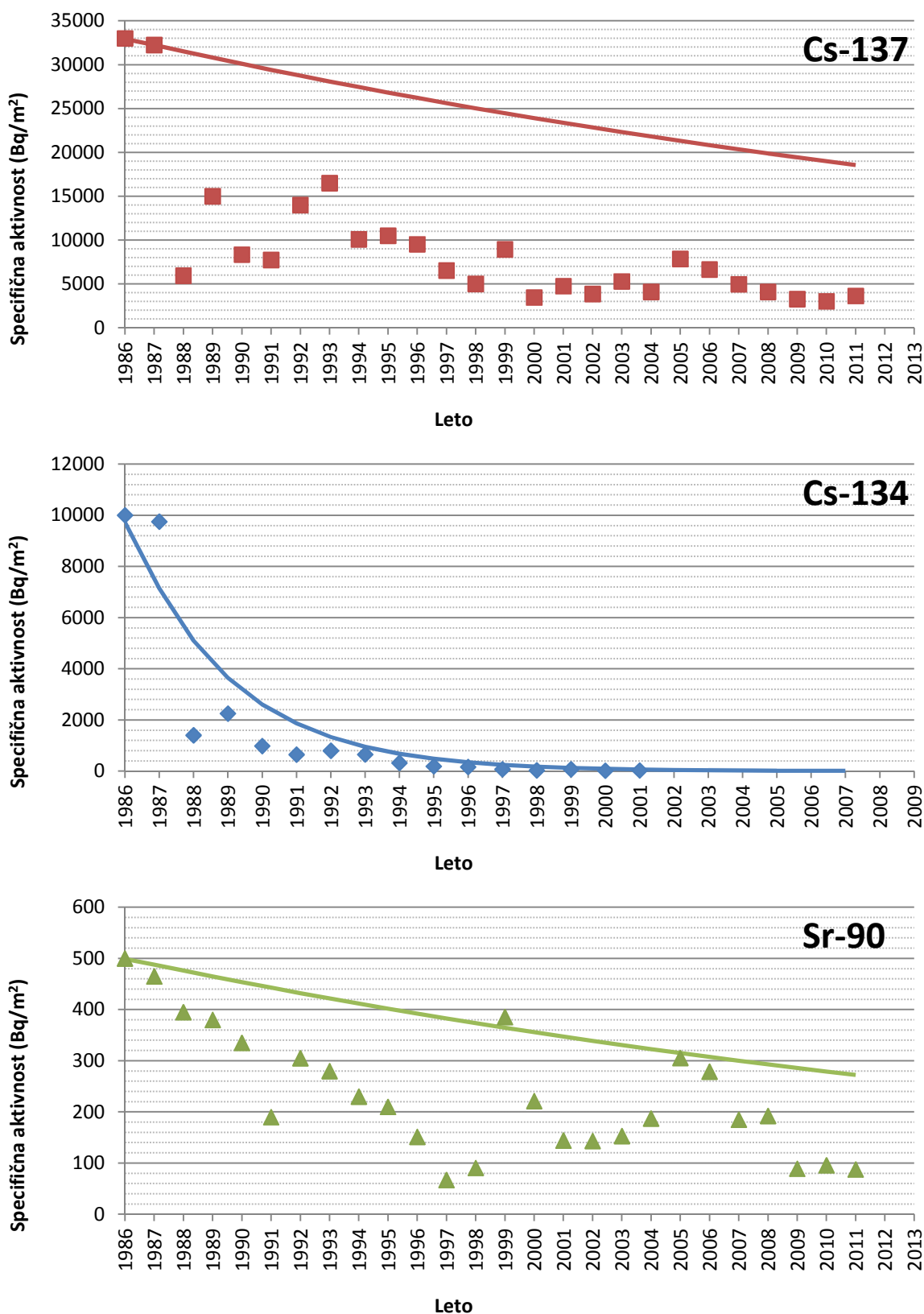
Na slikah (Slika 19, Slika 20, Slika 21) je prikazana časovna odvisnost specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, Kobarid in Mursko Soboto za obdobje od leta 1986 dalje. Poleg povprečnih letnih specifičnih aktivnosti so za primerjavo prikazane tudi vrednosti za naravni radioaktivni razpad omenjenih radionuklidov za isto obdobje (označene s polno črto), ob privzetih začetnih vrednostih, izmerjenih v aprilu 1986. Koncentracije radionuklidov v zemlji ne sledijo eksponentni funkciji radioaktivnega razpada, saj izotopi dodatno difundirajo v globlje plasti zemlje in so sedaj že tudi globlje od 15 cm.



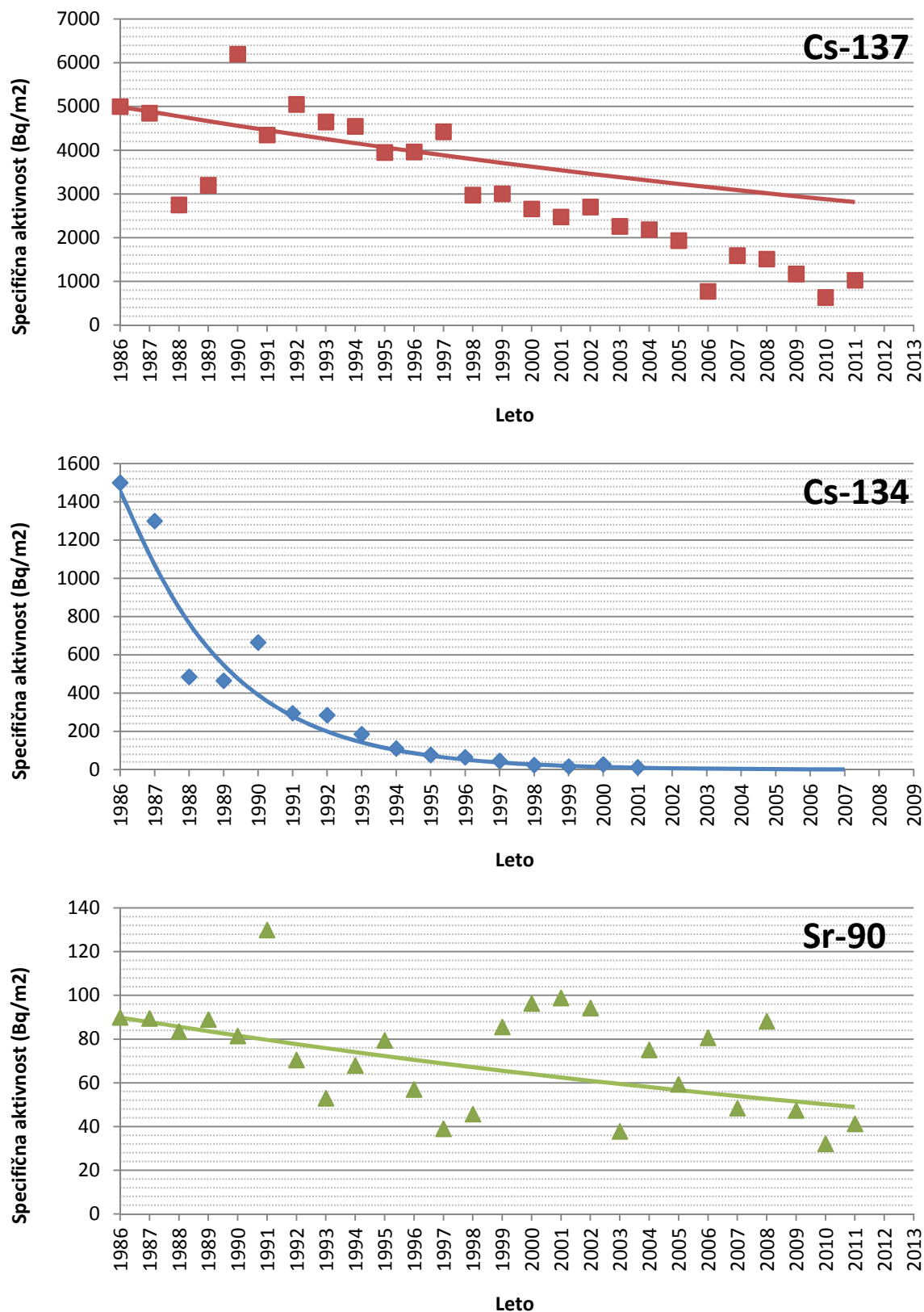
Slika 18: Povprečna letna specifična aktivnost K-40, Cs-137 in Sr-90 v zemlji



Slika 19: Specifične aktivnosti – depozit za Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje



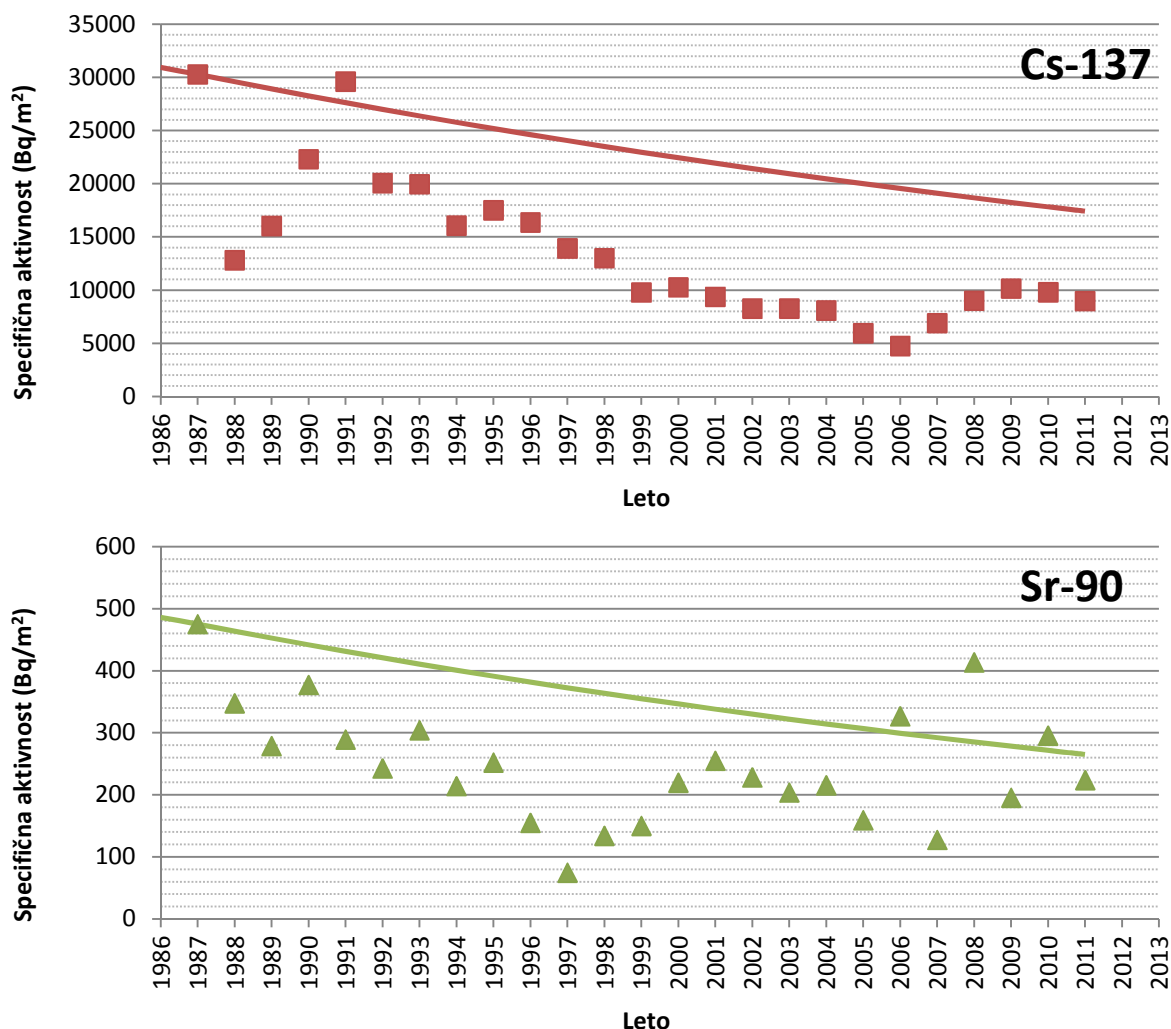
Slika 20: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje



Slika 21: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje

Iz zgornjih slik (Slika 19, Slika 20, Slika 21) je razviden trend padanja specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 zaradi migracije v druge plasti in radioaktivnega razpada. Pri izotopu Cs-134 zaradi krajšega razpolovnega časa, procesov migracije ni opaziti, saj je npr. v Murski Soboti tako rekoč ostal le v prvi plasti in tam razpadel (pod mejo detekcije). Za zemljo v Murski Soboti podobno velja tudi za Sr-90, saj specifična aktivnost sledi zmanjševanju zaradi naravnega radioaktivnega razpada.

Zaradi migracije radionuklida Cs-137 v globlje plasti, je smiselna primerjave celotnega depozita v vsej globini vzorčenja od 0 do 15 cm, torej ne le depozita v zgornji plasti 5 cm (Slika 22, Slika 23, Slika 24).

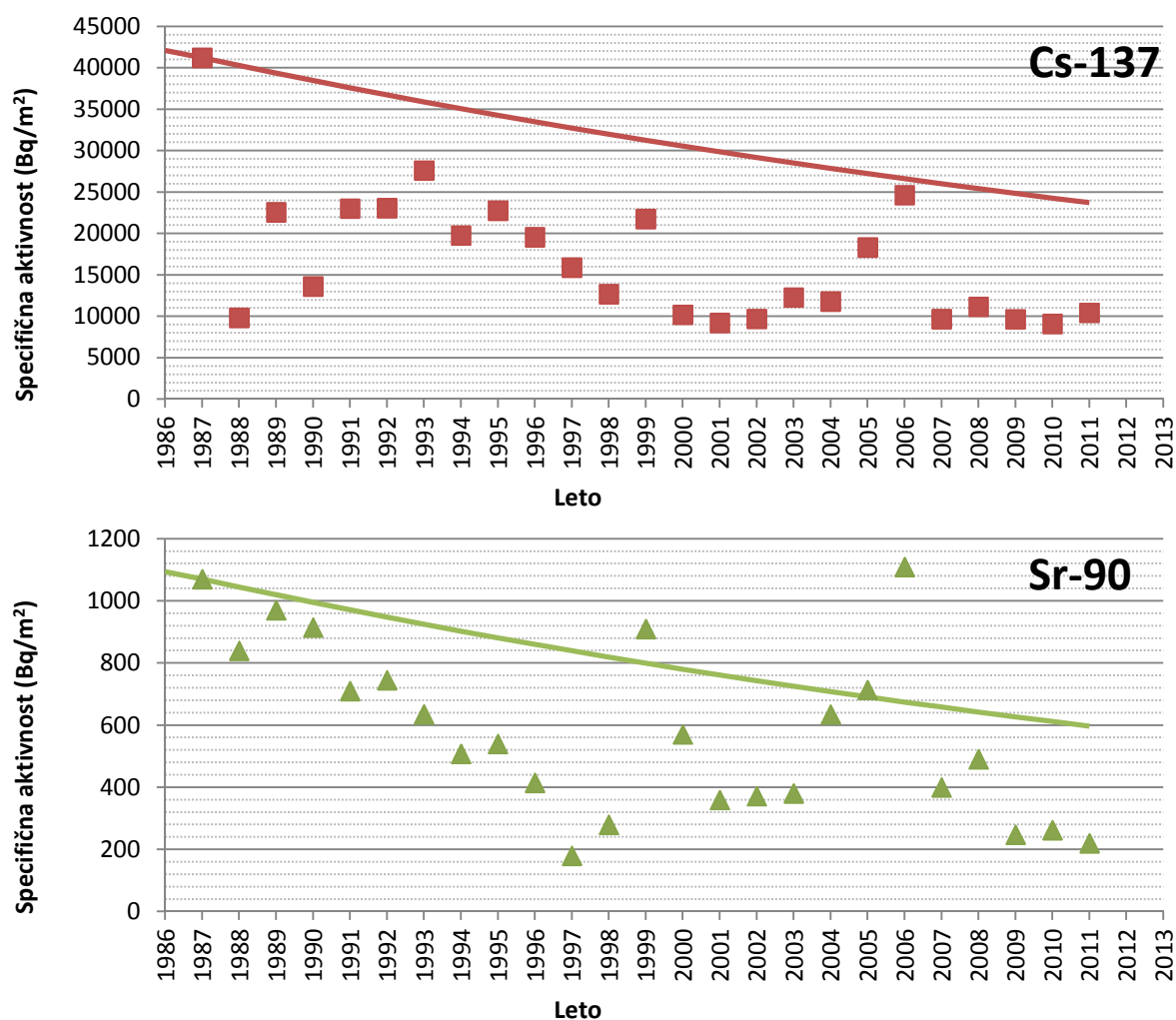


Slika 22: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje

V prvih letih po černobilski nesreči je v celotnem depozitu v globini 0-15 cm tudi depozit zaradi bombnih poskusov. Za zadnjih 10 let pa lahko rečemo, da je celotni depozit v globini 0-15 cm posledica černobilske nesreče, saj so radionuklidi sproščeni ob poskusih razstrelitev jedrskih bomb že migrirali v plasti v globini 30 cm in več.

V Ljubljani in Kobaridu lahko tudi za depozit černobilske nesreče že lahko rečemo, da prehaja v globlje plasti, zato predlagamo, da bi začeli z vzorčenjem plasti zemlje iz globine 15-30 cm. Zemlja v Murski Soboti ima drugačne lastnosti, kjer vidimo, da je skoraj ves depozit še vedno v plasteh zemlje

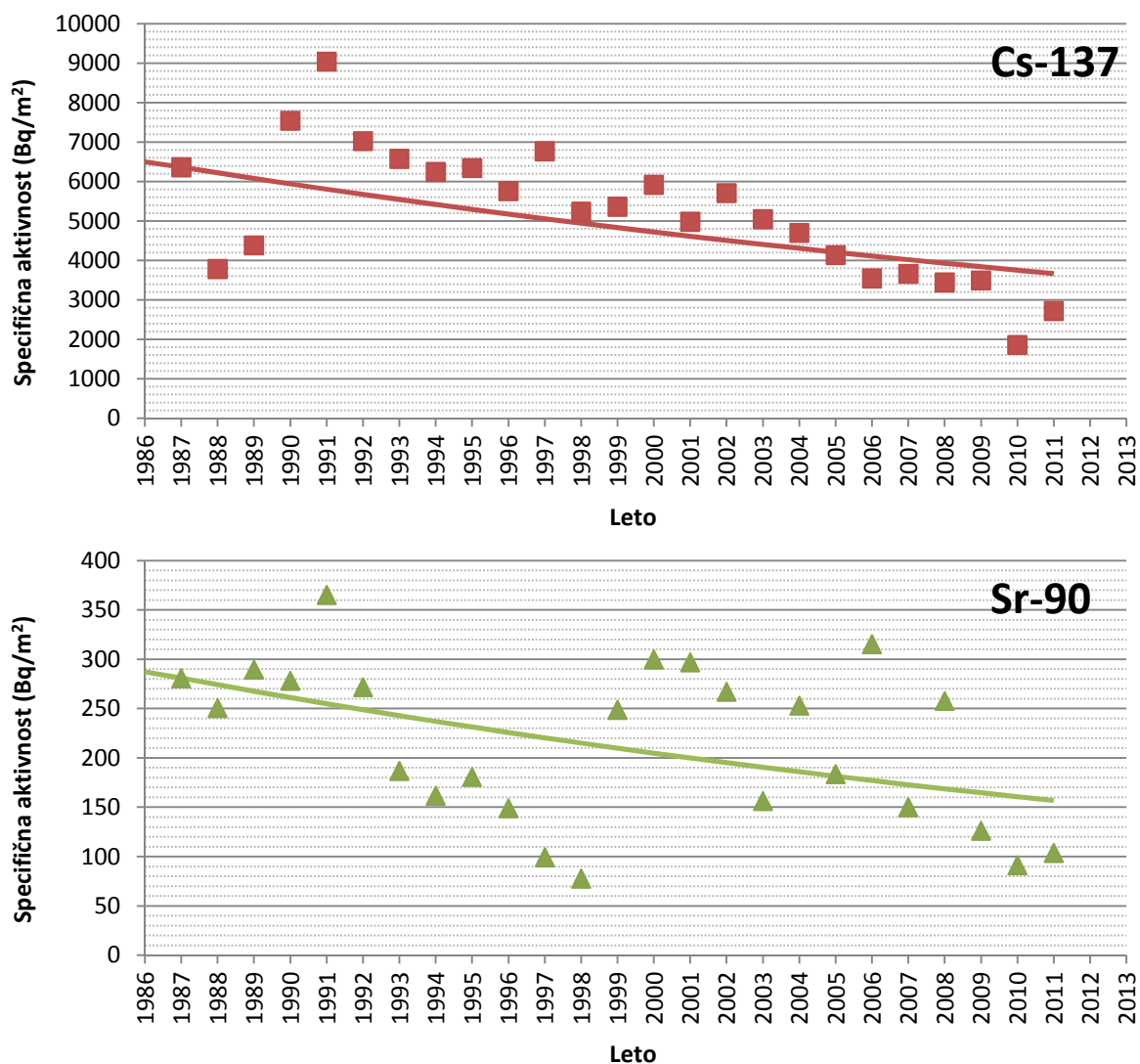
do globine 15 cm. Mikrolokacija vzorčenja v Murski Soboti je sicer takšna, da tam zemlje ne orjejo, kar bi pomenilo morebitno mešanje plasti.



Slika 23: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje.

Na grafih za lokacijo Kobarid vidimo odstopanja od trenda zmanjševanja koncentracij Cs-137 in Sr-90, in sicer v letih 2006 in 2008, ki jih lahko pojasnimo zaradi različnih izvajalcev analize in različnih lokacij vzorčenja. V letu 2006 je IJS opravil analizo zemlje na vseh treh lokacijah, leta 2008 pa samo v Ljubljani. Lokacija vzorčenja v Ljubljani je bila različna glede na vzorčevalca, IJS je vzorčil na lokaciji Reaktorskega centra Podgorica v Brinju pri Ljubljani, ZVD pa na Cesti dveh cesarjev. Od leta 2009 naprej, je lokacija vzorčenja poenotena, in sicer na Cesti dveh cesarjev.

V letu 2011 je moč zaznati delno povišane vrednosti Cs-137 v zgornji plasti glede na prejšnja leta, kar je vpliv posledic nesreče v elektrarni v Fukušimi na Japonskem. Vendar je povišanje na letni ravni v povprečju komaj opazno.



Slika 24: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje

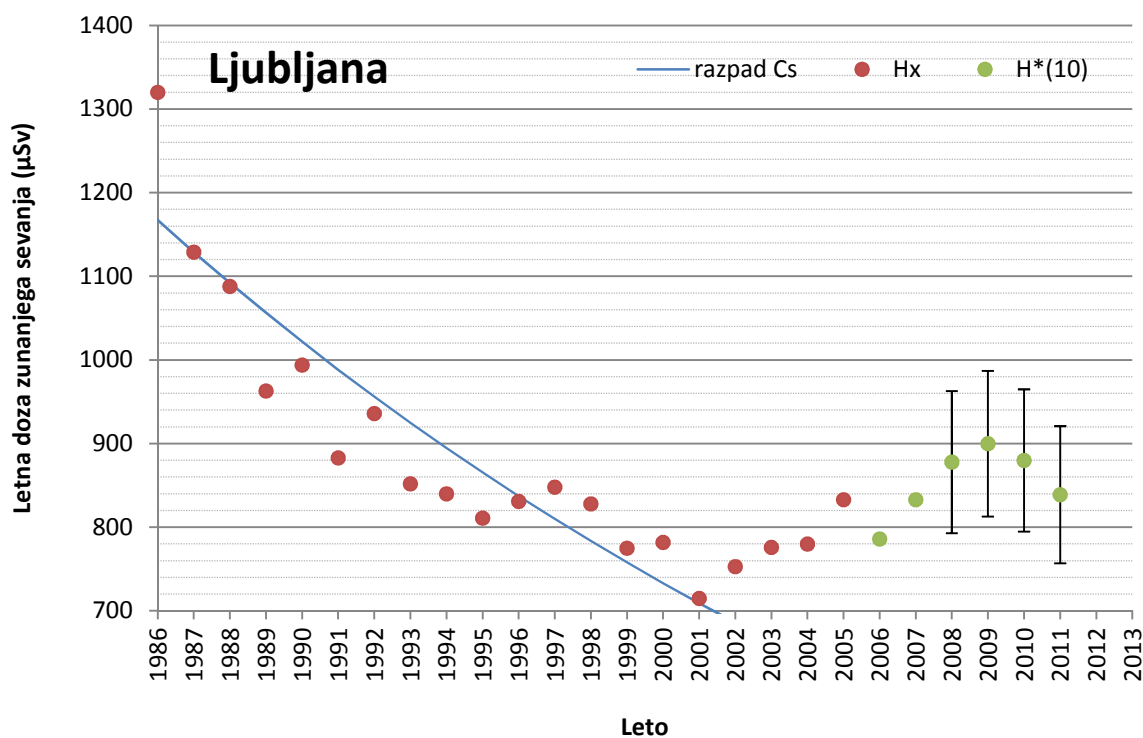
4.5 Zunanje sevanje

Doze zunanjega sevanja se merijo na petdesetih različnih lokacijah po Sloveniji s TL dozimetri (Slika 2). Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 4). Povprečni letni okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2011 je bil $899 \pm 165 \mu\text{Sv}$, največji izmerjen okoliški ekvivalent doze je bil $1444 \pm 140 \mu\text{Sv}$ v Jelenji vasi, najnižji pa $625 \pm 61 \mu\text{Sv}$ v Stari Fužini. Povprečna mesečna vrednost okoliškega ekvivalenta doze zaradi zunanjega sevanja je bila $75 \pm 15 \mu\text{Sv}$, območje vrednosti pa od $52 \mu\text{Sv}$ do $120 \mu\text{Sv}$.

Na sliki (Slika 25) je primerjava doz izmerjenih s TL dozimetri. Do leta 2005 so izmerjene veličine H_x , od takrat pa $H^*(10)$. Veličina H_x je fotonski dozni ekvivalent (photon dose equivalent). Veličino so uporabljali predvsem v Nemčiji. V Sloveniji je sekundarni dozimetrični laboratorij na Inštitutu Jožef Stefan v preteklosti izvajal umerjanja TL dozimetrov v tej veličini. Veličini nista povsem primerljivi. Pri energijah gama sevanja pod okoli 30 keV je kvocient med $H^*(10)/H_x$ manjši od 1, sicer pa je večji od

ena do energije okoli 2 MeV, ko vrednost spet pade pod 1. Pri energiji Cs-137 je vrednost kvocienta približno 1,05. Kljub temu, da veličini nista povsem primerljivi pa se pri energijah sevanja gama, ki ga merimo v okolju ne razlikujeta veliko, nekaj %, in jih na sliki (Slika 25) prikazujemo na skupnem grafu.

Termoluminiscentni dozimetri merijo okoliški ekvivalent zunanega sevanja naravnih in umetnih radionuklidov, ki so prisotni v okolju. V letih po černobilski nesreči je predvsem Cs-137 znatno prispeval k obremenjenosti z zunanjim sevanjem, nato pa se je prispevek zaradi radioaktivnega razpada in difuzije radionuklida v globlje plasti zmanjšal. Trenutni prispevek Cs-137 k celotni dozi zunanega sevanja je manj kot 1%. Iz slike (Slika 25) je razvidno, da je doza zunanega sevanja po letu 1995 približno konstantna, od leta 2006 pa je moč opaziti trend povečevanja (deloma je to lahko posledica menjave merjenja Hx s H*(10)). V letu 1986 so k dozi zunanega sevanja prispevali tudi številni drugi sevalci gama, ki so bili posledica useda zaradi černobilske nesreče. Zato je zunanja doza v letu 1986 najvišja. Kratkoživi sevalci so nato razpadli in doza je že v letu 1987 znatno padla.



Slika 25: Doza zunanega sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje

4.6 Pitna voda

V letu 2011 je bilo odvzetih petnajst enkratnih vzorcev pitne vode iz javnih objektov kot so šole, vrtci, bolnišnice ali gostišča na naslednjih lokacijah: Ljubljana, Grosuplje, Ivančna Gorica, Ribnica, Trbovlje, Miklavž na dravskem polju, Slovenj Gradec, Mozirje, Bled, Nova Gorica, Idrija, Ilirska Bistrica, brežice in Lendava. Lokacije vzorčenja so prikazane na zemljevidu v poglavju 2 (Slika 1).

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 6). Izotop cezija, Cs-137, je bilo opaziti le v sledih, izmerjene vrednosti so bile pod $0,4 \text{ Bq/m}^3$. Povprečna vrednost specifičnih aktivnosti Sr-90 v vseh odvzetih vzorcih je $1,1 \pm 1,0 \text{ Bq/m}^3$, H-3 pa $655 \pm 235 \text{ Bq/m}^3$. Poleg umetnih radionuklidov so se

določale tudi specifične aktivnosti naravnih radionuklidov in kozmogenega Be-7. Povprečne vrednosti so za U-238 $4,2 \text{ Bq/m}^3$, Ra-226 $5,4 \text{ Bq/m}^3$, Pb-210 $1,3 \text{ Bq/m}^3$, Ra-228 $1,5 \text{ Bq/m}^3$, Th-228 $0,6 \text{ Bq/m}^3$ in K-40 $18,5 \text{ Bq/m}^3$.

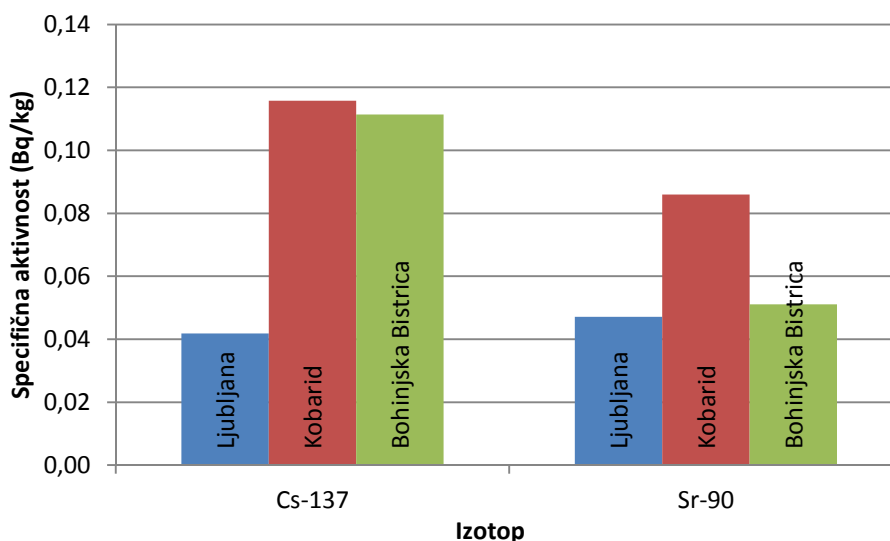
4.7 Hrana

Program meritev radioaktivnosti v vzorcih hrane je približno enak kot v prejšnjih dveh letih. Program vsebuje meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov v najpomembnejših živilih rastlinskega in živalskega porekla, ki se sezonsko jemljejo na različnih področjih po Sloveniji, v Prekmurju, na Štajerskem, na Gorenjskem, na Primorskem, na Notranjskem in na Dolenjskem. Lokacije vzorčenja so prikazane na zemljevidu v poglavju 2 (Slika 1).

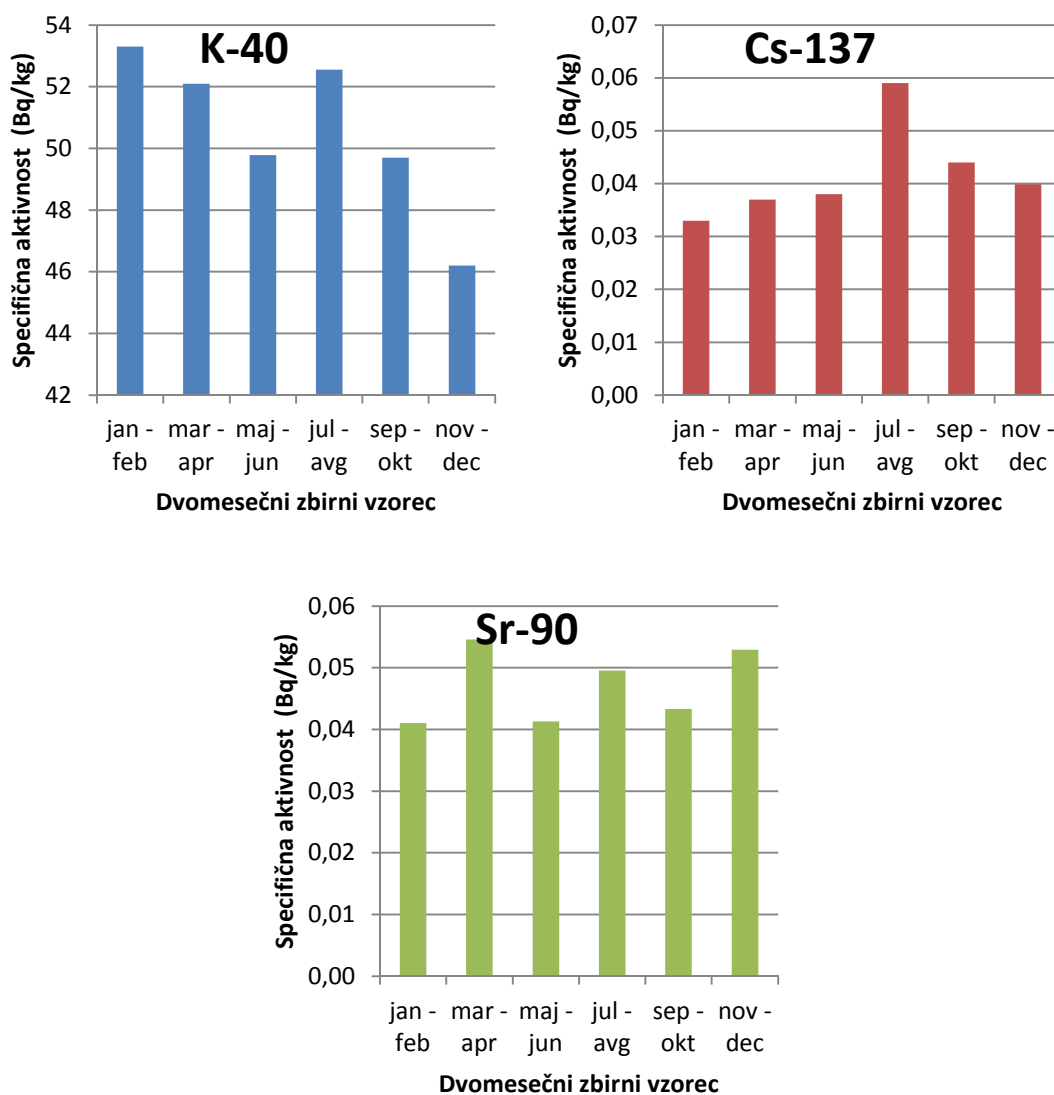
4.7.1 Mleko

V letu 2011 smo analizirali vzorce surovega mleka iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice ter mleka v prahu iz Murske Sobote. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih mleka za vse lokacije vzorčenja so prikazani v prilogi (Tabela 7).

Na slikah (Slika 27, Slika 28, Slika 29, Slika 30) so prikazane specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 in letne povprečne vrednosti v vzorcih mleka iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobote za leto 2011 (Slika 26). V Ljubljani je bila povprečna letna vrednost Cs-137 $0,04 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,05 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$, v Kobaridu Cs-137 $0,12 \pm 0,03 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,09 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$, v Bohinjski Bistrici Cs-137 $0,11 \pm 0,17 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,05 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$ ter v Murski Soboti Cs-137 $0,4 \pm 0,1 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,6 \pm 0,1 \text{ Bq/kg}$. Slovensko povprečje za surovo mleko Cs-137 $0,18 \pm 0,17 \text{ Bq/kg}$ in za Sr-90 $0,19 \pm 0,25 \text{ Bq/kg}$. V vzorcu mleka iz Bohinjske Bistrice je v obdobju zbiranja julij-avgust izmerjena približno desetkratna vrednost Cs-137 glede na ostale mesece $0,45 \text{ Bq/kg}$.

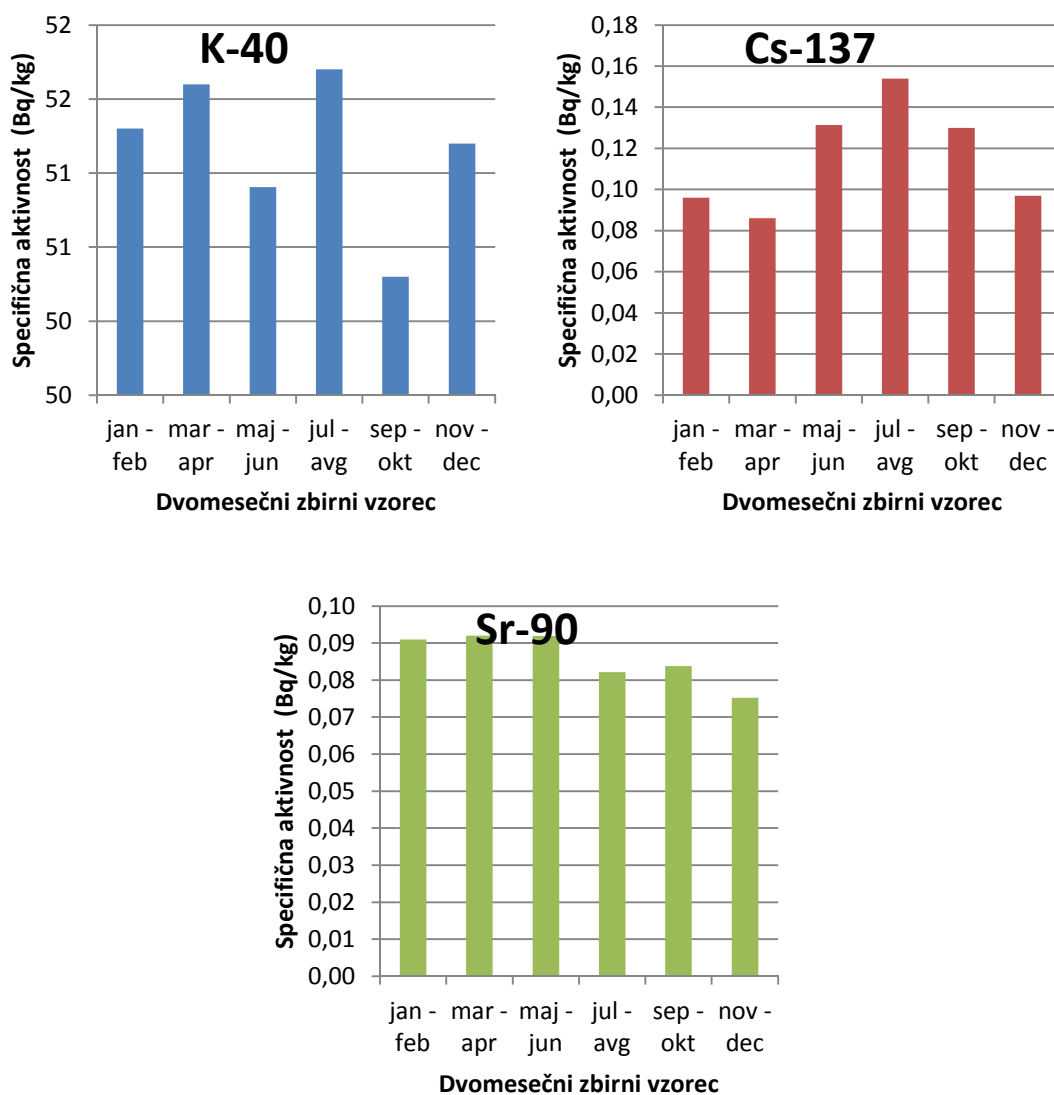


Slika 26: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v mleku na različnih lokacijah v Sloveniji za leto 2011.

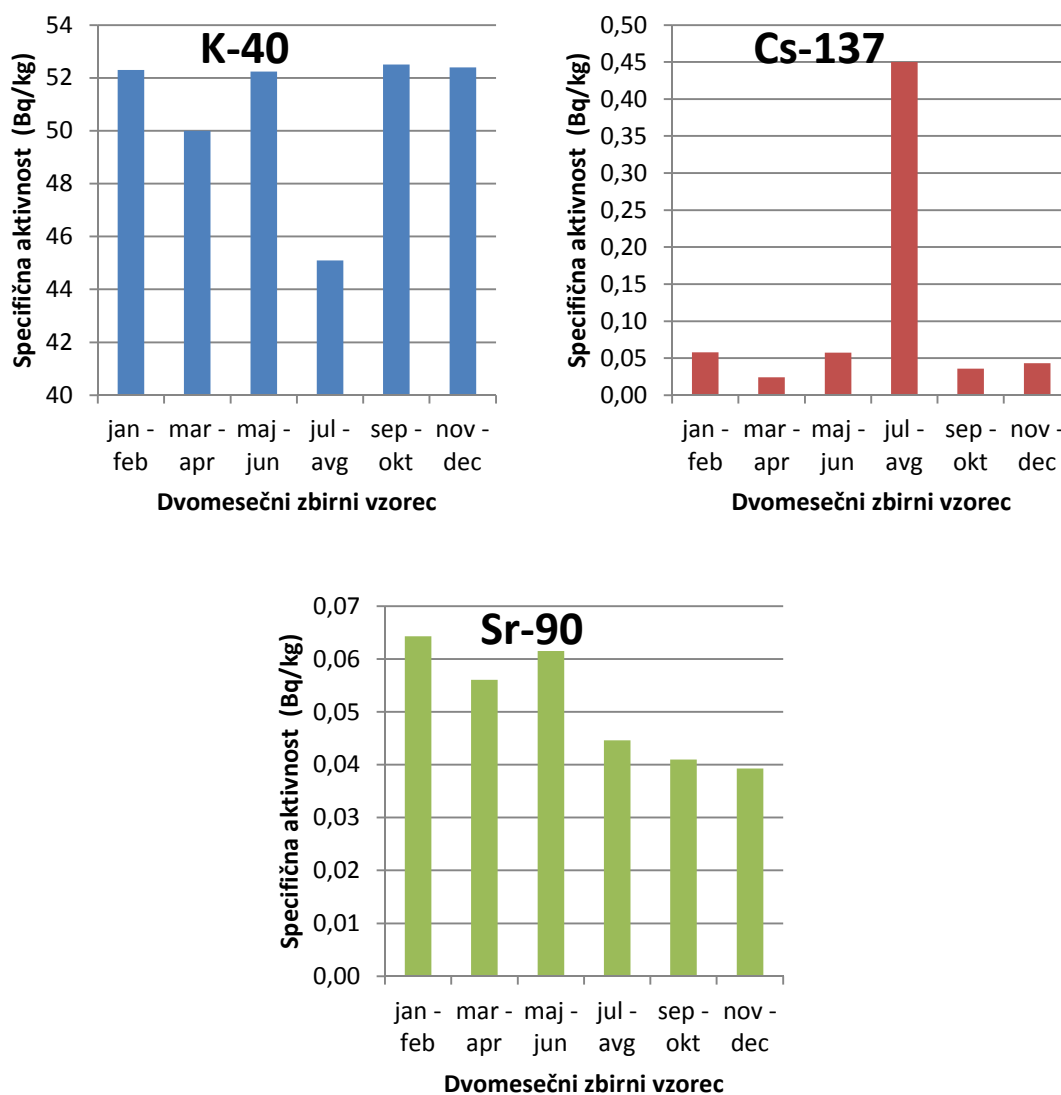


Slika 27: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane

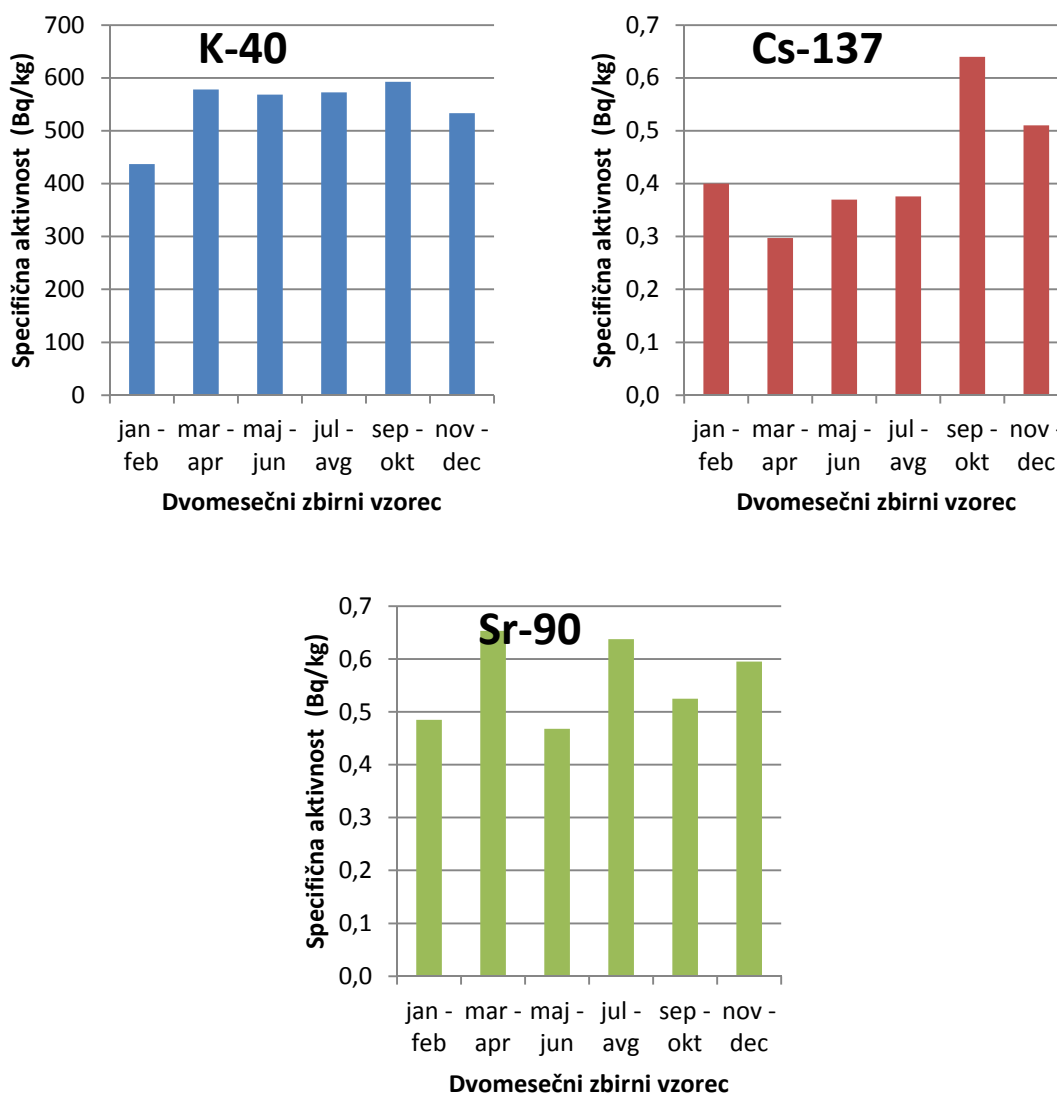
Na slikah specifičnih aktivnosti izotopov v dvomesečnih vzorcih mleka iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice (Slika 27, Slika 28, Slika 29) ugotovimo porast aktivnosti Cs-137, kar lahko pripišemo pašni vzreji govedi v toplejših mesecih, kjer večje aktivnosti iz narave pridejo v organizem in mleko zaradi prenosnih poti, v hladnejših mesecih pa uporabi krmil, ki imajo lahko nižje vsebnosti Cs-137. V vzorcih mleka v prahu iz Murske Sobote (Slika 30) je povišane vrednosti Cs-137 moč opaziti s časovnim zamikom, kar je najverjetneje posledica predelave surovega mleka.



Slika 28: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida



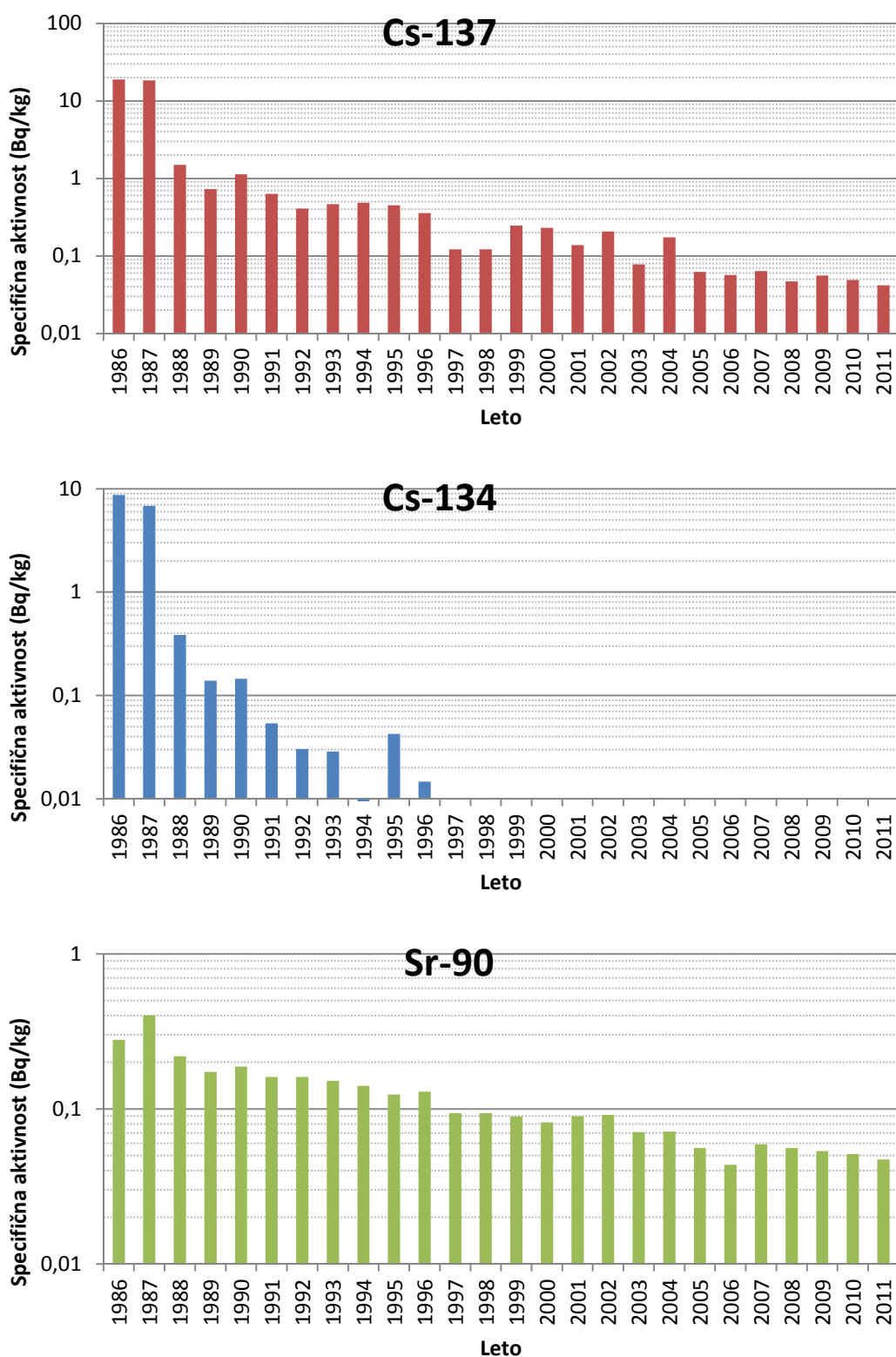
Slika 29: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice



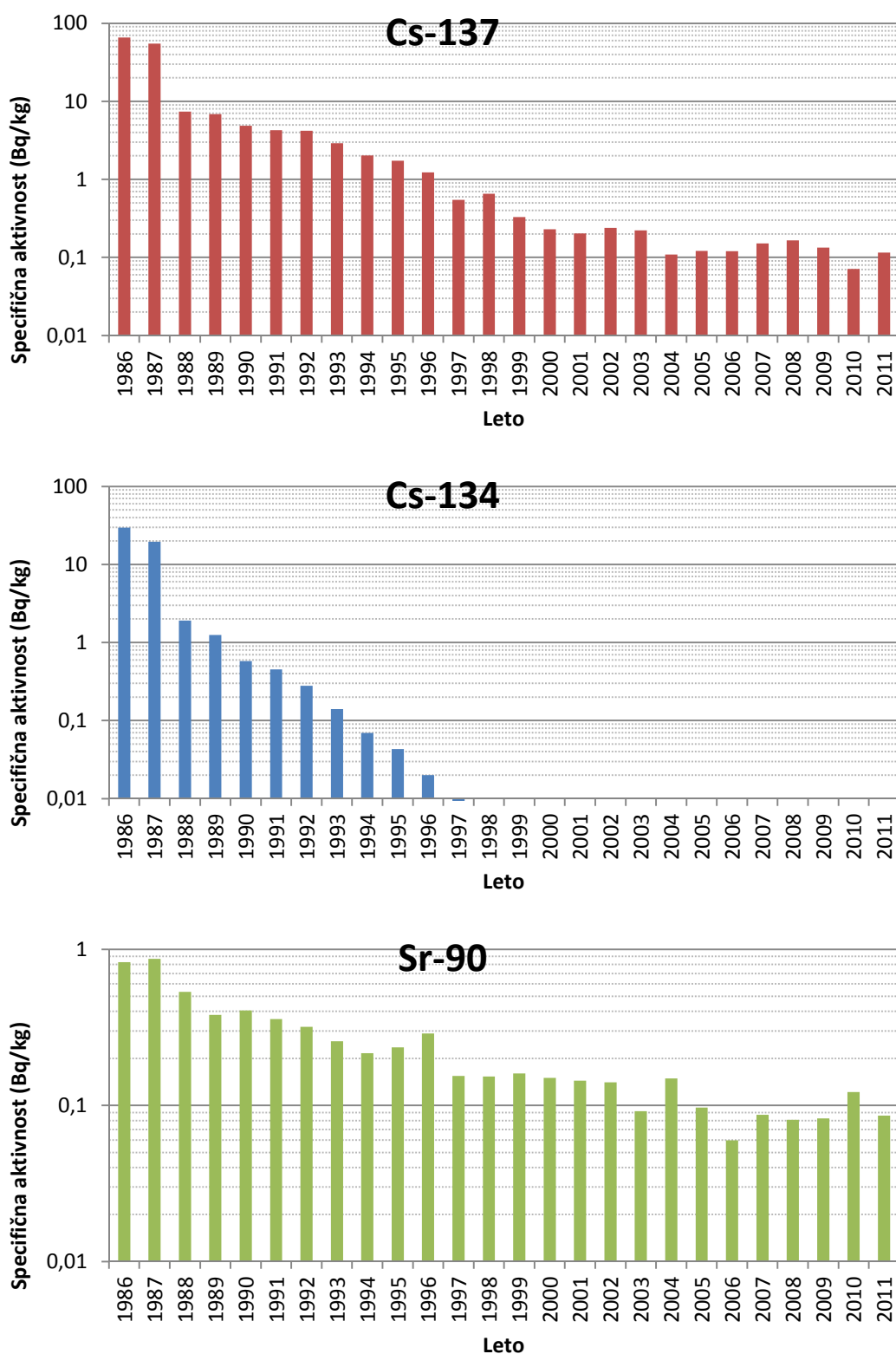
Slika 30: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobotne

Ob eksploziji jedrskega reaktorja v Černobilu 26. aprila 1986 je bila v zrak sproščena velika količina radioaktivnih snovi, ki so se razpršile po Evropi izven tedanje Sovjetske zveze. V Sloveniji je v Alpah v času nezgode padlo okoli 100 mm/m^2 padavin, kar je povzročilo površinsko kontaminacijo tal preko 100 kBq/m^2 (9). Pašniki v okolici Kobarida in Bohinjske Bistrice ležijo v alpskem predelu Slovenije, kjer je po nesreči v Černobilu padlo največ padavin, zato je tudi mleko iz tega področja bolj kontaminirano s Cs-137 kot drugje po Sloveniji.

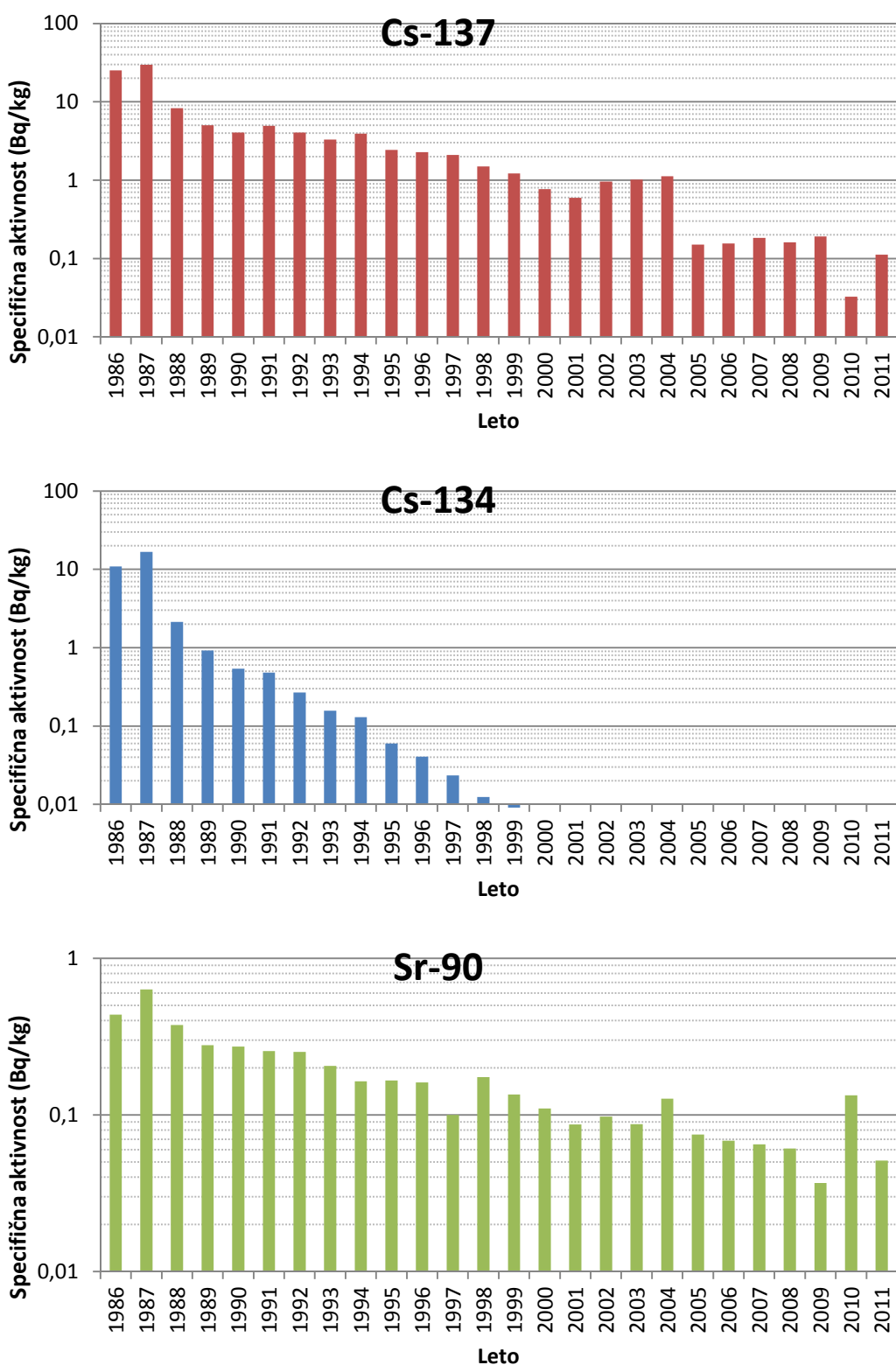
Na slikah (Slika 31, Slika 32, Slika 33, Slika 34) so prikazane povprečne letne vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobotne za obdobje od leta 1986 dalje. Opazen je trend padanja specifičnih aktivnosti vseh treh radionuklidov, Cs-134, Cs-137 in Sr-90. Cs-134 je bil najdlje merljiv v mleku iz Bohinjske Bistrice, do leta 1999, v mleku iz ostalih lokacijah pa je bil že dosti prej pod mejo detekcije.



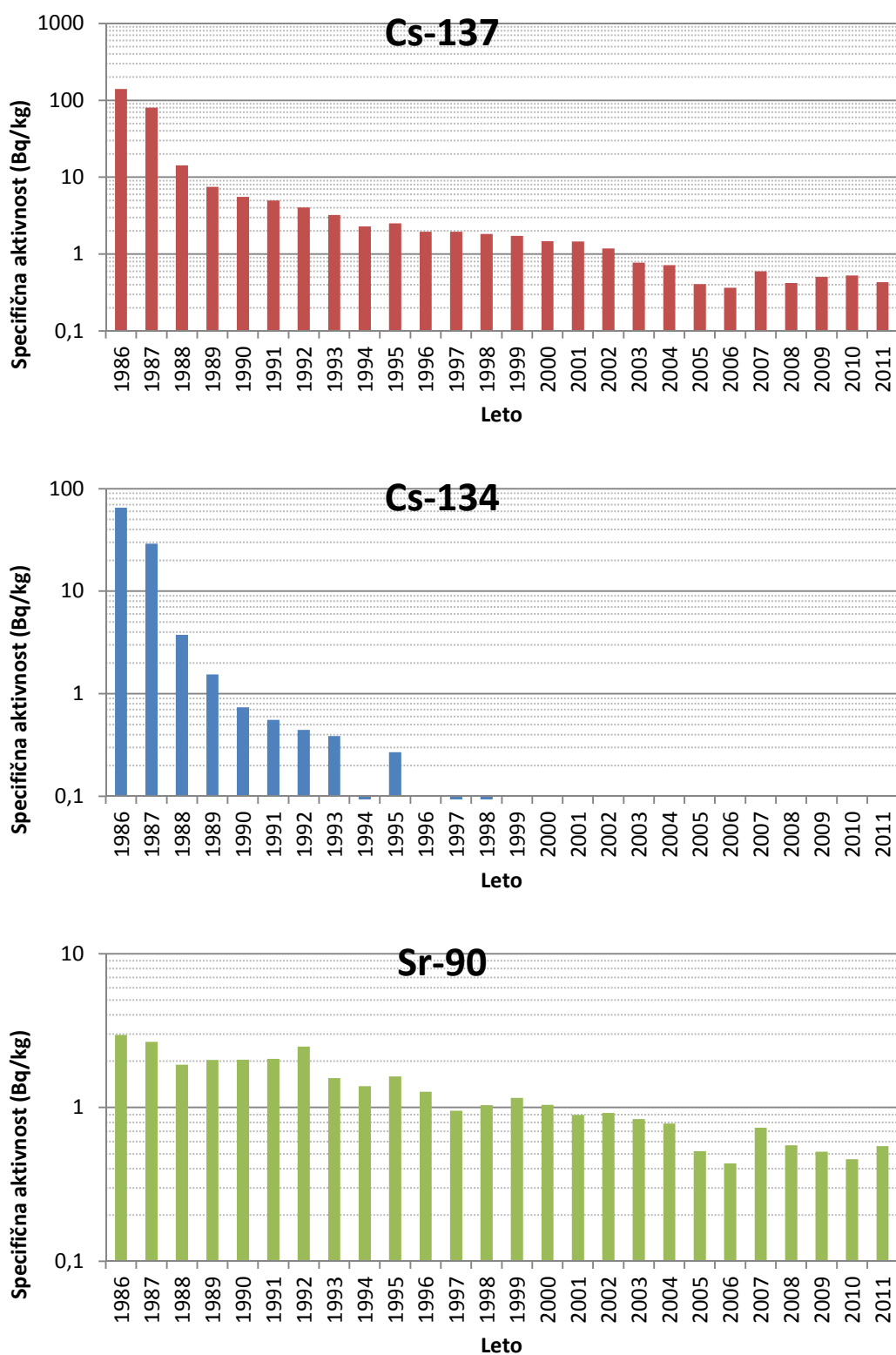
Slika 31: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Ljubljana



Slika 32: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Kobarid



Slika 33: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Bohinjska Bistrica



Slika 34: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Murska Sobota

4.7.2 Živila živalskega izvora

V letu 2011 smo analizirali osem vzorcev živil živalskega izvora:

- govedina iz Škofje Loke,
- skuta iz Maribora,
- jajca iz Celja,
- svinjina iz Dutovelj,
- piščanec iz Murske Sobote,
- jelen iz Strug,
- sir iz Vipave in
- sardoni iz Izole.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 7).

Povprečna specifična aktivnost Cs-137 v vseh vzorcih je $0,41 \pm 0,05$ Bq/kg in Sr-90 $0,16 \pm 0,17$ Bq/kg. Najvišja vsebnost običajnih vzorcev (razen divjačine) Cs-137 je bila v govedini, $1,8 \pm 0,2$ Bq/kg, v divjačini (jelen) je bila aktivnost za velikostni red višja kot v ostalih vzorcih $0,80 \pm 0,03$ Bq/kg. Povprečna specifična aktivnost Cs-137 brez upoštevanja vzorca jelenovega mesa bi bila $0,08 \pm 0,07$ Bq/kg.

4.7.3 Žitarice, moka, kruh

Izmerili smo šest vzorcev žitaric in njihovih izdelkov:

- polbeli kruh iz Novega mesta,
- pirina moka iz Novega mesta,
- bela moka iz Kopra,
- rženi kruh iz Ljutomera,
- koruza iz Bohinja in
- ječmen iz Podčetrтка.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,13 \pm 0,14$ Bq/kg in Sr-90 $0,22 \pm 0,19$ Bq/kg.

4.7.4 Sadje

Izmerili smo šest vzorcev sadja:

- češnje iz Kopra,
- jagode iz Brežic,
- marelice iz Goriških Brd,
- borovnice iz Vrhnike,
- breskve iz Črnomlja in
- hruške iz Maribora.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,78 \pm 0,018$ Bq/kg in Sr-90 $0,09 \pm 0,13$ Bq/kg. Najvišja vsebnost Cs-137 je bila v borovnicah, in sicer za dva velikostna reda višja kot v ostalih vzorcih - $4,4 \pm 0,1$ Bq/kg. Povprečna specifična aktivnost Cs-137 brez upoštevanja vzorca borovnic bi bila $0,05 \pm 0,03$ Bq/kg.

4.7.5 Zelenjava

Izmerili smo šest vzorcev zelenjave:

- solata iz Ljubljane,
- blitva iz Celja,
- krompir iz Izole,
- zelje iz Bohinja,
- brokoli iz Izole in
- paprika iz Novega mesta.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,2 \pm 0,1$ Bq/kg in Sr-90 $0,08 \pm 0,05$ Bq/kg.

4.7.6 Otroška hrana

V letu 2008 smo začeli z analizo celotnega obroka otroške hrane. Tako smo v letu 2011 analizirali 5 vzorcev iz Kopra, Ljubljane, Novega mesta, Maribora in Kranja. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,03 \pm 0,01$ Bq/kg in Sr-90 $0,06 \pm 0,02$ Bq/kg.

4.8 Krmila

V letu 2011 je bilo odvzetih deset vzorcev krme:

- 2 vzorca travne silaže,
- 4 vzorci sena,
- 1 vzorec koruzne silaže,
- 1 vzorec sveže trave,
- 1 vzorec krmne mešanice in
- 1 vzorec briketov.

Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 9). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $2,3 \pm 3,4$ Bq/kg in Sr-90 $7,8 \pm 12,0$ Bq/kg.

5 Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fizijskih produktov

5.1 Osnovne enačbe

Efektivno dozo sevanja, E , za posameznika iz starostne skupine prebivalstva, g , sestavljata efektivna doza zaradi zunanjega obsevanja, E_z , ter predvidena efektivna doza na enoto vnosa zaradi notranjega obsevanja, E_n . Slednja je vsota dveh prispevkov, prvi je predvidena efektivna doza zaradi zaužitja trdne in tekoče hrane (ingestija), E_{ing} , in drugi predvidena efektivna doza zaradi vdihavanja radioaktivnih plinov in aerosolov (inhalacija), E_{inh} . Efektivna doza E je torej:

$$E = E_z + E_n \quad (1)$$

Efektivna doza zaradi zunanjega obsevanja, E_z , je vsota dveh prispevkov, prvi je enak produktu hitrosti osebne ekvivalenta doze zunanjega sevanja, $Hp(10)/t$ (v $\mu\text{Sv/h}$) in času zadrževanja na prostem T_z (v urah), drugi pa je enak produktu hitrosti osebne ekvivalenta doze zunanjega sevanja, $Hp(10)/t$ (v $\mu\text{Sv/h}$), času zadrževanja v bivalnem okolju T_n in faktorju ščitenja $F=0,9$ za prebivalce na deželi, za mestno populacijo pa lahko privzamemo faktor ščitenja $F=0,95$, ker je manj travnatih površin, ki so kontaminirane s Cs-137,

$$E_z = \frac{(10)}{t} \cdot T_z + \frac{(10)}{t} \cdot T_n \cdot (1 - F) \quad (2)$$

Običajno se upošteva celotno število ur v tekočem letu, T , in delež zadrževanja na prostem 0,2 ter v bivalnem okolju 0,8, kar zapišemo

$$E_z = \frac{(10)}{t} \cdot T \cdot (0,2 + 0,8 \cdot (1 - F)) \quad (3)$$

Predvidena efektivna doza zaradi ingestije, E_{ing} , za posameznika iz prebivalstva za starostno skupino g je enaka produktu vnese aktivnosti $A_{j,ing}$ (v Bq) posameznega radionuklida j in predvidene efektivne doze na enoto vnosa $h(g)_{j,ing}$ zaradi zaužitja hrane (v Sv/kg), ter sešteta po vseh radionuklidih, ki jih upoštevamo pri oceni doze,

$$E_{ing} = \sum_j A_{j,ing} \cdot h(g)_{j,ing} \quad (4)$$

kjer je vnese aktivnost zaradi ingestije, $A_{j,ing}$, enaka produktu specifične aktivnosti radionuklida j , $C_{i,j,ing}$ (v Bq/kg) v posamezni vrsti hrane i in količini zaužite posamezne vrste hrane m_i (v kg) ter sešteta po vseh vrstah hrane i ,

$$A_{j,ing} = \sum_i C_{i,j,ing} \cdot m_i \quad (5)$$

Predvidena efektivna doza zaradi inhalacije, E_{inh} , za posameznika iz prebivalstva za starostno skupino g je enaka produktu vnese aktivnosti $A_{j,inh}$ (v Bq) posameznega radionuklida j in predvidene efektivne doze na enoto vnosa $h(g)_{j,ing}$ zaradi vdihavanja (v Sv/Bq), ter sešteta po vseh radionuklidih,

$$E_{inh} = \sum_j A_{j,inh} \cdot h(g)_{j,ing} \quad (6)$$

kjer je vnese aktivnost zaradi inhalacije, $A_{j,inh}$, enaka produktu specifične aktivnosti radionuklida j , v zraku, $c_{j,inh}$ (v Bq/m³), količini vdihanega zraka na uro Φ (v m³/h) in številu ur v predvidenem časovnem obdobju (tekoče leto), T (v urah),

$$A_{j,inh} = c_{j,inh} \cdot \Phi \cdot T \quad (7)$$

5.2 Uporabljeni podatki in predpostavke

Oceno efektivnih doz sevanja zaradi vnosa radionuklidov, ki so posledica jedrskih bombnih poskusov v preteklosti in černobilske nesreče, v organizem s prehranjevanjem in vdihavanjem ter zaradi zunanjih doz za posamezne starostne skupine (dojenčki do enega leta starosti; otroci, stari od 7 do 12 let in odrasli, starejši od 17 let) smo naredili na podlagi rezultatov meritev specifičnih aktivnosti v vzorcih hrane, zraka in pitne vode. Meritev zunanjih doz gama sevanja s TL dozimetri ne upoštevamo, saj zaradi večje merilne negotovosti ne moremo izluščiti prispevka naravnega ozadja od prispevka dolgoživih radionuklidov zaradi jedrskih poskusov in nesreče v Černobilu. Rezultati so podani v μ Sv.

5.2.1 Umetni radionuklidi

Efektivne doze za vse tri starostne skupine smo ocenili le za umetna radionuklida, Cs-137 in Sr-90, ki sta posledica globalne kontaminacije zaradi černobilske nesreče in bombnih poskusov.

Efektivno dozo zaradi H-3 smo ocenili samo za pitno vodo, v ostalih vzorcih hrane in zraka se H-3 ni določal. H-3 se določa samo v vzorcih hrane iz okolice NE Krško, kar je zajeto v programu meritev radioaktivnosti v okolici NEK.

5.2.2 Naravni radionuklidi

Doze za K-40 ne podajamo, saj dozimetrični modeli upoštevajo, da se nahaja K-40 v organizmu v homeostatskem ravnovesju, zato bi bili izračuni doz za ta izotop nerealni. Ocenili smo tudi efektivno dozo zaradi vnosa drugih naravnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo, vendar smatramo, da je število meritev premajhno in nereprezentativno, da bi lahko dobili prave povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti naravnih radionuklidov, ki se razlikujejo tudi za faktor 10 ali več v isti vrsti hrane. En sam lokalno odvzeti vzorec hrane je premalo za realno oceno doze, zato bi bile ocenjene doze lahko previsoke. Poleg tega so detekcijske meje merilnih metod blizu vrednostim specifičnih aktivnosti v vzorcih, meritev pa je obremenjena z veliko negotovostjo. Zato doz zaradi naravnih radionuklidov ne poročamo, v informacijo podajamo le izračun za Pb-210, zaradi njegovega visokega pretvorbenege doznega faktorja.

5.2.3 Starostne skupine

Do leta 2003 se je ocenjevala efektivna doza za dve starostni skupini, in sicer za otroke do 5 let in odrasle. Na podlagi Pravilnika o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (SV5, Ur. l. RS, št. 115/03) se ocenjujejo efektivne doze za tri starostne skupine, in sicer dojenčke do enega leta starosti, otroke stare od 7 do 12 let in odrasle.

5.2.4 Prehranjevalne predpostavke

Po podatkih iz kuhinje Pediatrične klinike v Ljubljani (marec 2005) popijejo dojenčki do šestega meseca od 0,6 –1,0 litra mleka na dan. Po šestih mesecih se količina mleka zmanjša na 0,5–0,7 litra na dan, ker začnejo uživati sadje, zelenjavo in meso. V naši oceni smo za dojenčke upoštevali podatke Pediatrične klinike v Ljubljani, ki so navedni v tabeli (Tabela 6).

Za otroke od 7 do 12 let smo upoštevali podatke IAEA (za Nemčijo), tabela III (IAEA Safety Reports Series 14: Assessment of doses to the public from ingested radionuclides, IAEA 1999), ki združuje podatke o porabi hrane za otroke od 7 do 12 let, ker za Slovenijo ni ustreznih podatkov za to starostno skupino.

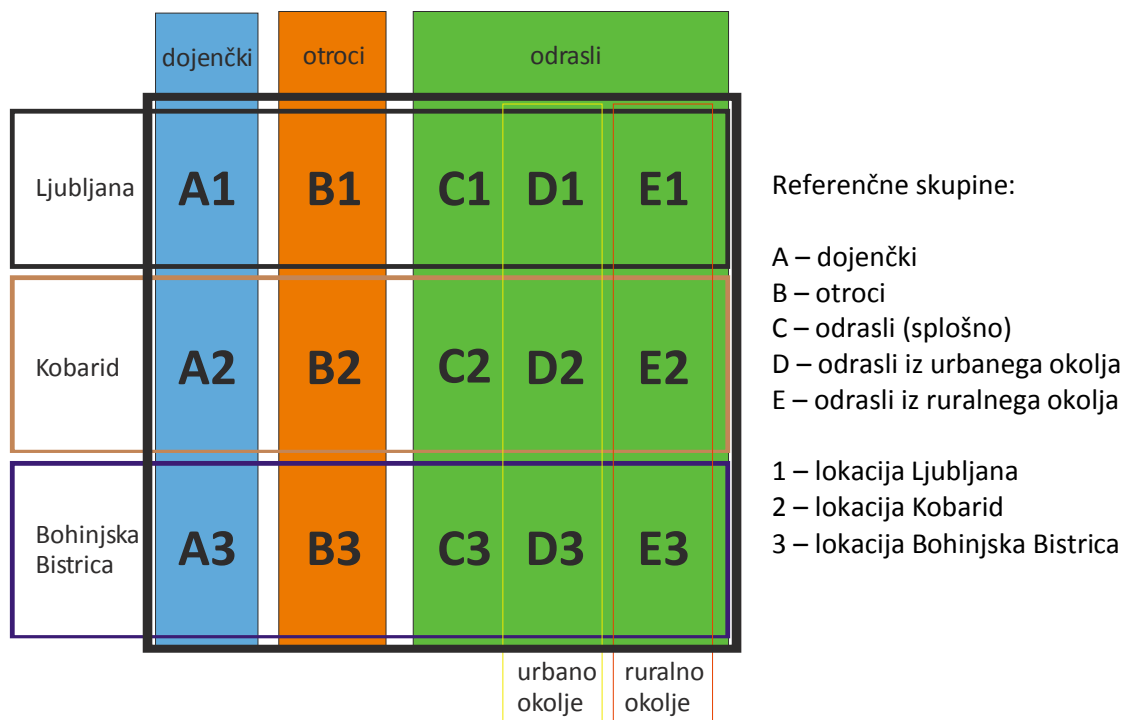
Za odrasle smo upoštevali podatke Statističnega urada RS iz leta 2004, Statistične informacije: Anketa o porabi v gospodinjstvih, Slovenija, 2001, 2002 (Tabela 6). V primeru odraslih smo poleg statističnega povprečja upoštevali dve referenčni skupini prebivalstva, živečih v urbanem in ruralnem območju, ki imajo hipotetično različne prehranjevalne navade.

Tabela 6: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine

Starostna skupina	Povprečna količina zaužite hrane v enem letu [kg]							[m ³]
	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko LJ	mleko KB	mleko BB	voda
dojenčki	22,5	22,5	11,0	7,5	199,4	199,4	199,4	0,165
7-12 let	76,3	37,6	55,8	71,9	73,0	73,0	73,0	0,465
odrasli	98,2	48,1	101,5	58,4	91,0	91,0	91,0	0,75
urbano okolje	100,0	75,0	115,0	86,0	153,0	153,0	153,0	0,75
ruralno okolje	73,0	50,0	126,0	76,0	145,0	145,0	145,0	0,9

Zaradi lokalnih posebnosti zaradi povišanih vrednosti Cs-137 kot posledica černobilske nesreče smo naredili oceno doz zaradi ingestije mleka za tri lokacije, in sicer za Ljubljano (kot slovensko povprečje) ter za Kobarid in Bohinjsko Bistrico (povišane vrednosti).

Oceno doz opišemo tako za tri starostne skupine prebivalstva, upoštevamo različne lokacije zaradi ingestije mleka ter različne prehranjevalne navade prebivalcev v urbanem in ruralnem območju. Razdelitev skupin je shematsko predstavljena na spodnji sliki (Slika 35), kjer so posamezne podmnožice prebivalstva Slovenije označene z oznakami od A1 do E3.



Slika 35: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije ali prehranjevalnih navad

5.2.5 Privzete specifične aktivnosti

Povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti umetnih radionuklidov – Cs-137, Sr-90 in H-3 – v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2011 so predstavljene v tabeli (Tabela 7). Podatke za naravni radionuklid Pb-210 podajamo le informativno. V povprečju za meso, sir in ostala živila živalskega izvora nismo upoštevali vrednosti za divjačino (jelen) in v povprečju za sadje vrednosti za borovnice, saj teh živil povprečni prebivalec relativno malo zaužije v celotni prehrani, v samem povprečju specifičnih aktivnosti pa bistveno dvignejo vrednosti. Zato bi bili izračuni doz nerealni.

Za inhalacijo zraka v izračunih doz upoštevamo slovensko povprečje izmerjene vrednosti na vseh treh merskih lokacijah.

Tabela 7: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 ter H-3 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2011

Radionuklid	Privzete povprečne specifične aktivnosti vzorcev								
	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko LJ	mleko KB	mleko BB	voda	zrak
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/m ³	mBq/m ³
Cs-134	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6E-06
Cs-137	0,19	0,05	0,12	0,08	0,04	0,12	0,11	0,33	2,9E-03
I-131	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6E-05
Sr-90	0,08	0,09	0,22	0,19	0,05	0,09	0,05	1,05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	655	0
Pb-210	0,34	0,08	0,20	0,81	0,08	0,20	0,06	1,30	0,70

moka = moka, kruh, žitarice; meso = živila živalskega izvora; Pb-210 – le informativno

5.3 Doza zaradi ingestije in inhalacije

Pri oceni učinkovite doze zaradi vnosa z ingestijo smo upoštevali enačbi 3 in 4, podatke o količini zaužite hrane za različne starostne skupine (Tabela 6) in povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti radionuklidov v različnih vrstah hrane in pitne vode (Tabela 7), pri mleku smo upoštevali specifične aktivnosti za Ljubljano, Kobarid in Bohinjsko Bistrico. Vrednosti iz Ljubljane upoštevamo za slovensko povprečje, vrednosti iz Kobarida in Bohinjske Bistrice pa za lokalno posebnost zaradi povišanih vrednosti Cs-137 kot posledico črnobilske nesreče. Upoštevali smo dozne pretvorbene faktorje iz *Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. list RS, št. 49, 2004)*.

V tabeli (Tabela 10) so prikazane učinkovite doze zaradi ingestije posamezne vrste hrane in vode ter zaradi inhalacije za dojenčke do 1 leta, otroke od 7 do 12 let in za odrasle za umetne radionuklide v hrani. Doze zaradi inhalacije dobimo ob upoštevanju koncentracij radionuklidov, izmerjenih v Ljubljani.

V tabeli (Tabela 8) so prikazane izračunane učinkovite doze prejete zaradi *ingestije in inhalacije* dolgoživih črnobilskih fizijskih produktov - Cs-137 in Sr-90 (vpliv H-3 je zanemarljiv). Doza za odraslega prebivalca je v letu 2011 ocenjena na $2,0 \pm 1,0 \mu\text{Sv}$, za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz omenjene tabele.

Učinkovite doze v letu 2011 zaradi *ingestije* so primerljive s prejšnjimi leti (od 2003 dalje). V letu 2008 je opazna rahlo višja ocenjena vrednost, ki je posledica predvsem višje povprečne vrednosti Sr-90 v izbranih vzorcih zelenjave.

Ocenjene učinkovite doze zaradi *inhalacije* so za vse tri starostne skupine iz prebivalstva, dojenčke do enega leta, otroke od 7 – 12 let in odrasle, v letu 2011 nižje od 1 nSv.

Vpliv I-131 oziroma Cs-134, prisotnih v izpustih zaradi nesreče v Fukušimi na Japonskem, na dozo je zanemarljiv. Merljive vrednosti aktivnosti teh izotopov so bile le v zraku, izračun prejete doze zaradi inhalacije I-131 in Cs-134 je sicer največji za starostno skupino otrok od 7 do 12 let in znaša okrog 0,002 nSv ter je za okrog dva velikostna reda nižji od siceršnjega prispevka Cs-137, ki je posledica Črnobilske nesreče.

Za naravne radionuklide informativno podajamo samo učinkovito dozo zaradi ingestije in inhalacije zaradi Pb-210, ki ima velik dozni pretvorbni faktor. Najvišja vrednost je za dojenčke do enega leta starosti in znaša 290 μSv , za otroke od 7 do 12 let znaša 205 μSv in za odrasle 85 μSv , kjer upoštevamo ingestijo mleka v Ljubljani.

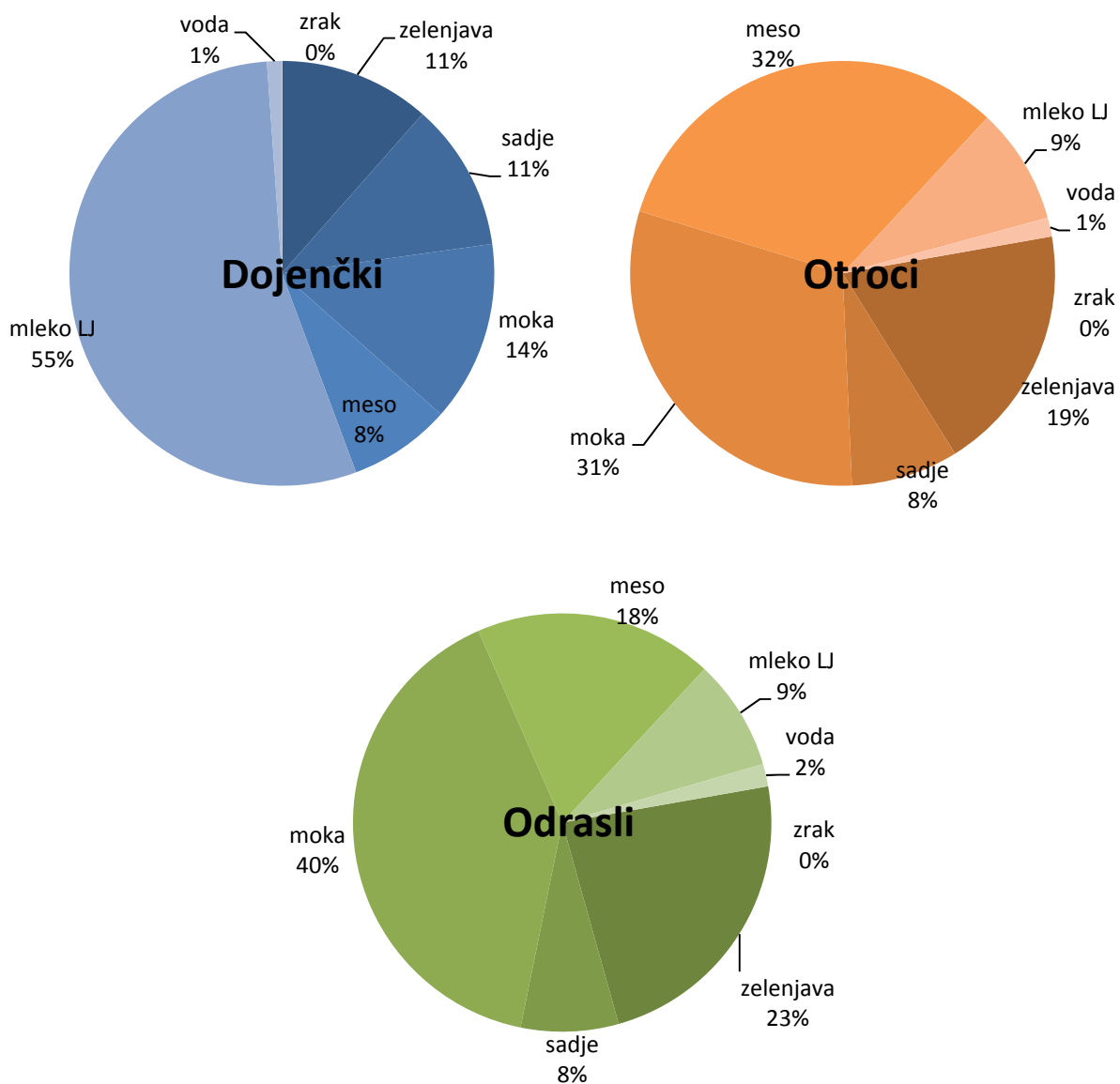
Na sliki (Slika 36) smo za primer vnosa ljubljanskega mleka analizirali relativne prispevke posameznih vrst hrane, vode in zraka k skupni dozi zaradi ingestije in inhalacije. Pri dojenčkih k dozi zaradi specifične prehrane prevladuje prispevek mleka (več kot polovico). Pri otrocih in odraslih je približno primerljiv prispevek zaradi uživanja mesa, moke oziroma žitnih izdelkov ter zelenjave in sadja (vsak po približno slabo tretjino).

Če primerjamo prispevke po posameznih izotopih, največ k dozi prispeva Sr-90, delež H-3 je zanemarljiv, preostalo gre na račun Cs-137. Prispevek Sr-90 k dozi zaradi ingestije in inhalacije za dojenčke znaša ~92%, za otroke ~88% in za odrasle ~71%, kot je tudi prikazano na sliki (Slika 37).

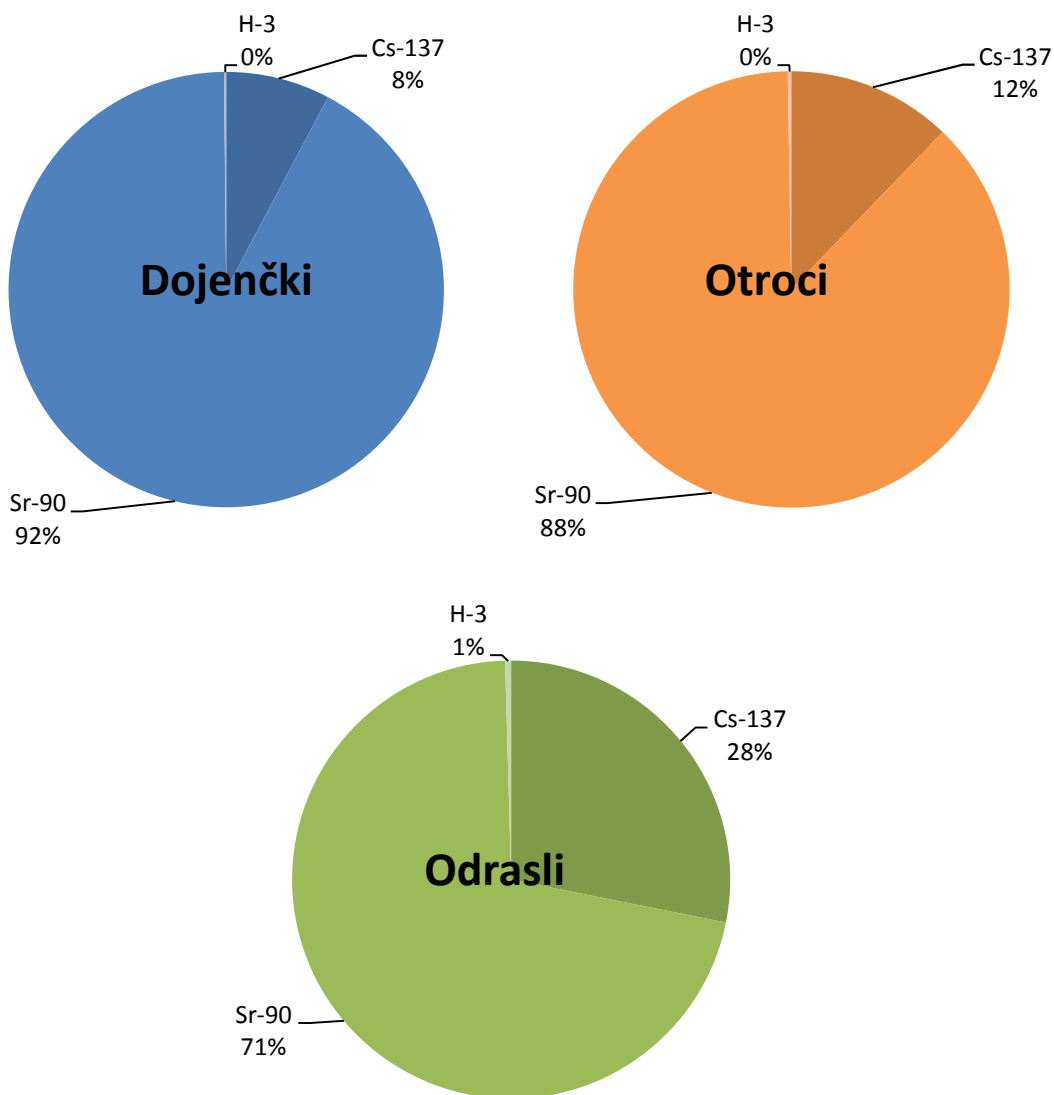
Tabela 8: Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2011.

vrsta vzorca	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko LJ	mleko KB	mleko BB	voda	zrak
Radionuklid	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - dojenčki (mSv)								
Cs-134	0	0	0	0	0	0	0	0	7,47E-11
Cs-137	9,20E-05	2,19E-05	2,88E-05	1,25E-05	1,75E-04	4,85E-04	4,67E-04	1,14E-06	8,63E-08
I-131	0	0	0	0	0	0	0	0	1,49E-09
Sr-90	4,01E-04	4,61E-04	5,60E-04	3,20E-04	2,16E-03	3,94E-03	2,34E-03	3,98E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	6,92E-06	0
Skupaj	4,93E-04	4,82E-04	5,89E-04	3,32E-04	2,34E-03	4,43E-03	2,81E-03	4,79E-05	8,77E-08
negotovost	4,94E-04	6,70E-04	5,66E-04	3,17E-04	4,91E-04	1,07E-03	6,00E-03	3,88E-05	6,48E-08
Pb-210	6,43E-02	1,58E-02	1,84E-02	5,08E-02	1,34E-01	3,27E-01	9,97E-02	1,80E-03	4,96E-03
Radionuklid	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - otroci (mSv)								
Cs-134	0	0	0	0	0	0	0	0	1,07E-10
Cs-137	1,49E-04	1,74E-05	6,95E-05	5,71E-05	3,05E-05	8,45E-05	8,13E-05	1,53E-06	1,19E-07
I-131	0	0	0	0	0	0	0	0	1,50E-09
Sr-90	3,55E-04	2,01E-04	7,41E-04	8,00E-04	2,06E-04	3,77E-04	2,24E-04	2,93E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	7,01E-06	0
Skupaj	5,03E-04	2,18E-04	8,11E-04	8,57E-04	2,37E-04	4,61E-04	3,05E-04	3,78E-05	1,20E-07
negotovost	2,33E-04	2,86E-04	6,52E-04	7,57E-04	3,19E-05	4,40E-05	1,32E-04	2,86E-05	8,89E-08
Pb-210	4,93E-02	5,99E-03	2,12E-02	1,10E-01	1,11E-02	2,71E-02	8,25E-03	1,80E-03	5,67E-03
Radionuklid	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - splošno (mSv)								
Cs-134	0	0	0	0	0	0	0	0	1,29E-10
Cs-137	2,49E-04	2,90E-05	1,64E-04	6,03E-05	4,95E-05	1,37E-04	1,32E-04	3,22E-06	1,41E-07
I-131	0	0	0	0	0	0	0	0	9,26E-10
Sr-90	2,13E-04	1,20E-04	6,29E-04	3,03E-04	1,20E-04	2,19E-04	1,30E-04	2,21E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	8,84E-06	0
Skupaj	4,62E-04	1,49E-04	7,94E-04	3,64E-04	1,69E-04	3,56E-04	2,62E-04	3,41E-05	1,42E-07
negotovost	1,88E-04	1,72E-04	5,81E-04	2,91E-04	2,17E-05	3,96E-05	1,99E-04	2,17E-05	1,05E-07
Pb-210	2,30E-02	2,78E-03	1,40E-02	3,25E-02	5,02E-03	1,23E-02	3,74E-03	6,73E-04	6,61E-03
Radionuklid	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - urbano okolje (mSv)								
Cs-134	0	0	0	0	0	0	0	0	1,29E-10
Cs-137	2,53E-04	4,52E-05	1,86E-04	8,88E-05	8,32E-05	2,30E-04	2,22E-04	3,22E-06	1,41E-07
I-131	0	0	0	0	0	0	0	0	9,26E-10
Sr-90	2,17E-04	1,87E-04	7,13E-04	4,47E-04	2,02E-04	3,68E-04	2,19E-04	2,21E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	8,84E-06	0
Skupaj	4,70E-04	2,32E-04	8,99E-04	5,35E-04	2,85E-04	5,99E-04	4,41E-04	3,41E-05	1,42E-07
negotovost	1,92E-04	2,68E-04	6,59E-04	4,29E-04	3,66E-05	6,66E-05	3,35E-04	2,17E-05	1,05E-07
Pb-210	2,35E-02	4,34E-03	1,58E-02	4,79E-02	8,45E-03	2,06E-02	6,28E-03	6,73E-04	6,61E-03
Radionuklid	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - ruralno okolje (mSv)								
Cs-134	0	0	0	0	0	0	0	0	1,29E-10
Cs-137	1,85E-04	3,01E-05	2,04E-04	7,85E-05	7,88E-05	2,18E-04	2,10E-04	3,22E-06	1,41E-07
I-131	0	0	0	0	0	0	0	0	9,26E-10
Sr-90	1,59E-04	1,25E-04	7,81E-04	3,95E-04	1,91E-04	3,49E-04	2,08E-04	2,21E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	8,84E-06	0
Skupaj	3,43E-04	1,55E-04	9,85E-04	4,73E-04	2,70E-04	5,67E-04	4,18E-04	3,41E-05	1,42E-07
negotovost	1,40E-04	1,79E-04	7,22E-04	3,79E-04	3,47E-05	6,32E-05	3,17E-04	2,17E-05	1,05E-07
Pb-210	1,71E-02	2,89E-03	1,74E-02	4,23E-02	8,01E-03	1,96E-02	5,95E-03	6,73E-04	6,61E-03

Pb-210 podajamo le informativno



Slika 36: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)



Slika 37: Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)

5.4 Doza zaradi zunanega sevanja

Povprečni letni okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanega sevanja v letu 2011 je bil $899 \mu\text{Sv}$. Ker je ocena černobilske doze zunanega sevanja na osnovi meritev TL dozimetrom zelo konservativna in ker je negotovost podatkov izmerjenih pred letom 1986 velika, smo ocenili dozo zunanega sevanja s pomočjo globinske porazdelitve černobilskega Cs-137 v zemlji. Izotop v zemlji ni več porazdeljen eksponentno, kot v prvih letih po nesreči, pač pa se je vrh premaknil v globlje plasti. Globina vrha je odvisna od lastnosti zemlje. Porazdelitev tako lahko deloma opišemo z Gaussovo funkcijo. Širina porazdelitve pa je prav tako odvisna od definicijskih lastnosti zemlje. S pomočjo te metode smo iz meritev koncentracij Cs-137 v zemlji ocenili dozo zunanega sevanja za različne starostne in referenčne skupine prebivalstva. Pri tem smo tudi upoštevali različne deleže zadrževanja na prostem

ali v zaprtih prostorih ter faktorje ščitenja v zaprtih prostorih (v mestih večje, na deželi manjše - Tabela 9).

Tabela 9: Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja

Lokacija	delež časa zadrževanja		faktor ščitenja v zaprtih prostorih
	v zaprtih prostorih	na prostem	
slovensko povprečje	0,8	0,2	0,9
urbana območja	0,8	0,2	0,95
ruralna območja	0,7	0,3	0,85

V tabeli (Tabela 10) so prikazane izračunane efektivne doze prejete zaradi *zunanjega obsevanja zaradi črnobilskega Cs-137 v zemlji*. Doza za odraslega prebivalca je v letu 2011 ocenjena na $7,0 \pm 0,4 \mu\text{Sv}$, za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz tabele. Upoštevali smo dozne pretvorbene faktorje med Gy in Sv za različne starostne skupine prebivalcev po UNSCEAR poročilu iz leta 2000, in sicer 0,91 za dojenčke, 0,79 za otroke in 0,69 za odrasle. Ti pretvorbene faktorji so konservativni, saj temeljijo na naravnih radionuklidih K-40, Th-232 in U-239, ker pa v izračunu doz upoštevamo le Cs-137, bi bili ti faktorji v skladu s priporočili ICRU Report 57 lahko ~20% nižji.

Doza za odraslega prebivalca ocenjena pred tem je bila v letu 2010 $7,7 \mu\text{Sv}$, v letu 2009 $7,6 \mu\text{Sv}$, v letu 2008 $6,7 \mu\text{Sv}$, v letu 2007 $4,8 \mu\text{Sv}$, v letu 2006 $1,45 \mu\text{Sv}$, v letu 2005 $4,8 \mu\text{Sv}$ ter v letih 2004 in 2003 $6,5 \mu\text{Sv}$. Drugačni oceni doze v letih 2006 in 2008 sta posledica druge lokacije vzorčenja zemlje v Ljubljani in vzorčevalca, kot je bila pred letom 2006 in nato ponovno v 2007. V vseh teh letih je bilo mesto odvzema vzorcev na lokaciji ob Cesti dveh cesarjev, v letih 2006 in 2008 je bila lokacija vzorčenja na Rektorskem izobraževalnem centru v Podgorici. Od leta 2009 dalje je lokacija ponovno ob Cesti dveh cesarjev. Specifične aktivnosti izmerjene v vzorcih zemlje iz lokacije na Rektorskem centru so nekajkrat nižje od tistih iz lokacije ob Cesti dveh cesarjev. Primerjava ocenjenih doz v preteklih letih nam pokaže, da je bila črnobilska kontaminacija precej neenakomerna in da je lahko Cs-137 zaradi razgibanosti terena ter difuzijskih lastnosti zemlje difundiral do različnih globin na posameznih lokacijah. Zato smo ocenili tudi dozo zunanjega sevanja na dveh ostalih lokacijah z lokalno višjimi vrednostmi Cs-137 - Kobarid in Bohinjska Bistrica (za slednjo privzamemo enako vrednost kot za Kobarid, saj tam zemlje ne vzorčimo). Rezultati prejetih letnih doz za vse referenčne skupine so navedene v tabeli (Tabela 10).

5.5 Skupna ocena doze

Na osnovi povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti dolgoživih fizijskih radionuklidov v vzorcih zraka, vode in hrane, odvzetih v letu 2011, povprečnem letnem vnosu posameznih vrst hrane in pitne vode ter ob upoštevanju doznih pretvorbene faktorjev po UV2 (Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.l RS, št. 49, 2004) smo ocenili pričakovano efektivno dozo

- za dojenčke do enega leta starosti,
- za otroke od 7 do 12 let in

- za odrasle.

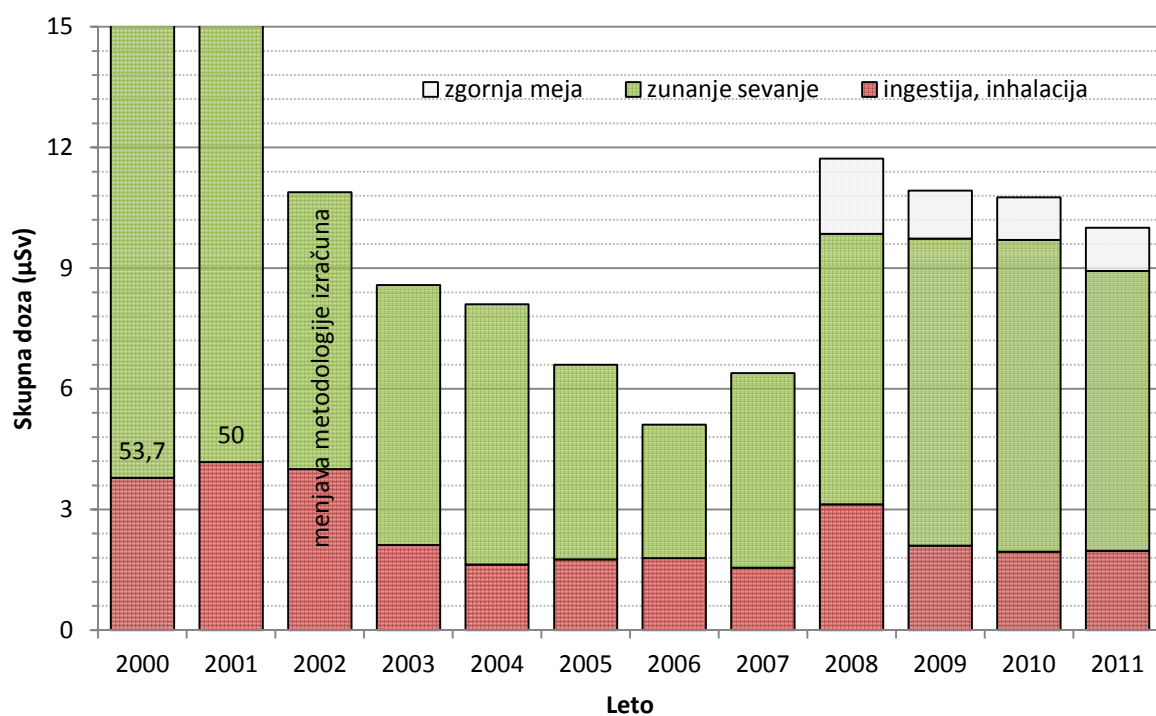
Izračun učinkovitih doz smo naredili za različne referenčne skupine prebivalstva (Slika 35), ki odražajo starostne skupine splošnih predstavnikov prebivalstva, kakor tudi specifične skupine bodisi zaradi lokalnih posebnosti, načinov prehranjevanja, bivanja ipd. Namesto negotovosti ocene doze je v našem primeru bolj smiselno podati zgornjo mejo letne doze, saj je razpon vrednosti predvsem posledica povprečenja vrednosti radionuklidov v posameznih vrstah vzorcev.

Skupna učinkovita doza (zgornja meja) za odrasle zaradi vnosa umetnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo ter zaradi zunanjega obsevanja tal znaša $< 10,0 \mu\text{Sv}$ na leto za odrasle, $< 12,0 \mu\text{Sv}$ na leto za otroke od 7. do 12. leta starosti in $< 16,0 \mu\text{Sv}$ na leto za dojenčke. V hrani večji del doze prispeva Sr-90, k zunanjemu sevanju pa k dozi največ prispeva Cs-137.

Na grafikonu (Slika 38) je primerjava učinkovitih predvidenih doz za odraslega prebivalca Slovenije za obdobje od leta 2000 dalje. Na grafikonu je prikazana ločena doza zaradi prispevkov ingestije in inhalacije oziroma zunanjega sevanja. Padec doze zunanjega obsevanja v letu 2002 je posledica spremenjene metodologije vrednotenja doz. Do leta 2001 se je namreč dozo zunanjega sevanja zaradi črnobilske kontaminacije ocenjevalo iz odčitkov TL dozimetrom, kar je bilo obremenjeno z veliko negotovostjo meritve.

Tabela 10: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2011 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi

Starostna skupina	Prehrabene navade	Mleko	referenčna skupina	Ingestija in inhalacija skupaj (μSv)	Doza zunanjega sevanja (μSv)	Skupna letna doza (μSv)	Zgornja meja (μSv)
dojenčki do 1 leta starosti	Pediatrska klinika	LJ	A1	$4,3 \pm 2,5$	$9,2 \pm 0,5$	13,5	$< 16,0$
		KB	A2	$6,4 \pm 4,5$	$10,8 \pm 0,2$	17,2	$< 21,7$
		BB	A3	$4,8 \pm 3,0$	$10,8 \pm 0,2$	15,6	$< 18,6$
otroci od 7 do 12 let	IAEA podatki	LJ	B1	$2,7 \pm 1,3$	$8,0 \pm 0,4$	10,6	$< 12,0$
		KB	B2	$2,9 \pm 1,4$	$9,4 \pm 0,2$	12,3	$< 13,7$
		BB	B3	$2,7 \pm 1,3$	$9,4 \pm 0,2$	12,1	$< 13,5$
odrasli	statistični podatki	LJ	C1	$2,0 \pm 1,0$	$7,0 \pm 0,4$	8,9	$< 10,0$
		KB	C2	$2,2 \pm 1,1$	$8,2 \pm 0,2$	10,4	$< 11,4$
		BB	C3	$2,1 \pm 1,0$	$8,2 \pm 0,2$	10,3	$< 11,3$
	urbano okolje	LJ	D1	$2,5 \pm 1,2$	$6,0 \pm 0,3$	8,4	$< 9,7$
		KB	D2	$2,8 \pm 1,3$	$7,0 \pm 0,1$	9,8	$< 11,1$
		BB	D3	$2,6 \pm 1,3$	$7,0 \pm 0,1$	9,6	$< 10,9$
	ruralno okolje	LJ	E1	$2,3 \pm 1,2$	$10,1 \pm 0,5$	12,3	$< 13,6$
		KB	E2	$2,6 \pm 1,3$	$11,9 \pm 0,2$	14,4	$< 15,7$
		BB	E3	$2,4 \pm 1,2$	$11,9 \pm 0,2$	14,3	$< 15,5$



Slika 38: Predvidena efektivna doza H_E zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje

6 Zaključki

V splošnem lahko rečemo, da je obremenitev prebivalca Slovenije zaradi prisotnosti umetnih radionuklidov v okolju kot posledica černobilske kontaminacije in bombnih poskusov nekaj μSv letno. Določene letne variacije v oceni doze so posledica posameznih vzorcev z večjimi ali manjšimi koncentracijami radionuklidov ter seveda negotovosti meritev.

Vpliv izpustov zaradi jedrske nesreče v Fukušimi 11. marca 2011 je bil v Sloveniji zanemarljiv. Merljive so bile le vrednosti izotopov I-131 in Cs-134 v zraku in padavinah, in sicer v marcu, aprilu ter delno maju. Prispevek izpustov iz Fukušime je k dozi zaradi inhalacije, samo da je le-ta za približno dva velikostna reda nižji od prispevka Cs-137 zaradi černobilske kontaminacije in bombnih poskusov.

Na podlagi meritev radioaktivnosti življenjskega okolja Republike Slovenije v letu 2011 ugotavljamo, da so bile specifične aktivnosti umetnih radionuklidov v hrani in zraku okrog 1% od mejnih vrednosti, predpisanih v Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. list RS, št. 49, 2004).

Letne efektivne doze zaradi ingestije umetnih radionuklidov in letne doze zaradi izpostavljenosti zunanjem sevanju so v okviru povprečnih svetovnih vrednosti, navedenih v poročilu UNSCEAR 2000 in UNSCEAR 2006.

6.1 Priporočila

Že več let ugotavljamo, da je večina aktivnosti umetnih radionuklidov, ki je posledica radioaktivnega useda po černobilski nesreči že migrirala v nižje plasti zemlje (od 15 cm). Zaradi poznavanja dolgoročnega obnašanja in migracije radionuklidov v zemlji predlagamo, da bi bilo smiselno začeti tudi z vzorčevanjem in analizo globljih plasti zemlje od 15 do 30 cm.

Prav tako že več let zapored opažamo anomalijo s povečano vsebnostjo K-40 v vzorcih vode v reki Savinji na lokaciji pod Celjem, ki za en do dva velikostna reda presega vrednosti v drugih rekah. Predlagamo izdelavo projektne naloge, kjer bi z dodatnim vzorčevanjem (zrak, zemlja, druge lokacije) pojasnili takšne anomalije.

7 Literatura

- 1) Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJ-UPB2), Ur.list RS št. 102, 2004, 60/2011;
- 2) Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti, Ur.list RS št. 20/2007, 97/2009;
- 3) Pravilnik o pogojih in metodologiji ocenjevanja doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Ur. list RS št. 115, 2003;
- 4) Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.list RS št. 49, 2004;
- 5) IAEA Safety Reports Series 14: Assessment of doses to the public from ingested radionuclides, IAEA 1999;
- 6) Letna poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško , IJS.
- 7) Letna poročila o radioaktivnosti v življenjskem okolju Slovenije, ZVD (od 1964).
- 8) A.Likar, G. Omahen, M. Lipoglavšek, T. Vidmar, A Theoretical description of diffusion and migration of Cs-137 in soil, Journal of Environmental Radioactivity 57 (2001) 191-201;
- 9) Likar, T. Vidmar, B. Pucelj: Monte Carlo Determination of Gamma-Ray Dose Rate with the GEANT System, Health Physics vol. 75, No.2, 1998;
- 10) P. Jovanovič: Radioaktivna kontaminacija alpskega predela Slovenije kot posledica černobilske nesreče in jedrskih poskusov, ZVD, 2004.
- 11) UNSCEAR Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I – Annex A: Dose Assessment Methodologies, 2000.
- 12) UNSCEAR Report 2006: Effects of ionizing radiation, Volume I – Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer, 2008.
- 13) Yoshimori, M., Atmospheric Transport Inferred from Seasonal Variations in Cosmogenic Be-7 Concentrations, Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference. July 3 - 11, 2007, Mérida, Yucatán, 2007.
- 14) Herbert W. Feely, Richard J. Larsen and Colin G. Sanderson. Factors that cause seasonal variations in Beryllium-7 concentrations in surface air, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 9, Issue 3, 1989, Pages 223-249
- 15) T. Tokieda, K. Yamanaka, K. Harada, S. Tsunogai. Seasonal variations of residence time and upper atmospheric contribution of aerosols studied with Pb-210, Bi-210, Po-210 and Be-7, Tellus B Volume 48, Issue 5, pages 690–702, November 1996.