



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 2009

Poročilo je napisano na osnovi naslednjih posameznih poročil:

Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto
2009

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

Monitoring radioaktivnosti živil za leto 2009

naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Monitoring radioaktivnosti pitne vode za leto 2009

naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Monitoring radioaktivnosti živalske krme za leto 2009

naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

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

Marec 2010

Center za fizikalne meritve
Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti
radionuklidov

Št. poročila: LMSAR-20100009-MG

Datum: 31.03.2010

Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije za leto 2009

Naročnik / uporabnik (koda):	Ministrstvo za zdravje Uprava RS za varstvo pred sevanji Ajdovščina 4 1000 Ljubljana
Skrbnik v imenu naročnika:	dr. Dejan Žontar
Številka pogodbe z ZVD d.d.:	C2717-09-000010
Skrbnik v imenu izvajalca:	dr. Gregor Omahen
Program:	Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2009 Radioactivity in the living environment of Slovenia for the year 2009
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:	<i>ZVD:</i> Peter JOVANOVIČ, Majda LEVSTEK, Lili PERŠIN, Dušan KONDA, mag. Urban ZDEŠAR, dr. Marko GIACOMELLI, dr. Gregor OMAHEN <i>IJS:</i> Drago Brodnik, Boštjan Črnič, dipl. inž. fiz., mag. Denis Glavič - Cindro, Sandi Gobec, dr. Matjaž Korun, Katarina Kovačič, univ. dipl. inž. geol., dr. Jasmina Kožar Logar, Romana Krištof, dipl. san. inž., Petra Maver Modec, dipl. inž. fiz., dr. Marijan Nečemer, Barbara Svetek, inž. kem. tehnol., izr. prof. dr. Vekoslava Stibilj, Zdenka Trkov, inž. kem. tehnol., mag. Branko Vodenik

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 54 strani in eno prilogo (Poročilo o meritvah radioaktivnosti vzorcev iz okolja Republike Slovenije v letu 2009) 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 prehranske verige. Radioaktivnost okolja je posledica globalnega onesnaženja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij v ozračju in radiološke nesreče v Černobilu. Ocenjene so doze sevanja po ekspozicijskih prenosnih poteh. Ocenjena doza zaradi izpostavljenosti umetnim radionuklidom po vseh prenosnih poteh, znaša v letu 2009 za dojenčke < 17,4 μSv , za otroke od 7 do 12 let < 13,0 μSv in za odrasle < 10,9 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

Summarised 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 as a consequence of the general radioactive contamination due to the nuclear test explosions and Chernobyl accident. Dose estimates for important exposure pathways are presented. Dose estimates for infants, children for 7 up to 12 years and adults for man made radionuclides in the year 2009 are < 17.4 μSv , < 13.0 and < 10.9 μSv , respectively. This value 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

1	Uvod.....	8
2	Program meritev.....	9
3	Metodologija meritev	15
3.1	Akreditirane meritve.....	15
3.2	Izračuni specifičnih aktivnosti	16
4	Rezultati meritev in komentar	17
4.1	Tekoče vode	17
4.2	Zrak.....	19
4.3	Zemlja.....	21
4.4	Zunanje sevanje	29
4.5	Padavine.....	30
4.5.1	Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90	30
4.5.2	Specifična aktivnost H-3	32
4.6	Pitna voda	32
4.7	Hrana.....	33
4.7.1	Mleko	33
4.7.2	Živila živalskega izvora	42
4.7.3	Žitarice, moka, kruh.....	42
4.7.4	Sadje	42
4.7.5	Zelenjava	43
4.7.6	Otroška hrana.....	43
4.8	Krmila	43
5	Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fizijskih produktov	44
5.1	Osnovne enačbe.....	44
5.2	Uporabljeni podatki in predpostavke	45
5.2.1	Umetni radionuklidi.....	45
5.2.2	Naravni radionuklidi	45
5.2.3	Starostne skupine	46
5.2.4	Prehranjevalne predpostavke	46
5.2.5	Privzete specifične aktivnosti	47
5.3	Doza zaradi ingestije in inhalacije	48
5.4	Doza zaradi zunanjega sevanja	51
5.5	Skupna ocena doze	52
6	Literatura	54

Kazalo slik

Slika 1: Lokacije vzorčevanja vzorcev iz okolja	13
Slika 2: Lokacije TLD za meritve letne doze zunanje sevanja	14
Slika 3: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi in Dravi od leta 2002 dalje.	18
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)	19
Slika 5: Povprečne celoletne vsote specifične aktivnosti Cs-137 v zraku za obdobje od leta 1986 dalje za Ljubljano	20
Slika 6: Povprečna letna specifična aktivnost K-40 v zemlji	21
Slika 7: Povprečna letna specifična aktivnost Cs-137 v zemlji.....	22
Slika 8: Povprečna letna specifična aktivnost Sr-90 v zemlji	22
Slika 9: Specifične aktivnosti – depozit za Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje	24
Slika 10: Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje.	25
Slika 11: Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje	26
Slika 12: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje.....	27
Slika 13: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje.....	28
Slika 14: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje	29
Slika 15: Doza zunanje sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje	30
Slika 16: Specifične aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje	32
Slika 17: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane.....	34
Slika 18: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida.....	35
Slika 19: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice.....	36
Slika 20: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobote.....	37
Slika 21: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Ljubljana.....	38
Slika 22: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2009, lokacija Kobarid ..	39
Slika 23: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2009, lokacija Bohinjska Bistrica	40
Slika 24: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2009, lokacija Murska Sobota.....	41
Slika 25: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije ali prehranjevalnih navad	47
Slika 26: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).....	50
Slika 27: Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)	50

Slika 27: Predvidena efektivna doza H_E zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje	53
--	----

Kazalo tabel

Tabela 1: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2009 (modra – ZVD, zelena - IJS)	10
Tabela 2: Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide	16
Tabela 3: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod	17
Tabela 4: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij).....	31
Tabela 5: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine	46
Tabela 6: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2009	47
Tabela 7: Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2009.	48
Tabela 8: Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja	51
Tabela 9: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2009 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi	52

1 Uvod

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV, Ur.l. RS, 102/04) 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). 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 zunanega 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 kontinuirno 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 jedrske nesreče.

2 Program meritev

Program meritev radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja v Republiki Sloveniji je bil v letu 2009 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 2009 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 zunanega sevanja gama oziroma za določevanje prejetih doz prebivalstva zaradi zunanega sevanja gama.

Lokacije vzorčenja zraka, padavin, zemlje, tekočih in pitnih vod ter merilna mesta doz zunanega sevanja so ostala v splošnem enaka kot v prejšnjih letih. ZVD je v letu 2009 izvajal meritve radioaktivnosti zraka, zemlje, padavin, hrane, IJS pa meritve radioaktivnosti tekočih vod, krmil in zunanega sevanja ter kot podizvajalec tudi meritve radioaktivnosti pitnih vod.

Program meritev v Sloveniji v letu 2009 je prikazan v spodnji tabeli (Tabela 1). Z modro barvo so označene meritve, ki ji je opravil ZVD, z zeleno pa meritve IJS.

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

Tabela 1: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2009 (modra – ZVD, zelena - IJS)

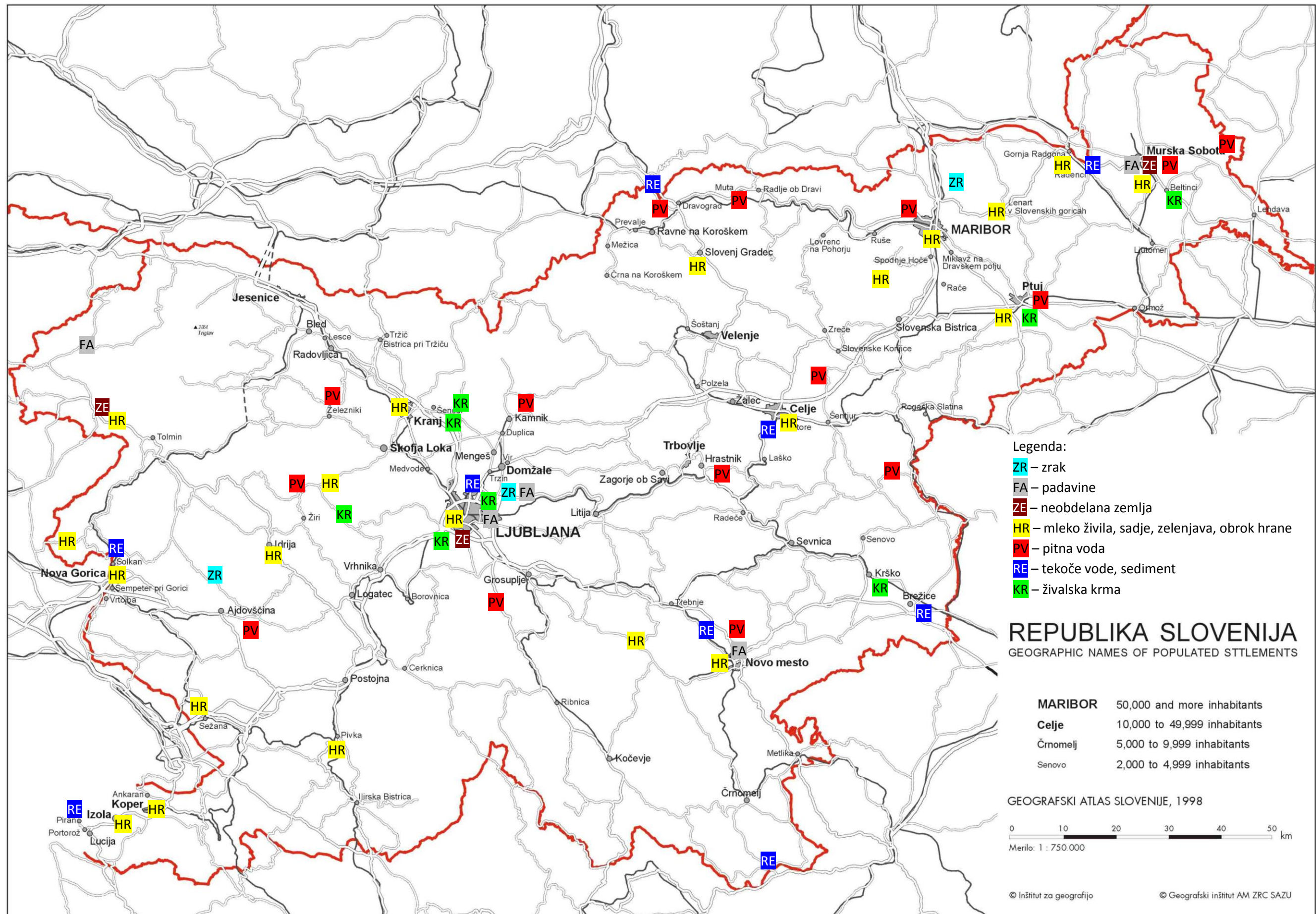
Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
1.0. REKE, MORJE				
1.1. Izotopska analiza	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno	2
VL spektrometrija	SAVA (Brežice)	voda	polletno	2
gama	DRAVA (Dravograd)	voda	polletno	2
	SOČA (Solkan)	voda	polletno	2
	SAVINJA (Celje)	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 2009 (modra – ZVD, zelena - IJS)

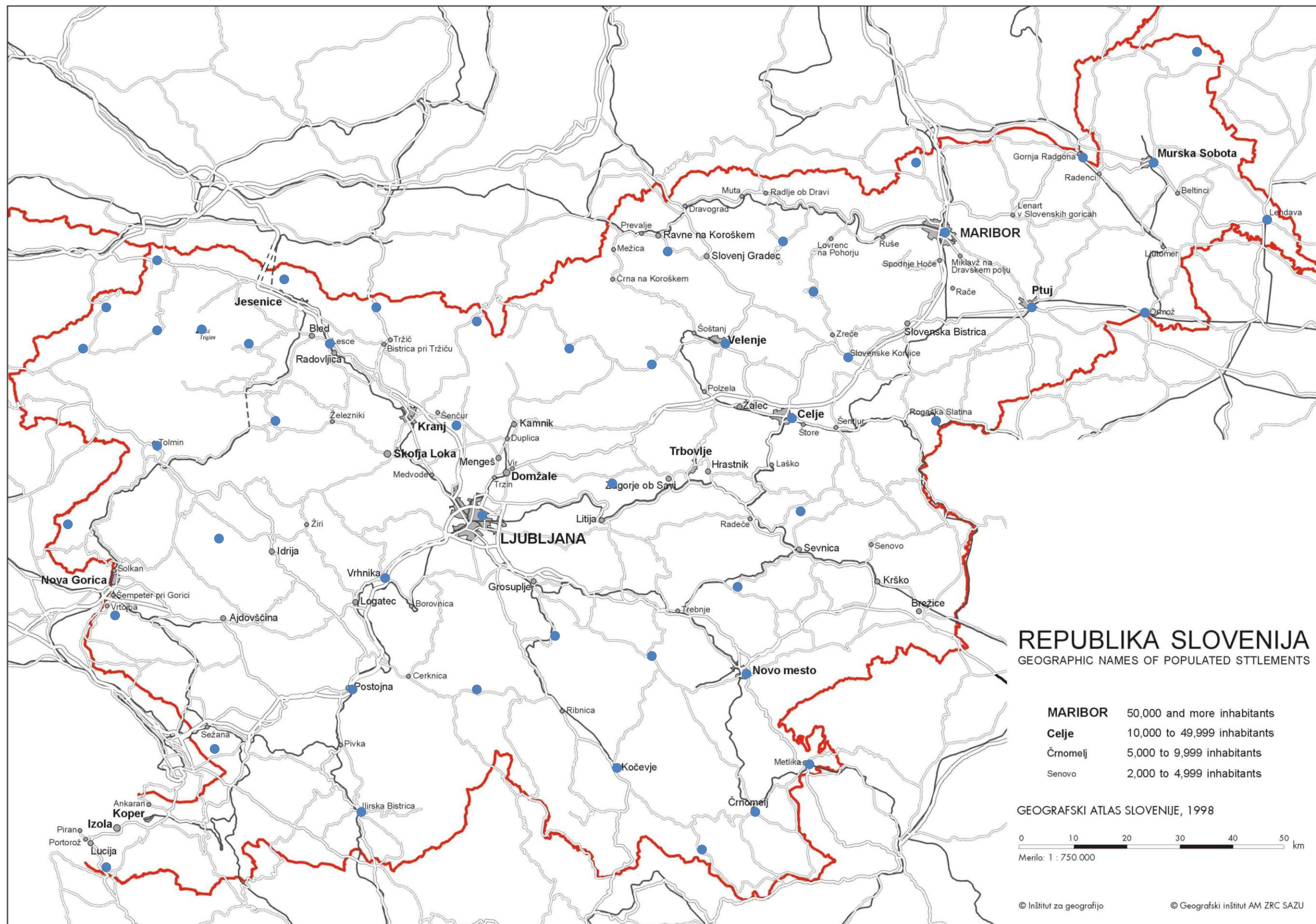
Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
4.0. TRDE IN TEKOČE PADAVINE				
4.1. Izotopska analiza	Ljubljana	Zbirna količina	mesečno	12+12
	Bovec	skupnega useda	tromesečno	4
VL spektrometrija gama	Murska Sobota	v enem mesecu na	tromesečno	4
	Novo mesto	višini 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	mesečno	12
		skupnega useda		
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	Sezonska zelenjava	1 x letno	6
	po celotni Sloveniji	(7 močno zastopanih vrst)		
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	Sezonsko sadje	1 x letno	6
	po celotni Sloveniji	jabolka, breskve, češnje, slive, hruške, (jagode, češnje samo na dveh lokacijah)		

Tabela 1 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2009 (modra – ZVD, zelena - IJS)

Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
6.1.3. Žito, kruh				
6.1.3.1. Izotopska analiza VL gama	Večja mesta po celotni Sloveniji	pšenica, koruza, rž, ječmen (vse lokacije) kruh, bela moka (dve lokaciji)	1 x letno	6
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	10 lokacij	enkratni vzorec	1 x letno	12



Slika 1: Lokacije vzorčevanja vzorcev iz okolja



Slika 2: Lokacije TLD za meritve letne doze zunanjega sevanja

3 Metodologija meritev

Meritve v okviru rednega monitoringa življenjskega okolja v Republiki Sloveniji v letu 2009 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 zunanega sevanja smo uporabljali TL dozimetre (IJS).

Vzorci zraka, padavin, neobdelane zemlje ter hrane rastlinskega in živalskega porekla smo 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 2009 izvajal meritve radioaktivnosti tekočih vod, sedimenta, zemlje v Ljubljani in krmil ter zunanega sevanja in kot podizvajalec tudi meritve radioaktivnosti pitnih vod. Vzorce 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 pa v skladu s postopki *Radiokemična izločitev stroncija Sr-90/ Sr-89 iz okoljskih vzorcev (RK-DN-09)*, *Meritve aktivnosti v pretočno proporcionalnem števcu (RK-DN-10)*, in *Izračun specifičnih aktivnosti stroncija v okoljskih vzorcih (RK-DN-11)*. 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 visokoločljivostne spektrometrije gama, radiokemične analize Sr-89, Sr-90 in H-3 (samo IJS) ter meritve doze zunanega sevanja akreditirana v skladu s standardi 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 za prvo plast od 0 – 5 cm 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_{x_i} in standardna deviacija posameznih meritev od povprečne vrednosti σ_{stdev} , kot je prikazano v spodnjih enačbah.

$$\sigma_{stdev} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \text{ in } \bar{\sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{x_i}}{n}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\sigma_{stdev}^2 + \bar{\sigma}^2}$$

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 2).

Tabela 2: 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
131I	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.

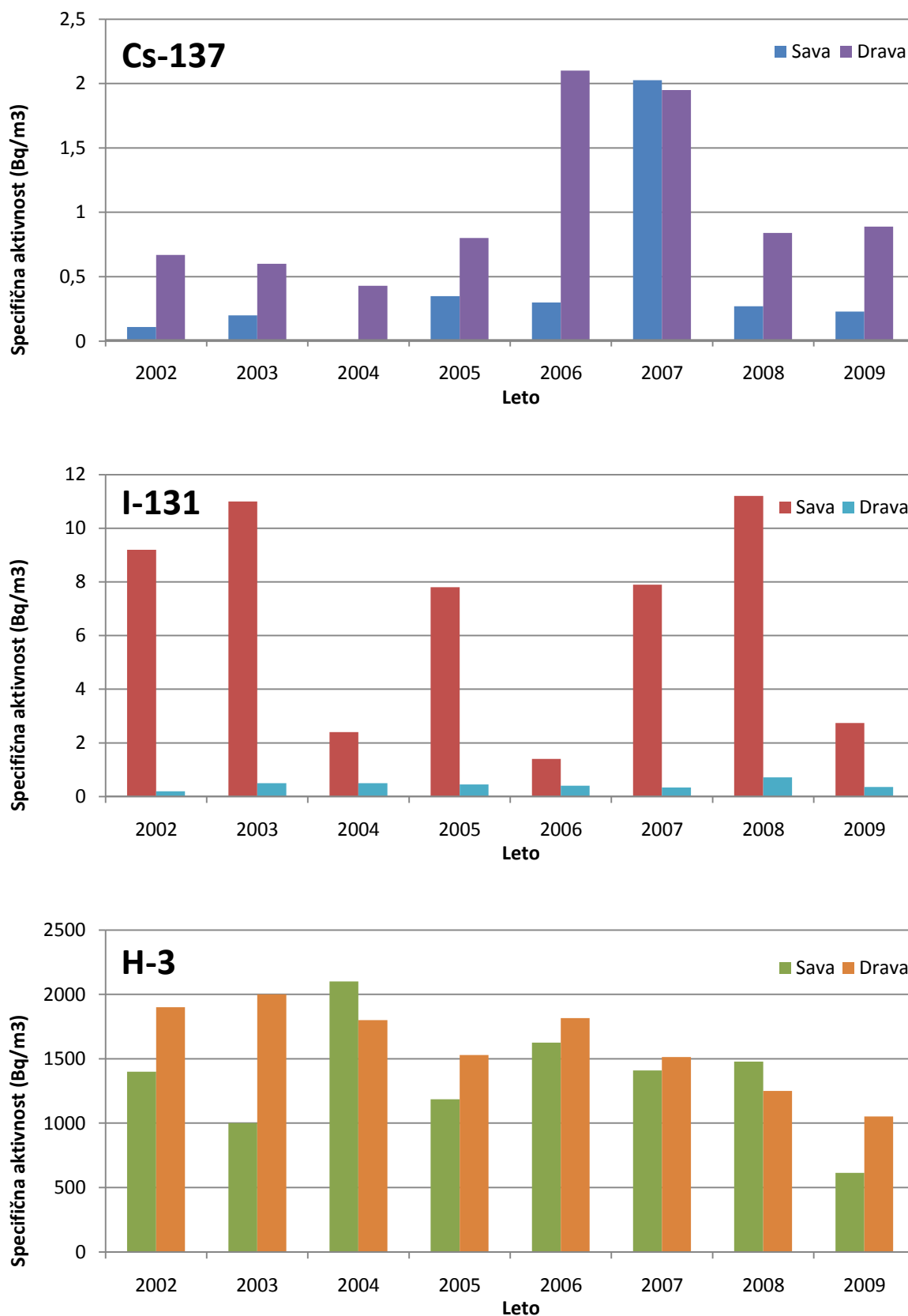
V vzorcih rek smo merili umetne radionuklide Cs-137, Sr-90 in H-3, ki so produkt človekovih dejavnosti, ter I-131, ki se uporablja v terapevtske namene v bolnišnicah v Sloveniji in v Avstriji. Določali smo tudi specifične aktivnosti naravnih radionuklidov uranove in torijeve vrste ter K-40 in Be-7. Najvišje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

Iz tabele meritev (Tabela 1 v prilogi) vidimo, da je koncentracija K-40 v Savinji pri Celju za en velikostni red višja kot na drugih mestih.

Tabela 3: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod

Radionuklid	Najvišja izm. spec. akt. (Bq/m ³)	Lokacija	Povprečna vrednost (Bq/m ³)
Cs-137	1,4	Drava pri Dravogradu	0,5 ± 0,5
Sr-90	5,2	Mura pri Petanjcih	1,4 ± 1,5
I-131	40	Savinja pod Celjem	3,0 ± 8,9
H-3	1230	Drava pri Dravogradu	920 ± 340
Pb-210	5,0	Mura pri Petanjcih	1,3 ± 2,8
K-40	440	Savinja pod Celjem	64 ± 93
Be-7	23	Kolpa pri Vinici	4,1 ± 4,8

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 za velikostni red 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.

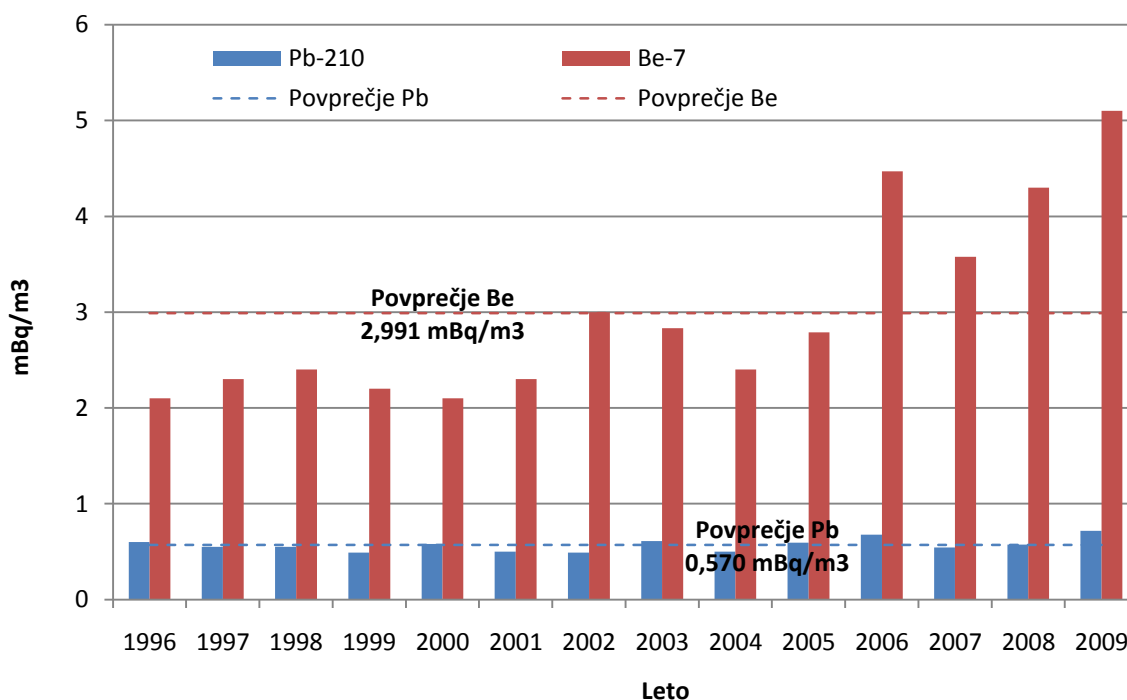


Slika 3: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi in Dravi od leta 2002 dalje.

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 $2,0 \pm 0,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, na lokaciji vzorčenja na Jareninskem vrhu $3,7 \pm 1,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in na lokaciji vzorčenja na Predmeji $3,2 \pm 1,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Povprečna vrednost koncentracije Cs-137 za področje cele Slovenije v letu 2009 je $3,0 \pm 1,9 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Poleg naravnih radionuklidov je opaziti tudi kozmogeni Be-7. Povprečna letna vrednost specifične aktivnosti je bila na Jareninskem vrhu za Be-7 $4,8 \pm 1,6 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,70 \pm 0,33 \text{ mBq}/\text{m}^3$, v Ljubljani za Be-7 $4,3 \pm 0,5 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,75 \pm 0,10 \text{ mBq}/\text{m}^3$ in na Predmeji za Be-7 $6,5 \pm 2,5 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,71 \pm 0,29 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Povprečna vrednost koncentracije Be-7 za področje cele Slovenije v letu 2009 je $5,1 \pm 2,0 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,72 \pm 0,30 \text{ mBq}/\text{m}^3$. 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, na naslednji sliki (Slika 5) pa povprečne celoletne vsote specifičnih aktivnosti za Cs-137 za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje.

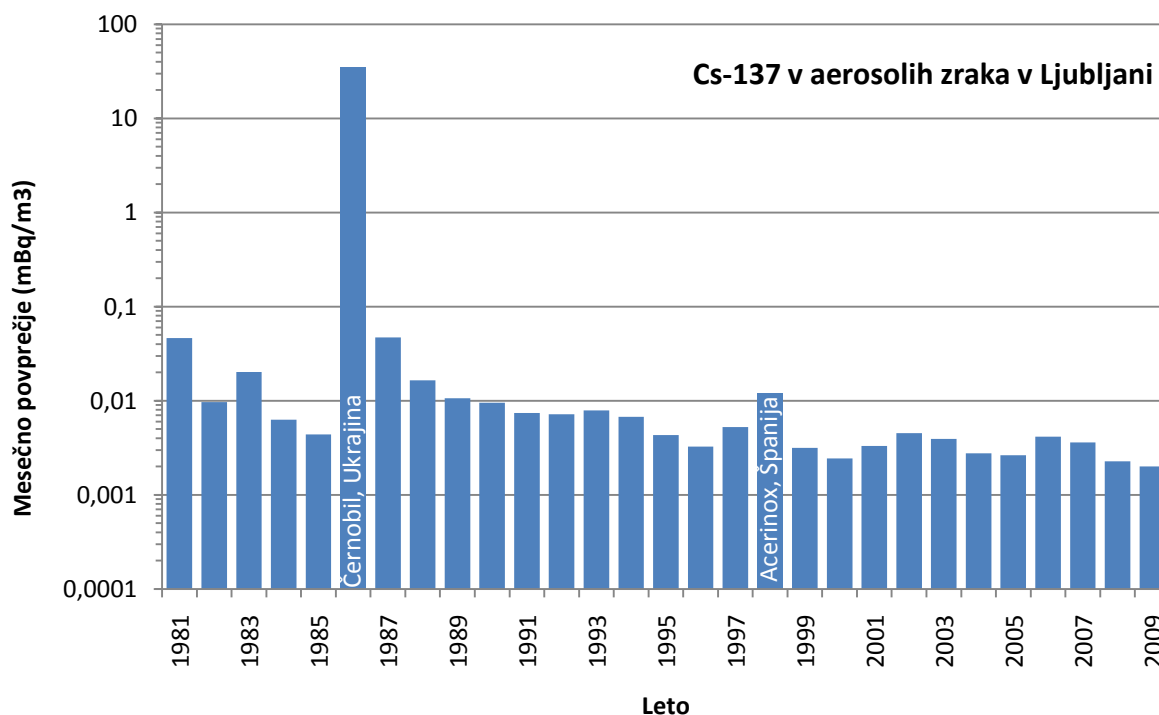


Slika 4: Povprečne celoletne specifične aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od leta 1996 dalje za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja)

Iz slike (Slika 4) je razvidno, da je specifična aktivnost Pb-210 skozi celotno obdobje dokaj konstantna, povprečna vrednost je $0,56 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Vrednosti specifičnih aktivnosti Be-7 se gibajo med 2,1-5,1

mBq/m^3 , povprečna vrednost je $3,0 \text{ mBq/m}^3$. V letih 2006-2009 so izmerjene vrednosti Be-7 v zraku za slabo polovico višje kot v prejšnjih letih (do 2005).

Utemeljene razlage za povečanje ni, saj npr. vrednosti Be-7 v vzorcih padavin od leta 2006 niso povečane v primerjavi s preteklimi leti. Podobno lahko ugotovimo tudi v tabelah meritev iz priloge pri U-238, le da so izmerjene vrednosti od leta 2006 nižje. Najverjetneje je razlika v vrednostih koncentracij v zraku od leta 2006 posledica zamenjave izvajalca meritev radioaktivnosti v zraku oziroma njegove metodologije izračuna. ZVD izračunava letno povprečje aktivnosti na podlagi izmerjenih meritev in spodnje meje detekcije (če je aktivnost prenizka). IJS pa za izračun povprečja uporablja metodologijo, da namesto spodnje meje detekcije v povprečje upošteva kar vrednost 0. Zato lahko v primeru manj prisotnih radionuklidov, kjer pogosteje določimo za aktivnost radionuklida v vzorcu le spodnjo mejo detekcije, to bistveno vpliva na izračunano povprečje. Če na primer primerjamo hipotetični set meritev $<0,05$, $<0,05$, $0,08$, $0,1$, $<0,05$ in $<0,05$, je izračunano povprečje po metodologiji ZVD $0,06$, po metodologiji IJS pa le $0,03$. Na takšen način je sicer v preteklosti (do leta 2005) povprečja določal tudi ZVD.



Slika 5: Povprečne celoletne vsote specifične aktivnosti Cs-137 v zraku za obdobje od leta 1986 dalje za Ljubljano

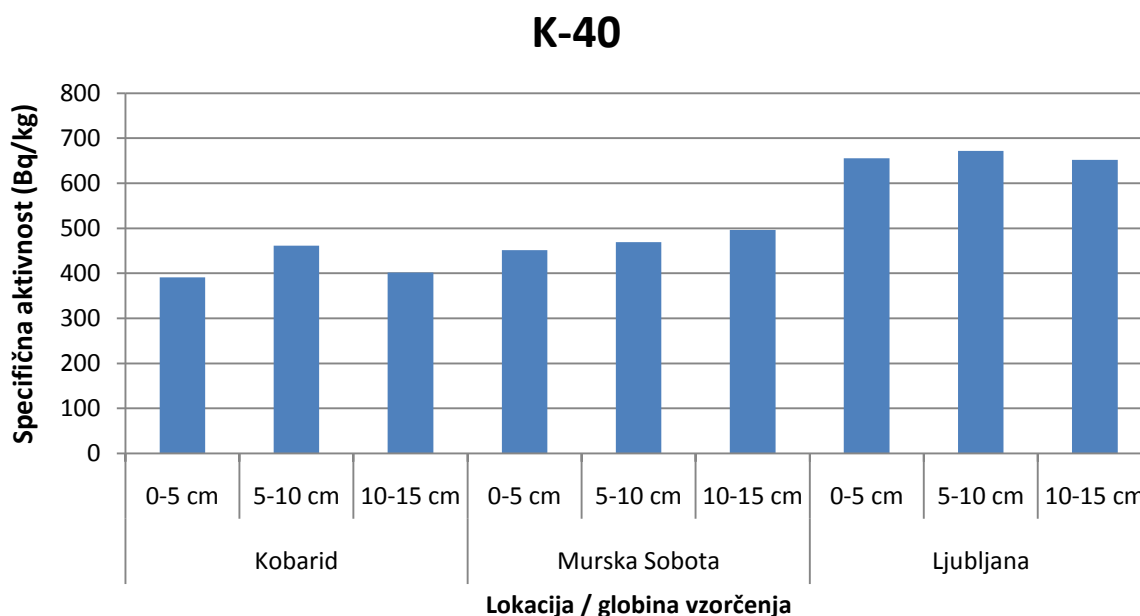
Mesečne koncentracije Cs-137 po letu 1986, ko so bile najvišje zaradi černobilske nesreče padajo. Povprečne letne koncentracije Cs-137 v zraku v Ljubljani se po letu 2000 gibljejo v območju vrednosti $0,002 - 0,005 \text{ mBq/m}^3$. Edino povišanje po černobilski nesreči je bilo vidno leta 1998, v času nezgode v jeklarni Acerinox v Španiji (Algeciras), kjer so stalili radioaktivni vir Cs-137, zaradi česar so bile izmerjene vrednosti okoli $0,01 \text{ mBq/m}^3$.

Decemberska meritev vzorcev zraka na lokaciji Ljubljana je pokazala prisotnost I-131. Po dodatnih pojasnilih smo ugotovili, da je izmerjena vrednost posledica dejstva, da je eden izmed sodelavcev IJS

bil pred meritvijo na terapiji z I-131 in prišel v bližino detektorja. Zato je izmerjena vsebnost I-131 z veliko verjetnostjo posledica omenjega dejstva, kar potrjujejo tudi druge meritve, ki jih je opravil IJS za ostale naročnike v Sloveniji (npr. NEK).

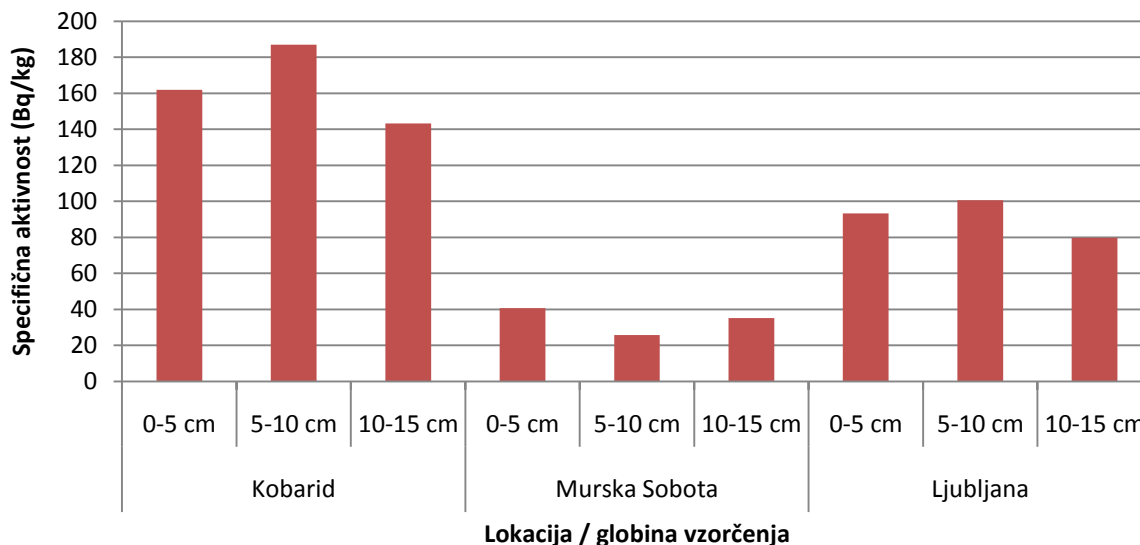
4.3 Zemlja

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 vzorčevati zemljo v Ljubljani na lokaciji Ceste dveh cesarjev (v letu 2008 in 2006 na lokaciji IJS Podgorica), in sicer na isti, kjer je prejšnja leta vzorčeval ZVD. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih zemlje so prikazani v prilogi (Tabela 3) ter spodnjih slikah (Slika 6, Slika 7, Slika 8).



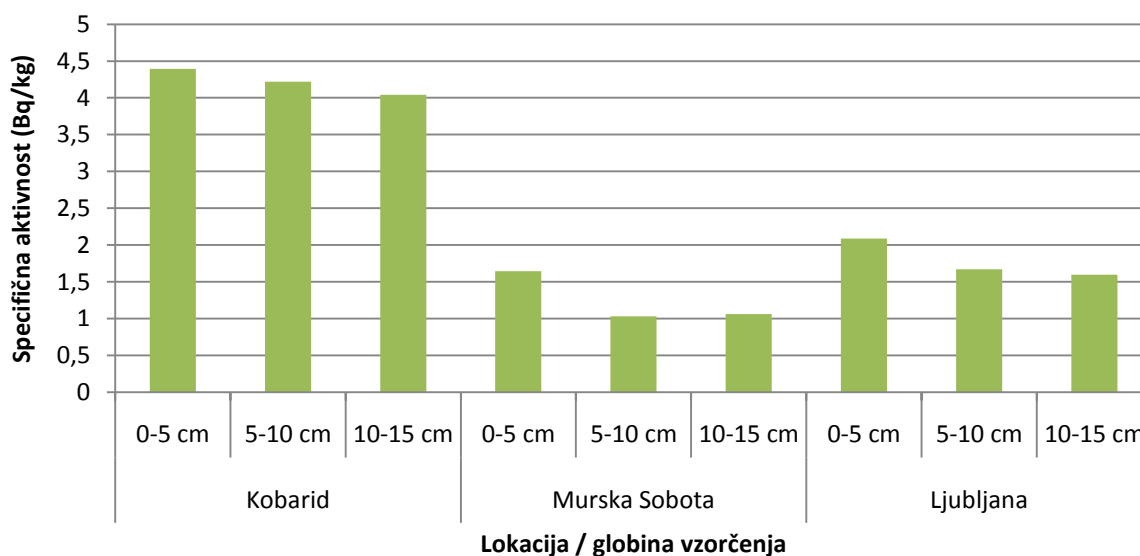
Slika 6: Povprečna letna specifična aktivnost K-40 v zemlji

Cs-137



Slika 7: Povprečna letna specifična aktivnost Cs-137 v zemlji

Sr-90



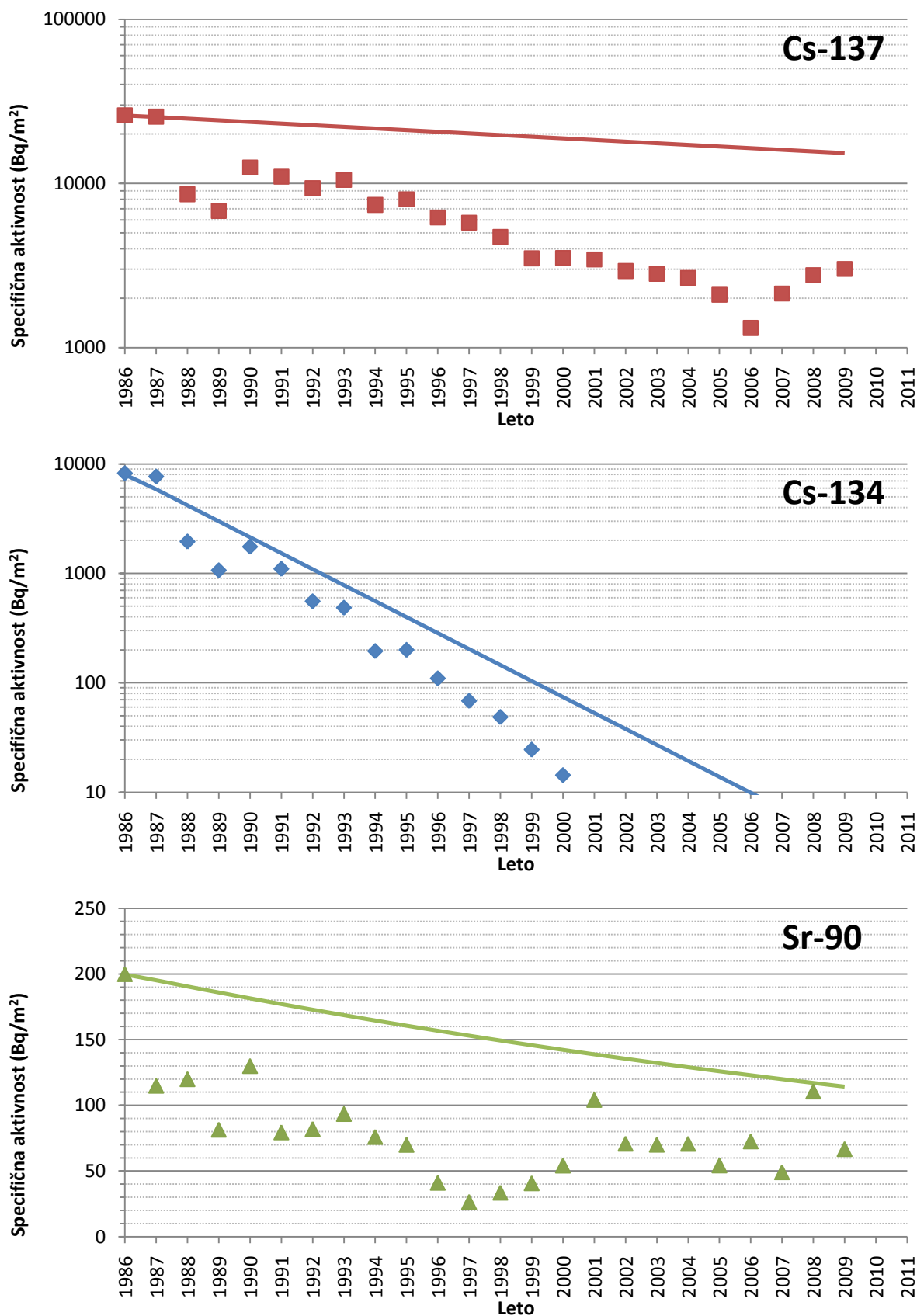
Slika 8: Povprečna letna specifična aktivnost Sr-90 v zemlji

Specifične aktivnosti v vseh treh plasteh so v prilogi (Tabela 3) prikazane v enotah Bq/kg posušene zemlje, za prvo plast pa so tudi preračunane na enoto površine v Bq/m², skladno z navodilom, sprejetim na eni izmed sej strokovne komisije za varstvo pred sevanji pri Ministrstvu za zdravstvo. Pri tem so preračunane tudi vrednosti za naravne radionuklide, za katere pa vemo, da ne predstavljajo površinske kontaminacije.

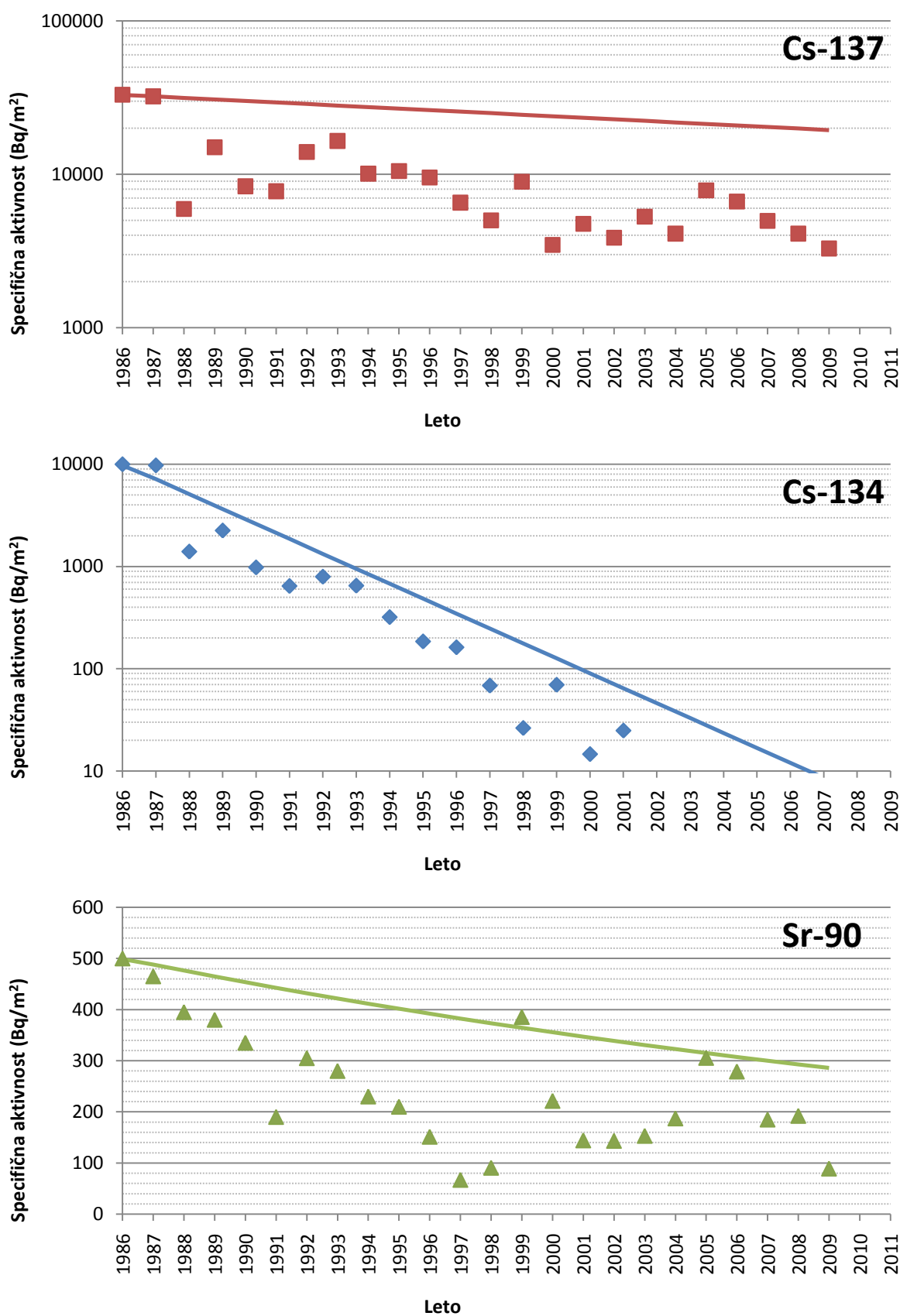
V vzorcih zemlje iz Ljubljane je bilo povprečje specifične aktivnosti v vseh treh plasteh 91 ± 11 Bq/kg Cs-137 in $1,8 \pm 0,3$ Bq/kg Sr-90, po plasteh vsebnost Cs-137 pada, vsebnost Sr-90 pa narašča z globino vzorčenja. V vzorcih zemlje iz Kobarida je bilo povprečje specifične aktivnosti 164 ± 22 Bq/kg Cs-137 in $4,2 \pm 0,3$ 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 $34,3 \pm 7,5$ Bq/kg in Sr-90 $1,3 \pm 0,3$ 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.

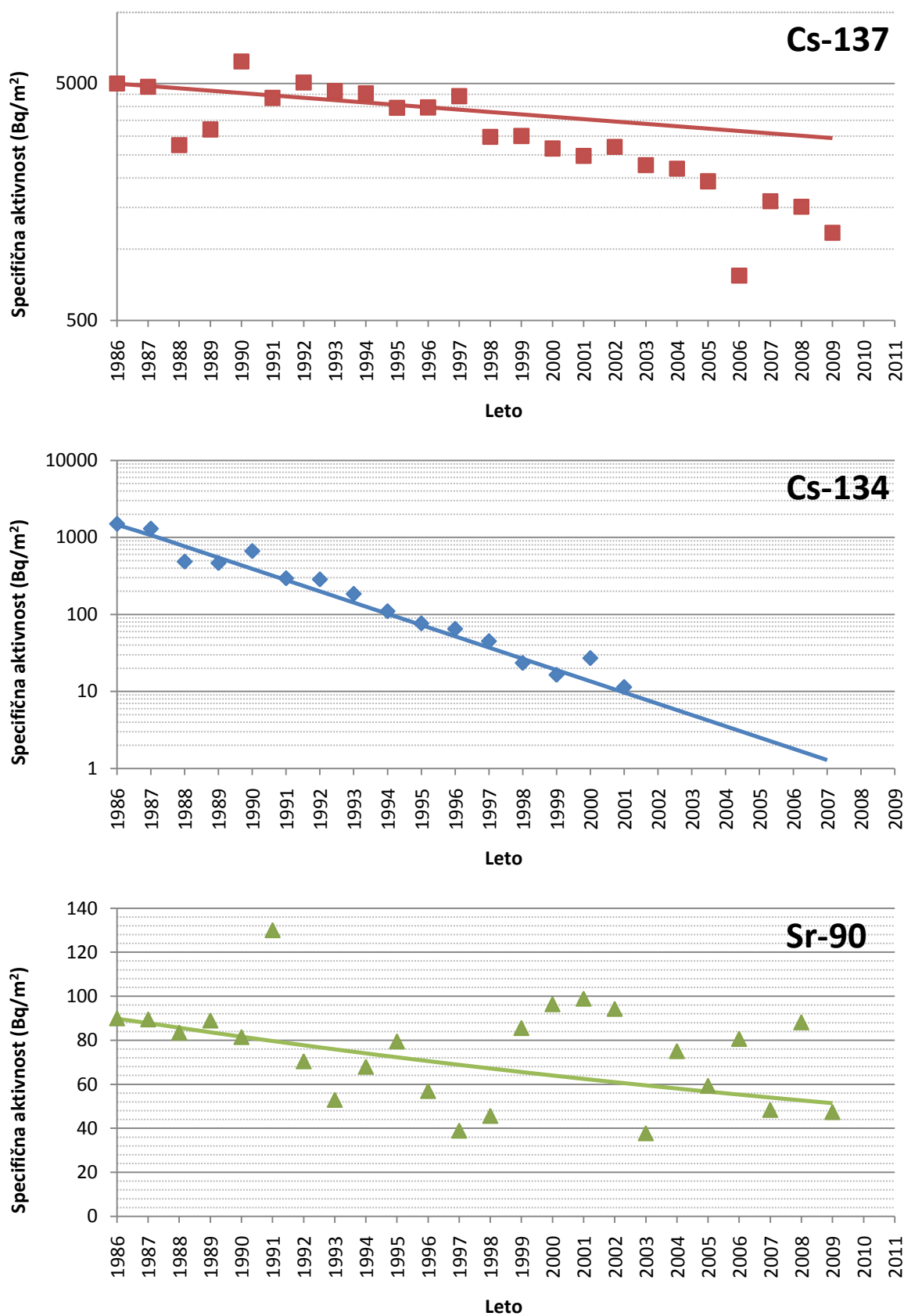
Na slikah (Slika 9, Slika 10, Slika 11) je prikazana časovna odvisnost specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, Kobarid in Mursko Soboto za obdobje od leta 1986 dalje. Poleg povprečnih letnih specifičnih aktivnosti so za primerjavo prikazane tudi vrednosti za naravni 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.



Slika 9: Specifične aktivnosti – depozit za Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje



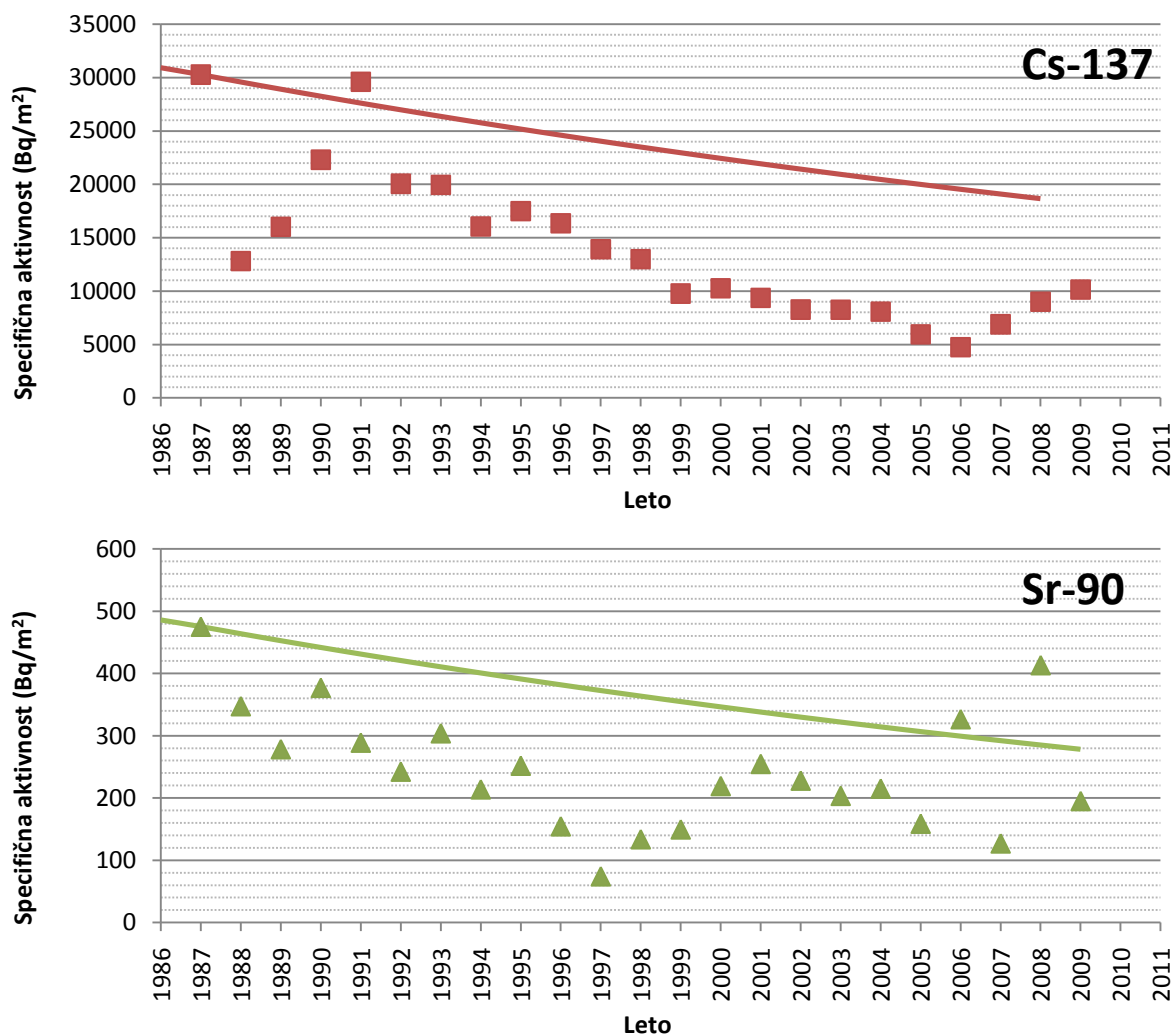
Slika 10: Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje



Slika 11: Specifične aktivnosti – deposit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje

Iz zgornjih slik (Slika 9, Slika 10, Slika 11) 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 takorekoč 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 vzorčevanja, torej ne le depozita v zgornji plasti (Slika 12, Slika 13, Slika 14).

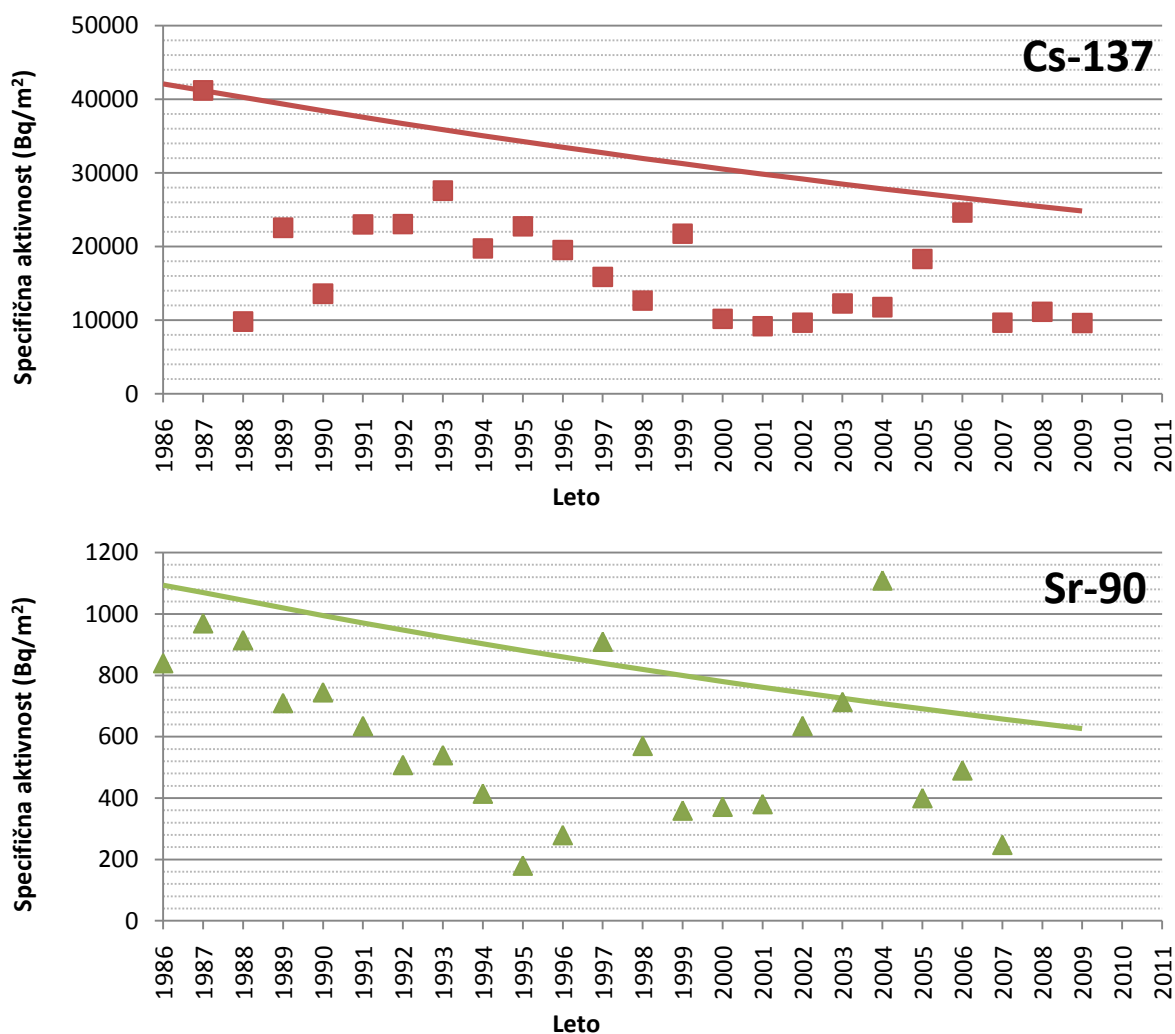


Slika 12: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje

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.

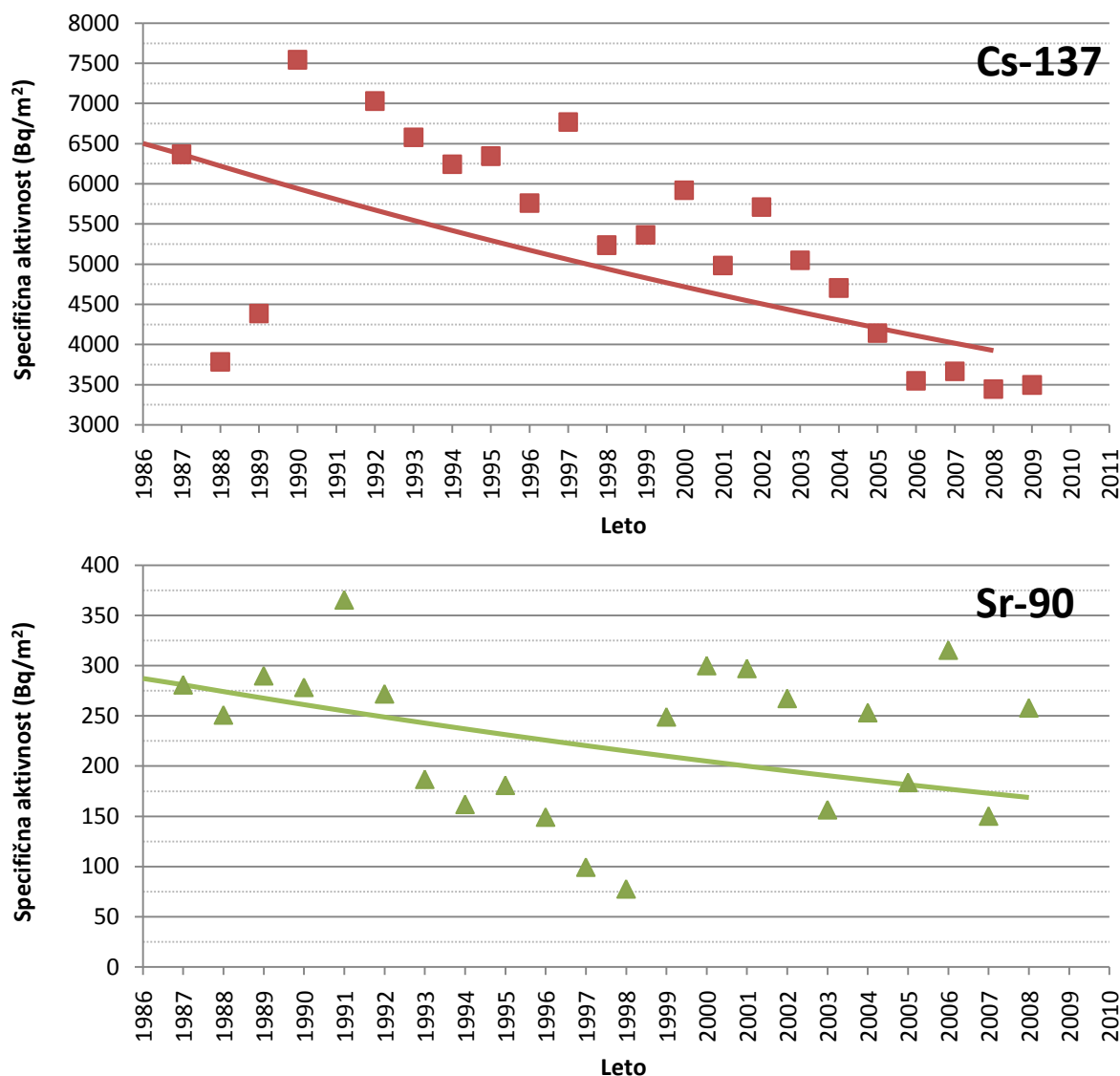
V Ljubljani in Kobaridu lahko tudi za depozit černobilske nesreče že lahko rečemo, da prehaja v globlje plasti, zato predlagamo, da bi začeli z vzorčevanjem plasti zemlje iz globine 15-30 cm. Zemlja v Murski Soboti ima drugačne lastnosti, kjer vidimo, da je skoraj ves depozit še vedno v plasteh zemlje

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



Slika 13: 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 izvjalcev analize in različnih lokacij vzorčenja. V letu 2006 je IJS opravil analizo zemlje na vseh treh lokacijah, leta 2008 pa samo v Ljubljani.



Slika 14: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje

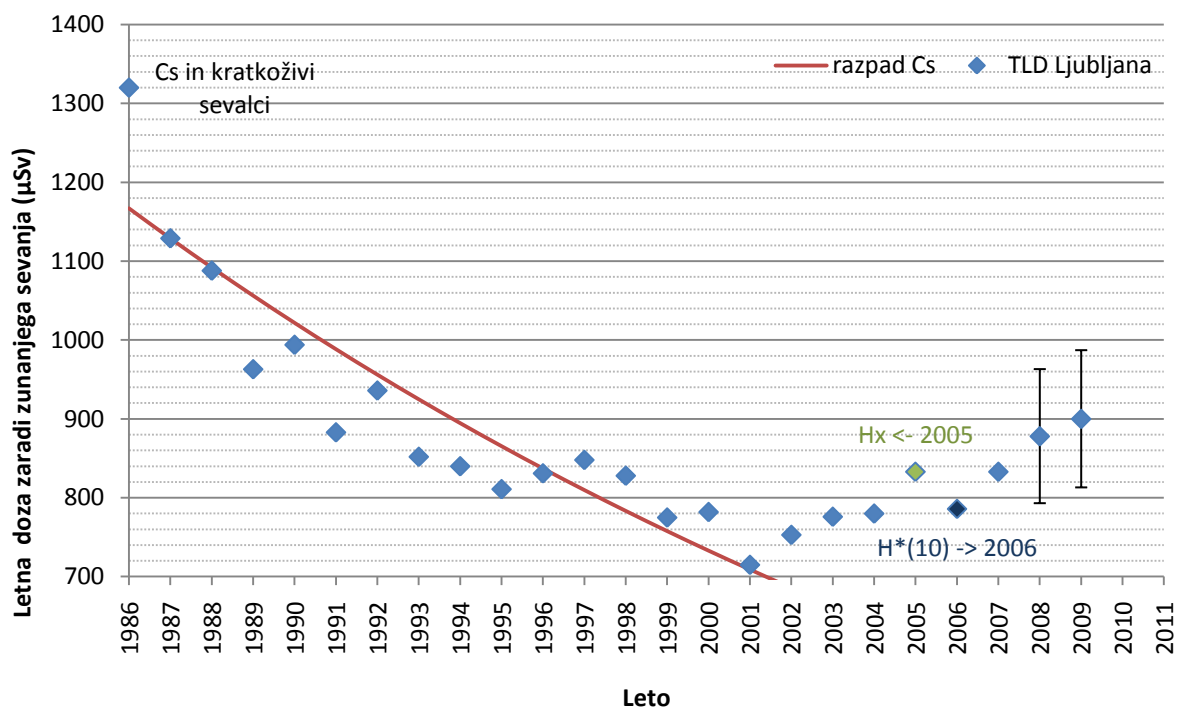
4.4 Zunanje sevanje

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 2009 je bil $922 \pm 160 \mu\text{Sv}$, največji izmerjen okoliški ekvivalent doze je bil $1439 \pm 139 \mu\text{Sv}$ v Jelenji vasi, najnižji pa $624 \pm 61 \mu\text{Sv}$ v Stari Fužini. Povprečna mesečna vrednost okoliškega ekvivalenta doze zaradi zunanjega sevanja je bila $77 \pm 15 \mu\text{Sv}$, območje vrednosti pa od $52 \mu\text{Sv}$ do $120 \mu\text{Sv}$.

Na sliki (Slika 15) 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 15) 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 globje plasti zmanjšal. Trenutni prispevek Cs-137 k celotni dozi zunanega sevanja je manj kot 1%. Iz slike (Slika 15) je razvidno, da je doza zunanega sevanja po letu 1995 približno konstantna, od leta 2004 pa je moč opaziti trend povečevanja (deloma je to lahko posledica menjave merjenja H_x 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 15: Doza zunanega sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje

4.5 Padavine

4.5.1 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 2009 v Ljubljani je bila 1384 mm, v Bovcu 3335 mm, v Novem mestu 1042 mm in v Murski Soboti 985 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 opazna samo Cs-137 in Sr-90, vendar so specifične aktivnosti večkrat na meji detekcije, tako da so napake pri meritvah precej velike. Najvišji letni used Cs-137 je bil izmerjen v Bovcu $1,9 \pm 0,2$ Bq/m² (v Ljubljani je poročana sicer višja vrednost – $2,9$ Bq/m², vendar so bile tam praktično vse meritve pod mejo detekcije) in najmanjši v Murski Soboti, kjer je znašal $0,81 \pm 0,04$ Bq/m². Najvišji letni used Sr-90 je bil izmerjen v Bovcu $1,3 \pm 0,1$ Bq/m², najnižji pa v Ljubljani $0,32 \pm 0,03$ Bq/m².

Od naravnih radionuklidov naj omenimo še skupne vrednosti kozmogenega Be-7, katerega rezultati znašajo od 447 Bq/m² v Ljubljani do 1866 Bq/m² v Bovcu.

V tabeli (Tabela 4) 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.

Tabela 4: 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

Iz rezultatov v tabeli je razvidno, da povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 na enoto površine nihajo glede na različne letne količine padavin. 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.

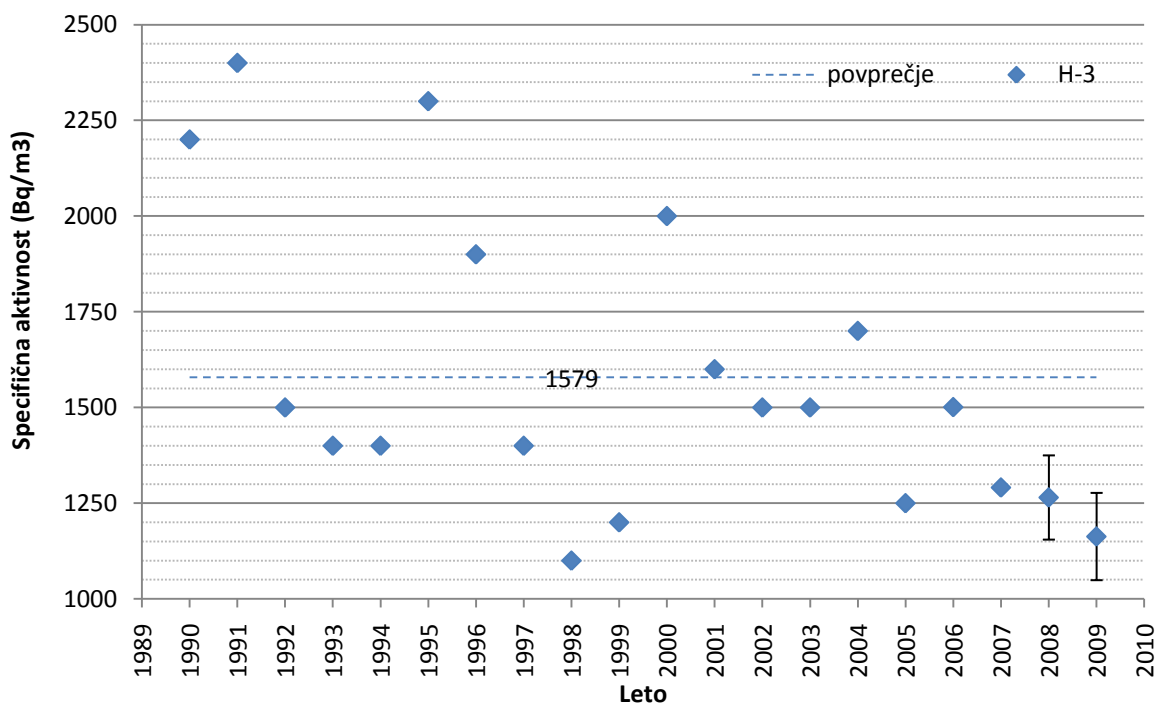
Primerjava rezultatov za merjene radionuklide pokaže, da se koncentracije posameznih radionuklidov v padavinah niso bistveno spremenile v primerjavi s prejšnjimi leti. Dejstvo pa je, da so koncentracije pogosto blizu meje detekcije, tako da so tudi merske negotovosti relativno velike in prispevajo k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

4.5.2 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 2009 so v okviru dolgoletnega povprečja. Vrednosti specifičnih aktivnosti H-3 v obdobju od leta 1990 dalje se gibajo v območju 1100-2400 Bq/m³. Povprečna dolgoletna koncentracija H-3 znaša 1579 Bq/m³, v letu 2009 pa je znašala koncentracija H-3 1163 ± 114 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.



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

4.6 Pitna voda

V letu 2009 je bilo odvzetih odsvetih osemnajst enkratnih vzorcev pitne vode iz javnih objektov kot so šole, vrtci in bolnišnice na naslednjih lokacijah: Pijava Gorica, Vrhpolje, Hrastnik, Ptuj, Kamnica, Muta, Dravograd, Dramlje, Olimje, Trebija, Železniki, Vipava, Novo mesto, Murska Sobota in Kobilje.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 6). Izotop cezija, Cs-137, je bilo opaziti le v sledih, izmerjene vrednosti so bile pod 0,5 Bq/m³. Povprečna vrednost specifičnih aktivnosti Sr-90 v vseh

odvzetih vzorcih je $1,09 \pm 0,11 \text{ Bq/m}^3$, H-3 pa $1118 \pm 188 \text{ Bq/m}^3$. Poleg umetnih radionuklidov so se določale tudi specifične aktivnosti naravnih radionuklidov in kozmogenega Be-7. Povprečne vrednosti so za U-238 $5,5 \text{ Bq/m}^3$, Ra-226 $5,3 \text{ Bq/m}^3$, Pb-210 $< 4,0 \text{ Bq/m}^3$, Ra-228 $2,2 \text{ Bq/m}^3$, Th-228 $0,76 \text{ Bq/m}^3$, K-40 $41,8 \text{ Bq/m}^3$ in Be-7 $0,4 \text{ Bq/m}^3$.

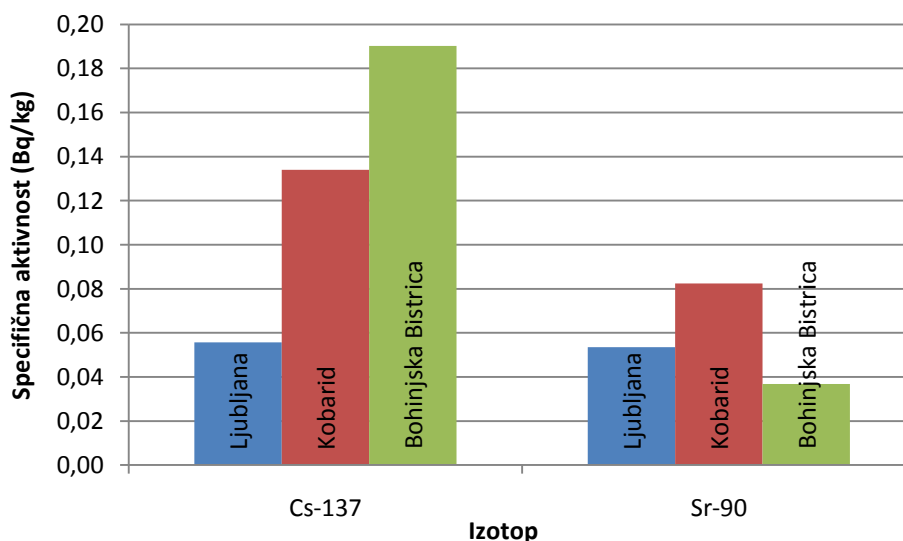
4.7 Hrana

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).

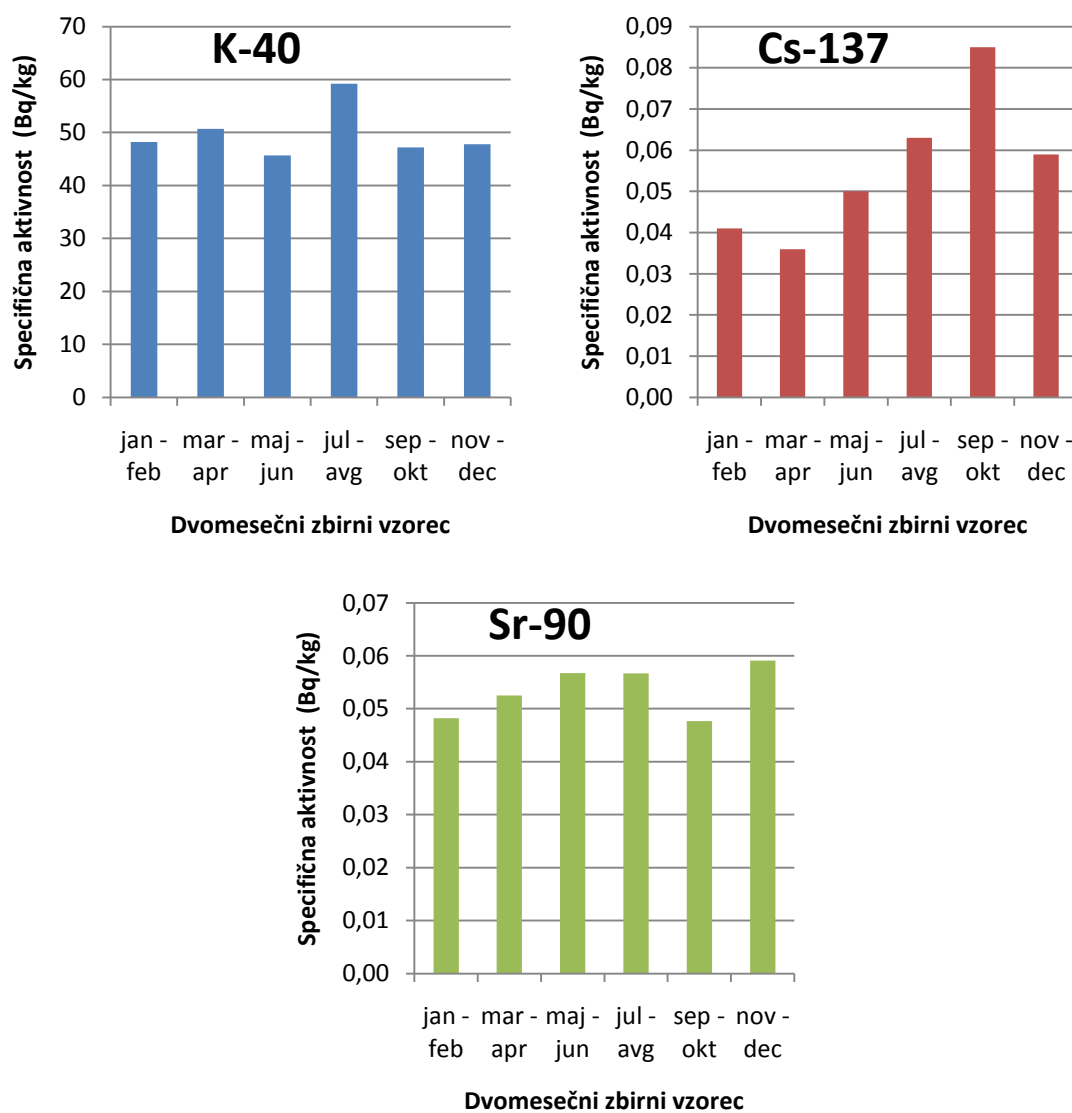
4.7.1 Mleko

V letu 2009 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).

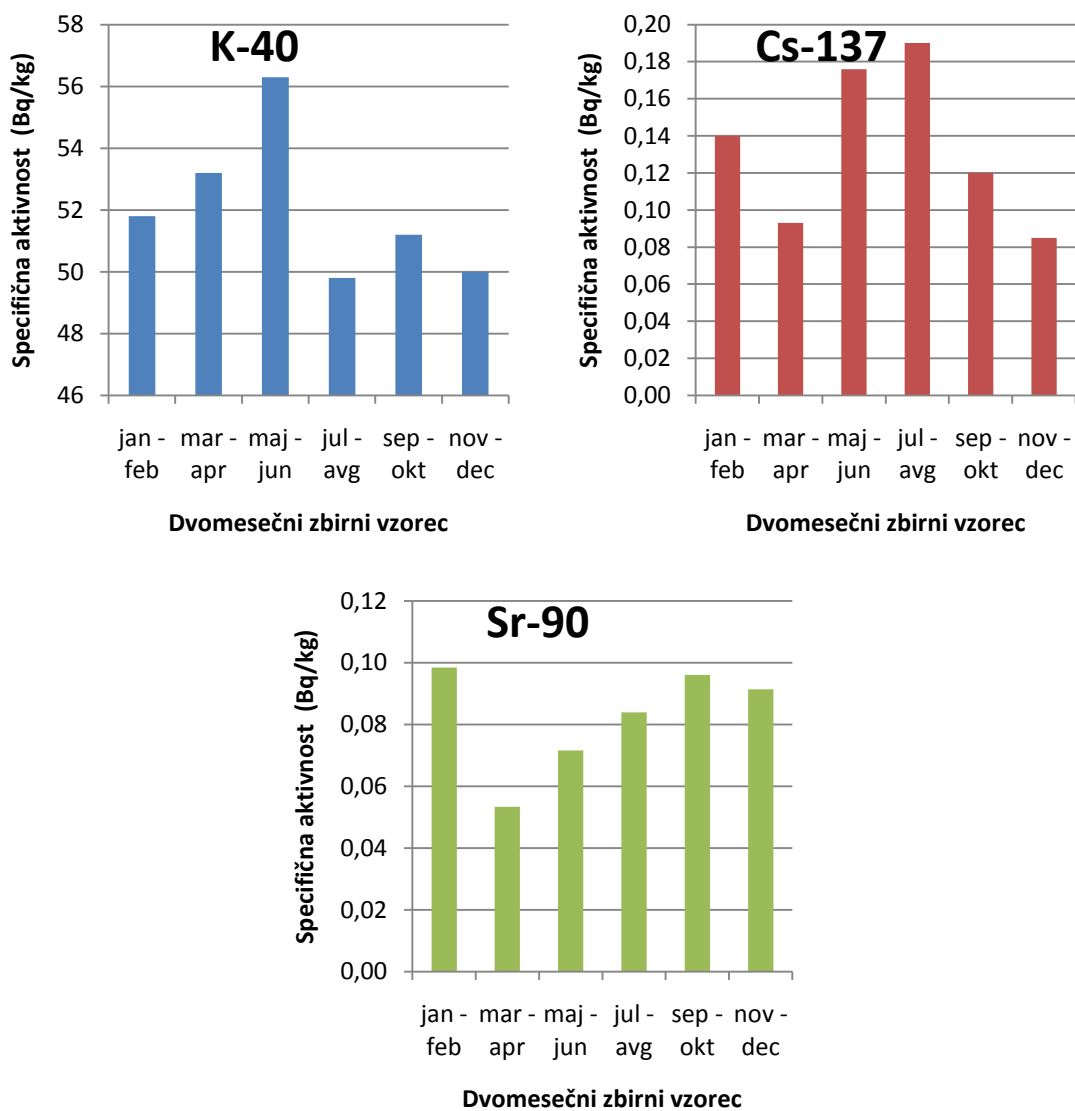
Na slikah (Slika 18, Slika 19, Slika 20, Slika 21) so prikazane specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 in letne povprečne vrednosti v vzorcih mleka iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobote za leto 2009 (Slika 17). V Ljubljani je bila povprečna letna vrednost Cs-137 $0,06 \pm 0,02 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,05 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$, v Kobaridu Cs-137 $0,13 \pm 0,04 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,08 \pm 0,02 \text{ Bq/kg}$, v Bohinjski Bistrici Cs-137 $0,19 \pm 0,12 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,04 \pm 0,06 \text{ Bq/kg}$ ter v Murski Soboti Cs-137 $0,51 \pm 0,15 \text{ Bq/kg}$ in Sr-90 $0,52 \pm 0,17 \text{ Bq/kg}$. Slovensko povprečje za surovo mleko Cs-137 $0,22 \pm 0,20 \text{ Bq/kg}$ in za Sr-90 $0,21 \pm 0,21 \text{ Bq/kg}$.



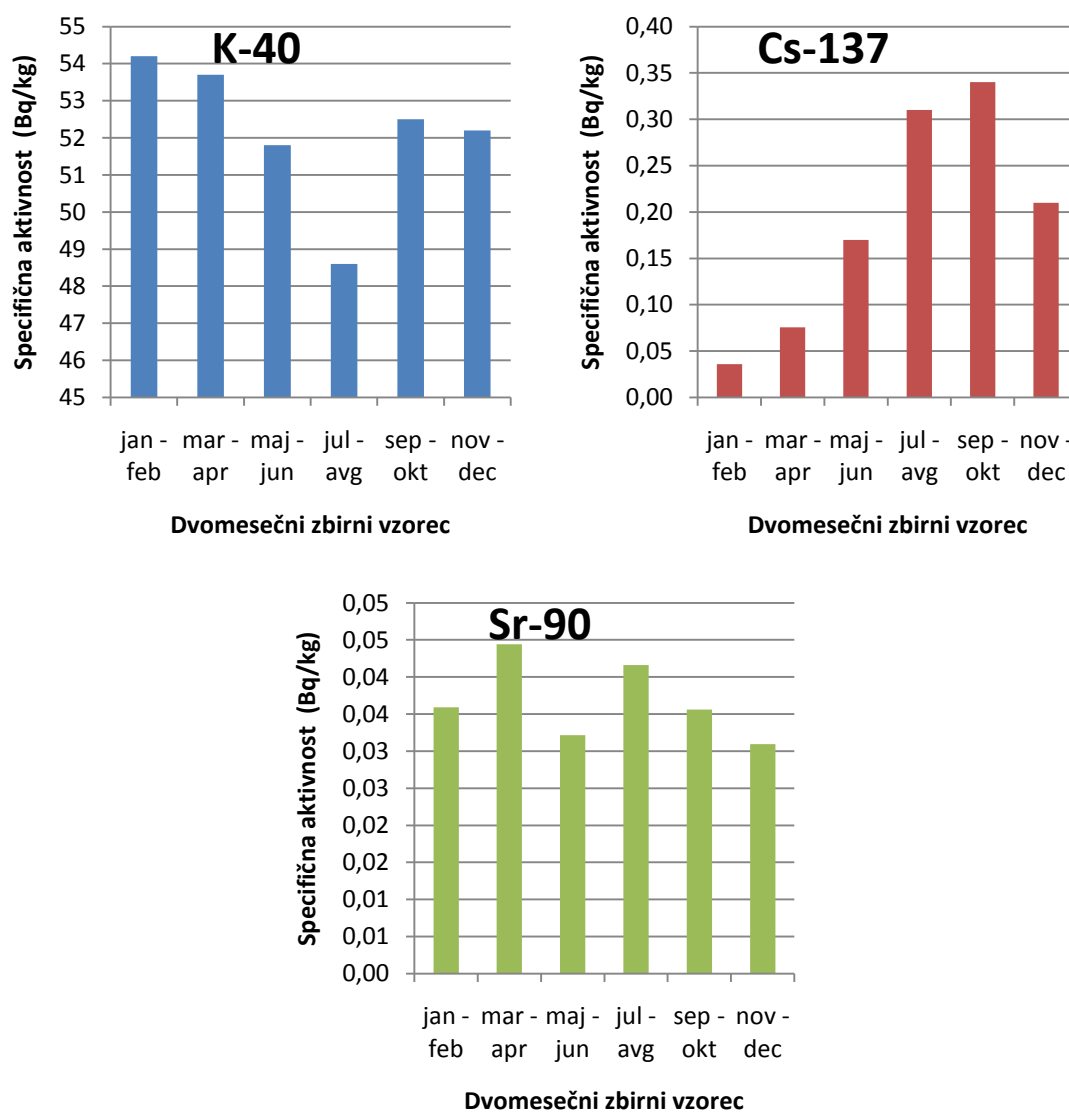
Slika 17: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v mleku na različnih lokacijah v Sloveniji.



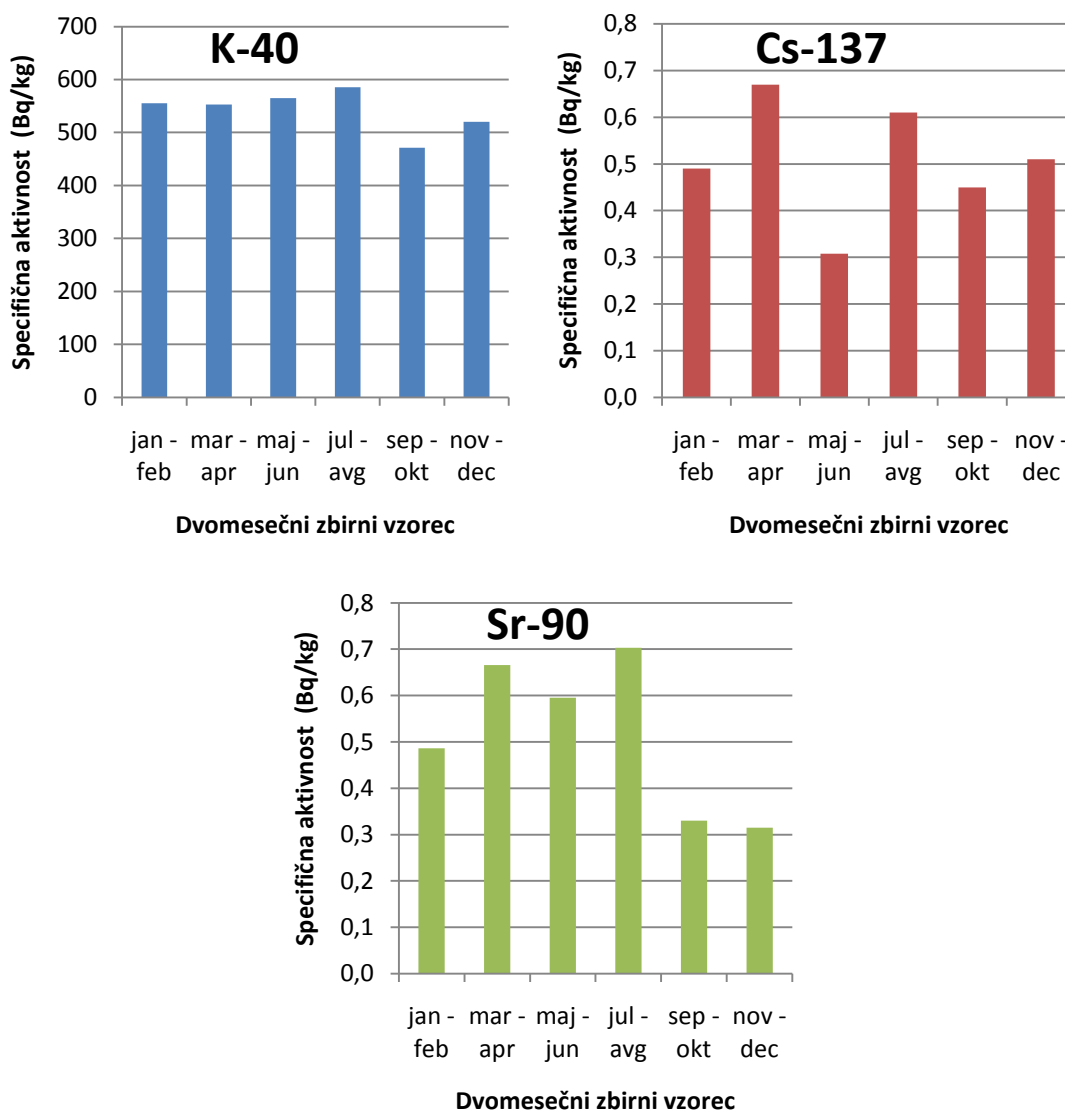
Slika 18: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane



Slika 19: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida



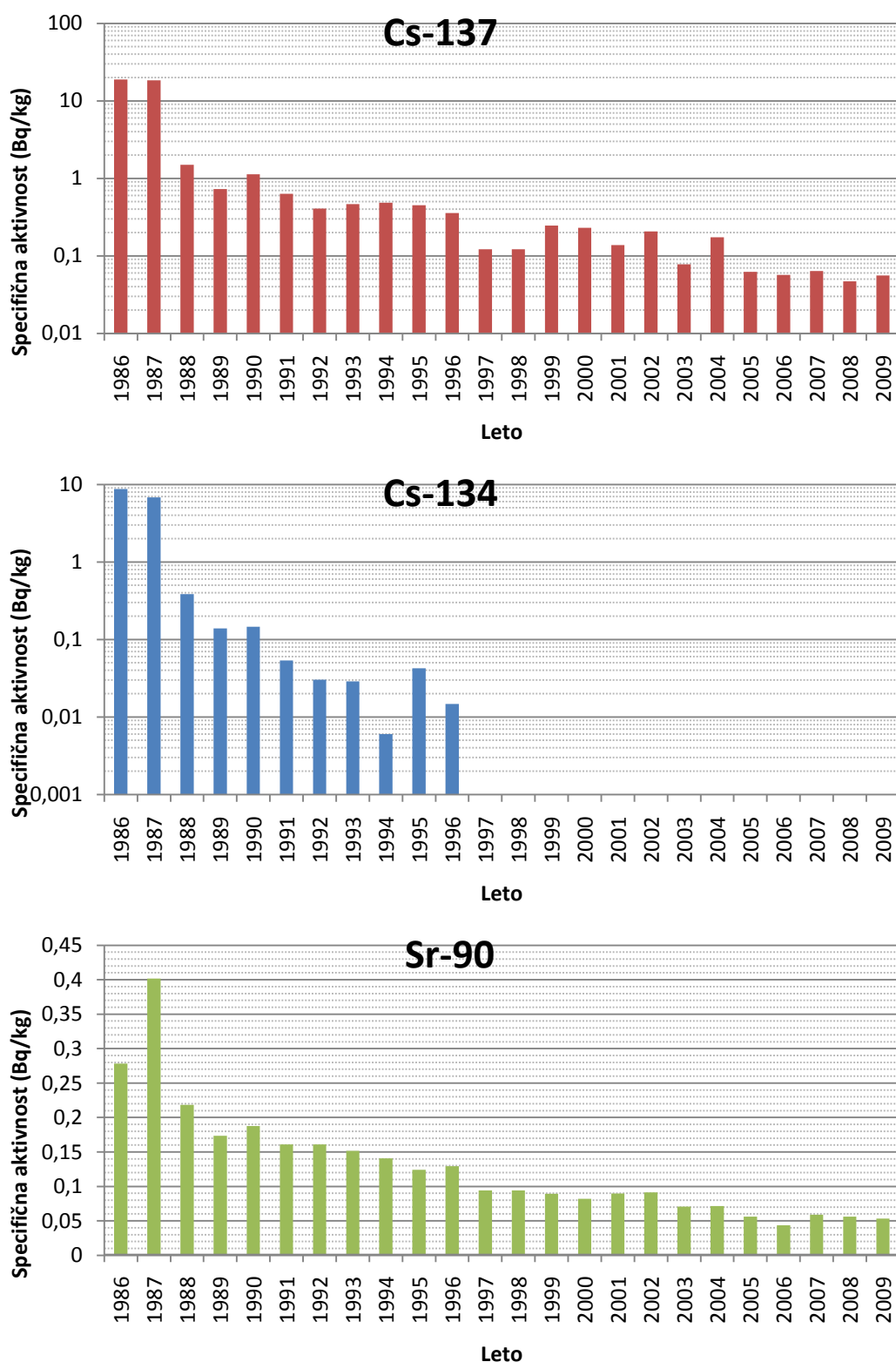
Slika 20: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice



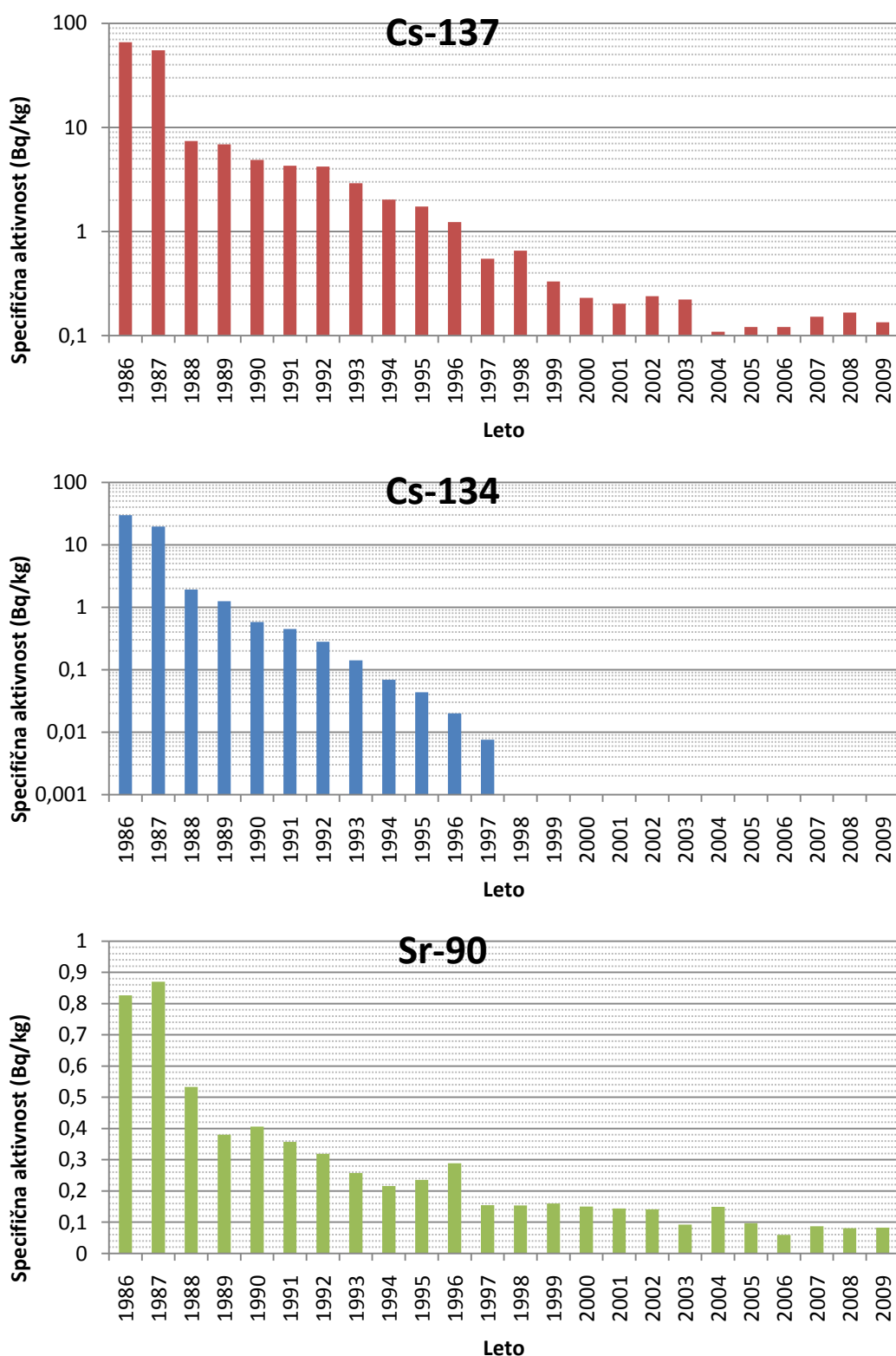
Slika 21: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobotne

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/m² padavin, kar je povzročilo površinsko kontaminacijo tal preko 100 kBq/m²(9). Pašniki v okolici Kobarida in Bohinjske Bistrice ležijo v alpskem predelu Slovenje, 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.

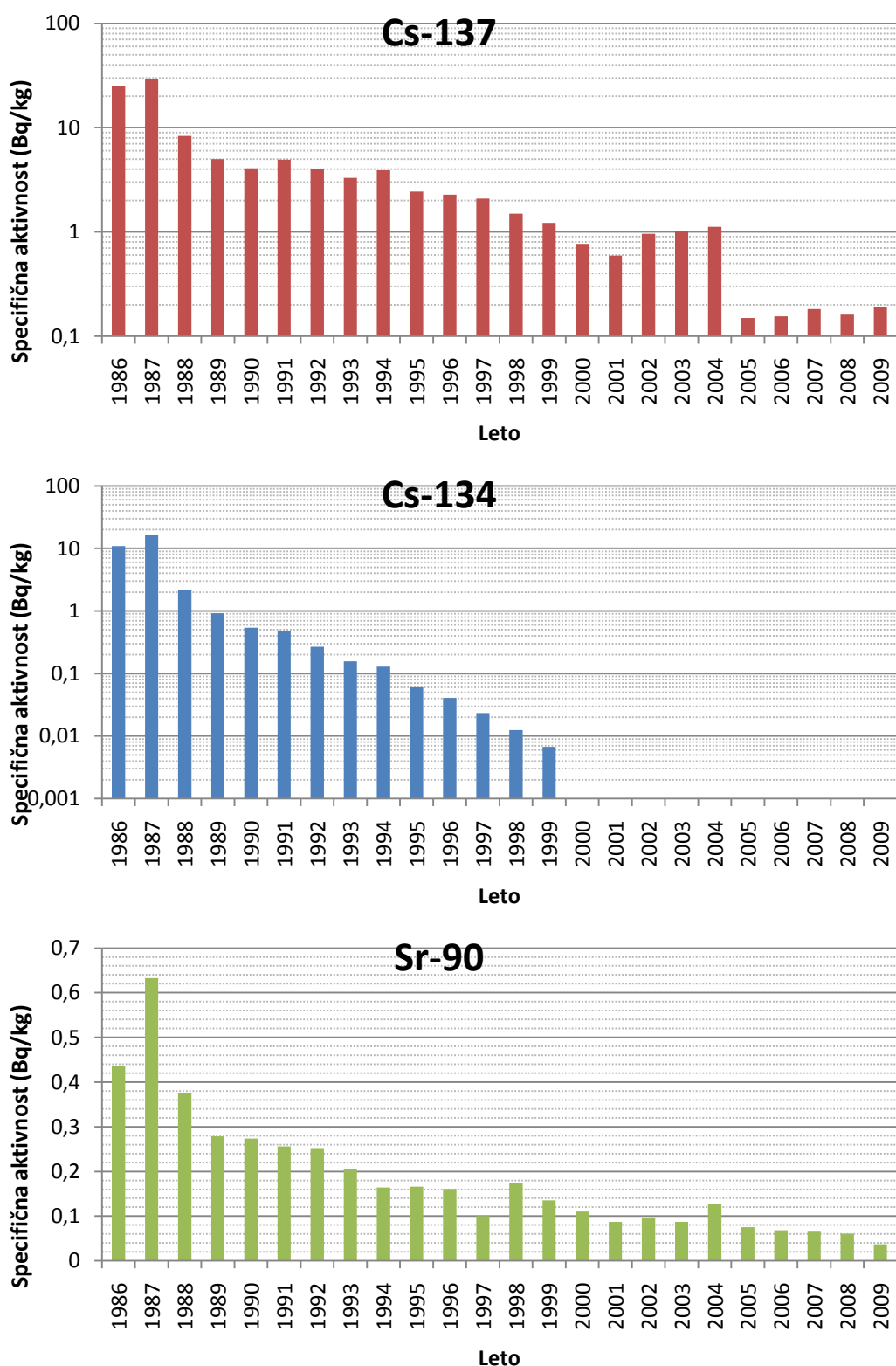
Na slikah (Slika 22, Slika 23, Slika 24, Slika 25) so prikazane povprečne letne vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobotne za obdobje od leta 1986 dalje. Opazen je trend padanja specifičnih aktivnosti vseh treh radionuklidov, 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.



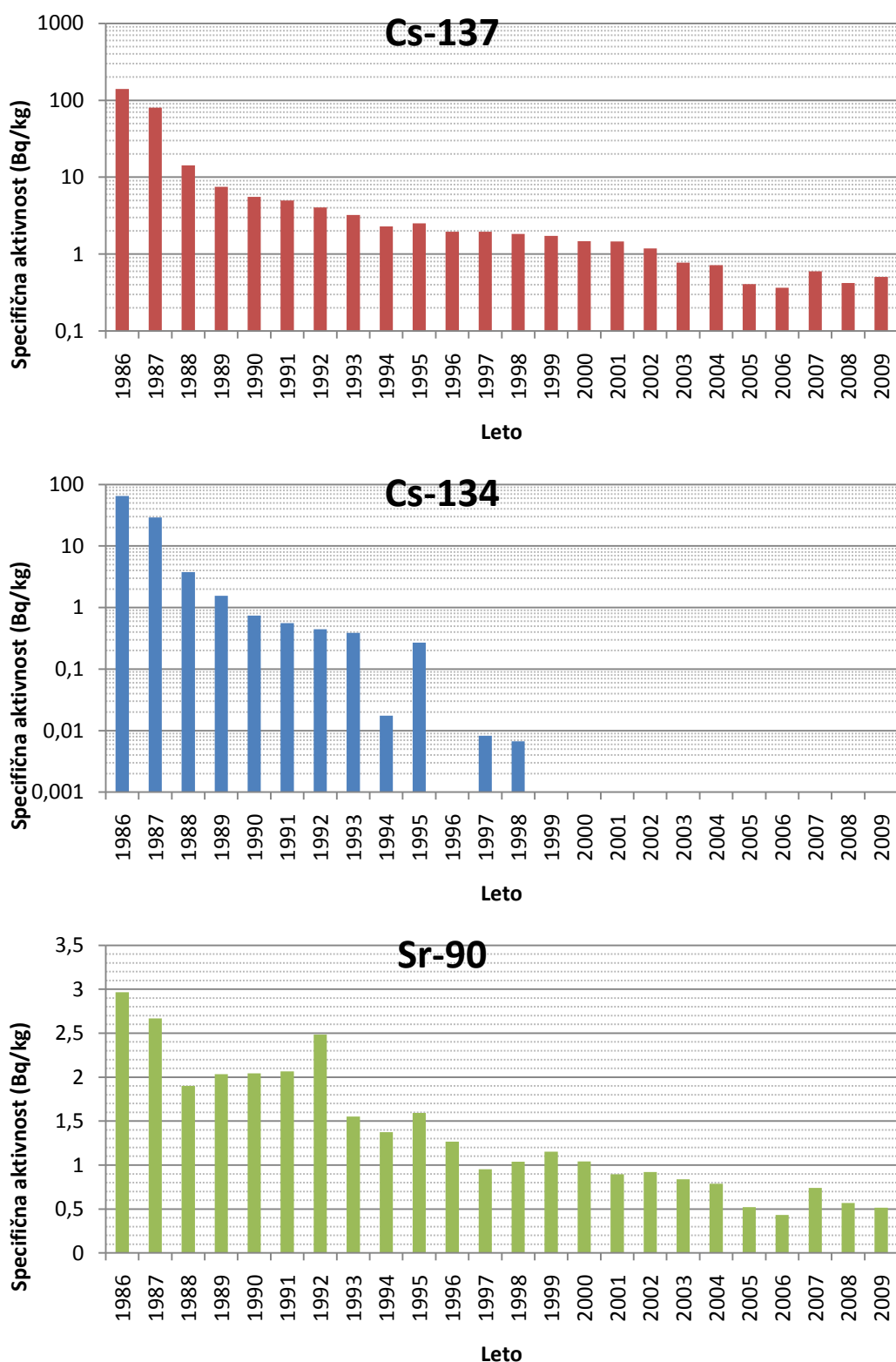
Slika 22: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Ljubljana



Slika 23: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2009, lokacija Kobarid



Slika 24: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2009, lokacija Bohinjska Bistrica



Slika 25: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2009, lokacija Murska Sobota

4.7.2 Živila živalskega izvora

V letu 2009 smo analizirali osem vzorcev živil živalskega izvora:

- sir gauda iz Gorenje vasi,
- svinjina iz Gornje Radgone,
- govedina iz Slovenj Gradca,
- jajca iz Pivke,
- piščanec s Ptuja,
- divja svinja iz Šmartnega na Pohorju,
- skuta iz Kobarida in
- med iz Žužemberka.

Zaradi tehnične neizvedljivosti smo analizo Sr-90 namesto v medu izvedli v vzorcu sardel iz Izole. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 7).

Povprečna specifična aktivnost Cs-137 v vseh vzorcih (brez divjačine) je $0,50 \pm 0,86$ Bq/kg in Sr-90 $0,38 \pm 0,31$ Bq/kg. Najvišja vsebnost Cs-137 je bila v divjačini, 390 ± 12 Bq/kg, kjer bi se povprečna vrednost vzorcev, ob njenem upoštevanju, zvišala na 49 ± 138 Bq/kg. V izračunu doz v poglavju 5.3 divjačine nismo upoštevali, saj bi bili izračuni nerealni.

4.7.3 Žitarice, moka, kruh

Izmerili smo šest vzorcev žitaric in njihovih izdelkov:

- krušna moka iz Celja,
- beli kruh iz Idrije,
- ječmen iz Celja,
- pšenica iz Murske Sobote,
- koruza iz Kopra in
- ječmen iz Novega mesta.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,11 \pm 0,10$ Bq/kg in Sr-90 $0,27 \pm 0,23$ Bq/kg.

4.7.4 Sadje

Izmerili smo šest vzorcev sadja:

- jagode iz Ljubljane,
- češnje iz Goriških Brd,
- marelice iz Kopra,
- breskve iz Sežane,
- jabolka iz Celja in
- hruške iz Lenarta.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,03 \pm 0,02$ Bq/kg in Sr-90 $0,03 \pm 0,05$ Bq/kg.

4.7.5 Zelenjava

Izmerili smo šest vzorcev zelenjave:

- špinača iz Kopra,
- solata iz Ljubljane,
- krompir iz Celja,
- korenje iz Maribora,
- koleraba iz Novega mesta in
- paradižnik iz Nove Gorice.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,04 \pm 0,03$ Bq/kg in Sr-90 $0,10 \pm 0,11$ Bq/kg.

4.7.6 Otroška hrana

V letu 2008 smo začeli z analizo celotnega obroka otroške hrane. Tako smo v letu 2009 analizirali 5 vzorcev iz Kopra, Ljubljane, Novega mesta, Mariborja 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 $0,06 \pm 0,04$ Bq/kg.

4.8 Krmila

V letu 2009 je bilo odvzetih šestnajst vzorcev krmil:

- 2 vzorca koruze,
- koruzna silaža,
- krmna mešanica,
- krma s fosfatom,
- 3 vzorci sončničnih tropin,
- repične tropine,
- trava,
- 3 vzorci travne silaže in
- 4 vzorci sena.

Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 9). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $1,4 \pm 1,0$ Bq/kg in Sr-90 $2,1 \pm 3,0$ 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:

$$E = E_z + E_{ing} + E_{inh} \quad (1)$$

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,

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

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

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

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,

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

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 vnesene aktivnosti $A_{j,inh}$ (v Bq) posameznega radionuklida j in predvidene efektivne doze na enoto vnosa $h(g)_{j,inh}$ zaradi vdihavanja (v Sv/Bq), ter sešteta po vseh radionuklidih,

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

kjer je vnesena 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 5).

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.

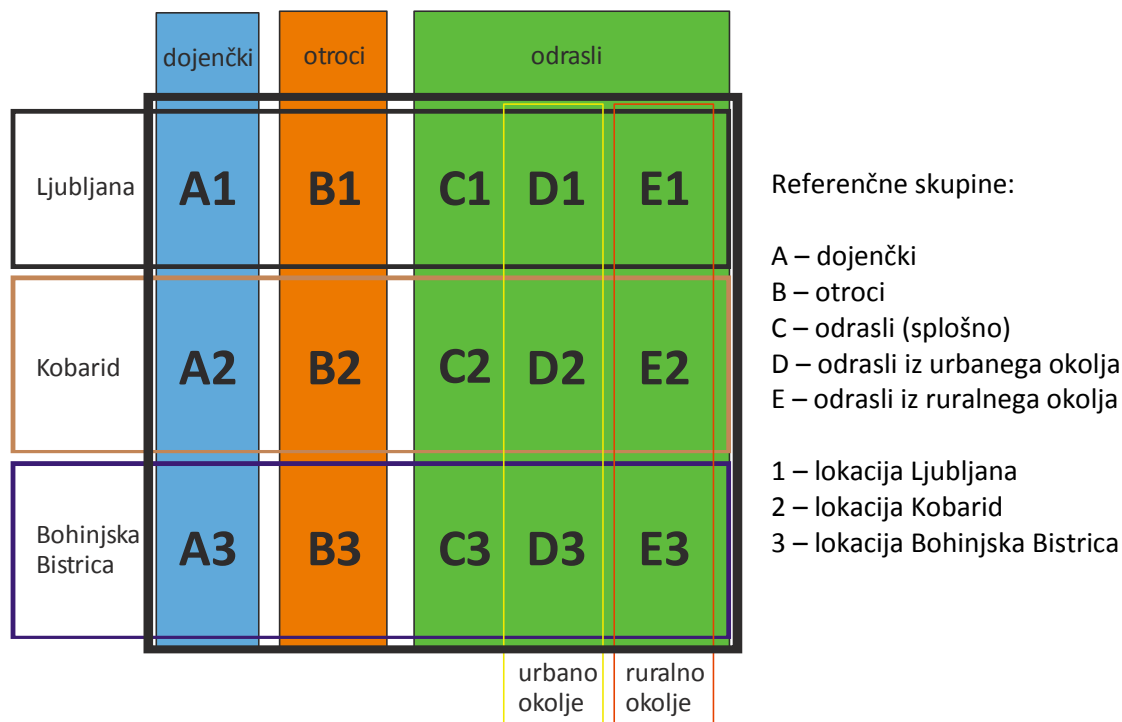
Za odrasle smo upoštevali podatke Statističnega urada RS iz leta 2004, Statistične informacije: Anketa o porabi v gospodinjstvih, Slovenija, 2001, 2002 (Tabela 5). V primeru odraslih smo poleg statističnega povprečja upoštevali dve referenčni skupini prebivalstva, živečih v urbanem in ruralnem območju, ki imajo hipotetično različne prehranjevalne navade.

Tabela 5: 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 26), kjer so posamezne podmnožice prebivalstva Slovenije označene z oznakami od A1 do E3.



Slika 26: 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 2009 so predstavljene v tabeli (Tabela 6). Podatke za naravni radionuklid Pb-210 podajamo le informativno. V povprečju za meso, sir in ostala živila živalskega izvora nismo upoštevali vrednosti za divjačino, saj je 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 6: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2009

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-137	0,04	0,03	0,11	0,49	0,06	0,13	0,19	0,15788	0,003
Sr-90	0,10	0,03	0,27	0,13	0,05	0,08	0,04	1,08613	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1118,29	0
Pb-210	0,20	0,10	0,42	0,90	0,10	0,09	0,15	3,96931	0,72

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 5) in povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti radionuklidov v različnih vrstah hrane in pitne vode (Tabela 6), 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 konatminaciji in intervencijskih nivojih (Ur.list RS, št. 49, 2004).

V tabeli (Tabela 7) 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 predpostavki koncentracij, kot so bile izmerjene v Ljubljani.

Tabela 7: Učinkovite doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2009.

vrsta vzorca	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko LJ	mleko KB	mleko BB	voda	zrak
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - dojenčki (mSv)								
Cs-137	1,76E-05	1,52E-05	2,53E-05	7,65E-05	2,33E-04	5,61E-04	7,97E-04	5,47E-07	1,03E-07
Sr-90	5,13E-04	1,41E-04	6,71E-04	2,26E-04	2,45E-03	3,78E-03	1,69E-03	4,12E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,18E-05	0
Skupaj	5,30E-04	1,56E-04	6,96E-04	3,03E-04	2,69E-03	4,34E-03	2,48E-03	5,36E-05	1,03E-07
negotovost	5,58E-04	2,58E-04	6,18E-04	1,15E-03	7,22E-04	1,77E-03	4,40E-03	4,58E-06	7,58E-08
Pb-210	3,71E-02	1,84E-02	3,87E-02	5,64E-02	1,69E-01	1,55E-01	2,43E-01	5,50E-03	5,26E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - otroci (mSv)								
Cs-137	2,85E-05	1,21E-05	6,10E-05	3,49E-04	4,06E-05	9,78E-05	1,39E-04	7,34E-07	1,41E-07
Sr-90	4,53E-04	6,13E-05	8,88E-04	5,65E-04	2,34E-04	3,61E-04	1,61E-04	3,03E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,20E-05	0
Skupaj	4,82E-04	7,34E-05	9,49E-04	9,15E-04	2,75E-04	4,59E-04	3,00E-04	4,30E-05	1,41E-07
negotovost	4,84E-04	1,08E-04	7,76E-04	1,06E-03	3,02E-05	8,56E-05	9,33E-05	3,64E-06	1,04E-07
Pb-210	2,84E-02	6,96E-03	4,44E-02	1,22E-01	1,40E-02	1,29E-02	2,02E-02	5,50E-03	6,01E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - odrasli - splošno (mSv)								
Cs-137	4,77E-05	2,01E-05	1,44E-04	3,69E-04	6,59E-05	1,59E-04	2,25E-04	1,54E-06	1,68E-07
Sr-90	2,72E-04	3,66E-05	7,54E-04	2,14E-04	1,36E-04	2,10E-04	9,37E-05	2,28E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,51E-05	0
Skupaj	3,20E-04	5,67E-05	8,98E-04	5,83E-04	2,02E-04	3,69E-04	3,19E-04	3,94E-05	1,68E-07
negotovost	2,93E-04	6,54E-05	6,71E-04	7,02E-04	2,70E-05	6,93E-05	1,46E-04	3,41E-06	1,24E-07
Pb-210	1,33E-02	3,24E-03	2,93E-02	3,61E-02	6,32E-03	5,82E-03	9,13E-03	2,05E-03	7,01E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - odrasli - urbano okolje (mSv)								
Cs-137	4,86E-05	3,14E-05	1,63E-04	5,43E-04	1,11E-04	2,67E-04	3,78E-04	1,54E-06	1,68E-07
Sr-90	2,77E-04	5,71E-05	8,54E-04	3,16E-04	2,29E-04	3,53E-04	1,58E-04	2,28E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,51E-05	0
Skupaj	3,26E-04	8,84E-05	1,02E-03	8,59E-04	3,40E-04	6,20E-04	5,36E-04	3,94E-05	1,68E-07
negotovost	2,98E-04	1,02E-04	7,60E-04	1,03E-03	4,53E-05	1,17E-04	2,45E-04	3,41E-06	1,24E-07
Pb-210	1,35E-02	5,05E-03	3,32E-02	5,32E-02	1,06E-02	9,79E-03	1,53E-02	2,05E-03	7,01E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - odrasli - ruralno okolje (mSv)								
Cs-137	3,54E-05	2,09E-05	1,79E-04	4,80E-04	1,05E-04	2,53E-04	3,59E-04	1,54E-06	1,68E-07
Sr-90	2,02E-04	3,80E-05	9,36E-04	2,79E-04	2,17E-04	3,35E-04	1,49E-04	2,28E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,51E-05	0
Skupaj	2,38E-04	5,90E-05	1,11E-03	7,59E-04	3,22E-04	5,87E-04	5,08E-04	3,94E-05	1,68E-07
negotovost	2,18E-04	6,80E-05	8,32E-04	9,14E-04	4,29E-05	1,10E-04	2,32E-04	3,41E-06	1,24E-07
Pb-210	9,88E-03	3,36E-03	3,64E-02	4,70E-02	1,01E-02	9,28E-03	1,45E-02	2,05E-03	7,01E-03

Pb-210 podajamo le informativno

V tabeli (Tabela 9) so prikazane izračunane efektivne doze prejete zaradi *ingestije in inhalacije* dolgoživih črnbobilskih fizijskih produktov - Cs-137 in Sr-90 (vpliv H-3 je zanemarljiv). Doza za odraslega prebivalca je v letu 2009 ocenjena na $2,1 \pm 1,1 \mu\text{Sv}$, za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz omenjene tabele.

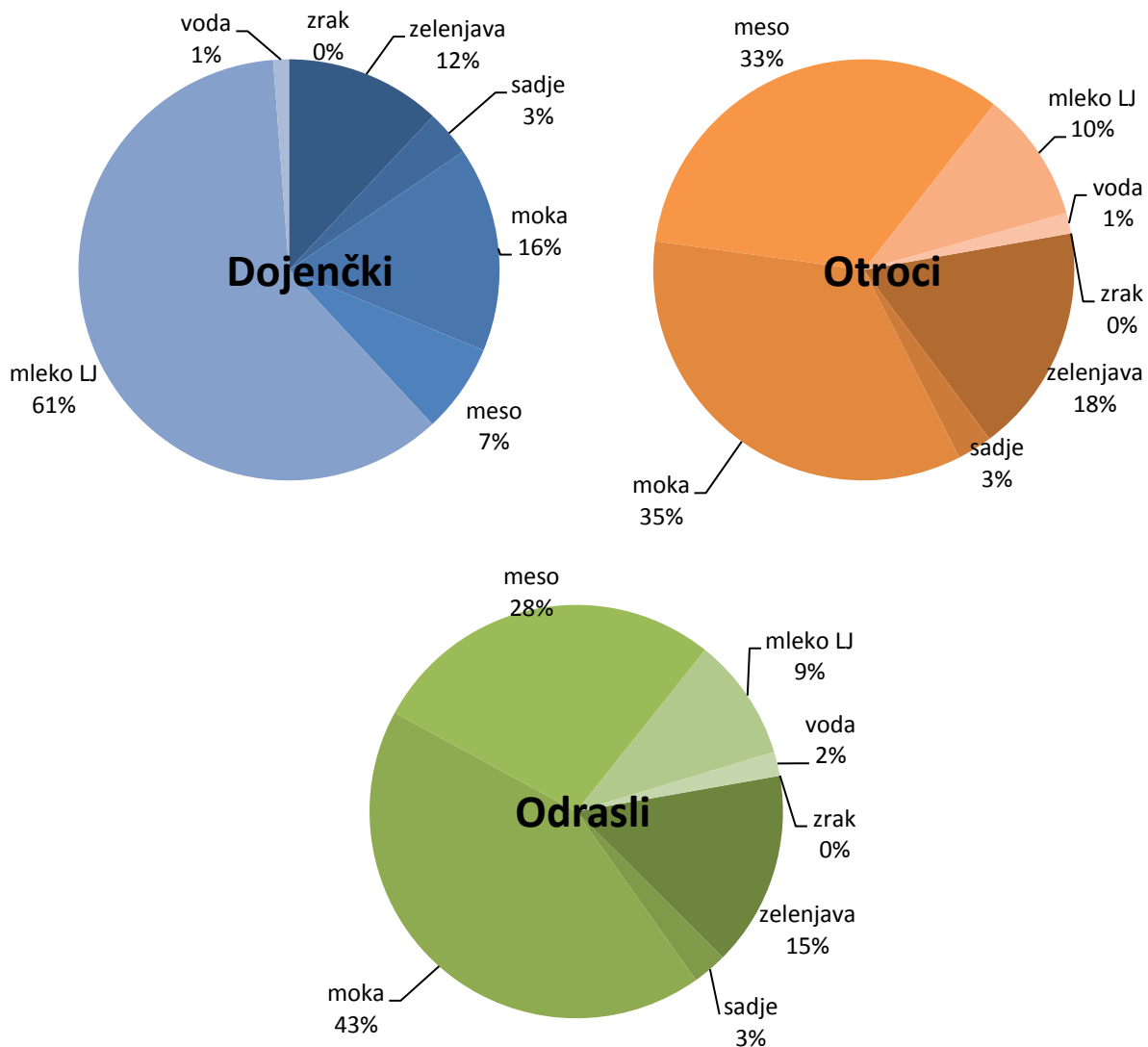
Efektivne doze v letu 2009 zaradi *ingestije* so primerljive z letom 2008, sicer pa višje v primerjavi z letom 2007. Razlog za to so višje povprečne vrednosti Sr-90 v izbranih vzorcih zelenjave, ki so v letih 2008 in 2009 višje kot v vzorcih v letu 2007.

Ocenjene efektivne doze zaradi *inhalacije* so za vse tri starostne skupine iz prebivalstva, dojenčke do enega leta, otroke od 7 – 12 let in odrasle, v letu 2009 nižje od 1 nSv.

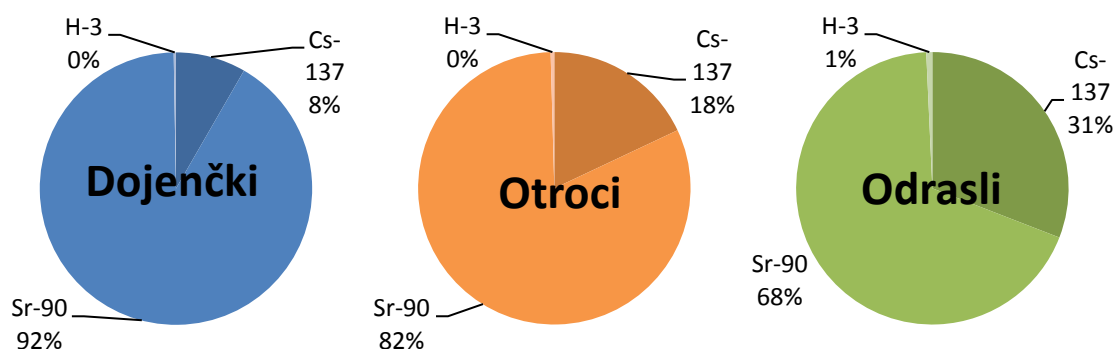
Za naravne radionuklide informativno podajamo samo efektivno dozo zaradi ingestije in inhalacije zaradi Pb-210, ki ima velik dozni pretvorbeni faktor. Najvišja vrednost je za dojenčke do enega leta starosti in znaša $330 \mu\text{Sv}$, za otroke od 7 do 12 let znaša $228 \mu\text{Sv}$ in za odrasle $97 \mu\text{Sv}$, kjer upoštevamo ingestijo mleka v Ljubljani.

Na sliki (Slika 27) 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 največ k dozi prispeva uživanje moke oziroma žitnih izdelkov ter mesa (vsak po približno eno tretjino). Pri odraslih največ k dozi prispeva uživanje moke oziroma žitnih izdelkov (slaba polovica).

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 ~82% in za odrasle ~68%, kot je tudi prikazano na sliki (Slika 28).



Slika 27: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)



Slika 28: Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)

5.4 Doza zaradi zunanjega sevanja

Povprečni letni okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2009 je bil $922 \mu\text{Sv}$. Ker je ocena černobilske doze zunanjega sevanja na osnovi meritev TL dozimetrov zelo konzervativna in ker je negotovost podatkov izmerjenih pred letom 1986 velika, smo ocenili dozo zunanjega 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 zunanjega 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 8).

Tabela 8: 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 9) so prikazane izračunane efektivne doze prejete zaradi *zunanjega obsevanja zaradi černobilskega Cs-137 v zemlji*. Doza za odraslega prebivalca je v letu 2009 ocenjena $7,6 \pm 0,4 \mu\text{Sv}$, 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 pretvorbni faktorji so konzervativni, 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 v letih pred tem je bila 2008 $6,7 \mu\text{Sv}$, 2007 $4,8 \mu\text{Sv}$, 2006 $1,45 \mu\text{Sv}$, 2005 $4,8 \mu\text{Sv}$ ter 2004 in 2003: 6.4. 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 Reaktorskem izobraževalnem centru v Podgorici. Od leta 2009 dalje je lokacija ponovno ob Cesti dveh cesarjev. Specifične aktivnosti izmerjene v vzorcih zemlje iz lokacije na Reaktorskem centru so nekajkrat nižje od tistih iz lokacije ob Cesti dveh cesarjev. Primerjava ocenjenih doz v preteklih letih nam pokaže, da je bila černobilska 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 vzorčujemo). Rezultati prejetih letnih doz za vse referenčne skupine so navedene v tabeli (Tabela 9).

5.5 Skupna ocena doze

Na osnovi povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti dolgoživih fizijskih radionuklidov v vzorcih zraka, vode in hrane, odvzetih v letu 2009, povprečnem letnem vnosu posameznih vrst hrane in pitne vode ter ob upoštevanju doznih pretvorbenih faktorjev po UV2 (Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.l RS, št. 49, 2004) smo ocenili pričakovano učinkovito dozo

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

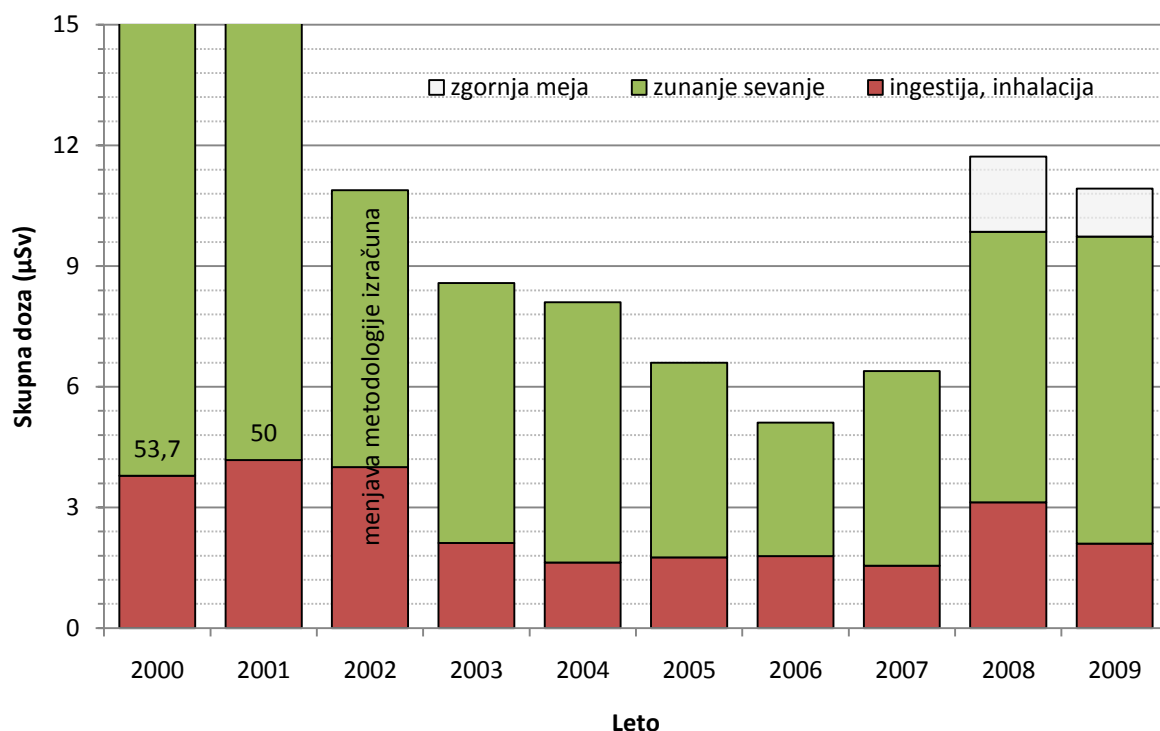
Izračun učinkovite doze smo naredili za različne referenčne skupine prebivalstva (Slika 26), ki odražajo starostne skupine splošnih predstavnikov prebivalstva, kakor tudi specifične skupine bodisi zaradi lokalnih posebnosti, načinov prehranjevanja, bivanja ipd. Skupna učinkovita doza za odrasle zaradi vnosa umetnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo ter zaradi zunanje obsevanja tal znaša < 10,9 μSv na leto za odrasle, < 13,0 μSv na leto za otroke od 7. do 12. leta starosti in < 17,4 μSv na leto za dojenčke. V hrani večji del doze prispeva Sr-90, k zunanemu sevanju pa k dozi največ prispeva Cs-137.

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.

Na grafikonu (Slika 29) je primerjava učinkovite predvidene doze za odraslega prebivalca Slovenije za obdobje od leta 2000 dalje. Na grafikonu je prikazana ločena doza zaradi prispevkov ingestije in inhalacije oziroma zunanje obsevanja. Padec doze zunanje obsevanja v letu 2002 je posledica spremenjene metodologije vrednotenja doz. Do leta 2001 se je namreč dozo zunanje obsevanja zaradi černobilske kontaminacije ocenjevalo iz odčitkov TL dozimetrom, kar je bilo obremenjeno z veliko negotovostjo meritve.

Tabela 9: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2009 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fizijskimi radionuklidi

Starostna skupina	Prehrambene navade	Mleko	referenčna skupina	Ingestija in inhalacija skupaj (μSv)	Doza zunanje obsevanja (μSv)	Skupna letna doza (μSv)	Zgornja meja (μSv)
dojenčki do 1 leta starosti	Pediatrska klinika	LJ	A1	4,4 \pm 2,8	10,1 \pm 0,5	14,5	< 17,4
		KB	A2	6,1 \pm 4,4	10,0 \pm 0,2	16,1	< 20,5
		BB	A3	4,2 \pm 2,7	10,0 \pm 0,2	14,2	< 16,9
otroci od 7 do 12 let	IAEA podatki	LJ	B1	2,7 \pm 1,4	8,7 \pm 0,4	11,5	< 13,0
		KB	B2	2,9 \pm 1,5	8,7 \pm 0,2	11,6	< 13,1
		BB	B3	2,8 \pm 1,4	8,7 \pm 0,2	11,4	< 12,9
odrasli	statistični podatki	LJ	C1	2,1 \pm 1,1	7,6 \pm 0,4	9,7	< 10,9
		KB	C2	2,3 \pm 1,2	7,6 \pm 0,2	9,8	< 11,0
		BB	C3	2,2 \pm 1,2	7,6 \pm 0,2	9,8	< 11,0
	urbano okolje	LJ	D1	2,7 \pm 1,4	6,5 \pm 0,3	9,2	< 10,7
		KB	D2	2,9 \pm 1,5	6,5 \pm 0,1	9,4	< 11,0
		BB	D3	2,9 \pm 1,5	6,5 \pm 0,1	9,4	< 10,8
	ruralno okolje	LJ	E1	2,5 \pm 1,4	11,0 \pm 0,6	13,6	< 15,1
		KB	E2	2,8 \pm 1,5	11,0 \pm 0,2	13,8	< 15,3
		BB	E3	2,7 \pm 1,5	11,0 \pm 0,2	13,7	< 15,2



Slika 29: Predvidena efektivna doza H_E zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje

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.

Na podlagi meritev radioaktivnosti življenjskega okolja Republike Slovenije v letu 2009 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 Literatura

- 1) Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJ-UPB2), Ur.list RS št. 102, 2004;
- 2) Pravilnik o mestih, metodah in rokih za preiskave kontaminacije z radioaktivnimi snovmi (Ur.list SFRJ št.40/86 – Z1);
- 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.