

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

Obsevanost prebivalcev Slovenije za leto 2008

Poročilo je napisano na osnovi naslednjih posameznih poročil:

Dozimetrični nadzor delavcev, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj
*podatki iz registra doz na Ministrstvu za zdravje, Upravi RS za varstvo pred
sevanji*

Analiza izpostavljenosti pacientov pri posegih interventne kardiologije, 2008
naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Sistematično pregledovanje bivalnega in delovnega okolja 2008
naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji

Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2008
*naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji in
Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost*

Naročnik: Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji
Marec 2009

Center za fizikalne meritve
Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov

Št. poročila: LMSAR-20090029-MG

Datum: 31.03.2009

Obsevanost prebivalcev Slovenije za leto 2008

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.:

C2717-08-000014

Skrbnik v imenu izvajalca:

dr. Gregor Omahen

Poslano:

6 x naročnik

2 x arhiv ZVD

Poročilo pripravil:

Dr. Marko Giacomelli, univ. dipl. fiz.

Poročilo pregledal in odobril:

Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

Poročilo vsebuje skupaj 77 strani in eno priložo (Poročilo o meritvah radioaktivnosti vzorcev iz okolja Republike Slovenije v letu 2008) ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti

Kazalo

1	Uvod.....	9
2	Prejete doze zunanjega sevanja sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji	10
2.1	Uvod.....	10
2.2	Izpostavljenost zunanjemu sevanju	10
3	Sistematično pregledovanje bivalnega in delovnega okolja.....	14
3.1	Uvod.....	14
3.2	Namen in cilji naloge.....	14
3.3	Program meritev	15
3.4	Metode merjenja	16
3.4.1	Meritve koncentracije radona.....	17
3.4.2	Meritve koncentracije vezanih radonovih potomcev	17
3.5	Rezultati meritev.....	18
3.5.1	Vrtci in šole.....	18
3.5.2	Druge javne ustanove.....	20
3.5.3	Stanovanjski objekti	20
3.6	Ocena prejetih učinkovitih doz.....	21
3.7	Zaključki.....	24
3.8	Reference	25
4	Obsevanost pacientov pri diagnostičnih radioloških posegih	26
4.1	Uvod.....	26
4.2	Merilne metode in oprema.....	27
4.2.1	Dozimetrija pacientov	27
4.2.2	Dozimetrične meritve.....	27
4.2.3	Preverjanje vgrajenih merilnikov P_{KA}	28
4.2.4	Ocenjevanje kakovosti slik na zaslonu	28
4.2.5	Meritve kožne doze z GafChromic folijami	28
4.3	Ustanove in rentgenski aparati.....	29
4.4	Obsevanost pacientov – kardiologija.....	31
4.4.1	Podatki o obsevanosti pacientov zbrani iz rentgenskih aparatov	31
4.4.2	Meritve vstopne kožne doze z dozimetričnimi folijami.....	31
4.5	Obsevanost pacientov – interventna radiologija.....	31
4.5.1	Podatki o obsevanosti pacientov zbrani iz rentgenskega aparata	31
4.5.2	Meritve vstopne kožne doze z dozimetričnimi folijami.....	32
4.6	Zaključki.....	32
5	Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije	33
5.1	Uvod.....	34

5.2	Program meritev	35
5.3	Metodologija meritev	41
5.3.1	Akreditirane meritve	41
5.3.2	Izračuni specifičnih aktivnosti	41
5.4	Rezultati meritev in komentar	43
5.4.1	Tekoče vode	43
5.4.2	Zrak.....	45
5.4.3	Zemlja	47
5.4.4	Zunanje sevanje.....	55
5.4.5	Padavine	56
5.4.6	Pitna voda.....	58
5.4.7	Hrana	58
5.4.8	Krmila	67
5.5	Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fisijskih produktov	68
5.5.1	Osnovne enačbe	68
5.5.2	Uporabljeni podatki in predpostavke	69
5.5.3	Doza zaradi ingestije in inhalacije	72
5.5.4	Doza zaradi zunanjega sevanja.....	74
5.5.5	Skupna ocena doze.....	75
5.6	Literatura.....	77

Kazalo slik

Slika 1:	Porazdelitev doze izpostavljenih delavcev po posameznih doznih razredih v letu 2008	12
Slika 2:	Kolektivne in povprečne doze izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letih 2004-2008.....	13
Slika 3:	Fotografija rentgenskega aparata Siemens AXIOM ARTIS FC Kardiološkega laboratorija UKC Ljubljana .	29
Slika 4:	Fotografija rentgenskega aparata GE INNOVA 2000 Kardiološkega laboratorija UKC Ljubljana	30
Slika 5:	Fotografija rentgenskega aparata Siemens MULTISTAR Inštituta za radiologijo UKC Ljubljana	30
Slika 6:	Lokacije vzorčevanja vzorcev iz okolja	39
Slika 7:	Lokacije TLD za meritve letne doze zunanjega sevanja	40
Slika 8:	Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi za obdobje 2002-2008	44
Slika 9:	Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Dravi za obdobje 2002-2008	45
Slika 10:	Povprečne celoletne specifične aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od 1996 do 2008 za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja)	46
Slika 11:	Povprečne celoletne vsote specifične aktivnosti Cs-137 v zraku za obdobje od 1986 do 2008 za Ljubljano	47
Slika 12:	Povprečna letna specifična aktivnost K-40 v zemlji	48
Slika 13:	Povprečna letna specifična aktivnost Cs-137 v zemlji.....	48
Slika 14:	Povprečna letna specifična aktivnost Sr-90 v zemlji	49
Slika 15:	Specifične aktivnosti – depozit za Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, 1986 - 2008	50
Slika 16:	Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, 1986 – 2008.....	51

Slika 17: Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, 1986 – 2008	52
Slika 18: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, 1986 – 2008.....	53
Slika 19: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Kobarid, 1986 – 2008.....	54
Slika 20: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, 1986 – 2008.....	55
Slika 21: Doza zunanjega sevanja za Ljubljano za obdobje 1986 – 2008	56
Slika 22: Specifične aktivnosti H-3 padavinah iz Ljubljane za obdobje 1990 – 2008.....	58
Slika 23: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane.....	59
Slika 24: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida.....	60
Slika 25: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice.....	61
Slika 26: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobote.....	62
Slika 27: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Ljubljana	63
Slika 28: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Kobarid ..	64
Slika 29: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Bohinjska Bistrica	65
Slika 30: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Murska Sobota.....	66
Slika 31: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije ali prehranjevalnih navad	71
Slika 32: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).....	74
Slika 33: Predvidena efektivna doza H_E za odrasle za obdobje 2000 - 2008	76

Kazalo tabel

Tabela 1: Število sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letu 2008 razdeljenih po dejavnostih in doznih intervalih	11
Tabela 2: Kolektivne in povprečne doze skupin sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letu 2008, po dejavnostih in doznih intervalih.....	12
Tabela 3: Program meritev.....	16
Tabela 4: Koncentracija radona v vrtcih in šolah (merjeno z detektorji sledi)	19
Tabela 5: Koncentracije radona v javnih ustanovah (merjeno z detektorji sledi)	20
Tabela 6: Koncentracija radona v stanovanjih	21
Tabela 7: Ocenjene efektivne doze za odrasle in otroke v vrtcih, šolah in stanovanjih.....	23
Tabela 8: Ocenjene efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah	24
Tabela 9: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2008 (modra – ZVD, zelena - IJS)	36
Tabela 10: Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide	42
Tabela 11: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod	43

Tabela 12: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje 2000 - 2007	57
Tabela 13: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine	70
Tabela 14: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2008.....	71
Tabela 15: Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2008.	72
Tabela 16: Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja	75
Tabela 17: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2008 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fizijskimi radionuklidi	76

1 Uvod

V poročilu o obsevanosti prebivalcev Slovenije za leto 2008 smo za oceno doz uporabili podatke iz projektnih nalog in nadzorov radioaktivnosti, ki so potekali v letu 2008 in katere smo v času pisanja poročila uspeli pridobiti:

- Dozimetrični nadzor delavcev, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj, podatki iz registra doz na Ministrstvu za zdravje, Upravi RS za varstvo pred sevanji.
- Analiza izpostavljenosti pacientov pri posegih interventne kardiologije, 2008 naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji
- Sistematično pregledovanje bivalnega in delovnega okolja 2008, naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji
- Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2008, naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji in Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost

2 Prejete doze zunanjega sevanja sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji

2.1 Uvod

Osebno dozimetrijo zunanjega sevanja izvajajo v Sloveniji trije pooblaščenji izvajalci: Zavod za varstvo pri delu, Nuklearna elektrarna Krško in Institut "Jožef Stefan". Podatke o izmerjenih dozah prejmejo uporabniki, poleg njih pa tudi Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji (URSVS), ki je pristojni upravni organ. URSVS vodi centralno evidenco osebnih doz, v katerem se od leta 2000 zbirajo doze delavcev, ki so poklicno izpostavljeni sevanju v Sloveniji. Podatke za evidenco izvajalcev dozimetrije mesečno v elektronski obliki sporočijo URSVS, ki podatke vnese v register.

Statistično obdelavo rezultatov meritev osebnih doz v letu 2008 je izvedla URSVS in so zbrani v tabelah (Tabela 1, Tabela 2). Razvrstitev delavcev po dejavnostih sledi razvrstitvi UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), prav tako razvrstitev v razrede po prejetih letnih dozah.

2.2 Izpostavljenost zunanjemu sevanju

V tabeli (Tabela 1) je zbrano število delavcev izpostavljenih zunanjemu sevanju po posameznih dejavnostih in doznih intervalih. Skupaj je bilo v letu 2008 zunanjemu sevanju poklicno izpostavljenih **4894 delavcev**. Največja skupina so delavci, ki delajo z viri oziroma v poljih ionizirajočih sevanj v medicini (66%), sledijo pa delavci izpostavljeni v Nuklearni elektrarni Krško (12%).

Velika večina izpostavljenih delavcev je prejela letne doze manjše od 1 mSv, le okrog 3% delavcev pa je to mejo preseglo (Slika 1), kar je v okviru dosedanjega deleža (v letu 2005 3%, v letu 2006 8%, v letu 2007 6%). V letu 2008 je 5 delavcev prejelo dozo večjo od 5 mSv, od tega nihče večje od 10 mSv. V letu 2004 je bilo takih 35, od tega so štirje presegli prejeli dozo večjo od 10 mSv in eden od 15 mSv. V letu 2005 pa nihče od delavcev ni prejel doze večje od 5 mSv. V letu 2006 se 46 delavcev prejelo dozo večjo od 5 mSv, od tega dva večjo od 10 mSv. V letu 2007 je 59 delavcev prejelo dozo večjo od 5 mSv, od tega trije večjo od 10 mSv. Leti 2008 in 2005 odstopata, ker v teh letih ni bilo remonta v Nuklearni elektrarni Krško, saj je sedaj gorivni cikel podaljšan iz 12 na 18 mesecev.

V tabeli (Tabela 2) so kolektivne doze zunanjega sevanja po posameznih dejavnostih in doznih intervalih ter iz njih izračunane povprečne letne doze. Povprečne doze so izračunane na dva načina: z (A) ali brez upoštevanja delavcev (B), katerih posamezna prejeta doza je pod mejo poročanja.

Kolektivna doza vseh sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letu 2008 je znašala 0,60 človekSv (leta 2004 1,352 človekSv, leta 2005 0,59 človekSv, leta 2006 1,325 človekSv, leta 2007

1,392 človekSv), povprečna pa 0,12 mSv (leta 2004 0,30, leta 2005 0,14, leta 2006 0,29, leta 2007 0,28 mSv), če upoštevamo vse delavce oziroma 0,32 mSv (leta 2004 0,63, leta 2005 0,34, leta 2006 0,62, leta 2007 0,61 mSv), če upoštevamo samo delavce z dozami nad mejo poročanja. Ugotovimo lahko, da so povprečne letne doze zunanjšega sevanja zadnjih nekaj let približno konstantno nizke in da smo dosegli visok nivo varstva izpostavljenih delavcev.

Najvišjo kolektivno dozo je prejela skupina delavcev iz medicine 349 človek mSv, nato sledi skupina delavcev iz Nuklearne elektrarne Krško 155 človek mSv (v letu 2007 889 človek mSv). V letu 2008 ni bilo remonta Nuklearne elektrarne Krško, saj v letih, ko se izvajajo remontna dela, ta prispevajo največ h kolektivni dozi delavcev z viri ionizirajočih sevanj v Sloveniji. Posledica tega so očitna nihanja v celotni kolektivni dozi izpostavljenih delavcev v Sloveniji, ki se ujemajo s periodo remontnih del v Nuklearni elektrarni Krško (Slika 2).

Tabela 1: Število sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letu 2008 razdeljenih po dejavnostih in doznih intervalih

Dejavnost	Dozni interval (mSv/leto)								skupaj	povprečna doza	
	<MP	MP-0.99	1-4.99	5-9.99	10-14.99	15-19.99	20-29.99	< 30		A	B
NEK											
NEK notranji	109	213	24	0	0	0	0	0	346	0,27	0,39
NEK zunanji	89	130	17	0	0	0	0	0	236	0,26	0,42
NEK SKUPAJ	198	343	41	0	0	0	0	0	582	0,27	0,4
IJS											
Raziskovalni reaktor	44	29	0	0	0	0	0	0	73	0,04	0,11
INDUSTRIJA											
industrijska radiografija	108	36	12	2	0	0	0	0	158	0,27	0,86
industrija ostalo	259	71	6	1	0	0	0	0	337	0,09	0,38
Industrija SKUPAJ	367	107	18	3	0	0	0	0	495	0,15	0,57
MEDICINA											
nuklearna medicina	55	68	29	0	0	0	0	0	152	0,47	0,73
interventna radiologija	84	148	10	0	0	0	0	0	242	0,19	0,29
radiologija ostalo	1475	686	35	2	0	0	0	0	2198	0,09	0,29
brahiterapija	0	17	0	0	0	0	0	0	17	0,07	0,07
terapija ostalo	34	95	0	0	0	0	0	0	129	0,04	0,06
veterina	45	20	2	0	0	0	0	0	67	0,06	0,18
zobni	263	91	2	0	0	0	0	0	356	0,04	0,16
medicina ostalo	32	17	0	0	0	0	0	0	49	0,01	0,02
medicina SKUPAJ	1988	1142	78	2	0	0	0	0	3210	0,11	0,29
OSTALO											
ostalo	418	112	4	0	0	0	0	0	534	0,04	0,18
SKUPAJ	3015	1733	141	5	0	0	0	0	4894	0,12	0,32

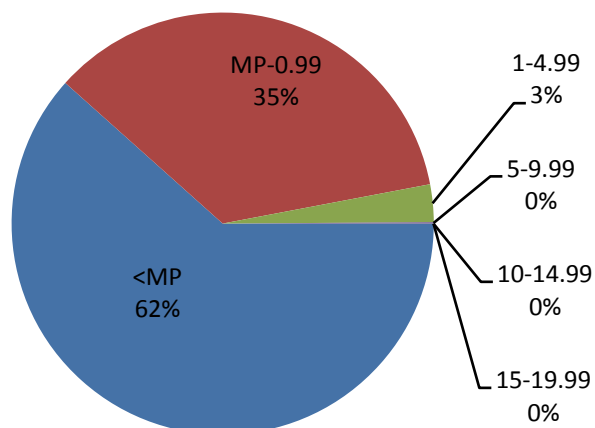
* MP pomeni mejo poročanja izpod katere posameznih doz ne seštevamo v skupno dozo izpostavljenega delavca

Tabela 2: Kolektivne in povprečne doze skupin sevanju poklicno izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letu 2008, po dejavnostih in doznih intervalih

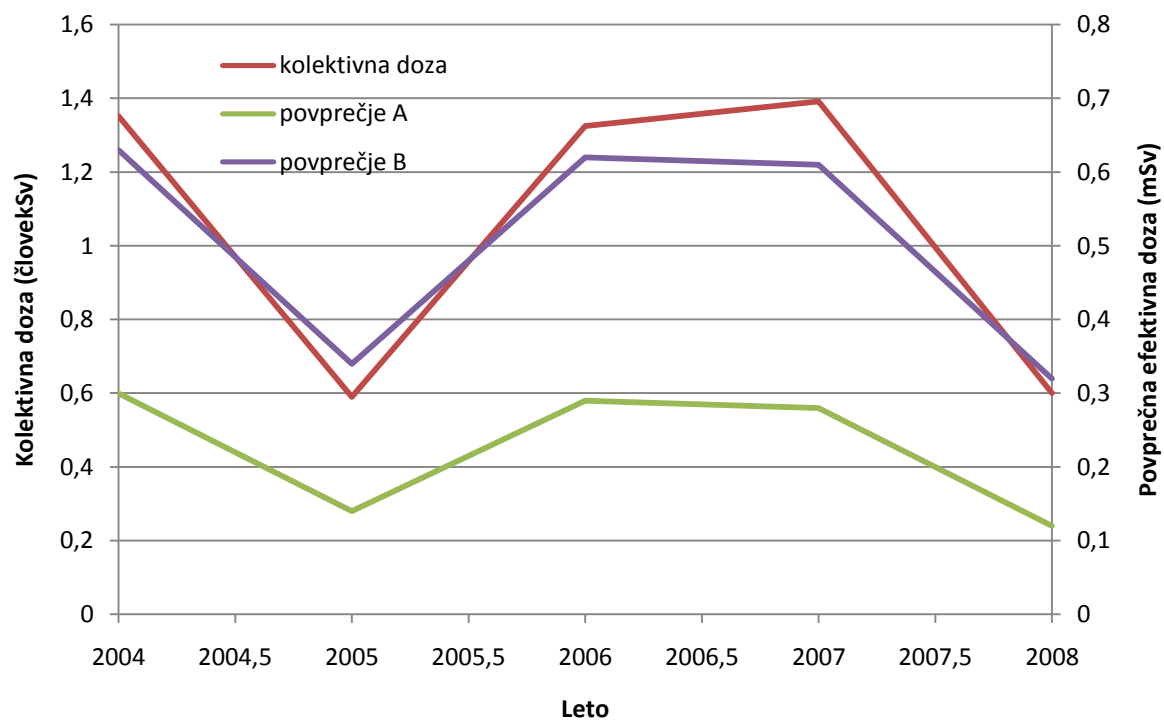
Dejavnost	Dozni interval (mSv/leto)								skupaj
	<MP	MP-0.99	1-4.99	5-9.99	10-14.99	15-19.99	20-29.99	< 30	
NEK									
NEK notranji	0	42,93	50,55	0	0	0	0	0	93,48
NEK zunanji	0	28,65	32,79	0	0	0	0	0	61,44
NEK SKUPAJ	0	71,58	83,34	0	0	0	0	0	154,92
IJS									
Raziskovalni reaktor	0	3,08	0	0	0	0	0	0	3,08
INDUSTRIJA									
industrijska radiografija	0	8,28	23,22	11,72	0	0	0	0	43,22
industrija ostalo	0	12,51	9,83	7,01	0	0	0	0	29,35
Industrija SKUPAJ	0	20,79	33,05	18,73	0	0	0	0	72,57
MEDICINA									
nuklearna medicina	0	25,65	45,52	0	0	0	0	0	71,17
interventna radiologija	0	30,2	15,35	0	0	0	0	0	45,55
radiologija ostalo	0	126,94	65,63	13,85	0	0	0	0	206,42
brahiterapija	0	1,17	0	0	0	0	0	0	1,17
terapija ostalo	0	5,48	0	0	0	0	0	0	5,48
veterina	0	1,84	2,19	0	0	0	0	0	4,03
zobni	0	12,29	2,51	0	0	0	0	0	14,8
medicina ostalo	0	0,38	0	0	0	0	0	0	0,38
medicina SKUPAJ	0	203,95	131,2	13,85	0	0	0	0	349
OSTALO									
ostalo	0	11,09	9,22	0	0	0	0	0	20,31
SKUPAJ	0	310,49	256,81	32,58	0	0	0	0	599,88

*MP pomeni mejo poročanja

Porazdelitev doz delavcev po doznih intervalih



Slika 1: Porazdelitev doze izpostavljenih delavcev po posameznih doznih razredih v letu 2008



Slika 2: Kolektivne in povprečne doze izpostavljenih delavcev v Sloveniji v letih 2004-2008

3 Sistematično pregledovanje bivalnega in delovnega okolja

3.1 Uvod

Izpostavljenost radonu je posledica vsebnosti naravnih radionuklidov v zemeljski skorji. Dolgoživi radionuklidi U-238, Th-232 in U-235 so začetniki naravnih razpadnih nizov, in sicer uranovega, torijevega in aktinijevega. V vsakem od teh nizov se nahaja eden izmed radijevih izotopov Ra-226, Ra-224 in Ra-223. Direktni potomci teh izotopov so radioaktivni plini, radon, toron in aktinon, oziroma Rn-222, Rn-220 in Rn-219. Najpomembnejši od vseh je Rn-222 (radon), ki prispeva k sevalnim obremenitvam zaradi vdihovanja skoraj 90%, Rn-220 (toron) okoli 10%, Rn-219 (aktinon) pa manj kot 1%.

Radon je inertni plin, kemijsko neaktiven, zato izhaja iz tal proti površju. Zbira se v zaprtih prostorih ali izhaja v atmosfero. Količine radona v zaprtih prostorih so lahko tako visoke, da povzroči sevanje alfa v življenjski dobi človeka nepopravljive spremembe v celicah pljučnega tkiva, katerih posledica je lahko rakasto obolenje.

V obdobju november 1993 - februar 1994 so bile v okviru nacionalnega programa izmerjene koncentracije radona v približno 900 naključno izbranih stanovanjih na območju Slovenije. Iz povprečne vrednosti 87 Bq/m^3 je bila aproksimativno določena srednja letna vrednost, ki znaša 54 Bq/m^3 [1,2].

Na podlagi 45. in 46. člena Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti [3] je potrebno sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja [4]. Na delovnih mestih s povečano izpostavljenostjo zaposlenih je na podlagi Pravilnika SV5 [5] in Uredbe UV2 [6] potrebno izvajanje ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti naravnim virom.

V letih 2005 – 2008 je Uprava za varstvo pred sevanji (URSVS) razpisala projektne naloge za sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja, v katere so bile vključene meritve v vrtcih, šolah in drugih javnih ustanovah ter en stanovanjski objekt ([7], [8] in to poročilo).

3.2 Namen in cilji naloge

V zadnjih petnajstih letih so se izvajale meritve koncentracije radona in radonovih potomcev v večini osnovnih šol in vzgojno varstvenih zavodih ter v drugih javnih institucijah, kot so bolnišnice, zdravstveni domovi, občinske zgradbe, policijske postaje in carinarnice. V nekaterih šolah, vrtcih in drugih objektih so bile zaradi previsokih koncentracij radona in potomcev izvedene sanacije. V teh je

bilo potrebno izvesti ponovne meritve za ugotovitev, ali je bila sanacija ustrezna oziroma ali so potrebni dodatni ukrepi.

V pričujočo nalogo so vključeni vsi objekti, ki jih je URSVS določila kot objekte, v katerih so potrebne prve oziroma ponovne meritve koncentracije radona in potomcev. Namesto meritev časovnega poteka koncentracije radona v stanovanjskem bloku na Tomšičevi 19 v Idriji smo v soglasju z URSVS opravili meritve koncentracije radona v vrtcu Grič na Vrhniki. Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v vrtcih z več oddelki oziroma enotami vrtcev (kot Črnomelj, Šentjernej, Trebnje, Semič, Metlika in drugi). Za razliko od prejšnji let, ko so se meritve izvajale v poznem jesenskem času ali pozimi, smo meritve v letu 2008 izvajali v poletnem in zgodnjem jesenskem času.

3.3 Program meritev

Program meritev je prikazan v tabeli (Tabela 3). V tabeli so navedene ustanove ter število predvidenih in opravljenih meritev koncentracije radona in potomcev v prostorih objektov navedenih ustanov. Izbranih je bilo pet osnovnih šol in ena glasbena šola, devetindvajset vzgojno varstvenih zavodov, dve bolnišnici, en zdravstveni dom, ena lekarna, tri policijske postaje, štiri železniške postaje ter dve stanovanji. Opravili smo 86 meritev koncentracij radona z detektorji sledi, tri meritve koncentracije radona z ogljenim adsorberji, pet meritev koncentracij radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti z namenom določanja časovnega poteka koncentracije radona in potomcev ter deset meritev koncentracij radona z merilnimi instrumenti z namenom določitve virov izhajanja radona v prostore zgradb (špranje, razpoke, kanalizacijski in drugi jaški...).

Tabela 3: Program meritev

Ustanova	Predvidene meritve			Opravljene meritve		
	a	c	d	a	c	d
Glasbena šola Ribnica	1	0	1	1	0	1
OŠ Prevalje	2	0	1	2	0	1
OŠ Idrija Podružnica Godovič	2	0	1	2	0	1
OŠ Žužemberk - Podružnica Dvor	4	0	1	4	0	1
OŠ Ketteja in Murna Ljubljana	4	0	1	4	0	1
OŠ Komen	3	0	1	3	0	1
Občina Ribnica- Partizan	1			1		
Vrtec Hrib Vrhnika*				3	1	0
VVO Muljava	2	1	0	2	1	0
Vrtec Pikpolonica Brezje	1			1		
Vrtec Idrija enota Godovič	2	1	0	2	1	0
Vrtec Sežana - enota Jasli	3	0	1	3	0	1
Vrtec Črnomelj tri enote	3			3		
Vrtec Mokronog	1			1		
OŠ Mirna peč vrtec	2			2		
vrtec Prevole	1			1		
vrtec Trebnje	4			4		
vrtec Vavta vas	2			2		
vrtec Mirna	2			2		
vrtec Sodražica	1			1		
vrtec Šentjernej	5			5		
vrtec Metlika	3			3		
vrtec Semič	3			3		
vrtec Stari trg ob Kolpi	1			1		
vrtec Škocjan Bučka	1			1		
vrtec Škocjan	1			1		
vrtec Veliki gaber	1			1		
Vrtec Idrija - enota Arkova	2			2		
Policija Kočevje	2			2		
Policija Sežana	2	1	0	2	1	0
Policija Kozina	2			3		
Železniška postaja Divača	2			2		
Železniška postaja Kočevje	2			2		
Železniška postaja Novo mesto	2			2		
Železniška postaja Črnomelj	2			2		
ZD Divača	3	0	1	3	0	1
Lekarna Divača	1			1		
Psihiatrična klinika Ljubljana	4	0	1	4	0	1
Bolnišnica Idrija - lekarna	2	0	1	2	1	1
Stanovanjski blok Tomšičeva ulca Idrija	4	1	0	3		
Stanovanjski bloki Idrija	4					
Skupaj	90	4	10	89	5	10

Legenda: * - namesto stanovanjskega bloka v Idriji
a - osnovne meritve z detektorji sledi (Vrtec Hrib Vrhnika z oglenimi adsorberji)
c - kontinuirne meritve koncentracije radona in potomcev v obdobju nekaj dni
d - iskanje virov radona s kontinuirnimi instrumenti

3.4 Metode merjenja

Koncentracijo radona v prostorih objektov izbranih ustanov smo določali s pasivno metodo (detektorji sledi - a) za obdobje enega meseca ali več oziroma z oglenimi adsorberji (dodatna meritve *) v obdobju dveh dni in z aktivno metodo (merilni instrumenti – c) za obdobje 3 - 5 dni. Detektorje sledi smo postavili v prostor stran od oken in vrat na višino približno 1 m, merilne instrumente smo postavili tako, da niso motili delovnega procesa. Trenutno koncentracijo radona v jaških, razpokah in špranjah smo določali z merilnimi instrumenti (aktivna metoda). Meritev je trajala cca dve uri.

3.4.1 Meritve koncentracije radona

3.4.1.1 Pasivna metoda – detektorji sledi

Koncentracijo radona skozi daljše časovno obdobje smo določali z detektorji sledi, podjetja Gammadata Mätteknik AB, Švedska. Detektor sledi je plastična folija premera 1.5 cm, prevlečena s tanko plastjo aluminija. Detektor je pritrjen v pokrov plastičnega okroglega ohišja, premera 5 cm in višine 3 cm.. Radon, ki pride v t.i. radonsko komoro, v njej razpade, delci alfa, ki nastanejo pri razpadu, pa se zarijejo v folijo in v njej pustijo sledi. Število sledi na foliji je premo sorazmerno s koncentracijo radona v zraku.

Podjetje Gammadata je akreditirano za merjenje koncentracije radona z detektorji sledi po standardu SIST ISO/IEC 17025. Detektorje smo postavili v skladu s postopki DP-LMSAR-3.03, ND-LMSAR-3.02 in OB-LMSAR-3.03.

3.4.1.2 Pasivna metoda - ogljeni adsorberji

Povprečno dvodnevno ali tridnevno koncentracijo radona določamo z ogljenimi adsorberji. To so kovinske posodice, premera 9 cm in visoke 3 cm, napolnjene z aktivnim ogljem. Posodico odpremo in pustimo, da se radon adsorbira na aktivno oglje. Nato posodico zapremo. Radon, ki se je adsorbiral na aktivnem oglju, razpade v svoje kratkožive potomce (Po-218, Pb-214, Bi-214 in Po-214). Po treh urah se vzpostavi radioaktivno ravnovesje med radonovimi potomci in radonom. Razpadna produkta radona, Pb-214, Bi-214, razpadata z izsevanjem kvantov gama, zato ju lahko določamo z detektorjem sevanja gama (visokoločljiva spektrometrija gama). Meritve koncentracije radona z ogljenimi adsorberji smo izvedli v skladu s postopkom DP-LMSAR-3.01. Metoda je akreditirana po standardu SIST ISO/IEC 17025.

3.4.1.3 Aktivna metoda

Časovni potek koncentracije radona za obdobje nekaj dni smo določali z merilnimi instrumenti Alphaguard (Genitron, Nemčija), RTM 2010 (Sarad, Nemčija), RAD 7 (Radonlab, ZDA) in System 30 (Scintrex, Kanada). Detektor sevanja alfa v instrumentu Alphaguard je cilindrična ionizacijska celica z volumnom 0.5 litra, merilni instrumenti System 30, RAD 7 in RTM-2010 pa uporabljajo za določanje sevanja alfa polprevodniški detektor. Število sunkov na detektorju je premo sorazmerno koncentraciji radona oziroma radonovih potomcev v zraku, ki se podaja v Bq/m^3 . Intervale merjenja nastavimo na želeno vrednost, od nekaj minut do več ur.

Meritve koncentracije radona v zraku smo izvedli skladno s postopkom DP-LMSAR-3.02. Merilni instrumenti so umerjeni v sekundarnem laboratoriju BfS v Berlinu (Priloga A), ki je umerjen po standardu SIST ISO/IEC 17025. Metoda je akreditirana po standardu SIST ISO/IEC 17025.

3.4.2 Meritve koncentracije vezanih radonovih potomcev

Časovni potek koncentracije vezanih radonovih potomcev za obdobje nekaj dni smo določali z merilnim instrumentom WLM-30 (Working Level Monitor) in System 30, firme Scintrex iz Kanade.

Črpalka s pretokom 1 liter/minuto črpa zrak skozi filter, v katerem se zadržijo radonovi potomci (vezani na aerosole). Nasproti filtra je polprevodniški detektor, ki zaznava alfa sevanje. Rezultat meritve je ravnovesna koncentracija vezanih radonovih potomcev EEC, ki se podaja v Bq/m^3 .

Interval vzorčenja za merjenje koncentracije radonovih potomcev v zraku je 30 minut. Razmerje med koncentracijo radonovih potomcev in koncentracijo radona je faktor ravnovesja F, ki ga podajamo v procentih. Meritve koncentracije radonovih potomcev v zraku smo izvedli skladno s postopkom DP-LMSAR-3.02. Merilni instrumenti so umerjeni v sekundarnem laboratoriju BfS v Berlinu (Priloga A), ki je umerjen po standardu SIST ISO/IEC 17025. Metoda je akreditirana po standardu SIST ISO/IEC 17025.

3.5 Rezultati meritev

3.5.1 Vrtci in šole

Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v osemindvajsetih vrtcih, petih osnovnih šolah in eni glasbeni šoli. V treh vrtcih in vseh šestih šolah smo izvajali še dodatne meritve koncentracije radona in radonovih potomcev. Skupaj smo opravili 57 meritev koncentracije radona z detektorji sledi, tri meritve koncentracije radona z oglenimi adsorberji, 3 meritve časovnega poteka koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti ter sedem meritev koncentracije radona z merilnimi instrumenti za določitev vira izhajanja radona v prostore preiskovanih objektov.

Rezultati meritev koncentracije radona z detektorji sledi v vrtcih in šolah so prikazani v tabeli (Tabela 4). V petnajstih prostorih vrtcev in šol so bile izmerjene koncentracije radona, višje od 400 Bq/m^3 . Vse izmerjene koncentracije radona, ki skupaj z napako meritve presegajo 400 Bq/m^3 , so obarvane rdeče. V petintridesetih objektih so bile izmerjene vrednosti nižje od 400 Bq/m^3 .

Tabela 4: Koncentracija radona v vrtcih in šolah (merjeno z detektorji sledi)

Zap. št.	Št. detektorja	Začetek meritve		Konec meritve		Ustanova	Prostor	Koncentracija radona	
		Datum	Ura	Datum	Ura			Bq/m ³	
1	251244-0	18.9.2008	11	20.10.2008	11	VVO Muljava	igralnica	4626	± 831
2	133044-8	18.9.2008	11	20.10.2008	11	VVO Muljava	klet	2297	± 281
3	356907-6	26.8.2008	7	20.10.2008	12	Vrtec Pikapolonica Brezje	igralnica	385	± 42
4	268063-5	1.9.2008	14	17.10.2008	12	Vrtec Idrija enota Godovič	igralnica 2	119	± 15
5	356895-3	1.9.2008	14	17.10.2008	12	Vrtec Idrija enota Godovič	igralnica 1	181	± 22
6	357043-9	4.9.2008	13	17.10.2008	9	Vrtec Sežana-enota Jasli	igralnica	860	± 89
7	356876-3	22.9.2008	8	17.10.2008	8	Vrtec Sežana-enota Divača	igralnica	362	± 40
8	357073-6	4.9.2008	7	17.10.2008	8	Vrtec Sežana-enota Komen	igralnica	316	± 35
9	357015-7	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor - vrtec	igralnica - dojenčki	528	± 58
10	202535-1	15.10.2008	8	4.12.2008	8	Vrtec Črnomelj, Majer	igralnica	169	± 19
11	278619-2	15.10.2008	8	4.12.2008	10	Vrtec Črnomelj, Čardak	igralnica	160	± 19
12	357034-8	15.10.2008	10	4.12.2008	11	Vrtec Črnomelj, Novi vrtec	igralnica	106	± 14
13	357080-1	5.9.2008	8	23.10.2008	10	Vrtec Mokronog	srednja igralnica	46	± 7
14	306846-7	4.9.2008	11	20.10.2008	7	OŠ Mirna peč vrtec	igralnica Srne	92	± 12
15	357841-6	4.9.2008	12	20.10.2008	7	OŠ Mirna peč vrtec	igralnica Veverice	97	± 13
16	348945-7	4.9.2008	11	17.10.2008	8	vrtec Prevole	igralnica 1	1684	± 208
17	183487-8	20.10.2008	10	26.11.2008	9	vrtec Trebnje	igralnica 1 - Videk	118,2	± 13,9
18	356989-4	20.10.2008	10	26.11.2008	9	vrtec Trebnje	igralnica 5 - Ostržek	151,8	± 18,5
19	267964-5	20.10.2008	10	26.11.2008	9	vrtec Trebnje	vrtec Dobrnič	843,6	± 88,1
20	216138-8	20.10.2008	13	26.11.2008	10	vrtec Trebnje	igralnica Kekec	67,4	± 9,3
21	278438-7	15.9.2008	9	17.10.2008	8	vrtec Vavta vas	igralnica Ribe	846	± 89
22	357393-8	1.9.2008	9	17.10.2008	8	vrtec Vavta vas	igralnica Pikapolonice	420	± 45
23	357078-5	4.9.2008	9	17.10.2008	10	vrtec Mirna	jasli - prtiličje	43	± 8
24	356939-9	1.9.2008	9	17.10.2008	10	vrtec Mirna	III. Starostno obdobje	44	± 7
25	251344-8	4.9.2008	11	17.10.2008	9	vrtec Sodražica	igralnica Pikapolonice	396	± 43
26	250543-6	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	vrtec pri šoli	110	± 14
27	251431-3	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	muca copatarica	221	± 24
28	357857-2	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	igralnica 1 - čebelice	59	± 10
29	183162-7	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	Vrtec Orehovica	47	± 8
30	303659-7	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	igralnica 6 - čebelica	50	± 8
31	278124-3	4.9.2008	11	17.10.2008	11	vrtec Metlika	igralnica Pikapolonice	109	± 14
32	357946-3	4.9.2008	11	17.10.2008	11	vrtec Metlika	igralnica Zajčki	127	± 16
33	290227-8	4.9.2008	11	17.10.2008	11	vrtec Metlika	igralnica Ježki	54	± 8
34	307036-4	5.9.2008	10	17.10.2008	9	vrtec Semič	igralnica s klimo	128	± 16
35	170904-7	5.9.2008	10	17.10.2008	9	vrtec Semič	igralnica stari del	268	± 30
36	307025-7	5.9.2008	12	17.10.2008	9	vrtec Semič	igralnica s klimo	100	± 12
37	216214-7	10.9.2008	13	17.10.2008	10	vrtec Stari trg ob Kolpi	igralnica	489	± 52
38	268015-5	10.9.2008	11	17.10.2008	13	vrtec Škocjan Bučka	vrtec Škocjan Bučka	948	± 99
39	183254-2	10.9.2008	8	17.10.2008	13	vrtec Škocjan	vrtec Škocjan	95	± 11
40	250585-7	8.9.2008	9	20.10.2008	9	vrtec Veliki gaber	igralnica	33	± 6
41	139509-4	8.9.2008	11	22.10.2008	11	Vrtec Idrija - enota Arkova	otroci 4-5 let	37	± 6
42	190640-3	8.9.2008	11	22.10.2008	11	Vrtec Idrija - enota Arkova	otroci 1-3 leta	43	± 6
43	357049-6	5.9.2008	12	22.10.2008	12	Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti	1325	± 151
44	356879-7	5.9.2008	7	17.10.2008	8	OŠ Prevalje	učilnica 2b	406	± 44
45	357853-1	5.9.2008	7	17.10.2008	8	OŠ Prevalje	učilnica 3a	1481	± 153
46	268050-2	3.9.2008	14	17.10.2008	12	OŠ Godovič	4 in 5 razred	198	± 23
47	190595-9	1.9.2008	14	17.10.2008	12	OŠ Godovič	1, 2 in 3 razred	217	± 24
48	356873-0	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor	telovadnica	211	± 23
49	356935-7	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor	učilnica 4. razred	163	± 19
50	356913-4	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor	jedilnica	175	± 21
51	173613-1	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 14	76	± 10
52	278584-8	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 10	239	± 26
53	357363-1	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 11	56	± 7
54	251303-4	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica-13	116	± 14
55	357272-4	17.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Komen	učilnica 4. razred	795	± 83
56	307049-7	17.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Komen	tehnični pouk	513	± 56
57	306791-5	17.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Komen	telovadnica	2033	± 248
58	12*	23.7.2008	10	25.7.2008	10	Vrtec Hrib Vrhnika	učilnica prtiličje levo	217,0	± 33,0
59	32*	23.7.2008	10	25.7.2008	10	Vrtec Hrib Vrhnika	sanitarije	193	± 30
60	183294-8	17.10.2008	10	24.11.2008	10	Občina Ribnica - Partizan	telovadnica	398,6	± 42,8

* . Meritev z ogljenimi adsorberji

** rdeče so obarvane lokacije z izmerjenimi koncentracijami nad 400 Bq/m³

3.5.2 Druge javne ustanove

Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v enajstih javnih ustanovah. To so: Psihiatrična klinika Ljubljana, Psihiatrična bolnišnica Idrija, Zdravstveni dom Divača, Lekarna Divača, Policijska postaja Kočevje, Policijska postaja Sežana, Policijska postaja Kozina, Železniška postaja Divača, Železniška postaja Kočevje, Železniška postaja Novo mesto in Železniška postaja Črnomelj. V štirih objektih smo izvajali še dodatne meritve koncentracije radona in radonovih potomcev. Skupaj smo opravili 25 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in 5 meritev koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti z namenom določanja časovnega poteka koncentracij radona in potomcev oziroma iskanja virov radona v prostorih. Rezultati meritev koncentracije radona z detektorji sledi so prikazani v tabeli (Tabela 5). Vse izmerjene koncentracije radona, ki skupaj z napako meritve presegajo 1000 Bq/m^3 , so obarvane rdeče.

Tabela 5: Koncentracije radona v javnih ustanovah (merjeno z detektorji sledi)

Zap. št.	Št. detektorja	Začetek meritve Datum	Ura	Konec meritve Datum	Ura	Ustanova	Prostor	Koncentracija radona Bq/m ³
1	357039-7	10.7.2008	11	4.11.2008	8	Policijska postaja Kočevje	klet	52 ± 7
2	356932-4	10.7.2008	11	4.11.2008	8	Policijska postaja Kočevje	dežurni	49 ± 6
3	357035-5	15.7.2008	8	29.10.2008	8	Policijska postaja Sežana	dežurni	99 ± 11
4	356919-1	15.7.2008	8	29.10.2008	8	Policijska postaja Sežana	administracija	216 ± 23
5	357009-0	15.7.2008	8	29.10.2008	8	Policijska postaja Kozina	dežurni	738 ± 91
6	356914-2	15.7.2008	8	29.10.2008	8	Policijska postaja Kozina	obravnava tujcev	293 ± 30
7	356931-6	15.7.2008	8	29.10.2008	8	Policijska postaja Kozina	prostor za pridržanje do 48 ur	552 ± 63
8	357005-8	19.8.2008	12	27.10.2008	12	Železniška postaja Divača	prometni urad soba 1	1153 ± 141
9	356934-0	19.8.2008	12	27.10.2008	12	Železniška postaja Divača	prometni urad soba 2	1221 ± 150
10	356870-6	30.7.2008	9	21.10.2008	11	Železniška postaja Kočevje	prometni urad	1054 ± 109
11	357033-0	30.7.2008	9	21.10.2008	11	Železniška postaja Kočevje	jedilni prostor	1516 ± 244
12	356874-8	23.7.2008	10	23.10.2008	9	Železniška postaja Novo mesto	tajništvo	57 ± 7
13	356929-0	23.7.2008	10	23.10.2008	9	Železniška postaja Novo mesto	prometni urad	57 ± 7
14	356875-5	23.7.2008	11	23.10.2008	9	Železniška postaja Črnomelj	pisarna vodje	783 ± 95
15	356892-0	23.7.2008	11	23.10.2008	9	Železniška postaja Črnomelj	prometni urad	1291 ± 207
16	357006-6	15.7.2008	7	20.10.2008	10	ZD Divača	zdravnik sprejemnica	755 ± 92
17	356878-9	15.7.2008	7	20.10.2008	10	ZD Divača	zobna ordinacija	722 ± 88
18	357032-2	15.7.2008	7	20.10.2008	10	ZD Divača	patronaža	1001 ± 141
19	357021-5	15.7.2008	7	20.10.2008	10	Lekarna Divača	lekarna	377 ± 39
20	356891-2	1.8.2008	9	22.10.2008	10	Psihiatrična klinika Ljubljana	mizarska delavnica - arhiv	5523 ± 993
21	356918-3	1.8.2008	9	22.10.2008	10	Psihiatrična klinika Ljubljana	mizarska delavnica	810 ± 99
22	357044-7	1.8.2008	9	22.10.2008	10	Psihiatrična klinika Ljubljana	razrez materiala	655 ± 75
23	357008-2	1.8.2008	9	22.10.2008	10	Psihiatrična klinika Ljubljana	strojna delavnica	701 ± 80
24	139451-9	8.9.2008	10	17.10.2008	9	Bolnišnica Idrija	lekarna soba	983 ± 103
25	268026-2	8.9.2008	10	17.10.2008	9	Bolnišnica Idrija	lekarna prodajni pult	1004 ± 105

** rdeče so obarvane lokacije z izmerjenimi koncentracijami nad 400 Bq/m^3

V Psihiatrični kliniki Ljubljana, v Psihiatrični bolnišnici Idrija, v Zdravstvenem domu Divača, Železniški postaji Črnomelj, Železniški postaji Divača in Železniški postaji Kočevje so bile izmerjene koncentracije radona višje od 1000 Bq/m^3 . Najvišja vrednost koncentracije radona je bila izmerjena v arhivu mizarske delavnice Psihiatrične klinike Ljubljana, in sicer $5523 \text{ Bq/m}^3 \pm 993 \text{ Bq/m}^3$.

3.5.3 Stanovanjski objekti

Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v dveh stanovanjih in v kleti v stanovanjskem bloku na Tomšičevi 19 v Idriji (Tabela 6) v obdobju od 8.9.2008 do 22.10.2008. V kleti je bila izmerjena koncentracija radona $6628 \text{ Bq/m}^3 \pm 1192 \text{ Bq/m}^3$, v stanovanju v pritličju $420 \text{ Bq/m}^3 \pm 46$

Bq/m³, v stanovanju v 1. nadstropju pa je bilo izmerjena koncentracija radona 126 Bq/m³ ± 15 Bq/m³. Izmerjena koncentracija radona v kleti je zelo visoka, a očitno ni direktne povezave s stanovanjem nad kletjo (ni razpok), zato tudi koncentracija radona v stanovanju ni mnogo višja od 400 Bq/m³.

Tabela 6: Koncentracija radona v stanovanjih

Zap. št.	Št. detektorja	Začetek meritve		Konec meritve		Ustanova	Prostor	Koncentracija radona	
		Datum	Ura	Datum	Ura			Bq/m ³	
1	362710-6	8.9.2008	12	22.10.2008	11	Idrija Tomšičeva 19, Simon Pavšič	soba 1.nadstropje	126	± 15
2	306856-6	8.9.2008	12	22.10.2008	11	Idrija Tomšičeva 19, Lapanja	klet	6628	± 1192
3	278480-9	8.9.2008	12	22.10.2008	11	Idrija Tomšičeva 19, Lapanja	kuhinja, pritličje	420	± 45

** rdeče so obarvane lokacije z izmerjenimi koncentracijami nad 400 Bq/m³

3.6 Ocena prejetih efektivnih doz

Efektivne doze zaradi inhalacije radona in radonovih potomcev smo ocenili na podlagi opravljenih meritev za vse objekte, ne glede na to ali je bila presežena vrednost koncentracije radona 400 Bq/m³ za vrtce in šole ter 1000 Bq/m³ za druga delovna mesta. Upoštevali smo metodologijo iz Uredbe UV2 [6]. Pri oceni smo uporabili izmerjene koncentracije radona, kot da so enake povprečnim letnim koncentracijam radona v objektu (čeprav so trajale samo en mesec in ne celo leto). V primeru večjega števila meritev v istem objektu smo upoštevali samo najvišje izmerjene vrednosti koncentracije radona.

Za število delovnih ur za zaposlene v bolnišnici, zdravstvenem domu, policiji, železnici in lekarni smo upoštevali 2000 ur na leto. Za zaposlene v šolah smo upoštevali, da se zadržujejo v učilnicah po 6 ur dnevno deset mesecev na leto. Za zaposlene v vrtcih smo upoštevali, da se zadržujejo v igralnicah po 6 ur dnevno dvanajst mesecev na leto. Za otroke v vrtcih in šolah smo upoštevali isti čas zadrževanja v učilnicah kot za zaposlene. Za otroke v glasbeni šoli v Ribnici smo upoštevali, da se v učilnicah zadržujejo do 150 ur na leto. Za prebivalce v stanovanjskem bloku v Idriji smo privzeli, da se zadržujejo v stanovanju dve tretjini časa na leto.

Kljub temu, da smo v nekaterih ustanovah določali tudi faktor ravnovesja, ga pri oceni prejete efektivne doze nismo upoštevali, ker so bile to le trenutne vrednosti. Pri izračunih smo za vse objekte privzeli faktor 0.4 iz Uredbe UV2 [6].

Ocenjene efektivne doze za zaposlene in otroke v vrtcih, šolah in za stanovanjske objekte so prikazane v tabeli (Tabela 7). Ocenjene efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah so prikazane v tabeli (Tabela 8). Z rdečo barvo so označene efektivne doze, višje od 2 mSv na leto. Po ICRP 65 [9] prispevajo povprečne letne koncentracije radona med 200 – 600 Bq/m³ v bivalnem okolju (400 Bq/m³ smo privzeli za vrtce in šole) in med 500 – 1500 Bq/m³ v delovnem okolju (1000 Bq/m³ smo privzeli za delovno okolje) efektivno dozo med 2 – 6 mSv/leto. Po Uredbi UV2 [6] povprečna celoletna koncentracija radona ob ravnovesnem faktorju 0,4 doprinese k letni efektivni dozi 6 mSv. To je mejna vrednost doze, pri kateri razvrščamo zaposlene, ki delajo z viri sevanj (tudi naravnimi), v skupino A ali B. Smatramo, da bi morali prebivalci in zaposleni v javnih ustanovah, kot so šole, vrtci in bolnišnice, prejeti nižje efektivne doze od 6 mSv/leto. Zato je smiselno, da posebej prikažemo bivalna

in delovna okolja, kjer efektivne doze presegajo 2 mSv/leto, z namenom, da se v okviru zmožnosti izvedejo ukrepi sanacije za zmanjšanje efektivne doze, kljub temu, da koncentracije radona ne presegajo 400 Bq/m³ oziroma 1000 Bq/m³.

Iz tabele (Tabela 7) je razvidno, da v dvanajstih ustanovah od šestintridesetih (rezultati za enaintrideset) efektivne doze za zaposlene, otroke ali prebivalce presegajo 2 mSv/leto, v štirih ustanovah pa presegajo 6 mSv/leto.

V drugih javnih ustanovah, kar v devetih ustanovah od enajstih, efektivne doze za zaposlene presegajo 2 mSv/leto, v štirih pa 6 mSv/leto (Tabela 8).

Tabela 7: Ocenjene efektivne doze za odrasle in otroke v vrtcih, šolah in stanovanjih

Zap št.	Ustanova	Prostor	[Bq/m ³]	Odrasli / otroci	
				Ure (h)	Ef. doza (mSv)
1	VVO Muljava	igralnica	4626	1584	23,30
2	Vrtec Pikpolonica Brezje	igralnica	385	1584	1,94
3	Vrtec Idrija enota Godovič	igralnica 1	181	1584	0,91
4	Vrtec Sežana-enota Jasli	igralnica	860	1584	4,33
5	Vrtec Sežana-enota Divača	igralnica	362	1584	1,82
6	Vrtec Sežana-enota Komen	igralnica	316	1584	1,59
7	OŠ Dvor - vrtec	igralnica - dojenčki	528	1584	2,66
8	Vrtec Črnomelj, Majer	igralnica	169	1584	0,85
9	Vrtec Črnomelj, Čardak	igralnica	160	1584	0,80
10	Vrtec Črnomelj, Novi vrtec	igralnica	106	1584	0,53
11	Vrtec Mokronog	srednja igralnica	46	1584	0,23
12	OŠ Mirna peč - vrtec	igralnica Veverice	97	1584	0,49
13	vrtec Prevole	igralnica 1	1684	1584	8,48
14	vrtec Trebnje	igralnica 5 - Ostržek	152	1584	0,76
15	vrtec Trebnje, vrtec Dobrníč	igralnica	844	1584	4,25
16	vrtec Vavta vas	igralnica Ribe	846	1584	4,26
17	vrtec Mirna	III. Starostno obdobje	44	1584	0,22
18	vrtec Sodražica	igralnica Pikapolonice	396	1584	2,00
19	vrtec Šentjernej	vrtec pri šoli	110	1584	0,55
20	vrtec Šentjernej	muca copatarica	221	1584	1,11
21	vrtec Šentjernej	Vrtec Orehovica	47	1584	0,23
22	vrtec Metlika	igralnica Zajčki	127	1584	0,64
23	vrtec Semič	igralnica stari del	268	1584	1,35
24	vrtec Stari trg ob Kolpi	igralnica	489	1584	2,46
25	vrtec Škocjan Bučka	vrtec Škocjan Bučka	948	1584	4,78
26	vrtec Škocjan	vrtec Škocjan	95	1584	0,48
27	vrtec Veliki gaber	igralnica	33	1584	0,16
28	Vrtec Idrija - enota Arkova	otroci 1-3 leta	43	1584	0,21
29	Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti - učitelji	1325	1320	5,56
	Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti - otroci	1325	150	0,63
30	OŠ Prevalje	učilnica 3a	1481	1320	6,21
31	OŠ Godovič	1, 2 in 3 razred	217	1320	0,91
32	OŠ Dvor	jedilnica	175	1320	0,73
33	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 10	239	1320	1,00
34	OŠ Komen	učilnica 4. razred	795	1320	3,34
35	Idrija Tomšičeva 19, Simon Pavšič	soba 1.nadstropje	126	5840	2,34
36	Idrija Tomšičeva 19, Lapanja	kuhinja, pritličje	420	5840	7,80
37	Vrtec Hrib Vrhnika	učilnica pritličje levo	217	1320	0,91
38	Občina Ribnica - Partizan	telovadnica	399	1320	1,67

* rdeče so označene lokacije, kjer odrasli ali otroci prejmejo letne efektivne doze, višje od 2 mSv

Tabela 8: Ocenjene efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah

št.	Ustanova	Prostor	[Bq/m ³]	ure	doza (mSv)
1	Policija Kočevje	klet	729	2000	4,64
2	Policija Sežana	administracija	220	2000	1,40
3	Policija Kozine	dežurni	752	2000	4,78
4	Železniška postaja Divača	prometni urad soba 2	1221	2000	7,77
5	Železniška postaja Kočevje	jedilni prostor	1516	2000	9,64
6	Železniška postaja Novo mesto	prometni urad	57	2000	0,36
7	Železniška postaja Črnomelj	prometni urad	1291	2000	8,21
8	ZD Divača	zdravnik sprejemnica	755	2000	4,80
9	Lekarna Divača	lekarna	377	2000	2,40
10	Psihiatrična klinika Ljubljana	mizarska delavnica	810	2000	5,15
11	Bolnišnica Idrija	lekarna prodajni pult	1004	2000	6,39

* rdeče so označene lokacije, kjer bi odrasli prejeli letne efektivne doze, višje od 2 mSv, če bi se celoten delovni čas zadrževali v teh prostorih

3.7 Zaključki

V devetinštiridesetih različnih objektih je bilo opravljenih 86 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in tri meritve z ogljenimi adsorberji. Izmerjene koncentracije radona so v štiriinštiridesetih (od šestdesetih) izbranih prostorih šol in vrtcev nižje od 400 Bq/m³, v ostalih šestnajstih pa višje od 400 Bq/m³. Izmerjene koncentracije radona v drugih javnih ustanovah so v sedemnajstih izbranih prostorih (od petindvajsetih) nižje od 1000 Bq/m³, v ostalih osmih pa višje od 1000 Bq/m³.

Pri določanju virov radona v objektu ne smemo mimo dejstva, da je koncentracija radona v razpokah, jaških in v objektu odvisna od geološke strukture tal pod objektom in stanja objekta (kvaliteta izgradnje, starost objekta, poškodbe temeljne plošče...).

Geološka sestava tal v Sloveniji je zelo različna. V alpskem svetu prevladujejo apnenci in dolomiti, v predalpskem svetu so rjava tla, na prepustnih silikatnih peščenih podlagah pa tudi podzoli. V osrednji Sloveniji in Dolenjski se na območjih apnenca in dolomita pojavljajo rjava tla. Na Primorskem se na karbonatnem flišu pojavljajo rjava tla. Nižine vzhodne Slovenije obsegajo nanose nekarbonskega proda.

Radon, ki nastaja pri razpadu Ra-226 v kristalih kamnin, se nabira v praznih prostorih med kristali in granulami. Količine vlage v porah in velikost granul določata, koliko radona bo prišlo v večje prazne prostore, od koder migrira proti površini [10], [11]. Dominanten proces je difuzija, v tleh z večjimi razpokami (kraška tla) pa konvekcija. Običajno prihaja radon na površje iz globine do 1 m. Bolj razpokana tla in tla z večjimi granulami imajo večjo permeabilnost (radon lažje prihaja na površje). Radon iz bolj permeabilnih tal prihaja na površje iz globine do 5 m. Iz navedenega sledi, da vremenski parametri (temperatura, zračni tlak, veter, dež) različno vplivajo na izhajanje radona iz različnih vrst tal.

Radon v tleh prihaja v objekte skozi temeljno ploščo z difuzijo ali s konvekcijo. V primeru nerazpokane temeljne plošče pride v objekt z difuzijo 1 – 2 % radona iz tal. V primeru ene ali več razpok na m² tal lahko pride v objekt tudi do 25 % radona iz tal [12].

Na podlagi zgoraj navedenega lahko razložimo nesoglasja med rezultati trenutnih meritev koncentracije radona z merilnimi instrumenti v razpokah in dolgotrajnih meritev koncentracije radona z detektorji sledi v prostorih.

V nekaterih primerih, kot npr. OŠ Dvor pri Žužemberku in vrtec Sežana so glavni vir radona jaški, po katerih prihaja radon v prostor. V OŠ Komen v merjenih učilnicah ni jaškov, torej so glavni vir radona razpoke v tleh. Visoke koncentracije radona v jaških na hodniku niso direktni vzrok radona v učilnicah, kažejo pa na to, da lahko pride v prostor veliko radona, če so tla razpokana, kot je to očitno v učilnici 4. razreda in telovadnici.

Na podlagi rezultatov meritev in časa zadrževanja v prostorih objektov smo ocenili učinkovite doze za zaposlene in otroke. Pri oceni doze smo upoštevali eno meritev koncentracije radona za vse prostore v objektu in čas zadrževanja v prostorih, ki velja za vse zaposlene in otroke. Ta pristop je zelo konzervativen. Vzemimo primer OŠ Prevalje, kjer se koncentracija radona (merjena z detektorji sledi) v dveh sosednjih učilnicah razlikuje za faktor štiri. Glede na to, da je nesmotrno meriti koncentracijo radona v vseh prostorih v objektu in glede na to, da so učinkovite doze merodajne za izvajanje ukrepov sanacije predlagamo, da URSVS uskladi in standardizira metodologijo ocenjevanja učinkovite doz.

3.8 Reference

- [1] An overview of radon surveys in Europe, Luxembourg, EC, 2005
- [2] M. Humar, J. Škvarč, R. Ilič, M. Križman, Z. Jeran, R. Šajn: Koncentracije radona v bivalnem okolju Slovenije (zaključno poročilo)
- [3] ZVISJ-UPB2), Ur.list RS št. 102, 2004
- [4] Program sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja, Ur.list RS št. 17, 2006
- [5] Pravilnik o pogojih in metodologiji ocenjevanja doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Ur.list RS št. 115, 2003
- [6] Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.list RS št. 49, 2004
- [7] P. Jovanovič: Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja, LMSAR-20060047-PJ, ZVD, 2006
- [8] J. Vavpotič: IJS-DP-9648, IJS, 2007
- [9] ICRP 65: Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Pergamon, 1994
- [10] Joachim Kemski, Ralf Klingel: Das geogene Radon-Potential, v knjigi: Siehl. A.: Umweltradioaktivität, Ernst & Sohn, Bonn, 1996
- [11] W. W. Nazaroff, A. V. Nero: Radon and its decay products in indoor air, John Wiley & Sons, 1988
- [12] K. A. Landman: Diffusion of radon through cracks in a concrete slab, Health Physics, Vol. 43, No. 1, 1982

4 Obsevanost pacientov pri diagnostičnih radioloških posegih

4.1 Uvod

Interventna radiologija oziroma kardiologija je veja radiologije, ki s pomočjo ionizirajočega sevanja omogoča uporabo majhnih inštrumentov, uvedenih v človekovo telo večinoma skozi žile. Svoje začetke ima v poznih dvajsetih letih prejšnjega stoletja, ko je prvo kateterizacijo srca (leta 1929) izvedel dr. Werner Forssmann in sicer kar na sebi z ureterskim katetrom. Za svoje pionirsko delo na področju interventne kardiologije je leta 1956 dobil tudi Nobelovo nagrado (http://en.wikipedia.org/wiki/Werner_Forssmann). Leta 1964 pa dr. Charles Theodor Dotter izvedel prvo uspešno angioplastiko oziroma razširitev stenoze arterije na nogi 82 letne ženske, ki ni hotela privoliti v kirurški poseg (<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=101126>). Prvi uspešen primer koronarne angioplastike pa je izvedel Andreas Gruentzig leta 1977 v Zürichu.

Od tedaj se interventna kardiologija in radiologija razvijata zelo hitro. K temu je močno pripomogel hiter razvoj tehnologije – radiološke opreme na eni in različnih pripomočkov, ki jih je mogoče uporabiti transluminalno, na drugi strani. Hkrati z naraščanjem števila indikacij za posege se tudi zmanjšuje število zapletov, zato ti posegi pogosto nadomeščajo kirurško zdravljenje.

Vendar je pri zapletenih posegih včasih neizogibna dolgotrajna uporaba rentgenskega sevanja, s pomočjo katerega se poseg spremlja in dokumentira. Posledica tega je lahko razmeroma visoka obsevanost pacienta. To zlasti velja za dozo na koži, na mestu vstopa sevanja v telo. Če doza na koži oziroma delu kože preseže določen prag, se pojavi sevalna poškodba. Glede na poročila o povzročenih poškodbah kože, ki jih je mogoče najti v literaturi ali na svetovnem spletu, so poškodbe najpogostejše pri interventni kardiologiji in manj verjetne v drugih vejah interventne radiologije.

ZVD Zavod za varstvo pri delu je v letu 2007 na podlagi naročila Uprave Republike Slovenije za varstvo pred sevanji izvajal nalogo z naslovom Analiza izpostavljenosti pacientov pri posegih interventne kardiologije. Naloga je vključevala natančno preverjanje rentgenskih aparatov, ki se uporabljajo v interventni kardiologiji v Sloveniji. Zaradi težav z enim od aparatov na Univerzitetnem kliničnem centru (UKC) v Ljubljani, ki so ga ob koncu leta 2007 zamenjali, in posledično obremenjenosti drugega rentgenskega aparata, meritev na UKC v okviru lanske naloge nismo izvedli. Namesto tega pa smo izvedli meritve še na aparatu v MC Medicoru v Izoli.

V letošnjem letu pa smo nalogo dopolnili še s podatki teh dveh rentgenskih aparatov, s čemer so tako zajeti vsi rentgenski aparati, ki se uporabljajo pri interventnih kardioloških posegih v Sloveniji.

Poleg tega smo nalogo deloma razširili tudi na področje interventne radiologije, saj so tudi na tem področju nekateri posegi takšni, da je obsevanost pacientov dovolj visoka, da bi lahko povzročila sevalne poškodbe kože.

4.2 Merilne metode in oprema

4.2.1 Dozimetrija pacientov

Podatki o obsevanosti pacientov oziroma njihovih prejetih dozah pri interventnih posegih se uporabljajo za različne namene. Z njimi je mogoče oceniti prispevek k izpostavljenosti prebivalstvo zaradi posegov, oceniti tveganja za stohastične učinke, prav tako pa je dozimetrija pomembna pri optimizaciji posegov. Predvsem pa so čim bolj natančni podatki o dozi pomembni za ugotavljanje možnosti nastanka determinističnih učinkov, ki bi bili posledica previsokih doz. Zbrani podatki lahko služijo tudi za primerjavo pri ocenjevanju delovanja različnih tipov rentgenskih aparatov ali pa za primerjavo dela med različnimi operaterji rentgenskega aparata.

Danes se uporabljata večinoma dve metodi za ocenjevanja obsevanosti pacientov pri rentgenskih aparatih za izvajanje interventnih posegov. Prva je merjenje produkta doze (kerme) in površine polja P_{KA} . Oznaka P_{KA} je določena v ICRU 74 (ICRU Report 74, 2005), za isto količino pa najdemo pogosto tudi druga imena: KAP – Kerma Area Product ali DAP – Dose Area Product. Druga količina pa je kerma v zraku v referenčni točki aparata (K_r). Poleg dozimetričnih količin pa sta indikator obsevanosti tudi čas diaskopije in število slikovnih serij oziroma skupno število slik.

Večina novih rentgenskih aparatov ima možnost prikaza obeh omenjenih količin na glavnem zaslonu aparata. Namen tega je predvsem opozarjanje operaterja o kopičenju doze med posegom.

4.2.2 Dozimetrične meritve

Meritve v okviru naloge v letošnjem letu smo izvedli po enakih metodah, kot so bile izvedene meritve v preteklem letu ter tako zagotovili primerljivost rezultatov. Meritve so bile izvedene na dveh rentgenskih aparatih, ki se uporabljata v Kardiološkem laboratoriju Univerzitetnega kliničnega centra v Ljubljani in na enem aparatu za interventno radiologijo Inštituta za radiologijo Univerzitetnega kliničnega centra v Ljubljani.

Dozimetrične značilnosti posameznega rentgenskega aparata smo določili pri tistih načinih delovanja posameznega aparata, ki se najpogosteje klinično uporabljajo. Vse meritve smo izvedli s simulacijo preiskave z vodnim fantomom, ki je simuliral pacienta. Večina protokolov za določanje dozimetričnih lastnosti aparata za simulacijo standardnega pacienta uporablja 20 cm vode ali pleksi stekla. Mi smo uporabili 20 cm vode, poleg tega pa še 16 cm za simulacijo manjšega in 24 cm za močnejšega pacienta. Na ta način smo tudi preverili odziv sistemov avtomatske kontrole ekspozicij oziroma svetlosti slik na zaslonu.

Pri vsaki simulaciji smo merili kermo (K) na mestu, kjer je sevanje vstopalo v fantom, poleg tega pa tudi kermo na slikovni detektor (K_{SD}). K smo merili z ionizacijsko celico v sredini polja. Ionizacijska

celica poleg kerme, ki je posledica koristnega snopa sevanja, izmeri tudi prispevek povratnega sipanja. Tako je izmerjena vrednost enaka vstopni kožni dozi (VKD). K_{SD} pa smo merili z polprevodniškim merilnikom, ki pa je konstruiran tako, da izmeri le prispevek koristnega snopa brez povratnega sipanja. Enako meritev namreč uporabljajo proizvajalci sistemov kot parameter pri nastavitvi sistema avtomatske kontrole ekspozicij. Hkrati merjenje K_{SD} omogoča enostavno primerjavo različnih sistemov med seboj.

4.2.3 Preverjanje vgrajenih merilnikov P_{KA}

Nekateri rentgenski aparati za interventno radiologijo oziroma kardiologijo imajo na izhodu iz ohišja rentgenske cevi za spremljanje obsevanosti pacientov vgrajene merilne celice, ki merijo produkt kerme in površine obsevnega polja (P_{KA}).

V okviru naloge smo pri tistih aparatih, ki imajo takšen merilnik vgrajen, preverili njegovo delovanje oziroma točnost prikazanih vrednosti P_{KA} . Preverjanje smo izvedli z merjenjem kerme z ionizacijsko celico in hkratnim merjenjem velikosti obsevnega polja s filmom ali pa z umerjenim merilnikom P_{KA} , nameščenim za vgrajeni merilnik.

4.2.4 Ocenjevanje kakovosti slik na zaslonu

Kakovosti slik na zaslonih smo ocenjevali s pomočjo fantoma FL-18 (proizvajalec Test Objects, Velika Britanija). Fantom vsebuje visokokontrastni testni objekt za določanje mejne prostorske ločljivosti in serijo nizkokontrastnih objektov za določanje kontrastne ločljivosti.

4.2.5 Meritve kožne doze z GafChromic folijami

Dozimetrične folije (GafChromic®) so folije iz posebne snovi, pri katerih ob obsevanju pride do kemične reakcije in pri tem spremenijo barvo. Neobsevane folije so oranžne ob obsevanju pa potemniijo – podobno kot fotografski filmi, zato jim včasih tudi rečemo filmi. Prednost pred običajnimi filmi je predvsem v tem, da za to, da je počrnitev vidna, ni potrebna kemična obdelava (razvijanje in fiksiranje). Za opazno spremembo barve pa je potrebna razmeroma visoka kerma (> 100 mGy), zato so folije uporabne za merjenje vstopnih kožnih doz pri radioloških posegih, kjer so prejete doze visoke (interventni posegi).

Pri uporabi folijo položimo na preiskovalno mizo aparata pod pacienta, saj se rentgenska cev pri interventnih posegih večinoma nahaja pod pacientom (razen pri lateralnih projekcijah). Na obsevanem filmu dobimo sliko obsevalnih polj, ki jo lahko odčitamo z optičnim čitalnikom (skenerjem) in s tem spremenimo v digitalno obliko. Z analizo slike lahko iz podatkov o počrnitvi določimo prejeto dozo. Ponavadi pri analizi slike uporabimo le rdeči del spektra slike, saj je v tem delu največja absorpcija svetlobe. Pomembno je, da po obsevanju filmov počakamo vsaj 24 ur preden začnemo z odčitavanjem.

4.3 Ustanove in rentgenski aparati

Interventni kardiološki posegi se na Univerzitetnem kliničnem centru v Ljubljani izvajajo v Kardiološkem laboratoriju z dvema rentgenskima aparatoma in sicer starejšim (vgrajen je bil leta 2002) Siemens AXIOM ARTIS FC in novejšim (vgrajen 2007) General Electric INNOVA 2100.

Na Inštitutu za radiologijo pa za interventne radiološke posege uporabljajo rentgenski aparat Siemens MULTISTAR. Aparat je po svoji zasnovi podoben aparatom za kardiološke posege (gibljiv C-lok), ima pa večji slikovni detektor (ojačevalec slike), saj so pri nekaterih posegih potrebna polja večja. Poleg tega aparat ne omogoča visokih frekvenc slik pri diaskopiji in radiografiji, ki so potrebne pri kardioloških posegih zaradi gibanja srca.



Slika 3: Fotografija rentgenskega aparata Siemens AXIOM ARTIS FC Kardiološkega laboratorija UKC Ljubljana



Slika 4: Fotografija rentgenskega aparata GE INNOVA 2000 Kardiološkega laboratorija UKC Ljubljana



Slika 5: Fotografija rentgenskega aparata Siemens MULTISTAR Inštituta za radiologijo UKC Ljubljana

4.4 Obsevanost pacientov – kardiologija

4.4.1 Podatki o obsevanosti pacientov zbrani iz rentgenskih aparatov

Na vsakem od aparatov, vključenih v nalogo, smo s pomočjo osebja na aparatih zbirali podatke o posegih in dozimetrične podatke, ki jih prikaže posamezni aparat. Za zbiranje podatkov smo uporabili enake tabele, kot v preteklem letu (vzorec je v prilogi).

Na podlagi zbranih dozimetričnih poročil, smo naredili primerjavo obsevanosti pacientov pri dveh tipih kardioloških interventnih posegov na različnih rentgenskih aparatih in sicer:

- i koronarna angiografija (CA) in
- ii koronarna angiografija ter dodatno angioplastika (CA + PTCA).

4.4.2 Meritve vstopne kožne doze z dozimetričnimi folijami

Pri nekaterih pacientih, pri katerih je bilo mogoče vnaprej oceniti, da bo šlo za bolj zapleten poseg in je bilo zato pričakovati višje doze na koži, smo uporabili dozimetrične GafChromic folije.

Meritve vstopne kožne doze z dozimetričnimi folijami so bile opravljene pri 28 pacientih, pri katerih je bil poseg opravljen v letu 2008. Pri tem je ocenjena najvišja doza na koži pri treh pacientih preseгла 2 Gy. Te tri dozimetrična folije tudi nekoliko podrobneje analiziramo v nadaljevanju. V tabeli so podatki teh posegov vključno z ocenjeno najvišjo dozo na koži.

4.5 Obsevanost pacientov – interventna radiologija

Pri interventni radiologiji smo za ocenjevanje obsevanosti pacientov izbrali poseg znotrajžilnega zdravljenja sprememb na aorti. Poseg včasih imenujemo s kratico AAA – anevrizma abdominalne aorte. Opis posega je v prilogi med opisi posegov interventne radiologije, pri katerih obstaja možnost determinističnih učinkov na koži pacientov. Poseg se izvaja na rentgenskem aparatu Siemens MULTISTAR, ki smo ga vključili v nalogo in tako določili njegove dozimetrične lastnosti (poglavje 3).

4.5.1 Podatki o obsevanosti pacientov zbrani iz rentgenskega aparata

Podatki o obsevanosti pacientov so zbrani za posege opravljene do 1.7. 2008 (19 pacientov), poleg tega pa nam je dr. Dimitrij Kuhelj posredoval tudi podatke za leto 2007 (46 pacientov). Diaskopija pri teh posegih je trajala od 2,9 minute do 77,3 minute (povprečje 16,4 minute).

Povprečna vrednost PKA izpisana na kontrolnem računalniku znaša 200 Gy cm² (od 71 do 564 Gy cm²). Ob upoštevanju popravka zaradi umeritve merilnika KAP pa povprečna vrednost PKA znaša 169 Gy cm² (od 59 do 478 Gy cm²).

Kerma v referenčni točki pa je bila najmanj 296 mGy in največ 5105 mGy z povprečjem 853 mGy.

4.5.2 Meritve vstopne kožne doze z dozimetričnimi folijami

Meritve vstopne kožne doze z dozimetričnimi folijami so bile opravljene pri 18 pacientih, pri katerih je bil poseg opravljen v letu 2008. Pri tem je ocenjena najvišja doza na koži pri dveh pacientih preseгла 1,5 Gy in pri enem 2 Gy.

4.6 Zaključki

V interventni radiologiji se število različnih posegov hitro povečuje. Glede na to, da posegi postajajo vse bolj zapleteni, pri nekaterih obstaja verjetnost zelo visokih doz pacientov. Vendar je podatkov o tem zaenkrat še bolj malo. Zato smo mnenja, da je takšne posege potrebno najprej identificirati in, podobno kot pri kardioloških interventnih posegih, zagotoviti spremljanje obsevanosti pacientov.

Po analizi zbranih dozimetričnih podatkov lahko zaključimo, da je obsevanost pacientov ob isti radiološki preiskavi lahko zelo različna. Vzroki za to so predvsem različna stopnja zahtevnosti posegov in morebitnih zapletov, ki se pojavijo pri posameznem pacientu. Poleg tega na prejete doze vplivajo še razlike v tehničnih lastnostih rentgenskih aparatov, različni protokoli za izvedbo posegov in masa oziroma velikost pacienta.

V okviru naloge smo ugotovili, da tudi pri nas pri nekaterih pacientih/posegih vstopne kožne doze dosežajo tudi nekaj Gy, pri teh vrednostih pa že obstaja možnost za nastanek determinističnih poškodb. Vendar so ti primeri redki in se pojavijo le ob zares zahtevnih posegih. Dozimetrični podatki, ki jih prikaže rentgenski aparat (PKA in Kr) lahko služijo kot dodatno opozorilo za pacienta oziroma njegovega zdravnika na možnost poškodb kože. Mnenja smo, da bi bilo potrebno izdelati protokol ravnanja v primerih, ko so presežene določene vrednosti dozimetričnih količin izpisanih ob koncu posega.

5 Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije

Izvajalca programa: ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d. in Institut "Jožef Stefan"

Koordinatorji: dr. Gregor OMAHEN, univ.dipl.fiz. (ZVD), dr. Matjaž KORUN, doc. dr. Matej LIPOGLAVŠEK in dr. Benjamin Zorko (vsi IJS)

Izvajalci ZVD: Peter JOVANOVIČ, Majda LEVSTEK, Lili PERŠIN, Dušan KONDA, mag. Urban ZDEŠAR, dr. Marko GIACOMELLI, dr. Gregor OMAHEN

Izvajalci IJS: 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, dipl. inž. fiz., dr. Marijan Nečemer, dr. Andrej Osterc, Barbara Svetek, inž. kem. tehnol., doc. dr. Vekoslava Stibilj, Zdenka Trkov, inž. kem. tehnol., dr. Tim Vidmar, mag. Branko Vodenik

Projektna naloga je financirana po pogodbi z Ministrstvom za okolje in prostor ter Ministrstvom za zdravje

Naslov poročila	Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2008
Report title	Radioactivity in the living environment of Slovenia for the year 2008
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 2008 za dojenčke < 12,6 μSv , za otroke od 7 do 12 let < 9,3 μSv in za odrasle < 6,4 μSv . Ta vrednost predstavlja približno 1 % mejne letne doze za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju.
Abstract	<i>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 2008 are < 12.6 μSv, < 9.3 and < 6.4 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.</i>
Ključne besede	radioaktivno onesnaženje okolja, umetni in naravni radionuklidi, specifična aktivnost radionuklidov, reke, vodovodi, suhi in mokri used, zrak, aerosoli, zemlja, hrana, ingestija, doze zunanjega sevanja, ocena učinkovitih doz, primerjalne meritve
Keywords	<i>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</i>

5.1 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 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 odvezemajo 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 Inštitut 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 radioaktivnosti življenjskega okolja Republike 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 radioaktivnosti življenjskega okolja Republike 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 delovanja preteklih jedrskih eksplozij in černobilske jedrske nesreče.

5.2 Program meritev

Program meritev radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja v Republiki Sloveniji je bil v letu 2008 enak kot v prejšnjih dveh letih. Način zbiranja in odvzema vzorcev, priprava in obdelava ter meritve radioaktivnosti so v skladu z enotno metodologijo, predpisano z zgoraj omenjenimi pravilniki.

Stalen nadzor nad kontaminacijo okolja s sevalci gama, Sr-90, I-131 in H-3 je tudi v letu 2008 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 letu 2007. ZVD je v letu 2008 izvajal meritve radioaktivnosti zraka, zemlje, padavin, hrane, IJS pa meritve radioaktivnosti tekočih vod, pitnih vod in krmil ter zunanega sevanja.

Program meritev v Sloveniji v letu 2008 je prikazan v spodnji tabeli (Tabela 9). 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 6, Slika 7).

Tabela 9: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2008 (modra – ZVD, zelena - IJS)

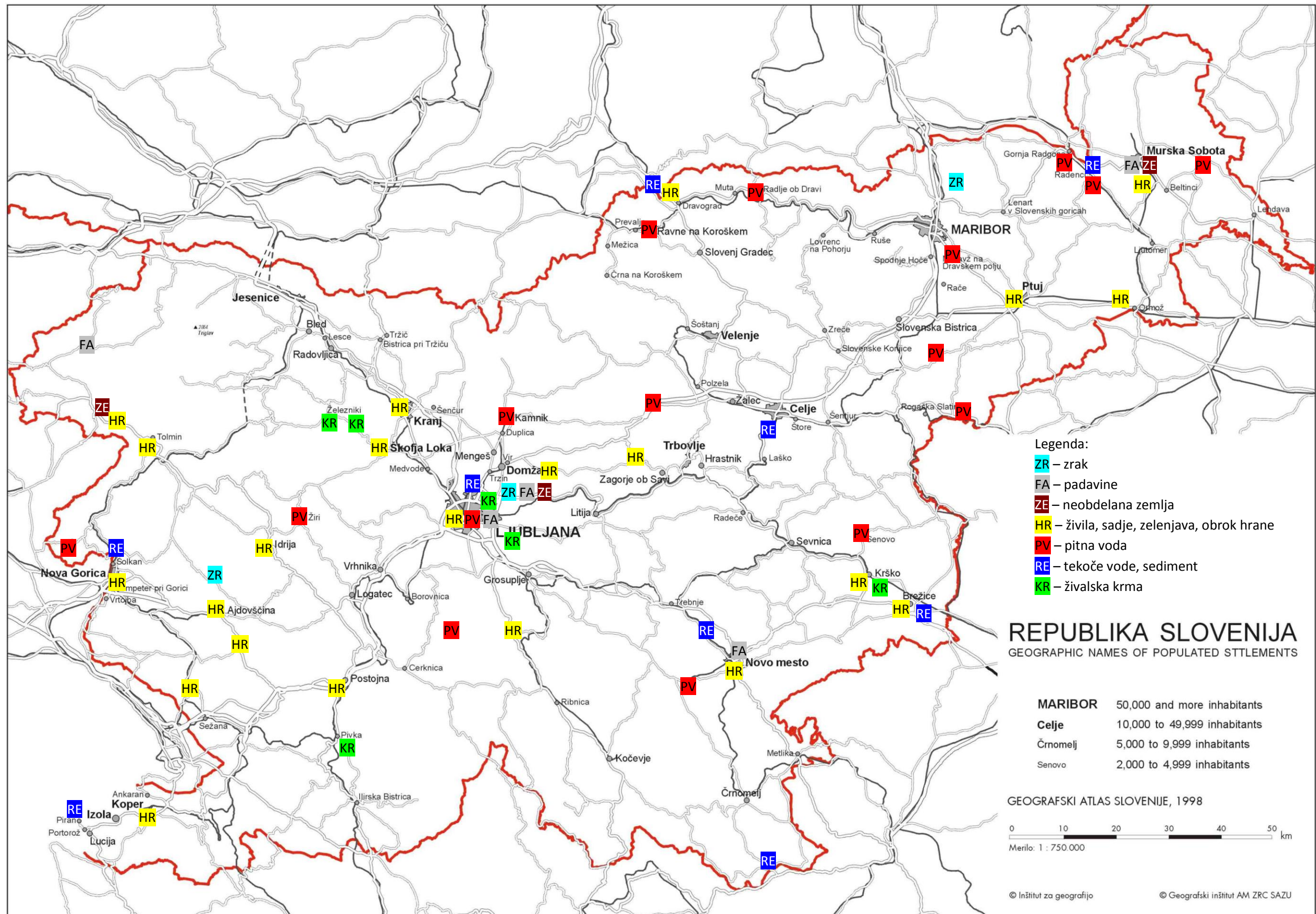
Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev	
1.0. REKE, MORJE					
1.1. Izotopska analiza VL spektrometrija gama	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno	2	
	SAVA (Brežice)	voda	polletno	2	
	DRAVA (Dravograd)	voda	polletno	2	
	SOČA (Anhovo)	voda	polletno	2	
	SAVINJA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

Tabela 9 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2008 (modra – ZVD, zelena - IJS)

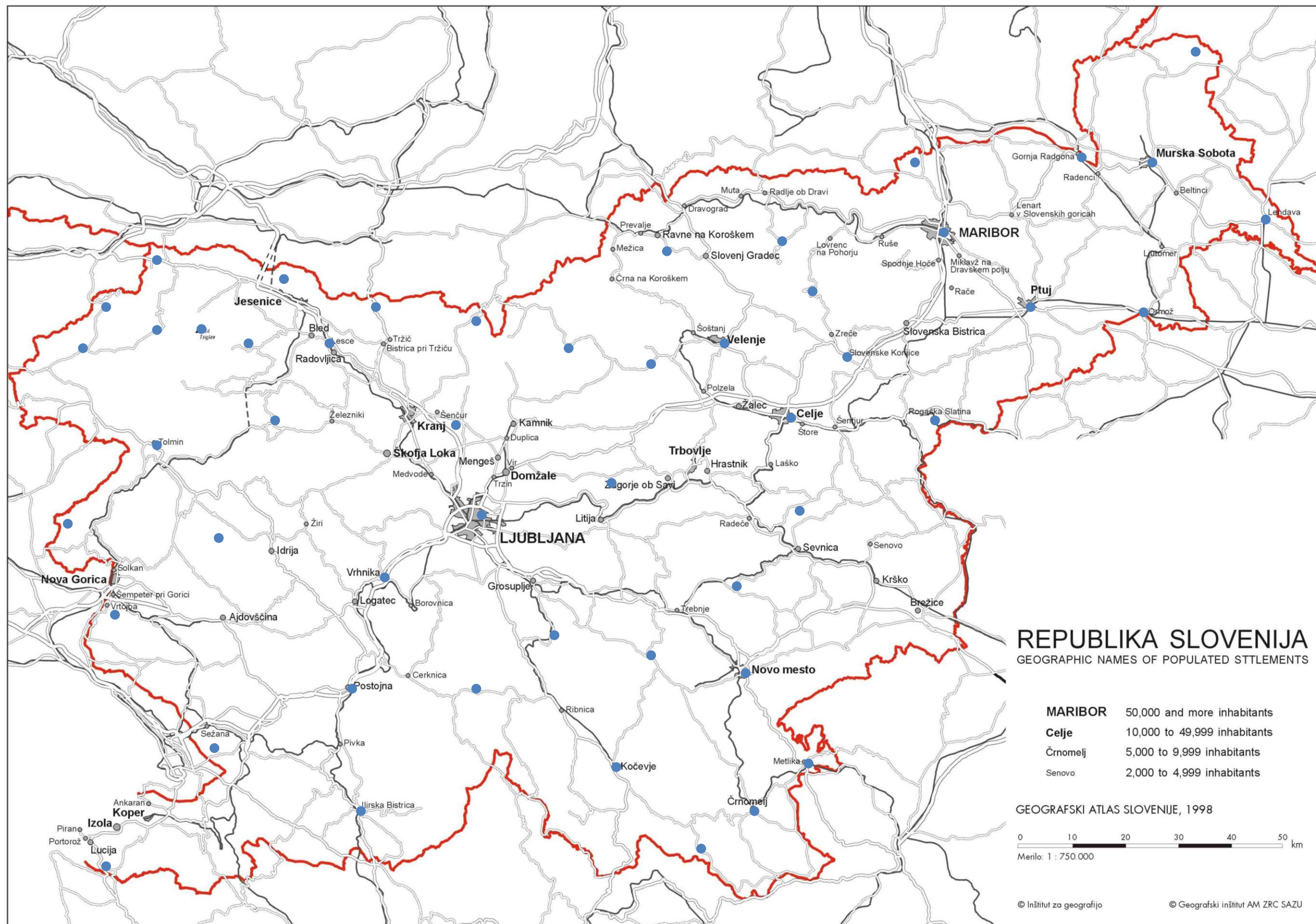
Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost meritev	Letno št. meritev
4.0. TRDE IN TEKOČE PADAVINE				
4.1. Izotopska analiza	Ljubljana	Zbirna količina	mesečno	12+12
	Bovec	skupnega useda	tromesečno	4
VL spektrometrija gama	Murska Sobota	v enem mesecu na	tromesečno	4
	Novo mesto	višini 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 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 9 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2008 (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	10 lokacij	enkratni vzorec	1 x letno	12



Slika 6: Lokacije vzorčevanja vzorcev iz okolja



Slika 7: Lokacije TLD za meritve letne doze zunanjega sevanja

5.3 Metodologija meritev

Meritve v okviru rednega monitoringa življenjskega okolja v Republiki Sloveniji v letu 2008 sta izvajala ZVD in IJS. Za določanje specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih iz okolja so se uporabljale visokoločljivostna spektrometrija gama (ZVD in IJS), radiokemična analiza Sr-90 (ZVD in IJS), radiokemična analiza H-3 (IJS) in radiokemična analiza I-131 (ZVD). Za meritve doze zunanega sevanja so se uporabljali TL dozimetri (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.

IJS je v letu 2008 izvajal meritve radioaktivnosti pitne vode, tekočih vod, sedimenta, zemlje v Ljubljani in krmil ter zunanega sevanja. Vzorci so na IJS vzorčili, pripravili in merili v skladu s sprejetimi postopki IJS. Sevalce gama se določa v skladu s postopkom *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, 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.

5.3.1 Akreditirane meritve

Tako ZVD kot IJS sta za izvajanje meritev z metodo visokoločljivostne spektrometrije gama akreditirana v skladu s standardi SIST EN ISO/IEC 17025. Radiokemične analize Sr-89, Sr-90, I-131 ter H-3 in meritve doze zunanega sevanja se ne izvajajo po akreditiranih metodah, vendar izvajalci meritev vzdržujejo sistem kakovosti in nenehnega izboljševanja. Rezultati, ki se ne nanašajo na akreditirano dejavnost, so posebej označeni.

5.3.2 Izračuni specifičnih aktivnosti

Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih zraka podajamo v Bq/m^3 , v vzorcih tekočih in pitnih vod v Bq/m^3 , v vzorcih padavin na količino padavin v Bq/mm , v Bq/m^3 in preračunane na enoto prestrezne površine, v Bq/m^2 . V vzorcih zemlje podajamo specifične aktivnosti radionuklidov v Bq/kg in preračunane na enoto površine za prvo plast od 0 – 5 cm v Bq/m^2 . Specifične aktivnost radionuklidov v vzorcih hrane (mleko, meso, sadje, zelenjava in močnati izdelki) podajamo v Bq/kg . Doze zunanega 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 10).

Tabela 10: 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

5.4 Rezultati meritev in komentar

5.4.1 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.

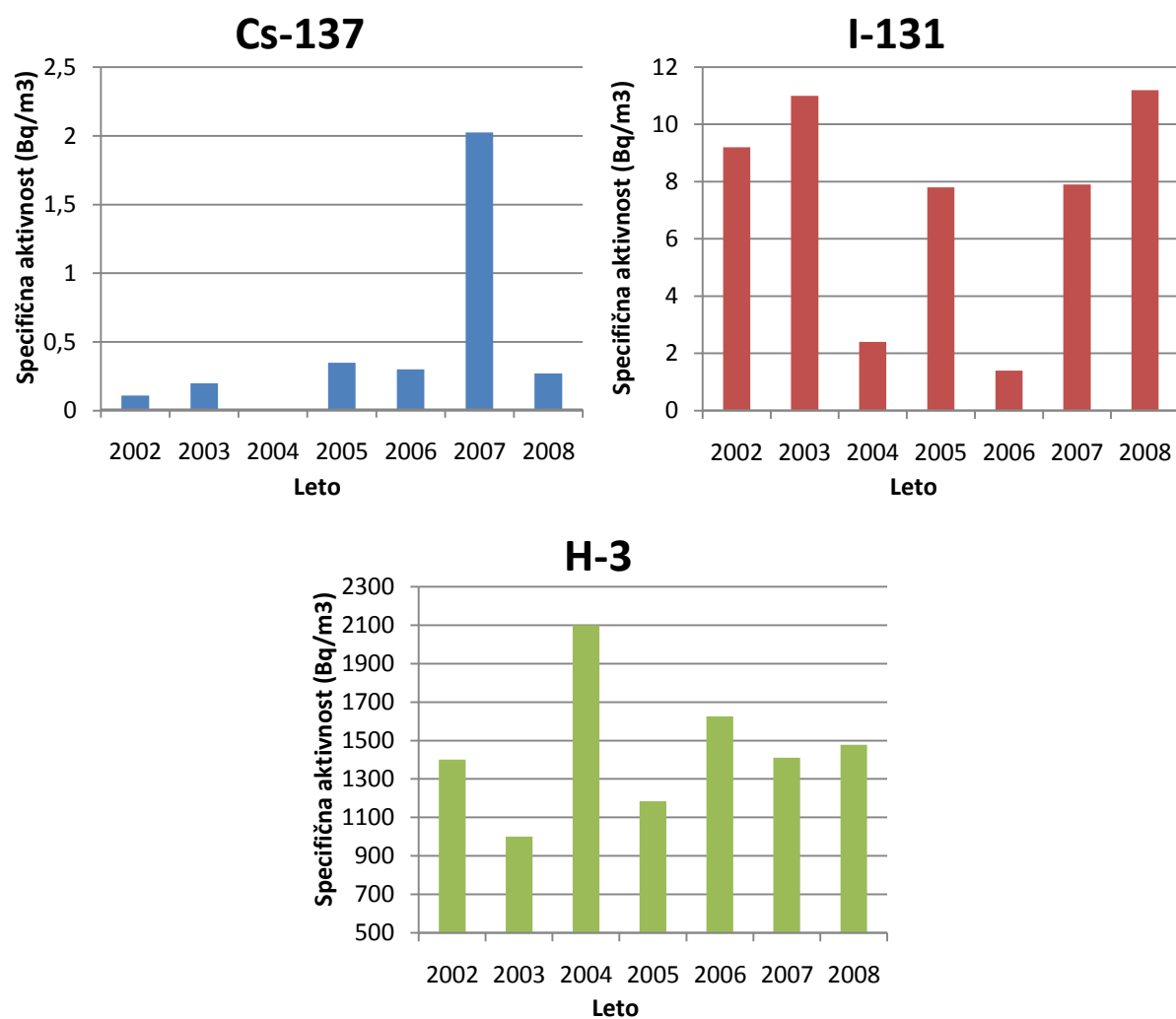
V vzorcih rek smo merili umetne radionuklide Cs-137, Sr-90 in H-3, ki so produkt človekovih dejavnosti, ter I-131, ki se uporablja v terapevtske namene v bolnišnicah v Sloveniji in v Avstriji. Določali smo tudi specifične aktivnosti naravnih radionuklidov uranove in torijeve vrste ter K-40 in Be-7. Najvišje izmerjene koncentracije in povprečne vrednosti si predstavljene v spodnji tabeli (Tabela 11)

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.

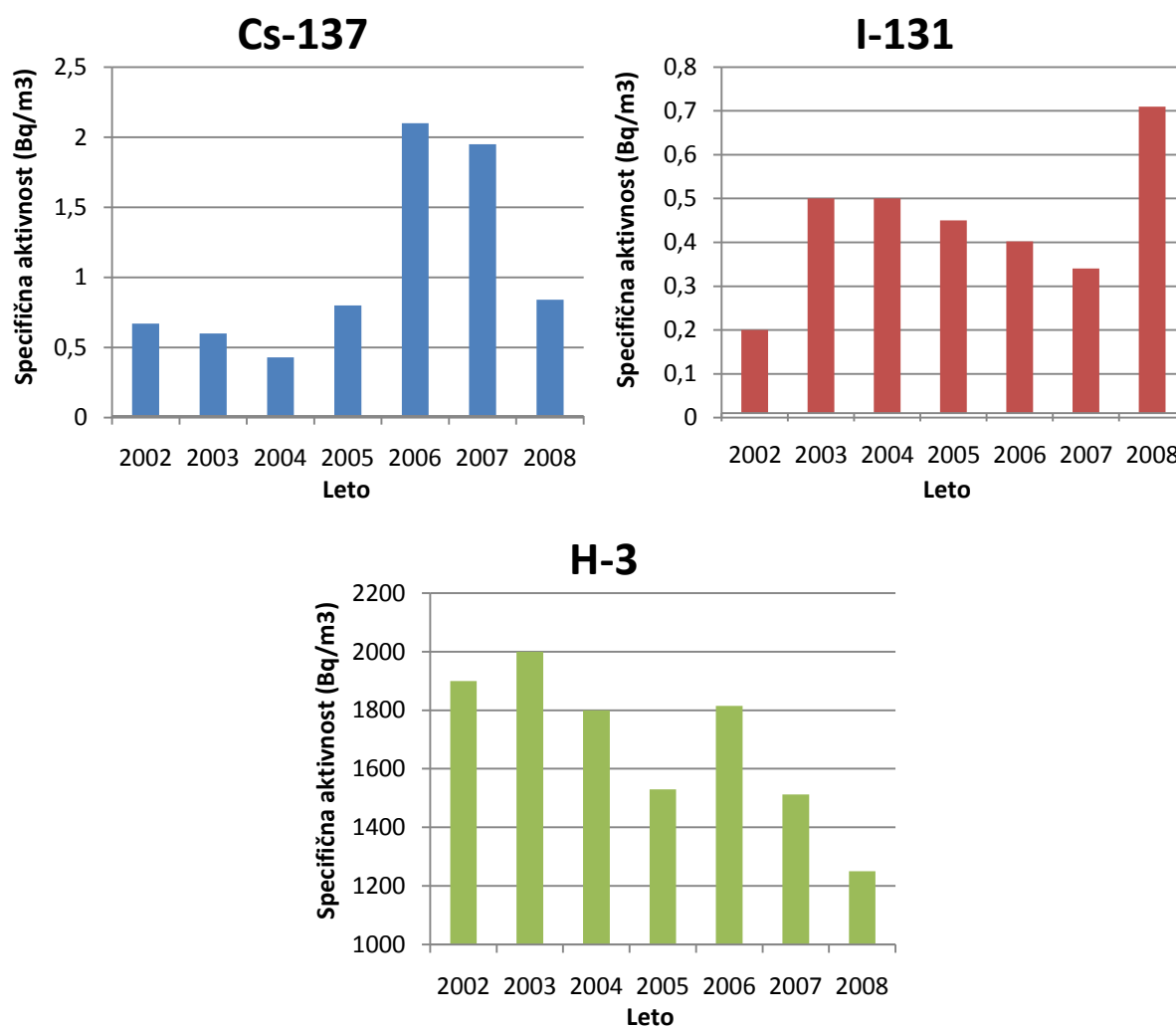
Tabela 11: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod

Radionuklid	Najvišja izm. spec. akt. (Bq/m ³)	Lokacija	Povprečna vrednost (Bq/m ³)
Cs-137	2,3	Mura pri Petanjcih	0,92 ± 0,74
Sr-90	4,4	Sava pri Ljubljani	2,49 ± 1,03
I-131	22	Sava pri Ljubljani	4,46 ± 6,10
H-3	3100	Sava pri Brežicah	1350 ± 560
Pb-210	5,0	Sava pri Brežicah	3,3 ± 2,4
K-40	440	Savinja pod Celjem	83 ± 121
Be-7	7,7	Savinja pod Celjem	4,0 ± 2,1

Na slikah (Slika 8, Slika 9) 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 2002-2008. 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 8: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi za obdobje 2002-2008



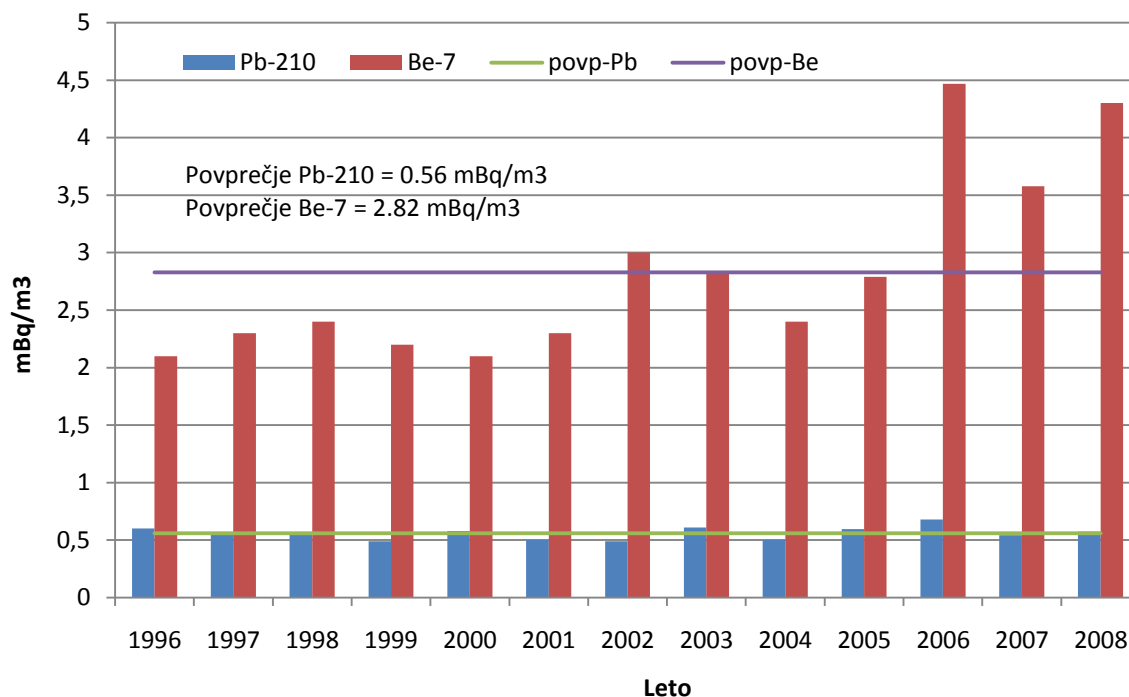
Slika 9: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Dravi za obdobje 2002-2008

5.4.2 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. Zrak se kontinuirano vzorči, analize sevancev 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 $1,6 \pm 1,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, na lokaciji vzorčenja na Jareninskem vrhu $2,5 \pm 1,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in na lokaciji vzorčenja na Predmeji $2,7 \pm 2,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Povprečna vrednost koncentracije Cs-137 za področje cele Slovenije v letu 2008 je $2,3 \pm 1,7 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Poleg naravnih radionuklidov je opaziti tudi kozmogeni Be-7. Povprečna letna vrednost specifične aktivnosti je bila na Jareninskem vrhu za Be-7 $4,0 \pm 1,0 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,56 \pm 2,1 \text{ mBq}/\text{m}^3$, v Ljubljani za Be-7 $4,0 \pm 1,2 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,64 \pm 0,24 \text{ mBq}/\text{m}^3$ in na Predmeji za Be-7 $4,9 \pm 2,8 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,52 \pm 0,28 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Povprečna vrednost koncentracije Be-7 za področje cele Slovenije v letu 2008 je $4,3 \pm 1,7 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,57 \pm 0,25 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Na sliki (Slika 10) so prikazane povprečne celoletne vrednosti specifičnih aktivnosti v zraku iz vseh treh lokacij vzorčenja za Pb-210 in kozmogeni Be-7 za

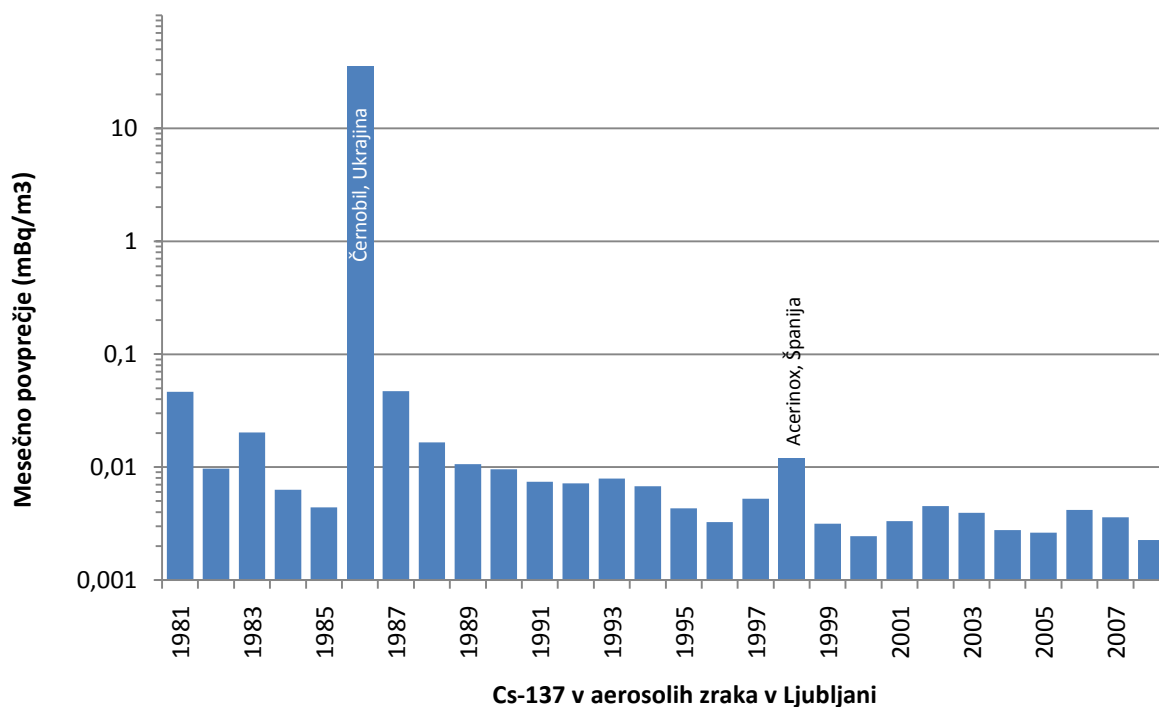
obdobje od 1996 do 2008, na sliki (Slika 11) pa povprečne celoletne vsote specifičnih aktivnosti za Cs-137 za Ljubljano za obdobje 1986 – 2008.



Slika 10: Povprečne celoletne specifične aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od 1996 do 2008 za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja)

Iz slike (Slika 10) je razvidno, da je specifična aktivnost Pb-210 skozi celotno obdobje dokaj konstantna, povprečna vrednost je $0,56 \text{ mBq/m}^3$. Vrednosti specifičnih aktivnosti Be-7 se gibajo med $2\text{--}4,5 \text{ mBq/m}^3$, povprečna vrednost je $2,8 \text{ mBq/m}^3$. V letih 2006-2008 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 pri U-238, le da so izmerjene vrednosti od leta 2006 nižje. Morda je razlika v vrednostih 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.

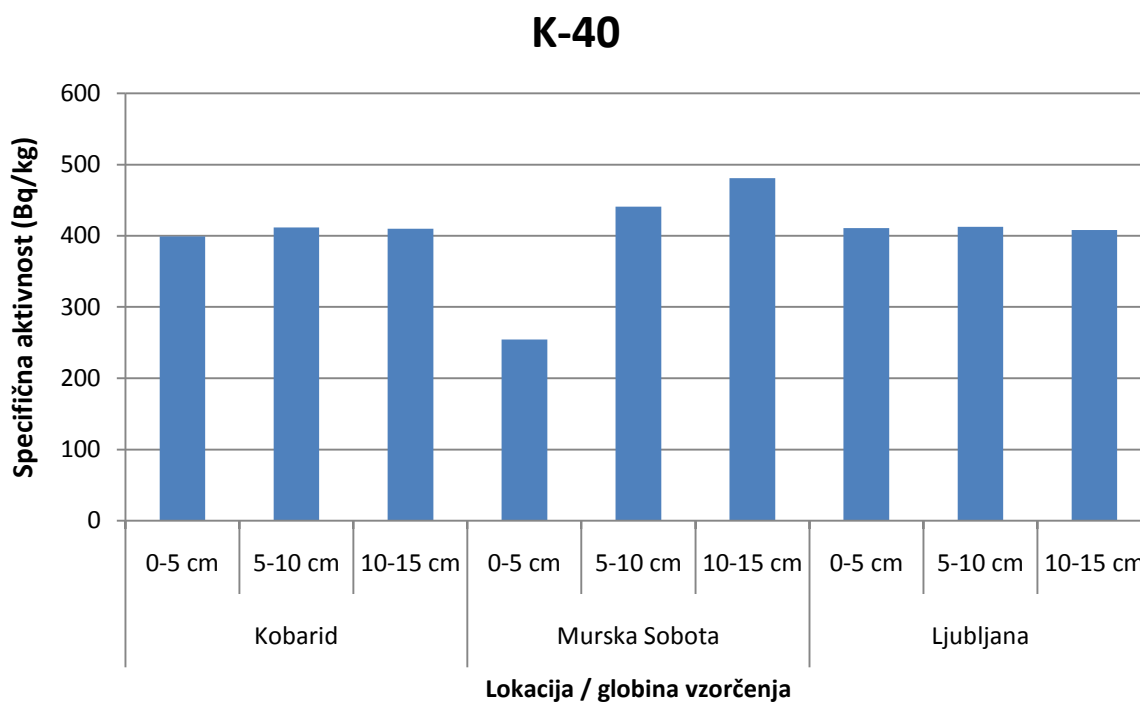


Slika 11: Povprečne letošnje vsote specifične aktivnosti Cs-137 v zraku za obdobje od 1986 do 2008 za Ljubljano

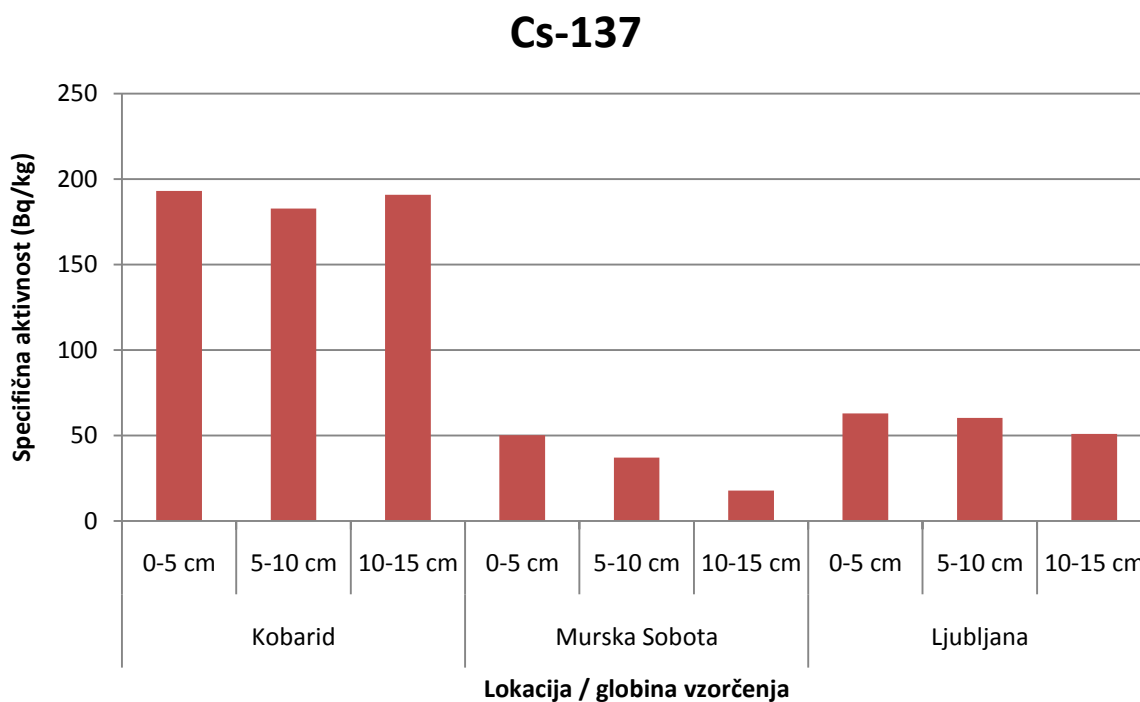
Mesečne koncentracije Cs-137 po letu 1986, ko so bile najvišje zaradi černobilske nesreče padajo. Povprečne letne koncentracije Cs-137 v zraku v Ljubljani se po letu 2000 gibljejo v območju vrednosti 0,002 – 0,005 mBq/m³. Edino povišanje po černobilski nesreči je bilo vidno leta 1998, v času nezgode v jeklarni Acerinox v Španiji (Algeciras), kjer so stalili radioaktivni vir Cs-137, zaradi česar so bile izmerjene vrednosti okoli 0,01 mBq/m³.

5.4.3 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. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih zemlje so prikazani v prilogi (Tabela 3) ter slikah (Slika 12, Slika 13, Slika 14).

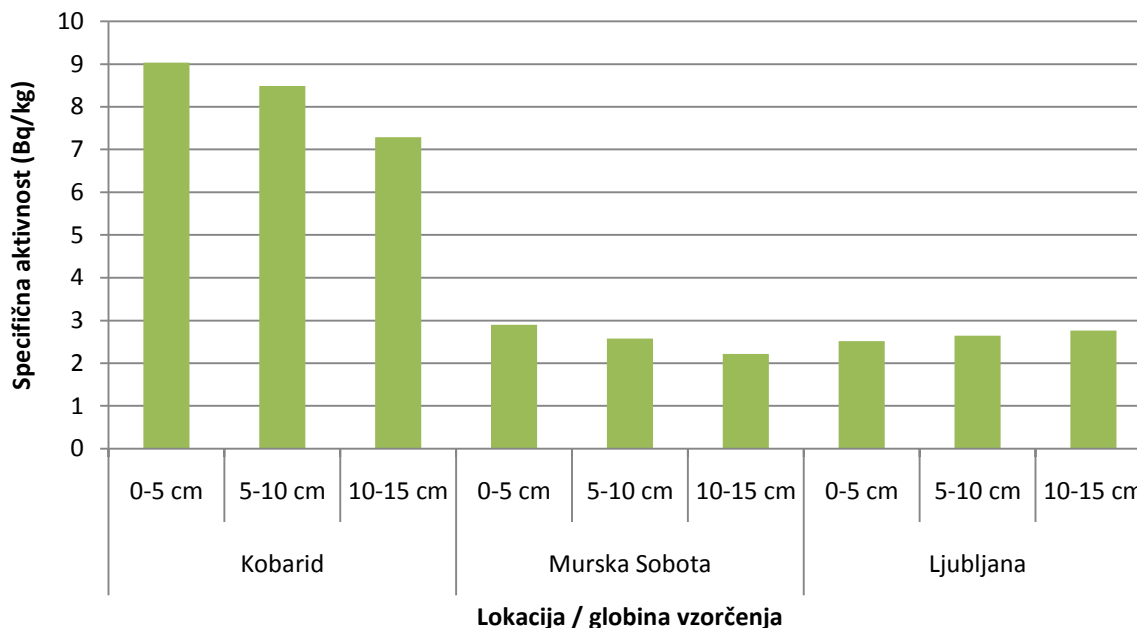


Slika 12: Povprečna letna specifična aktivnost K-40 v zemlji



Slika 13: Povprečna letna specifična aktivnost Cs-137 v zemlji

Sr-90



Slika 14: Povprečna letna specifična aktivnost Sr-90 v zemlji

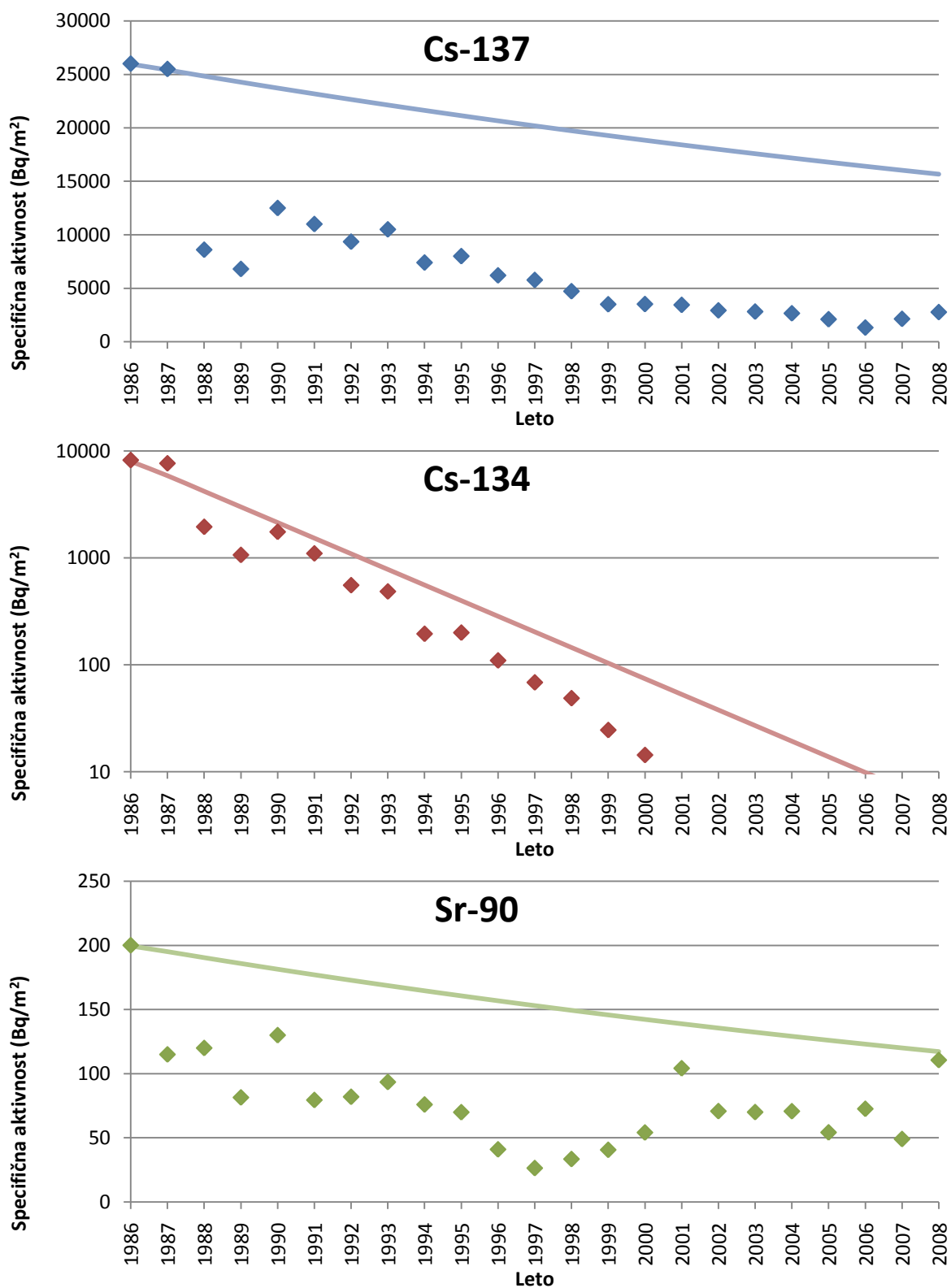
Specifične aktivnosti v vseh treh plasteh so v prilogi (Tabela 3) prikazane v enotah Bq/kg posušene zemlje, za prvo plast pa so tudi preračunane na enoto površine v Bq/m², skladno z navodilom, sprejetim na eni izmed sej strokovne komisije za varstvo pred sevanji pri Ministrstvu za zdravstvo. Pri tem 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 $58,0 \pm 8,8$ Bq/kg Cs-137 in $2,6 \pm 0,3$ 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 $188,7 \pm 15,1$ Bq/kg Cs-137 in $8,3 \pm 1,1$ Bq/kg Sr-90, po plasteh je vsebnost Cs-137 konstantna, vsebnost Sr-90 pa pada z globino vzorčenja. V vzorcih zemlje iz Murske Sobote je bilo povprečje specifične aktivnosti Cs-137 $34,5 \pm 15,4$ Bq/kg in Sr-90 $2,6 \pm 0,9$ Bq/kg, po plasteh vsebnosti Cs-137 in Sr-90 padata z globino vzorčenja.

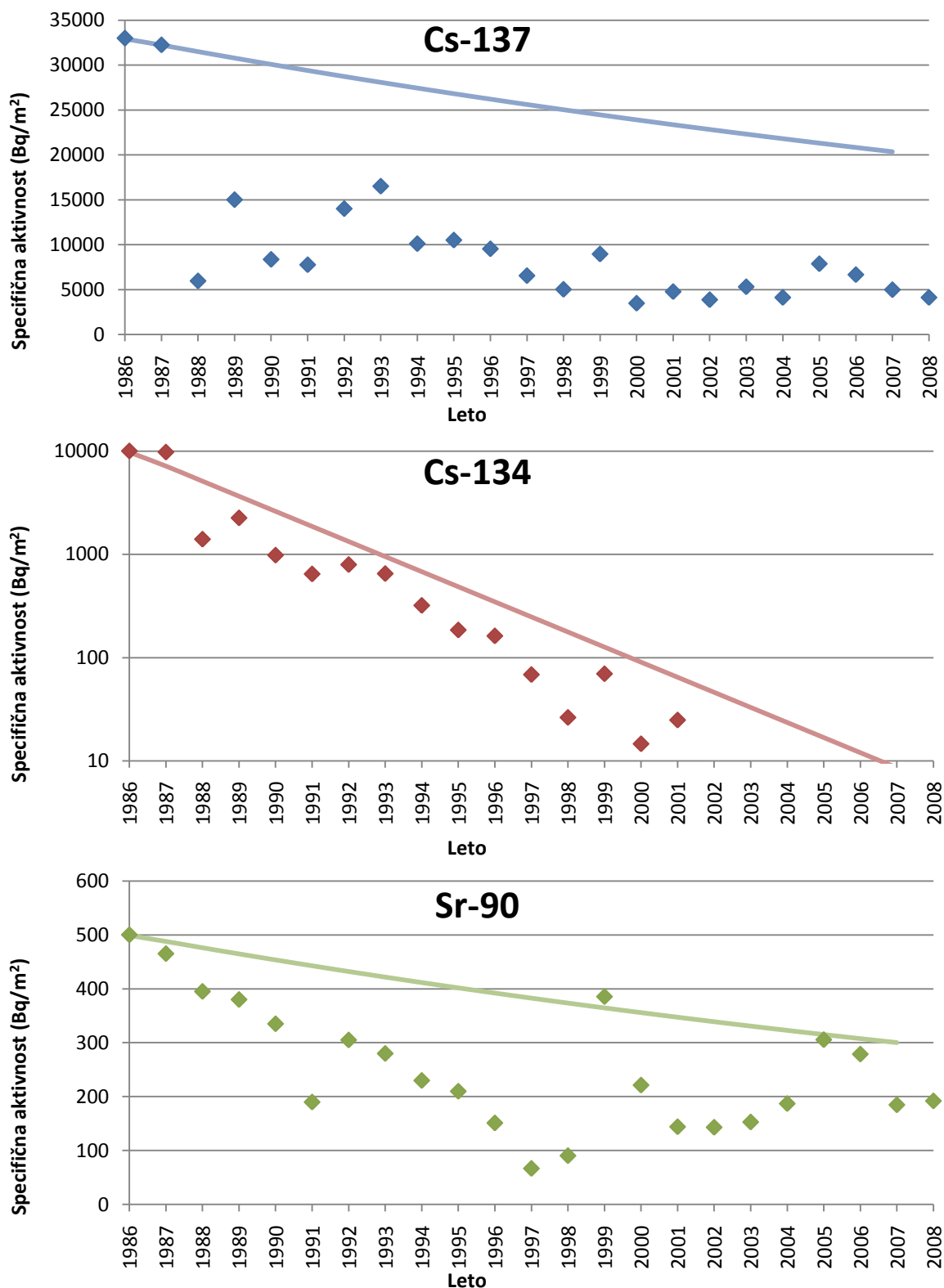
Zaradi značilnosti terena, kotanjavosti, nagnjenosti, difuzijskih lastnosti zemlje in lokalnih posebnosti padavin v času černobilske nesreče, se vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137 ali Sr-90 močno razlikujejo že na lokalni ravni. Že na razdalji nekaj metrov med lokacijama vzorčenja se lahko specifične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

Na slikah (Slika 15, Slika 16, Slika 17) 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 1986 – 2008. 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

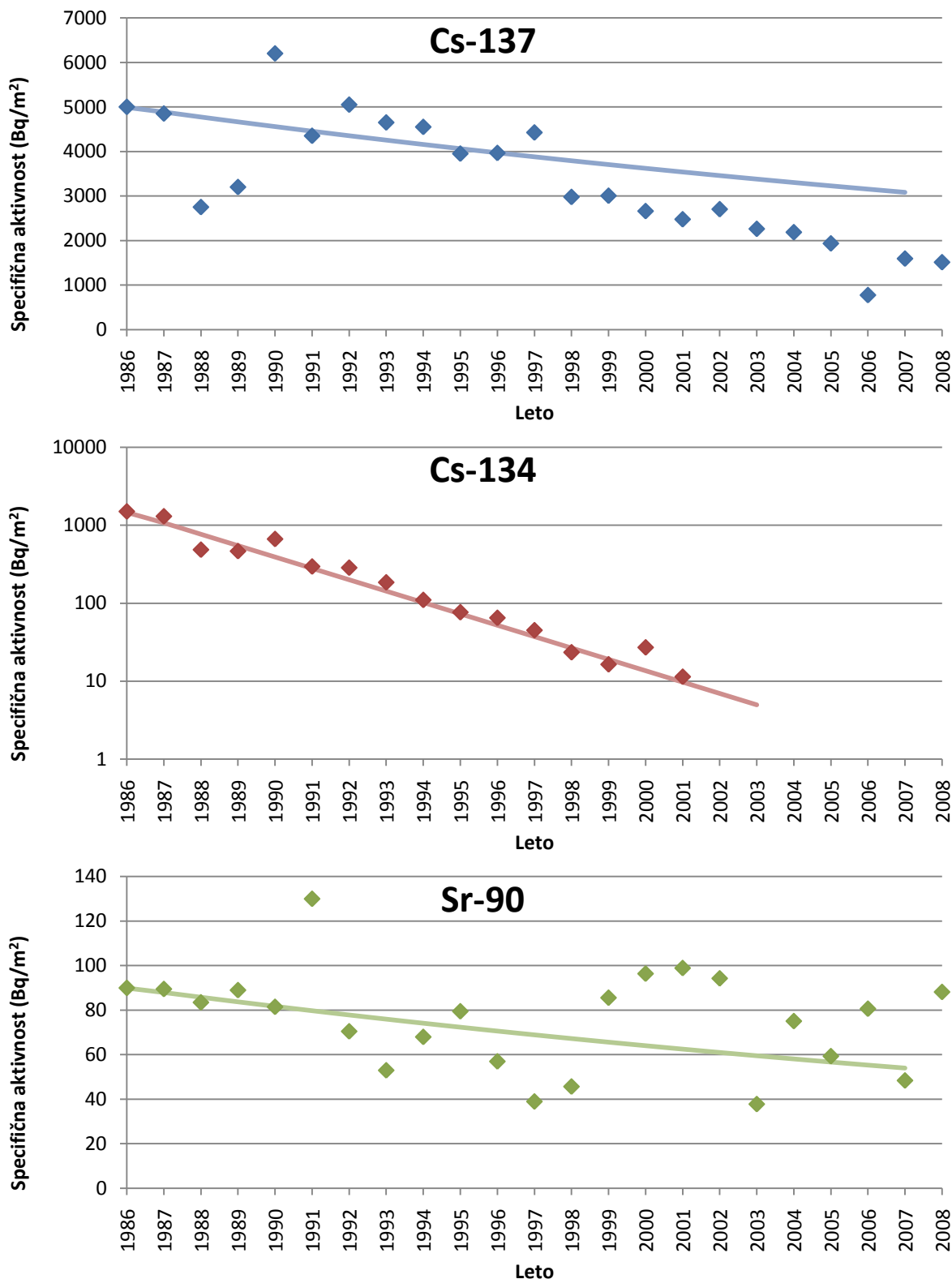
začetnih vrednostih, izmerjenih v aprilu 1986. Koncentracije radionuklidov v zemlji ne sledijo eksponentni funkciji radioaktivnega razpada, saj izotopi dodatno difundirajo v globlje plasti zemlje.



Slika 15: Specifične aktivnosti – depozit za Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, 1986 - 2008



Slika 16: Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, 1986 – 2008

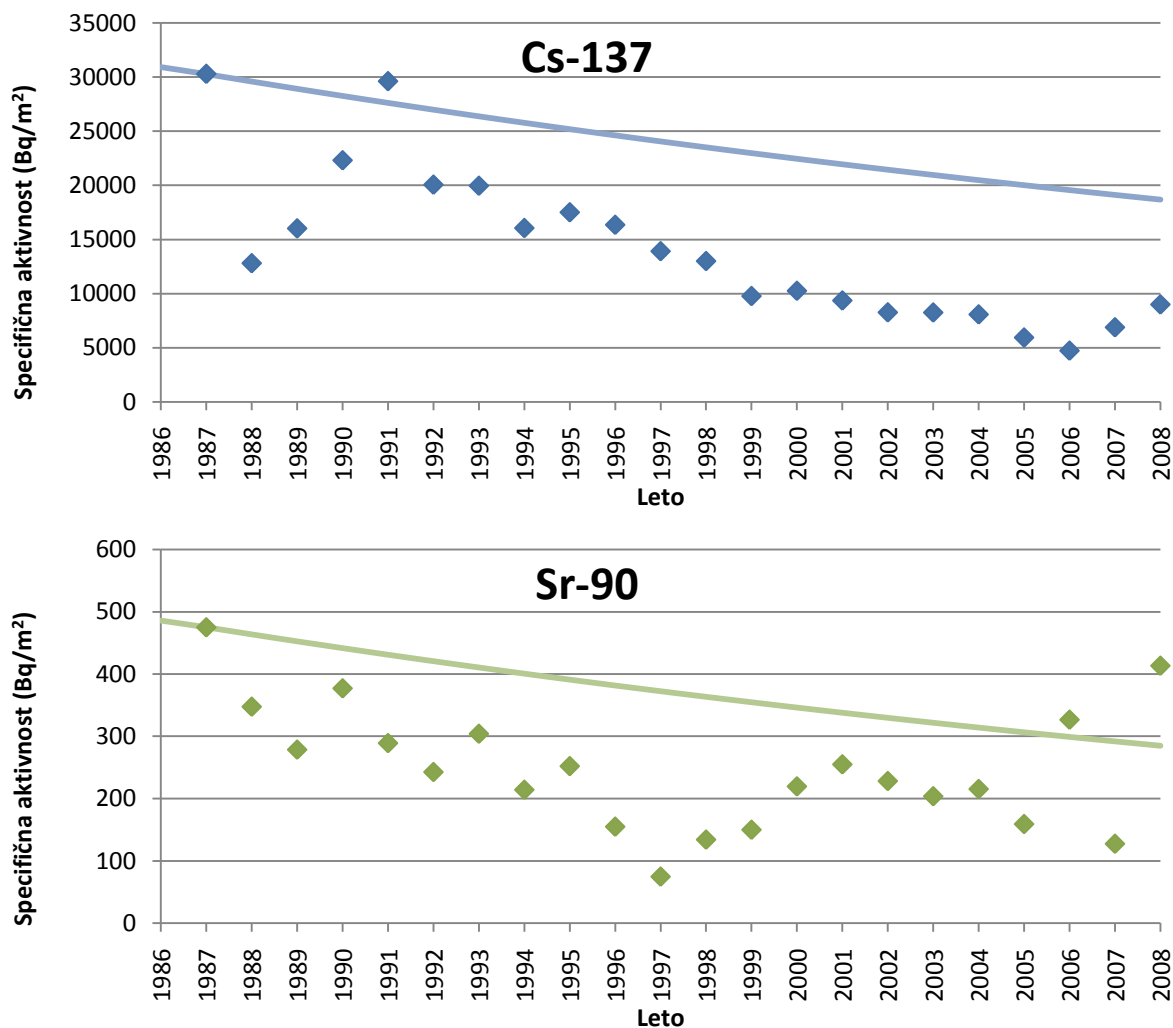


Slika 17: Specifične aktivnosti – depozit Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, 1986 – 2008

Iz zgornjih slik (Slika 15, Slika 16, Slika 17) 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.

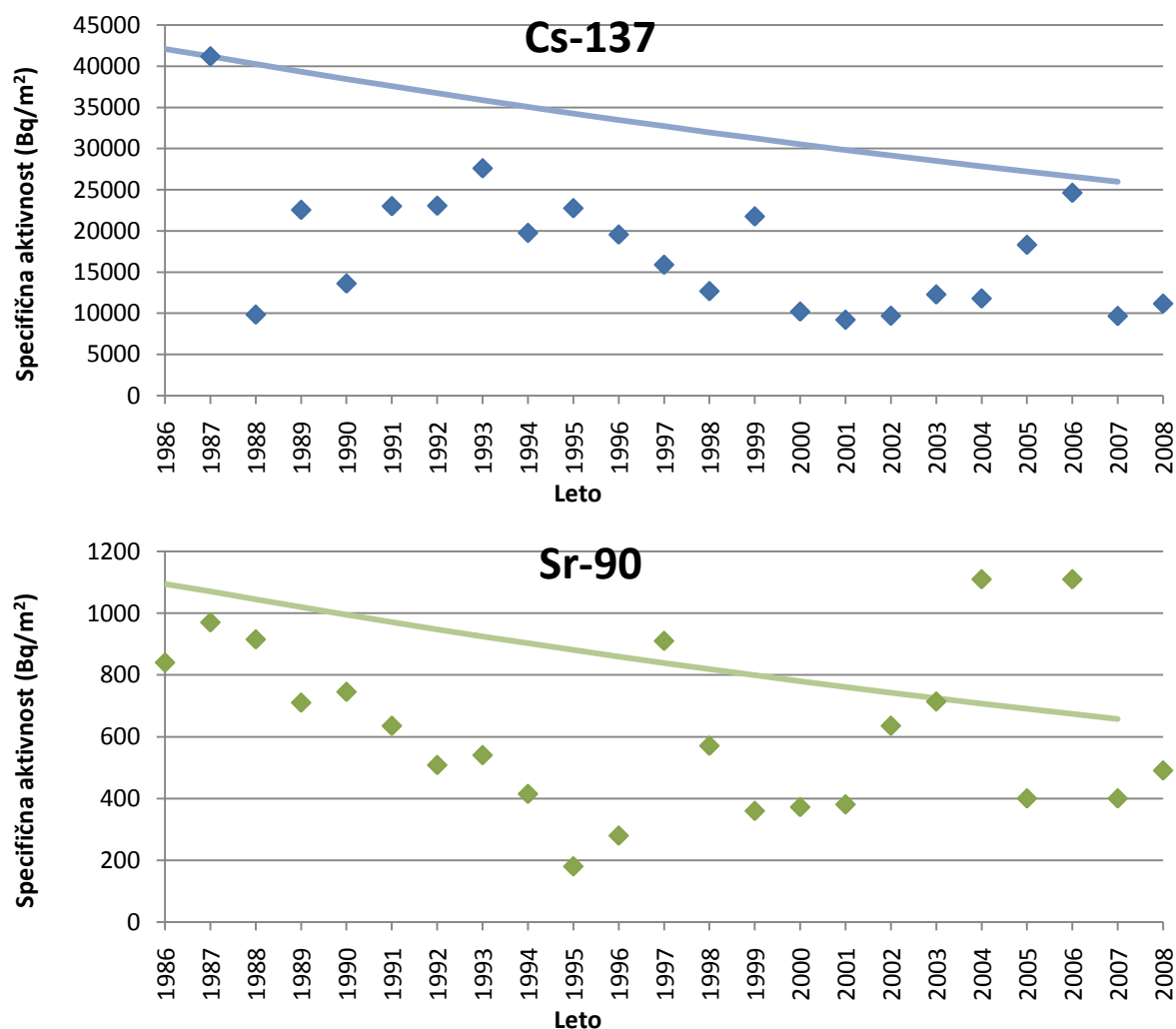
Zaradi migracije radionuklida Cs-137 v globlje plasti, je smiselna primerjave celotnega depozita v vsej globini vzorčevanja, torej ne le depozita v zgornji plasti (Slika 18, Slika 19, Slika 20).



Slika 18: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, 1986 – 2008

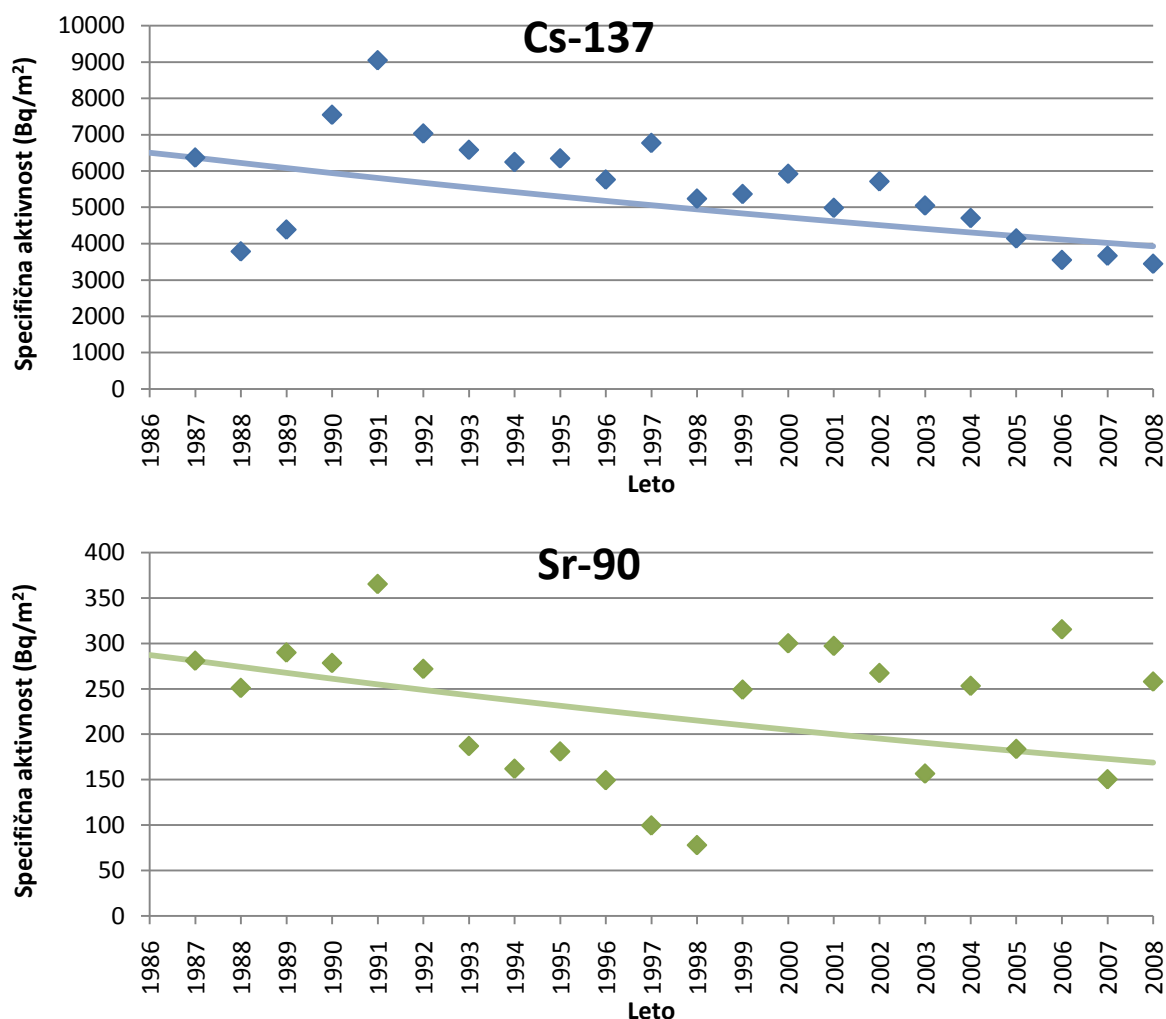
V prvih letih po černobilski nesreči je v celotnem depozitu v globini 0-15 cm tudi depozit zaradi bombnih poskusov. Za zadnjih 10 let pa lahko rečemo, da je celotni depozit v globini 0-15 cm posledica černobilske nesreče, saj so radionuklidi sproščeni ob bombnih procesih že migrirali v plasti v globini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



Slika 19: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Kobarid, 1986 – 2008

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.



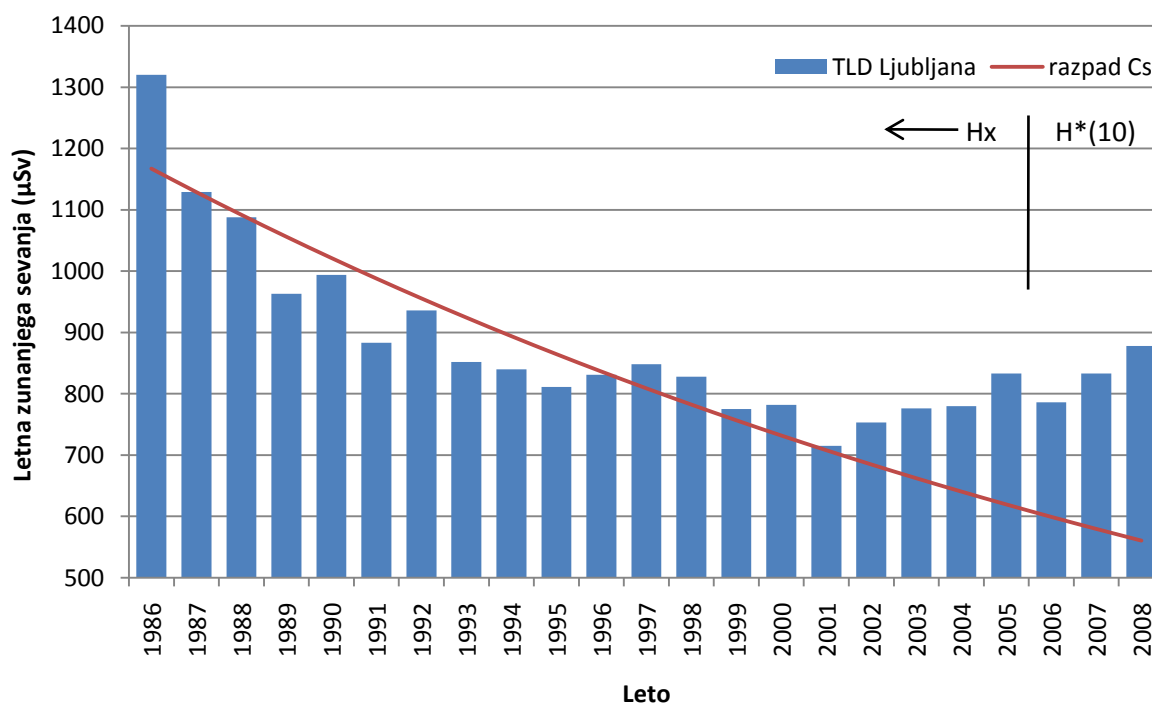
Slika 20: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, 1986 – 2008

5.4.4 Zunanje sevanje

Doze zunanjega sevanja se merijo na petdesetih različnih lokacijah po Sloveniji s TL dozimetri (Slika 7). Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 4). Povprečni letni okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2008 je bil $866 \mu\text{Sv}$, največji izmerjen okoliški ekvivalent doze je bil $1396 \mu\text{Sv}$ v Jelenji vasi, najnižji pa $617 \mu\text{Sv}$ v Stari Fužini. Povprečna mesečna vrednost okoliškega ekvivalenta doze zaradi zunanjega sevanja je bila $72 \mu\text{Sv}$, območje vrednosti pa od $51 \mu\text{Sv}$ do $117 \mu\text{Sv}$.

Na sliki (Slika 21) 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 21) 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 21) je razvidno, da je doza zunanega sevanja v zadnjih letih konstantna. 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 21: Doza zunanega sevanja za Ljubljano za obdobje 1986 – 2008

5.4.5 Padavine

5.4.5.1 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 2008 v Ljubljani je bila 1455 mm, v Bovcu 3650 mm, v Novem mestu 1127 mm in v Murski Soboti 713 mm. Poleg umetnih radionuklidov Cs-137, Sr-90 in H-3 smo določali tudi naravne radionuklide U-238, Ra-226, Pb-210, Th-232, 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 in Ljubljani $2,8 \pm 0,1$ Bq/m² in najmanjši v Murski Soboti, kjer je znašal $0,49 \pm 0,09$ Bq/m². Najvišji letni used Sr-90 je bil izmerjen v Ljubljani $0,62 \pm 0,18$ Bq/m², najnižji pa v Bovcu $0,50 \pm 0,05$ Bq/m².

Od naravnih radionuklidov naj omenimo še skupne vrednosti kozmogenega Be-7, katerega rezultati znašajo od 563 Bq/m² v Murski Soboti do 1515 Bq/m² v Novem mestu.

V tabeli (Tabela 12) so prikazane povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za vse lokacije vzorčenja za obdobje 2002 - 2008. Dodane so tudi povprečne količine padavin na vseh merskih lokacijah za to obdobje.

Tabela 12: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje 2000 - 2007

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

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.

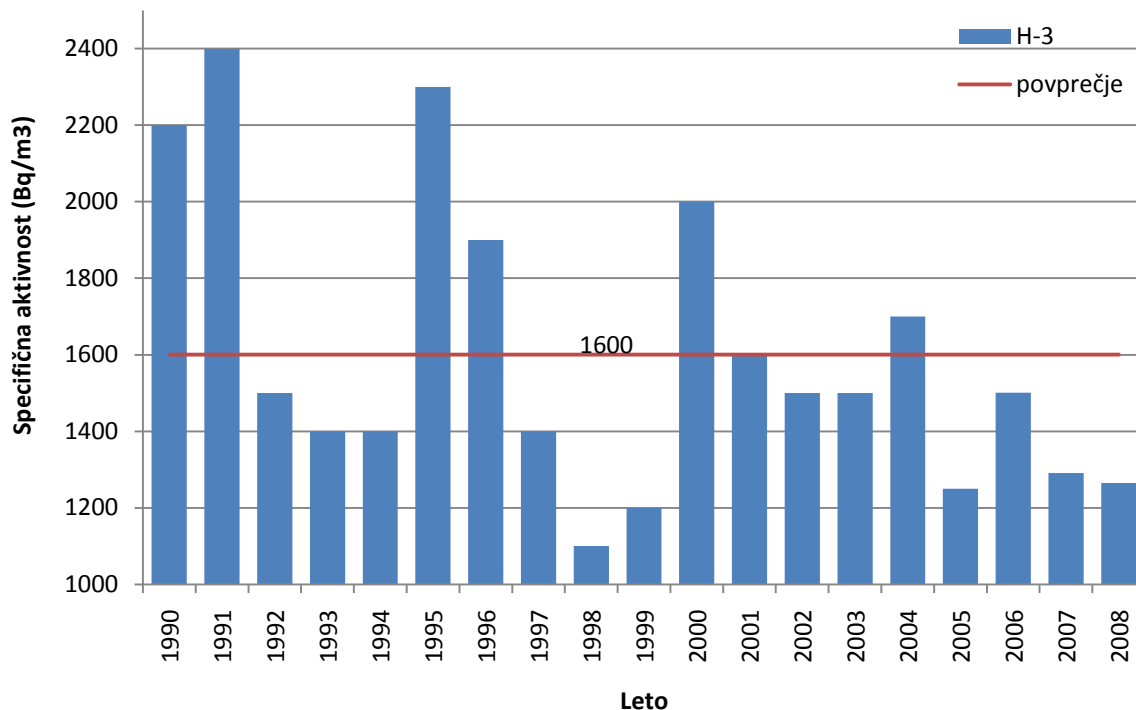
Največja odstopanja v rezultatih po posameznih trimesečjih povzročajo zimski meseci, ki so lahko zelo suhi ali pa obilni s padavinami (glej tabele z rezultati meritev).

5.4.5.2 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 2008 so v okviru dolgoletnega povprečja. Vrednosti specifičnih aktivnosti H-3 v obdobju 1990 – 2008 se gibajo v območju 1100-2400 Bq/m³. Povprečna dolgoletna koncentracija H-3 znaša 1600 Bq/m³, v letu 2008 pa je znašala koncentracija H-3 1270 ± 110 Bq/m³. Potrebno je omeniti, da so

nekatero primerjavo meritev koncentracij H-3 laboratorija v IJS in v Seibersdorfu pokazale odstopanje tudi za faktor 2 (IJS izmeri višje vrednosti).

Na spodnji sliki (Slika 22) so prikazane vrednosti specifičnih aktivnosti H-3 v vzorcih padavin iz Ljubljane za obdobje 1990 – 2008 (meritve IJS) in povprečje teh vrednosti za izbrano obdobje.



Slika 22: Specifične aktivnosti H-3 padavinah iz Ljubljane za obdobje 1990 – 2008

5.4.6 Pitna voda

V letu 2008 je bilo odvzetih osemnajst enkratnih vzorcev pitne vode iz javnih objektov kot so šole, vrtci in bolnišnice v Rožni dolini v Ljubljani, Kamniku, Zgornjem Dupleku, Makolah, Radljah ob Dravi, Ravnah, Rogatcu, Vranskem, Žireh, Dobrovem v Brdih, Senovem pri Krškem, Turnišču in Dolenjskih Toplicah ter ustekleničene vode Zala, Radenska in Mercator.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 6). Izotop cezija, Cs-137, je bilo opaziti le v sledih, izmerjene vrednosti so bile pod $0,3 \text{ Bq/m}^3$. Povprečna vrednost specifičnih aktivnosti Sr-90 v vseh odvzetih vzorcih je $1,6 \pm 2,0 \text{ Bq/m}^3$, H-3 pa $806 \pm 274 \text{ Bq/m}^3$. Poleg umetnih radionuklidov so se določale tudi specifične aktivnosti naravnih radiouklidov in kozmogenega Be-7. Povprečne vrednosti so za U-238 $4,6 \text{ Bq/m}^3$, Ra-226 $7,5 \text{ Bq/m}^3$, Pb-210 $5,3 \text{ Bq/m}^3$, Ra-228 $2,1 \text{ Bq/m}^3$, Th-228 $0,54 \text{ Bq/m}^3$, K-40 $31,9 \text{ Bq/m}^3$ in Be-7 $1,8 \text{ Bq/m}^3$.

5.4.7 Hrana

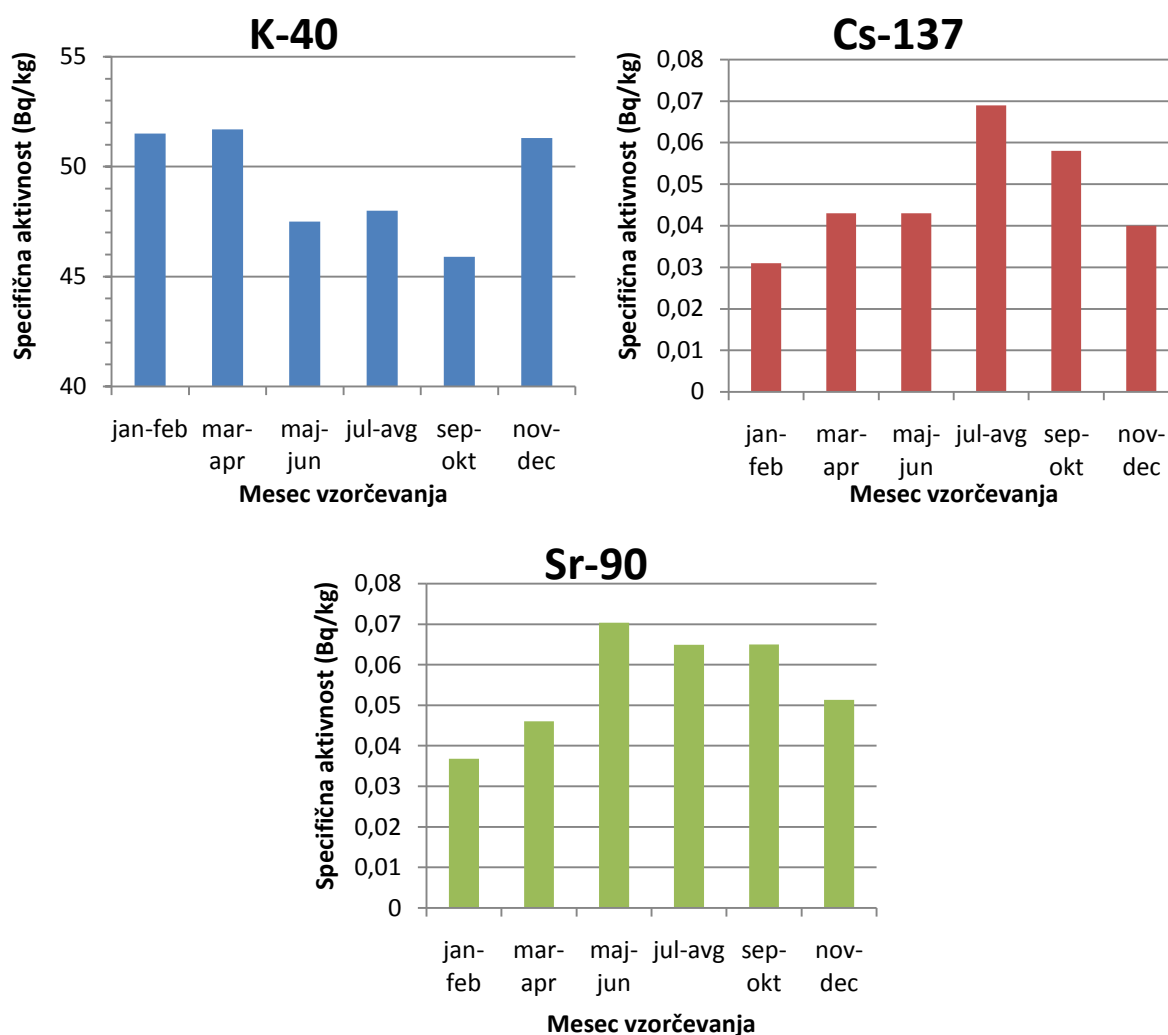
Program meritev radioaktivnosti v vzorcih hrane je približno enak kot v prejšnjih dveh letih. Program vsebuje meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov v najpomembnejših živilih rastlinskega in živalskega porekla, ki se sezonsko jemljejo na različnih področjih po Sloveniji, v Prekmurju, na

Štajerskem, na Gorenjskem, na Primorskem, na Notranjskem in na Dolenjskem. Lokacije vzorčenja so prikazane na zemljevidu v poglavju 5.2 (Slika 6).

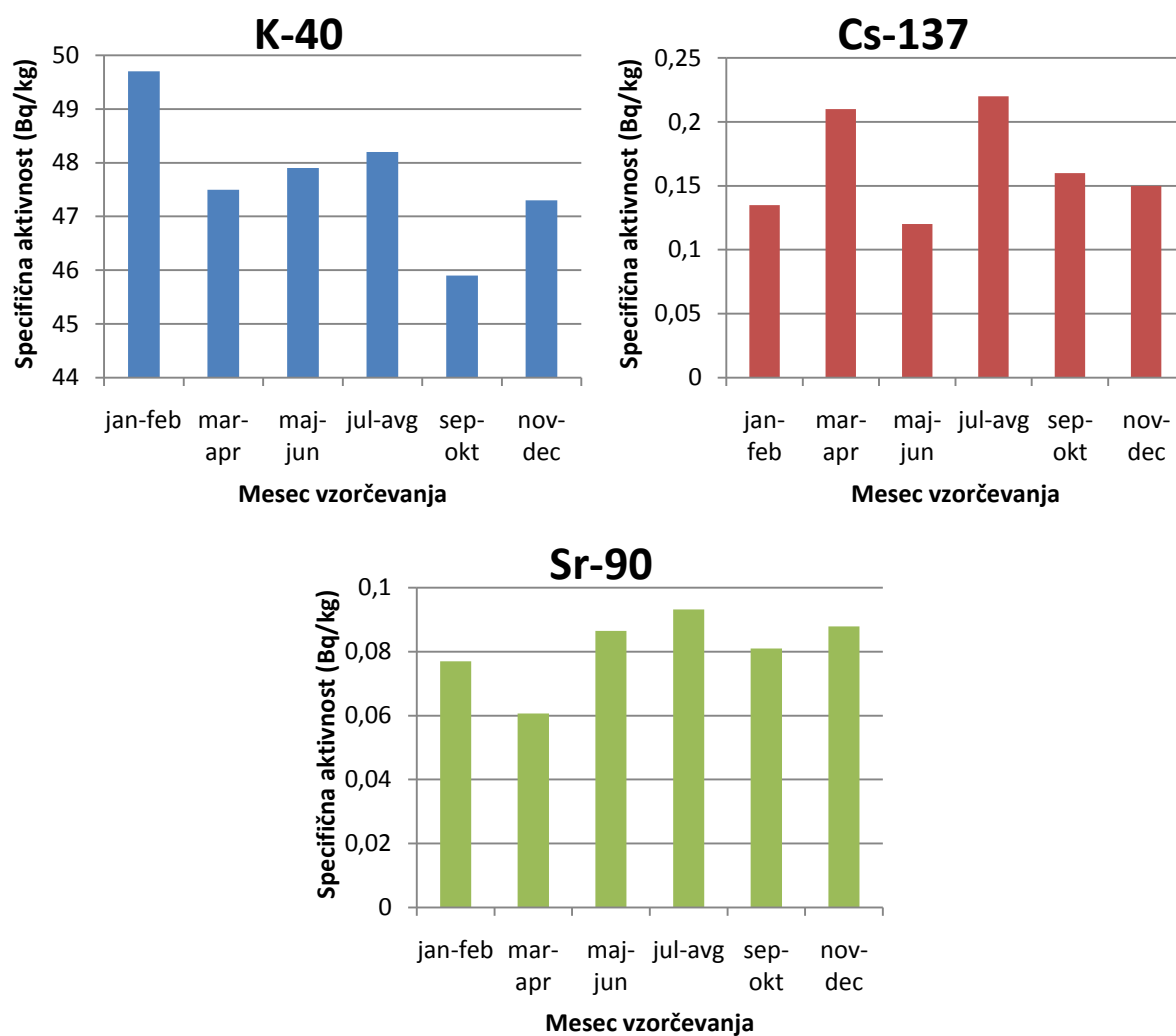
5.4.7.1 Mleko

V letu 2008 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).

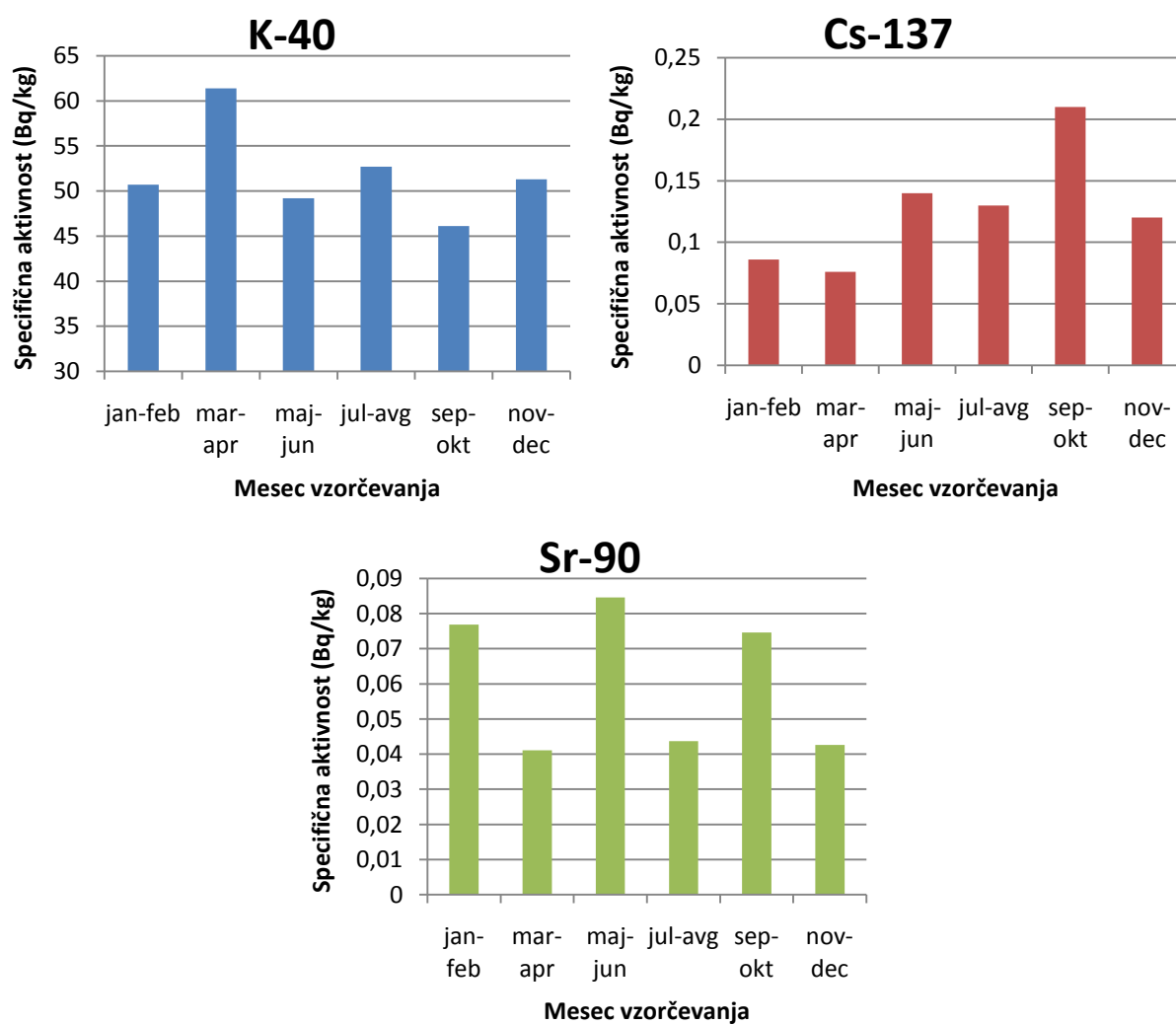
Na slikah (Slika 23, Slika 24, Slika 25, Slika 26) so prikazane specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 in letne povprečne vrednosti v vzorcih mleka iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobote za leto 2008. V Ljubljani je bila povprečna letna vrednost Cs-137 $0,05 \pm 0,01$ Bq/kg in Sr-90 $0,06 \pm 0,02$ Bq/kg, v Kobaridu Cs-137 $0,17 \pm 0,04$ Bq/kg in Sr-90 $0,08 \pm 0,01$ Bq/kg, v Bohinjski Bistrici Cs-137 $0,13 \pm 0,17$ Bq/kg in Sr-90 $0,06 \pm 0,02$ Bq/kg ter v Murski Soboti Cs-137 $0,41 \pm 0,11$ Bq/kg in Sr-90 $0,57 \pm 0,21$ Bq/kg. Slovensko povprečje za surovo mleko Cs-137 $0,12 \pm 0,09$ Bq/kg in za Sr-90 $0,07 \pm 0,03$ Bq/kg.



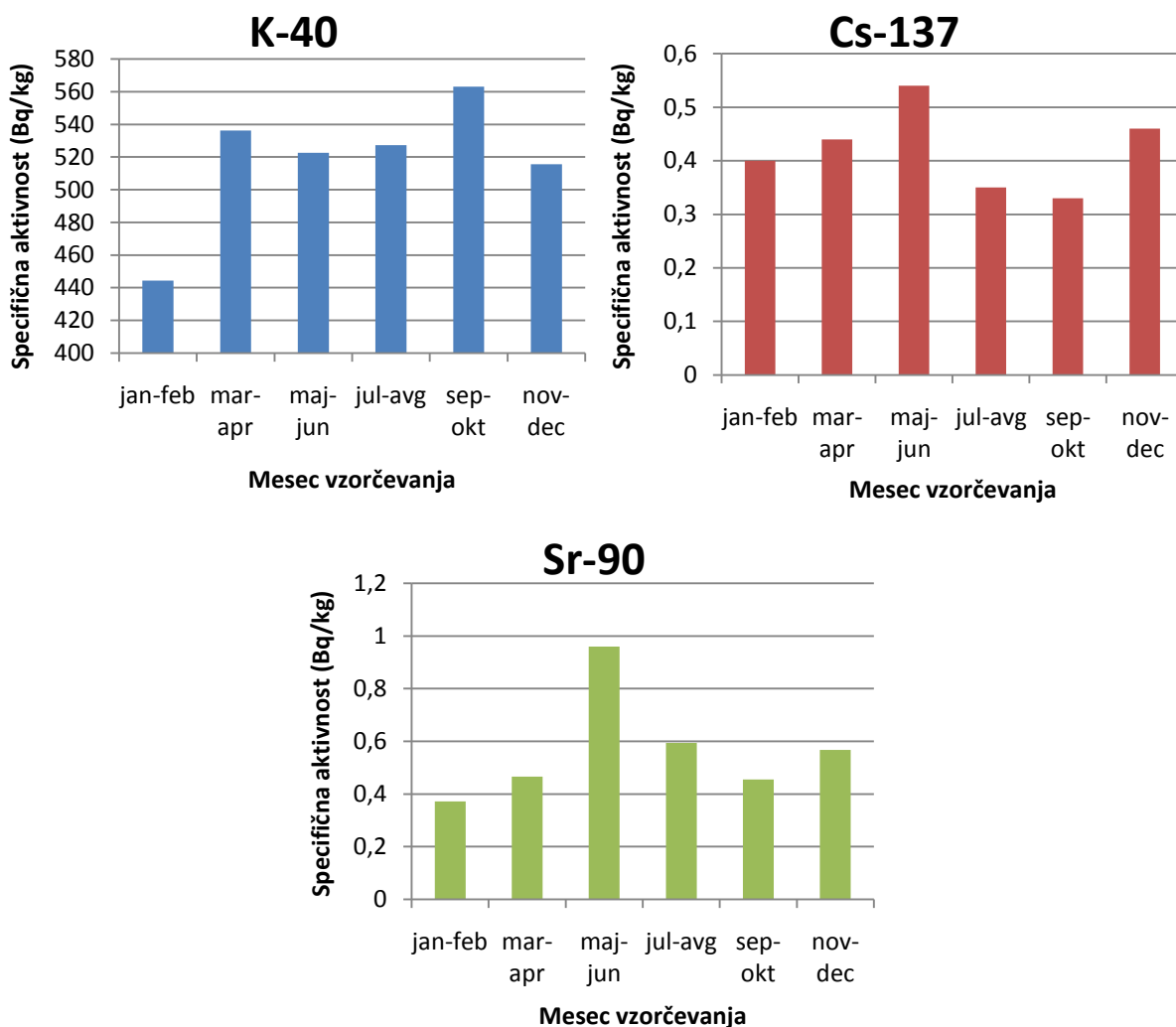
Slika 23: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane



Slika 24: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida



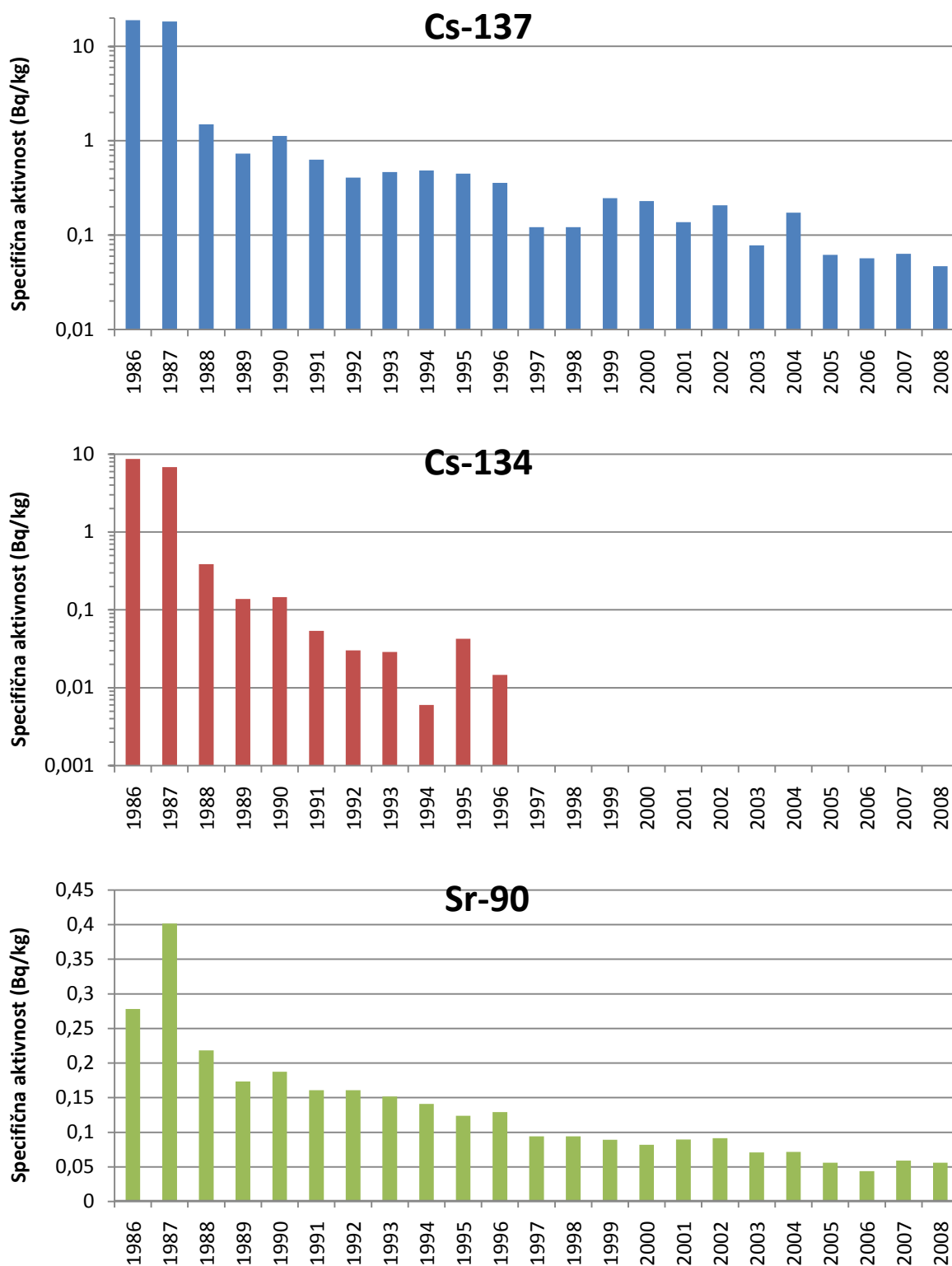
Slika 25: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice



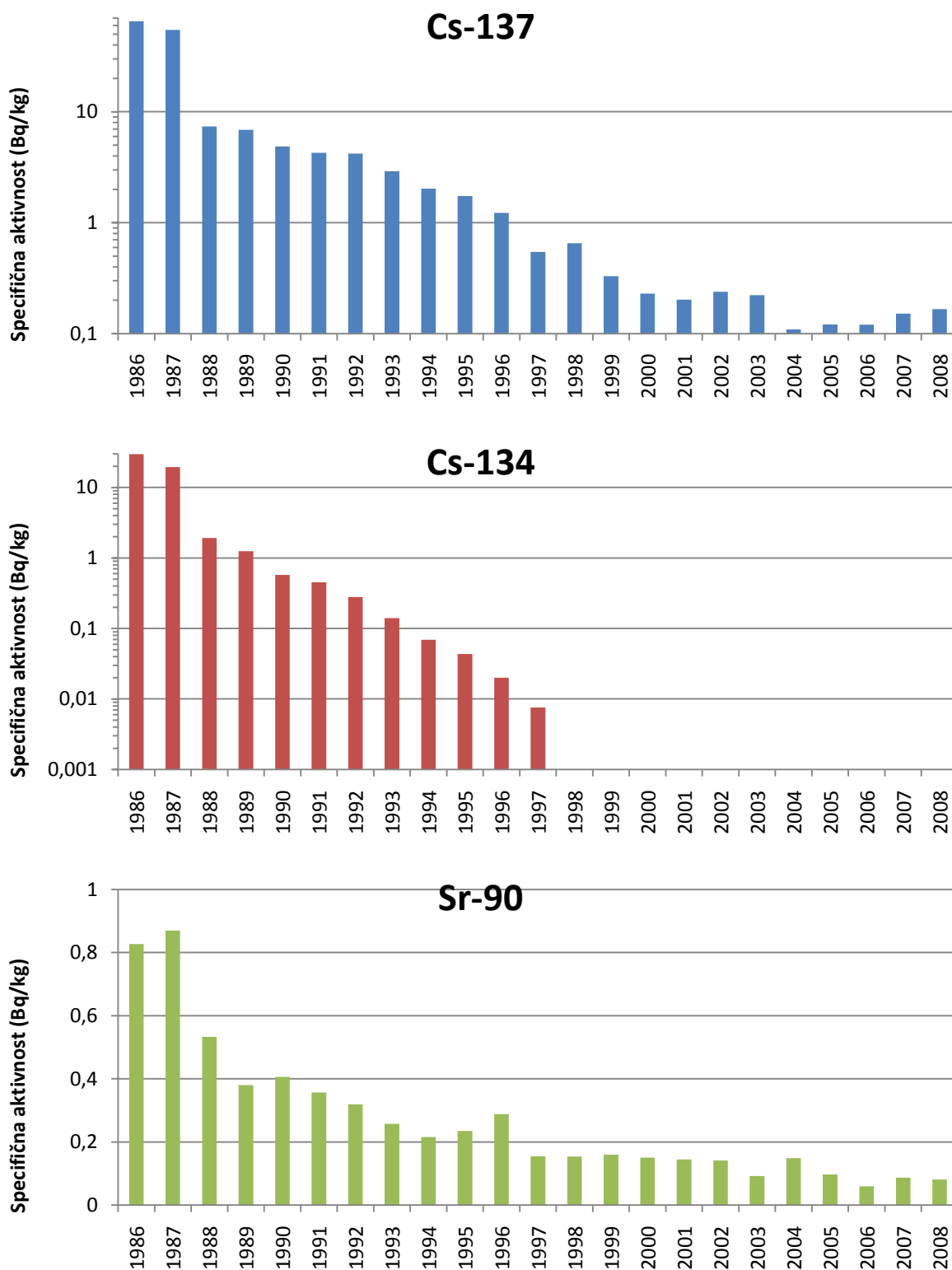
Slika 26: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobotne

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 Slovenje, zato je tudi mleko iz tega področja bolj kontaminirano s Cs-137 kot drugje po Sloveniji.

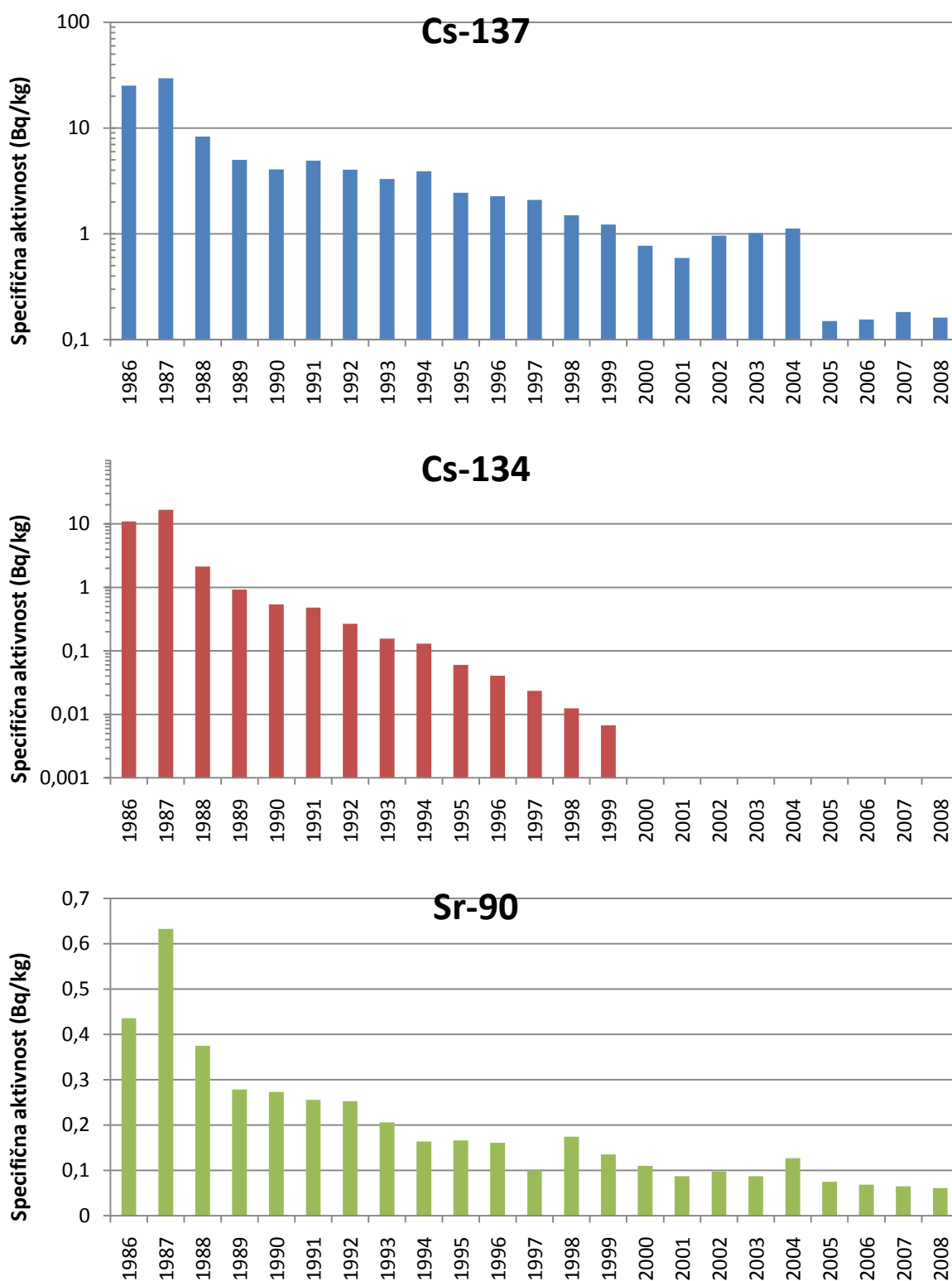
Na slikah (Slika 27, Slika 28, Slika 29, Slika 30) so prikazane povprečne letne vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobotne za obdobje 1986 – 2008. Opazen je trend padanja specifičnih aktivnosti vseh treh radionuklidov, 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.



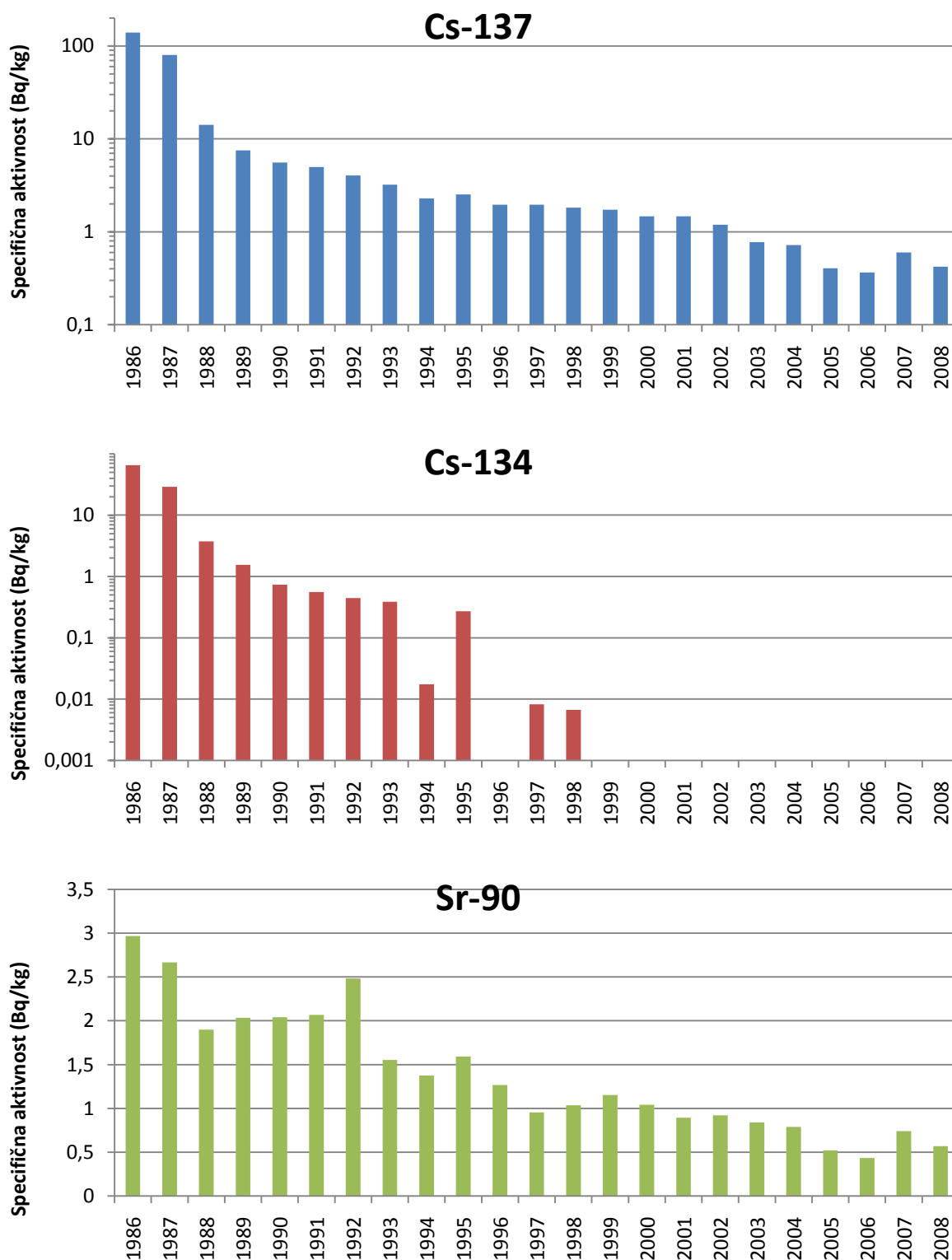
Slika 27: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Ljubljana



Slika 28: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Kobarid



Slika 29: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Bohinjska Bistrica



Slika 30: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, 1986-2008, lokacija Murska Sobota

5.4.7.2 Živila živalskega izvora

V letu 2008 smo prejeli v analizo osem vzorcev živil živalskega izvora: jajca iz Ljubljane, divjačino iz Škofje Loke, govedino iz Murske Sobote, svinjino iz Ihana, sir iz Kobarida, cvetlični med iz Ptuja, ribe iz Kopra in perutnino iz Postojne. Zaradi tehnične neizvedljivosti smo analizo Sr-90 namesto v medu izvedli v vzorcu soma iz Krškega. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 7).

Povprečna specifična aktivnost Cs-137 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, 2,5 Bq/kg, kjer bi se povprečna vrednost, brez njenega upoštevanja, znižala na $0,19 \pm 0,35$ Bq/kg.

5.4.7.3 Žitarice, moka, kruh

Izmerili smo šest vzorcev, od tega dva vzorca kruha, črni in polbeli iz Kranja, pšenično moko iz Murske Sobote, koruzno moko iz Ajdovščine, ječmen iz Ormoža in pšenico iz Dravograda. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,08 \pm 0,10$ Bq/kg in Sr-90 $0,35 \pm 0,33$ Bq/kg.

5.4.7.4 Sadje

Izmerili smo osem vzorcev sadja, jagode iz Brežic, breskve iz Kopra, marelice iz Sežane, slive iz Brežic, jabolka iz Velenja, češnje iz Goriških Brd, fige iz Kopra in grozdje iz Žužemberka. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,04 \pm 0,03$ Bq/kg in Sr-90 $0,18 \pm 0,17$ Bq/kg.

5.4.7.5 Zelenjava

Izmerili smo osem vzorcev zelenjave, solato iz Mozirja, krompir iz Ljubljane, bučke iz Velenja, ohrovt iz Slovenj Gradca, papriko iz Kranja, špinačo iz Maribora, cvetačo iz Idrije in zelje iz Kopra. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,06 \pm 0,05$ Bq/kg in Sr-90 $0,24 \pm 0,15$ Bq/kg.

5.4.7.6 Otroška hrana

V letu 2008 smo začeli z analizo celotnega obroka otroške hrane. Tako smo 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 $0,04 \pm 0,01$ Bq/kg.

5.4.8 Krmila

V letu 2008 je bilo odvzetih dvanajst vzorcev krmil: dva vzorca sena, dva vzorca sveže trave, en vzorec travne silaže, koruzne silaže, krme za prašiče in krmne mešanice za kokoši. Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 9). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je $0,8 \pm 1,0$ Bq/kg in Sr-90 $2,4 \pm 2,1$ Bq/kg.

5.5 Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fisijskih produktov

5.5.1 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 vnese 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),

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

5.5.2 Uporabljeni podatki in predpostavke

Oceno učinkovitih doz sevanja zaradi vnosa radionuklidov 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 ter meritev zunanjih doz gama sevanja s TLD. Rezultati so podani v μSv .

5.5.2.1 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.

5.5.2.2 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 učinkovito 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.

5.5.2.3 Starostne skupine

Do leta 2003 se je ocenjevala učinkovita 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 učinkovite doze za tri starostne skupine, in sicer dojenčke do enega leta starosti, otroke stare od 7 do 12 let in odrasle.

5.5.2.4 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 13).

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.

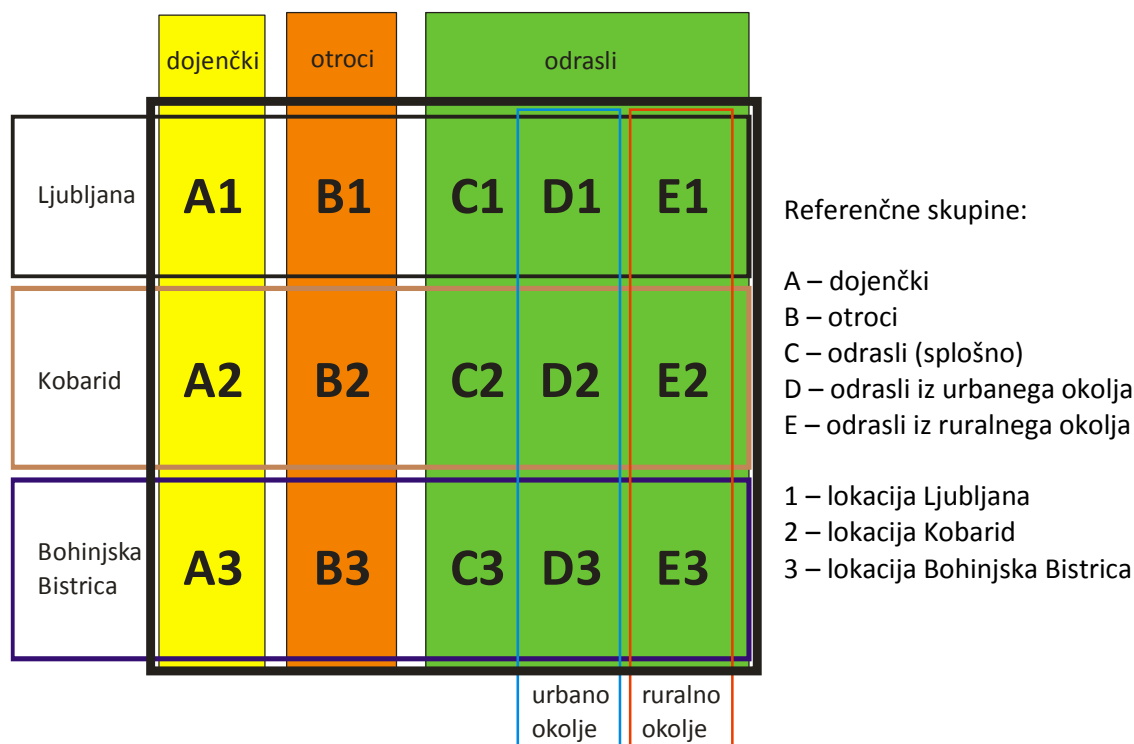
Za odrasle smo upoštevali podatke Statističnega urada RS iz leta 2004, Statistične informacije: Anketa o porabi v gospodinjstvih, Slovenija, 2001, 2002 (Tabela 13). V primeru odraslih smo poleg statističnega povprečja upoštevali dve referenčni skupini prebivalstva, živečih v urbanem in ruralnem območju, ki imajo hipotetično različne prehranjevalne navade.

Tabela 13: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine

Starostna skupina	Povprečna količina zaužite hrane v enem letu [kg]							[m3]
	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 31), kjer so posamezne podmnožice prebivalstva Slovenije označene z oznakami od A1 do E3.



Slika 31: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije ali prehranjevalnih navad

5.5.2.5 Privzete specifične aktivnosti

Povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti umetnih radionuklidov – Cs-137, Sr-90 in H-3 – v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2008 so predstavljene v tabeli (Tabela 14). 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 14: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2008

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	0,06	0,04	0,08	0,19	0,05	0,17	0,13	0,3	0,002
Sr-90	0,24	0,18	0,35	0,38	0,06	0,08	0,06	1,6	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	806	0
Pb-210	0,29	0,03	0,13	0,00	0,09	0,03	0,07	5,3	0,58

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

5.5.3 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 13) in povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti radionuklidov v različnih vrstah hrane in pitne vode (Tabela 14), 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 15) 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 15: *Učinkovite doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2008.*

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	2,84E-05	1,89E-05	1,85E-05	2,99E-05	2,09E-04	7,12E-04	5,44E-04	1,04E-06	1,16E-07
Sr-90	1,24E-03	9,32E-04	8,86E-04	6,56E-04	2,75E-03	3,67E-03	2,75E-03	6,07E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	8,51E-06	0
Skupaj	1,27E-03	9,50E-04	9,04E-04	6,85E-04	2,96E-03	4,38E-03	3,30E-03	7,03E-05	1,16E-07
negotovost	8,02E-04	8,88E-04	8,58E-04	7,14E-04	9,85E-04	1,51E-03	6,17E-03	7,60E-05	8,58E-08
Pb-210	5,48E-02	5,29E-03	1,20E-02	0,00E+00	1,56E-01	5,02E-02	1,21E-01	7,35E-03	4,49E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - otroci (mSv)								
Cs-137	4,58E-05	1,50E-05	4,46E-05	1,37E-04	3,65E-05	1,24E-04	9,49E-05	1,40E-06	1,60E-07
Sr-90	1,10E-03	4,06E-04	1,17E-03	1,64E-03	2,63E-04	3,50E-04	2,63E-04	4,46E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	8,62E-06	0
Skupaj	1,14E-03	4,21E-04	1,22E-03	1,78E-03	2,99E-04	4,75E-04	3,58E-04	5,47E-05	1,60E-07
negotovost	6,88E-04	3,84E-04	1,11E-03	1,36E-03	8,79E-05	5,26E-05	1,52E-04	5,59E-05	1,18E-07
Pb-210	4,20E-02	2,00E-03	1,38E-02	0,00E+00	1,29E-02	4,16E-03	9,99E-03	7,35E-03	5,13E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - odrasli - splošno (mSv)								
Cs-137	7,66E-05	2,50E-05	1,06E-04	1,44E-04	5,92E-05	2,01E-04	1,54E-04	2,93E-06	1,90E-07
Sr-90	6,60E-04	2,42E-04	9,95E-04	6,21E-04	1,53E-04	2,04E-04	1,53E-04	3,36E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,09E-05	0
Skupaj	7,37E-04	2,67E-04	1,10E-03	7,66E-04	2,12E-04	4,05E-04	3,07E-04	4,74E-05	1,90E-07
negotovost	4,17E-04	2,30E-04	9,47E-04	5,72E-04	5,23E-05	5,37E-05	2,07E-04	4,22E-05	1,40E-07
Pb-210	1,96E-02	9,29E-04	9,10E-03	0,00E+00	5,84E-03	1,88E-03	4,52E-03	2,74E-03	5,98E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - odrasli - urbano okolje (mSv)								
Cs-137	7,80E-05	3,90E-05	1,20E-04	2,12E-04	9,95E-05	3,38E-04	2,59E-04	2,93E-06	1,90E-07
Sr-90	6,72E-04	3,78E-04	1,13E-03	9,15E-04	2,57E-04	3,43E-04	2,57E-04	3,36E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,09E-05	0
Skupaj	7,50E-04	4,17E-04	1,25E-03	1,13E-03	3,56E-04	6,81E-04	5,16E-04	4,74E-05	1,90E-07
negotovost	4,25E-04	3,58E-04	1,07E-03	8,43E-04	8,80E-05	9,04E-05	3,49E-04	4,22E-05	1,40E-07
Pb-210	2,00E-02	1,45E-03	1,03E-02	0,00E+00	9,82E-03	3,17E-03	7,60E-03	2,74E-03	5,98E-03
Radionuklid	Letna učinkovita doza - ingestija in inhalacija - odrasli - ruralno okolje (mSv)								
Cs-137	5,69E-05	2,60E-05	1,31E-04	1,88E-04	9,43E-05	3,20E-04	2,45E-04	2,93E-06	1,90E-07
Sr-90	4,91E-04	2,52E-04	1,23E-03	8,09E-04	2,44E-04	3,25E-04	2,44E-04	3,36E-05	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	1,09E-05	0
Skupaj	5,48E-04	2,78E-04	1,37E-03	9,96E-04	3,38E-04	6,45E-04	4,89E-04	4,74E-05	1,90E-07
negotovost	3,10E-04	2,39E-04	1,18E-03	7,45E-04	8,34E-05	8,56E-05	3,31E-04	4,22E-05	1,40E-07
Pb-210	1,46E-02	9,66E-04	1,13E-02	0,00E+00	9,30E-03	3,00E-03	7,20E-03	2,74E-03	5,98E-03

Pb-210 podajamo le informativno

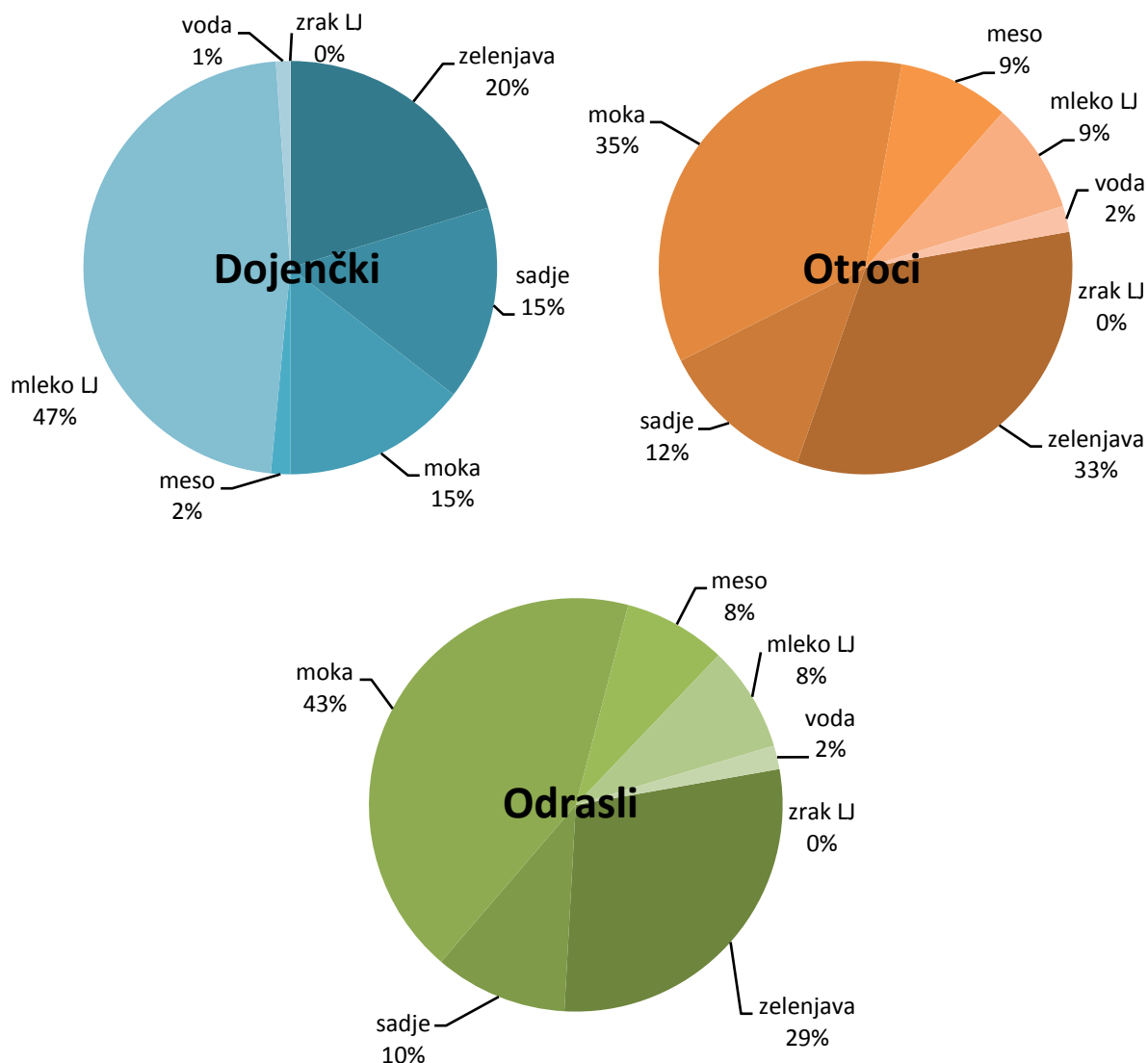
V tabeli (Tabela 17) so prikazane izračunane efektivne doze prejete zaradi ingestije in inhalacije dolgoživih črnbobilskih fisijjskih produktov - Cs-137 in Sr-90 (vpliv H-3 je zanemarljiv). Doza za odraslega prebivalca je v letu 2008 ocenjena na $3,1 \pm 1,6 \mu\text{Sv}$, za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz tabele omenjene. Efektivne doze zaradi ingestije so v primerjavi z letom 2007 nekoliko višje. Razlog za to so višje povprečne vrednosti Sr-90 v izbranih vzorcih zelenjave, ki je v letu 2008 približno dvakrat višja 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 2008 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 $205 \mu\text{Sv}$, za otroke od 7 do 12 let znaša $80 \mu\text{Sv}$ in za odrasle $43 \mu\text{Sv}$, kjer upoštevamo ingestijo mleka v Bohinjski Bistrici.

Na sliki (Slika 32) 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 (skoraj polovico). Pri otrocih največ k dozi prispeva uživanje moke oziroma žitnih izdelkov ter zelenjave (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 ~95%, za otroke ~90% in za odrasle ~85%.



Slika 32: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)

5.5.4 Doza zaradi zunanjega sevanja

Povprečni letni okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2008 je bil $868 \mu\text{Sv}$. 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 16).

Tabela 16: 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 17) so prikazane izračunane učinkovite doze prejete zaradi zunanjega obsevanja zaradi črnobilskega Cs-137 v zemlji. Doza za odraslega prebivalca je v letu 2008 ocenjena $1,7 \pm 0,3$ μSv , 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 2007 4,8 μSv , 2006 1,45 μSv , 2005 4,8 μSv ter 2004 in 2003: 6.4. Nekajkrat nižja ocena doze v letu 2006 in 2008 je posledica druge lokacije vzorčenja zemlje v Ljubljani, 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. 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 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 letos 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 17)

5.5.5 Skupna ocena doze

Na osnovi povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti dolgoživih fisijskih radionuklidov v vzorcih zraka, vode in hrane, odvzetih v letu 2007, povprečnem letnem vnosu posameznih vrst hrane in pitne vode ter ob upoštevanju doznih pretvorbennih 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.

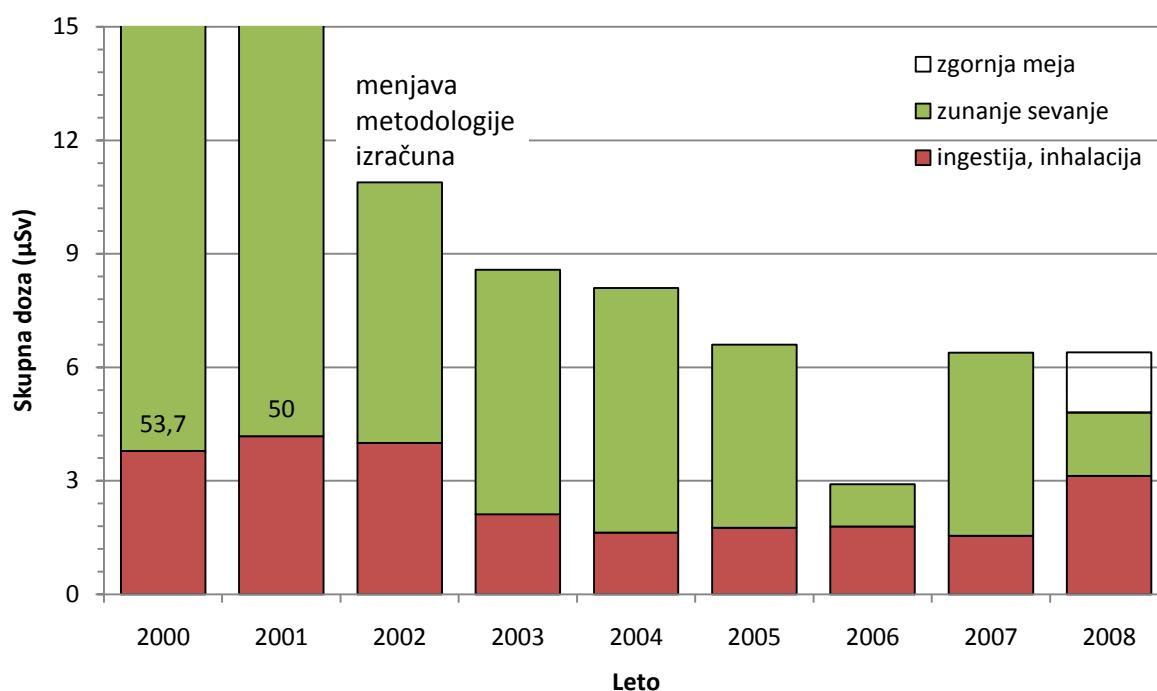
Izračun učinkovite doze smo naredili za različne referenčne skupine prebivalstva (Slika 31), ki odražajo starostne skupine splošnih predstavnikov prebivalstva, kakor tudi specifične skupine bodisi zaradi lokalnih posebnosti, načinov prehranjevanja, bivanja ipd. Skupna učinkovita doza za odrasle zaradi vnosa umetnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo ter zaradi zunanjega obsevanja tal znaša $< 6,4$ μSv na leto za odrasle, $< 9,3$ μSv na leto za otroke od 7. do 12. leta starosti in $< 12,6$ μSv na leto za dojenčke. V hrani večji del doze prispeva Sr-90, k zunanjemu 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 33) je primerjava učinkovitih predvidenih doz za odraslega prebivalca Slovenije za obdobje 2000 – 2008. Na grafikonu je prikazana ločena doza zaradi prispevkov ingestija in inhalacije oziroma zunanje sevanja. Padec doze zunanje obsevanja v letu 2002 je posledica spremenjene metodologije vrednotenja doz. Do leta 2001 se je namreč dozo zunanje sevanja zaradi črnobilske kontaminacije ocenjevalo iz odčitkov TL dozimetrom, kar je bilo obremenjeno z veliko napako meritve.

Tabela 17: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2008 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fizijskimi radionuklidi

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



Slika 33: Predvidena učinkovita doza H_E za odrasle za obdobje 2000 - 2008

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 2008 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.

5.6 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.