

ZVD

Zavod za varstvo pri delu



Marko Giacomelli, Gregor Omahen

**Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije
umetni radioaktivnosti v letu 2023**

Marko Giacomelli, Gregor Omahen

Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije umetni radioaktivnosti v letu 2023



ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Center za fizikalne meritve, Laboratorij za meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov

© 2024 ZVD d.o.o.

V poročilu o obsevanosti prebivalcev Slovenije analiziramo meritve v okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v Sloveniji, ki ga financirata Ministrstvo za naravne vire in prostor ter Ministrstvo za zdravje. Namen meritev je izračun doze umetnih radionuklidov v okolju, ki jo zaradi življenja v Sloveniji prejme povprečen prebivalec Slovenije. Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije nima namena prikazati sevalnih obremenitev, katerim je izpostavljeno prebivalstvo zaradi naravnih virov ali 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 obstoječe radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja kot posledice izvajanja preteklih jedrskih eksplozij, černobilske in fukušimske jedrske nesreče ter morebitnih drugih sevalnih nesreč z večjimi izpusti v okolje.

Poročilo vsebuje skupaj 177 strani ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti.

Izdal: ZVD ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU D.O.O., LJUBLJANA, marec 2024

Slika na naslovnici: Jesenski pigmenti, Ljubljana - Bežigrad © Marko Giacomelli

Slika na zadnji strani: Park po poletnem neurju, Ljubljana - Bežigrad © Marko Giacomelli
marko.giacomelli@zvd.si

ZVD zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Pot k izviru 6, 1260 Ljubljana-Polje, Slovenija

T: +386 (0)1 585 51 00; F: +386 (0)1 585 51 01; E: info@zvd.si; W: www.zvd.si

ID št. za DDV: SI21282692; Matična št.: 5055580

Vpis družbe: Okrožno sodišče v Ljubljani, vložna št.: 10024700

Zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Naslov poročila:	Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije umetni radioaktivnosti v letu 2023
Izdelovalec:	ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o., Center za fizikalne meritve, Laboratorij za meritve specifičnih aktivnosti radionuklidov, Pot k izviri 6, 1260 Ljubljana-Polje
Številka poročila:	LMSAR-20240004-MG
Datum poročila:	29.03.2024
Naročnik:	Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji, Ajdovščina 4, 1000 Ljubljana
Številka pogodbe:	C2717-24-232001
Skrbnika pogodbe:	Aleks Prša (URSVS), dr. Gregor Omahen (ZVD)
Program:	Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije v letu 2023 Radioactivity in the living environment of Slovenia in the year 2023
Izvajalca programa:	ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o. in Institut "Jožef Stefan"
Koordinatorja:	dr. Gregor Omahen (ZVD) dr. Benjamin Zorko (IJS)
Poslano:	naročnik (6 tiskanih izvodov, digitalna verzija) in arhiv ZVD (2 izvoda)

Poročilo pripravil: dr. MARKO GIACOMELLI, univ.dipl.fiz.


elektronsko
podpisano
dr. Marko Giacomelli, univ. dipl. fiz.

Pregledal in odobril: dr. GREGOR OMAHEN, univ.dipl.fiz.


elektronsko
podpisano
dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.



Povzetek / Abstract

V pričujočem poročilu so zbrani, analizirani in komentirani rezultati meritev radioaktivnosti antropogenih umetnih in naravnih radionuklidov v vzorcih biosfere, kakor tudi v posameznih členih prehranske verige. Umetna radioaktivnost okolja je posledica človekove dejavnosti, t.j. globalnega onesnaženja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij v ozračju in jedrskih nesreč v Černobilu in Fukušimi (prispevek slednje je v Sloveniji zanemarljiv). Na podlagi rezultatov meritev radioaktivnosti v okviru različnih monitoringov, ki se izvajajo v Sloveniji pod okriljem Ministrstva za zdravje in Ministrstvo za naravne vire in prostor, smo izdelali oceno doz prebivalstva zaradi izpostavljenosti dolgoživim umetnim radionuklidom (naravni so izvezeti). Ocenili smo doze sevanja po različnih ekspozicijskih prenosnih poteh. Ocenjena doza zaradi izpostavljenosti umetnim radionuklidom po vseh prenosnih poteh, znaša v letu 2023 za dojenčke $3,2 \mu\text{Sv}$ oziroma $< 3,8 \mu\text{Sv}$, za otroke od 7 do 12 let $2,6 \mu\text{Sv}$ oziroma $< 3,0 \mu\text{Sv}$ in za odrasle $2,1 \mu\text{Sv}$ oziroma $< 2,3 \mu\text{Sv}$. Ta vrednost predstavlja približno 0,2% mejne letne doze za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju. V primerjavi z letno dozo posameznega prebivalca Slovenije zaradi naravnega ozadja in medicinskih preiskav, ki znaša skupaj okrog 6,7 mSv, pa prispevek zaradi izpostavljenosti dolgoživim umetnim radionuklidom znaša okrog 0,03%.

In the present report the collected results of radioactivity measurements for manmade and natural radionuclides in the biosphere and in the particular elements of the food chain are analyzed and commented. Induced radioactivity of the environment is a consequence of human activities, *i.e.*, the general radioactive contamination due to the nuclear test explosions and Chernobyl and Fukushima accidents (the contribution of the latter is in Slovenia negligible). Based on the results of radioactivity measurement performed within the frameworks of various monitoring performed under the auspices of Ministry of Health and Ministry of Natural Resources and Spatial Planning we have assessed the doses to members of the public due to exposure to long-lived anthropogenic radionuclides (natural excluded). We have estimated doses for important exposure pathways. Dose estimates for infants, children for 7 up to 12 years and adults for manmade radionuclides in the year 2023 are $3,2 \mu\text{Sv}$ or $< 3,8 \mu\text{Sv}$, $2,6 \mu\text{Sv}$ or $< 3,0 \mu\text{Sv}$ and $2,1 \mu\text{Sv}$ or $< 2,3 \mu\text{Sv}$, respectively. These values represent approximately 0,2% 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. In comparison to the annual dose to members of the public in Slovenia due to natural background and medical diagnostic procedures, which totals to around 7 mSv, the contribution of exposure to long-lived anthropogenic radionuclides amounts to approximately 0,03%.

Ključne besede / Keywords

radioaktivno onesnaženje okolja, umetni in naravni radionuklidi, koncentracija aktivnosti radionuklidov, reke, vodovodi, suhi in mokri used, zrak, aerosoli, zemlja, hrana, ingestija, doze zunanjega sevanja, ocena učinkovitih doz

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



Kazalo

Povzetek / Abstract	5
Ključne besede / Keywords	6
1 Uvod	17
1.1 Zakonodajne podlage	17
1.2 Okvirni program meritev	17
1.3 Obseg poročila	18
1.4 Izpostavljenost naravnemu ozadju	18
1.4.1 Letna doza zaradi kozmičnega sevanja	18
1.4.2 Letna doza zaradi vnosa naravnih radionuklidov z zaužitjem in vdihavanjem	19
1.4.3 Letna doza zaradi zunanjega sevanja naravnih radionuklidov v zemlji	20
1.4.4 Letna doza zaradi zunanjega sevanja naravnih radionuklidov v gradbenih materialih	21
1.4.5 Letna doza zaradi vdihavanja radona in potomcev	21
1.5 Izpostavljenost pri medicinskih diagnostičnih posegih	22
1.5.1 Nuklearna medicina	23
2 Program in metodologija meritev	25
2.1 Vrste meritev	25
2.2 Lokacije vzorčenja	25
2.3 Metodologija meritev	26
2.4 Akreditirane meritve	26
2.4.1 Originalna poročila z meritvami	30
2.5 Izračuni koncentracij aktivnosti ali specifičnih aktivnosti	30
2.6 Orientacijske vrednosti meje detekcije	31

3	Okoljski monitoring	33
3.1	Zrak	33
3.1.1	Vzorčenje in rezultati meritev	33
3.1.2	Dolgoročni trend aktivnosti Cs-137	35
3.1.3	Sezonske variacije Cs-137	37
3.1.4	Lesna kuriva	43
3.1.5	Sezonske variacije Be-7 in Pb-210	48
3.1.6	Dolgoročni trend aktivnosti Be-7 in Pb-210	53
3.1.7	Zgodovinski pregled opaženih posebnosti	59
3.2	Padavine	62
3.2.1	Vzorčenje in rezultati meritev	62
3.2.2	Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90	62
3.2.3	Koncentracija aktivnosti H-3	68
3.2.4	Specifična aktivnost kozmogenega Be-7	69
3.3	Tekoče vode	73
3.3.1	Vzorčenje in rezultati meritev	73
3.3.2	Dolgoročni trendi	75
3.3.3	Študija K-40 na poljedeljsko intenzivnih območjih	75
4	Monitoring zemlje in zunanega sevanja	83
4.1	Zemlja	83
4.1.1	Vzorčenje in rezultati meritev	83
4.1.2	Dolgoročni trendi	86
4.2	TL dozimetri zunanega sevanja	91
4.2.1	Lokacije meritev	91
4.2.2	Rezultati meritev	91
4.2.3	Dolgoročni trend doz	93
5	Monitoring pitne vode, hrane in krme	97
5.1	Pitna voda	97
5.2	Mleko	100
5.2.1	Dolgoročni trendi	100
5.3	Hrana	106
5.3.1	Živila živalskega izvora	106
5.3.2	Žitarice in žitni izdelki	106
5.3.3	Sadje	108
5.3.4	Zelenjava	109
5.3.5	Otroška hrana	109
5.4	Krmila	111
6	Ocena prejetih doz sevanja	115
6.1	Osnovne enačbe	115
6.2	Uporabljeni podatki in predpostavke	117
6.2.1	Umetni radionuklidi	118
6.2.2	Naravni radionuklidi	118

6.2.3	Starostne skupine	118
6.2.4	Prehranjevalne predpostavke	118
6.2.5	Privzete koncentracije aktivnosti	119
6.3	Doza zaradi ingestije in inhalacije	119
6.3.1	Ingestija	120
6.3.2	Inhalacija	121
6.3.3	Naravni radionuklidi (informativno)	121
6.3.4	Prispevki posameznih vrst hrane	121
6.3.5	Prispevki posameznih izotopov	125
6.4	Doza zaradi zunanjega sevanja	125
6.5	Skupna ocena doze	126
7	Zaključki	131
7.1	Ugotovitve	131
7.2	Priporočila	132
8	Rezultati meritev	135
8.1	Pojasnila k tabelam	135
8.1.1	Zapisi meritev ZVD	135
8.1.2	Zapisi meritev IJS	135
8.2	Zrak	137
8.3	Lesna kuriva	142
8.4	Padavine	143
8.5	Tekoče vode	146
8.6	Zemlja	156
8.7	Morje - voda in sedimenti	161
8.8	Zunanje sevanje	162
8.9	Pitna voda	163
8.10	Hrana	165
8.11	Krmila	168
9	Literatura	169



Slike

1.1	Relativni prispevki k dozi zaradi naravnega ozadja v Sloveniji.	19
1.2	Relativni prispevki k dozi pacientov zaradi diagnostičnih posegov v medicini Sloveniji.	23
3.1	Lokacije vzorčenja vzorcev zraka.	34
3.2	Letna povprečja koncentracij aktivnosti Cs-137 v zraku na lokaciji Ljubljana od leta 1981 dalje	35
3.3	Slika po jedrski nesreči v Fukušimi (marec 2011)	36
3.4	Slika požara iz letala (april 2020)	36
3.5	Obseg in posledice požara v okolici Černobila	37
3.6	Sezonske variacije koncentracij Cs-137 v zraku v Ljubljani.	38
3.7	Različni viri prašnih delcev PM ₁₀ (za obdobje od 2000 do 2020).	39
3.8	Temperaturna korelacija prašnih delcev PM ₁₀ za preteklo leto na lokaciji v Ljubljani – oznake ob merskih točkah predstavljajo mesec meritve, barvna oznaka pa količino padavin.	39
3.9	Zgodovinski pregled temperaturne korelacije prašnih delcev PM ₁₀ na lokaciji v Ljubljani.	40
3.10	Sezonske korelacije med aktivnostjo Cs-137 v zraku in koncentracijo prašnih delcev PM ₁₀ oziroma temperaturo v letu 2023 na lokaciji Ljubljana.	41
3.11	Sezonske korelacije med aktivnostjo Pb-210 v zraku in koncentracijo prašnih delcev PM ₁₀ oziroma temperaturo v letu 2023 na lokaciji Ljubljana.	42
3.12	Sezonske korelacije med aktivnostjo Th-228 v zraku in koncentracijo prašnih delcev PM ₁₀ oziroma temperaturo v letu 2023 na lokaciji Ljubljana.	42
3.13	Raba obnovljivih virov energije - les in druga trdna biomasa (ARSO) oziroma OVE za ogrevanje (EUROSTAT). Pri vsakem letu je zapisna povprečna zimska temperatura (v času kurilne sezone – januar-februar, november-december)	43
3.14	Končna poraba energije lesnih kuriv v gospodinjstvih izračunana s pomočjo modela rabe energije v gospodinjstvih (IJS-CEU). Vrednosti za leto 2023 so ocenjene z linearno ekstrapolacijo trenda preteklih 5 let.	45
3.15	Lokacije vzorčenja ali lokacija izvora vzorcev lesnih kuriv.	46

3.16	Sezonska variacija koncentracij atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku in padavin na bližnjih lokacijah.	48
3.17	S površine Sonca izhaja t.i. solarni veter, ki praktično ne more prodreti v zemljino atmosfero (shematski prikaz); slika: ESA/ATG medialab.	49
3.18	Zimske in poletne korelacije med izmerjenimi koncentracijami atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2023 – številka ob meritvi pomeni mesec vzorčenja.	51
3.19	Vetrovne razmere na lokacijah vzorčenja zraka ali v neposredni bližini.	52
3.20	Povprečne celoletne koncentracije aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od leta 1996 dalje za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja).53	
3.21	V času večje sončeve aktivnosti heliosfera zmanjšuje fluks galaktičnih kozmičnih žarkov do zemljine atmosfere.	54
3.22	Sončeve pege so merilo za sončev aktivnost in solarni veter; slika: NASA.	55
3.23	Povprečno mesečno število sončevih peg – neprekinjena črta predstavlja drseče povprečje zadnjih 13 mesecev.	55
3.24	Antikorelacija sončevega cikla z letnimi koncentracijami Be-7 v zraku od leta 1996 dalje.	57
3.25	Antikorelacija sončevega cikla z mesečnimi koncentracijami Be-7 v zraku od leta 2000 dalje z delnim upoštevanjem izpiranja zaradi padavin.	58
3.26	Podrobnejše meritve koncentracij aktivnosti Ru-106 v zraku v Ljubljani, na Jareninskem vrhu in Predmeji.	59
3.27	Modeliranje razširjanja oblaka z izpusti Ru-106 - 24.9.2017 - 30.9.2017.	61
3.28	Lokacije vzorčenja vzorcev padavin.	63
3.29	Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij po Sloveniji)	65
3.30	Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2010 dalje na posamičnih lokacijah: Ljubljana, Novo mesto, Murska Sobota in Bovec.	66
3.31	Korelacija količine padavin s povprečnim letnim usedom Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na različnih lokacijah po Sloveniji od leta 2000 dalje.	67
3.32	Povprečne letne koncentracije aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje.	68
3.33	Specifične aktivnosti Be-7 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1996 dalje.	70
3.34	Korelacija skupnega letnega useda, povprečnega mesečnega useda in specifičnega letnega ter specifičnega mesečnega useda Be-7 s sončevim ciklom od leta 1996 dalje.	71
3.35	Korelacija izmerjenega mesečnega useda Be-7 v padavinah v Ljubljani in količino padavin oziroma številom deževnih dni (za leto 2023).	72
3.36	Lokacije vzorčenja tekočih vod.	74
3.37	Karta preostale specifične aktivnosti Cs-137 v tleh v Avstriji (leto 2021).	75
3.38	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi (povprečje lokacij Ljubljana in Brežice) in Dravi (lokacija Dravograd) od leta 2002 dalje.	76
3.39	Lokacije vzorčenja rečne vode, zemlje in poljščin na poljedelsko intenzivnih področjih Slovenije.	77
3.40	Koncentracije K-40 in Cs-137 v obdelani zemlji na poljedeljsko intenzivnih območjih	78

3.41	Koncentracije K-40 in Cs-137 v nefiltrirani rečni vodi na različnih lokacijah intenzivnega poljedelstva	79
3.42	Koncentracije K-40 v poljščinah na različnih lokacijah intenzivnega poljedelstva	80
3.43	Analiza korelacije izotopa K-40 v obdelani zemlji in nefiltrirani rečni vodi. . .	81
3.44	Analiza korelacije izotopa K-40 v zemlji in poljščinah.	81
3.45	Analiza korelacije izotopa K-40 in Cs-137 v zemlji.	82
4.1	Lokacije vzorčenja vzorcev zemlje.	84
4.2	Povprečna letna koncentracija aktivnosti K-40 v zemlji	85
4.3	Povprečna letna koncentracija aktivnosti Cs-137 v zemlji	85
4.4	Povprečna letna koncentracija aktivnosti Sr-90 v zemlji	86
4.5	Specifične aktivnosti — depozit — Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v Ljubljani v različnih plasteh ter preračun radioaktivnega razpada od leta 1986 dalje. . .	88
4.6	Specifične aktivnosti — depozit — Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v Kobaridu v različnih plasteh ter preračun radioaktivnega razpada od leta 1986 dalje. . .	89
4.7	Specifične aktivnosti — depozit — Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v Murski Soboti v različnih plasteh ter preračun radioaktivnega razpada od leta 1986 dalje. .	90
4.8	Lokacije TL dozimetrov za meritve letne doze zunanjega sevanja.	92
4.9	Izmerjena letna doza s TL dozimetri na različnih lokacijah po Sloveniji. . .	93
4.10	Radonski potencial v tleh v Sloveniji.	94
4.11	Izmerjene koncentracije radona v bivalnih prostorih — mediana porazdelitve.	94
4.12	Doza zaradi zunanjega sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje. .	95
4.13	Energijska odvisnost razmerja okoljskega, $H^*(10)$, in fotonskega doznega ekvivalenta, H_x	96
5.1	Lokacije vzorčenja vzorcev pitne vode.	98
5.2	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137, Sr-90 in H-3 v pitni vodi od leta 2009 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev).	99
5.3	Lokacije vzorčenja vzorcev mleka.	101
5.4	Primerjava povprečnih letnih koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v surovem mleku na različnih lokacijah v Sloveniji za leto 2023.	102
5.5	Koncentracije aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v posamičnih dvomesečnih vzorcih surovega mleka preteklega leta iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice.	103
5.6	Koncentracije aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v posamičnih dvomesečnih vzorcih mleka v prahu iz Murske Sobote.	104
5.7	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v mleku z različnih lokacij od leta 1986 dalje.	105
5.8	Lokacije vzorčenja vzorcev živil živalskega izvora in žitaric ter žitnih izdelkov.	107
5.9	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v živilih živalskega izvora od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev razen medu in divjačine).	108
5.10	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v žitaricah in žitnih izdelkih od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev).	108
5.11	Lokacije vzorčenja vzorcev sadja in zelenjave.	110
5.12	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v sadju od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev razen specifičnih z večjo akumulacijo).	111
5.13	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v zelenjavi od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev brez gob).	111
5.14	Lokacije vzorčenja vzorcev celovitega obroka otrok.	112

5.15	Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v obrokih otroške hrane od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev).	113
5.16	Lokacije vzorčenja vzorcev krme.	114
6.1	Shematski prikaz faktorja zaradi ščitenja glede na različno vrsto zgradb.	116
6.2	Shematski prikaz prenosnih poti za notranje in zunanje obsevanje.	117
6.3	Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije bodisi prehranjevalnih navad.	120
6.4	Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).	124
6.5	Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)	125
6.6	Predvidena efektivna doza H_E zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi umetnimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje	129



Tabele

2.1	Program meritev radioaktivnosti v življenjskem okolju v Sloveniji v 2023 . . .	27
2.2	Program meritev radioaktivnosti v živil, pitne vode in krmil v Sloveniji v 2023	28
2.3	Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide . . .	31
3.1	Izpusti Cs-137 v zrak zaradi uporabe lesnih kuriv in primerjava z izpusti NEK47	
3.2	Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij)	64
3.3	Najvišje izmerjene, $A_{\max}$, in povprečne koncentracije, A , radionuklidov v vzorcih tekočih vod	73
4.1	Seznam TL-dozimetrov v Republiki Sloveniji z GPS koordinatami	91
6.1	Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine	119
6.2	Povprečne koncentracije aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 ter H-3 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2023	121
6.3	Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije umetnih radionuklidov za različne skupine prebivalstva v letu 2023.	122
6.4	Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije Pb-210 (le informativno) za različne skupine prebivalstva v letu 2023.	123
6.5	Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja	126
6.6	Ocenjene doze zaradi zunanjega obsevanja odraslih prebivalcev v preteklih letih	127
6.7	Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2023 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi umetnimi radionuklidi – pregledna zbirna tabela	128
8.1	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka - Ljubljana SIJS	138
8.2	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka v obdobju jedrske nesreče v Fukušimi marca 2011 - Ljubljana SIJS	139
8.3	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka v obdobju požara v Černobilu aprila 2020 - Ljubljana SIJS	140
8.4	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka - Murska Sobota ZVD . . .	141
8.5	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka - Predmeja ZVD	141

8.6	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih lesa in lesnih kuriv ZVD $\otimes$ IJS . . .	142
8.7	Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Novo mesto ZVD	143
8.8	Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Murska Sobota ZVD . . .	143
8.9	Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Bovec ZVD	144
8.10	Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Ljubljana ZVD	145
8.11	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Soča $\otimes$ IJS	146
8.12	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Sava $\otimes$ IJS	147
8.13	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Drava $\otimes$ IJS	148
8.14	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Savinja $\otimes$ IJS	149
8.15	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Mura $\otimes$ IJS	150
8.16	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Krka $\otimes$ IJS	151
8.17	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Kolpa $\otimes$ IJS	152
8.18	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih neobdelane zemlje na polje- deljsko intenzivnih področjih ZVD	153
8.19	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih nefiltrirane rečne vode na poljedeljsko intenzivnih področjih ZVD	154
8.20	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih poljščin na poljedeljsko inten- zivnih področjih ZVD	155
8.21	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Ljubljana $\otimes$ IJS	157
8.22	Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Ljubljana $\otimes$ IJS	158
8.23	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Kobarid ZVD	159
8.24	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Murska Sobota ZVD . .	160
8.25	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih morja - vode in sedimentov $\otimes$ IJS	161
8.26	Izmerjene vrednosti zunanjega sevanja s TL dozimetri $\otimes$ IJS	162
8.27	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih pitne vode $\otimes$ IJS	163
8.28	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih pitne vode – nadaljevanje $\otimes$ IJS .	164
8.29	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Ljubljana ZVD	165
8.30	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Kobarid ZVD	165
8.31	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Bohinjska Bistrica ZVD .	165
8.32	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Murska Sobota ZVD . .	166
8.33	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih živil živalskega izvora ZVD . . .	166
8.34	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih kruha in žitaric ZVD	166
8.35	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zelenjave ZVD	167
8.36	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih sadja ZVD	167
8.37	Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih obroka hrane ZVD	167
8.38	Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih krme $\otimes$ IJS	168

1 — Uvod

1.1 Zakonodajne podlage

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJV) [1] 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 158. in 159. členu ZVISJV so podane zahteve za spremljanje stanja radioaktivnosti okolja, na podlagi katerih se izvajajo meritve v okolju, ki jih podrobneje ureja Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti (JV10) [2]. V 35. členu ZVISJV so podane zahteve za mejne doze za prebivalstvo, ki jih podrobneje razčlenjujeta Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz (SV5) [3] in Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji (UV2) [4]. V 63. členu ZVISJV so podane zahteve za izdelavo poročila o ocenah prejetih doz za prebivalstvo, ki temelji na prej omenjenih pravilnikih in uredbi.

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

1.2 Okvirni program meritev

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

V celotnem programu so zajeti vzorci vzorčeni na različne načine, in sicer:

- enkratni vzorci (npr. vzorci živil),
- vzorci, ki se sproti posamično odvezajo, kumulativno zbirajo, ovrednoti pa se radioaktivnost celotnega zbranega vzorca v daljšem časovnem obdobju (npr. mleko kot dvomesečni kompozitni vzorec) ter
- vzorci, ki se zbirajo kontinuirano skozi celotni mesec, meri pa se mesečni kompozitni vzorec (npr. vzorci zraka, padavin).

Izvajalca nadzornih meritev v življenjskem okolju Republike Slovenije sta Zavod za varstvo pri delu d.o.o. (ZVD) in Institut "Jožef Stefan" (IJS). Oba izvajalca se redno

udeležujeta 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 in pri rednih obhodih mobilnih enot v okolici NEK.

1.3 Obseg poročila

V poročilu o obsevanosti prebivalcev Slovenije analiziramo meritve radioaktivnosti v okviru rednega monitoringa radioaktivnosti v Sloveniji, ki ga financirata Ministrstvo za naravne vire in prostor ter Ministrstvo za zdravje. Namen meritev je izračun doze umetnih radionuklidov v okolju, ki jo zaradi življenja v Sloveniji prejme povprečen prebivalec Slovenije. Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije nima namena prikazati sevalnih obremenitev, katerim je izpostavljeno prebivalstvo zaradi naravnih virov ali 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 obstoječe radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja kot posledice izvajanja preteklih jedrskih eksplozij, černobilske in fukušimske jedrske nesreče ter morebitnih drugih sevalnih nesreč z večjimi izpusti v okolje. V poglavju 1.4 le za primerjavo podajamo povzetek ocene doze zaradi naravnega ozadja in v poglavju 1.5 povzetek ocene izpostavljenosti pacientov pri medicinskih preiskavah zaradi radioloških posegov.

1.4 Izpostavljenost naravnemu ozadju

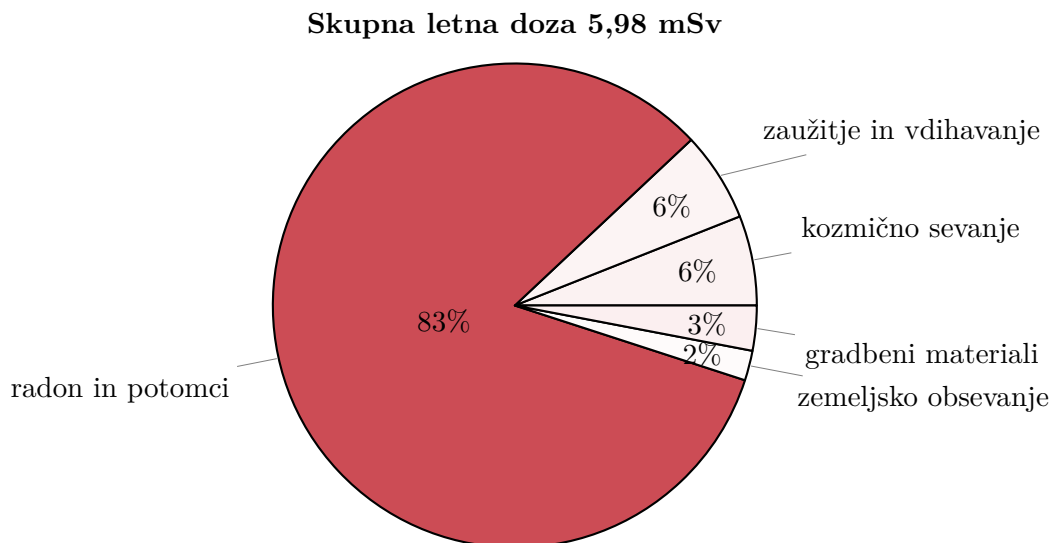
Zaradi prisotnosti naravnih radioaktivnih izotopov v našem življenjskem okolju so ljudje ves čas izpostavljeni sevanju. To sevanje imenujemo sevanje naravnega ozadja. Letni dozi, ki jo prejmemo osebe zaradi izpostavljenosti sevanju naravnega ozadja, prispevajo različni viri sevanja. Te lahko v grobem razdelimo na vire sevanja v hrani, pijači in zraku, vire sevanja v zemlji in gradbenih materialih, kozmično sevanje ter sevanje zaradi radona in njegovih potomcev. V pričujočem poročilu LMSAR-20240004-MG sicer obravnavamo izpostavljenost prebivalcev Slovenije sevanju umetne oziroma človeško povzročene radioaktivnosti. Za ustrezno ovrednotenje in kontekstualizacijo ter primerjavo izračunov prispevkov te umetne radioaktivnosti zato za primerjavo podajamo povzetek ocene doze zaradi naravnega ozadja, ki je bilo posebej ovrednoteno v poročilu v letu 2023 [5] (pred tem nazadnje ocenjeno v letu 1989). K dozi naravnega ozadja so tako ocenjeni naslednji prispevki in njihove vrednosti:

- kozmično sevanje - 360 μSv
- vnos radionuklidov z zaužitjem in vdihavanjem - 330 μSv
- zemeljsko obsevanje - 112 μSv
- obsevanje zaradi radionuklidov v gradbenih materialih - 209 μSv
- vdihavanje radona in potomcev - 4972 μSv

Na podlagi izvedene analize je ocena povprečne letne doze za odrasle prebivalce zaradi naravnega sevanja **$5,98 \pm 0,60 \text{ mSv}$ ($5983 \pm 602 \mu\text{Sv}$)**, relativni prispevki pa so prikazani na sliki 1.1. Razpon letne doze po Sloveniji pa se giblje od 1,99 mSv za občino z najnižjo koncentracijo radona (Piran) do 17,77 mSv za občino z najvišjo koncentracijo radona (Mirna Peč).

1.4.1 Letna doza zaradi kozmičnega sevanja

Visoko energijsko kozmično sevanje neprestano bombardira Zemljino atmosfero, kjer interagira z atomi plina ter ustvarja številne različne radioizotope, ki nato dosežejo



Slika 1.1 | Relativni prispevki k dozi zaradi naravnega ozadja v Sloveniji.

površje. Številne meritve so ugotovile, da je kozmično sevanje sestavljeno iz nabitih delcev in elektromagnetnega valovanja. Večji del kozmičnega sevanja predstavljajo visoko energijski nabiti delci (nabiti delci, ki se gibljejo skoraj s hitrostjo svetlobe). 90% kozmičnih delcev je galaktičnega izvora in so sestavljeni iz protonov (87%), helijevih jeter (alfa delci, 12%) in težjih jeter (1%). 10% kozmičnega sevanja pa predstavlja sevanje Sonca, ki je v 98% sestavljeno iz protonov in v 2% iz helijevih jeter [6–8]. To nato direktno ali posredno preko spalacijskih produktov povzroča dozo zaradi nabitih delcev in žarkov gama ter dozo zaradi nevtronov.

Spremembe v Zemeljski atmosferi, magnetnem polju in Sončevem ciklu vplivajo na intenziteto kozmičnega sevanja, ki doseže površje¹. Določitev letne doze zaradi kozmičnega sevanja temelji na modelskih izračunih doze na zemljepisni širini in nadmorski višini [6, 9]. Evropska komisija je v sklopu analize doze zaradi kozmičnega sevanja (European Atlas of Natural Radiation [6]) določila povprečne letne doze po vseh državah članicah. Pri tem so upoštevali nadmorsko višino in število prebivalcev na mreži 1×1 km po celotni Evropi. Za porazdelitev prebivalcev so uporabili podatke iz leta 2006. Za Slovenijo so tako ocenili povprečno letno dozo zaradi kozmičnega sevanja na $0,360 \pm 0,035 \text{ mSv}^2$.

1.4.2 Letna doza zaradi vnosa naravnih radionuklidov z zaužitjem in vdihavanjem

Naravni izotopi so prisotni povsod v Zemljini skorji. Ti nato z erozijo in vsrkavanjem pridejo v vodo, zrak in hrano, ter tako v človeško telo, kjer z radioaktivnim razpadom povzročijo dozo zaradi naravnega ozadja. Določitev letne doze zaradi vnosa radionuklidov temelji na meritvah radionuklidov v zraku, pitni vodi in hrani ter pretvornih faktorjih za izračun doze na osnovi koncentracij izotopov [10]. Prispevek zaradi vdihavanja radona in potomcev je tu izločen, saj je analiziran posebej. Pri analizi so uporabili povprečne rezultate meritev petih let v obdobju med 2018 – 2022 izvedenih v okviru programov monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju Uprave RS za jedrsko varnost (URSJV)

¹V povprečju lahko intenziteta kozmičnega sevanja variira za 50%.

²negotovost vrednosti je posledica negotovosti v vrednostih za izračun doze in spremembi intenzitete kozmičnega sevanja zaradi 11-letnih Sončevih ciklov

in programov monitoringa radioaktivnosti živil in pitne vode Uprave RS za varstvo pred sevanji (URSVS).

Zrak

Meritve radionuklidov v zraku se izvajajo na lokacijah Predmeja, Murska Sobota in Ljubljana. Povprečno koncentracijo radionuklida v zraku smo pridobili s povprečenjem meritev na vseh treh merilnih lokacijah opravljenih v petih letih. Z upoštevanjem starostne strukture prebivalstva v Sloveniji (volumen predihanega zraka, pretvorbeni faktorji) je povprečna letna doza zaradi vdihovanja radioaktivnih izotopov v zraku **$0,033 \pm 0,012$ mSv**. Negotovost je posledica negotovosti posamičnih meritev in raztresenosti meritev. Največ k celotni letni dozi prispeva izotop Pb-210, ki prispeva kar 93% celotne letne doze.

Pitna voda

Meritve radionuklidov v pitni vodi se redno letno izvajajo na petnajstih različnih lokacijah po Sloveniji, lokacije se spreminjajo vsako leto. Povprečno koncentracijo radionuklida v pitni vodi v Sloveniji smo dobili s povprečenjem vseh meritev opravljenih v petih letih. Z upoštevanjem starostne strukture prebivalstva v Sloveniji (porabljena količina, pretvorbeni faktorji) je povprečna letna doza zaradi pitja vode, ki vsebuje naravne radioaktivne izotope, je ocenjena na **$0,009 \pm 0,002$ mSv**. K celotni dozi prispevajo največ izotopi Ra-226, Pb-210, Ra-228 in Th-230.

Hrana

Meritve radionuklidov v hrani se redno izvajajo in zajemajo mleko, meso, sadje, zelenjavo in žitarice. Meritve vzorcev hrane se letno izvajajo v okviru programa meritev radioaktivnosti vzorcev hrane URSVS in zajemajo najpomembnejša živila rastlinskega in živalskega porekla, ki se sezonsko jemljejo na različnih področjih Slovenije – v Prekmurju, na Štajerskem, na Gorenjskem, na Primorskem, na Notranjskem in na Dolenjskem. Lokacije vzorčenja so različna vsako leto. Meritve se izvajajo tudi za celotne obroke otroške hrane v vrtcih večjih mest (Ljubljana, Maribor, Koper, Kranj in Novo mesto). Na podlagi podatkov za starostno strukturo prebivalcev Slovenije in prehranjevalnih navad so bile določene letne doze zaradi zaužitja različnih vrste hrane. Povprečna letna doza zaradi zaužitja hrane je **$0,288 \pm 0,010$ mSv**. Največji prispevek k celotni letni dozi je zaradi izotopa K-40, ki prispeva kar 64% (0,18 mSv) celotne doze, sledi pa mu izotop Pb-210, ki prispeva 25% k celotni letni dozi. Pri tem je potrebno poudariti, da je bilo na podlagi številnih analiz ugotovljeno, da človeško telo lahko zadržuje omejeno količino K-40, odvečne količine pa izloči iz telesa, tako oseba ne more dolgoročno prejeti povišane doze zaradi večje količine zaužitega kalija.

Vnos skupaj

V povprečju vsak prebivalec Slovenije letno zaradi vnosa radionuklidov v hrani, vodi in zraku prejme dozo **$0,330 \pm 0,016$ mSv**, h kateri hrana prispeva 87% letne doze, pitna voda prispeva 3% doze in vdihavanje prispeva 10% doze.

1.4.3 Letna doza zaradi zunanjega sevanja naravnih radionuklidov v zemlji

Naravni radioaktivni izotopi v zemlji sevajo delce α in β ter žarke γ , med katerimi je najpomembnejše slednje sevanje zaradi prodornosti žarkov iz zemlje v okolico. V času zadrževanja na prostem in v zgradbah tako ljudje prejemamo dozo zaradi teh radioaktivnih izotopov v zemlji. Meritve koncentracij radionuklidov v zemlji v Sloveniji se dvakrat na leto izvajajo na treh različnih lokacijah, in sicer Murska Sobota, Kobarid in Ljubljana. Vzorci zemlje se jemljejo do globine 50 cm s plastmi debeline 10 cm.

Absorbirano dozo v zraku izračunamo iz koncentracij aktivnosti U-238, Th-232 in njihovih potomcev ter K-40. Predpostavimo, da so radionuklidi in njihovi potomci v sekularnem ravnovesju ter da so homogeno porazdeljeni v zemlji.

Vse tri lokacije vzorčenja so bile združene v slovensko povprečje, saj se koncentracije naravnih radionuklidov niso bistveno razlikovalne. Upoštevajoč zadrževanje na prostem in v zgradbah (20% oziroma 80% časa) ter redukcijske faktorje zaradi ščitenja stavb je ocenjena letna doza zaradi zemeljskega sevanja $0,112 \pm 0,008$ mSv.

1.4.4 Letna doza zaradi zunanjega sevanja naravnih radionuklidov v gradbenih materialih

Določitev letne doze zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih temelji na TLD meritvah ozadja v okviru siceršnjega izvajanja osebne dozimetrije delavcev, ki delajo z viri sevanja. Meritve izvaja ZVD ob začetni postavitvi virov sevanja v podjetjih in v nekaterih primerih kontinuirane mesečne meritve. Baza TLD meritev ozadja v stavbah tako zavzema več kot 1000 podjetij v obdobju od leta 2010 do leta 2023 s kar nekaj podjetji z večletnimi meritvami. Meritve tudi zajemajo številne različne stavbe, od starih do novih gradenj. Lokacije merjenih ozadij so raztresene po celotni Sloveniji.

Od TLD meritev pa je za določitev letne doze zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih potrebno odšteti deleže kozmičnega sevanja in sevanja zemlje, ki pridejo v objekt. S povprečjem vseh TLD meritev v zgradbah in odštetjem zunanjega sevanja so določili dozo zaradi gradbenih materialov. Pri izračunu je tudi potrebno upoštevati, da se v stavbah zadržujemo okrog 80% časa. Ocenjena letna doza zaradi izpostavljenosti zunanjem sevanju naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih je $0,209 \pm 0,056$ mSv.

1.4.5 Letna doza zaradi vdihavanja radona in potomcev

Dolgoživi radionuklidi U-238, Th-232 in U-235 so začetni izotopi dolgih naravnih razpadnih nizov. V vsakem razpadnem nizu je med potomci nek izmed radijevih izotopov, in sicer Ra-226, Ra-224 in Ra-223. Ti razpadajo v izotope radona Rn-222 (radon), Rn-220 (toron) in Rn-219 (aktinon), ki so vsi radioaktivni žlahtni plini. Med potomci radona so tudi sevalci delcev alfa v aerosolni obliki, ki lahko povzročijo veliko notranjo obsevanost.

Radon zaradi inertnosti tako pronica iz tal proti površju, kjer se zbira v zaprtih prostorih ali pa izhaja v atmosfero. Količine radona in njegovih potomcev 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 rakavo obolenje.

Določitev letne doze zaradi vdihavanja radona in potomcev temelji na številnih meritvah koncentracije radona v zgradbah ter pretvorbenih faktorjih za izračun doze na osnovi koncentracije radona [11]. V številnih slovenskih občinah v skladu z uredbo o nacionalnem radonskem programu [11] zato poteka sistematično merjenje radona v šolah, vrtcih, gospodarskih in stanovanjskih objektih. Pri analizi koncentracij radona v zgradbah smo upoštevati tudi čas izvajanja meritev koncentracije radona, saj so pretekle meritve pokazale, da so koncentracije radona v zimskih mesecih višje kot v poletnih mesecih. Pri analizi doz zaradi vdihavanja radona in potomcev smo upoštevali podatke o številu in starostni sestavi prebivalcev posamezne občine. Z razdelitvijo na tri starostne skupine (šolski otroci, aktivno prebivalstvo in upokojenci) smo upoštevali tudi dnevne navade ali migracije, kot so zadrževanje v šoli, službi ali doma (pomembno je pri delu v drugi občini).

Pri analizi je bilo uporabljenih več kot 7000 meritev koncentracije³ radona izvedenih v obdobju med 2018 in 2023. Meritve so bile izvedene v vrtcih, šolah in stanovanjskih objektih znotraj merilnega programa URSVS, medtem ko so bile meritve v podjetjih izvedene pa podlagi individualnih zahtev podjetij. Na podlagi teh meritev koncentracij radona in razmerja med zimsko in poletno koncentracijo so za vsako izvedeno meritev izračunali povprečno letno koncentracijo radona za merilno mesto. Na podlagi mediane koncentracije radona in pretvornih faktorjev je bila izračunana povprečna letna doza za prebivalca Slovenije zaradi radona in potomcev v zaprtih prostorih, ki znaša **4,795 ± 0,598 mSv**. Poleg povprečne letne doze je tudi zelo pomemben podatek razpon letnih doz v zaprtih prostorih zaradi velikih razlik v koncentracijah radona v različnih občinah. Oseba, ki živi v občini Piran, ki ima na podlagi meritev najnižjo koncentracijo radona v zaprtih prostorih, in tudi dela v občini Piran dobi letno dozo zaradi radona in potomcev v zaprtih prostorih 0,973 mSv, medtem ko oseba, ki živi in dela v občini Mirna Peč, ki ima najvišjo mediano koncentracije radona v zaprtih prostorih, dobi letno dozo 16,632 mSv.

1.5 Izpostavljenost pri medicinskih diagnostičnih posegih

Prebivalstvo Slovenije je dodatno izpostavljeno sevanjem v medicini, in sicer kot pacienti pri raznih diagnostičnih posegih. V večini razvitih držav predstavlja izpostavljenost sevanju med medicinskimi preiskavami največji prispevek k dozi prebivalstva med antropogenimi sevanji.

Zato za primerjavo podajamo tudi povzetek ocene izpostavljenosti pacientov pri medicinskih preiskavah zaradi radioloških posegov [12] in v nuklearni medicini [13]. Analiza je bila narejena na podlagi izmerjenih doznih podatkov za obdobje več let in s podatki o frekvencah posegov zbranih za leto 2011. Poudariti je potrebno, da zaradi hitrega razvoja diagnostičnih tehnik, večje dostopnosti preiskav in tudi večjega števila naprav za obsevanje pacientov, ocenjene doze ne odražajo dejanskega stanja in so lahko podcenjene.

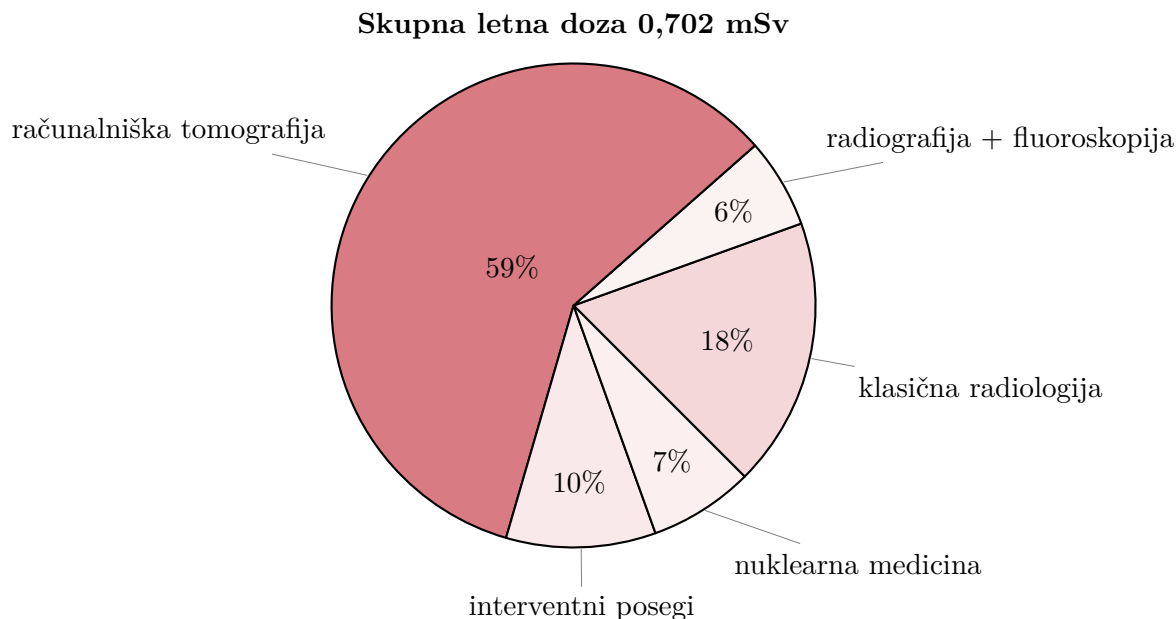
Diagnostični RTG posegi

Vsak poseg lahko vključuje več slikanj, zato je bila analiza prejetih doz zaradi RTG posegov [12] narejena po v naprej znani metodologiji Evropske komisije [14]. Povprečna efektivna doza za vsako preiskavo je bila določena na vzorčnih primerih pacientov med rednimi diagnostičnimi posegi⁴. Produkt doze in površine sevalnega polja (Dose Area Product – DAP) je bil uporabljen za klasične, fluoroskopske in interventne posege, produkt doze in dolžine preiskovanega področja (Dose Length Product – DLP) za posege z računalniško tomografijo (CT) in povprečna žlezna doza (Mean Glandular Dose – MGD) za mamografije. Rezultati analize so pokazali, da je bilo v letu 2011 izvedenih skoraj milijon posegov, od tega približno 88% s klasično radiografijo, približno 10 % posegov s CT aparati, okrog 1,5% radiografskih/fluoroskopskih posegov in okrog 0,5% interventnih posegov. Za določitev kumulativne doze prebivalcev Slovenije so bili podatki o frekvencah posegov kombinirani s podatki o dozah za te posege, in sicer:

- klasična radiologija - 252 čl.Sv
- radiografija/fluoroskopija - 78 čl.Sv
- računalniška tomografija - 831 čl.Sv
- interventni posegi - 142 čl.Sv

³Meritve opravlja ZVD

⁴Meritve je opravljal ZVD



Slika 1.2 | Relativni prispevki k dozi pacientov zaradi diagnostičnih posegov v medicini Sloveniji.

Skupna kumulativna doza za vse diagnostične RTG posege torej znaša 1302 čl.Sv na leto, kar v Sloveniji pomeni statistično na posameznega prebivalca povprečno okrog **0,651 mSv**. Iz analiz torej izhaja, da je glavnina doze 64% posledica preiskav z računalniško tomografijo, čeprav je delež preiskav glede na vse opravljene komaj 5%. Interventni radiološki posegi predstavljajo komaj 0,5% delež vseh preiskav, pa prispevajo k dozi 10% delež.

1.5.1 Nuklearna medicina

V letu 2011 je URSVS izvedla sploh prvo analiz doz pri preiskavah v nuklearni medicini [13] v Sloveniji. Za oceno kumulativne doze ali doze za posameznika je bila ocenjena frekvenca posegov in povprečna efektivna doza za vrsto posega. Po zbranih podatkih o frekvencah so za teh 36 vrst posegov ocenili tipično efektivno dozo. Pri posegih se v Sloveniji uporabljajo izotopi Tc-99m, F-18, Tl-201, I-131, I-123, In-111 in Ga-67.

Pet vrst posegov prispeva največji delež h kolektivni dozi (slikanje kosti in 4 pregledi srca), ki znaša okrog 64%, delež desetih najbolj obremenilnih posegov pa okrog 85%. Podatki so bili zbrani za 31187 preiskav opravljenih v letu 2011. Skupna kolektivna efektivna doza zaradi diagnostičnih preiskav v nuklearni medicini je bila ocenjena na 102 čl.Sv, kar v Sloveniji pomeni statistično na posameznega prebivalca povprečno okrog **0,051 mSv**. Skoraj polovica kolektivne doze je povzročene pri preiskavah srca. Glede na vrsto izotopa je Tc-99m glavni vir prispevka k dozi, saj predstavlja skoraj 90% delež, medtem ko skupen prispevek I-131, I-123, In-111 in Ga-67 ne presega 3%. Delež preiskav s PET je v leto 2011 bil ocenjen na 5% z opombo, da bi v prihodnjih letih lahko zelo narastel.

Vrste meritev

Lokacije vzorčenja

Metodologija meritev

Akreditirane meritve

Originalna poročila z meritvami

Izračuni koncentracij aktivnosti ali specifičnih aktivnosti

Orientacijske vrednosti meje detekcije

2 — Program in metodologija meritev

2.1 Vrste meritev

Program meritev radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja v Republiki Sloveniji je bil v letu 2023 podoben kot v prejšnjih letih. Način zbiranja in odvzema vzorcev, priprava in obdelava ter meritve radioaktivnosti so v skladu z enotno metodologijo, predpisano s Pravilnikom JV10 [2].

Program meritev v Sloveniji je prikazan v tabelah 2.1 in 2.2. V posebnem stolpcu so označene meritve, ki ji je opravil bodisi ZVD bodisi IJS.

Stalen nadzor nad kontaminacijo okolja s sevalci gama, Sr-90, I-131 in H-3 je tudi v letu 2023 zajel najpomembnejše člene prehranske verige in tako kot v prejšnjih letih, upošteval padavinsko različna področja. Na podlagi črnobilskih izkušenj so v programu tudi termoluminiscentni (TL) dozimetri in sicer na več krajih v Sloveniji, ki služijo za indikacijo nihanj zunanega sevanja gama oziroma za določevanje prejetih doz prebivalstva zaradi zunanega sevanja gama (vključno z naravnimi radionuklidi in kozmičnim sevanjem).

2.2 Lokacije vzorčenja

Lokacije vzorčenja zraka, padavin, zemlje, tekočih vod ter merilna mesta doz zunanega sevanja so ostala enaka kot v prejšnjih letih, pri ostalih vzorcih pa se lokacije vzorčenja določajo sproti za vsako leto. Pri lesnih kurivih vzorčimo reprezentativne vzorce na tržišču pri večjih ponudnikih v Sloveniji, pri čemer sledimo raznolikosti bodisi lokacij odvzema bodisi porekla kuriv. Kraji vzorčenja pitne vode so določeni na podlagi Programa meritev, kjer izvedbo vzorčenja pitne vode in dostavo vzorcev izvajalcu meritev zagotovi Uprava RS za varstvo pred sevanji. Vzorce hrane določi in lokacije vzorčenja določi Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, kjer sledijo zagotovitvi reprezentativnih vzorcev na tržišču pri ponudnikih v različnih mestih po Sloveniji. Vzorce nato dostavi izvajalcu meritev.

Posamezne lokacije vzorčenja so prikazane v na zemljevidih v posameznih pripadajočih poglavjih, in sicer:

- zrak – slika 3.1 na strani 34
- lesna kuriva – slika 3.15 na strani 46

- padavine – slika 3.28 na strani 63
- tekoče vode – slika 3.36 na strani 74
- zemlja – slika 4.1 na strani 84
- zunanje sevanje – slika 4.8 na strani 92
- pitna voda – slika 5.1 na strani 98
- hrana – slike 5.8, 5.11 in 5.14 na straneh 107, 110 in 112
- krma – slika 5.16 na strani 114

2.3 Metodologija meritev

Meritve v okviru rednega monitoringa življenjskega okolja v Republiki Sloveniji v letu 2023 sta izvajala ZVD in IJS. Za določanje koncentracij aktivnosti radionuklidov v vzorcih iz okolja smo uporabljali visoko ločljivostno spektrometrijo gama (ZVD in IJS), radiokemično analizo Sr-90 (ZVD in IJS), radiokemično analizo H-3 (IJS) in radiokemično analizo I-131 (ZVD). Za meritve doze zunanjega sevanja smo uporabljali TL dozimetre (IJS).

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.

Vzorci zraka, padavin, neobdelane zemlje ter hrane rastlinskega in živalskega porekla smo v letu 2023 na ZVD vzorčili, pripravili in merili v skladu z odobrenimi delovnimi postopki za vzorčenje, pripravo vzorcev in izvajanje meritev koncentracij aktivnosti gama in beta sevalcev v vzorcih iz življenjskega okolja [15–24].

IJS Institut "Jožef Stefan".

IJS je v letu 2023 izvajal meritve radioaktivnosti tekočih vod, pitnih vod, kmril, sedimenta, zemlje in zraka v Ljubljani ter zunanjega sevanja. Vzorce so na IJS vzorčili, pripravili in merili v skladu s sprejetimi postopki IJS. Sevalce gama določajo po internih postopkih ali navodilih z visokoločljivo spektrometrijo gama v laboratoriju, vsebnost Sr-89/90 z beta štetjem in vsebnost tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem [25–29].

Zagotavljanje kakovosti meritev.

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

2.4 Akreditirane meritve

ZVD in IJS sta za izvajanje meritev z metodo visoko ločljivostne spektrometrije gama, radiokemične analize Sr-89, Sr-90 in H-3 (samo IJS) ter meritve doze zunanjega sevanja akreditirana v skladu s standardi SIST EN ISO/IEC 17025 – akreditacijske listine številka LP-022, LP-032 in LP-090. Radiokemične analize I-131 (samo ZVD) se ne izvajajo po akreditirani metodi, vendar izvajalci meritev vzdržujejo sistem kakovosti in nenehnega izboljševanja. V poglavju 8 pričujočega poročila (od strani 135 naprej) so zbrane in predstavljene tabele z rezultati meritev monitoringa radioaktivnosti v okolju. Meritve označene z znakom # in v **odebeljenem tisku** se nanašajo na neakreditirano dejavnost.

Ker sta meritve izvajala ZVD Zavod za varstvo pri delu in Institut »Jožef Stefan«, je vsaka tabela poglavja 8 ob strani posebej označena z logotipom organizacije, in sicer z **ZVD** za meritve ZVD in **IJS** za meritve IJS.

Tabela 2.1 | Program meritev radioaktivnosti v življenjskem okolju v Sloveniji v 2023

Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost in št. meritev	Izvajalec
ZRAK - partikulati				
VL spektrom. gama	Ljubljana	kontinuirano črpanje skozi filter	mesečno, 12	IJS
	Murska Sobota		mesečno, 12	ZVD
	Predmeja		mesečno, 12	ZVD
LESNA KURIVA				
VL spektrom. gama	različni dobavitelji	peleti, briketi, drva	letno, 8	ZVD, IJS
TRDE IN TEKOČE PADAVINE				
VL spektrom. gama	Ljubljana	Zbirna količina skupnega usoda	mesečno, 12	ZVD
	Bovec		tromesečno, 4	ZVD
	Murska Sobota		tromesečno, 4	ZVD
	Novo mesto		tromesečno, 4	ZVD
Specif. analiza Sr-90	Ljubljana	Zbirna količina skupnega usoda	tromesečno, 4	ZVD
	Bovec		tromesečno, 4	ZVD
	Murska Sobota		tromesečno, 4	ZVD
	Novo mesto		tromesečno, 4	ZVD
Specifična analiza H-3	Ljubljana	Zbirna količina skupnega usoda	mesečno, 12	IJS
REKE, MORJE				
VL spektrom. gama	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno, 2	IJS
	SAVA (Brežice)	voda	polletno, 2	IJS
	DRAVA (Dravograd)	voda	polletno, 2	IJS
	SOČA (Solkan)	voda	polletno, 2	IJS
	SAVINJA (Celje)	voda	polletno, 2	IJS
	MURA (Petanjci)	voda	polletno, 2	IJS
	KRKA (Otočec)	voda	polletno, 2	IJS
	KOLPA (Vinica)	voda	polletno, 2	IJS
	MORJE (Piran)	voda	polletno, 2	IJS

nadaljevanje na naslednji strani –

Tabela 2.1 | – nadaljevanje s prejšnje strani

Vrsta	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost in št. meritev	Izvajalec
Specifična analiza H-3	MORJE (Piran)	sediment	polletno, 2	IJS
	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno, 2	IJS
	SAVA (Brežice)	voda	polletno, 2	IJS
	DRAVA (Dravograd)	voda	polletno, 2	IJS
	MURA (Petanjci)	voda	polletno, 2	IJS
Specif. analiza Sr-90	SAVA (Ljubljana)	voda	polletno, 2	IJS
	DRAVA (Maribor)	voda	polletno, 2	IJS
	MURA (Petanjci)	voda	polletno, 2	IJS
ZEMLJIŠČE - neobdelano zemljišče v različnih globinah				
VL spektrom. gama	Ljubljana	zemlja z globin 0-10-20-30-40-50 cm (pomlad, jesen)	polletno, 10	IJS
	Kobarid	zemlja z globin 0-10-20-30-40-50 cm (pomlad, jesen)	polletno, 10	ZVD
	Murska Sobota	zemlja z globin 0-10-20-30-40-50 cm (pomlad, jesen)	polletno, 10	ZVD
Specif. analiza Sr-90	Ljubljana	zemlja z globin 0-10-20-30-40-50 cm (pomlad, jesen)	polletno, 10	IJS
	Kobarid	zemlja z globin 0-10-20-30-40-50 cm (pomlad, jesen)	polletno, 10	ZVD
	Murska Sobota	zemlja z globin 0-10-20-30-40-50 cm (pomlad, jesen)	polletno, 10	ZVD
ZUNANJE SEVANJE				
TLD	50 lokacij po Sloveniji	H*(10)	polletno, 100	IJS

Tabela 2.2 | Program meritev radioaktivnosti v živil, pitne vode in krmil v Sloveniji v 2023

Vrsta in opis meritev	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost in št. meritev	Izvajalec
PITNA VODA				
VL spektrom. gama	15 lokacij po Sloveniji	vodovodi - enkratni vzorec	letno, 15	IJS
Specifična analiza H-3	15 lokacij po Sloveniji	vodovodi - enkratni vzorec	letno, 15	IJS
Specif. analiza Sr-90	15 lokacij po Sloveniji	vodovodi - enkratni vzorec	letno, 15	IJS

nadaljevanje na naslednji strani –



Tabela 2.2 | – nadaljevanje s prejšnje strani

Vrsta	Vzorčevalno mesto	Vrsta vzorca	Pogostost in št. meritev
HRANA			
Hrana rastlinskega porekla			
VL spektrom. gama	Večja mesta po Sloveniji	Sez. zelenjava: npr. krompir, solata, špinacha, korenje, zelje, fižol, paradižnik	letno, 6 ZVD
Specif. analiza Sr-90	Večja mesta po Sloveniji	Sez. zelenjava: npr. krompir, solata, špinacha, korenje, zelje, fižol, paradižnik	letno, 6 ZVD
VL spektrom. gama	Večja mesta po Sloveniji	Sezonsko sadje: npr. jabolka, breskve, češnje, slive, hruške, jagode, češnje	letno, 6 ZVD
Specif. analiza Sr-90	Večja mesta po Sloveniji	Sezonsko sadje: npr. jabolka, breskve, češnje, slive, hruške, jagode, češnje	letno, 6 ZVD
VL spektrom. gama	Večja mesta po Sloveniji	Žito, kruh: npr. pšenica, koruza, rž, ječmen, kruh, bela moka	letno, 6 ZVD
Specif. analiza Sr-90	Večja mesta po Sloveniji	Žito, kruh: npr. pšenica, koruza, rž, ječmen, kruh, bela moka	letno, 6 ZVD
Hrana živalskega porekla			
VL spektrom. gama	Večja mesta po Sloveniji	sir, jajca, goveje meso, svinjsko meso, ribe, perutnina, med, divjačina	letno, 8 ZVD
Specif. analiza Sr-90	Večja mesta po Sloveniji	sir, jajca, goveje meso, svinjsko meso, ribe, perutnina, med, divjačina	letno, 8 ZVD
VL spektrom. gama	Ljubljana	mleko	dvomesečno, 6 ZVD
	Kobarid		dvomesečno, 6 ZVD
	Bohinjska Bistrica		dvomesečno, 6 ZVD
	Murska Sobota		dvomesečno, 6 ZVD
Specif. analiza Sr-90	Ljubljana	mleko	dvomesečno, 6 ZVD
	Kobarid		dvomesečno, 6 ZVD
	Bohinjska Bistrica		dvomesečno, 6 ZVD
	Murska Sobota		dvomesečno, 6 ZVD
Celovit obrok hrane			
VL spektrom. gama	Vrtci po različnih mestih	obrok	letno, 5 ZVD
Specif. analiza Sr-90	Vrtci po različnih mestih	obrok	letno, 5 ZVD
KRMILA, GNOJILA, FOSFATI			
VL spektrom. gama	10 lokacij	enkratni vzorec	letno, 12 IJS
Specif. analiza Sr-90	10 lokacij	enkratni vzorec	letno, 12 IJS

2.4.1 Originalna poročila z meritvami

Rezultati navedeni v tabelah v poglavju 8 so pridobljeni iz naslednjih akreditiranih poročil ZVD in IJS v okviru izvajanja rednih monitoringov, in sicer:

- Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju [30–32], naročnik Uprava RS za jedrsko varnost (Ministrstvo za naravne vire in prostor)
- Monitoring radioaktivnosti živil [33], naročnik Uprava RS za varstvo pred sevanji (Ministrstvo za zdravje)
- Monitoring radioaktivnosti pitne vode [34], naročnik Uprava RS za varstvo pred sevanji (Ministrstvo za zdravje)
- Monitoring radioaktivnosti živalske krme [35], naročnik Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano)
- Izdelava študije koncentracije radionuklida K-40 in drugih zaznanih gama sevalcev na poljedelskih območjih [36], naročnik Uprava RS za jedrsko varnost (Ministrstvo za okolje in prostor – v letu 2020)

2.5 Izračuni koncentracij aktivnosti ali specifičnih aktivnosti

Koncentracije aktivnosti radionuklidov v vzorcih zraka podajamo v Bq/m^3 , v vzorcih tekočih in pitnih vod v Bq/m^3 , v vzorcih padavin bodisi kot radioaktivni used na enoto prestrezne površine v Bq/m^2 bodisi preračunano na količino padavin v Bq/m^3 . V vzorcih zemlje podajamo koncentracije aktivnosti radionuklidov bodisi v Bq/kg bodisi specifične aktivnosti preračunane na enoto površine v Bq/m^2 . Koncentracije aktivnosti radionuklidov v vzorcih hrane (mleko, meso, sadje, zelenjava in močnati izdelki) podajamo v Bq/kg . Doze zaradi zunanjega sevanja in efektivne doze za prebivalstvo podajamo v mSv oziroma μSv .

Koncentracije aktivnosti ali specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih so preračunane na datum vzorčenja. Število podano za znakom $\pm$ je skupna standardna negotovost in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo (v kolikor ni drugače navedeno). Število podano za znakom $<$ je spodnja meja aktivnosti, ki jo lahko določimo za dani izotop in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo. Aktivnosti navedene v poročilu v poglavju 8 se nanašajo le na izmerjeni vzorec in ne na celotni vzorčeni material. Podrobnejša pojasnila k zapisom rezultatov meritev so navedena v poglavju 8.1.

Za vsako vrsto vzorca smo v tem poročilu izračunali povprečno letno vrednost koncentracije aktivnosti ali specifične aktivnosti in njeno negotovost, ki ju kasneje upoštevamo v izračunu doz prebivalcev. Izračun povprečij ZVD poteka po internem navodilu [37] oziroma na naslednji način:

- neizmerjena vrednost v danem obdobju k povprečju prispeva vrednost 0;
- poročana spodnja meja detekcije k povprečju prispeva polovico njene vrednosti, če je vsaj ena meritev v letu bila poročana nad mejo detekcije;
- poročana spodnja meja detekcije k povprečju prispeva vrednost 0, če v letu ni bila poročana nobena vrednost nad mejo detekcije.

Izračun povprečij IJS se izvede tako, da se v tabelah upošteva izmerjena vrednost, kjer pa je poročana meja detekcije, se k povprečju upošteva $1/4$ meje detekcije kot predpostavljena vrednost. Te vrednosti IJS ne podaja s pripadajočo negotovostjo. Zaradi tega tudi negotovosti aritmetičnega povprečja za izbrano leto ne podaja z apriorno negotovostjo, temveč z aposteriorno negotovostjo (t.j. upošteva stresanje vrednosti).

Negotovosti posameznih meritev ZVD so podane v tabelah v poglavju 8. K negotovosti izračunanega povprečja koncentracij aktivnosti vzorca prispevajo tako *a priori*

negotovosti posameznih meritev σ_{x_i} (enačba 2.1) kot *a posteriori* negotovost zaradi stresanja vrednosti oziroma standardna deviacija posameznih meritev od povprečne vrednosti σ_{stdev} (enačba 2.2), kot je prikazano v spodnjih enačbah.

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{x_i}}{N}} \quad (2.1)$$

$$\sigma_{stdev} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\bar{x} - x_i)^2}{N-1}} \quad (2.2)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_{stdev}^2 + \bar{\sigma}^2}{N}} \quad (2.3)$$

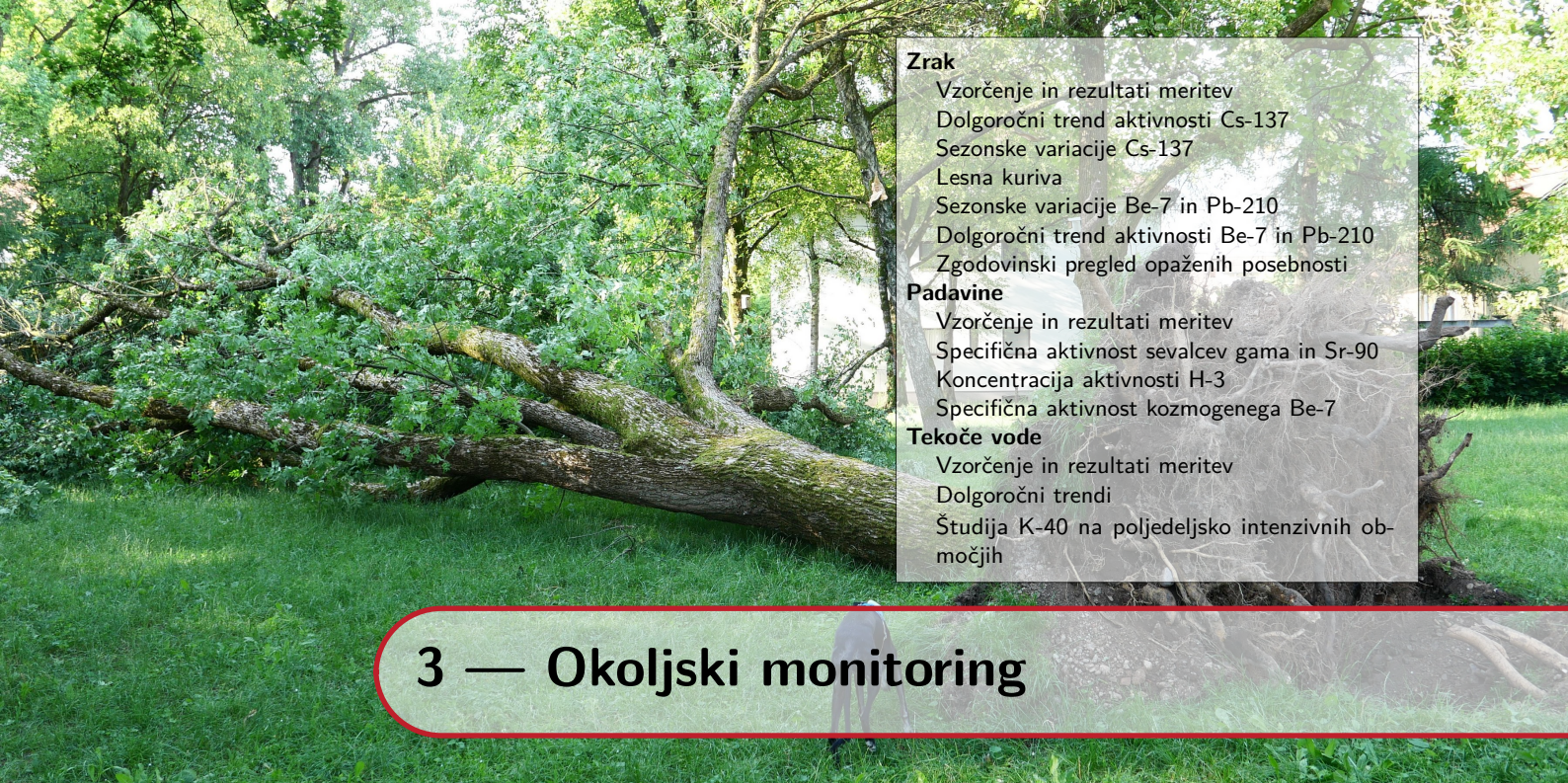
kjer je $\sigma_{\bar{x}}$ negotovost povprečne vrednosti. To pomeni, da bo, na primer, pri izmerjenih vzorcih, ki imajo velik razpon vrednosti prevladovala negotovost zaradi velike standardne deviacije od povprečja, pri vzorcih s konstantnimi vrednostmi pa negotovost zaradi negotovosti posamičnih meritev.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

2.6 Orientacijske vrednosti meje detekcije

V spodnji tabeli 2.3 so prikazane orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide za metodo visoko ločljivostne spektrometrije gama.

Tabela 2.3 | Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide

Vrsta vzorca	zemlja	voda	sediment	zrak
Količina vzorca	1 kg	0,02 m ³	1 kg	10000 m ³
Trajanje meritve	1 dan	1 dan	2 dni	1 dan
Spodnja meja detekcije				
Radionuklid	Bq/kg	Bq/m ³	Bq/kg	μBq/m ³
K-40	0,9	18	0,7	35
Co-60	0,1	4,1	0,8	54
I-131	0,089	3,2	0,7	43
Cs-134	0,096	3,6	0,8	51
Cs-137	0,1	3,8	0,8	54
Pb-210	1,1	13	0,7	26
Ra-228	0,5	7,0	0,4	14
Th-228	0,2	4,0	0,2	8,0
Ra-226	0,3	2,3	0,2	4,5
U-238	0,8	12	0,6	23
Am-241	0,15	3,5	1,0	51



Zrak

Vzorčenje in rezultati meritev
Dolgoročni trend aktivnosti Cs-137
Sezonske variacije Cs-137
Lesna kuriva
Sezonske variacije Be-7 in Pb-210
Dolgoročni trend aktivnosti Be-7 in Pb-210
Zgodovinski pregled opaženih posebnosti

Padavine

Vzorčenje in rezultati meritev
Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90
Koncentracija aktivnosti H-3
Specifična aktivnost kozmogenega Be-7

Tekoče vode

Vzorčenje in rezultati meritev
Dolgoročni trendi
Študija K-40 na poljedeljsko intenzivnih območjih

3 — Okoljski monitoring

3.1 Zrak

3.1.1 Vzorčenje in rezultati meritev

Meritve so se v letu 2023 izvajale na lokacijah Ljubljana¹, Predmeja² in Murska Sobota³. Lokacije so označene na zemljevidu na sliki 3.1.

Zrak se kontinuirano vzorči, analize sevalcev gama sestavljenih vzorcev pa se opravljajo mesečno. Kapacitete zračnih črpalk so 180 m³/h v Ljubljani, 60 m³/h na Predmeji⁴ in 60 m³/h v Murski Soboti. Rezultati so podani v poglavju 8 v tabelah 8.1, 8.4 in 8.5.

Umetni radionuklidi

Celoletna letna povprečna vrednost koncentracije aktivnosti Cs-137 na lokaciji vzorčenja v Ljubljani je bila $0,95 \pm 0,07 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, na lokaciji vzorčenja v Murski Soboti $0,85 \pm 0,15 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in na lokaciji vzorčenja na Predmeji $0,63 \pm 0,11 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Naravni radionuklidi

Poleg umetnih radionuklidov so v vzorcih zraka opazni tudi naravnih radionuklidi (k dozi največ prispeva Pb-210) in kozmogeni Be-7. Povprečna letna vrednost koncentracije aktivnosti je bila:

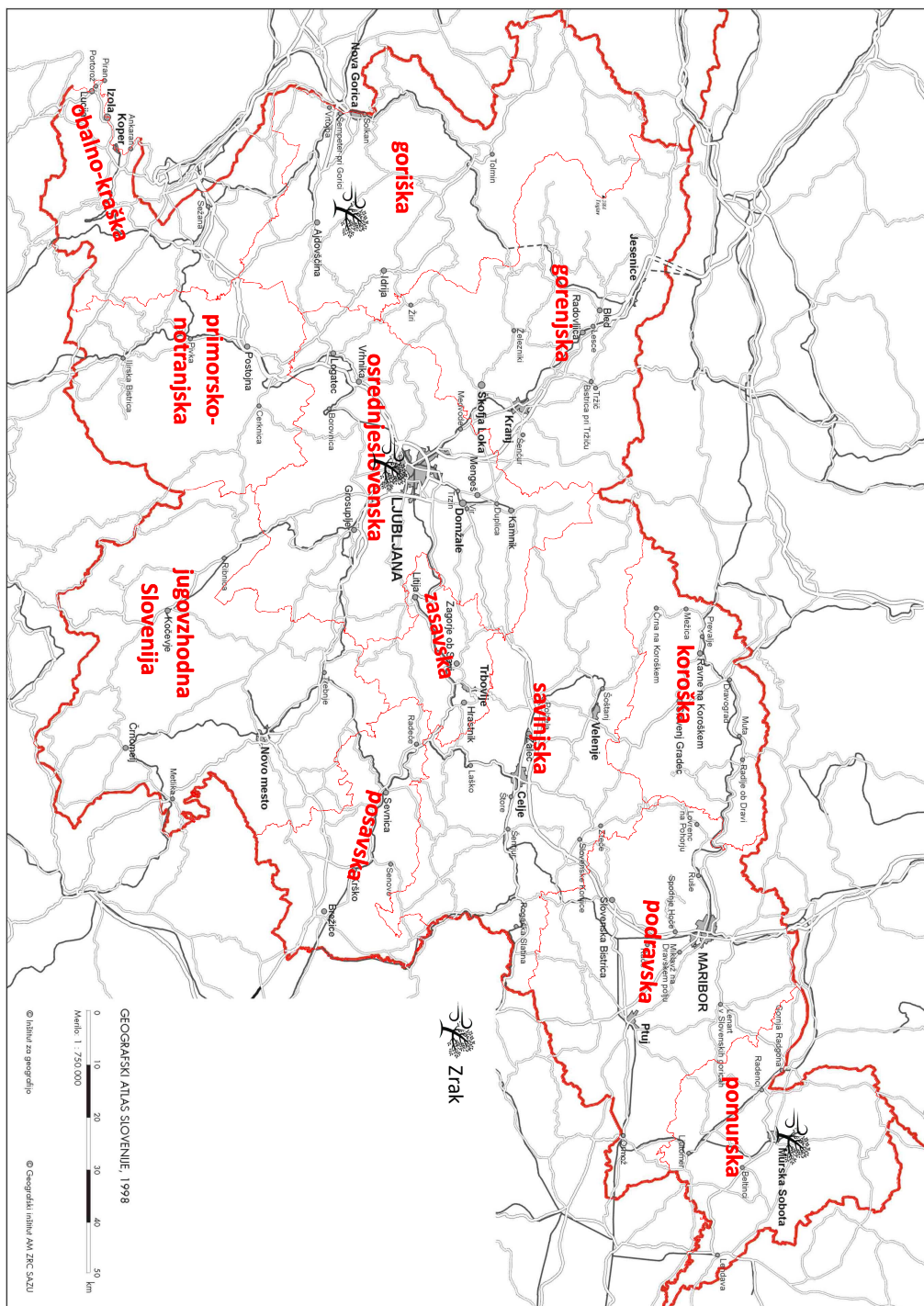
- v Ljubljani za Be-7 $3,6 \pm 0,1 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,79 \pm 0,01 \text{ mBq}/\text{m}^3$,
- v Murski Soboti za Be-7 $3,1 \pm 0,4 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,87 \pm 0,29 \text{ mBq}/\text{m}^3$ in
- na Predmeji za Be-7 $2,8 \pm 0,3 \text{ mBq}/\text{m}^3$ oziroma za Pb-210 $0,66 \pm 0,24 \text{ mBq}/\text{m}^3$.

¹Od avgusta 2009 se vzorčenje v Ljubljani namesto na lokaciji Rektorskega centra Podgorica izvaja na lokaciji IJS na Jamovi cesti

²V decembru 2021 sta bila zamenjana zračna črpalka (s 6-krat večjo zmogljivostjo kot stara) in plinomer, ki je bil okvarjen in posledično zaznaval manjše prečrpane volumne od realnih, zato so tudi izračuni koncentracij aktivnosti radionuklidov v zraku za leto 2021 za lokacijo Predmeja napačni.

³Namesto lokacije na Jareninskem vrhu pri Mariboru od leta 2018 dalje poteka vzorčenje zraka v Murski Soboti (Rakičan).

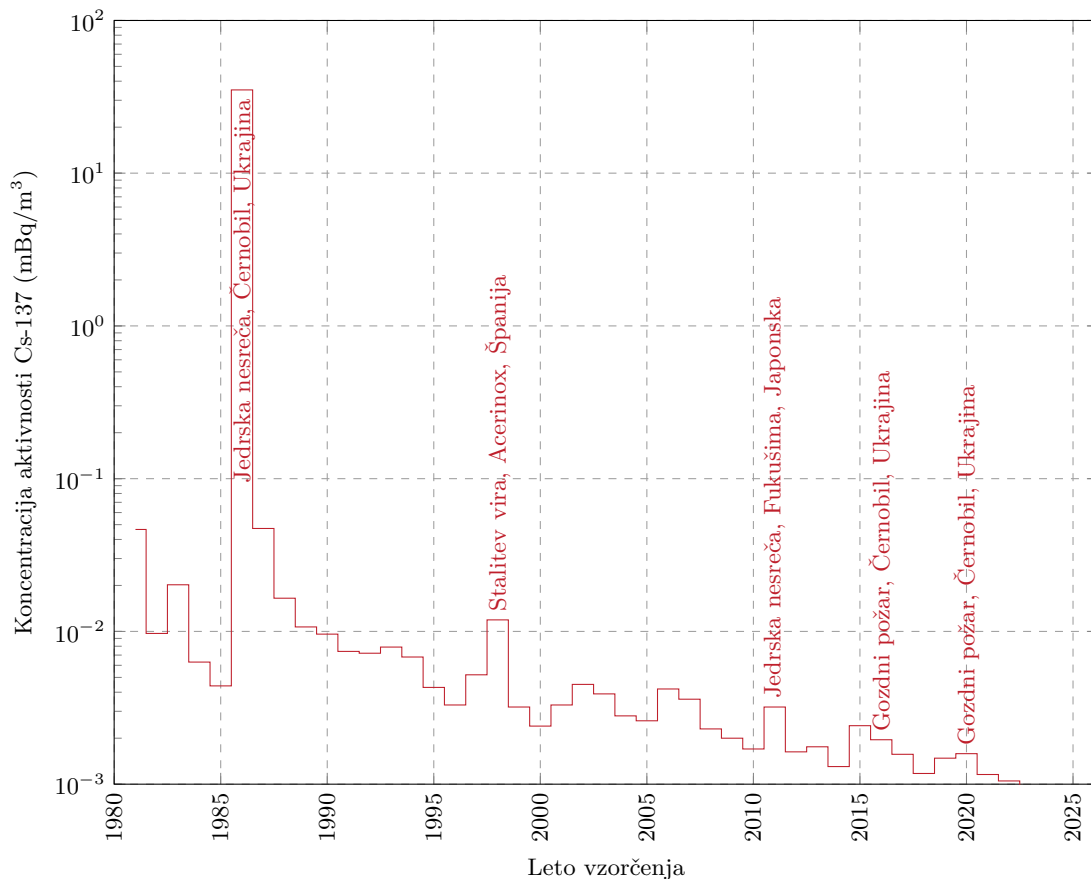
⁴od konca leta 2021 dalje, prej 10 m³/h



Slika 3.1 | Lokacije vzorčenja vzorcev zraka.

3.1.2 Dolgoročni trend aktivnosti Cs-137

Na spodnji sliki 3.2 so prikazane povprečne mesečne koncentracije aktivnosti za Cs-137 za Ljubljano za obdobje od leta 1981 dalje.



Slika 3.2 | Letna povprečja koncentracij aktivnosti Cs-137 v zraku na lokaciji Ljubljana od leta 1981 dalje

Mesečne koncentracije Cs-137 po letu 1986, ko so bile najvišje zaradi črnobilske nesreče, padajo. Povprečne letne koncentracije Cs-137 v zraku v Ljubljani se po letu 2000 gibljejo v območju vrednosti 1–5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ in kažejo rahel trend padanja.

Letno povprečje mesečnih koncentracij Cs-137 v letu 2023 je na nivoju vrednosti letnih povprečij v preteklih letih (z izjemo 2011 zaradi nesreče v Fukushima).

Zgodovinski pregled odstopanja koncentracij Cs-137

Edino povišanje po črnobilski nesreči leta **1986** je bilo vidno leta **1998**, v času nezgode v jeklarni Acerinox v Španiji (Algeciras), kjer so stalili radioaktivni vir Cs-137, zaradi česar so bile izmerjene vrednosti okoli 10 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ [38], ter prvih nekaj mesecev po nesreči v jedrski elektrarni v Fukušimi na Japonskem marca **2011**. Zaradi velike oddaljenosti in posledične razredčitve vpliv nesreče v Sloveniji ni bil močno opazen, povišane vrednosti za velikostni red od siceršnjih vrednosti so bile opazne le v prvih dveh mesecih po nesreči. Julija **2016** je prišlo do gozdnega požara v črnobilski izključitveni coni oziroma v t.i. rdečem gozdu [39]. Požar je bil pogašen v enem dnevu, bistvenih vplivov na Evropo ni bilo, z meritvami nismo zaznali nikakršnega odstopanja. V letu **2020** je ponovno prišlo do požara v izključitveni coni (glej sliko 3.4 [40]), in sicer naj bi se začel 4. aprila 2020

[41]. Obseg požara je bil večji kot leta 2016 (glej sliko 3.5 [42]) in je trajal dlje, kjer je bil v večini pogašen šele v naslednjih dveh tednih.

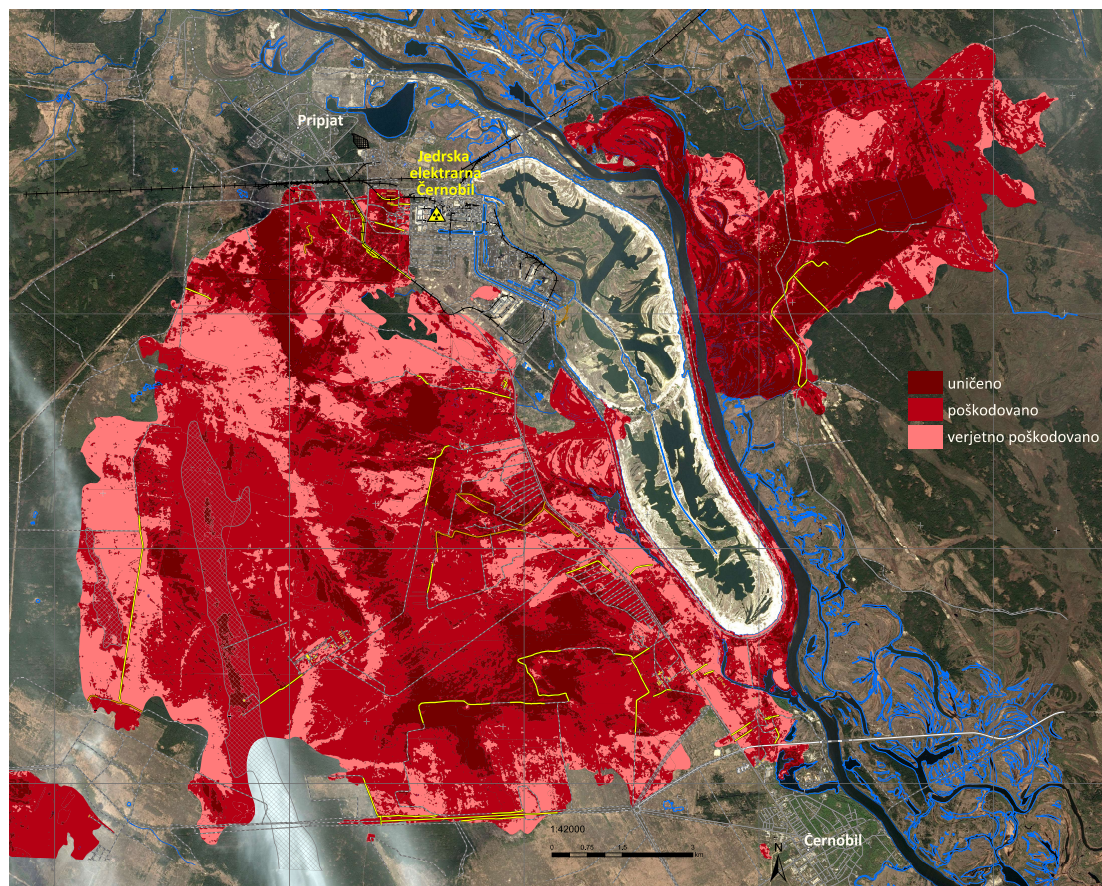


Slika 3.3 | Slika po jedrski nesreči v Fukušimi (marec 2011)



Slika 3.4 | Slika požara iz letala (april 2020)

V tabeli 8.2 na strani 139 so predstavljene podrobnejše meritve na lokaciji Ljubljana



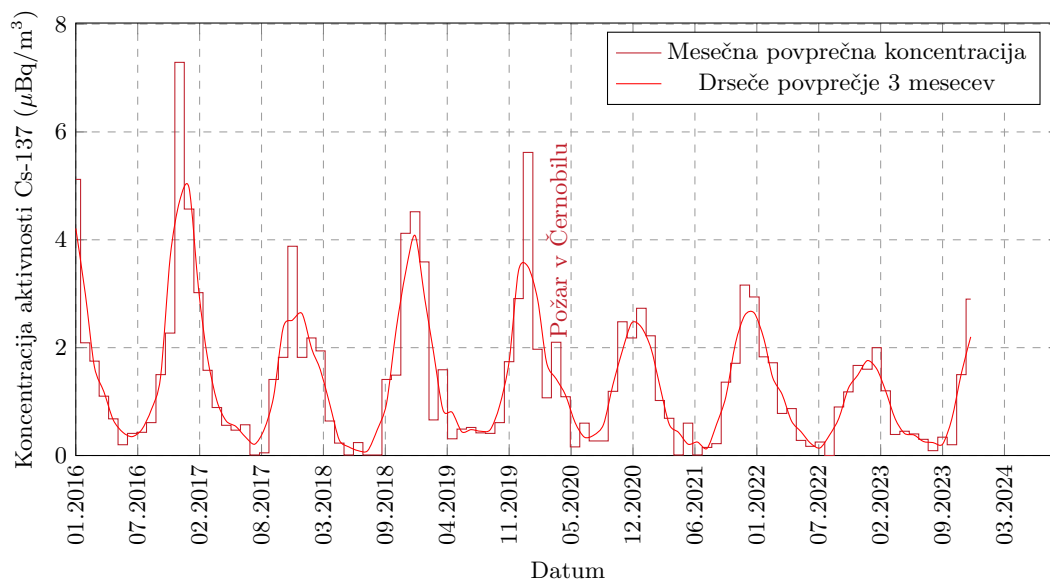
Slika 3.5 | Obseg in posledice požara v okolici Černobila

v času med in po jedrski nesreči v Fukušimi leta 2011. V prvi polovici marca 2011 je bila izmerjena koncentracija aktivnosti Cs-137 na nivoju preteklih mesecev oziroma sezonskega povprečja – $1,7 \pm 0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ –, v drugi polovici marca oziroma v aprilu 2011 pa že povišana, in sicer $12 \pm 1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ oziroma $16 \pm 1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Zaznana sta bila tudi izotopa I-131 in Cs-134. V juniju 2011 so bile nato koncentracije praktično že na nivoju sezonskega povprečja. Iz meritev lahko sklepamo, da je vpliv jedrske nesreče v Sloveniji sicer bil močno zaznan, ni pa imel bistvenega učinka na prejete doze, saj je dodaten prispevek na letni ravni praktično zanemarljiv.

V tabeli 8.3 na strani 140 so predstavljene podrobnejše meritve na lokaciji Ljubljana v času med in po černobilskem požaru 2020. V prvi oziroma drugi polovici aprila 2020 sta bila izmerjeni koncentraciji aktivnosti Cs-137 $2,7 \pm 0,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ oziroma $1,6 \pm 0,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ki sta višji kot meseca marca ($1,1 \pm 0,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) in maja (prav tako $1,1 \pm 0,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Iz meritev lahko sklepamo, da je vpliv požara v Sloveniji sicer bil zaznan, ni pa imel bistvenega učinka na prejete doze, saj je dodaten prispevek na letni ravni praktično zanemarljiv.

3.1.3 Sezonske variacije Cs-137

Pri meritvah mesečnih koncentracij Cs-137 v zraku opazamo redne sezonske variacije, kjer so koncentracije povišane v hladnih in nizke v toplejših mesecih, kot je za mesečne izmerke v Ljubljani prikazano za zadnjih nekaj let na sliki 3.6. Na lokaciji Ljubljana je zelo zmogljiva zračna črpalka, zato so meje detekcije zelo nizke in koncentracije natančno določene tudi v poletnih mesecih.



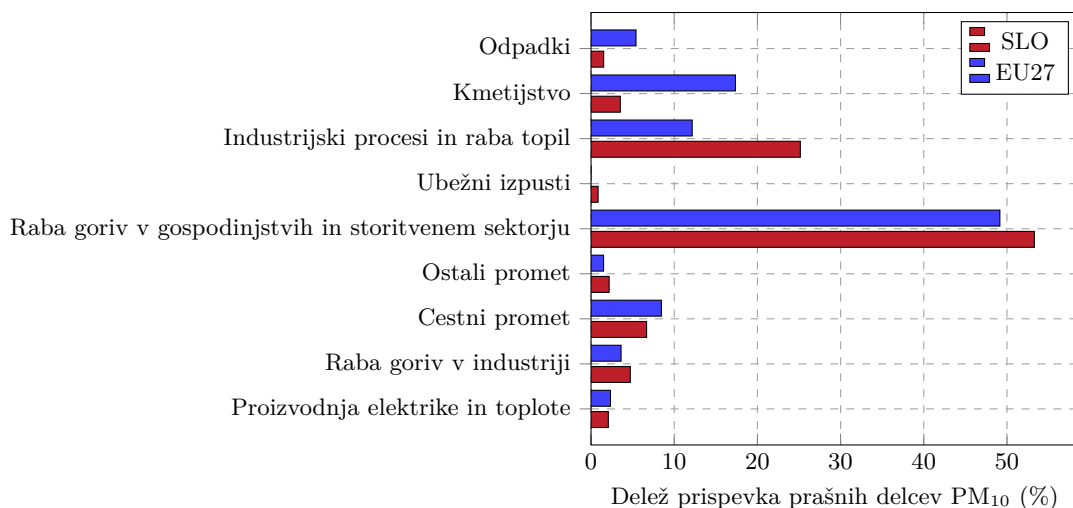
Slika 3.6 | Sezonske variacije koncentracij Cs-137 v zraku v Ljubljani.

Sezonske variacije že več let povezujemo z uporabo lesnih kuriv. Nekatera tuja literatura namreč navaja pojav izmerkrov povišane koncentracije Cs-137, ki so bile do tedaj pod mejami detekcije, kar pripisujejo povišani uporabi drv in lesne biomase (peleti, briketi), ki vsebujejo višje aktivnosti Cs-137 zaradi kontaminacije po črnobilski nesreči [43]. V literaturi [43–48] je moč najti potrditve, da zaradi prenosnih mehanizmov prihaja do akumulacije Cs-137 v drevesih, posebej so povišane vrednosti v lubju. Na podlagi predpostavk in ugotovitev v teh znanstvenih člankih smo potrdili, da je takšen pojav viden tudi v Sloveniji, kjer bi lahko znaten vir Cs-137 v zraku prispevala ravno uporaba biomase. V preteklih letih smo z analizami ugotovili korelacijo aktivnosti Cs-137 z nizkimi temperaturami in koncentracijo prašnih delcev PM₁₀ (velikosti delcev z aerodinamičnim premerom pod 10 μm) [49–51]. Tako na izmerjenih podatkih povprečnih mesečnih koncentracij Cs-137 na filterjih vzorčevalnih črpalk na lokaciji v Ljubljani, kjer je kapaciteta zračne črpalke največja in s tem zanesljivost merskih podatkov velika (meja detekcije je dovolj nizka, da dobimo izmerke tudi v poletnih mesecih), potrdimo, da je uporaba lesne biomase glavni vir Cs-137 v zraku v zimskih mesecih, ne pa resuspenzija Cs-137 iz zemlje, kot se je smatralo pred letom 2013 [52, 53] in ki prispeva glavnino Cs-137 v poletnih mesecih.

Prašni delci PM₁₀.

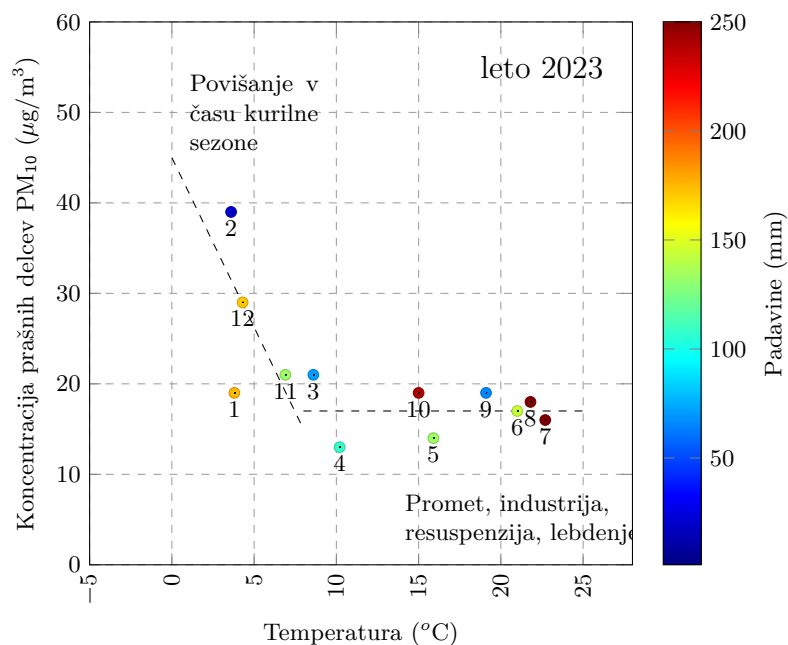
Na podlagi rednih meritev Agencija RS za okolje spremlja različne kazalce okolja v Sloveniji, kjer so lahko identificirali različne vire delcev PM₁₀ [54]. Deleži posameznih prispevkov so prikazani na sliki 3.7, za primerjavo pa so dodani še podatki povprečja vseh držav EU, kjer je razvidno, da k onesnaženju z delci daleč največ prispevajo individualna kurišča (drva, briketi, peleti) – kategorija "Raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju" –, deloma in v precej manjši meri pa tudi promet, industrija in ponovni dvig ter lebdenje delcev v ozračju.

Iz meritev prašnih delcev PM₁₀ tipično ugotovimo, da so koncentracije povišane predvsem v hladnejših mesecih [55–65]. To je tudi razvidno na slikah 3.8 in 3.9, kjer primerjamo koncentracije prašnih delcev PM₁₀ in povprečne mesečne temperature za več



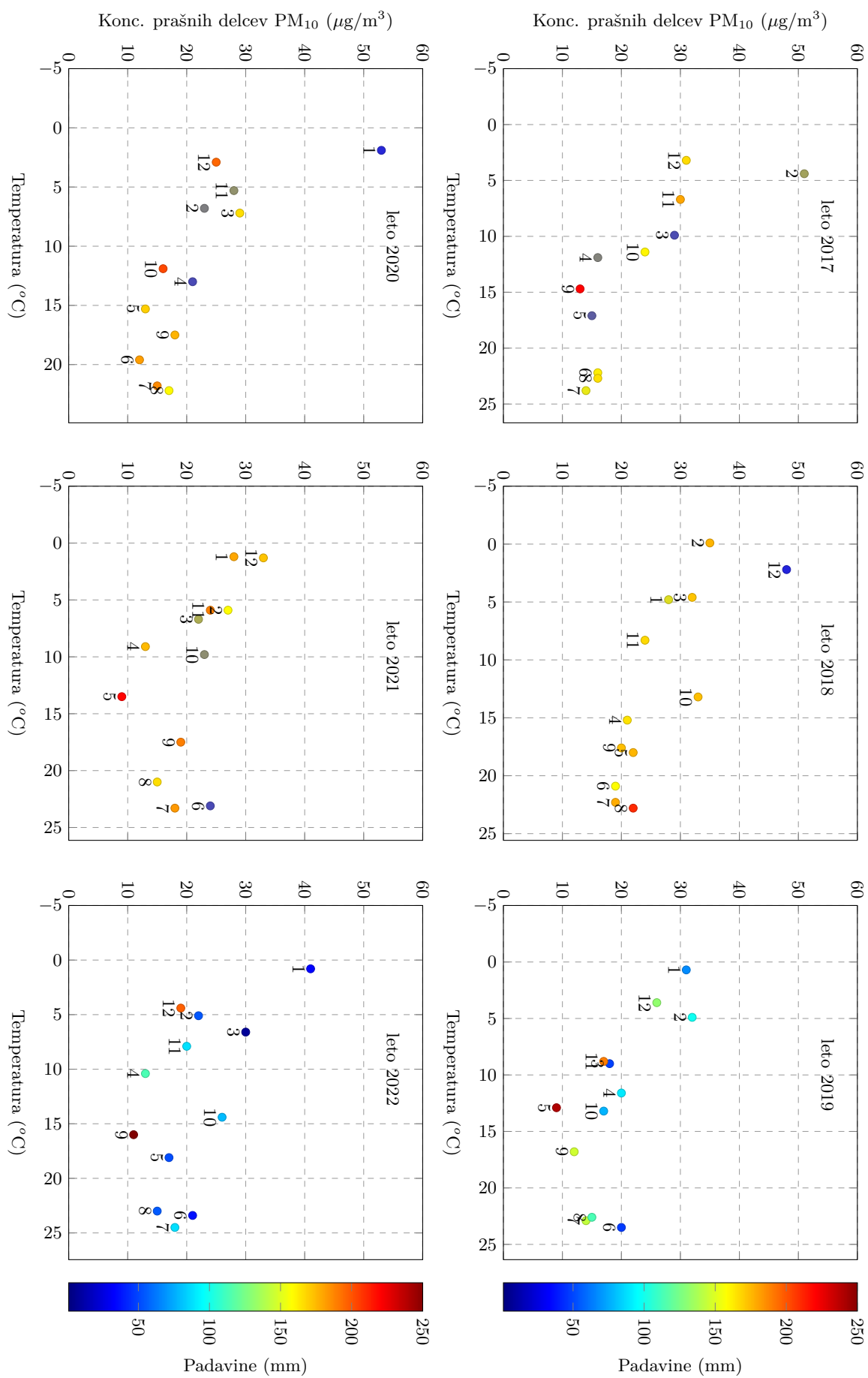
Slika 3.7 | Različni viri prašnih delcev PM_{10} (za obdobje od 2000 do 2020).

zaporednih let. Tako je med kurilno sezono lepo viden dvig koncentracij PM_{10} , v toplih mesecih izven kurilne sezone so koncentracije dokaj stalne zaradi ostalih omenjenih virov PM_{10} . Morebitni vpliv zimskega soljenja je zanemarljiv [66]. Siceršnje izjeme so lahko meseci, kjer je bil v zraku nad Slovenijo prisoten puščavski pesek iz Afrike [67]: na primer junij 2023, marec in deloma junij 2022, junij 2021, marec 2020, april 2019. Velik vpliv na koncentracijo delcev imajo vremenske razmere in, ker so koncentracije lahko zmanjšane zaradi padavin (izpiranje z dežjem), tako v grafu na slikah 3.8 in 3.9 dodatna barvna oznaka odraža količino padavin v posameznem mesecu.



Slika 3.8 | Temperaturna korelacija prašnih delcev PM_{10} za preteklo leto na lokaciji v Ljubljani – oznake ob merskih točkah predstavljajo mesec meritve, barvna oznaka pa količino padavin.

Slika 3.9 | Zgodovinski pregled temperature korelacije prašnih delcev PM_{10} na lokaciji v Ljubljani.

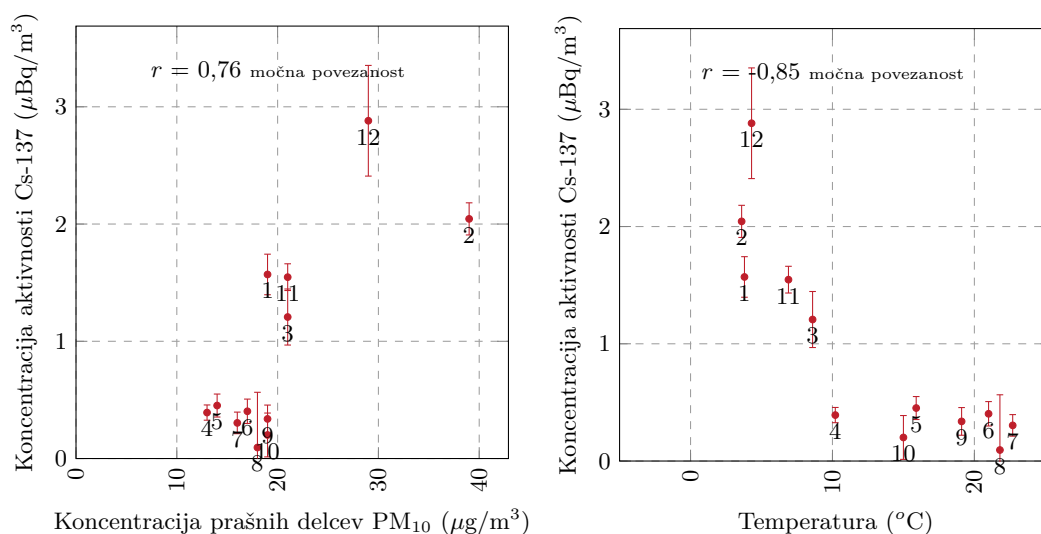


Odkvisnost koncentracij aktivnosti od prašnih delcev oziroma temperature.

Na slikah 3.10, 3.11 in 3.12 smo primerjali odkvisnost izmerjenih aktivnosti nekaterih radionuklidov v zraku (Cs-137, Th-228, Pb-210) od povprečnih mesečnih temperatur oziroma koncentracij prašnih delcev.

Predvsem za koncentracije aktivnosti Cs-137 lahko ugotovimo močno variacijo med oziroma izven kurilne sezone, tj. korelacijo s koncentracijami prašnih delcev oziroma močno antikorelacijo s temperaturo (kot indikator za kurilno sezono) (glej sliko 3.6 v povezavi s sliko 3.10). V nekaterih mesecih so možne izjeme, kjer so višje koncentracije posledica drugih vplivov, predvsem občasno prisotnega oblaka prahu puščavskega peska iz Afrike ali Azije⁵. Korelacija je precej manj izrazita za naravni radionuklid Pb-210 ali pa le-ta sploh ni prisotna za izotop Th-228, kot je razvidno na sliki 3.11 oziroma 3.12.

Statistično lahko to povezanost opišemo s t.i. Pearsonovim koeficientom korelacije, r , ki je matematična in statistična številka mera, ki predstavlja velikost linearne povezanosti dveh spremenljivk merjenih na istem predmetu preučevanja, v našem primeru koncentracije aktivnosti in prašnih delcev oziroma temperature. Izračunano povezanost, ki je lahko pozitivna ali negativna, se lahko ovrednoti po naslednjih kriterijih [68]: 0,00 – ni povezanosti; 0,01-0,19 – neznatna povezanost; 0,20-0,39 – nizka/šibka povezanost; 0,40-0,69 – srednja/zmerna povezanost; 0,70-0,89 – visoka/močna povezanost; 0,90-0,99 – zelo visoka/zelo močna povezanost. Tako so na slikah od 3.10 do 3.12 dodani izračunani Pearsonovi koeficienti za vsak par spremenljivk.

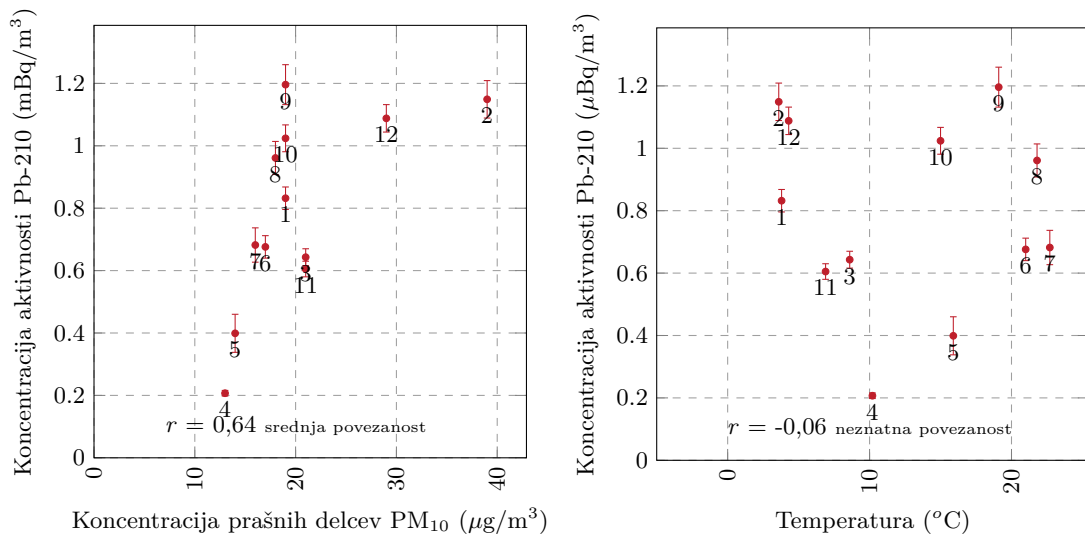


Slika 3.10 | Sezonske korelacije med aktivnostjo Cs-137 v zraku in koncentracijo prašnih delcev PM₁₀ oziroma temperaturo v letu 2023 na lokaciji Ljubljana.

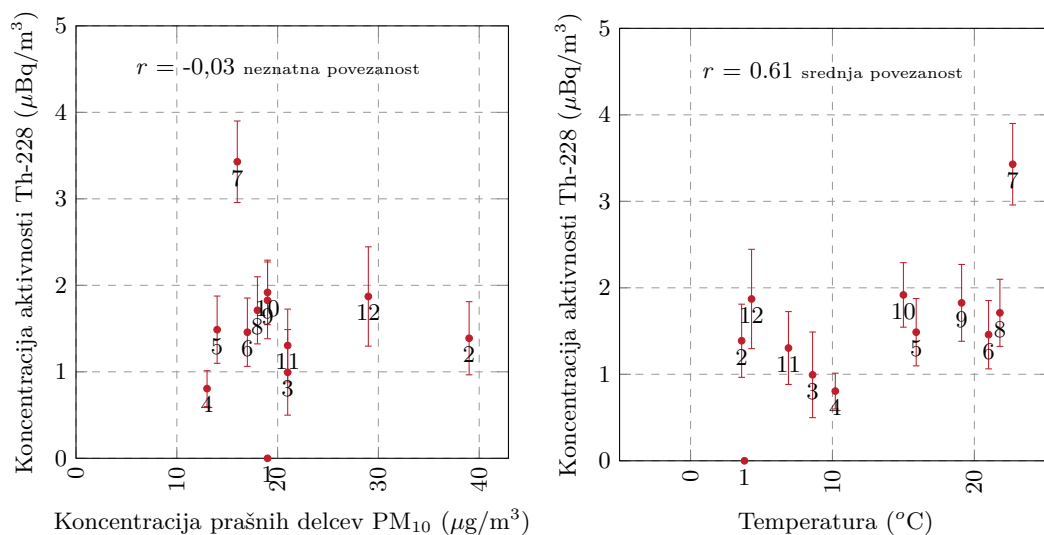
Iz zgornjih ugotovitev izhaja, da je se zaradi uporabe lesnih kuriv s Cs-137 v hladnih mesecih povečajo vrednosti Cs-137 tudi v ozračju. To potrjujejo tudi meritve, kjer so aktivnosti Cs-137 izmerjene v hladnejših mesecih lahko tudi za velikostni red višje od vrednosti v toplejših mesecih, na nekaterih merilnih postajah pa so te velikokrat celo pod mejo detekcije. Ugibamo lahko, da so mehanizmi vezave radionuklidov na aerosole (prašne delce) različni, in sicer se Cs-137 veže močno, Pb-210 manj, medtem ko Th-228 skoraj nič oziroma je le-ta v zraku posledica drugih virov in ne lesnih kuriv.

Iz tega lahko zaključimo, da je prispevek k specifični aktivnosti Cs-137 v zraku v

⁵npr. marec/april 2018, april 2019, marec 2020, februar, junij/julij 2021



Slika 3.11 | Sezonske korelacije med aktivnostjo Pb-210 v zraku in koncentracijo prašnih delcev PM₁₀ oziroma temperaturo v letu 2023 na lokaciji Ljubljana.

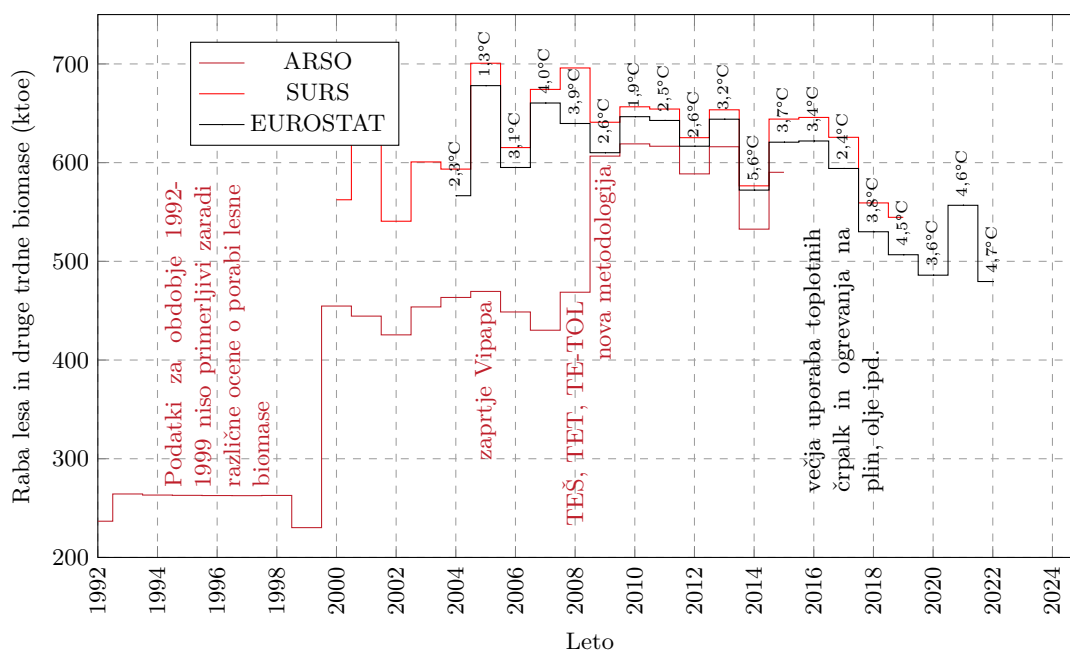


Slika 3.12 | Sezonske korelacije med aktivnostjo Th-228 v zraku in koncentracijo prašnih delcev PM₁₀ oziroma temperaturo v letu 2023 na lokaciji Ljubljana.

hladnih mesecih v veliki meri posledica uporabe trdih goriv (predvsem lesa, briketov in peletov). V toplih mesecih pa je prispevek manj izrazit in je najverjetneje posledica več faktorjev, v prvi meri zaradi resuspenzije iz tal in lebdenja delcev v ozračju ter v manjši meri zaradi prometa in industrije.

3.1.4 Lesna kuriva

Visoka rabe lesne biomase v Sloveniji je glede na veliko pokritost z gozdovi pričakovana in smotrna. Poleg lesa trdna biomasa zajema tudi kostno moko in maščobe, papirni mulj ter lužnico, ki se uporabljajo v industriji. Les je leta 2011 predstavljal 98% rabe trdne biomase. Variacija po letih je lahko odvisna od različnih faktorjev, največkrat hladnejših ali toplejših zim, industrijske proizvodnje ali tudi zaradi zamenjave starih kotlov na lesno biomaso z novjšimi učinkovitejšimi in zaradi energetske obnove stavb. Na sliki 3.13 so predstavljeni podatki, ki jih je zbiral ARSO [69], SURS [70] in EUROSTAT [71]. Pri vsakem letu je zapisna tudi povprečna temperatura v kurilni sezoni na lokaciji Ljubljana (mesece januar, februar, november in december).



Slika 3.13 | Raba obnovljivih virov energije - les in druga trdna biomasa (ARSO) oziroma OVE za ogrevanje (EUROSTAT). Pri vsakem letu je zapisna povprečna zimska temperatura (v času kurilne sezone – januar-februar, november-december)

Podatki ARSO in SURS

Po podatkih ARSO se največ trdne biomase porabi v gospodinjstvih (leta 2011 415 ktOE⁶), sledita industrija s 50 ktOE in pridobivanje energije s 46 ktOE, poraba je po letih prikazana na sliki 3.13 [69]. Leta 2009 se je raba v gospodinjstvih navidežno močno povečala glede na predhodna leta. Povečanje je zlasti posledica izboljšanja metodologije spremljanja rabe lesne biomase v gospodinjstvih. Preračuni za nazaj niso bili narejeni. V obdobju 2002-2008 je bila raba konstanta, leta 2009 pa se je na podlagi rezultatov ankete o porabi energije v gospodinjstvih izdelal model, s katerim se vsako leto oceni raba lesne biomase [69]. V industriji se je raba biomase po letih rasti od leta 2005 zmanjševala. Glavni vzrok je zaprtje proizvodnje celuloze v podjetju Vipap. Leta 2011 je bila za 23% nižja kot leta 2000. Raba v transformacijah je bila leta 2011 za 94% višja kot leta 2000. Znatno se je povečala leta 2008, ko so začele les uporabljati tudi velike termoelektrarne TEŠ, TET in TE-TOL. V letih 2009-2013 je les od velikih TE uporabljala le TE-TOL.

⁶kilotonne of oil equivalent

Narašča tudi poraba lesa v daljinskem ogrevanju, saj se povečuje število manjših sistemov na lesno biomaso [72]. Od leta 2015 naprej ni mogoče več najti podatkov ARSO o porabi lesnih kuriv in druge trdne biomase. Od leta 2022 dalje so kazalci rabe lesa in druge trdne biomase na spletni strani ARSO posodobljeni s sklicem na podatke SURS [70], vendar podrobnejša metodologija ni posodobljena oziroma pojasnjena. Glede na vrednosti pa so to najverjetneje podatki, ki so posredovani v EUROSTAT, kot je opisano v nadaljevanju.

Podatki EUROSTAT

V zbirnih tabelah SHARES [71]⁷ so podrobnejši podatki o uporabi obnovljivih virov energije za ogrevanje, ki jih zbira EUROSTAT. Rezultati od 2004 do 2020 sledijo zahtevam za preračunavanje po evropski direktivi 2009/28/EC [73], od leta 2021 naprej pa po evropski direktivi 2018/2001 [74]. Podatki so na voljo od vstopa Slovenije v EU, torej od 2004, in so prikazani na sliki 3.13, kjer je bila poraba v letih do 2016 dokaj stalna z nekaterimi variacijami, od leta 2016 pa je viden trend upadanja. Manjšanje uporabe gre na račun večjega deleža ogrevanja s pomočjo toplotnih črpalk in ogrevanja na plin, olje ipd., deloma pa lahko vpliva tudi prenova hiš in posledično manjše toplotne izgube.

Podatki SURS

Statistični urad RS spremlja končno porabo energije v gospodinjstvih po vrsti energetskega vira (naravne enote) od leta 2000 dalje [75]. Poraba lesnih kuriv je določena na podlagi zbranih podatkov SURS in s pomočjo preračuna Instituta "Jožef Stefan" – Center za energetska učinkovitost (IJS-CEU) in je prikazana na sliki 3.14 [75]. Iz slike je razviden izrazit trenda naraščanja uporabe lesnih peletov, sekancev, briketov in ostankov, uporaba drv oziroma polen pa rahlo upada, po letih pa odraža hladnejše ali toplejše zime (npr. izrazit minimum v letu 2014).

Meritve in analiza koncentracij aktivnosti

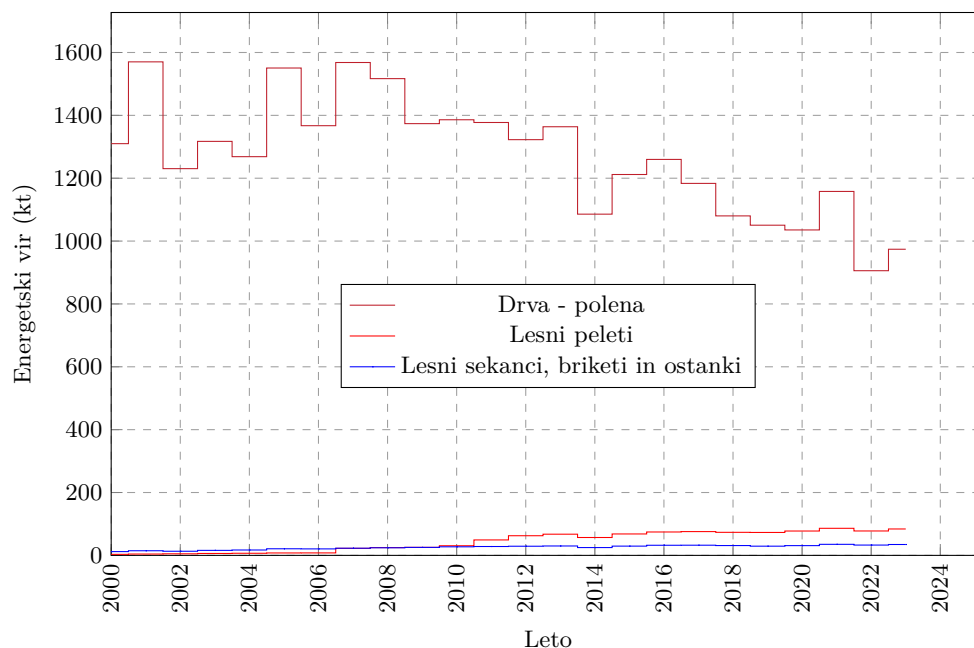
V preteklem letu smo vzorčili in analizirali osem vzorcev lesa oziroma lesnih kuriv:

- 4 vzorcev lesnih peletov in
- 4 vzorcev lesenih drv.

Lokacije vzorčenja domačih peletov oziroma briketov ali iz uvoza (Slovenija in Hrvaška) so prikazane na zemljevidu na sliki 3.15.

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.6, koncentracije aktivnosti Cs-137 so bile od 0,5 Bq/kg do 27,2 Bq/kg. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v lesnih kurivih je $6,0 \pm 0,2$ Bq/kg. Za leto 2023 še ni dostopnih podatkov o porabi lesnih kuriv. Povprečje letne porabe v obdobju zadnjih 5 let do vključno leta 2022 znaša 1155 kt (skupaj polen, peletov in sekancev ter briketov), vendar se na sliki 3.14 zadnjih nekaj let kaže trend upadanja porabe. Tako lahko z linearno ekstrapolacijo trenda podatkov preteklih 5 let ocenimo, da je bilo v letu 2023 verjetno porabljenih okrog 1092 kt lesnih kuriv (v oceni ni upoštevana odvisnost od različnih faktorjev, kot na primer od zunanje temperature, toplotnih sanacij stavb, menjave kurišč ipd.). Ob upoštevanju povprečne vrednosti koncentracije aktivnosti Cs-137 v lesnih kurivih je bilo v letu 2023 v zrak izpuščena ocenjena skupna aktivnost 6,0 GBq Cs-137. Če to vrednost primerjamo z izpusti Cs-137 skozi oddušnik Nuklearne elektrarne Krško, ugotovimo, da so izpusti NEK za več velikostnih redov nižji: v letu 2023 je bilo izpuščeno 1,1 MBq, v letu 2022 je bilo izpuščeno 19 kBq, v letu 2021 je bilo izpuščeno 1,3 MBq, v letu 2020 je bilo izpuščeno

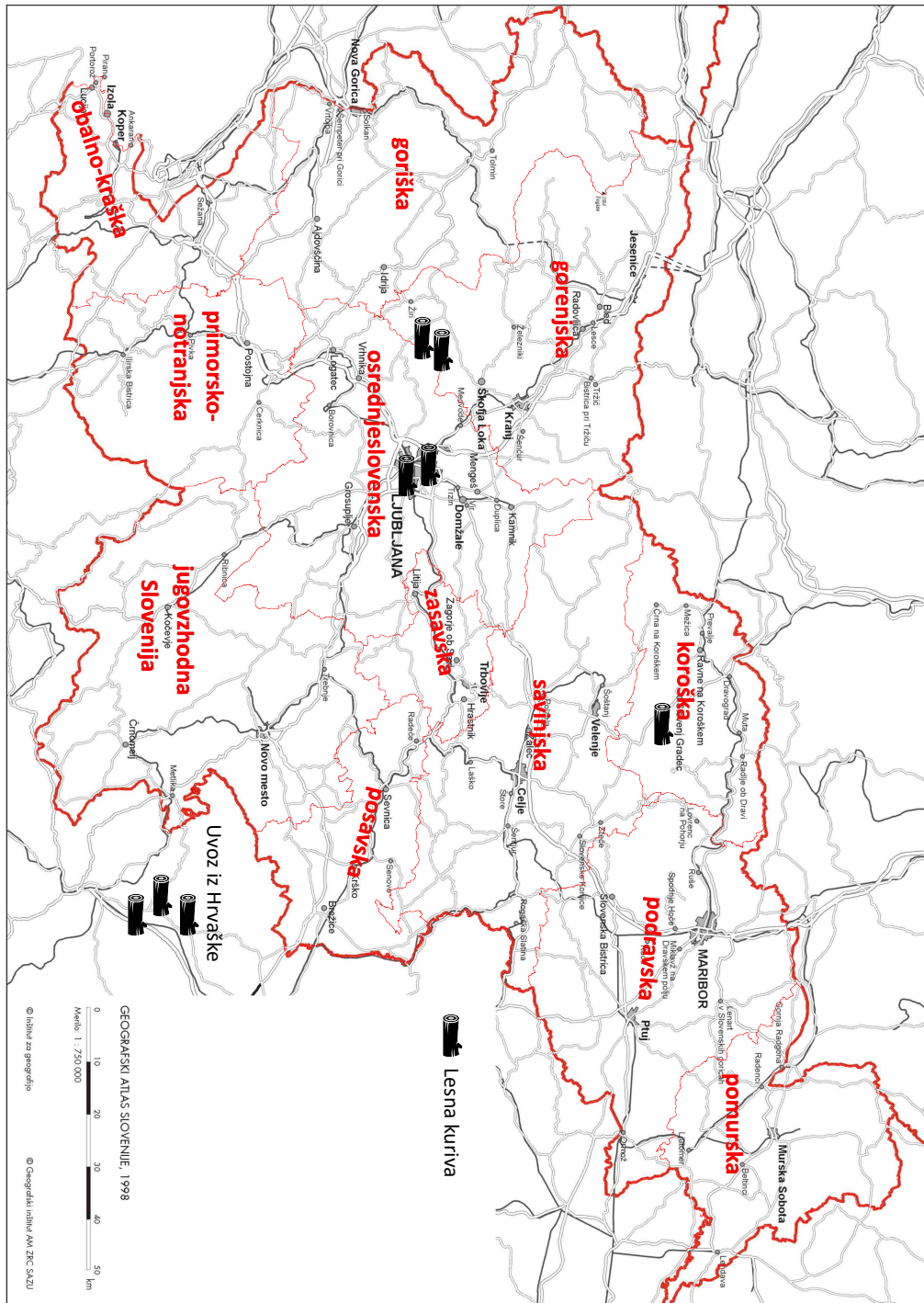
⁷v letu 2019 je bil po posodobljeni metodologiji in/ali podatkih narejen preračun za vsa leta nazaj do 2004



Slika 3.14 | Končna poraba energije lesnih kuriv v gospodinjstvih izračunana s pomočjo modela rabe energije v gospodinjstvih (IJS-CEU). Vrednosti za leto 2023 so ocenjene z linearno ekstrapolacijo trenda preteklih 5 let.

2,0 kBq, v letu 2019 je bilo izpuščeno 870 Bq, v letu 2018 ni bilo izpustov Cs-137, v letu 2017 je bilo izpuščeno 1 kBq Cs-137 in v letu 2016 0,7 MBq Cs-137. Podatki o dejanski, povprečni in napovedani porabi kuriv in posledičnih izpustih Cs-137 so pregledno zbrani v tabeli 3.1.

Iz podatkov o vsebnosti Cs-137 v lesnih kurivih lahko informativno ocenimo koncentracijo aktivnosti Cs-137 v zraku v bližini kurišč (do 500 m). V Sloveniji se približno četrtina (23%) od okrog 825.000 gospodinjstev ogreva z lesno biomaso. Pri zgoraj ocenjeni letni porabi lesne biomase, znaša povprečna letna poraba slovenskega gospodinjstva, ki se ogreva le z lesno biomaso, 5758 kg v letu 2023. Skupna letna izpuščena povprečna aktivnost na gospodinjstvo znaša 31,8 kBq. Ob zelo grobih predpostavkah, da se v okolje izpusti celotna količina Cs-137 pri zgorevanju lesa v peči in če informativno uporabimo arbitrarno vrednost razredčitvenega faktorja na razdalji 500 m $\chi/Q = 10^{-4} \text{ s/m}^3$ (talni izpust) [76] ter upoštevamo konstantni izpust s povprečno hitrostjo izpuščene aktivnosti 3,1 mBq/s (predpostavili smo, da se kuriva skurijo v 4 mesecih), dobimo oceno za koncentracijo aktivnosti Cs-137 v zraku okrog $0,31 \mu\text{Bq/m}^3$ v bližini hiše, kjer se za ogrevanje uporablja peč na lesno biomaso. Ta vrednost je nižja od povprečne koncentracije aktivnosti Cs-137, $2,0 \mu\text{Bq/m}^3$, v zraku v Ljubljani za štiri zimske mesece v letu 2023 (januar, februar, november, december). Če upoštevamo prispevke nekaj gospodinjstev hkrati, pa dobimo že zelo primerljive vrednosti enakega velikostnega reda. Pri tej oceni je veliko neznank in gre za grobo vrednost, v prihodnje bi bilo smiselno uporabiti realne razredčitvene faktorje, reprezentativno porabo lesne biomase, bližina in število kurišč v bližini vzorčevalne postaje ipd., vendar to že presega namen in vsebinski obseg tega poročila.



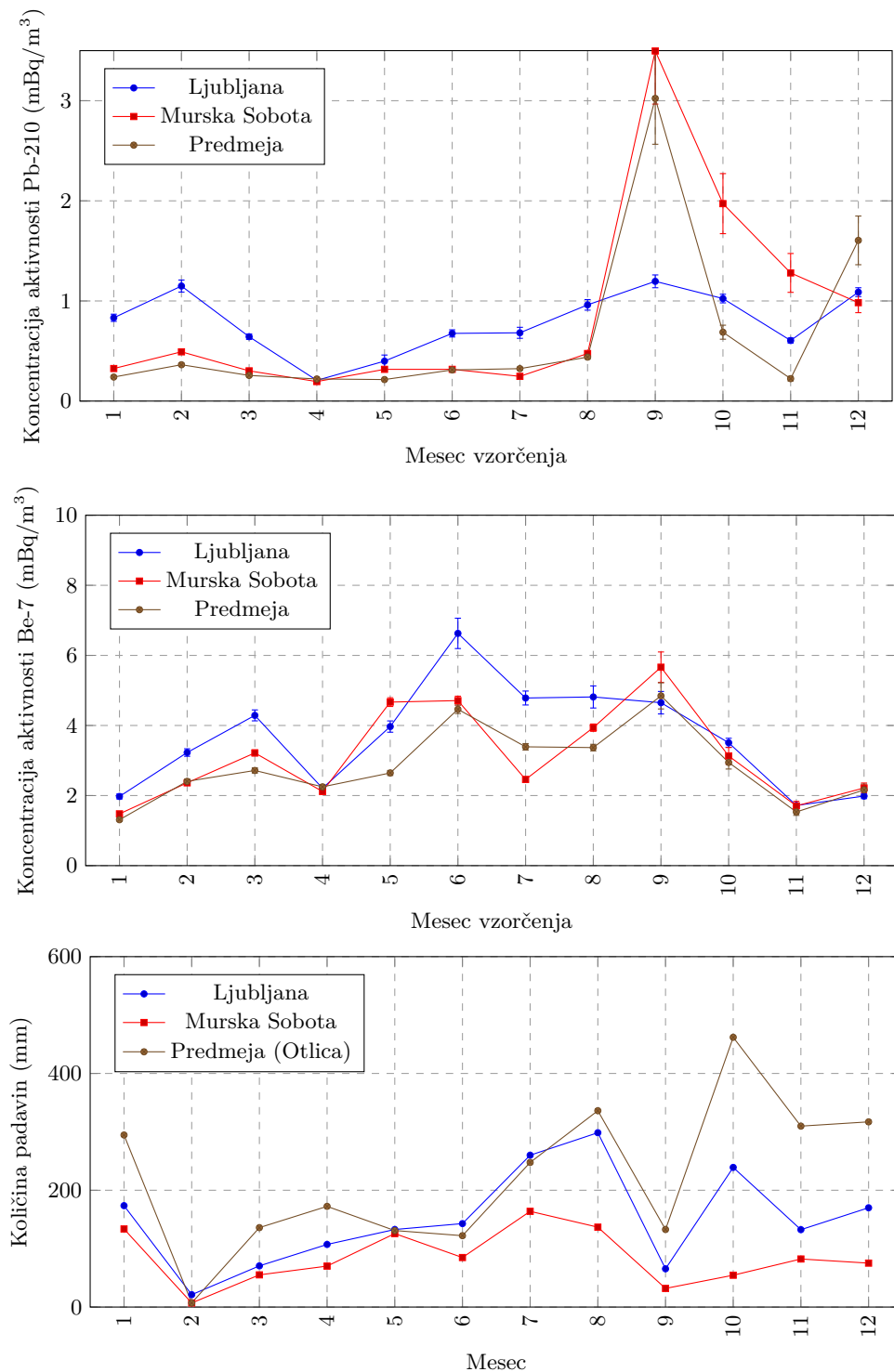
Slika 3.15 | Lokacije vzorčenja ali lokacija izvora vzorcev lesnih kuriv.

Tabela 3.1 | Izpusti Cs-137 v zrak zaradi uporabe lesnih kuriv in primerjava z izpusti NEK

leto	poraba lesnih kuriv (kt)			izpust Cs-137 v zrak (GBq)		
	dej. poraba	5-letno povp.	napoved	dejanski	napovedani	NEK
2015	1309	1361	1224	-	-	
2016	1366	1344	1200	-	-	0,0007
2017	1292	1319	1269	-	-	0,000001
2018	1185	1264	1277	2,4	2,6	0
2019	1153	1261	1269	5,3	5,8	0,0000009
2020	1144	1228	1112	7,2	7,0	0,000002
2021	1279	1210	1023	4,4	3,6	0,0013
2022	1016	1155	1191	1,0	1,2	0,000019
2023	-	-	1092	-	6,0	0,0011

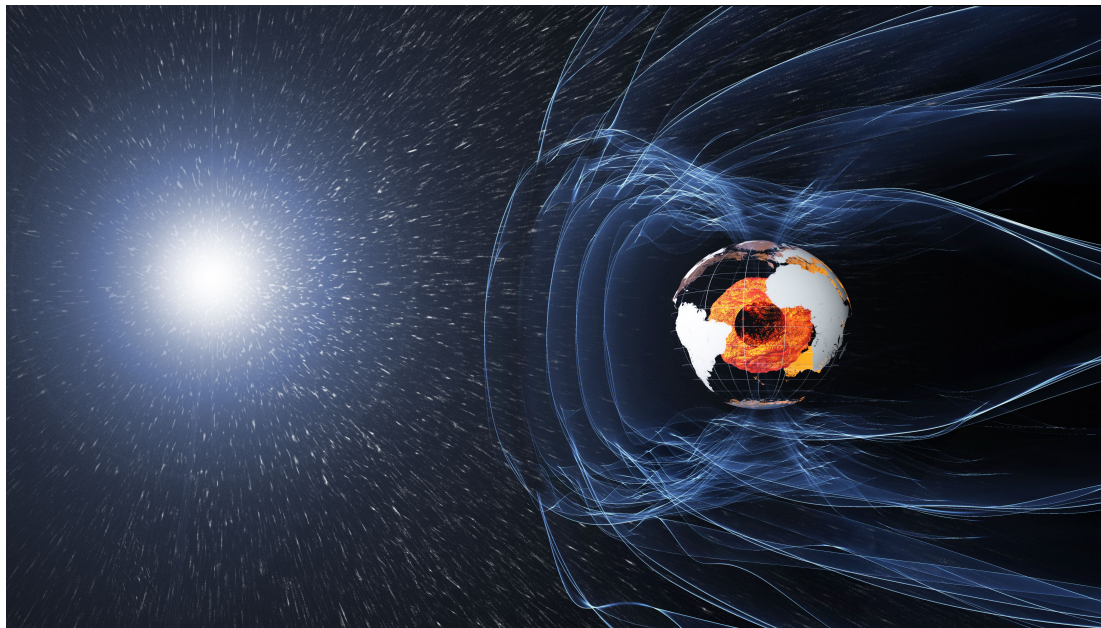
3.1.5 Sezonske variacije Be-7 in Pb-210

Analizirali smo sezonske variacije koncentracij aktivnosti Be-7 v zraku v letu 2023, ki so prikazane na sliki 3.16.



Slika 3.16 | Sezonska variacija koncentracij atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku in padavin na bližnjih lokacijah.

Kozmogeni Be-7 nastaja kot fragmentacijski oziroma spalacijski produkt jeder kisika in dušika pri trkih z bodisi visoko energijskimi galaktičnimi kozmičnimi žarki bodisi nizko energijskimi delci solarnega vetra v zemeljski atmosferi, pri čemer je prispevek slednjih precej manjši. Solarni veter je sestavljen iz protonov in elektronov pospešenih v sončevi koroni ali ob solarnih izbruhih. Večinoma so energije teh delcev prenizke, da bi prispeli v zemljino atmosfero, saj se zaradi Zemljinega magnetnega polja uklanjajo (prikazano na sliki 3.17 [77]). Njihov sicer majhen vpliv je možen le na magnetnih polih, kjer je usmerjenost magnetnih silnic taka, da delci solarnega vetra lahko prodrejo do nižjih nadmorskih višin.



Slika 3.17 | S površine Sonca izhaja t.i. solarni veter, ki praktično ne more prodreti v zemljino atmosfero (shematski prikaz); slika: ESA/ATG medialab.

Kozmogeni radionuklid Be-7 tako nastaja pretežno v jedrskih reakcijah fragmentacije ob interakcijah z galaktičnimi kozmičnimi žarki v zemeljski atmosferi [78]. Večina Be-7 tako nastane v spodnji stratosferi in nato počasi prehaja navzdol do nadmorskih višin zemeljskega površja, količina nastalega Be-7 je tako močno odvisna od sončeve aktivnosti.

Sezonske variacije koncentracij Be-7 v zraku so povezane z vsaj štirimi faktorji [78–80]:

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

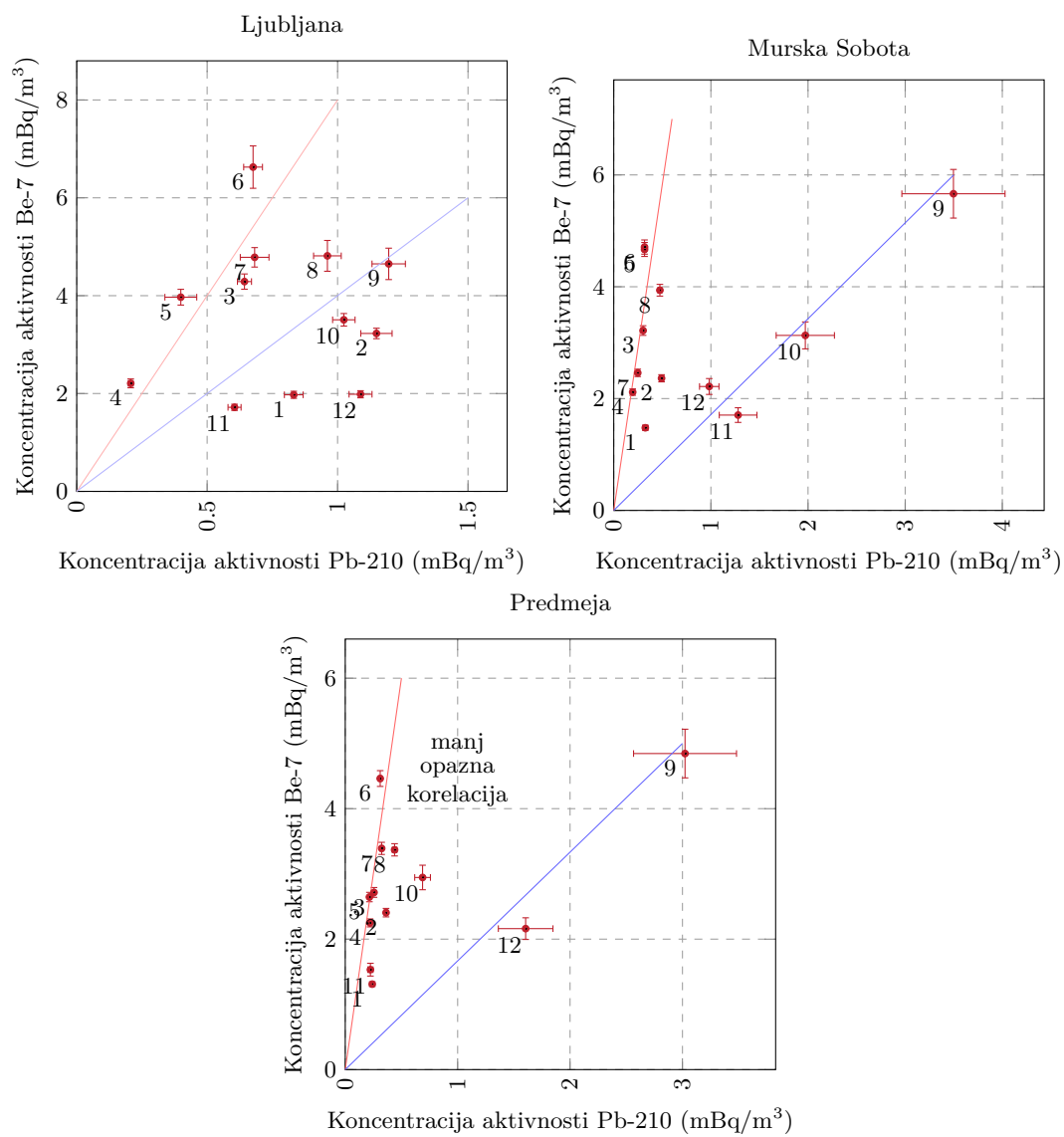
Izpiranje Be-7 s pomočjo padavin je dobro vidno na sliki 3.16, kjer so prikazane mesečne vrednosti aktivnosti Be-7 v zraku, dodatno pa za primerjavo še količina padavin v Ljubljani. Lepo je tudi vidna korelacija med količino padavin in mesečnim usedom Be-7 v padavinah na sliki 3.35 v poglavju 3.2.4.

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

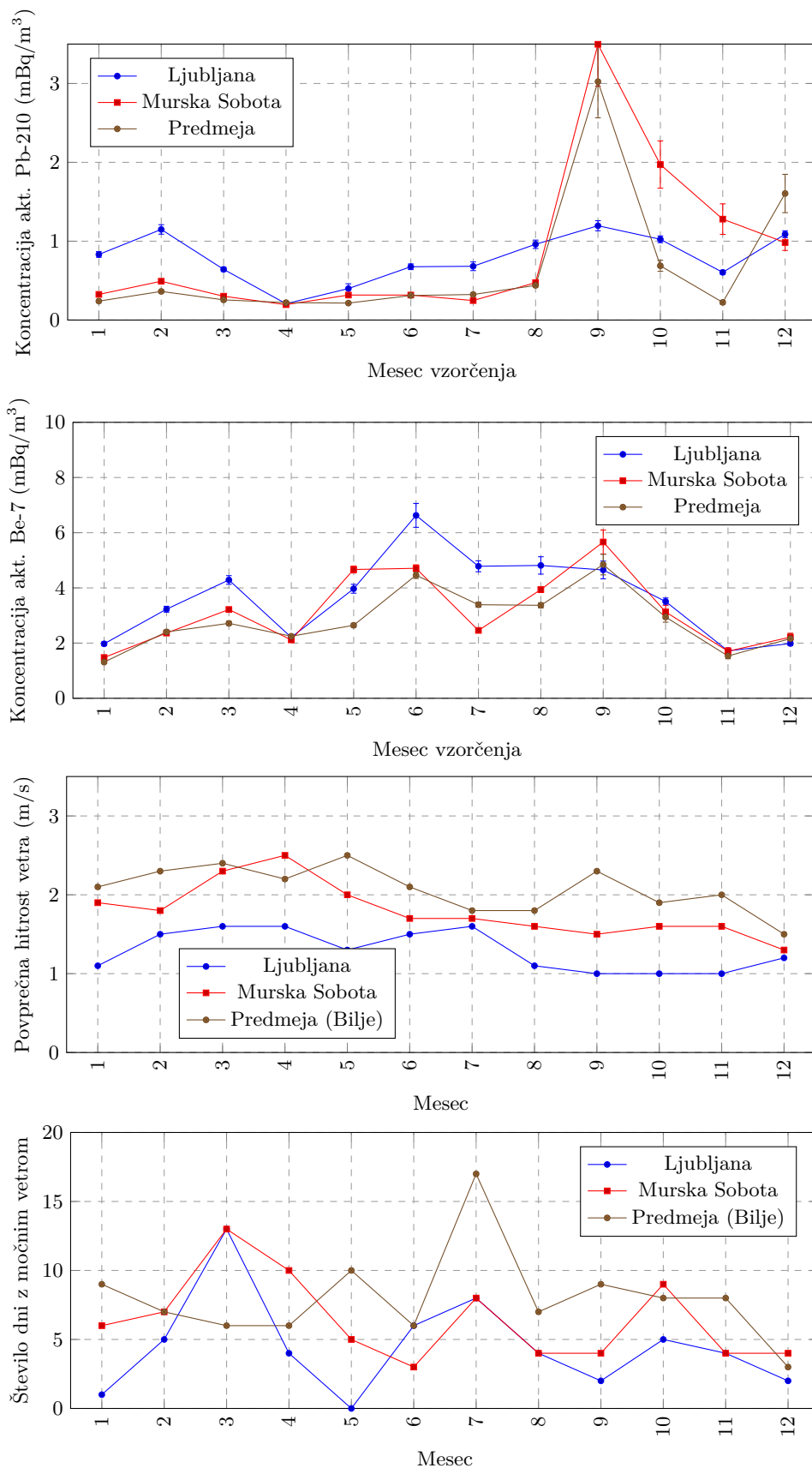
Na sliki 3.16 podrobneje analiziramo sezonske variacije, kjer poleg Be-7 analiziramo

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

Oba opisana pojava za koncentracije Pb-210 in Be-7 pomenita dvojno korelacijsko funkcijo za zimske in poletne mesece, ki sta lepo opazni na lokacijah Ljubljana in Murska Sobota na sliki 3.18. Odstopanja od te dvojne korelacije so predvsem posledica padavin in vetrovnih razmer z večjim mešanjem zraka. Lokacija v Predmeji je izpostavljena stalnim vetrovom, zato ta dvojna korelacija praktično ni opazna. Vetrovne razmere na lokacijah vzorčenja ali najbližji možni lokaciji so predstavljene na sliki 3.19 za Ljubljano, Mursko Soboto in Bilje pri Novi Gorici (najbližja Predmeji), kjer prikazujemo povprečno hitrost vetra in število dni v mesecu z močnim vetrom (nad 6 bf oziroma nad 11 m/s).



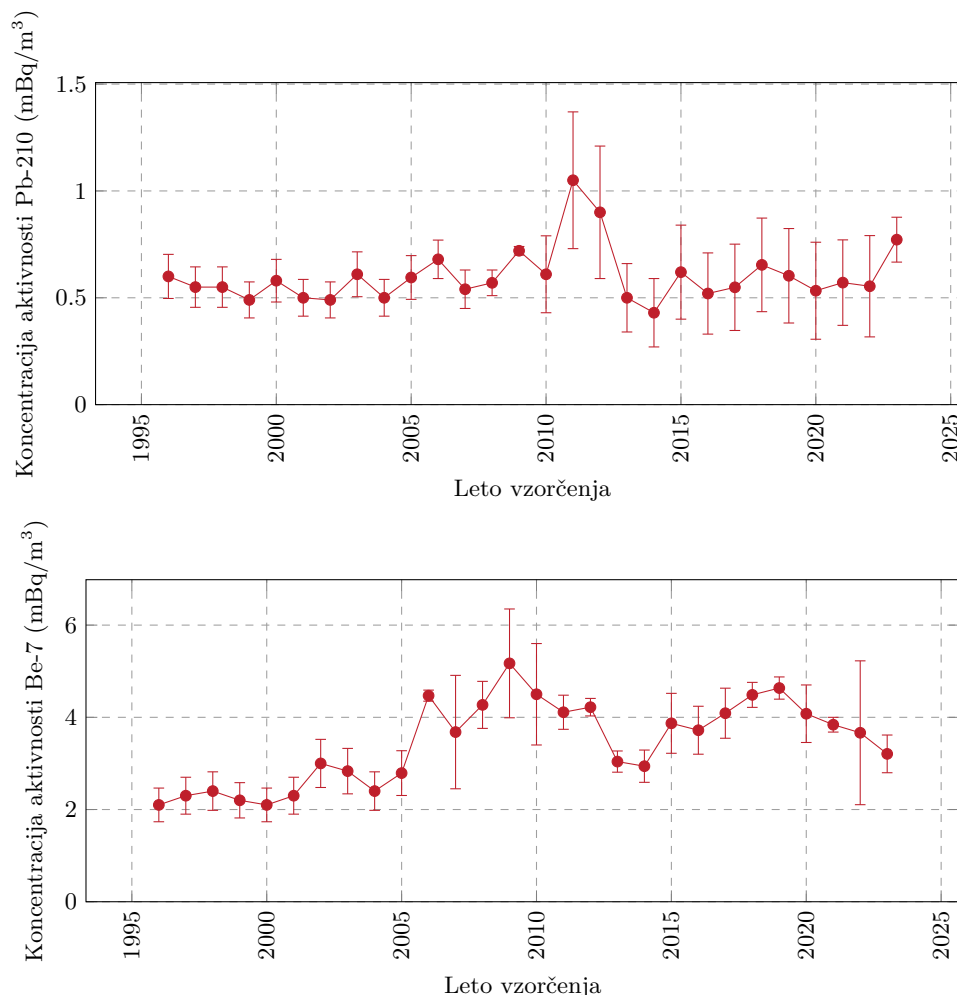
Slika 3.18 | Zimske in poletne korelacije med izmerjenimi koncentracijami atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2023 – številka ob meritvi pomeni mesec vzorčenja.



Slika 3.19 | Vetrovne razmere na lokacijah vzorčenja zraka ali v neposredni bližini.

3.1.6 Dolgoročni trend aktivnosti Be-7 in Pb-210

Na spodnji sliki 3.20 so prikazane povprečne celoletne vrednosti koncentracij aktivnosti v zraku iz vseh treh lokacij vzorčenja za Pb-210 in kozmogeni Be-7 za obdobje od 1996 dalje.⁸



Slika 3.20 | Povprečne celoletne koncentracije aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od leta 1996 dalje za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja).

Iz slike 3.20 je razvidno, da je koncentracija aktivnosti Pb-210 skozi celotno obdobje spremljanja dokaj konstantna in variira okrog povprečne vrednosti 0,6 mBq/m³. Izjema sta leti 2011 in 2012, kjer je koncentracija aktivnosti skoraj dvakrat višja od povprečja. Ustrezne razlage nimamo,⁹ saj načeloma na koncentracije Pb-210 vplivajo atmosferski premiki zračnih mas (vertikalno in horizontalno mešanje) ter izpiranje aerosolov, na katere se veže Pb-210, s padavinami. Vrednosti koncentracij aktivnosti Be-7 se gibajo med 2,1-5,1 mBq/m³. V letih 2006-2011 so izmerjene vrednosti Be-7 v zraku za slabo polovico višje kot v prejšnjih letih (do 2005), dodatno je opazen rahel vrh okrog leta 2002.

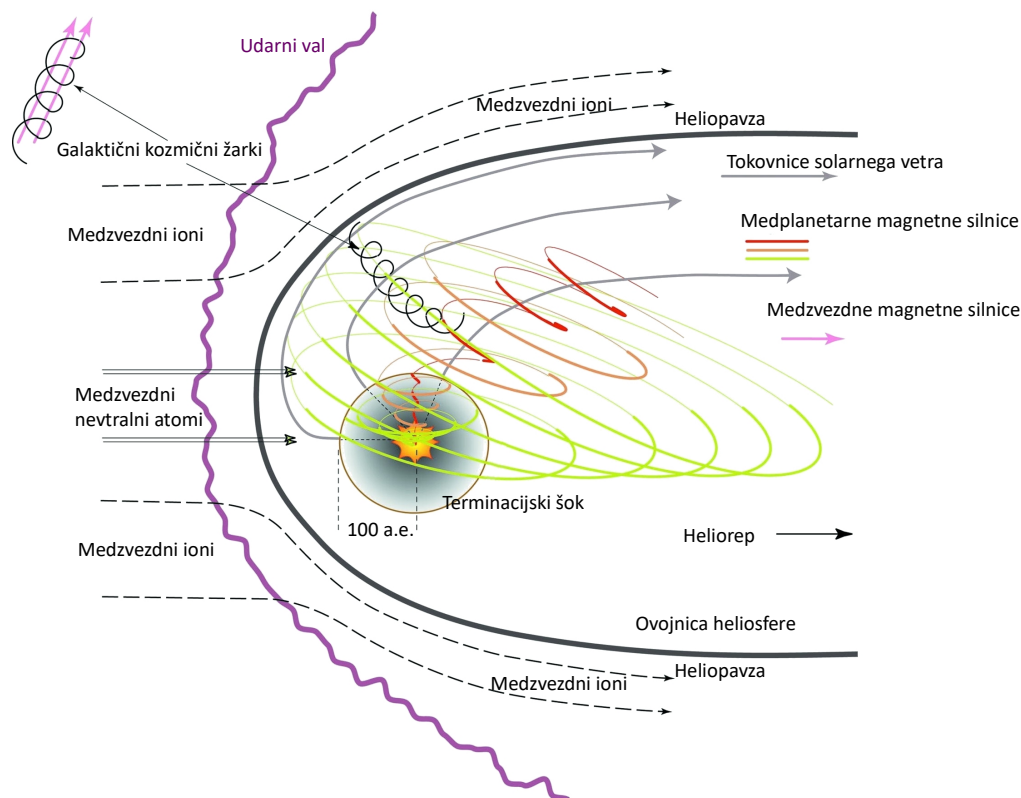
⁸V letu 2021 je zaradi napake plinomera in posledično nepravilnih vrednosti koncentracij iz povprečja izvzeta lokacija Predmeja.

⁹Višja vrednost je predvsem posledica nekaterih višjih mesečnih vrednosti na lokaciji Jareninski vrh

Podoben trend je možno opaziti tudi pri vrednostih Be-7 v vzorcih padavin (prikazane na sliki 3.33), kjer je tudi opazno povišanje koncentracij v letih 2006-2011 v primerjavi s preteklimi leti. Potrebno pa se je zavedati, da je vsebnost Be-7 v padavinah v kratkih vzorčevalnih obdobjih (npr. mesečnih) antikorelirana z vsebnostjo Be-7 v zraku, v letnih povprečjih pa so koncentracije korelirane.

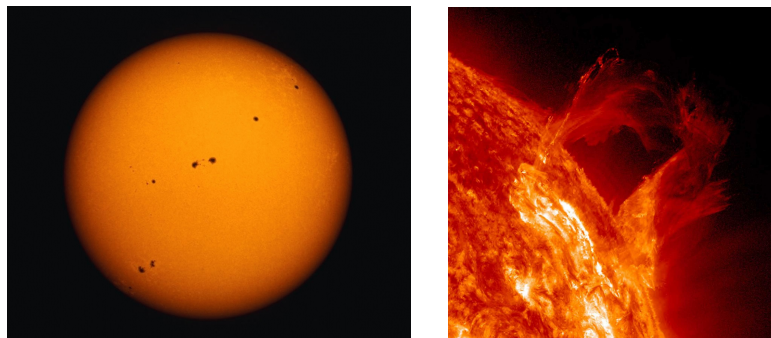
Variacije glede na leta opazovanja v koncentracijah Be-7 bi lahko pojasnili s t.i. sončevim ciklusom. Solarni veter gledano v celotnem našem osončju pomeni tudi kontinuiran tok plazme (protoni in elektroni), območje vpliva te plazme pa imenujemo heliosfera in sega onkraj Plutonove orbite. Ker je plazma električno prevodna, prenaša del Sončevega magnetnega polja. Na ta način ima solarni veter močan vpliv na galaktične kozmične žarke.

Galaktični kozmični žarki prihajajo tipično izven našega osončja iz medzvezdnega prostora naše galaksije. To so visoko energijski nabiti delci – protoni, elektroni in popolnoma ionizirana jedra lahkih elementov. Ko se galaktični kozmični žarki približajo našemu osončju, v heliosferi lahko izgubijo precejšen del svoje energije in posledično v manjši meri prodrejo v Zemljino atmosfero (slika 3.21 [81]). V tem primeru je verjetnost nastajanja kozmogenega Be-7 zmanjšana.

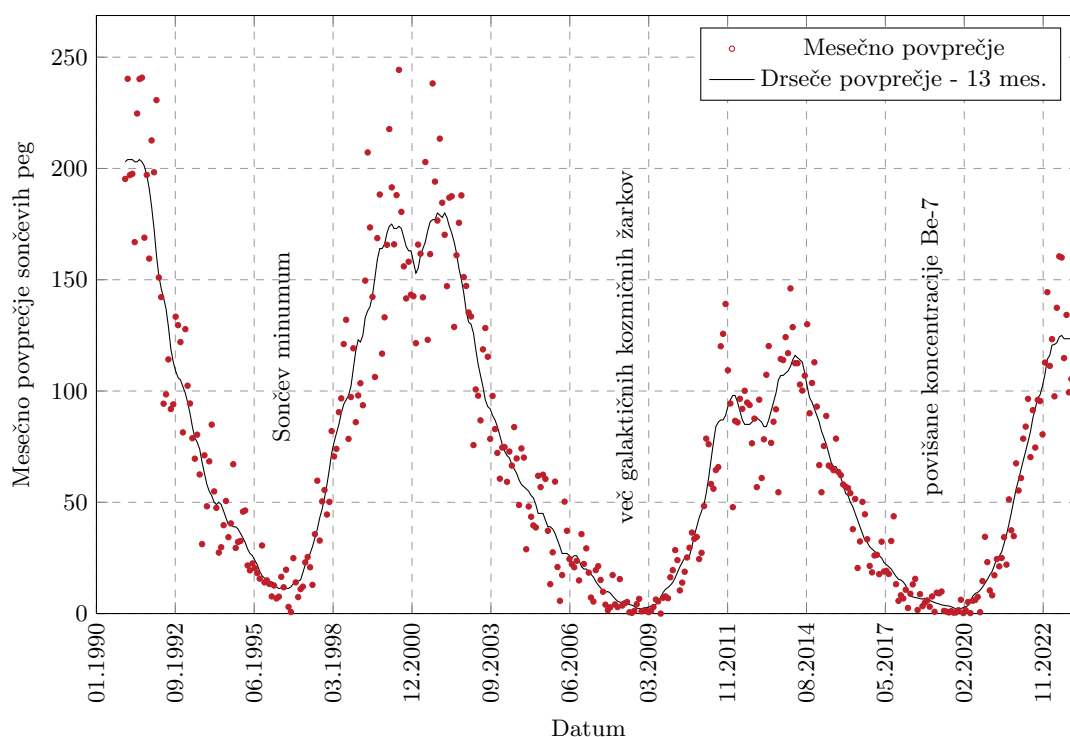


Slika 3.21 | V času večje sončeve aktivnosti heliosfera zmanjšuje fluks galaktičnih kozmičnih žarkov do zemljine atmosfere.

Sončeva aktivnost ima svoj tipični 11-letni cikel [82]. Odraž aktivnosti je viden kot povečanje ali zmanjšanje števila sončevih peg (slika 3.22 [83]). V času solarnega maksimuma je število peg večje, v času minimuma pa manjše. Med sončevim maksimumom je tudi solarni veter močnejši, kar posledično preko močnejše heliosfere pomeni zmanjšan vpliv galaktičnih kozmičnih žarkov na Zemljino atmosfero. Časovna odvisnost sončeve aktivnosti je prikazana na spodnji sliki 3.23 [82].



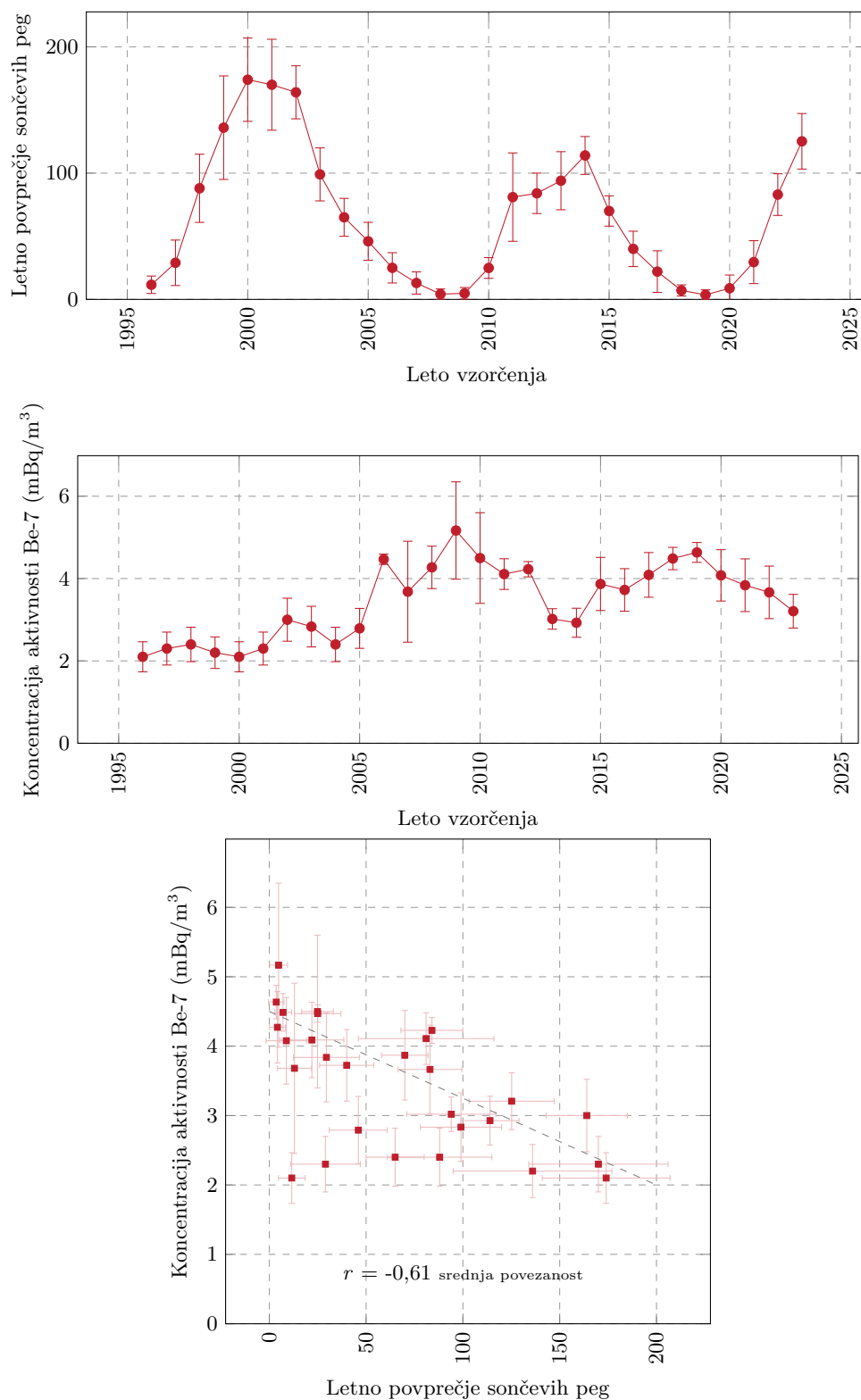
Slika 3.22 | Sončeve pege so merilo za sončevo aktivnost in solarni veter; slika: NASA.



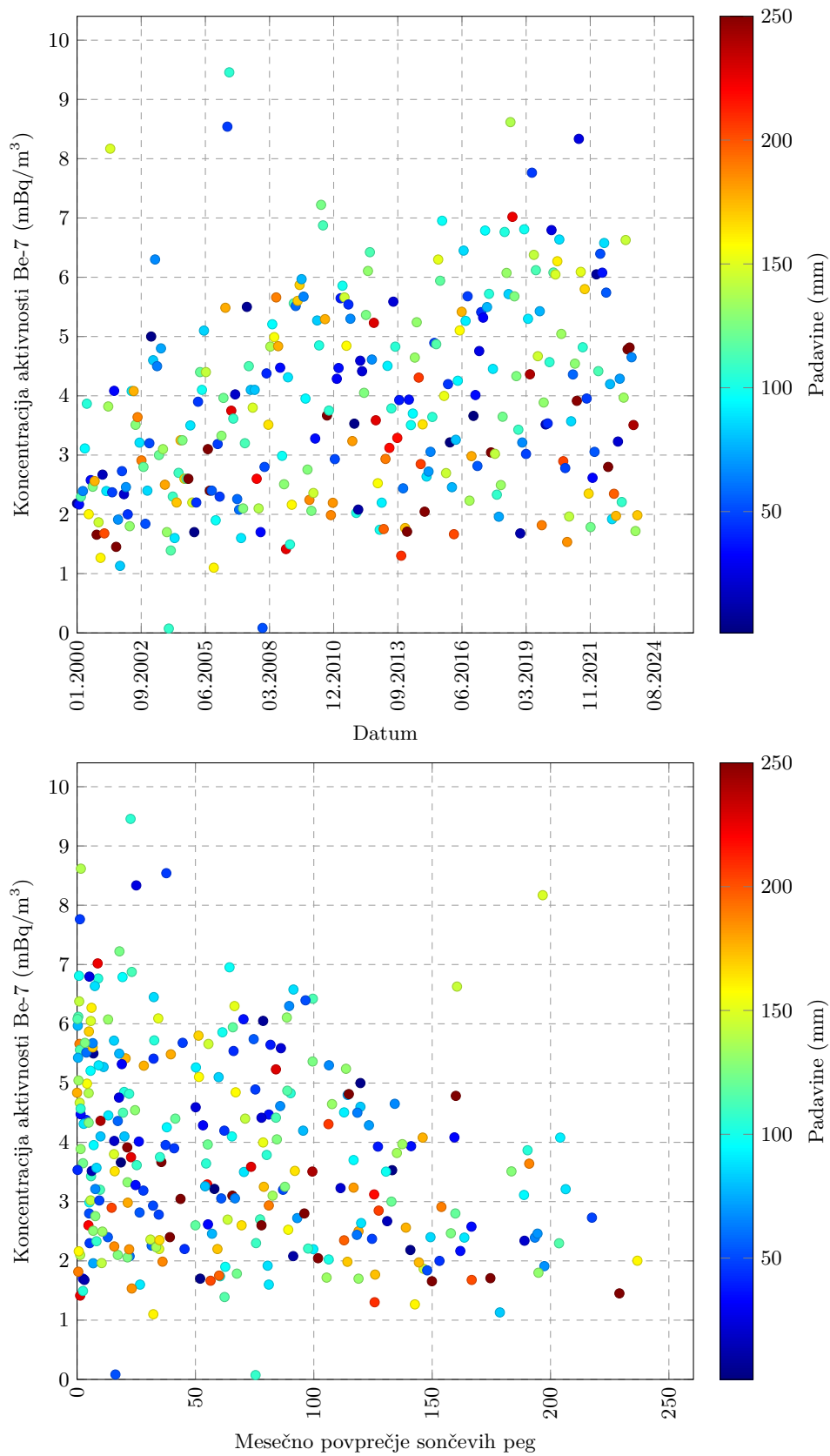
Slika 3.23 | Povprečno mesečno število sončevih peg – neprekinjena črta predstavlja drseče povprečje zadnjih 13 mesecev.

Če primerjamo izmerjene koncentracije aktivnosti Be-7 v zraku (slika 3.20) in sončevo aktivnost (slika 3.23) ugotovimo močno antikorelacijo, ki je prikazana na sliki 3.24, Pearsonov koeficient korelacije $-0,61$ nakazuje srednjo linearno povezanost. V času sončevega minimuma (od 2006 do 2010) je zaradi večjega fluksa galaktičnih kozmičnih žarkov narasla koncentracija aktivnosti Be-7, v času sončevega maksimuma (od 1999 do 2003) pa so koncentracije aktivnosti Be-7 v zraku nizke, z izjemo lokalnega sončevega minimuma v letu 2001-2002, ki se prav tako odraža v lokalnem maksimumu izmerjene koncentracije aktivnosti Be-7 v zraku v letu 2002. Z letom 2011 se je začel nov sončev maksimum, zato so pričakovano koncentracije Be-7 v zraku nižje (glej sliko 3.20) do okrog leta 2016. Po letu 2016 smo prešli v sončev minimum, zato so koncentracije Be-7 v zraku višje, kar so bile po pričakovanju še nekaj let, po letu 2020 pa preidemo v nov sončev maksimum, zato pričakujemo da bodo koncentracije Be-7 ponovno nižje.

Delno na izmerjene koncentracije Be-7 v zraku vplivajo padavine, ki ga izpirajo iz ozračja, vendar se v letnih podatkih to dovolj povpreči, da je vpliv zmanjšan. Če analiziramo mesečne podatke, pa ta slika ni več tako izrazita in antikorelacije skoraj niso opazne. Na sliki 3.25 je prikazana časovna odvisnost mesečnih koncentracij Be-7 in antikorelacija sončevega cikla – število peg – z izmerjenimi mesečnimi koncentracijami Be-7 za merske podatke od leta 2000 dalje. Na grafih so za posamične meritve dodane tudi količine mesečnih padavin, ki so obarvane z ustrezno barvo glede na njihovo višino. Najverjetneje pa na slabše izrazito antikorelacijsko odvisnost vpliva tudi delna zakasnitev zaradi transporta izotopa Be-7 od mesta nastanka v atmosferi do tal, kjer vzorčimo zrak.



Slika 3.24 | Antikorelacija sončevega cikla z letnimi koncentracijami Be-7 v zraku od leta 1996 dalje.



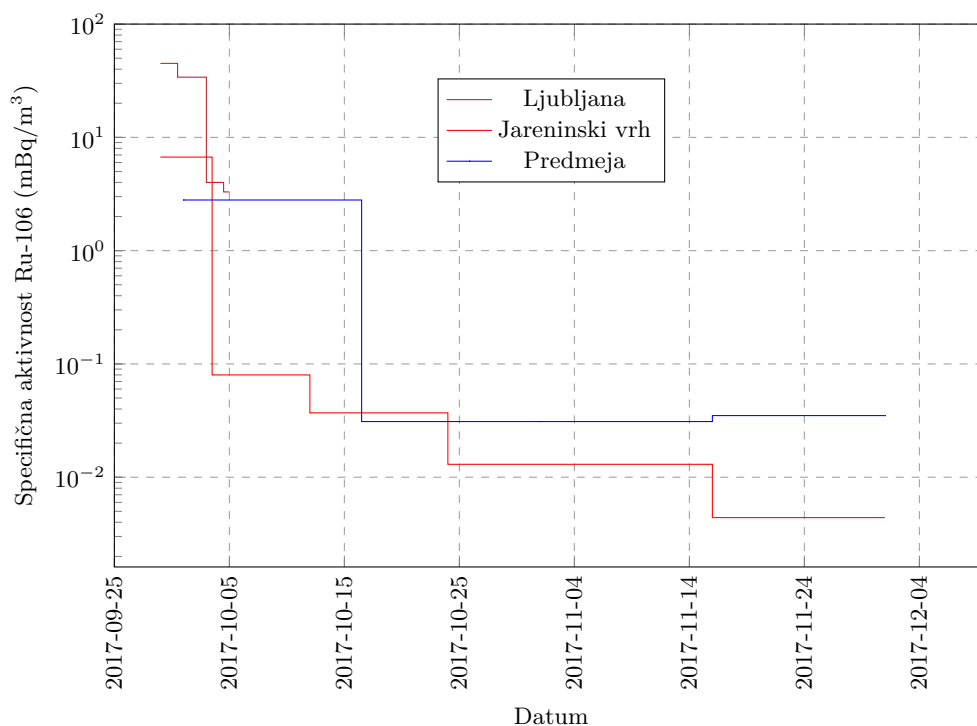
Slika 3.25 | Antikorelacija sončevega cikla z mesečnimi koncentracijami Be-7 v zraku od leta 2000 dalje z delnim upoštevanjem izpiranja zaradi padavin.

3.1.7 Zgodovinski pregled opaženih posebnosti

Radioaktivni oblak Ru-106 nad Evropo v letu 2017

Konec septembra 2017 je bil zrak nad jugovzhodno Evropo onesnažen z izotopoma Ru-103 in Ru-106. Medtem ko je bila vsebnost Ru-103 v zraku le v sledovih in izmerjena le v nekaj laboratorijih v Evropi [84], kjer so bile aktivnosti v zraku zaradi meteoroloških razmer višje ter kapaciteta vzorčenja višja, smo raven onesnaženja zraka z radionuklidom Ru-106 lahko natančno določili v Sloveniji. Razmerje aktivnosti Ru-106/Ru-103 je bilo približno 4000:1, torej so bile koncentracije Ru-103 daleč pod mejo detekcije in zato ni bil Ru-103 viden niti v Ljubljani, na Jareninskem vrhu niti na Predmeji.

Številne države vzhodne in jugovzhodne Evrope so poročale koncentracije aktivnosti Ru-106 v zraku primerljive tistim, ki so bile izmerjene po Sloveniji, na koncu septembra oziroma začetku oktobra nekaj mBq/m^3 nato pa en do dva velikostna red nižje. Koncentracija aktivnosti Ru-106 v zraku v Ljubljani se je v prvem tednu oktobra znižala pod mejo detekcije, na lokacijah Jareninski vrh oziroma Predmeja pa je bil detektiran do novembra oziroma decembra. Meritve so prikazane na sliki 3.26. Septembrske povprečne vrednosti so bile za realnejši prikaz iz povprečnih mesečnih preračunane na delež prečrpanega zraka 29. in 30.9., kot privzeti datum prihoda radioaktivnega oblaka v Slovenijo.

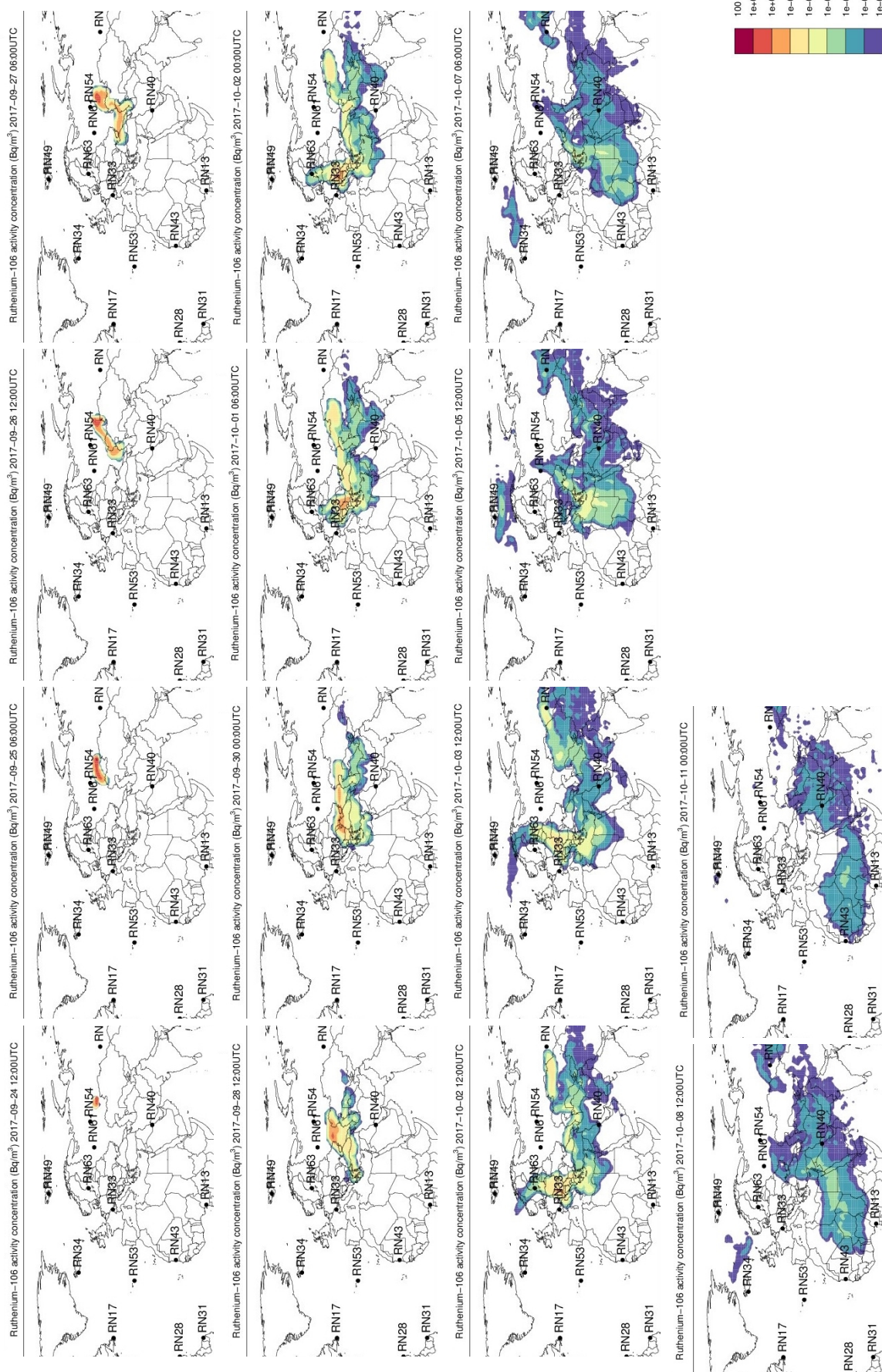


Slika 3.26 | Podrobnejše meritve koncentracij aktivnosti Ru-106 v zraku v Ljubljani, na Jareninskem vrhu in Predmeji.

Točen izvor izotopa Ru-106 ni znan, zagotovo pa ne gre za nesrečo v jedrskem reaktorju, saj bi v takem primeru dobili kopico drugih cepitvenih in aktivacijskih produktov. Vse vesoljske agencije so izključile padec satelita z vgrajenim takšnim radioaktivnim virom, ki je služil kot električni generator za napajanje komponent satelita. V izčrpnem poročilu je inštitut IRSN (Francija) [84] opravil podrobno analizo, iz katerega sledi, da

je edini verjetni scenarij izpusta Ru-106 posledica uhajanja iz predelovalnega obrata za jedrsko gorivo. Ocenjena skupna izpuščena aktivnost Ru-106 je bila 100-300 TBq. Izpust naj bi se zgodil med 25.9. in 28.9., pri čemer ni trajal dlje od 24 ur. V postopkih predelave izrabljenega jedrskega goriva se v različnih fazah predelave (PUREX) rutenij lahko nahaja v trdni (kovina ali oksid RuO_2), tekoči (nitrosil kompleks $\text{RuNO}(\text{NO}_3)_3$) ali plinski obliki (RuO_4). V postopku PUREX lahko nastaja rutenij v plinski obliki RuO_4 , če pride do pregrevanja nitrosil kompleksa nad 100-120°C. Tako bi v primeru nesreče v predelovalnem obratu ob izgubi hlajenja lahko nastale tolikšne količine RuO_4 , da ga sistem za zadrževanje plinskih izpustov ne bi v celoti zadržal. V takem primeru bi najverjetneje filtracija zadržala druge izotope na aerosolnih filterih (Cs, Sr), del RuO_4 bi se zajel ob stikih s hladnimi površinami (RuO_2), del pa bi ušel skozi prezračevalni sistem. Zato tak scenarij tudi pojasni prisotnost izključno izotopov Ru-103 in Ru-106 v radioaktivnem oblaku (ostali morebitni izotopi Ru imajo zelo kratko razpolovno dobo). Podoben dogodek se je pripetil v predelovalnem obratu AREVA v La Hague (Francija), kjer pa je bila aktivnost izpusta Ru-106 na nekaj GBq.

Lokacijo izvora je poleg inštituta IRSN [84] ocenil tudi inštitut SCK-CEN (Belgija) z modeliranjem svetovnih vremenskih razmer konec septembra in v začetku oktobra [85], s katerim so ugotovili, da se je širjenje Ru-106 začelo nekje južno od Urala v Rusiji, kjer je na tem območju kar nekaj predelovalnih obratov za jedrsko gorivo. Potek razširjanja radioaktivnega oblaka Ru-106 v mesecu septembru in oktobru je prikazan na sliki 3.27



Slika 3.27 | Modeliranje razširjanja oblaka z izpusti Ru-106 - 24.9.2017 - 30.9.2017.

3.2 Padavine

3.2.1 Vzorčenje in rezultati meritev

Padavine smo vzorčili kontinuirano v Ljubljani, Murski Soboti, Bovcu in Novem mestu, kjer v Ljubljani merimo mesečni vzorec, na ostalih lokacijah pa trimesečni vzorec.

Rezultati meritev so zbrani v poglavju 8 v tabelah od 8.7 do 8.10.

Letna količina padavin v letu 2023 v Ljubljani je bila 1814 mm, v Bovcu 3261 mm, v Novem mestu 1276 mm in v Murski Soboti 1024 mm. Poleg umetnih radionuklidov Cs-137, Sr-90 in H-3 (H-3 je lahko tako umetnega kot naravnega izvora) smo določali tudi naravne radionuklide U-238, Ra-226, Pb-210, Th-228, Ra-228, K-40 ter kozmogeni Be-7.

Primerjava rezultatov 2023 z leti pred tem kaže, da se koncentracije posameznih radionuklidov v padavinah oziroma radioaktivni used ni bistveno spremenil, kar je normalna posledica podobne količine padavin glede na pretekla leta. Prisotnosti naravnih radionuklidov ni smiselno komentirati, saj ne predstavljajo pravega atmosferskega useda.

Od umetnih radionuklidov sta dolgoročno opazna samo Cs-137 in Sr-90, vendar so specifične aktivnosti večkrat na meji detekcije, tako da so negotovosti pri meritvah precej velike. Najvišji letni used Cs-137 je bil izmerjen v Bovcu $1,2 \pm 0,1$ Bq/m², v Ljubljani pa $1,1 \pm 0,1$ Bq/m². Letni usedi Sr-90 so bili vsi pod mejo detekcije na vseh lokacijah vzorčenja, razen ena kvartalna meritev v Novem mestu.

Od naravnih radionuklidov naj omenimo še skupne vrednosti kozmogenega Be-7, katerega rezultati znašajo od 248 Bq/m² v Novem mestu do 561 Bq/m² v Ljubljani.

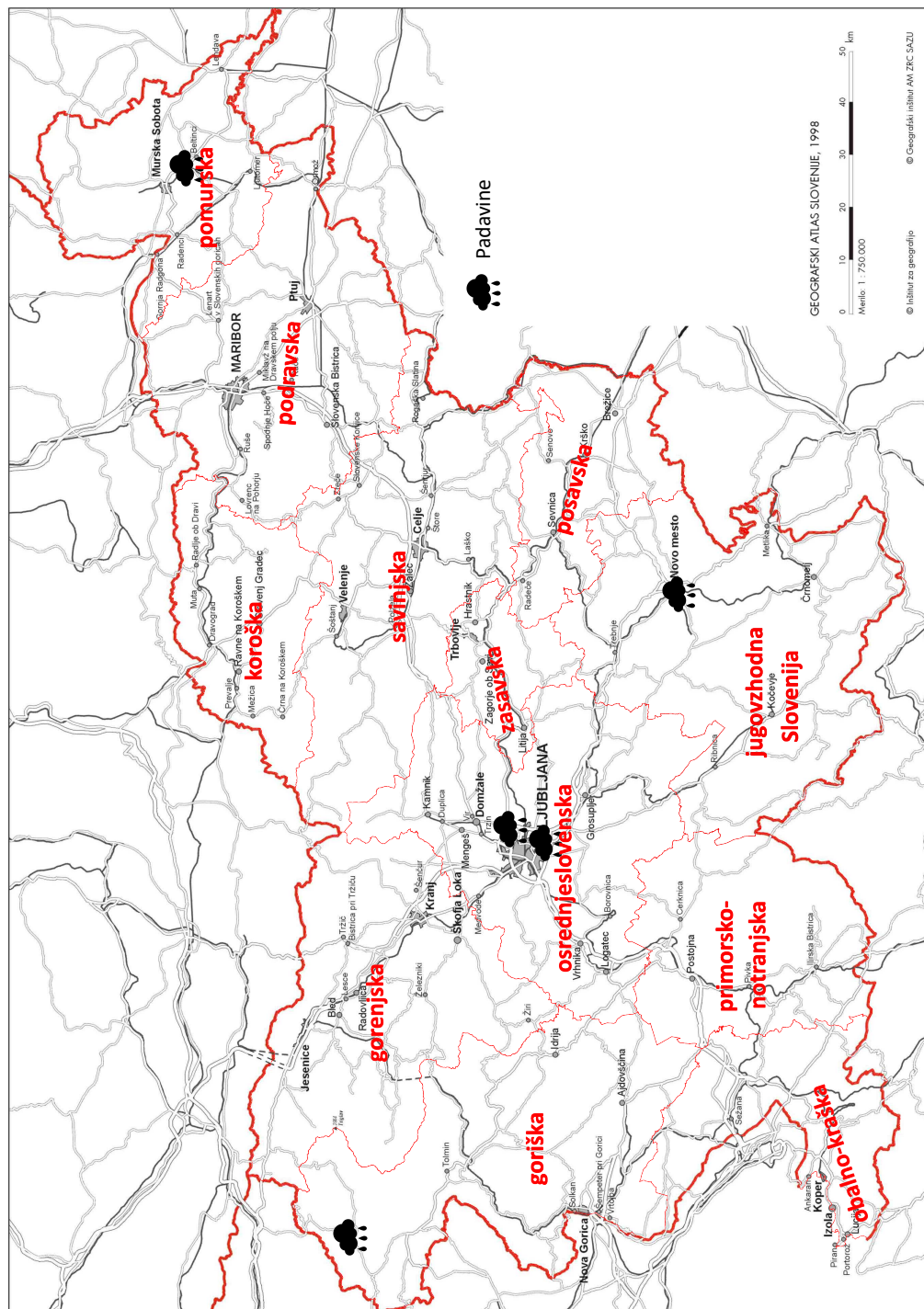
3.2.2 Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90

V tabeli 3.2 so prikazane povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine povprečene na vse lokacije vzorčenja za obdobje od leta 2000 naprej. Dodane so tudi povprečne količine padavin na vseh merskih lokacijah za to obdobje.

Iz rezultatov v tabeli 3.2 je razvidno, da vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 na enoto površine povprečene po lokacijah Slovenije variirajo z leti. Na sliki 3.29 je časovna odvisnost letnega useda od leta 2000 dalje prikazana na grafu. 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. Za leti 2012 in 2013 ugotavljamo, da je velika večina meritev aktivnosti Sr-90 pod mejo detekcije, ki ima dokaj velik razpon bodisi je nižja od tipično izmerjenih vrednosti bodisi višja. Ker v analizi pri izračunu povprečnih letnih vrednosti upoštevamo tudi vzorce z izmerki pod spodnjo mejo detekcije, je v teh letih potrebno povprečno vrednost upoštevati kot orientacijsko vrednost. Vendar pa, če primerjamo odvisnost letnega useda od letne količine padavin (prikazano na sliki 3.31), korelacija med njima ni zelo opazna. To najverjetneje pomeni, da ne glede na količino padavin, le-te izperejo praktično celotno aktivnost Sr-90 v zraku ali pa je metoda določevanja Sr-90 pri danih aktivnostih že nezanesljiva oziroma so aktivnosti že primerljive s spodnjo mejo detekcije. Zato tudi na letni ravni ni zaznati velikih variacij. Je pa na sliki 3.31 opazna korelacija za izotopa Cs-137 oziroma Pb-210, katerih koncentracija v zraku je višja (sploh v zimskih mesecih) oziroma bistveno višja.

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 vsakoletnemu in medletnemu sipanju 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 od 8.7 do

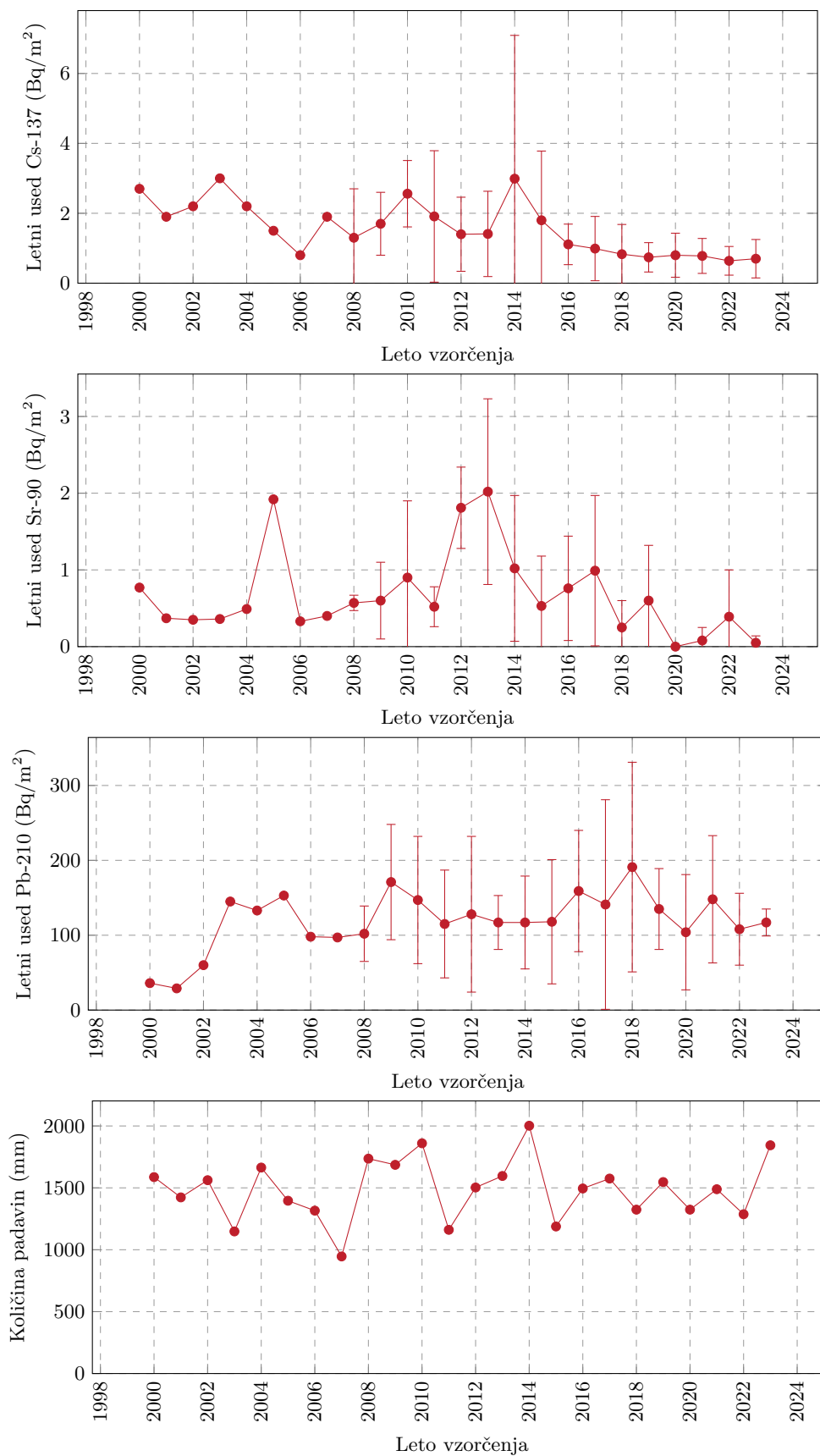


Slika 3.28 | Lokacije vzorčenja vzorcev padavin.

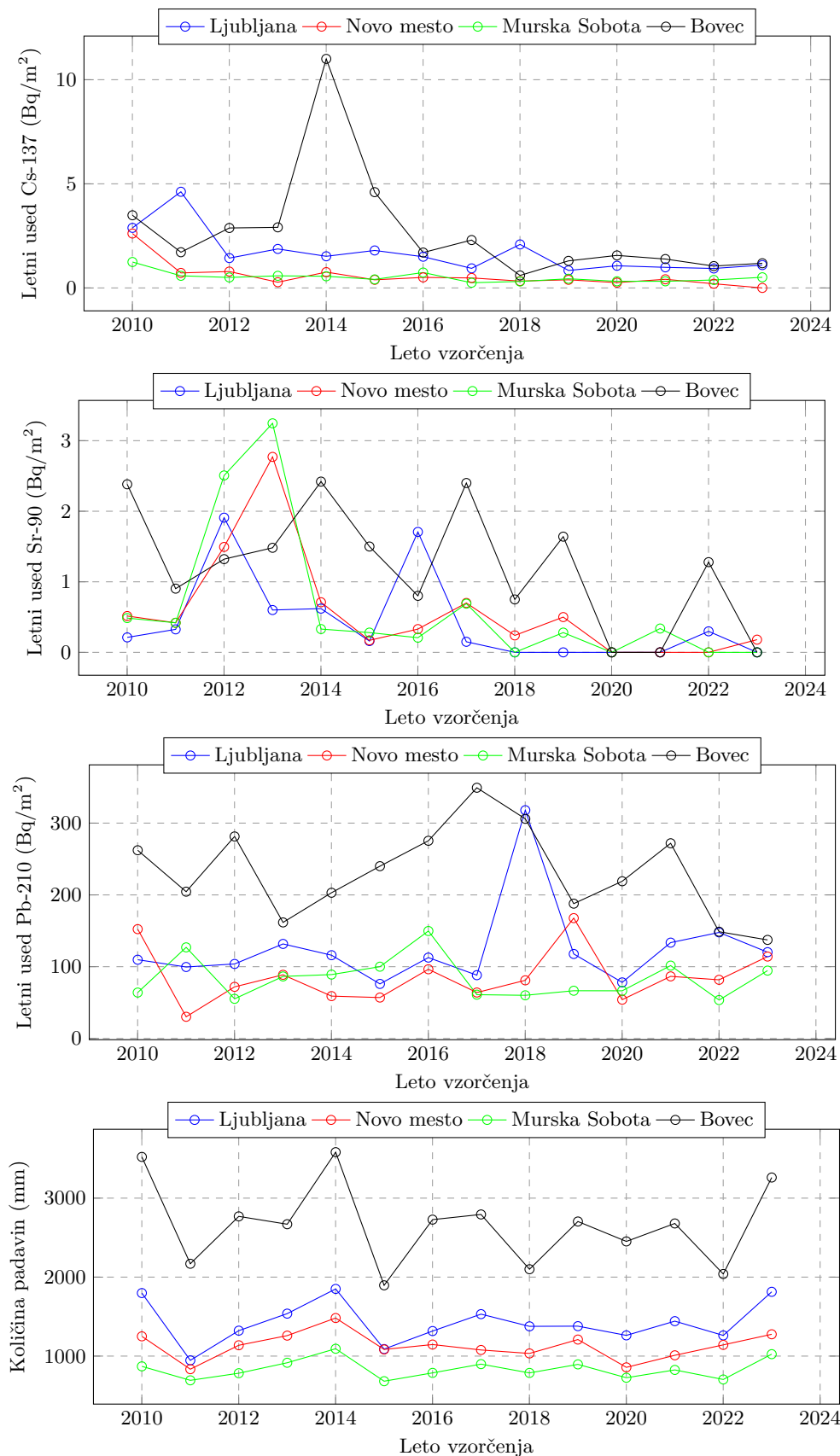
Tabela 3.2 | Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij)

Leto	Radionuklid			Količina padavin (mm)
	Sr-90	Cs-137	Pb-210	
	Letni used (Bq/m ²)			
2000	0,77	2,7	36	1587
2001	0,37	1,9	29	1423
2002	0,35	2,2	60	1562
2003	0,36	3,0	145	1148
2004	0,49	2,2	133	1664
2005	1,92	1,5	153	1396
2006	0,33	0,8	98	1316
2007	0,40	1,9	97	946
2008	0,57 ± 0,10	1,3 ± 1,4	102 ± 37	1736
2009	0,61 ± 0,47	1,73 ± 0,90	171 ± 77	1686
2010	0,90 ± 0,50	2,6 ± 0,5	147 ± 42	1860 ± 586
2011	0,52 ± 0,13	1,9 ± 0,9	115 ± 36	1161 ± 340
2012	1,81 ± 0,26	1,4 ± 0,5	128 ± 52	1503 ± 437
2013	2,02 ± 0,60	1,4 ± 0,6	117 ± 18	1596 ± 380
2014	1,02 ± 0,47	3,5 ± 2,5	117 ± 31	2002 ± 549
2015	0,53 ± 0,33	1,8 ± 1,0	118 ± 42	1192 ± 254
2016	0,76 ± 0,34	1,1 ± 0,3	159 ± 41	1495 ± 426
2017	0,99 ± 0,49	1,0 ± 0,5	141 ± 70	1575 ± 427
2018	0,25 ± 0,18	0,8 ± 0,4	191 ± 70	1324 ± 285
2019	0,60 ± 0,36	0,7 ± 0,2	135 ± 27	1547 ± 399
2020	0,0	0,8 ± 0,3	104 ± 39	1324 ± 393
2021	0,08 ± 0,08	0,8 ± 0,3	148 ± 42	1489 ± 417
2022	0,39 ± 0,30	0,6 ± 0,2	108 ± 24	1287 ± 278
2023	0,05 ± 0,05	0,7 ± 0,3	117 ± 9	1844 ± 500

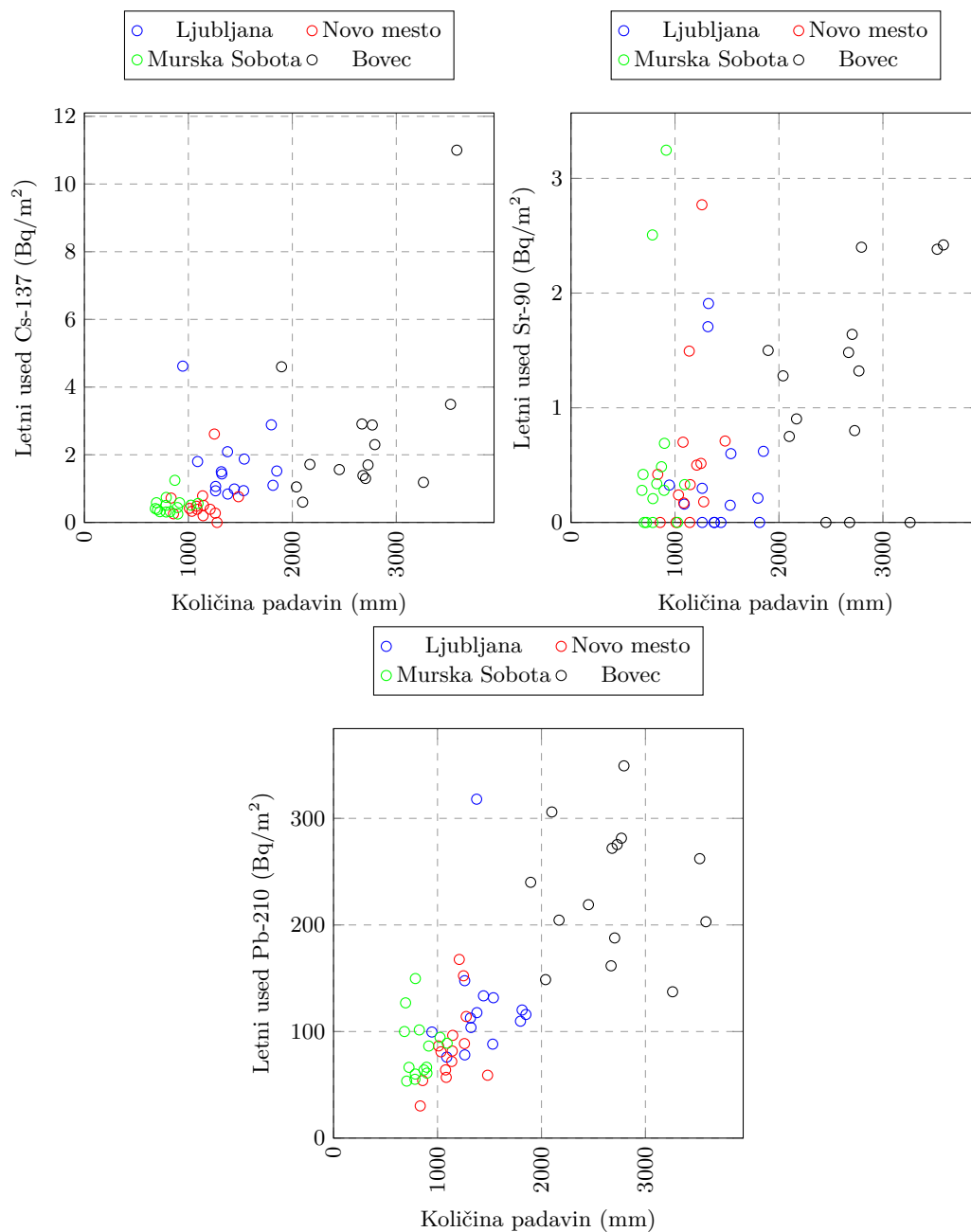
8.10 v poglavju 8).



Slika 3.29 | Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij po Sloveniji)



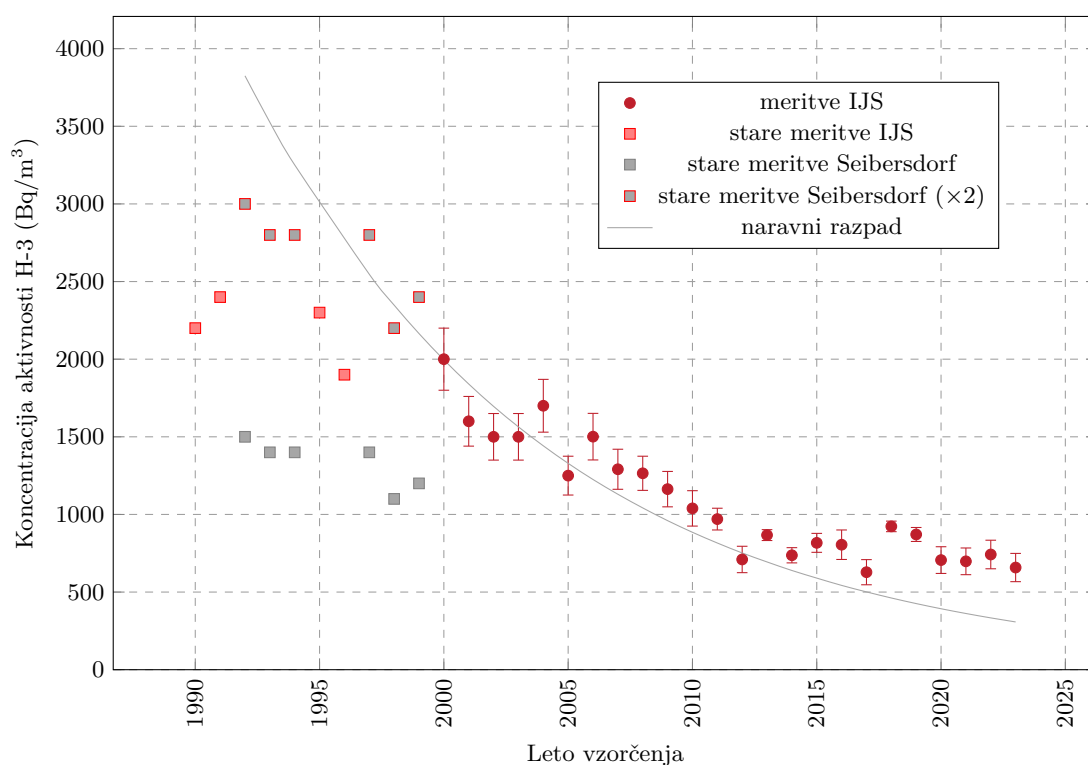
Slika 3.30 | Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2010 dalje na posamičnih lokacijah: Ljubljana, Novo mesto, Murska Sobota in Bovec.



Slika 3.31 | Korelacija količine padavin s povprečnim letnim usedom Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na različnih lokacijah po Sloveniji od leta 2000 dalje.

3.2.3 Koncentracija aktivnosti H-3

Meritve koncentracije aktivnosti H-3 v vzorcih padavin smo opravili le v mesečnih vzorcih iz Ljubljane (meritve je izvajal IJS). Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8. Koncentracije aktivnosti H-3 v deževnici v letu 2023 so pod dolgoletnim povprečjem. Vrednosti koncentracij aktivnosti H-3 v obdobju od leta 1990 dalje se gibajo v območju 600-2400 Bq/m³. Povprečna letna koncentracija H-3 v letu 2023 je znašala 658 ± 91 Bq/m³. Večja odstopanja med vrednostmi pri določenih letih pred 2000 so lahko posledica dveh različnih izvajalcev meritev, in sicer laboratorija IJS in Seibersdorf. V preteklosti smo preverili takšno domnevo in izvedli primerjavo meritev koncentracij H-3 v istih vzorcih v obeh laboratorijih (IJS in Seibersdorf). Rezultati so pokazali odstopanje tudi za faktor 2 (IJS izmeri višje vrednosti). Zaradi konsistentnosti v zadnjih letih vedno meritve izvaja IJS (O2).



Slika 3.32 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje.

Na sliki 3.32 so prikazane vrednosti koncentracij aktivnosti H-3 v vzorcih padavin iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje. Dolgoročni trend kaže padanje vrednosti, po letu 2000 izmerjene količine H-3 sledijo trendu naravnega radioaktivnega razpada z razpolovno dobo H-3 12,3 let. V letih od 2015 dalje so vrednosti sicer višje od pričakovanih po trendu radioaktivnega razpada, kar lahko pomeni, da je H-3, ki je nastajal zaradi atmosferskih jedrskih poskusov, že razpadel, sedaj prevladuje prispevek H-3, ki nastaja z naravnimi procesi (glej spodnjo razlago o virih H-3 v okolju), morebitne delne variacije pa lahko pojasnimo z minimumom oziroma maksimumom sončevega cikla (večje oziroma manjše nastajanje kozmogenega H-3) ter korelacijo izpustov H-3 iz NEK in padavin. Vrednosti pred letom 2000 so nižje od pričakovane ekstrapolacije za nazaj, vendar je to lahko posledica nezanesljivih meritev, kar delno potrdi tudi zgoraj

ugotovljeno odstopanje izmerkov med dvema laboratorijema. Na istem grafu smo zato dodali za prikaz še korigirane vrednosti izmerkov laboratorija Seibersdorf, kjer lahko nato ugotovimo izboljšano ujemanje ekstrapolacije za leta pred 2000.

Viri H-3 v okolju

V splošnem se je s pojavom atmosferskih poskusov jedrskega orožja in razvojem jedrske energije količina H-3 v okolju sprva sicer dvignila, vendar je zaradi radioaktivnega razpada okrog 90 % aktivnosti, nastale od leta 1945 do poznih 60ih let, že izginila.

Nastajanje z naravnimi procesi.

H-3 sicer v naravi nastaja predvsem v jedrskih reakcijah dušikovih in kisikovih jeder z visoko energijskimi kozmičnimi žarki v zgornjih plasteh atmosfere, kjer skoraj 99 % nastalega H-3 oksidira v tritirano vodo (HTO) in s padavinami preide v površinske vode. Letna naravna produkcija H-3 v atmosferi ob upoštevanju radioaktivnega ravnovesja tako znaša 0,15-0,20 kg oziroma $5,0-7,0 \cdot 10^{16}$ Bq [86]. Zaradi naravnega nastajanja zaradi kozmičnih žarkov je v okolju tako stalno okrog 3,5 kg H-3 oziroma $1,2 \cdot 10^{18}$ Bq.

Umetni viri.

Veliko različnih radionuklidov, vključno s H-3, je bilo izpuščenih v okolje med izvajanjem atmosferskih poskusov jedrskega orožja, ki so bili izvedeni večinoma med letoma 1945 in 1963. Tako je z jedrskimi poskusi v okolju nastalo približno 650 kg H-3 oziroma $2,3 \cdot 10^{20}$ Bq (80% na severni in 20% na južni polobli). Ob upoštevanju radioaktivnega razpada z razpolovnim časom 12,3 let je od teh poskusov v atmosferi leta 2007 prisotnih še 40 kg H-3 oziroma še $1,4 \cdot 10^{19}$ Bq [87, 88].

Med jedrskimi objekti, ki prispevajo k izpustom H-3 v okolje, so tlačnovodni reaktorji in obrati za predelavo jedrskega goriva. Pri reaktorjih hlajenih in moderiranih s težko vodo H-3 nastaja z nevtronsko aktivacijo devterija, kjer tako letno nastane okrog 1,9 g oziroma $6,8 \cdot 10^{14}$ Bq H-3 za reaktor z močjo 900 MWe, prispevek pa je mnogo večji od prispevka izpustov tlačnovodnih reaktorjev, kjer H-3 nastaja z zajetjem nevtronov v B-10, ki je sestavni del primarnega hladila (borova kislina), in sicer letno okrog 0,03 g oziroma $1,1 \cdot 10^{13}$ Bq H-3 za reaktor z močjo 900 MWe ali 0,09 g oziroma $3,2 \cdot 10^{13}$ Bq H-3 za reaktor z močjo 1300 MWe. Zelo majhen del H-3 nastane tudi s cepitvijo nekaterih uranovih in plutonijevih izotopov, ki pa skoraj v celoti ostane v gorivu samem. Trenutna inštalirana moč vseh jedrskih reaktorjev je okrog 384000 MWe [89], od tega znaša delež težkovodnih reaktorjev okrog 5 % [90].

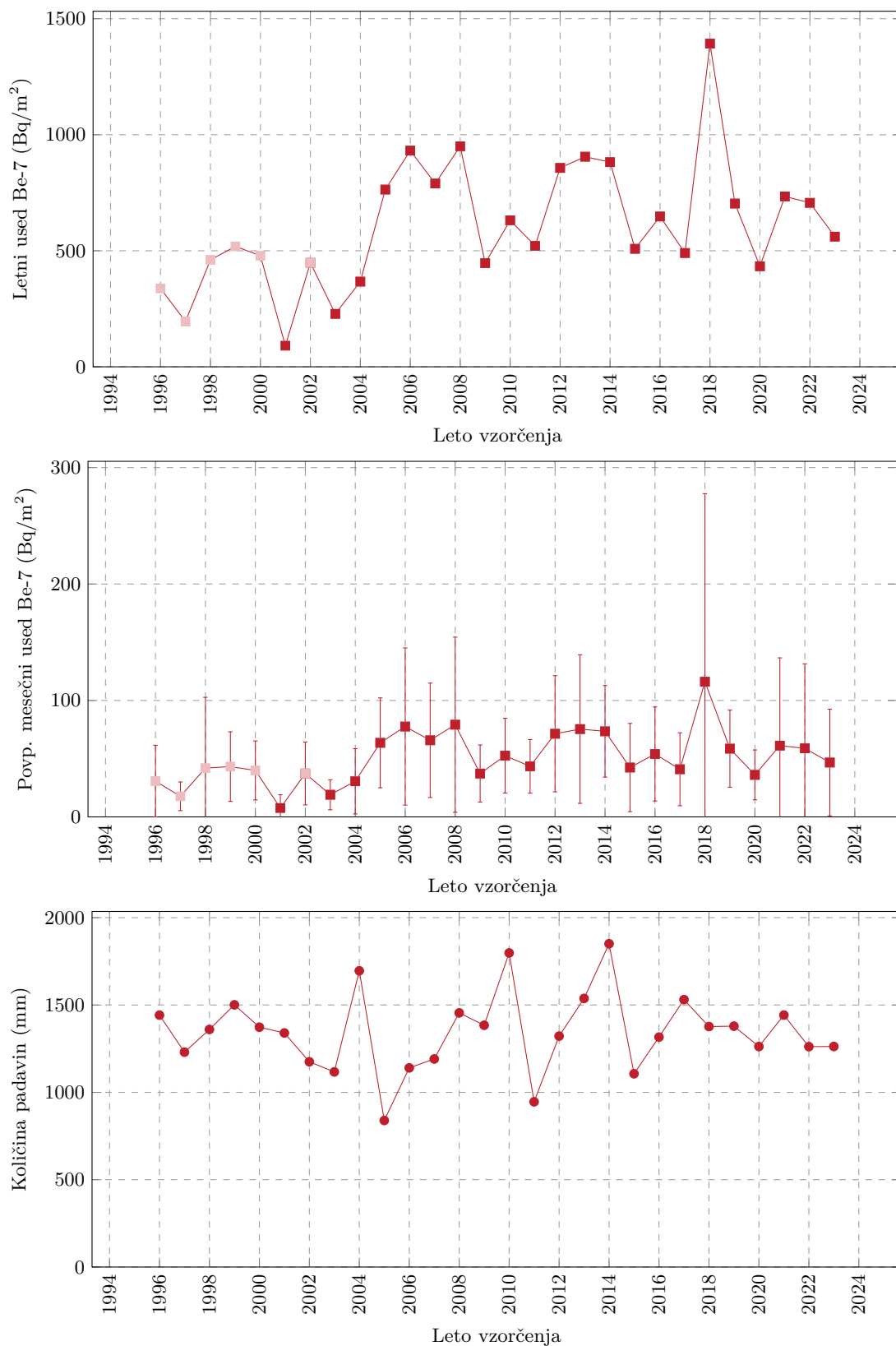
H-3 v obsevanem gorivu se večinoma izloči med predelavo goriva pri rezanju gorivnih palic, v okolje pa prehaja v obliki tritirane vode med tekočimi izpusti. V obratu La Hague (FR) izpustijo letno približno 30 g oziroma 10^{16} Bq H-3 za vsakih 1600 ton jedrskega materiala, v obratu Sellafield (VB) pa letno približno 8 g oziroma $2,8 \cdot 10^{15}$ Bq H-3 [86].

3.2.4 Specifična aktivnost kozmogenega Be-7

Na sliki 3.33 so predstavljene dolgoročne meritve vsebnosti kozmogenega Be-7 v padavinah iz Ljubljane (od leta 2000 dalje). Posebej podajamo skupni letni used (Bq/m²) in povprečni mesečni used (Bq/m²) ter za orientacijo še količino padavin.

Posebej so v grafih označene starejše vrednosti v letih do 2000 in v letu 2002, kjer so koncentracije useda Be-7 izračunane na podlagi koncentracije aktivnosti zbranega vzorca padavin na enoto mase. V obdobju enomesečnega zbiranja padavin lahko del vzorca tudi izpari, kar pomeni, da so vrednosti navedene v grafih lahko celo za faktor 1-2 previsoke.

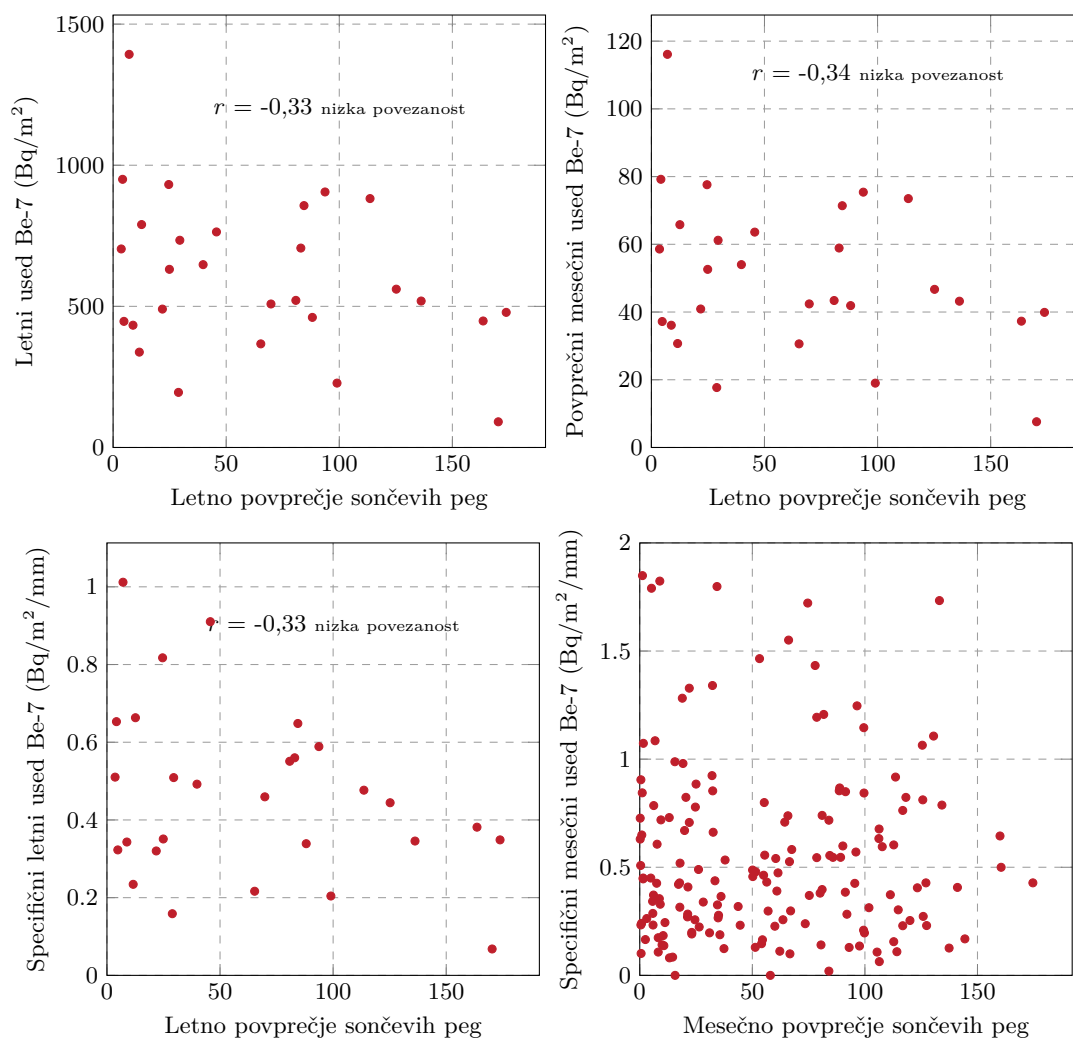
V letih okrog 2007 in v letu 2018 so opazne višje koncentracije Be-7 glede na prejšnja



Slika 3.33 | Specifične aktivnosti Be-7 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1996 dalje.

leta, in sicer približno za polovico. Podobno kot za vzorce zraka, lahko takšno povečanje pojasnimo s sončevim ciklusom, ki je podrobno opisan že v podpoglavju 3.1.2.

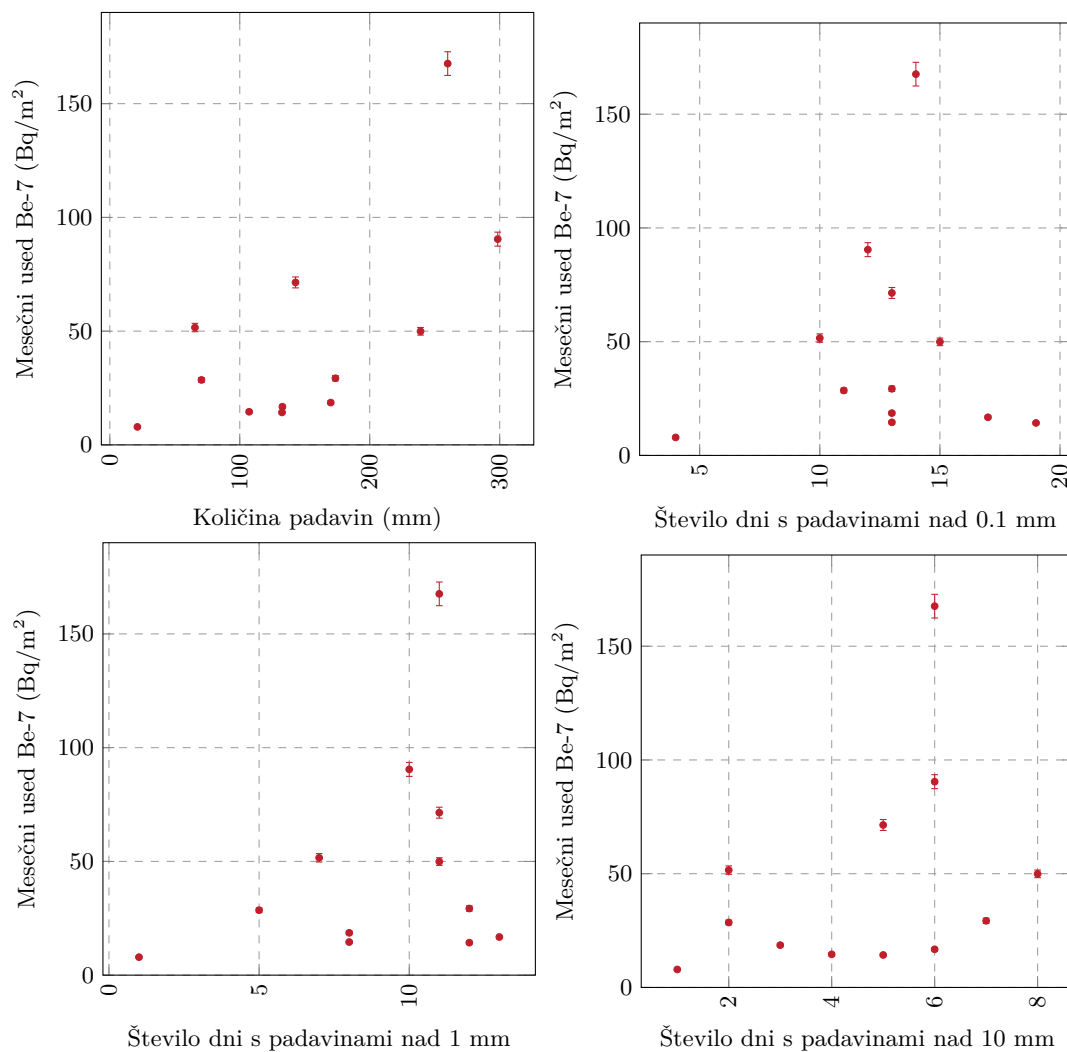
Odvisnost useda Be-7 v padavinah od sončeve aktivnosti je vidna na sliki 3.34, kjer je zgoraj prikazana medsebojna odvisnost letnega oziroma povprečnega mesečnega useda od števila sončevih peg. Used je jasno neposredno odvisen od količine padavin, ki izpirajo Be-7 iz zraka, zato je smiselno takšno izpiranje upoštevati. Tako lahko določimo nekakšen specifični letni oziroma mesečni used (letni oziroma mesečni used Be-7 preračunan na letno oziroma mesečno količino padavin), ki je prikazan na sliki 3.34 spodaj. Antikorelacija teh specifičnih usedov je delno vidna le na letnem nivoju, ni pa tako izrazita kot pri zraku (slika 3.24). Razliko lahko pojasnimo s samo dinamiko izpiranja, saj v primeru obilnih padavin, lahko kmalu pride do popolnega izpiranja Be-7 iz zraka, preračun specifičnega useda pa zaradi velike količine padavin da zelo nizko vrednost, delno pa lahko prispeva tudi zgoraj omenjena izguba vzorca zaradi izparevanja.



Slika 3.34 | Korelacija skupnega letnega useda, povprečnega mesečnega useda in specifičnega letnega ter specifičnega mesečnega useda Be-7 s sončevim ciklom od leta 1996 dalje.

Pri mesečnem usedu pa ni pomembna samo količina padavin, ampak tudi način izpiranja, npr. kratke močne plohe ali dolgotrajne minimalne padavine. Smiselno je torej poleg količine padavin upoštevati še število dni z zadostnimi padavinami, saj pri dnevnih

padavinah < 1 mm izpiranje ni nujno dovolj učinkovito. Zato so na sliki 3.35 prikazane korelacije tudi s takšnimi podatki – število dni s padavinami nad določeno količino.



Slika 3.35 | Korelacija izmerjenega mesečnega useda Be-7 v padavinah v Ljubljani in količino padavin oziroma številom deževnih dni (za leto 2023).

3.3 Tekoče vode

3.3.1 Vzorčenje in rezultati meritev

Meritve tekočih vod so bile opravljene na istih lokacijah kot v prejšnjih letih, in sicer v dveh enkratnih vzorcih rek Save v Ljubljani in Brežicah, Drave pri Dravogradu in Mariboru (slednja lokacija je bila dodana v letu 2022), 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 koncentracije aktivnosti H-3 ter Sr-90.

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabelah od 8.12 do 8.15.

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, in sicer izpusti iz Onkološkega instituta in Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana v Savo, bolnice v Celovcu¹⁰ v Dravo in bolnice v Gradcu¹¹ v Muro. Višje izmerjene koncentracije Cs-137 in Sr-90 so pričakovane v Muri (delno v Dravi), ki s sabo nosi izpran material iz avstrijskega dela Alp, kjer je bilo po nesreči v Černobilu tudi največ radioaktivnega useda teh dveh radionuklidov in je tam prisoten še danes, kot je prikazano na sliki 3.37 [91]. V Savi, Savinji, Muri in Dravi je bil v letu 2022 opažen tudi umetni radionuklid Lu-177, ki se v zadnjem času uporablja bodisi za zdravljenje tumorjev bodisi za diagnostiko. V letu 2023 Lu-177 ni bil zaznan v vzorcih.

Določali smo tudi koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov uranove in torijeve vrste ter K-40 in Be-7. Najvišje izmerjene koncentracije in povprečne vrednosti so predstavljene v spodnji tabeli 3.3.

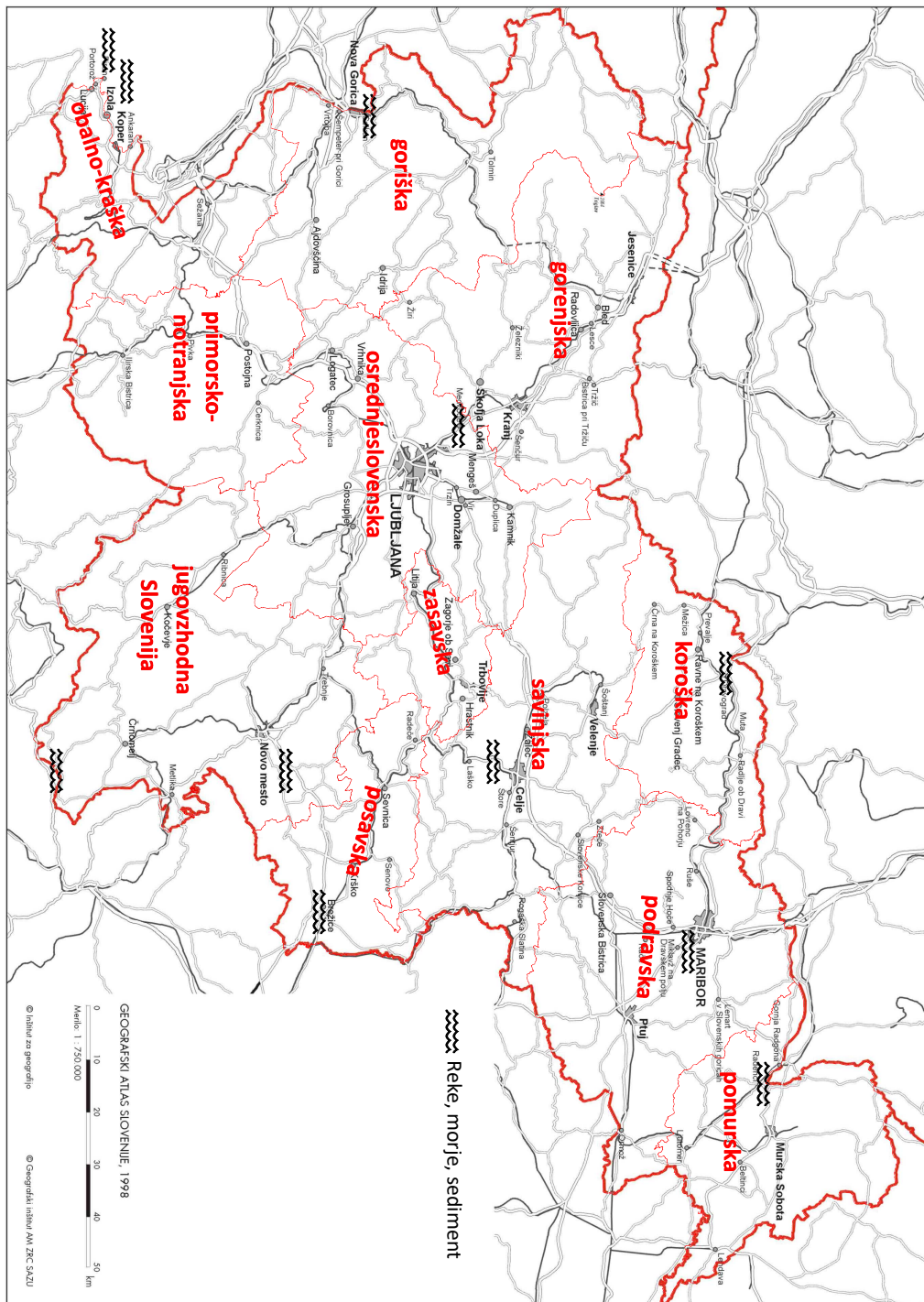
Tabela 3.3 | Najvišje izmerjene, $A_{\max}$, in povprečne koncentracije, $\bar{A}$, radionuklidov v vzorcih tekočih vod

Radionuklid	$A_{\max}$ (Bq/m ³)	Lokacija	$\bar{A}$ (Bq/m ³)
Cs-137	1,3	Mura	$0,29 \pm 0,05$
Sr-90	2,3	Sava - Ljubljana	$1,5 \pm 0,1$
I-131	5,5	Sava - Brežice	$0,8 \pm 0,2$
Lu-177	—	—	—
H-3	809	Mura	637 ± 41
Pb-210	8,1	Krka	$3,6 \pm 1,69$
K-40	271	Savinja	49 ± 2
Be-7	11	Soča	$3,9 \pm 0,7$

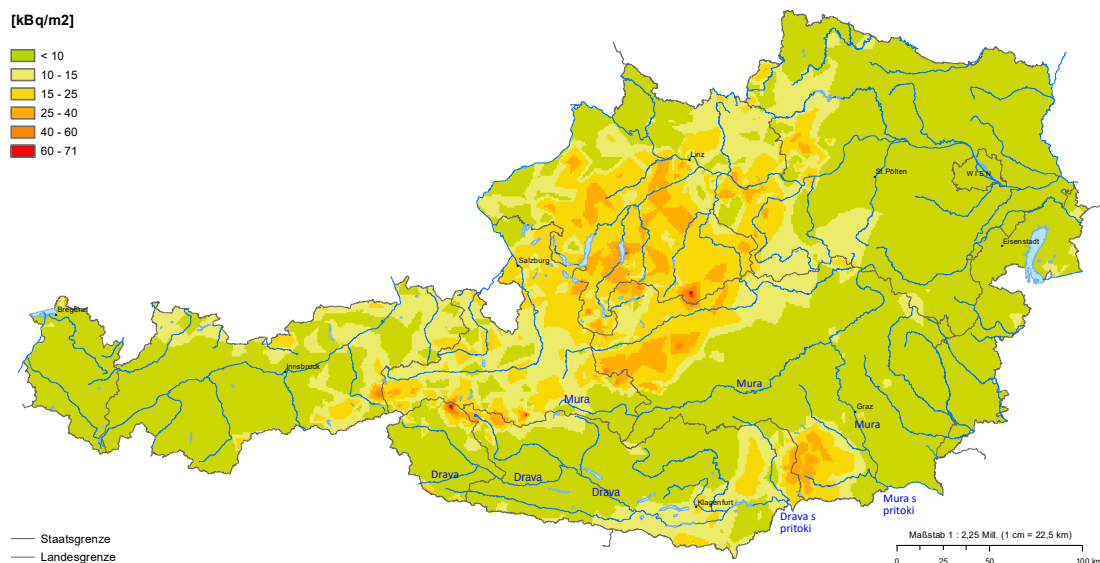
Iz tabele meritev 8.14 vidimo, da je koncentracija K-40 v Savinji pri Celju in v Muri pri Petanjcih za približno en velikostni red višja kot na drugih mestih. V letu 2020 je bila izvedena posebna študija na poljedelsko intenzivnih območjih Slovenije, kjer so bile poleg rečnih hkrati izmerjene koncentracije K-40 in ostalih radionuklidov v obdelovalni zemlji ter poljščinah. Izsledki študije so predstavljeni v podpoglavju 3.3.3. Zanesljivih zaključkov povečanja koncentracij zaradi gnojenja gnojili bogatimi z K-40 ne moremo ugotoviti, povišanje koncentracij v Savinji pa je najverjetneje posledica mešanja vode v čistilni napravi pri Celju. Zajem vzorčenja v letu 2023 še ni bil izveden protitočno od čistilne naprave.

¹⁰Klinikum Klagenfurt am Wörthersee

¹¹Steiermärkische Krankenanstalten-GmbH, LKH-Univ. Klinikum Graz



Slika 3.36 | Lokacije vzorčenja tekočih vod.



Slika 3.37 | Karta preostale specifične aktivnosti Cs-137 v tleh v Avstriji (leto 2021).

3.3.2 Dolgoročni trendi

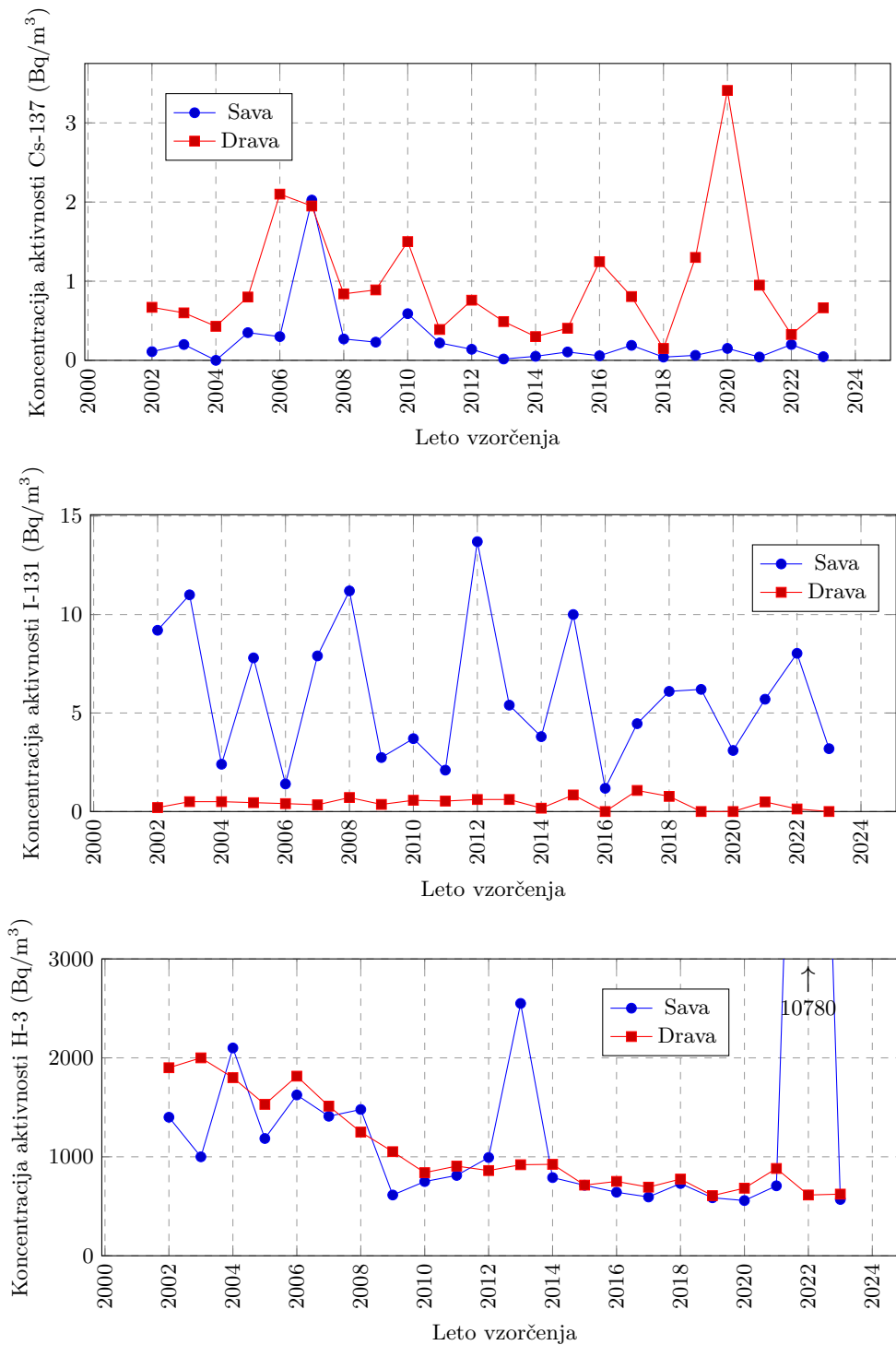
Na sliki 3.38 so prikazane povprečne vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v rekah Savi (povprečje lokacije pri Ljubljani in Brežicah) in Dravi v Dravogradu za obdobje od leta 2002 dalje. V letu 2007 opazimo navidezno višjo vrednost koncentracij Cs-137 v reki Savi, vendar lahko ugotovimo, da je bila koncentracija pod mejo detekcije, ki je bila v tem primeru višja za to specifično meritev. Enako velja tudi za koncentracije Cs-137 v reki Dravi v letih 2006 in 2007. V okviru dolgoročnih meritev opazimo lahko tudi, da je I-131 prisoten v Savi (Ljubljana in Brežice), Savinji in Dravi, kar je najbrž posledica izpustov I-131 iz Univerzitetnega kliničnega centra in Onkološkega instituta v Ljubljani, Splošne bolnišnice v Celju in iz avstrijskih bolnic gorvodno od Dravograda, 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 podati.

3.3.3 Študija K-40 na poljedeljsko intenzivnih območjih

V letu 2020 (julij–avgust) je bila izvedena posebna študija koncentracij radionuklida K-40 in drugih zaznanih gama sevalcev na poljedelskih območjih Slovenije [36], s katero bi lahko pojasnili zgoraj omenjene anomalije koncentracij aktivnosti K-40 v Savinji in Muri. Lokacije vzorčenja so bile v grobem izbrane na poljedeljsko intenzivnih območjih v bližini 11 rek v Sloveniji na 12 lokacijah in so prikazane na sliki 3.39.

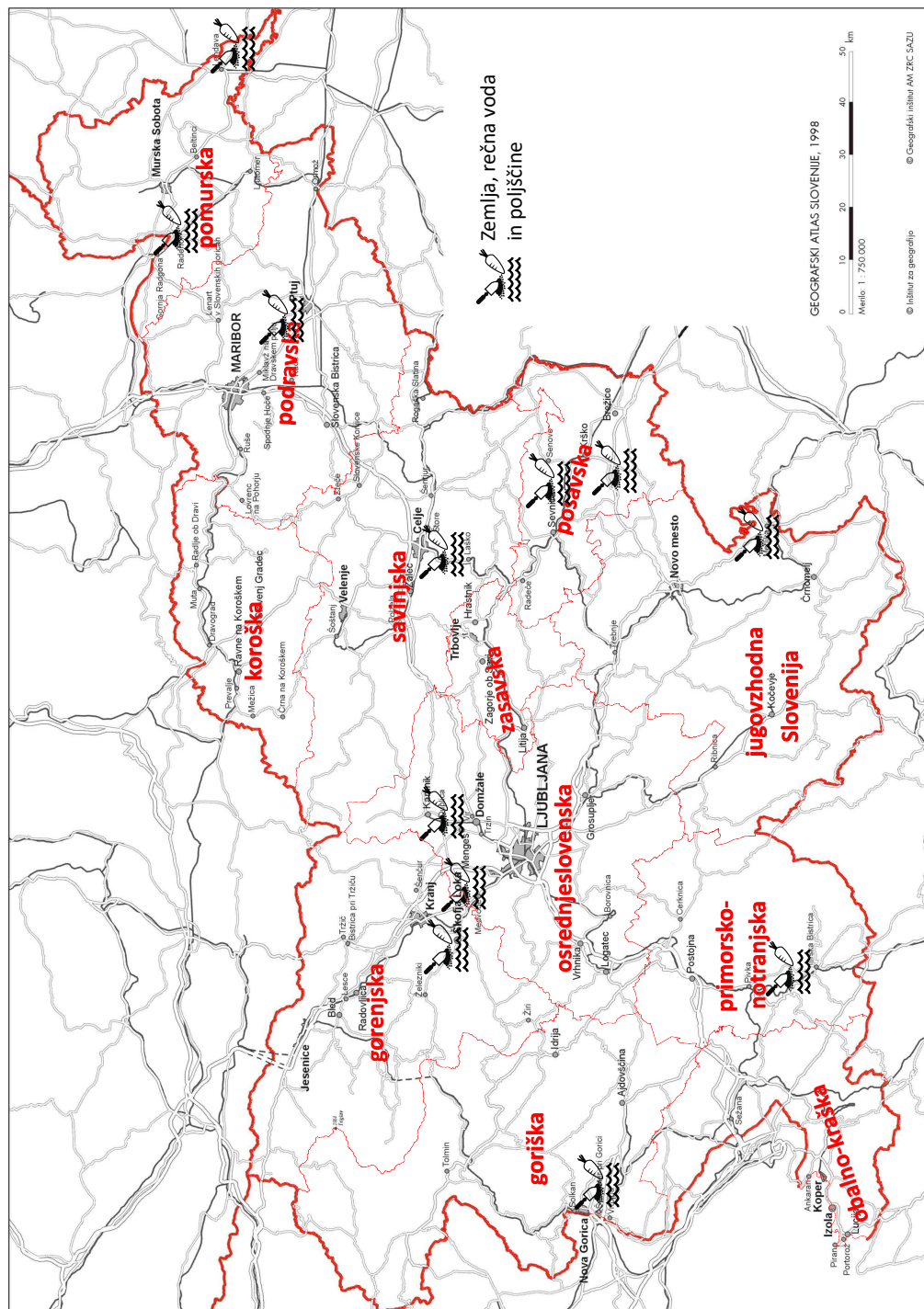
Meritve so obsegale nadzor radioaktivnosti 12 vzorcev obdelane zemlje (do globine 15 cm), 12 vzorcev tekočih vod (rek) in 12 vzorcev sezonskih poljščin na naslednjih lokacijah:

- Ledava pri Lendavi
- Mura pri Murski Soboti
- Drava na Ptuj
- Savinja pri Celju
- Sava (2 lokaciji) na Zbilju in pri Blanci
- Krka pri Kostanjevici na Krki



Slika 3.38 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi (povprečje lokacij Ljubljana in Brežice) in Dravi (lokacija Dravograd) od leta 2002 dalje.

- Kolpa pri Metliki
- Kamniška Bistrica pri Mengšu
- Sora pri Škofji Loki
- Reka pri Ilirski Bistrici



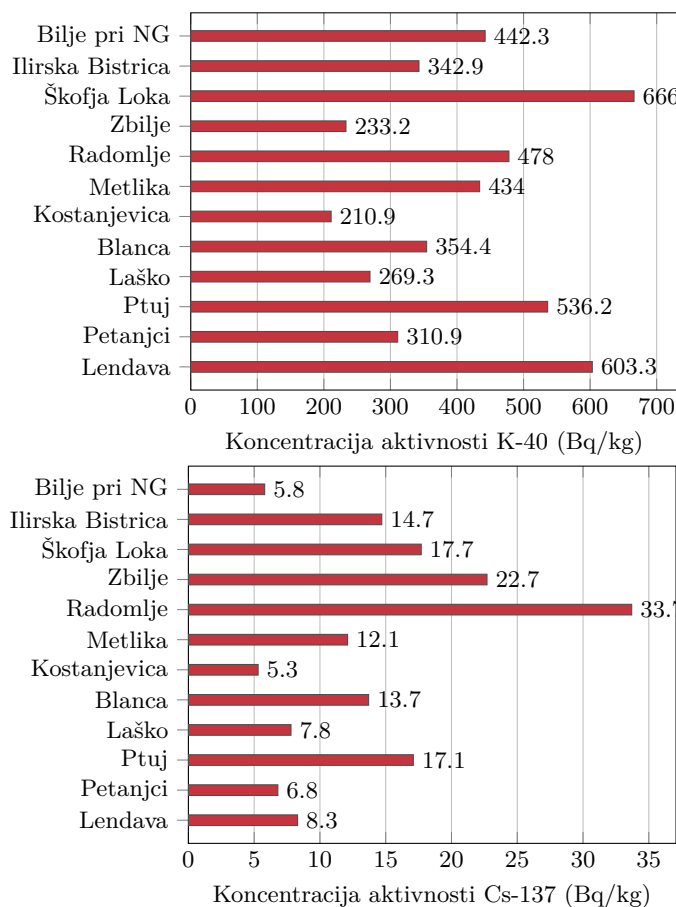
Slika 3.39 | Lokacije vzorčenja rečne vode, zemlje in poljščin na poljedelsko intenzivnih področjih Slovenije.

- Vipava pri Bilju pri Novi Gorici

Rezultati meritev so podani v tabelah 8.18, 8.19 in 8.20 na straneh od 153 do 155 v poglavju 8. Na slikah 3.40, 3.41 in 3.42 so grafično prikazani rezultati meritev izotopa K-40 in Cs-137 v zemlji, rečni vodi in poljščinah.

Obdelana zemlja

V vzorcih obdelane zemlje je največ K-40 izmerjenega v Škofji Loki, Lendavi in na Ptuj. Žal ne razpolagamo s podatki o intenzivnosti gnojenja z umetnimi gnojili, ki lahko vsebujejo večje koncentracije K-40. Vse izmerjene koncentracije K-40 v vzorcih so v obsegu 200-700 Bq/kg, večjih anomalij ni opaziti. V okviru Monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji so rezultati meritev K-40 v vzorcih sicer neobdelane zemlje v primerljivem obsegu vrednosti.



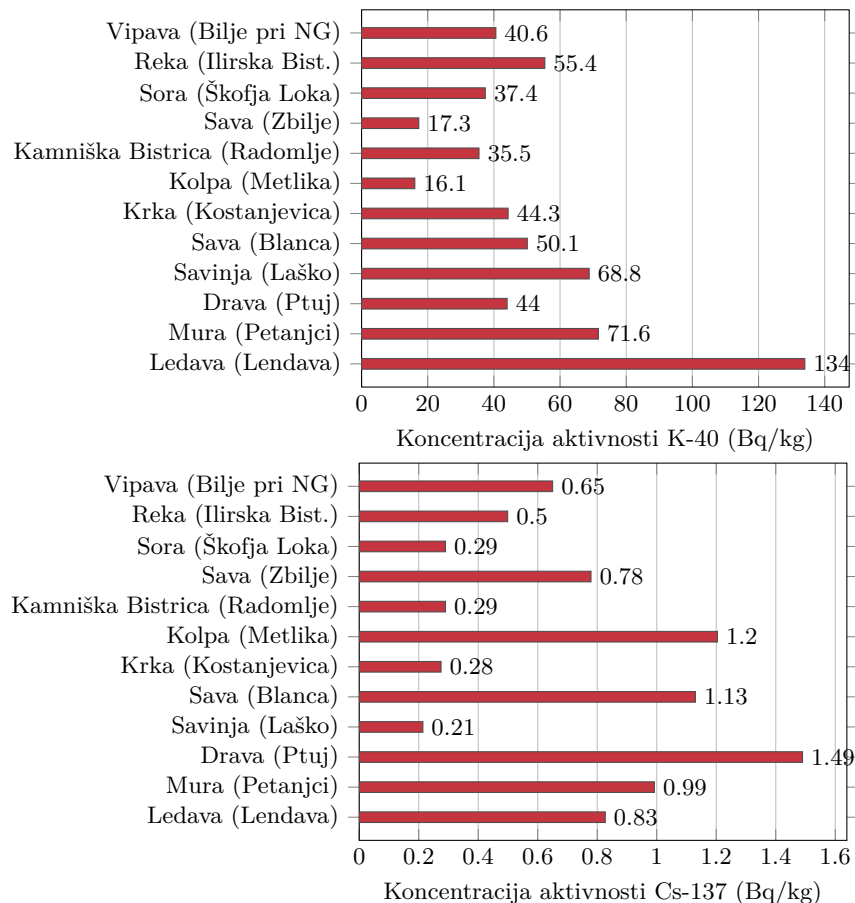
Slika 3.40 | Koncentracije K-40 in Cs-137 v obdelani zemlji na poljedeljsko intenzivnih območjih

V vzorcih zemlje so bili izmerjeni tudi radionuklidi uranove oziroma torijeve razpadne verige (U-238 in Ra-226 oziroma Ra-228 in Th-228). Vse izmerjene koncentracije uranove in torijeve verige v vzorcih so v obsegu 20-60 Bq/kg, večjih anomalij ni opaziti. Poleg naravnih radionuklidov je bil v vzorcih zemlje izmerjen tudi umetni Cs-137, ki je posledica kontaminacije življenjskega okolja zaradi jedrske nesreče v Černobilu leta 1986. Vse izmerjene koncentracije Cs-137 v vzorcih so v obsegu 5-35 Bq/kg, večjih anomalij ni opaziti. Najvišje koncentracije Cs-137 v zemlji so bile izmerjene v Radomljah, na Zbilju in v Škofji Loki. Meritve odražajo porazdelitev kontaminacije zaradi radioaktivnega useda po nesreči, kjer je bil ta največji v severozahodnem alpskem delu Slovenije. Tri največje

izmerjene koncentracije so ravno v vzorcih s t.i. predalpskega območja. Primerjava z meritvami koncentracij v okviru Monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji ni smiselna, saj pri obdelani zemlji pride do mešanja plasti, pri neobdelani zemlji pa lahko ugotovimo značilen globinski profil, kjer koncentracije bistveno variirajo z globino.

Rečna voda

V vzorcih rečne vode je največ K-40 izmerjenega v Ledavi pri Lendavi, Muri pri Petanjcih in Savinji nad Laškim. Vse izmerjene koncentracije K-40 v vzorcih so v obsegu 20-140 Bq/m³, večjih anomalij ni opaziti, izstopa edino Ledava s približno dvakrat višjo koncentracijo kot v ostalih rekah. V okviru Monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji so rezultati meritev K-40 v vzorcih rečne vode v obsegu do okrog 100 Bq/m³, z izjemo sicer stalne anomalije koncentracije K-40 v Savinji. Po podrobnejši analizi lokacij vzorčenja v okviru monitoringa (pod čistilno napravo v Celju) in pričujoče študije (nad Laškim, več kilometrov dolvodno) lahko zaključimo, da je bistveno višja koncentracija v okviru monitoringa (npr. 470 oziroma 320 Bq/m³ v letu 2020 oziroma 2019) najverjetneje posledica koncentriranih izpustov iz čistilne naprave.



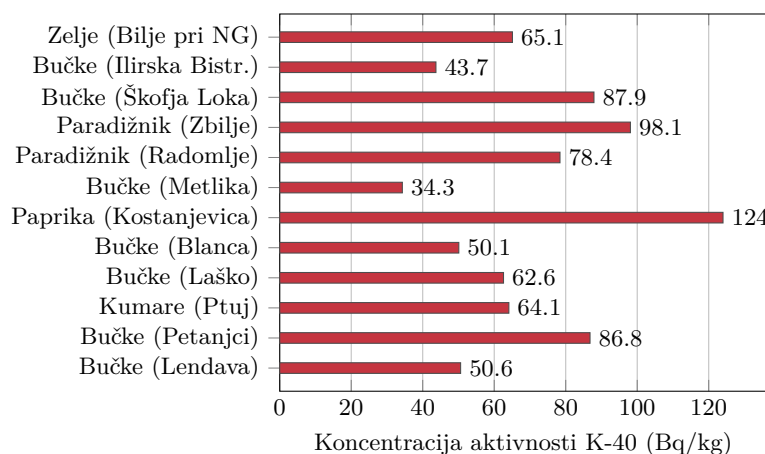
Slika 3.41 | Koncentracije K-40 in Cs-137 v nefiltrirani rečni vodi na različnih lokacijah intenzivnega poljedelstva

Koncentracije radionuklidov uranove in torijeve razpadne verige so merljive, vendar so zelo blizu detekcijske meje, podobno velja za umetni izotop Cs-137. Koncentracije kozmogenega Be-7 sicer močno variirajo v obsegu 7,5-130 Bq/m³, vendar so močno odvisne od vzorčenja, predvsem nanje vpliva intenziteta padavin in pretekli čas od deževja

pred vzorčenjem. Zato kakršen koli dodaten komentar ni smiseln. Med anomalijami lahko edino izpostavimo dva izmerka I-131, v Savi (Blanca) in Savinji (pod Celjem), ki sta posledica odplak pacientov z radioterapije ščitnice v UKC Ljubljana in SB Celje.

Poljščine

V vzorcih poljščin smo konsistentno lahko izmerili le K-40, koncentracije naravnih radionuklidov uranove in torijeve verige ter umetnega Cs-137 so le malo nad ali pod detekcijsko mejo, zato jih posebej ne analiziramo. Največ K-40 je izmerjenega v papriki iz Kostanjevice pri Krki, paradižniku iz Zbilj in bučkah iz Škofje Loke. Vse izmerjene koncentracije K-40 v vzorcih so v obsegu 40-130 Bq/kg, večjih anomalij ni opaziti. V okviru Monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji so rezultati meritev K-40 v vzorcih zelenjave v obsegu 50-140 Bq/kg (za leto 2020).



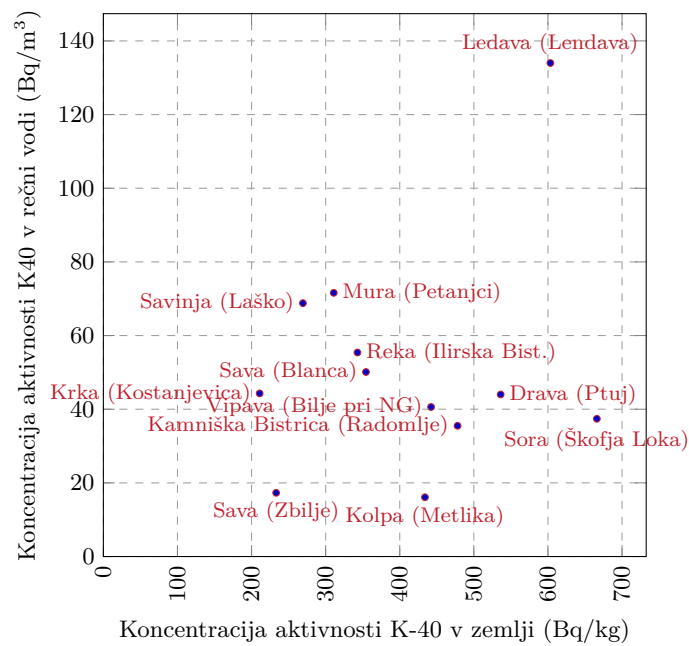
Slika 3.42 | Koncentracije K-40 v poljščinah na različnih lokacijah intenzivnega poljedelstva

Vzorčili smo različne vrste poljščin, zato jih je zaradi morebitnih različnih prenosnih lastnosti K-40 iz zemlje težko primerjati med sabo.

Morebitne korelacije koncentracij

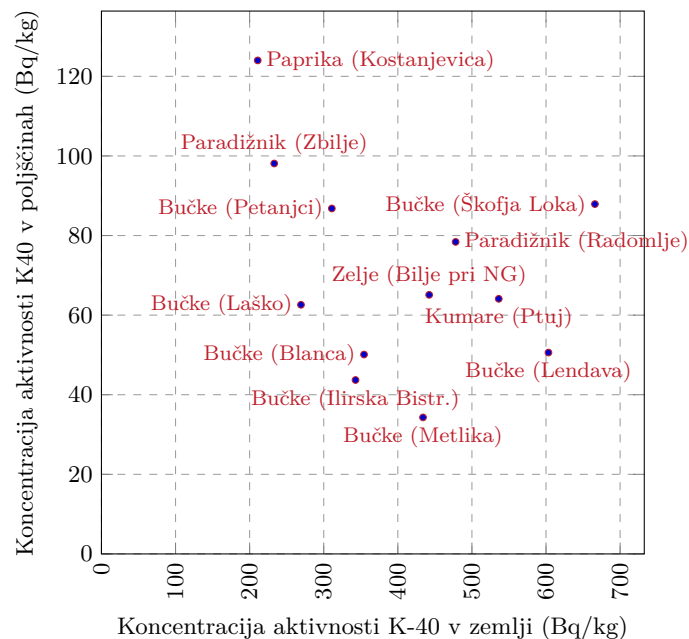
Na podlagi meritev koncentracij sevalcev gama v obdelani zemlji, rečni vodi in poljščinah smo analizirali morebitne medsebojne odvisnosti. Praktično nemogoče je oceniti, ali je višja koncentracija K-40 v zemlji posledica gnojenja z umetnimi gnojili ali geoloških lastnosti tal. Na sliki 3.43 je izrisana korelacija med koncentracijami K-40 v obdelani zemlji in K-40 v rečni vodi, ki bi bila posledica izpiranja iz okoliške obdelovalne zemlje. Načeloma lahko opazimo rahlo korelacijo, vendar je za takšno trditev premalo meritev v različnih pogojih. V grobem lahko opazimo, da višje koncentracije K-40 v zemlji načeloma povzročajo rahlo višje koncentracije K-40 v rečni vodi, najbolj je to sicer izrazito v Ledavi pri Lendavi. Najverjetneje je tudi način in intenzivnost izpiranja posledica lastnosti tal, za kar v okviru te študije nimamo dovolj podatkov.

Na sliki 3.44 je izrisana korelacija med koncentracijami K-40 v obdelani zemlji in K-40 v poljščinah, ki bi bila posledica fiziologije oziroma metabolizma rastlin (procesi prenosa iz okoliške obdelovalne zemlje v plodove). Tudi tu je kakršna koli trditev neutemeljena zaradi premajhnega števila podatkov in različnih vrst rastlin z morebitnimi različnimi prenosnimi mehanizmi. Na sliki sicer lahko interpretiramo grafični prikaz rezultatov kot rahlo antikorelacijo, torej da bi rastline na zemlji z več gnojila lahko bolje uspevale in posledično povzročile »osiromašenje« K-40 v preostali zemlji. Vendar je za takšno trditev preveč faktorjev, ki vplivajo na koncentracije, poleg vrste poljščin in uporabe umetnih



Slika 3.43 | Analiza korelacije izotopa K-40 v obdelani zemlji in nefiltrirani rečni vodi.

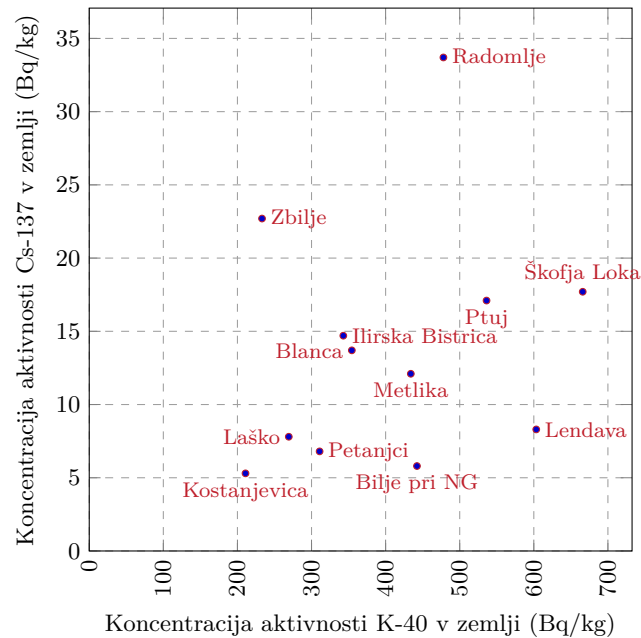
gnojil s kalijem, najverjetneje tudi intenzivnost pridelovanja, količina namakanja ipd.



Slika 3.44 | Analiza korelacije izotopa K-40 v zemlji in poljščinah.

Na sliki 3.45 je izrisana korelacija med koncentracijami K-40 in Cs-137 v obdelani zemlji. V nekateri literaturi poročajo [92], da so pri nadzorovanih eksperimentih ugotovili "dekontaminacijo" s Cs-137 kontaminiranih površin pri uporabi gnojil z višjo vsebnostjo kalija. V okviru raznih raziskav po jedrski nesreči v Fukušimi so prišli do ugotovitev,

da je možna uspešnejša dekontaminacija tal z uporabo gnojil, kjer zaradi boljše rasti specifičnih rastlin (trava perjanka) in posledično večje biomase le-ta fiziološko učinkoviteje veže nase radioaktivni Cs-137 ter na ta način zmanjšuje koncentracije Cs-137 v tleh. Na sliki 3.45 pa takšna morebitna antikorelacija ni vidna, saj so poljščine lahko takšne vrste, da prenos Cs-137 iz zemlje v plodove ni pretirano učinkovit ali izrazit.



Slika 3.45 | Analiza korelacije izotopa K-40 in Cs-137 v zemlji.

Zemlja

Vzorčenje in rezultati meritev

Dolgoročni trendi

TL dozimetri zunanega sevanja

Lokacije meritev

Rezultati meritev

Dolgoročni trend doz

4 — Monitoring zemlje in zunanjega sevanja

4.1 Zemlja

4.1.1 Vzorčenje in rezultati meritev

Zemljo smo v letu 2023 vzorčili v spomladanskem in jesenskem obdobju na petih globinah 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, in sicer na lokacijah Ljubljana (IJS), Kobarid in Murska Sobota (obe ZVD), ki so prikazane na sliki 4.1¹.

Rezultati meritev koncentracij aktivnosti radionuklidov v vzorcih zemlje so prikazani v poglavju 8 v tabelah od 8.22 do 8.24 ter na slikah 4.2, 4.3 in 4.4.

Koncentracije aktivnosti v vseh petih plasteh so v poglavju 8 prikazane v enotah Bq/kg posušene presejane zemlje in tudi preračunane na enoto površine v Bq/m². Pri tem so ponekod preračunane tudi vrednosti za naravne radionuklide, za katere pa vemo, da ne predstavljajo površinske kontaminacije.

Ljubljana.

V vzorcih zemlje iz Ljubljane je bilo povprečje koncentracije aktivnosti v vseh petih plasteh $9,1 \pm 0,8$ Bq/kg za Cs-137 in $0,7 \pm 0,2$ Bq/kg za Sr-90, po plasteh pa je vsebnost Cs-137 v globljih plasteh nižja, vsebnost Sr-90 pa z globino narašča in nato spet pada.

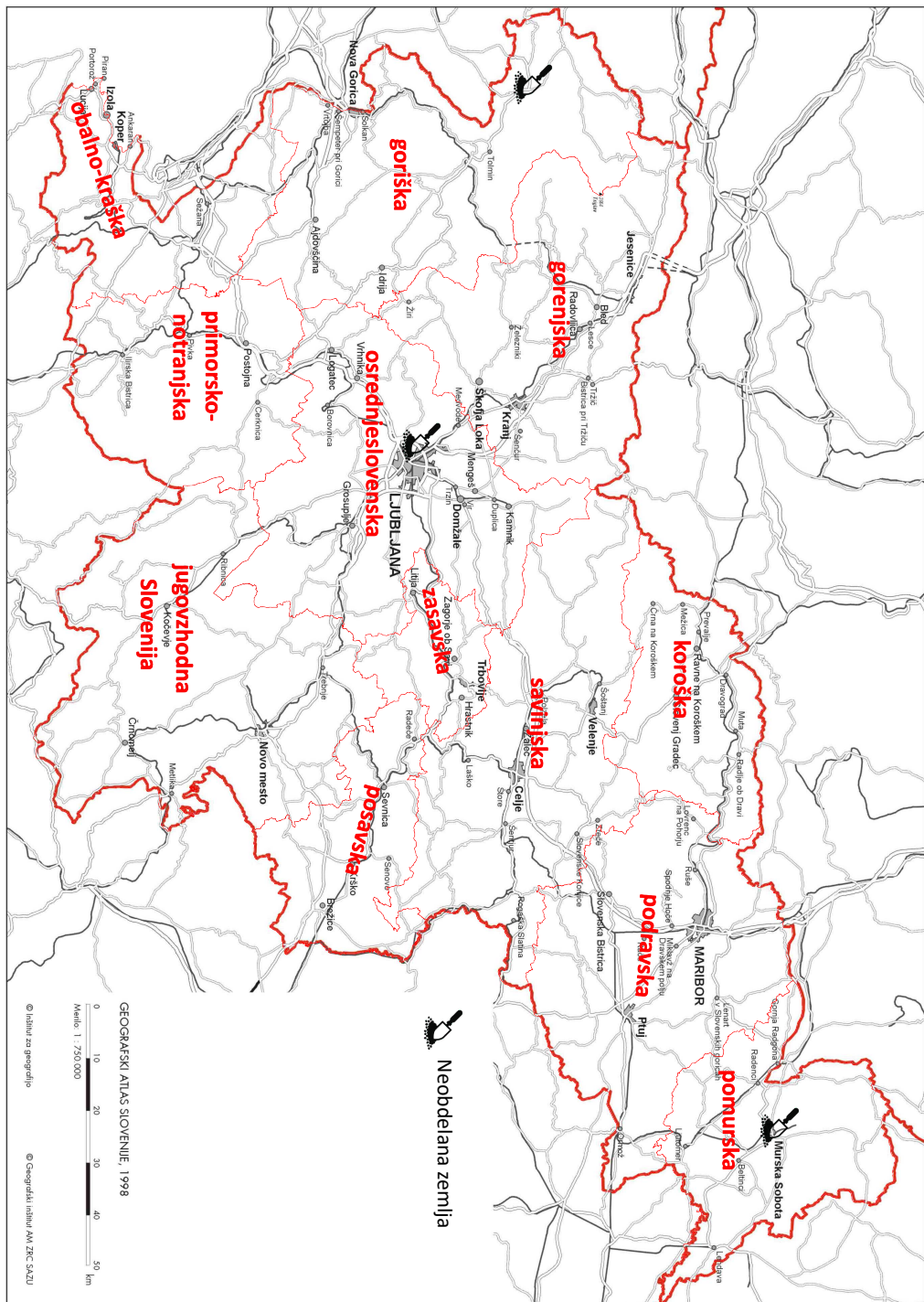
Kobarid.

V vzorcih zemlje iz Kobarida je bilo povprečje koncentracije aktivnosti 47 ± 13 Bq/kg za Cs-137 in $1,4 \pm 0,4$ Bq/kg za Sr-90, po plasteh pa je vsebnost Cs-137 in Sr-90 v globljih plasteh nižja. V vzorcih iz globljih plasti so aktivnosti Sr-90 že zelo blizu ali celo pod mejo detekcije.

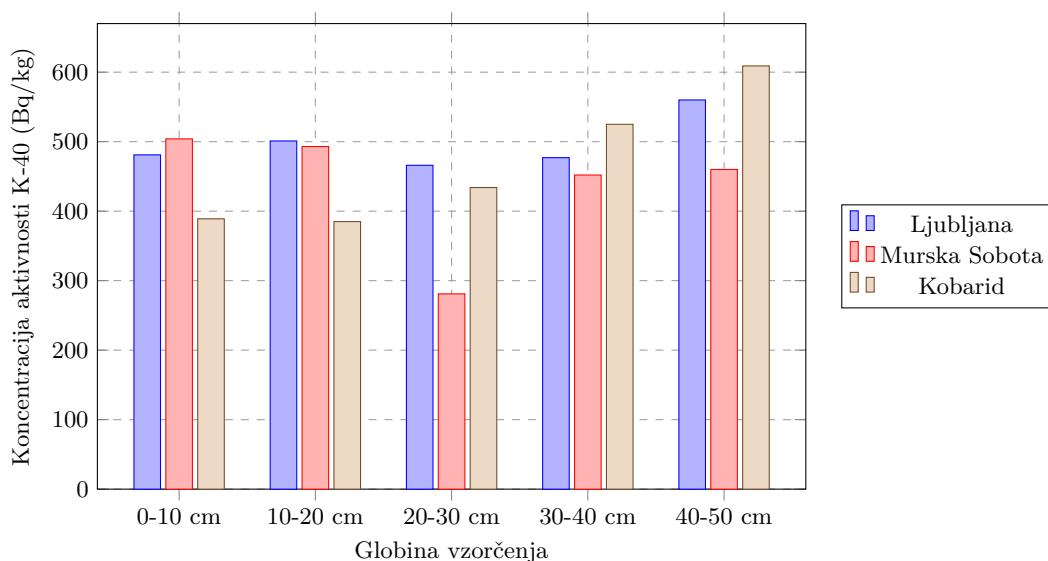
Murska Sobota.

V vzorcih zemlje iz Murske Sobote je bilo povprečje koncentracije aktivnosti $9,9 \pm 3,2$ Bq/kg za Cs-137 in $1,9 \pm 0,6$ Bq/kg za Sr-90, pri čemer je večina meritev pod mejo detekcije, po plasteh pa je vsebnost Cs-137 in Sr-90 v globljih plasteh nižja.

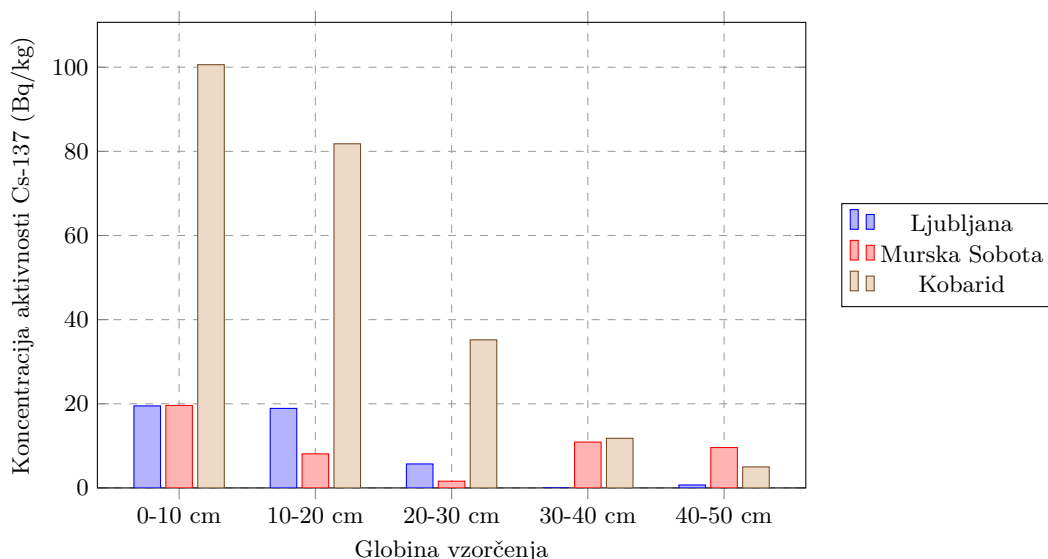
¹Do leta 2017 smo vzorčili na teh istih lokacijah ampak na drugačnih globinah, in sicer 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, leta 2018 pa na globinah 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, od leta 2019 dalje pa še na globinah 30-40 cm in 40-50 cm. Od leta 2009 dalje IJS vzorči zemljo v Ljubljani na lokaciji Ceste dveh cesarjev, prejšnja leta pa je na tej lokaciji vzorčil ZVD (v letu 2008 in 2006 je vzorčenje potekalo na lokaciji IJS Podgorica).



Slika 4.1 | Lokacije vzorčenja vzorcev zemlje.



Slika 4.2 | Povprečna letna koncentracija aktivnosti K-40 v zemlji



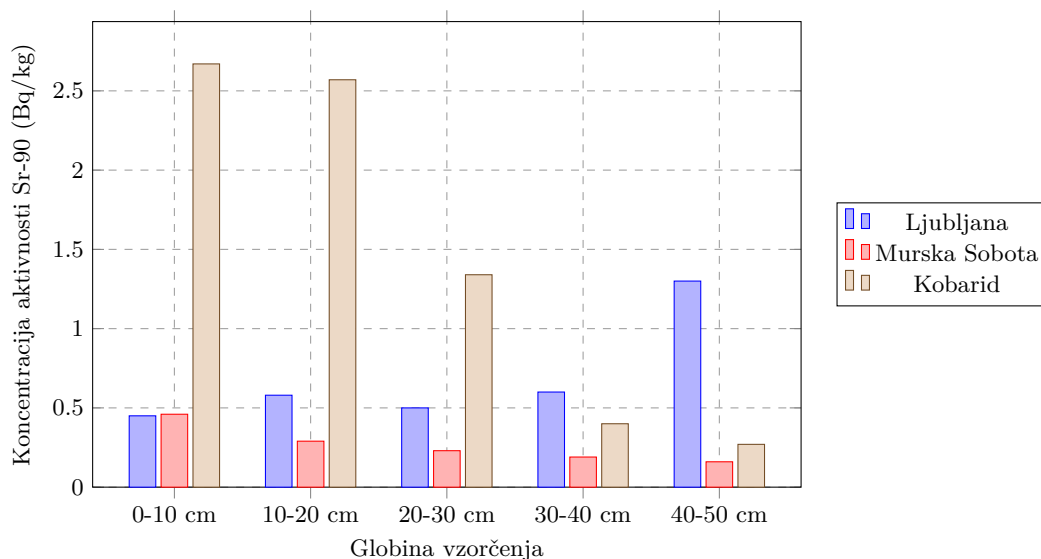
Slika 4.3 | Povprečna letna koncentracija aktivnosti Cs-137 v zemlji

Vpliv značilnosti mikrolokacij.

Zaradi značilnosti terena, kotanjavosti, nagnjenosti, difuzijskih lastnosti zemlje in lokalnih posebnosti padavin v času črnobilske nesreče, se vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137 ali Sr-90 močno razlikujejo že na lokalni ravni. Že na razdalji nekaj metrov med lokacijama vzorčenja se lahko koncentracije aktivnosti razlikujejo za nekajkrat. Očitno so difuzijski procesi Sr-90 in Cs-137 v različnih tipih zemlje različni, kar potrjujejo tudi različni globinski profili v prejšnjih letih, ki med seboj niso popolnoma konsistentni.

Menjava vzorčevalnih globin.

Z menjavo globin vzorčenja zemlje smo v letu 2018 prešli z 0–5 cm, 5–10 cm in 10–15 cm na 0–10 cm, 10–20 cm in 20–30 cm, v letu 2019 pa sta bili dodani še plasti na globinah



Slika 4.4 | Povprečna letna koncentracija aktivnosti Sr-90 v zemlji

30–40 cm in 40–50 cm. Prejšnja leta smo ugotavljali vedno nižje koncentracije v zgornjih plasteh, kjer je najverjetneje že prišlo do prehajanja radionuklidov v globlje plasti. Z novimi meritvami smo to tudi potrdili. Taki trendi si dobro opazni za Cs-137, treba pa je poudariti, da so na nekaterih mestih koncentracije Sr-90 že zelo nizke in komentarji zaradi izmerkov zelo blizu meje detekcije kmalu ne bodo več smiselni.

4.1.2 Dolgoročni trendi

Na slikah 4.5, 4.6 in 4.7 so do vključno leta 2017 prikazane časovne odvisnosti specifične aktivnosti Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0–5 cm za Ljubljano, Kobarid in Mursko Soboto za obdobje od leta 1986 dalje (za izotop Cs-137 so prikazane vse plasti 0–5 cm, 5–10 cm in 10–15 cm). Poleg povprečnih letnih specifičnih aktivnosti so za primerjavo prikazane tudi vrednosti za naravni radioaktivni razpad omenjenih radionuklidov za isto obdobje za pripovršinsko plast (označene s polno črto), ob privzetih začetnih vrednostih, izmerjenih v aprilu 1986. Koncentracije radionuklidov v zemlji ne sledijo eksponentni funkciji radioaktivnega razpada, saj izotopi dodatno difundirajo v globlje plasti zemlje in so sedaj že tudi globlje od 15 cm, kar smo potrdili z meritvami v letu 2018, ko smo začeli vzorčiti zemljo z globlin 0–10 cm, 10–20 cm in 20–30 cm, in v letu 2019, ko smo dodali še globini 30–40 cm in 40–50 cm. Te meritve na večjih globlinah do 30 cm so na slikah 4.6 in 4.7 posebej označene, a jih je težko kvalitativno primerjati s starejšimi meritvami. Upoštevajoč vrednosti za radioaktivni used (Bq/m^2) je količina vzorca zaradi podvojenih debelin plasti približno dvakrat večja, pri večjih globlinah je globinski profil drugačen ipd.

Iz slik 4.5, 4.6 in 4.7 je razviden trend padanja specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 zaradi migracije v druge plasti in radioaktivnega razpada. Pri izotopu Cs-134 zaradi krajšega razpolovnega časa, procesov migracije ni opaziti, saj je npr. v Murski Soboti tako rekoč ostal le v prvi plasti in tam razpadel (pod mejo detekcije). Za zemljo v Murski Soboti podobno velja tudi za Sr-90, saj specifična aktivnost sledi zmanjševanju zaradi naravnega radioaktivnega razpada. Na slikah od 4.5 do 4.7, kjer posebej analiziramo obnašanje Cs-137, lahko iz primerjave njegove aktivnosti v različnih plasteh pri meritvah do leta 2017 ugotovimo, da počasi aktivnosti v globljih plasteh postajajo višje od

aktivnosti v pripovršinski plasti (v Ljubljani in Kobaridu že od približno leta 2000 dalje, v Murski Soboti pa šele ob okvirno leta 2006). To potrjuje zgoraj omenjeno hipotezo, da so mehanizmi difundiranja v spodnje plasti zelo različni od vrste zemlje. V letu 2023 vzorčimo v globljih plasteh in meritve potrjujejo prehajanje radionuklidov v te plasti.

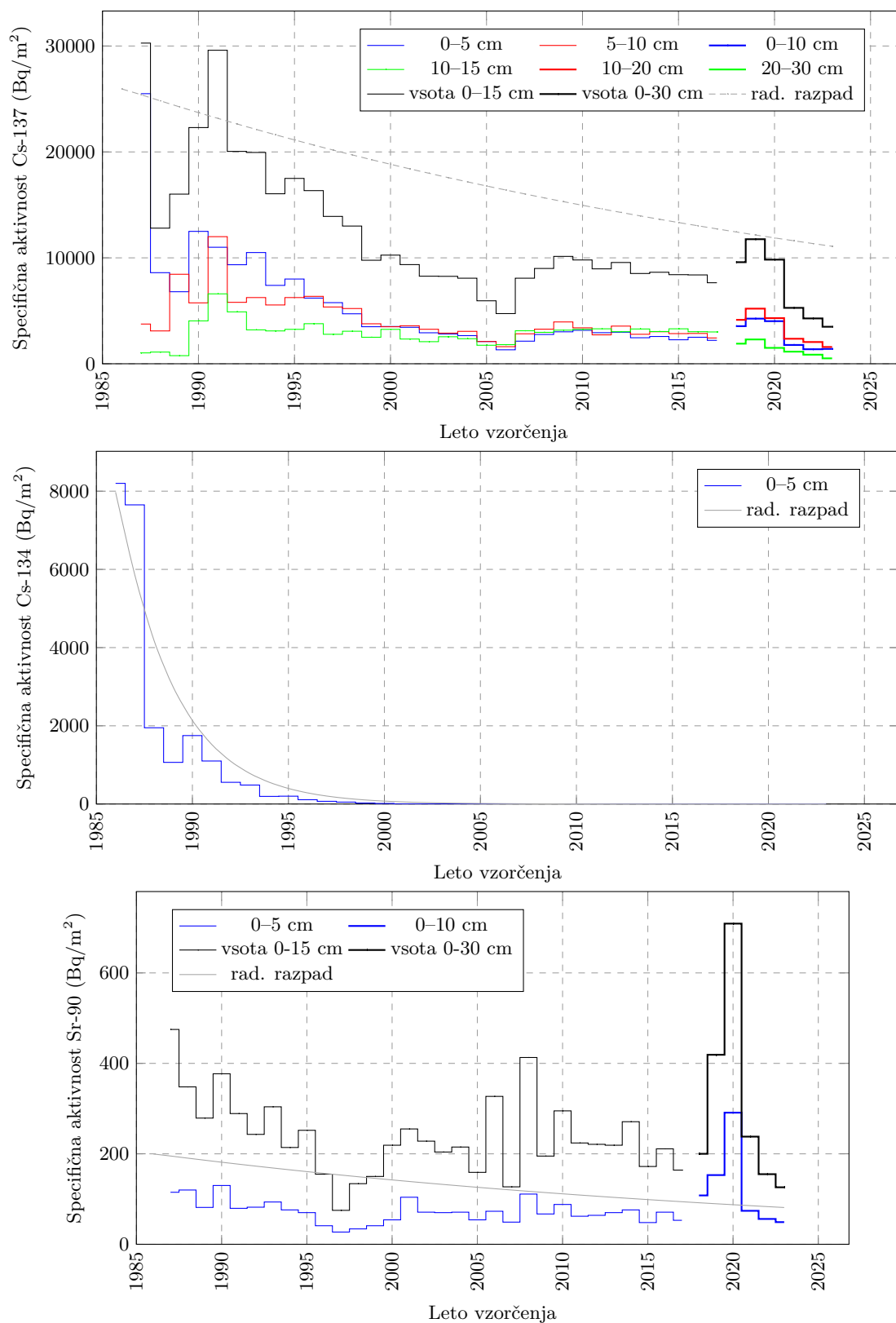
Zaradi migracije radionuklida Cs-137 v globlje plasti, je smiselna primerjava celotnega depozita v vsej globini vzorčenja do leta 2017 torej od 0 do 15 cm oziroma od leta 2018 dalje od 0 do 30 cm, in ne le depozita v zgornji plasti 5 cm.

V prvih letih po črnobilski 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 črnobilске nesreče, saj so radionuklidi sproščeni ob poskusih razstrelitev jedrskih bomb že migrirali v plasti v globini 30 cm in več.

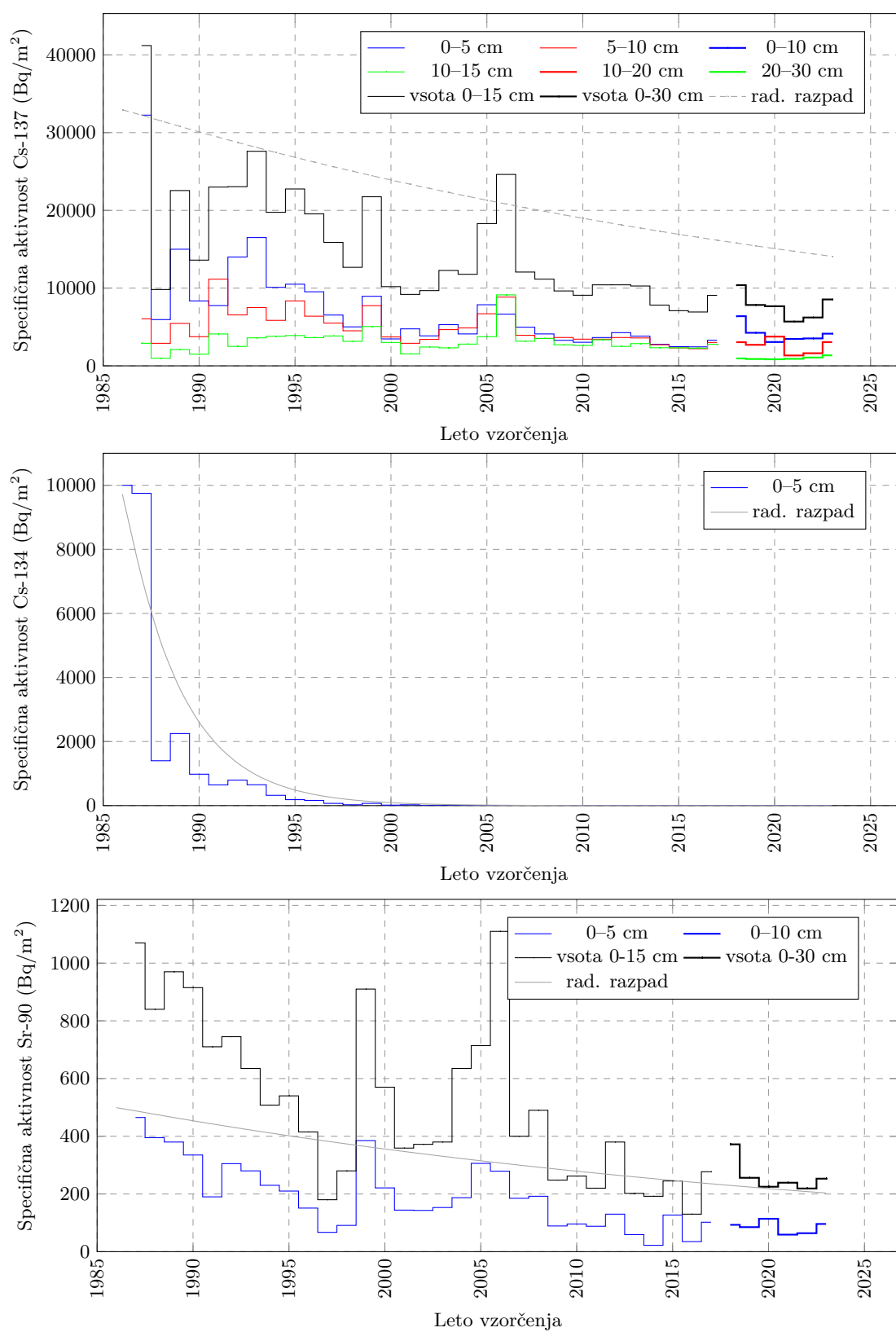
V Ljubljani, Murski Soboti in Kobaridu lahko tudi za depozit črnobilске nesreče že lahko rečemo, da prehaja v globlje plasti, zato smo v letu 2018 začeli tudi z vzorčenjem plasti zemlje iz globine do 30 cm in v 2019 z vzorčenjem iz globin do 50 cm.

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 z dejstvom, da sta vzorčila na različnih lokacijah in analize izvajala dva različna laboratorija. V letu 2006 je IJS opravil analizo zemlje na vseh treh lokacijah, leta 2008 pa samo v Ljubljani. Lokacija vzorčenja v Ljubljani je bila različna glede na vzorčevalca, IJS je vzorčil na lokaciji Reaktorskega centra Podgorica v Brinju pri Ljubljani, ZVD pa na Cesti dveh cesarjev. Od leta 2009 naprej, je lokacija vzorčenja poenotena, in sicer na Cesti dveh cesarjev.

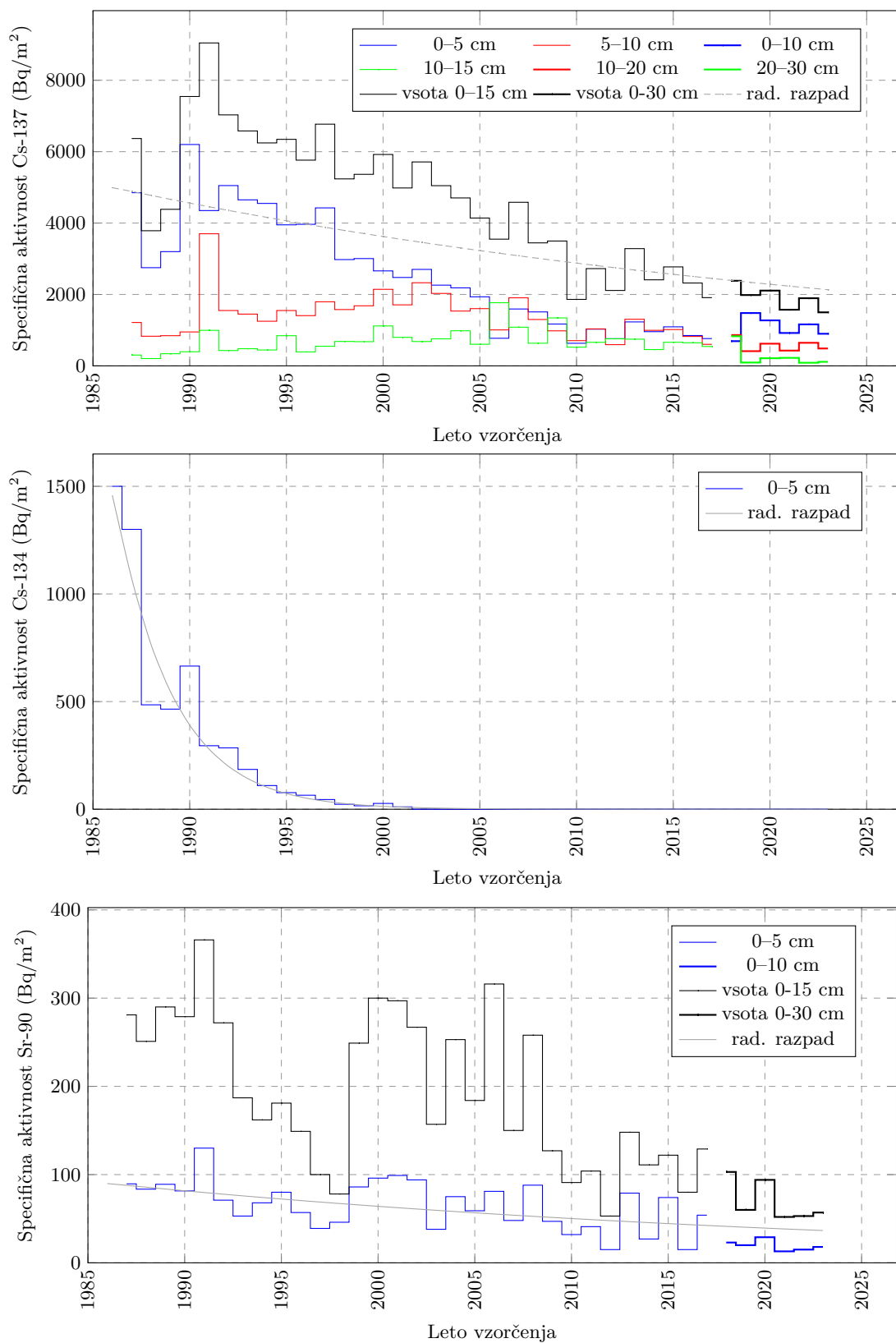
V letu 2011 je bilo moč zaznati delno povišane vrednosti Cs-137 v zgornji plasti glede na prejšnja leta, kar je vpliv posledic nesreče v elektrarni v Fukušimi na Japonskem. Vendar je povišanje na letni ravni v povprečju komaj opazno, prav tako ni vidno na grafih v slikah od 4.5 do 4.7.



Slika 4.5 | Specifične aktivnosti — depozit — Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v Ljubljani v različnih plasteh ter preračun radioaktivnega razpada od leta 1986 dalje.



Slika 4.6 | Specifične aktivnosti — deposit — Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v Kobaridu v različnih plasteh ter preračun radioaktivnega razpada od leta 1986 dalje.



Slika 4.7 | Specifične aktivnosti — depozit — Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v Murski Soboti v različnih plasteh ter preračun radioaktivnega razpada od leta 1986 dalje.

4.2 TL dozimetri zunanjega sevanja

4.2.1 Lokacije meritev

Doze zaradi zunanjega sevanja se že vsaj 20 let merijo na petdesetih različnih lokacijah po Sloveniji s termoluminiscenčnimi (TL) dozimetri, ki so prikazane na sliki 4.8, podrobnosti o merskih lokacijah pa so podane v tabeli 4.1.

Tabela 4.1 | Seznam TL-dozimetrov v Republiki Sloveniji z GPS koordinatami

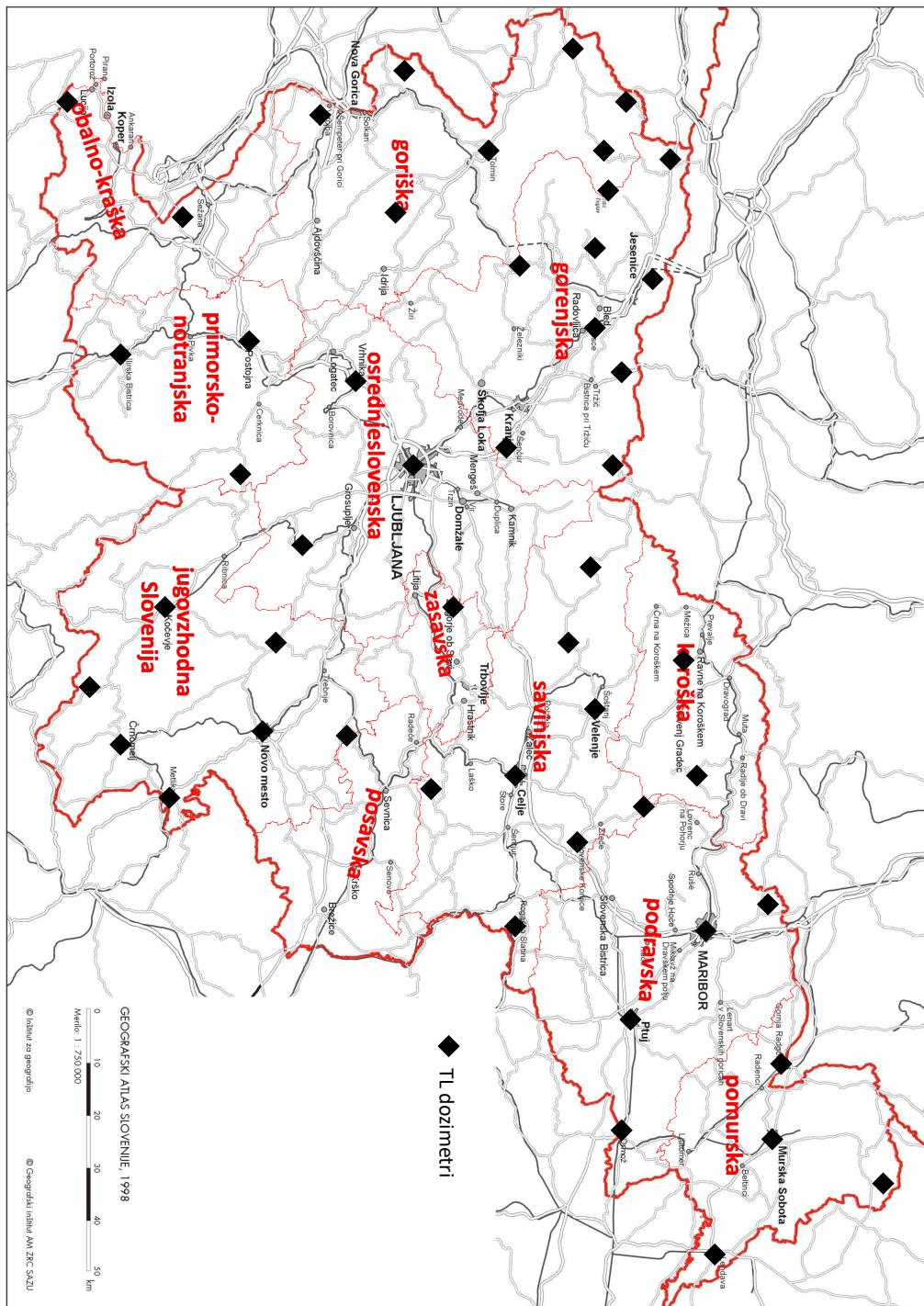
Št.	KRAJ	GPS koordinate	Št.	KRAJ	GPS koordinate
1	Kočevje	45°38'47"/14°51'02"	26	LJ-Bežigrad ^h	46°03'58"/14°30'46"
2	Dvor pri Žužemberku	45°48'30"/14°57'42"	27	Brnik ⁱ	46°13'39"/14°27'40"
3	Črnomelj ^a	45°33'36"/15°08'46"	28	Zgornje Jezersko	46°23'53"/14°30'14"
4	Metlika ^b	45°39'55"/15°22'34"	29	Podljubelj	46°23'58"/14°17'03"
5	Novo mesto	45°48'07"/15°10'39"	30	Lesce ^j	46°21'55"/14°10'28"
6	Mokronog	45°56'29"/15°09'01"	31	Planina pod Golico	46°28'03"/14°03'09"
7	Lisca	46°04'04"/15°17'06"	32	Zdenska vas	45°51'28"/14°42'27"
8	Celje	46°14'11"/15°13'34"	33	Rateče	46°29'49"/13°42'46"
9	Rogaška Slatina	46°14'40"/15°37'41"	34	Trenta	46°22'56"/13°45'13"
10	Slovenske Konjice	46°20'42"/15°25'03"	35	Log pod Mangartom	46°24'25"/13°36'10"
11	Rogla	46°26'45"/15°19'22"	36	Bovec	46°20'05"/13°32'55"
12	Maribor	46°32'22"/15°38'42"	37	Tolmin	46°10'46"/13°43'54"
13	Ptuj	46°25'48"/15°52'58"	38	Nova Gorica ^k	45°53'46"/13°37'28"
14	Ormož ^c	46°28'34"/16°11'15"	39	Kojsko ^l	46°00'50"/13°32'29"
15	Lendava	46°33'25"/16°28'20"	40	Lokev Pri Lipici	45°39'51"/13°55'21"
16	Murska Sobota ^d	46°39'08"/16°11'29"	41	Portorož ^m	45°28'29"/13°37'01"
17	Šalovci ^e	46°50'12"/16°17'16"	42	Ilirska Bistrica ⁿ	45°33'11"/14°14'05"
18	Gornja Radgona	46°40'52"/15°59'44"	43	Postojna ^o	45°45'57"/14°11'35"
19	Plač ^f	46°39'49"/15°35'29"	44	Nova vas na Blokah	45°46'23"/14°30'34"
20	Ribnica na Pohorju	46°32'30"/15°17'30"	45	Vrhnika	45°57'42"/14°16'26"
21	Kotlje	46°31'17"/14°58'54"	46	Vojsko	46°01'31"/13°54'09"
22	Velenje	46°21'51"/15°07'11"	47	Sorica	46°13'19"/14°01'41"
23	Mozirje ^g	46°19'23"/14°56'58"	48	Stara Fužina	46°17'21"/13°53'36"
24	Luče Ob Savinji	46°21'15"/14°44'48"	49	Jelenja vas ^p	45°33'40"/14°51'28"
25	Vače	46°07'06"/14°50'23"	50	Kredarica	46°22'59"/13°50'59"

^aDobliče, ^bDrašiči, ^cJeruzalem, ^dRakičan, ^eVeliki Dolenci, ^fSvečina, ^gNazarje, ^hARSO, ⁱAerodrom, ^jHlebce, ^kBilje, ^lVedrijan, ^mAerodrom, ⁿKoseze, ^oZalog, ^pIskrba

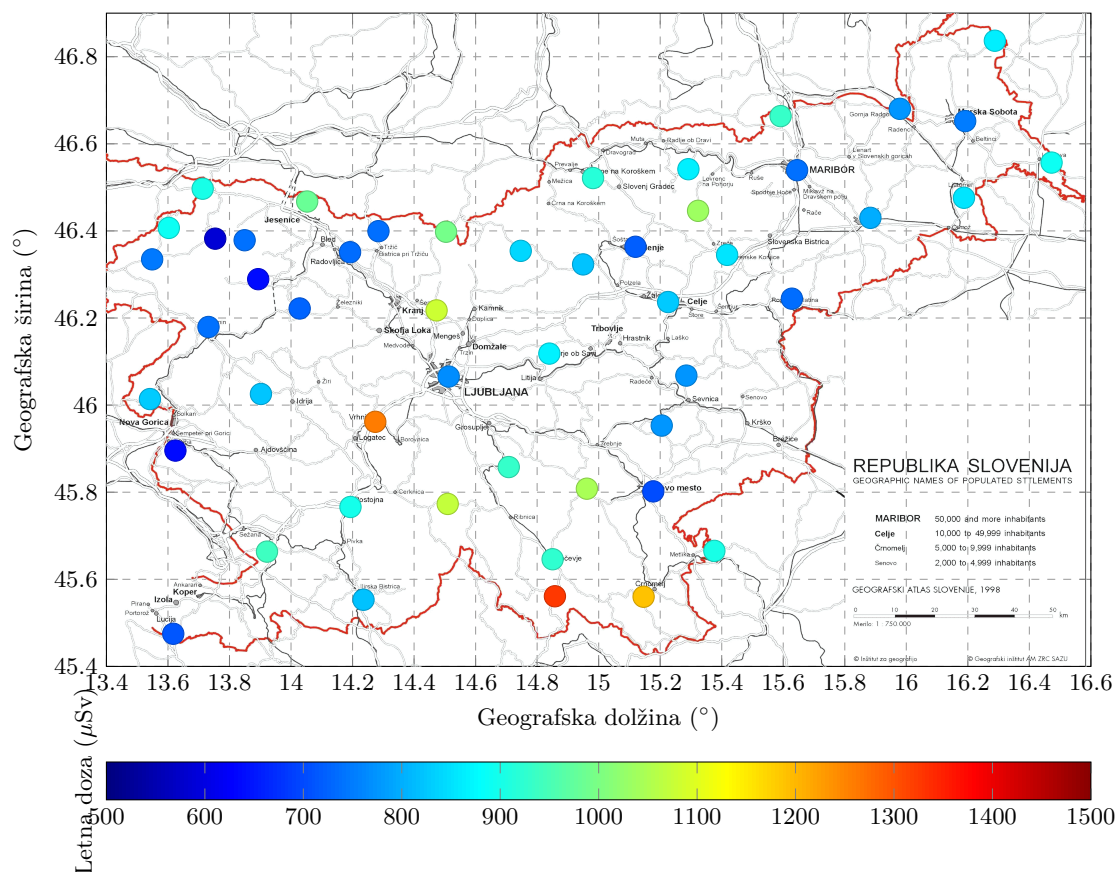
4.2.2 Rezultati meritev

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.26 in na sliki 4.9, kjer prikazana barva izmerka ustreza letni ekvivalentni dozi v μSv . Povprečni letni okoljski ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2023 je bil $854 \pm 76 \mu\text{Sv}$, največji izmerjen okoliški ekvivalent doze je bil $1320 \pm 94 \mu\text{Sv}$ v Jelenji vasi (Iskrba), najnižji pa $584 \pm 42 \mu\text{Sv}$ v Trenti. Povprečna mesečna vrednost okoliškega ekvivalenta doze zaradi zunanjega sevanja je bila $72 \pm 10 \mu\text{Sv}$, območje vrednosti pa od $49 \mu\text{Sv}$ do $110 \mu\text{Sv}$.

Takšne variacije letnih doz po različnih geografskih lokacijah Slovenije so najverjetneje posledica različnih koncentracij naravne radioaktivnosti v tleh (K-40 in uranova razpadna veriga) in samih lastnosti tal oziroma kamenin. Glavnino letne doze sedaj prispevajo naravni radionuklidi, prispevek Cs-137 zaradi kontaminacije po černobilski nesreči je zelo majhen oziroma zanemarljiv že od leta 1995 dalje (glej sliko 4.12). Nekatera literatura [93, 94] navaja korelacijo med radonskim potencialom v tleh oziroma koncentracijami radona in okoljsko dozno hitrostjo oziroma dozo. Za Slovenijo je radonski potencial v tleh prikazan na sliki 4.10, kjer se upošteva vsebnosti radioaktivnosti uranove razpadne



Slika 4.8 | Lokacije TL dozimetrov za meritve letne doze zunanjega sevanja.



Slika 4.9 | Izmerjena letna doza s TL dozimetri na različnih lokacijah po Sloveniji.

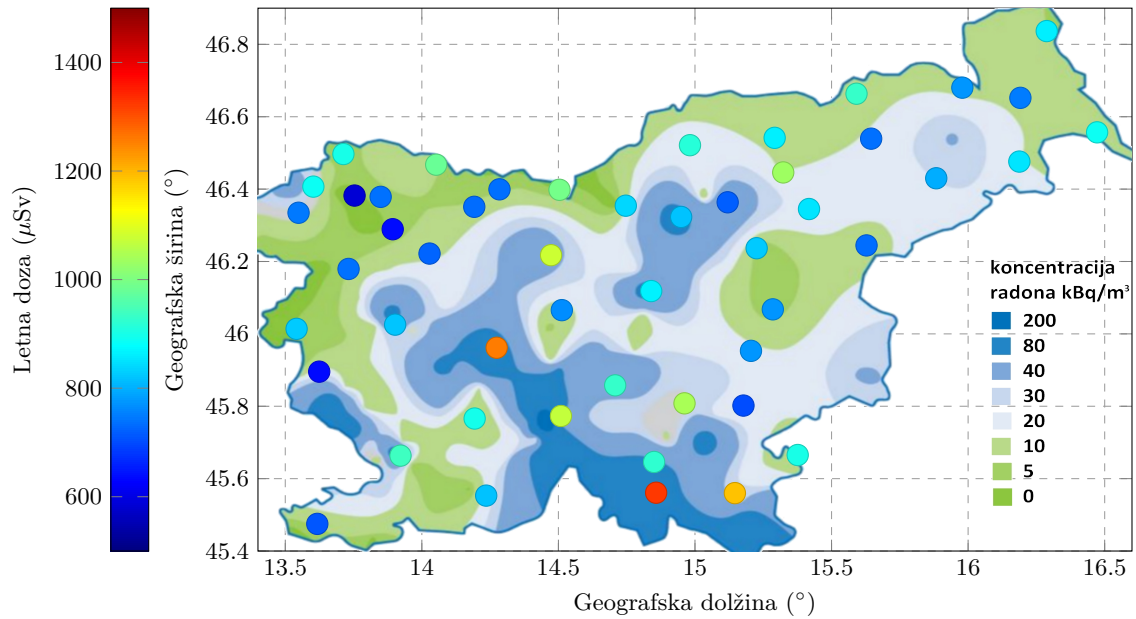
verige in lastnosti prepustnosti tal. Vidimo, da je potencial največji v loku od Dolenjske, Notranjske, preko Gorenjske do Koroške ter zahodni del Krasa in severozahodni kot Julijskih Alp. Če to primerjamo z izmerki letnih doz na karti na sliki 4.9, opazimo, da najvišji oziroma povišani izmerki s TLD sovpadajo ravno z omenjenimi območji.

Dodatno lahko primerjamo letne doze še s podatki o izmerjenih koncentracijah radona v bivalnih prostorih, ki se opravljajo v okviru sistematičnega pregledovanja bivalnega okolja v Sloveniji [95–102]. Program financira URSVS izvaja pa ZVD, meritve pa se večinoma opravljajo v občinah, kjer je prepoznana večja ogroženost zaradi izpostavljenosti radonu. Mediana vrednosti koncentracij radona je prikazana na sliki 4.11, in sicer za občine, kjer so se meritve sploh opravljale. Navkljub nepokritosti celotne Slovenije, lahko opazimo dobro ujemanje letnih doz s povišanimi koncentracijami radona.

4.2.3 Dolgoročni trend doz

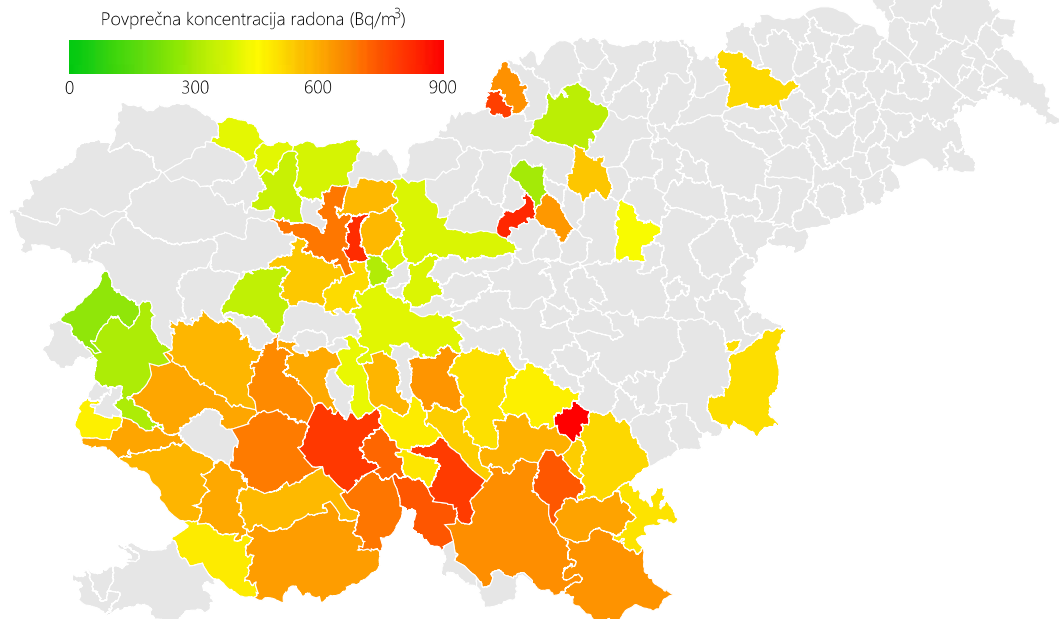
Na sliki 4.12 je prikazan dolgoročni trend doz na lokaciji Ljubljana izmerjenih s TL dozimetri. Do leta 2005 so izmerjene veličine H_x , od takrat pa $H^*(10)$. Kljub temu, da veličini nista povsem primerljivi, pa se pri energijah sevanja gama, ki ga merimo v okolju ne razlikujeta veliko, nekaj %, in jih na sliki 4.12 prikazujemo na skupnem grafu. Kot sledi v pojasnilih o H_x , lahko upoštevamo približni pretvorbeni faktor 1.05, s katerim so na grafu že pomnoženi izmerki H_x .

Termoluminiscentni dozimetri merijo okoliški ekvivalent zunanjega sevanja naravnih in umetnih radionuklidov, ki so prisotni v okolju. V letih po črnobilski nesreči je



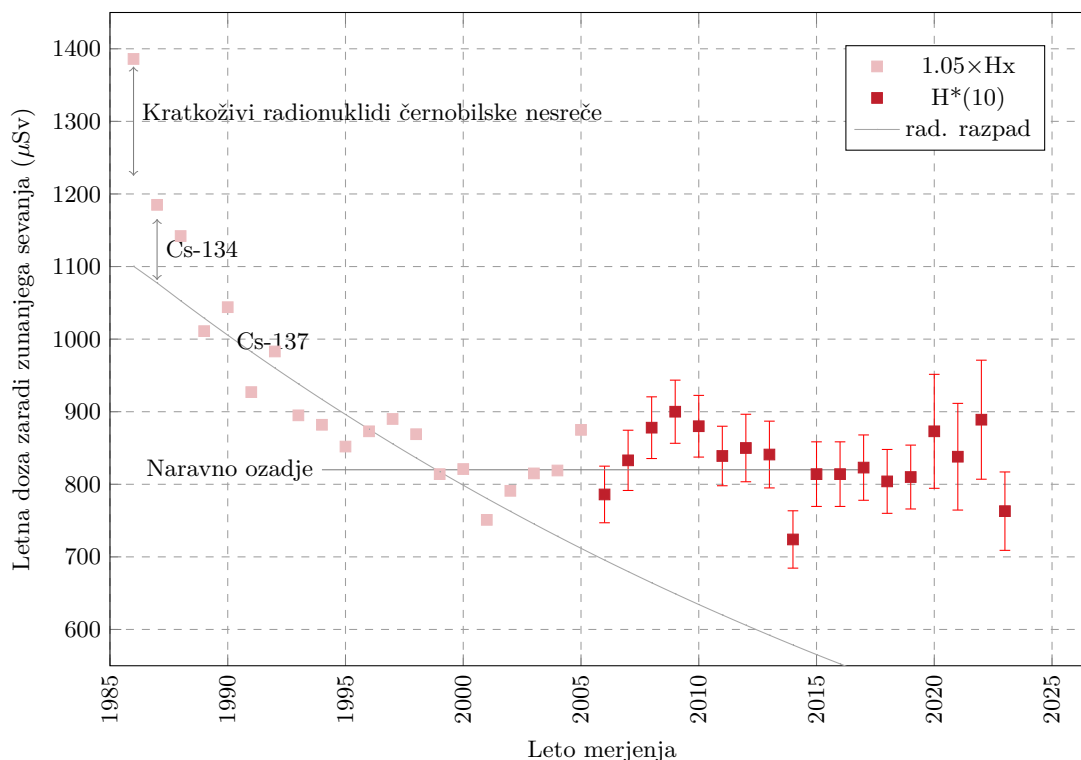
Slika 4.10 | Radonski potencial v tleh v Sloveniji.

Zemljevid povprečnih izmerjenih koncentracij radona po občinah



Slika 4.11 | Izmerjene koncentracije radona v bivalnih prostorih – mediana porazdelitve.

predvsem Cs-137 znatno prispeval k obremenjenosti z zunanjim sevanjem, nato pa se je prispevek zaradi radioaktivnega razpada in difuzije radionuklida v globlje plasti zmanjšal. Trenutni prispevek Cs-137 k celotni dozi zunanjega sevanja je manj kot 1%. Iz slike 4.12 je razvidno, da je doza zunanjega sevanja po letu 1995 približno konstantna, od leta 2006 pa je moč opaziti trend povečevanja (deloma je to lahko posledica menjave merjenja H_x s $H^*(10)$). V letu 1986 so k dozi zunanjega sevanja prispevali tudi številni

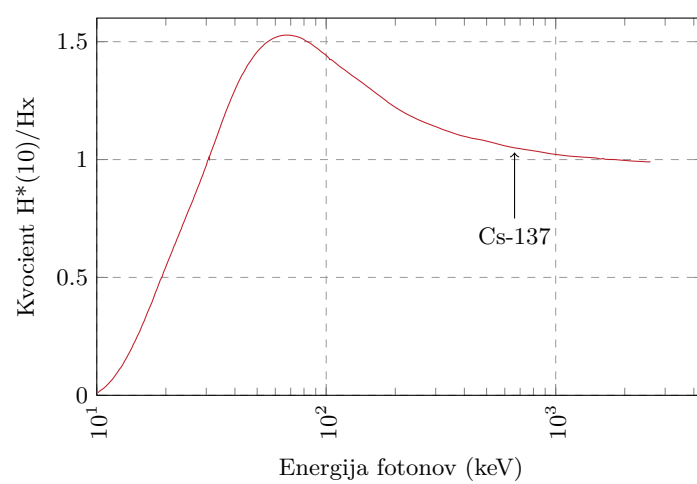


Slika 4.12 | Doza zaradi zunanega sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje.

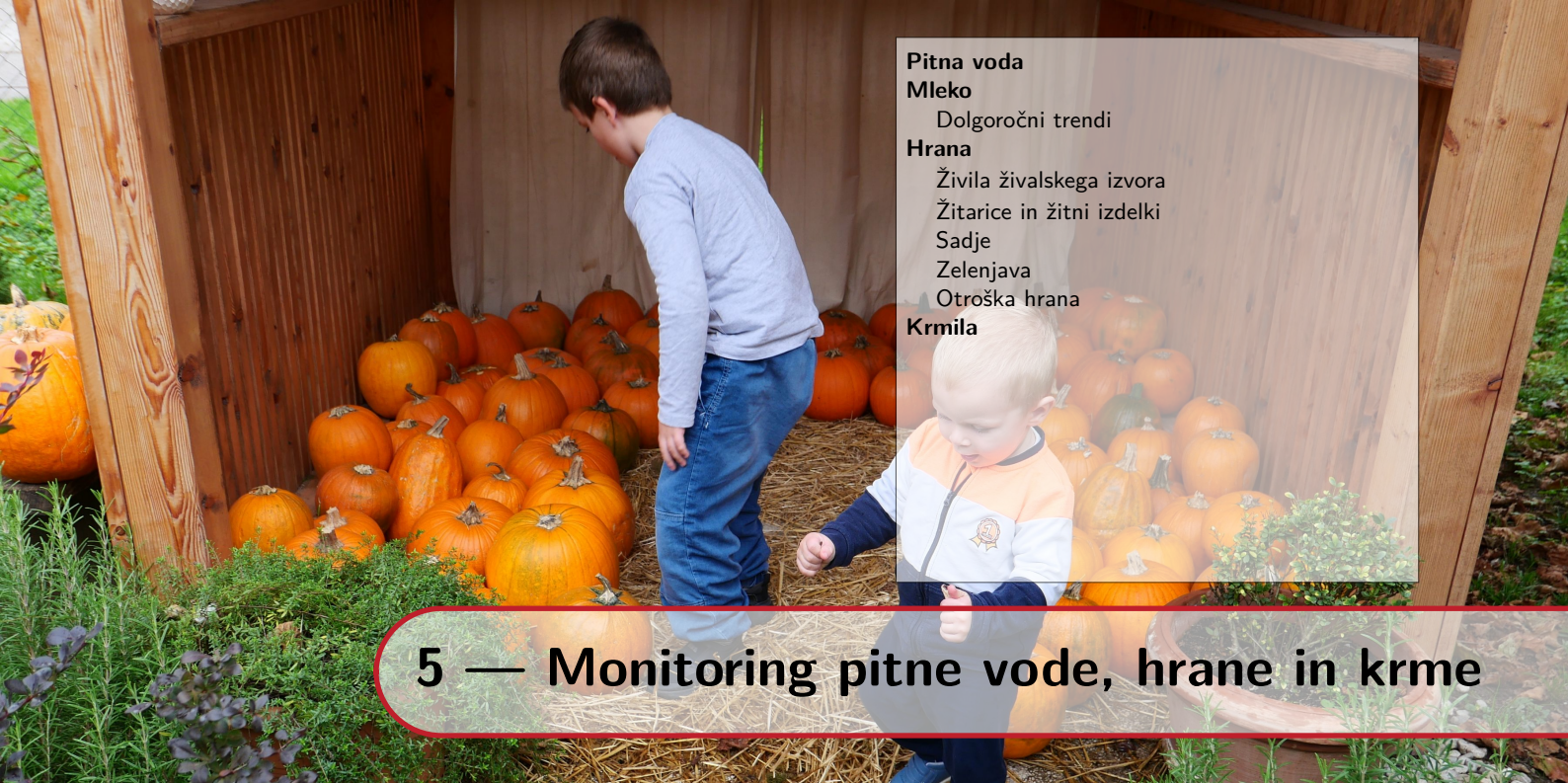
drugi sevalci gama, ki so bili posledica useda zaradi černobilske nesreče. Zato je zunanja doza v letu 1986 najvišja. Kratkoživi sevalci so nato razpadli in doza je že v letu 1987 znatno padla. Nato je bil poleg prispevka Cs-137 zaznaven še prispevek Cs-134, nato pa je tudi ta že preveč razpadel. Do približno leta 2000 je bila še zaznana razlika prispevka Cs-137 k dozi glede na prispevek naravnih radionuklidov, kar lahko sklepamo iz vidnega trenda, ki sledi radioaktivnemu razpadu Cs-137 in delno difundiranju Cs-137 v globlje plasti. V letih po 2000 se izmerjena letna doza ustali in večino doze povzročajo naravni radionuklidi.

Pojasnila o merski veličini H_x .

Veličina H_x je fotonski dozni ekvivalent (photon dose equivalent). Veličino so uporabljali predvsem v Nemčiji [103]. V Sloveniji je sekundarni dozimetrični laboratorij na Inštitutu Jožef Stefan v preteklosti izvajal umerjanja TL dozimetrom 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 energije 1 MeV do okoli 2 MeV, ko nato vrednost spet pade pod 1. Pri energiji Cs-137 je vrednost kvocienta približno 1,05. Natančnejša energijska odvisnost kvocienta je prikazana na sliki 4.13.



Slika 4.13 | Energijska odvisnost razmerja okoljskega, $H^*(10)$, in fotonskega doznega ekvivalenta, H_x .



Pitna voda

Mleko

Dolgoročni trendi

Hrana

Živila živalskega izvora

Žitarice in žitni izdelki

Sadje

Zelenjava

Otroška hrana

Krmila

5 — Monitoring pitne vode, hrane in krme

5.1 Pitna voda

V letu 2023 je bilo odvzetih petnajst enkratnih vzorcev pitne vode iz javnih objektov kot so šole, vrtci, bolnišnice ali gostišča na naslednjih lokacijah (urejene po regijah):

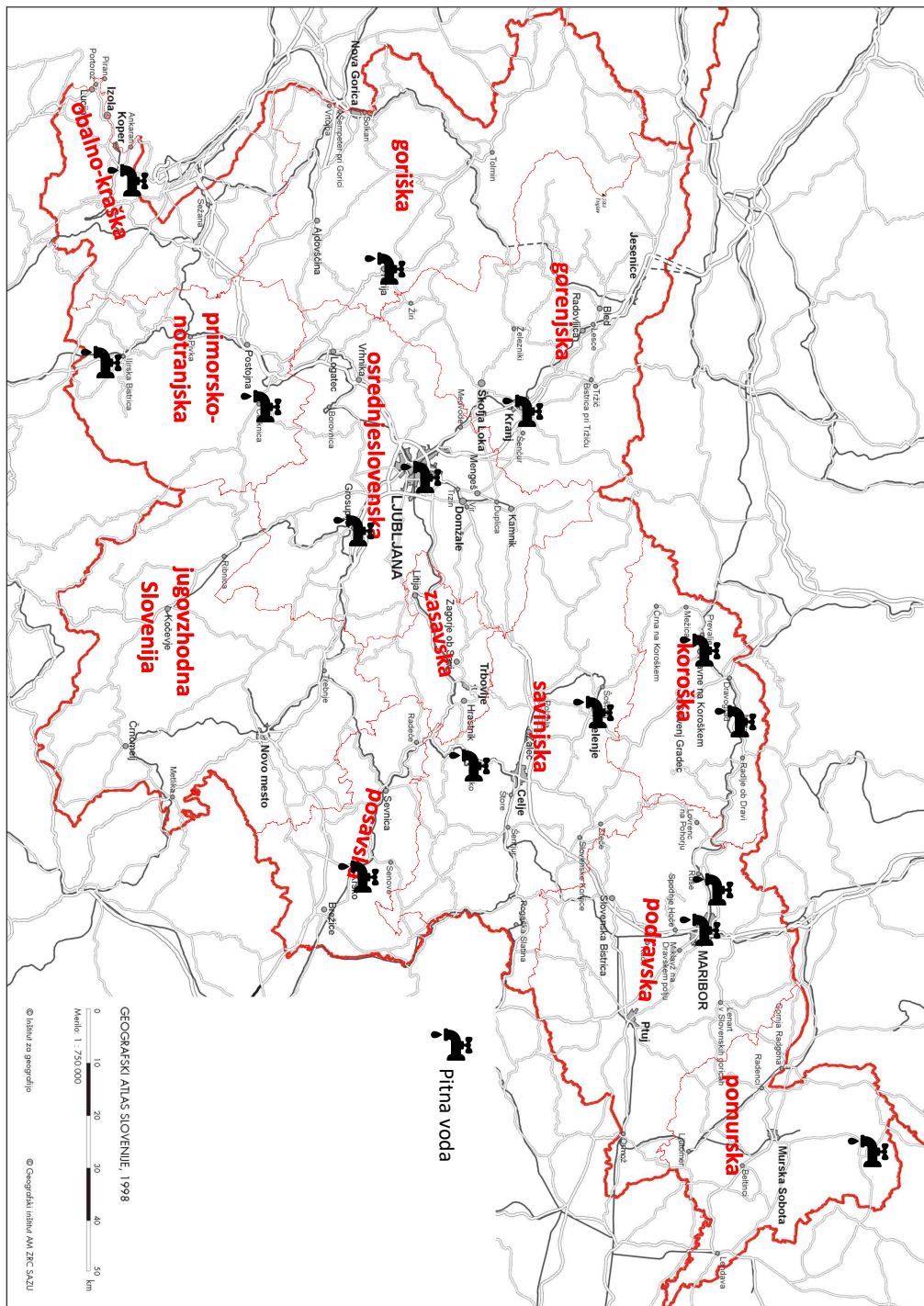
- Osrednjeslovenska regija (Ljubljana, Grosuplje)
- Gorenjska regija (Kranj)
- Goriška regija (Idrija)
- Obalno-kraška regija (Škofije)
- Primorsko-notranjska regija (Jelšane, Cerknica)
- Pomurska regija (Gornji Petrovci)
- Podravska regija (Maribor, Selnica ob Dravi)
- Koroška regija (Vuzenica, Ravne na Koroškem)
- Savinjska regija (Velenje, Laško)
- Posavska regija (Krško)
- Zasavska regija (brez vzorcev)
- Jugovzhodna Slovenija (brez vzorcev)

ki se zaradi reprezentativnosti menjavajo vsako leto in so izbrane tako, da večinoma pokrijejo celotno področje Slovenije. Lokacije vzorčenja so prikazane na zemljevidu na sliki 5.1 na strani 98.

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabelah 8.27 in 8.28. Izotop cezija, Cs-137, je bilo opaziti večinoma le v sledeh ali pa so vrednosti izredno nizke in na meji detekcije, izmerjene vrednosti so bile $0,01 \pm 0,02 \text{ Bq/m}^3$. Povprečna vrednost koncentracij aktivnosti Sr-90 v vseh odvzetih vzorcih je $0,7 \pm 0,5 \text{ Bq/m}^3$, H-3 pa $531 \pm 148 \text{ Bq/m}^3$. Trendi povprečne vrednosti omenjenih radionuklidov so za večjo preglednost prikazane v grafih na spodnji sliki 5.2 za leta od 2008 naprej. Vrednost v grafu predstavlja povprečno aktivnost vseh odvzetih vzorcev pitnih vod, v primeru aktivnosti Cs-137 pa zgornjo vrednost, saj so izmerjene aktivnosti večinoma pod mejo detekcije.

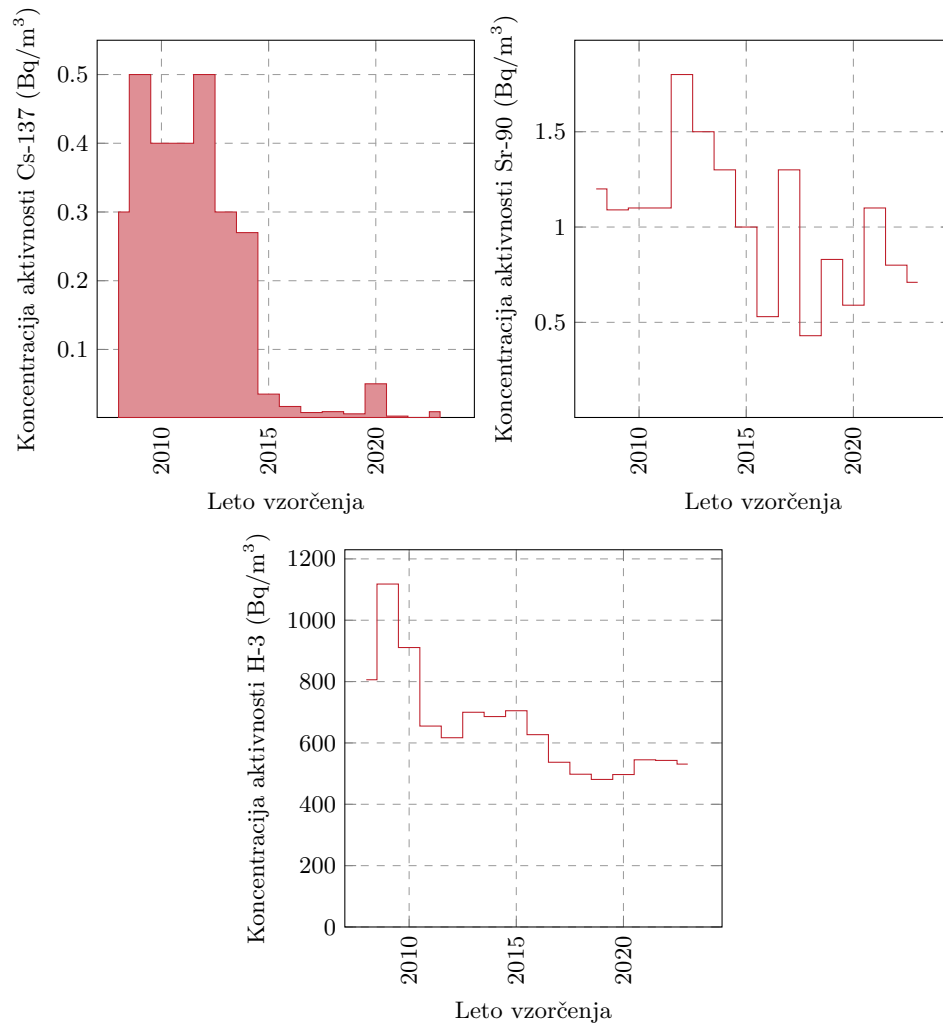
Poleg umetnih radionuklidov so se določale tudi koncentracije aktivnosti naravnih radionuklidov in kozmogenega Be-7. Povprečne vrednosti so za

- U-238 $4,0 \pm 0,7 \text{ Bq/m}^3$,
- Ra-226 $5,7 \pm 1,9 \text{ Bq/m}^3$,



Slika 5.1 | Lokacije vzorčenja vzorcev pitne vode.

- Pb-210 $2,7 \pm 1,0$ Bq/m³,
- Ra-228 $1,5 \pm 0,5$ Bq/m³,
- Th-228 $0,6 \pm 0,1$ Bq/m³ in
- K-40 26 ± 6 Bq/m³ ter
- Be-7 $1,0 \pm 0,3$ Bq/m³.



Slika 5.2 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137, Sr-90 in H-3 v pitni vodi od leta 2009 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev).

5.2 Mleko

V letu 2023 smo analizirali vzorce surovega mleka iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice ter mleka v prahu iz Murske Sobote (glej zemljevid na sliki 5.3). Rezultati meritev koncentracij aktivnosti radionuklidov v vzorcih mleka za vse lokacije vzorčenja so prikazani v poglavju 8 v tabelah od 8.29 do 8.32.

Na sliki 5.4 so prikazane letne povprečne vrednosti (za preteklo leto) v vzorcih surovega mleka iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice, na sliki 5.5 njihove posamične vrednosti dvomesečnega zbirnega vzorca in na sliki 5.6 posamične vrednosti dvomesečnega zbirnega vzorca mleka v prahu iz Murske Sobote, in sicer za različne izotope K-40, Cs-137 in/ali Sr-90. Povprečne letne izmerjene vrednosti so bile:

- V Ljubljani
Cs-137 46 ± 10 mBq/kg in
Sr-90 10 ± 4 mBq/kg,
- v Kobaridu
Cs-137 53 ± 15 mBq/kg in
Sr-90 7 ± 2 mBq/kg,
- v Bohinjski Bistrici
Cs-137 28 ± 16 mBq/kg in
Sr-90 6 ± 5 mBq/kg ter
- v Murski Soboti
Cs-137 $0,53 \pm 0,05$ Bq/kg in
Sr-90 $0,17 \pm 0,08$ Bq/kg.

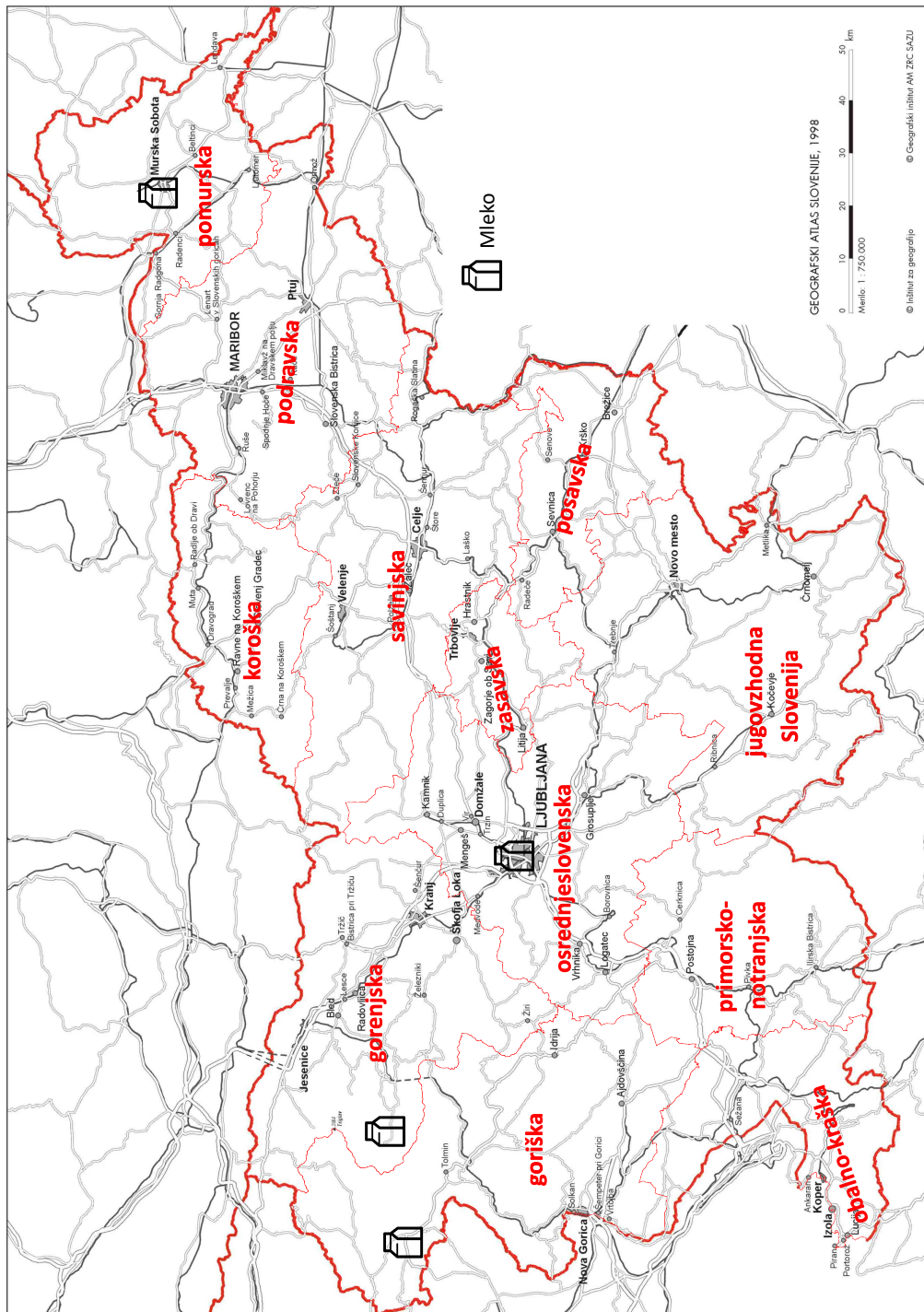
Slovensko povprečje za surovo mleko znaša za Cs-137 40 ± 10 mBq/kg in za Sr-90 14 ± 5 mBq/kg (brez mleka v prahu). Najvišje izmerjena vrednost Cs-137 je bila v vzorcu surovega mleka iz Kobarida v obdobju zbiranja marec–april, in sicer 12 ± 5 mBq/kg.

Na sliki 5.5, ki prikazuje koncentracije aktivnosti izotopov v dvomesečnih vzorcih mleka iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice v splošnem ugotovimo v jesenskem obdobju porast aktivnosti Cs-137, kar lahko pripišemo pašni vzreji govedi v toplejših mesecih, kjer večje aktivnosti iz narave pridejo v organizem in mleko zaradi prenosnih poti, v hladnejših mesecih pa uporabi krmil, ki imajo lahko nižje vsebnosti Cs-137. Vendar se takšna sezonska krma velikokrat meša in posledično se sezonske variacije vedno bolj izgubljajo. Po nekaterih podatkih s terena se vedno bolj v zbiralnicah mleka meša mleko iz različnih lokacij, zato je težko ugotoviti specifične lastnosti med vzorci iz lokalne vzreje krav ali vzorci od drugod. V vzorcih mleka v prahu iz Murske Sobote (slika 5.6) je povišane vrednosti Cs-137 moč opaziti s časovnim zamikom, kar je najverjetneje posledica predelave surovega mleka.

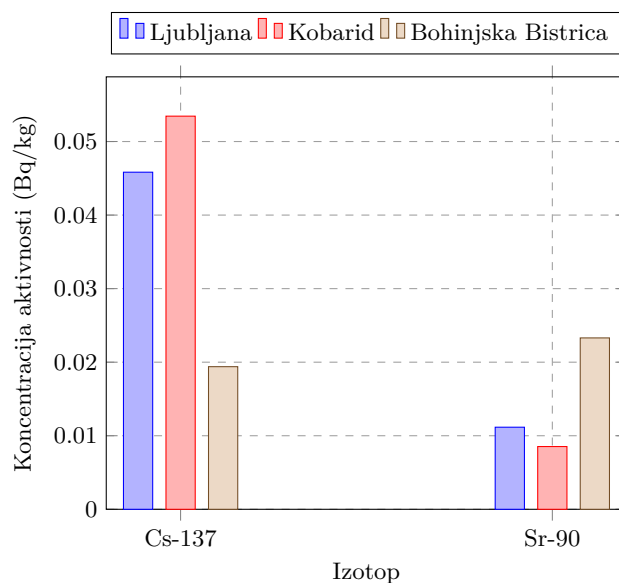
5.2.1 Dolgoročni trendi

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 [104]. Pašniki v okolici Kobarida in Bohinjske Bistrice ležijo v alpskem predelu Slovenije, kjer je po nesreči v Černobilu padlo največ padavin, zato je tudi mleko iz tega področja bolj kontaminirano s Cs-137 kot drugje po Sloveniji.

Na sliki 5.7 so prikazane povprečne letne vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobote za obdobje od leta 1986 dalje. Opazen je trend padanja koncentracij aktivnosti vseh treh radionuklidov, Cs-137, Cs-134 in Sr-90. Cs-134 je bil najdlje merljiv v mleku iz



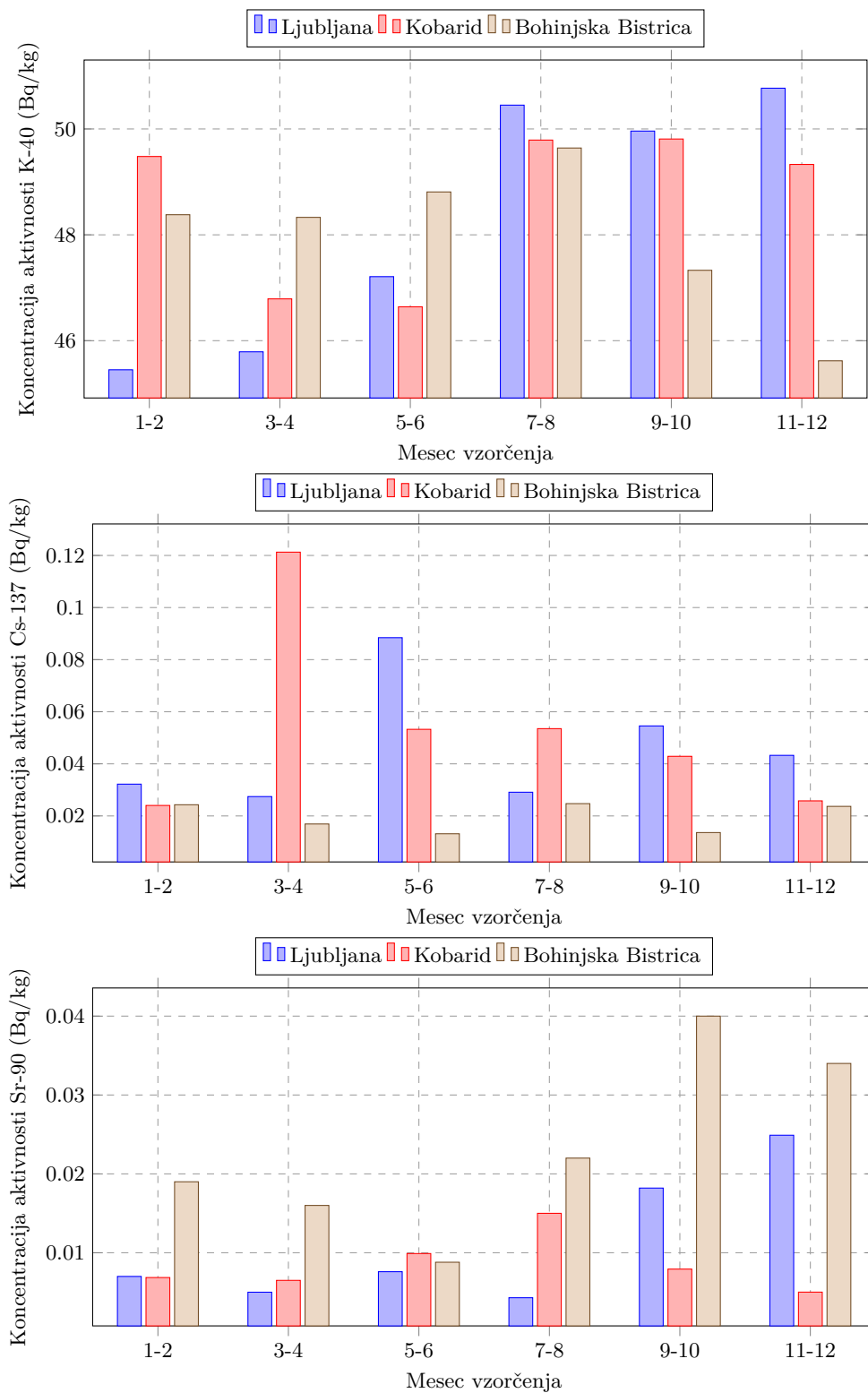
Slika 5.3 | Lokacije vzorčenja vzorcev mleka.



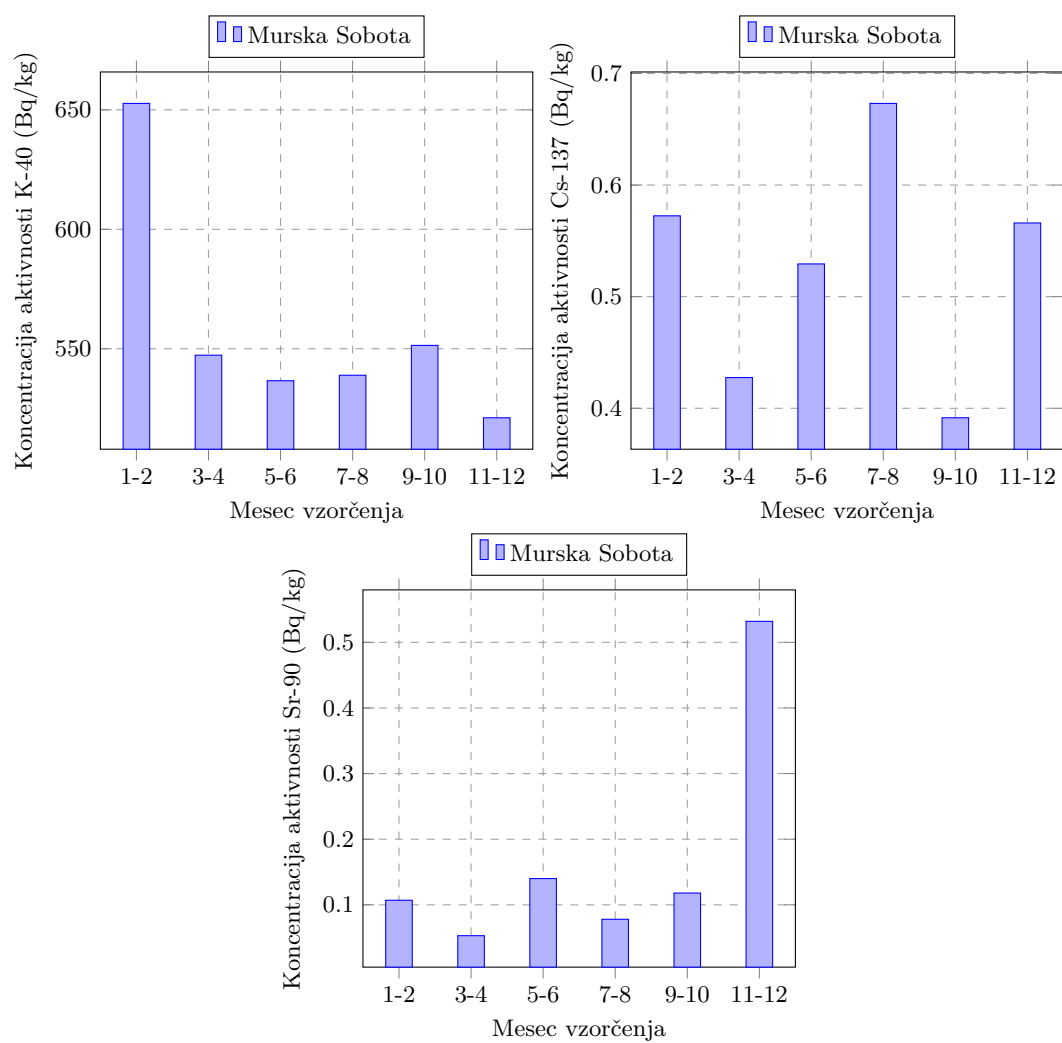
Slika 5.4 | Primerjava povprečnih letnih koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v surovem mleku na različnih lokacijah v Sloveniji za leto 2023.

Bohinjske Bistrice, do leta 1999, v mleku z ostalih lokacij pa je bil že dosti prej pod mejo detekcije.

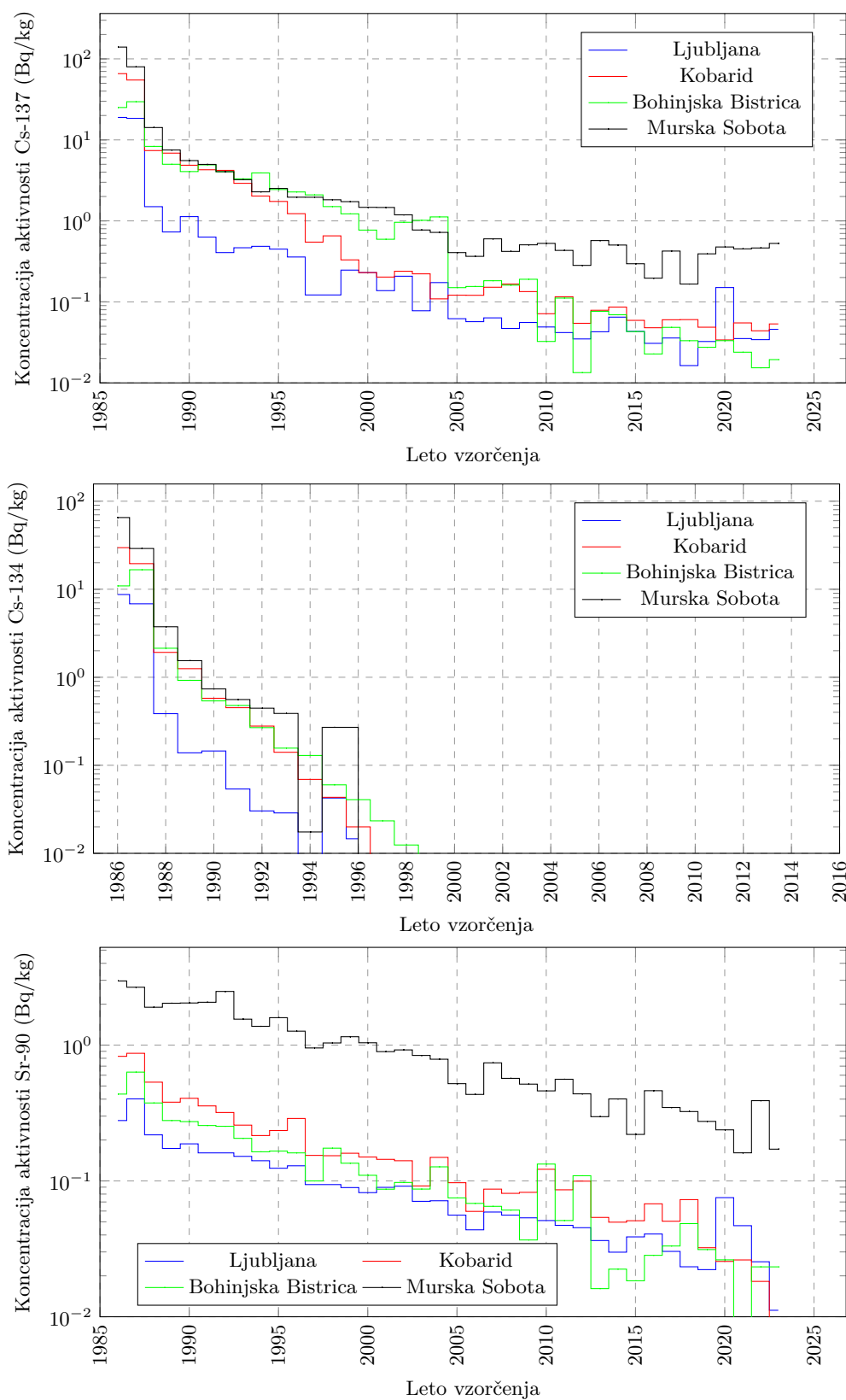
V grafih so sicer najvišje prikazane vrednosti za mleko v prahu iz Murske Sobote, kar je posledica koncentracije vzorca s sušenjem in posledično višje koncentracije aktivnosti ter zato vrednosti niso realno primerljive z vrednostmi v surovem mleku.



Slika 5.5 | Koncentracije aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v posamičnih dvomesečnih vzorcih surovega mleka preteklega leta iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice.



Slika 5.6 | Koncentracije aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v posamičnih dvomesečnih vzorcih mleka v prahu iz Murske Sobote.



Slika 5.7 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v mleku z različnih lokacij od leta 1986 dalje.

5.3 Hrana

Program meritev radioaktivnosti v vzorcih hrane je bil v letu 2023 enak kot v prejšnjih letih in vsebuje meritve koncentracij 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 na slikah 5.8 in 5.11. V letu 2008 smo začeli tudi z analizo celotnega obroka otroške hrane v vrtcih večjih mest, vzorčevalna mesta so prikazana na sliki 5.14.

5.3.1 Živila živalskega izvora

V preteklem letu smo vzorčili in analizirali osem vzorcev živil živalskega izvora:

- Meso (svinjina) - Dutovlje
- Med - Slovenske Konjice
- Meso (piščančje) - Ptuj
- Divjačina - Škofja Loka
- Jajca (kokošja) - Selnica ob Dravi
- Meso (govedina) - Postojna
- Sir (kravji) - Kobarid
- Postrv - Škocjan

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.33.

Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 v vseh vzorcih je $0,15 \pm 0,08$ Bq/kg in Sr-90 $0,05 \pm 0,02$ Bq/kg. Najvišja vsebnost Cs-137 oziroma Sr-90 je bila izmerjena v vzorcu govedine oziroma jajc, in sicer $0,73 \pm 0,03$ Bq/kg oziroma $0,19 \pm 0,02$ Bq/kg.

Dolgoročni trendi

Trend povprečnih vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v izbranih vzorcih je za večjo preglednost prikazan v grafih na spodnji sliki 5.9 od 2008 naprej. Zaradi dokaj naključne izbire vzorcev z različnimi aktivnostmi in z različnih lokacij je težko med seboj kvantitativno primerjati izmerjene vrednosti po letih, bi pa v primeru novih kontaminacij življenjskega okolja takšne anomalije na grafu vsekakor izstopale. Prav tako v letnih povprečjih izločimo zelo specifične vzorce, kjer zaradi metabolizmov pride do večje akumulacije umetnih radionuklidov.

5.3.2 Žitarice in žitni izdelki

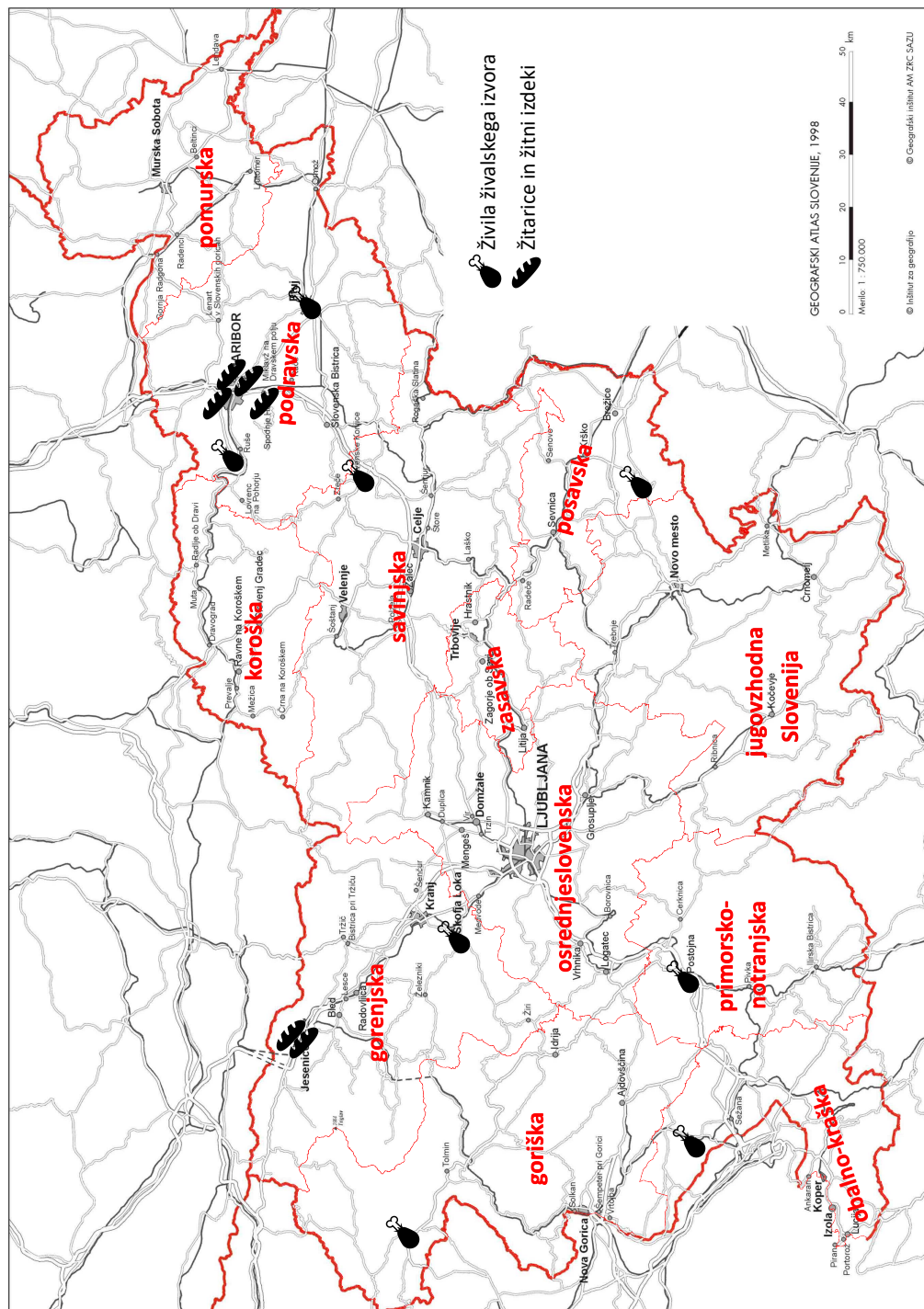
V preteklem letu smo vzorčili in analizirali šest vzorcev žitaric in žitnih izdelkov:

- Zdrob (pšenični) - Maribor
- Moka (bela) - Maribor
- Kruh (rženi) - Maribor
- Moka (polbela) - Hoče
- Moka (ajdova) - Jesenice
- Kaša (prosena) - Jesenice

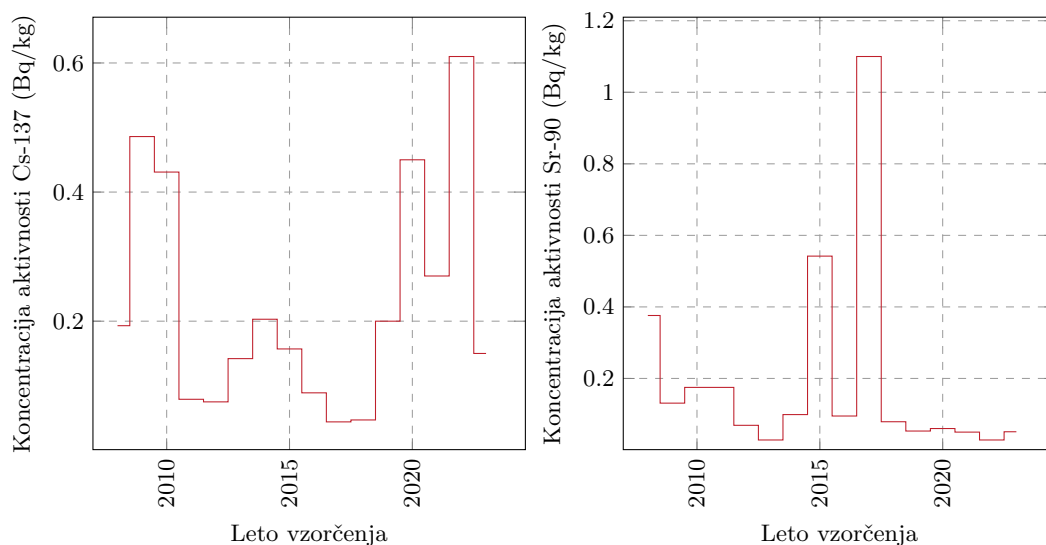
Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.34. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 je 30 ± 10 mBq/kg, Sr-90 pa 11 ± 2 mBq/kg.

Dolgoročni trendi

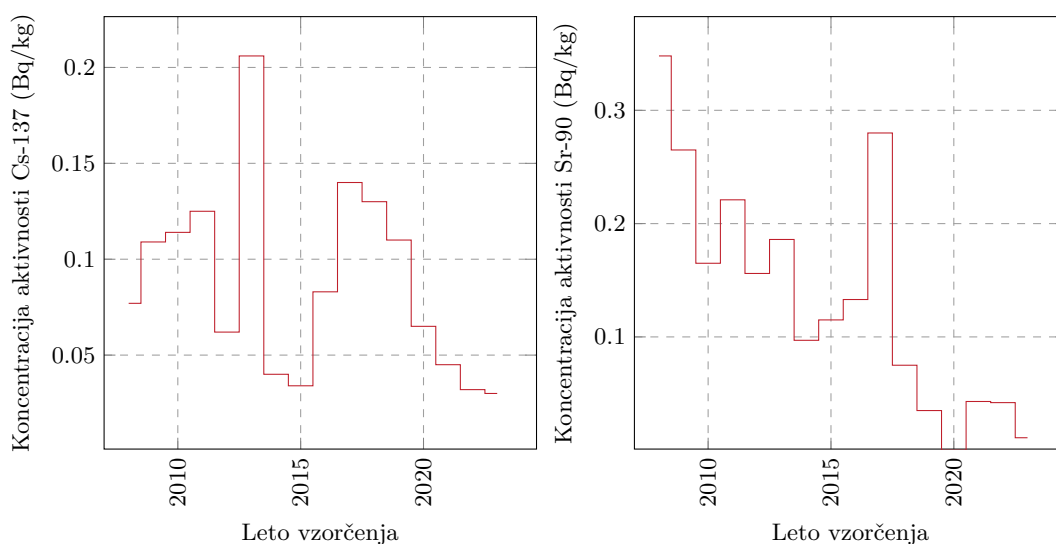
Trend povprečnih vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v izbranih vzorcih je za večjo preglednost prikazan v grafih na spodnji sliki 5.10 od 2008 naprej. Zaradi dokaj naključne izbire vzorcev z različnimi aktivnostmi in z različnih lokacij je težko med seboj kvantitativno primerjati izmerjene vrednosti po letih, bi pa v primeru novih kontaminacij življenjskega okolja takšne anomalije na grafu vsekakor izstopale.



Slika 5.8 | Lokacije vzorčenja vzorcev živil živalskega izvora in žitaric ter žitnih izdelkov.



Slika 5.9 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v živilih živalskega izvora od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev razen medu in divjačine).



Slika 5.10 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v žitaricah in žitnih izdelkih od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev).

5.3.3 Sadje

V preteklem letu smo vzorčili in analizirali šest vzorcev sadja, nekateri slovenskega porekla, nekateri pa so uvoženi iz tujine:

- Kivi - Kranj
- Grozdje - Koper
- Breskev - Koper
- Jagode - Ljubljana
- Hruške - Maribor
- Jabolka - Lenart v Slovenskih goricah

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.36. Povprečna koncentracija aktivnosti vseh Cs-137 v vseh vzorcih je 37 ± 16 mBq/kg in Sr-90 13 ± 8 mBq/kg. Vsebnosti Cs-137 in Sr-90 so bile le v sledovih in praviloma zelo nizke v večini vzorcev. V letošnjih izbranih vzorcih ni bilo vzorcev z odstopajočimi vrednostmi (npr. gozdno jagodičevje).

Dolgoročni trendi

Trend povprečnih vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v izbranih vzorcih je za večjo preglednost prikazan v grafih na spodnji sliki 5.12 od 2008 naprej. Zaradi dokaj naključne izbire vzorcev z različnimi aktivnostmi in z različnih lokacij je težko med seboj kvantitativno primerjati izmerjene vrednosti po letih, bi pa v primeru novih kontaminacij življenjskega okolja takšne anomalije na grafu vsekakor izstopale. Prav tako v letnih povprečjih izločimo zelo specifične vzorce, kjer zaradi metabolizmov pride do večje akumulacije umetnih radionuklidov.

5.3.4 Zelenjava

V preteklem letu smo vzorčili in analizirali šest vzorcev zelenjave, nekateri slovenskega porekla, nekateri pa so uvoženi iz tujine:

- Solata - Celje
- Krompir - Celje
- Paradižnik - Ljubljana
- Bučke - Ljubljana
- Redkvice - Maribor
- Korenje - Maribor

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.35. Povprečna koncentracija aktivnosti v vseh vzorcih je za Sr-90 31 ± 24 mBq/kg, koncentracije Cs-137 pa so bile pod mejo detekcije.

Dolgoročni trendi

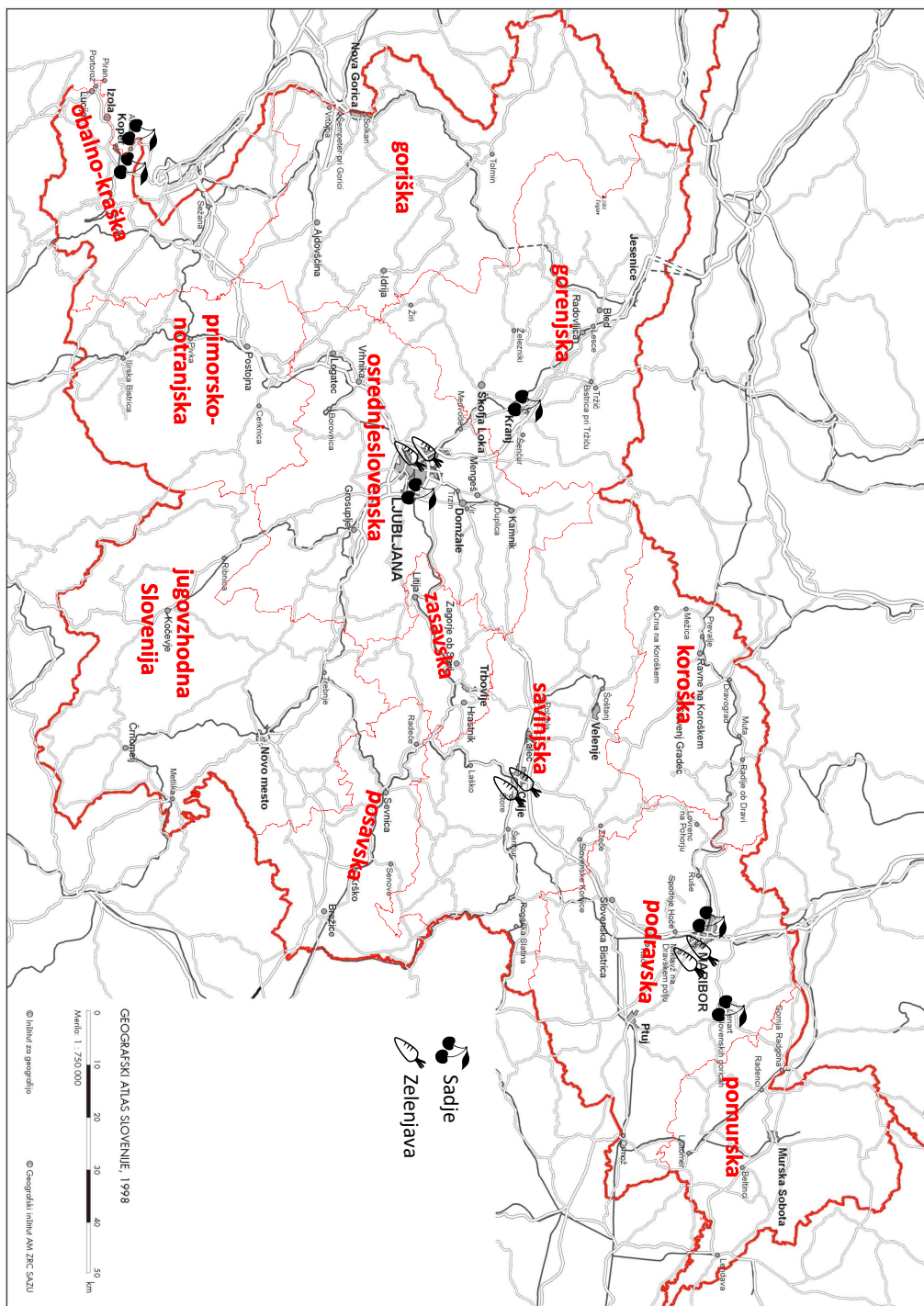
Trend povprečnih vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v izbranih vzorcih je za večjo preglednost prikazan v grafih na spodnji sliki 5.13 od 2008 naprej. Zaradi dokaj naključne izbire vzorcev z različnimi aktivnostmi in z različnih lokacij je težko med seboj kvantitativno primerjati izmerjene vrednosti po letih, bi pa v primeru novih kontaminacij življenjskega okolja takšne anomalije na grafu vsekakor izstopale.

5.3.5 Otroška hrana

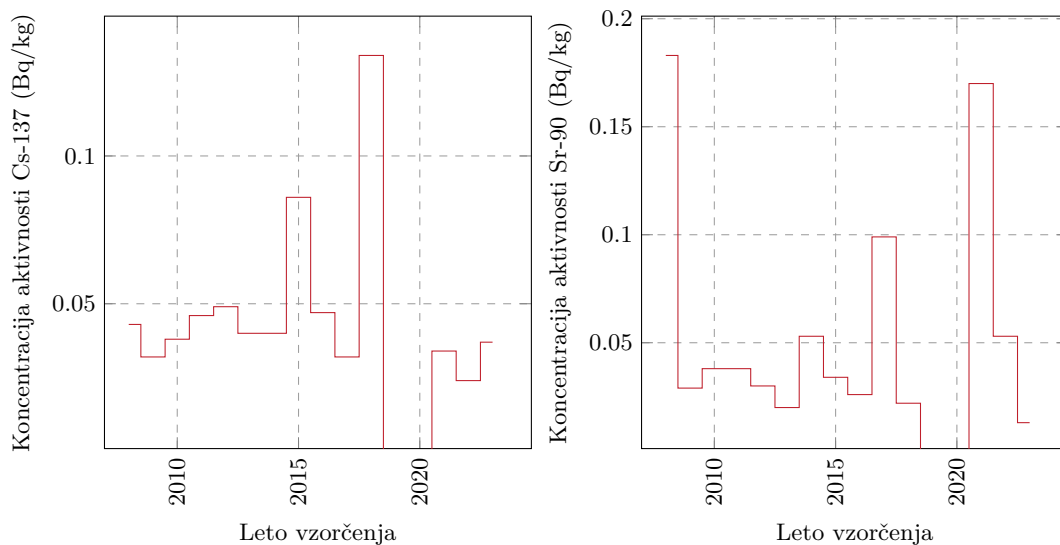
V preteklem letu smo vzorčili in analizirali 5 vzorcev celovitega obroka otrok v vzgojnih zavodih iz Kopra, Ljubljane, Novega mesta, Maribora in Kranja. Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.37. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 je 20 ± 1 mBq/kg, povprečna koncentracija aktivnosti Sr-90 pa ni mogoče določiti, saj so bile vse meritve pod mejo detekcije.

Dolgoročni trendi

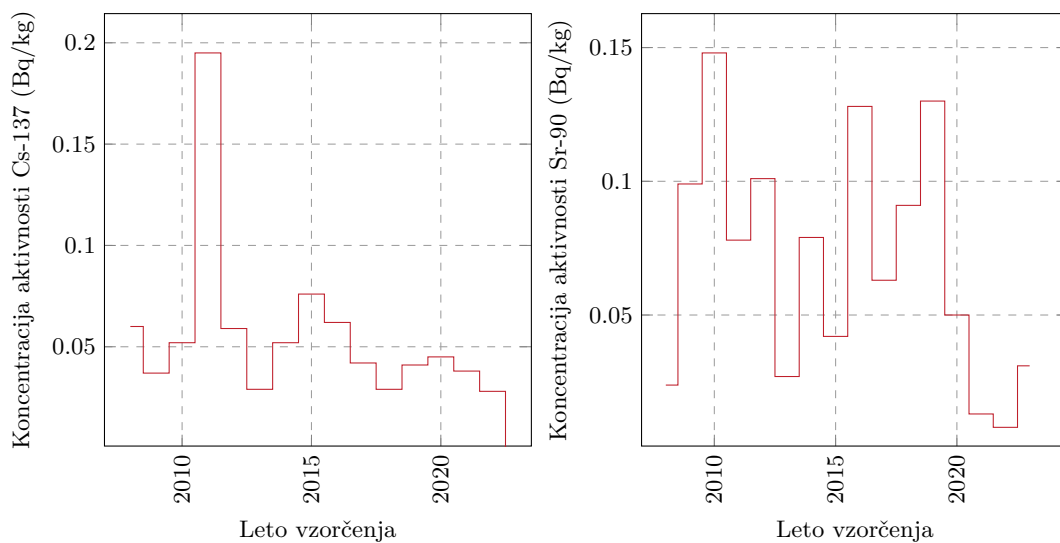
Trend povprečnih vrednosti koncentracij aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v izbranih vzorcih je za večjo preglednost prikazan v grafih na spodnji sliki 5.15 od 2008 naprej. Zaradi dokaj naključne izbire vzorcev z različnimi aktivnostmi in z različnih lokacij je težko med seboj kvantitativno primerjati izmerjene vrednosti po letih, bi pa v primeru novih kontaminacij življenjskega okolja takšne anomalije na grafu vsekakor izstopale.



Slika 5.11 | Lokacije vzorčenja vzorcev sadja in zelenjave.



Slika 5.12 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v sadju od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev razen specifičnih z večjo akumulacijo).



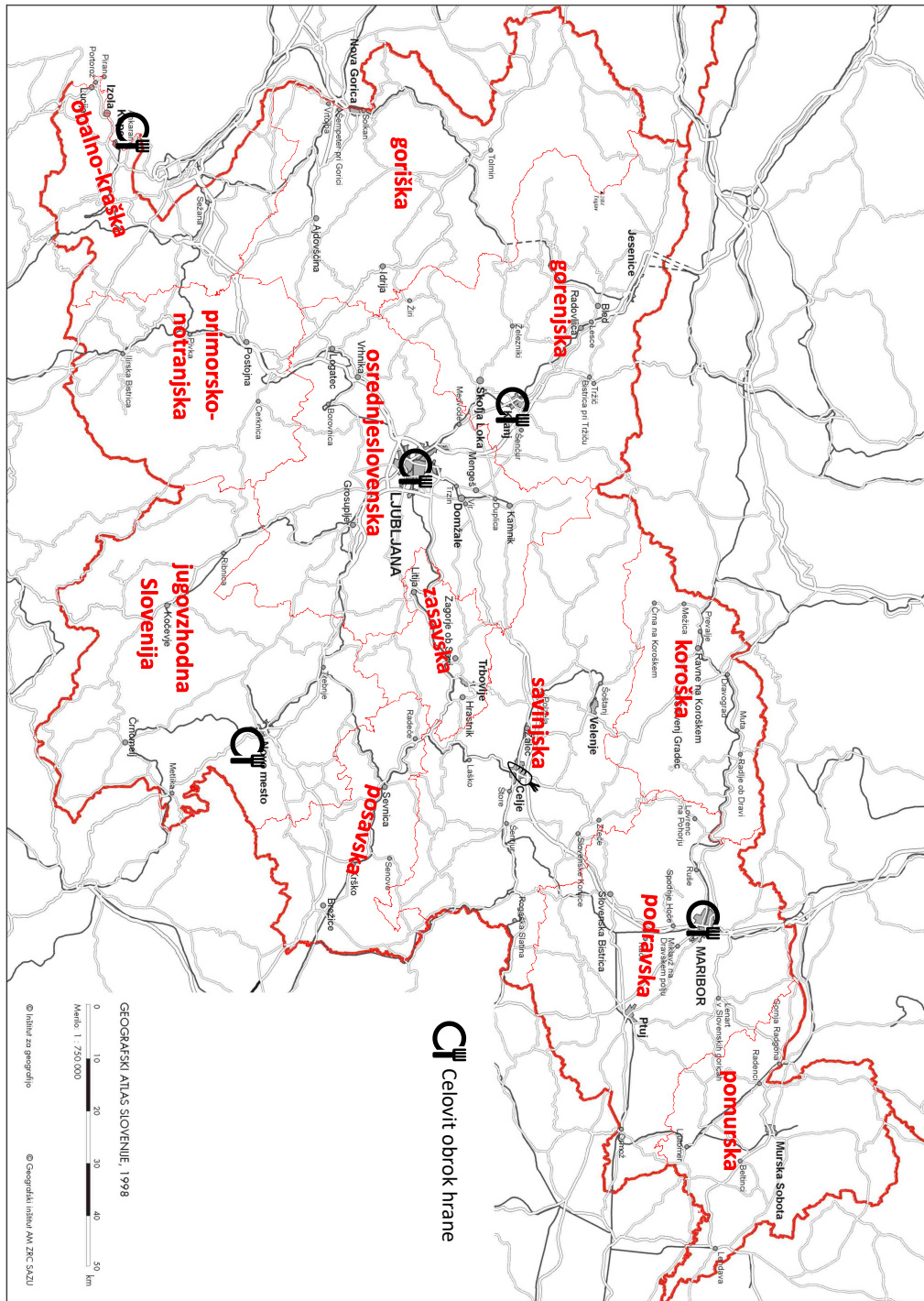
Slika 5.13 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v zelenjavi od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev brez gob).

5.4 Krmila

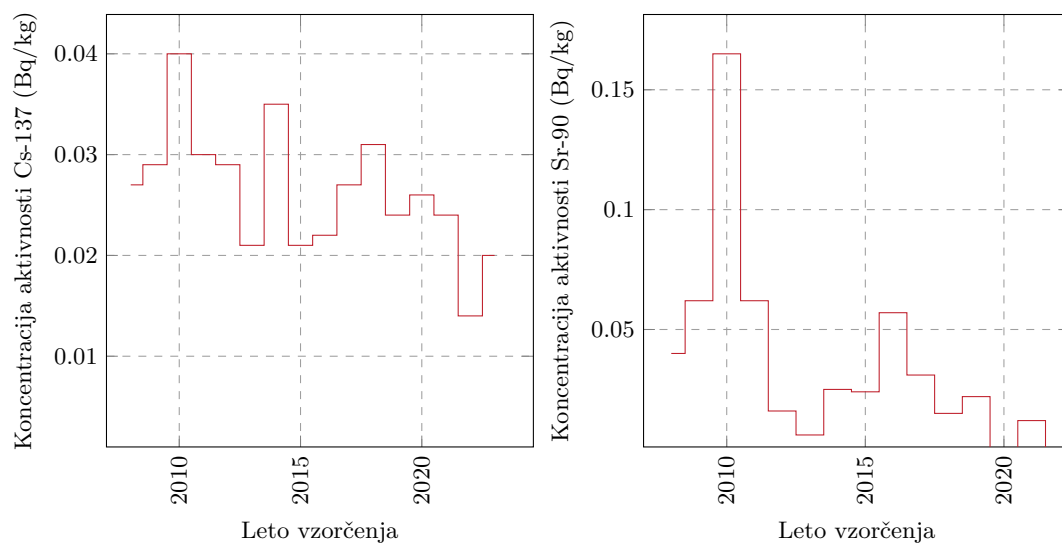
V preteklem letu smo vzorčili in analizirali deset vzorcev krme:

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

Lokacije vzorčenja (Žirovski vrh, Ljubljana (2x), Pivka, Nova Štifta, Vihre, Ihan,



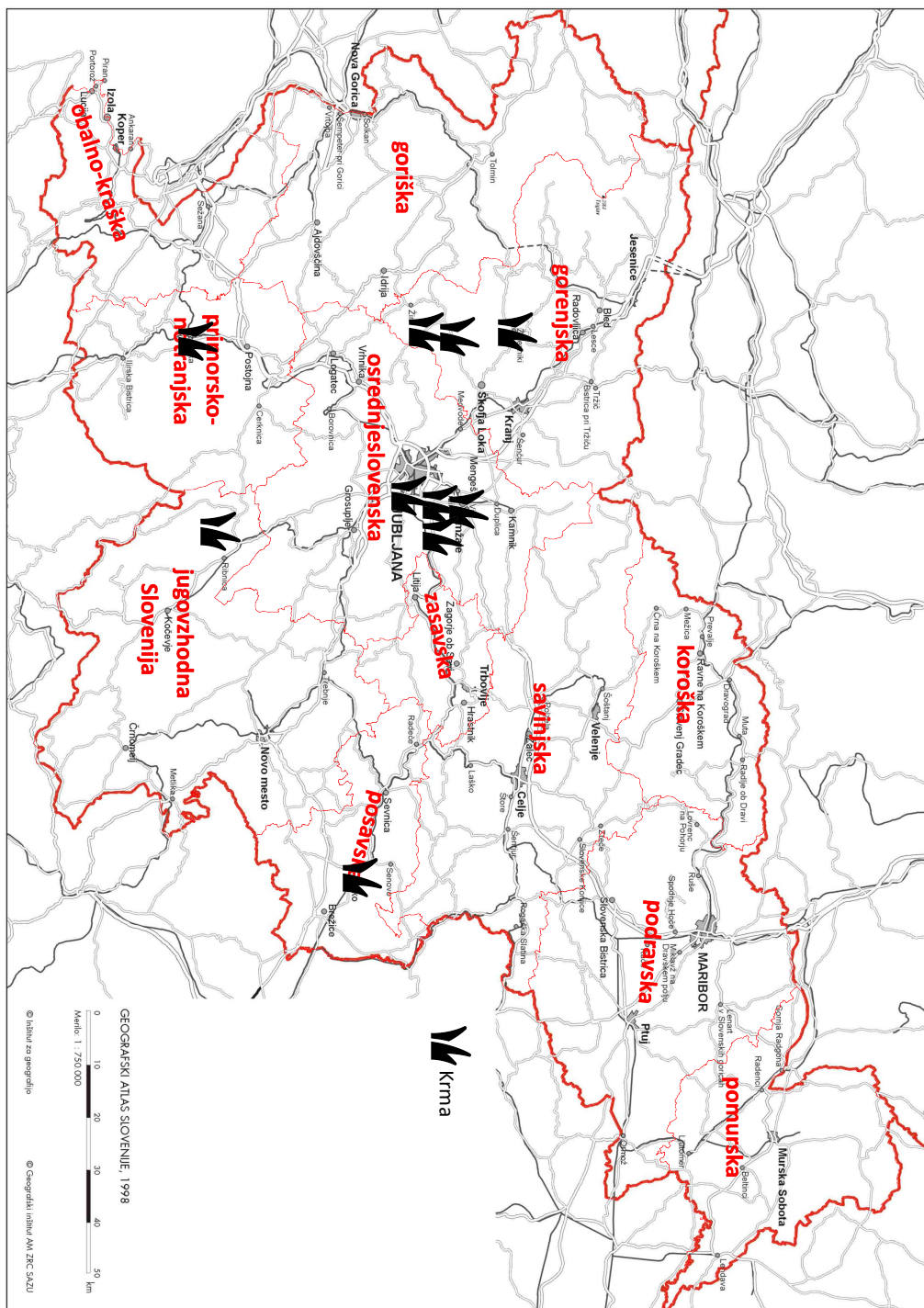
Slika 5.14 | Lokacije vzorčenja vzorcev celovitega obroka otrok.



Slika 5.15 | Povprečne letne koncentracije aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v obrokih otroške hrane od leta 2008 dalje (povprečje vseh vzetih vzorcev).

Gorenja Dobrava, Železniki, Dol pri Ljubljani) so prikazane na zemljevidu na sliki 5.16.

Rezultati meritev so prikazani v poglavju 8 v tabeli 8.38. Povprečna koncentracija aktivnosti Cs-137 je $0,78 \pm 0,03$ Bq/kg in Sr-90 $1,95 \pm 0,04$ Bq/kg.



Slika 5.16 | Lokacije vzorčenja vzorcev krme.

Osnovne enačbe

Uporabljeni podatki in predpostavke

- Umetni radionuklidi
- Naravni radionuklidi
- Starostne skupine
- Prehranjevalne predpostavke
- Privzete koncentracije aktivnosti

Doza zaradi ingestije in inhalacije

- Ingestija
- Inhalacija
- Naravni radionuklidi (informativno)
- Prispevki posameznih vrst hrane
- Prispevki posameznih izotopov

Doza zaradi zunanjega sevanja

Skupna ocena doze

6 — Ocena prejetih doz sevanja

6.1 Osnovne enačbe

Na podlagi meritev prikazanih v tabelah od 8.4 do 8.38 v poglavju 8 smo v prejšnjih poglavjih analizirali dobljene rezultate. V nadaljevanju tako ocenjujemo doze posameznikov iz prebivalstva, ki so izpostavljeni sevanju zaradi dolgoživih umetnih radionuklidov, ki so posledica bodisi jedrskih bombnih poskusov v preteklosti bodisi jedrskih nesreč z velikimi izpusti (Černobil in Fukušima). Oceno doz smo izvedli samo za umetne radionuklide in ocenili njihov dodatni prispevek k izpostavljenosti prebivalstva poleg siceršnje izpostavljenosti naravnim radionuklidom (le-te tu ne ocenjujemo).

Efektivno dozo sevanja, E , za posameznika iz starostne skupine prebivalstva, g , sestavljata efektivna doza zaradi zunanjega obsevanja zaradi radioaktivnega useda v zemlji¹, 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) ter vode, E_{ing} , in drugi predvidena efektivna doza zaradi vdihavanja radioaktivnih plinov in aerosolov (inhalacija), E_{inh} . Prenosne poti izpostavljenosti so shematsko prikazane na sliki 6.2. Efektivna doza E je torej

$$E = E_z + E_{ing} + E_{inh} \quad (6.1)$$

V pričujočem poročilu ocenjujemo dozo za posameznike iz prebivalstva različnih starostnih skupin (dojenčki, otroci, odrasli) in različnega življenjskega okolja, mestno (urbano) ali podeželsko (ruralno), kot je opisano v nadaljevanju v poglavju 6.2. Mesto je načeloma večje urbano naselje, ki se po velikosti, gospodarski sestavi, gostoti naseljenosti in zgodovinskem razvoju razlikuje od drugih naselij, ima več kot 3.000 prebivalcev ter status mesta dobi z odločitvijo vlade. Če upoštevamo pogoj števila prebivalcev po naseljih, iz podatkov SURS [105] v grobem ocenimo, da je v Sloveniji 44% mestnega prebivalstva, 56% pa podeželskega, zato je takšno ločevanje življenjskega okolja smiselno.

Zunanje obsevanje.

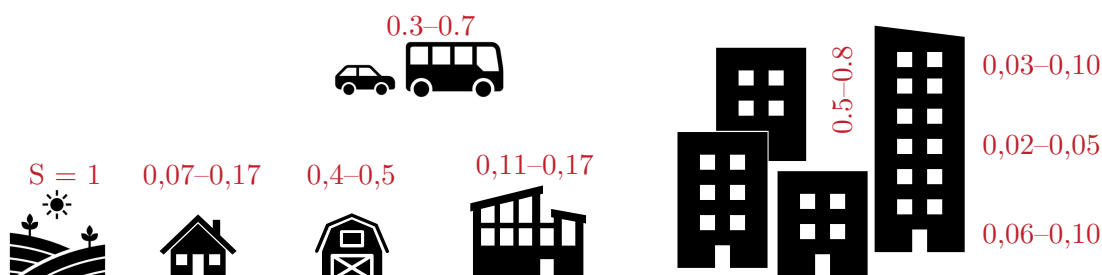
Efektivna doza zaradi zunanjega obsevanja, E_z , je vsota dveh prispevkov, prvi je enak produktu hitrosti osebne ekvivalenta doze zunanjega sevanja, $\dot{H}_p(10)$ (v $\mu\text{Sv/h}$), času zadrževanja na prostem, T_z (v urah), in redukcijskem faktorju zaradi ščitjenja na prostem,

¹imerzijo v zraku lahko zanemarimo

S_z , drugi pa je enak produktu hitrosti osebnega ekvivalenta doze zunanjega sevanja, $\dot{H}_p(10)$ (v $\mu\text{Sv/h}$), času zadrževanja v bivalnem okolju T_n in redukcijskem faktorju zaradi ščitenja v notranjosti stavb S_n

$$E_z = \dot{H}_p(10) \cdot T_z \cdot S_z + \dot{H}_p(10) \cdot T_n \cdot S_n \quad (6.2)$$

Redukcijski faktor zaradi ščitenja, S_i , predstavlja razmerje med nivojem sevanja zaradi sevanja radioaktivnosti okoliške zemljine v notranjosti zgradb in t.i. referenčnim nivojem na velikih (načeloma neskončnih) površinah na prostem. Faktorji zaradi ščitenja so odvisni od vrste zgradbe (eno- ali dvonadstropna samostojna hiša, vrstna hiša, večnadstropne zgradbe...), od uporabljenega materiala (betonske zidane hiše, lesena gospodarska poslopja), debelin materiala, površin oken, velikosti oziroma tlorisa etaže, bližine drugih zgradb ipd. Shematsko so faktorji zaradi ščitenja zgradb, kar jih je moč najti v literaturi [106–108], prikazani na sliki 6.1. Da bi privzeli ustrezne faktorje zaradi ščitenja v bivalnih prostorih V Sloveniji po podatkih popisa prebivalstva iz leta 2011 [109] je bilo enostanovanjskih stavb 53,5%, dvostanovanjskih stavb 7,0% in tro- ali več stanovanjskih stavb 36,4%. Z veliko gotovostjo na ruralnih območjih najdemo skoraj izključno samostojne hiše z enim ali dvema stanovanjema, po podatkih iz literature, ki so prikazani tudi na sliki 6.1, privzamemo srednji redukcijski faktor zaradi ščitenja, $S_{n,rur}$, 0,12. Za urbana območja lahko v grobem ocenimo, da je 2/3 stanovanjskih stavb z več stanovanji s srednjim redukcijskim faktorjem zaradi ščitenja 0,05, 1/3 pa v samostojnih hišah s srednjim redukcijskim faktorjem zaradi ščitenja 0,12. Z uteženim povprečjem tako privzamemo srednji redukcijski faktor zaradi ščitenja, $S_{n,urb}$, 0,07. Na



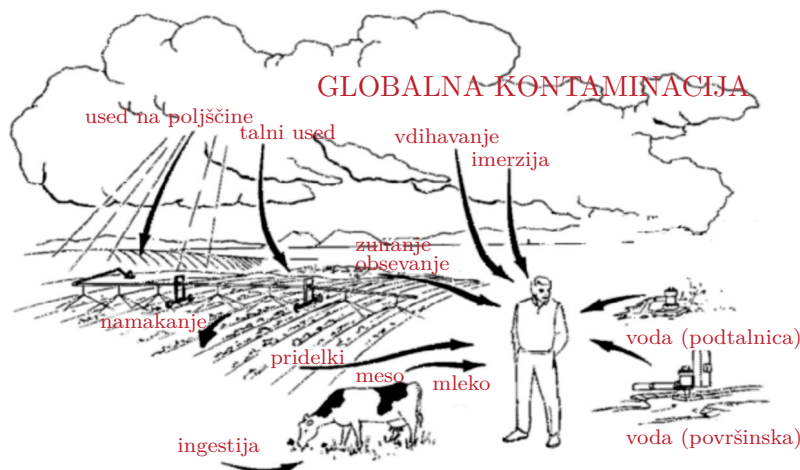
Slika 6.1 | Shematski prikaz faktorja zaradi ščitenja glede na različno vrsto zgradb.

prostem izven urbanih naselij za prebivalce na deželi, kjer v bližini ni stavb, ki bi ščitile okoliško sevanje, je faktor zaradi ščitenja, $S_{z,rur}$, praktično 1, v urbanih predelih za mestno populacijo pa zgradbe poskrbijo za določeno mero ščitenja, zato za faktor zaradi ščitenja, $S_{z,urb}$, privzamemo faktor zaradi ščitenja 0,8, saj gostota gradenj v Sloveniji ni zelo velika kot na primer v kakšnih evropskih velemestih. Zaradi preglednosti ne upoštevamo dodatnih redukcijskih faktorjev zaradi ščitenja med vožnjo ali za čas prebit na delovnem mestu.

Glede zadrževalnega časa se običajno upošteva celotno število ur v tekočem letu, T , pri čemer je delež zadrževanja na prostem, T_n , oziroma v bivalnem okolju, T_n , tipično 0,2 oziroma 0,8 [110]. Takšne faktorje upoštevamo pri naših izračunih za urbana področja ($T_{z,urb}$, $T_{n,urb}$), za ruralna področja pa zaradi več opravil na prostem upoštevamo faktorja 0,3 oziroma 0,7 ($T_{z,rur}$, $T_{n,rur}$), kar zapišemo

$$E_{z,urb} = \dot{H}_p(10) \cdot T \cdot (0,2 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,07) \quad (6.3)$$

$$E_{z,rur} = \dot{H}_p(10) \cdot T \cdot (0,3 \cdot 1 + 0,7 \cdot 0,12) \quad (6.4)$$



Slika 6.2 | Shematski prikaz prenosnih poti za notranje in zunanje obsevanje.

Ingestija.

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,

$$E_{ing} = \sum_j h(g)_{j,ing} A_{j,ing} \quad (6.5)$$

kjer je vnese aktivnost zaradi ingestije, $A_{j,ing}$, enaka produktu koncentracije 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 ,

$$E_{ing} = \sum_j c_{i,j,ing} m_i \quad (6.6)$$

Inhalacija.

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,

$$E_{inh} = \sum_j h(g)_{j,inh} A_{j,inh} \quad (6.7)$$

kjer je vnese aktivnost zaradi inhalacije, $A_{j,inh}$, enaka produktu koncentracije 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),

$$A_{j,inh} = c_{j,inh} \Phi T \quad (6.8)$$

6.2 Uporabljeni podatki in predpostavke

Oceno efektivnih doz sevanja zaradi vnosa radionuklidov, ki so posledica jedrskih bombnih poskusov v preteklosti in černobilske nesreče, v organizem s prehranjevanjem in vdihavanjem ter zaradi zunanjih doz za posamezne starostne skupine (dojenčki do enega

leta starosti; otroci, stari od 7 do 12 let in odrasli, starejši od 17 let) smo naredili na podlagi rezultatov meritev koncentracij aktivnosti v vzorcih hrane, zraka in pitne vode. Meritev zunanjih doz gama sevanja s TL dozimetri ne upoštevamo, saj zaradi večje merilne negotovosti ne moremo izluščiti prispevka naravnega ozadja od prispevka dolgoživih radionuklidov zaradi jedrskih poskusov in nesreče v Černobilu. Rezultati so podani v μSv .

6.2.1 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 in kjer so doze analizirane v pripadajočih poročilih [53].

6.2.2 Naravni radionuklidi

Doze za K-40 ne podajamo, saj dozimetrični modeli upoštevajo, da se nahaja K-40 v organizmu v homeostatskem ravnovesju, zato bi bili izračuni doz za ta izotop nerealni. Ocenili smo tudi efektivno dozo zaradi vnosa drugih naravnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo, vendar smatramo, da je število meritev premajhno in nereprezentativno, da bi lahko dobili prave povprečne vrednosti koncentracij 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 koncentracij 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 pretvorbenega doznega faktorja.

6.2.3 Starostne skupine

Do leta 2003 se je ocenjevala efektivna doza za dve starostni skupini, in sicer za otroke do 5 let in odrasle. Na podlagi pravilnika SV5 [3] se ocenjujejo efektivne doze za tri starostne skupine, in sicer dojenčke do enega leta starosti, otroke stare od 7 do 12 let in odrasle.

6.2.4 Prehranjevalne predpostavke

Po podatkih kuhinje Pediatrične klinike v Ljubljani (marec 2005) popijejo dojenčki do šestega meseca od 0,6–1,0 litra mleka na dan (v obliki adaptiranega kravjega mleka, če niso dojeni). 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 navedeni v tabeli 6.1.

Za otroke od 7 do 12 let smo upoštevali podatke IAEA (za Nemčijo), tabela III [111], 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 zadnje dostopne podatke Statističnega urada RS, in sicer za zadnjih 5 let zbranih podatkov² [112] (do leta 2018 smo uporabljali fiksne podatke za leto 2004 [113]). V primeru odraslih smo poleg statističnega povprečja upoštevali dve referenčni skupini prebivalstva, živčih v urbanem in ruralnem območju, ki imajo

²zadnji dostopni podatki SURS so do leta 2018

hipotetično različne prehranjevalne navade (za ti dve skupini so količine arbitrarno popravljene, kjer v mestih upoštevamo 10% manjšo porabo sadja in zelenjave ter mleka, na podeželju pa 10% večjo porabo teh živil), dodatno je zanje privzet tudi različen delež časa zadrževanja na prostem ali v zaprtih prostorih (kot je opisano v podpoglavju 6.4 in tabeli 6.5)

Privzete količine zaužite hrane in vode v enem letu so podane v tabeli 6.1.

Tabela 6.1 | Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine

Starostna skupina	Povprečna količina zaužite hrane v enem letu (kg)							(m ³)
	zelenjava ¹	sadje ²	moka ³	meso ⁴	mleko _{LJ}	mleko _{KO}	mleko _{BB}	
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	85,9	86,4	56,6	52,6	54,3	54,3	54,3	0,750
v mestu	77,3	77,7	56,6	52,6	48,9	48,9	48,9	0,750
na podeželju	94,5	95,0	56,6	52,6	59,7	59,7	59,7	0,900

¹ zelenjava vseh vrst ² sadje vseh vrst; sadni sokovi ³ riž; kruh in drugi pekovski izdelki; testenine in kuskus; moka vseh vrst, kosmiči in zdrob ⁴ meso in mesni izdelki; ribe (sveže in zamrznjene); jajca

Zaradi lokalnih posebnosti zaradi povišanih vrednosti Cs-137 kot posledica useda izpustov med černobilsko nesrečo 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 6.3, kjer so posamezne podmnožice prebivalstva Slovenije označene z oznakami od A1 do E3 in za odrasle referenčne skupine zelo arbitrarno prikazane na zemljevidu Slovenije (prebivalci nimajo zelo ozkih prehranjevalnih navad).

6.2.5 Privzete koncentracije aktivnosti

Povprečne vrednosti koncentracij aktivnosti umetnih radionuklidov – Cs-137, Sr-90 in H-3 – v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2023 so predstavljene v tabeli 6.2. Podatke za naravni radionuklid Pb-210 zgolj zaradi primerjave podajamo le informativno.

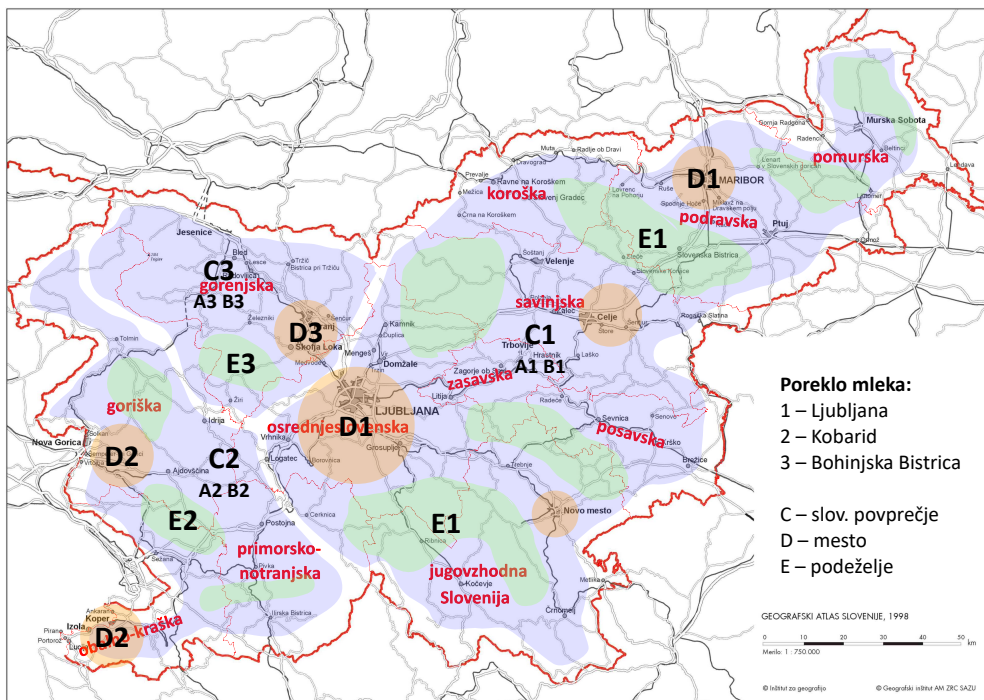
Tipično v povprečju za meso, sir in ostala živila živalskega izvora ne upoštevamo vrednosti za nekatero divjačino, v povprečju za sadje vrednosti za gozdne sadeže in v povprečju za zelenjavo vrednosti za gobe, v kolikor te vrednosti odstopajo od vrednosti siceršnjih vzorcev za en ali več velikostnih redov, saj teh živil povprečni prebivalec relativno malo zaužije v celotni prehrani, v samem povprečju koncentracij 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.

6.3 Doza zaradi ingestije in inhalacije

Pri oceni učinkovite doze zaradi vnosa z ingestijo smo upoštevali enačbi 6.3 in 6.5, podatke o količini zaužite hrane za različne starostne skupine iz tabele 6.3 in povprečne vrednosti koncentracij aktivnosti radionuklidov v različnih vrstah hrane in pitne vode iz tabele 6.2, pri mleku smo upoštevali koncentracije 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

	Dojenčki Povprečje	Otroci Povprečje	Odrasli Povprečje	Mesto	Podeželje
Ljubljana	A1	B1	C1	D1	E1
Kobarid	A2	B2	C2	D2	E2
Bohinjska Bistrica	A3	B3	C3	D3	E3



Slika 6.3 | Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije bodisi prehranjevalnih navad.

Cs-137 kot posledico černobilske nesreče. Upoštevali smo dozne pretvorbene faktorje iz uredbe UV2 oziroma zbirke ICRP 119 [4, 10].

6.3.1 Ingestija

V tabeli 6.3 so prikazane učinkovite doze zaradi ingestije posamezne vrste hrane in vode ter zaradi inhalacije dolgoživih černobilskih cepitvenih produktov – Cs-137 in Sr-90 (vpliv H-3 je zanemarljiv) – za dojenčke do 1 leta, otroke od 7 do 12 let in za odrasle za umetne radionuklide v hrani. Doza za odraslega prebivalca je v letu 2023 ocenjena na

Tabela 6.2 | Povprečne koncentracije aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 ter H-3 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2023

Izotop	Privzete koncentracije aktivnosti vzorcev (Bq/kg)							(Bq/m ³)	(mBq/m ³)
	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko _{LJ}	mleko _{KO}	mleko _{BB}	voda	zrak
Cs-137	0,000	0,037	0,030	0,153	0,046	0,053	0,028	0,009	2,0E-03
Sr-90	0,031	0,013	0,011	0,051	0,010	0,007	0,006	0,707	0
H-3	0	0	0	0	0	0	0	531	0
Pb-210	0,171	0,122	0,250	0,000	0,170	0,137	0,146	2,684	0,587

Pb-210 – le informativno

0,4 ± 0,2 μSv, za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz omenjene tabele.

Efektivne doze v letu 2023 zaradi ingestije so primerljive s prejšnjimi leti (od 2003 dalje). V letu 2008 je opazna rahlo višja ocenjena vrednost, ki je posledica predvsem višje povprečne vrednosti Sr-90 v izbranih vzorcih zelenjave. V letu 2013 smo posodobili podatke o prehrani odraslih, kjer smo našli najnovejše podatke objavljene v letu 2006 [113], a se ti ne razlikujejo bistveno od starih. V letu 2019 smo ponovno posodobili podatke o prehrani [112]³, kjer so opazne razlike, predvsem manjše zaužite količine določenih vrst hrane. Zato je v letu 2023 v okviru statističnih odstopanj izbire in vzorčenja hrane pričakovano nižja ocenjena doza kot v letih pred 2019.

6.3.2 Inhalacija

Doze zaradi inhalacije dobimo ob upoštevanju koncentracij radionuklidov v zraku, izmerjenih v Ljubljani. Ocenjene efektivne doze zaradi inhalacije so za vse tri starostne skupine iz prebivalstva, dojenčke do enega leta, otroke od 7 – 12 let oziroma odrasle podobne kot v prejšnjih letih, in sicer **0,05 nSv**, **0,07 nSv** oziroma **0,09 nSv**. Izjema je leto 2017, ko so bile doze bistveno višje od prejšnjih let zaradi vdihavanja radioaktivnega oblaka z Ru-106 [114], in sicer $0,11 \pm 0,08 \mu\text{Sv}$, je pa bil takratni prispevek Cs-137 k tej dozi primerljiv z ostalimi leti. V letu 2020 je zaradi gozdnega požara v izključitveni coni okrog jedrske elektrarne v Černobilu bilo v prvi polovici aprila zaznano rahlo višja koncentracija Cs-137 v zraku, vendar to na letnem nivoju zanemarljivo prispeva k dozi.

6.3.3 Naravni radionuklidi (informativno)

Za naravne radionuklide v tabeli 6.4 le informativno podajamo efektivno dozo samo zaradi ingestije in inhalacije Pb-210, ki ima velik dozni pretvorbeni faktor. Najvišja vrednost je za dojenčke do enega leta starosti in znaša **372 μSv**, za otroke od 7 do 12 let znaša **94 μSv** in za odrasle **43 μSv**, kjer upoštevamo ingestijo mleka v Ljubljani.

6.3.4 Prispevki posameznih vrst hrane

Na sliki 6.4 smo za primer vnosa ljubljanskega mleka analizirali relativne prispevke posameznih vrst hrane, vode in zraka k skupni dozi zaradi ingestije in inhalacije. Pri dojenčkih k dozi zaradi specifične prehrane prevladuje prispevek mleka (več kot polovico). Pri otrocih oziroma odraslih v letu 2023 prevladuje prispevek mesa – posamezni prispevki k dozi delno variirajo z leti in je predvsem statistična posledica izbire različnih vzorcev po različnih lokacijah v Sloveniji.

³na portalu SURS so zadnje podatki na voljo iz leta 2018

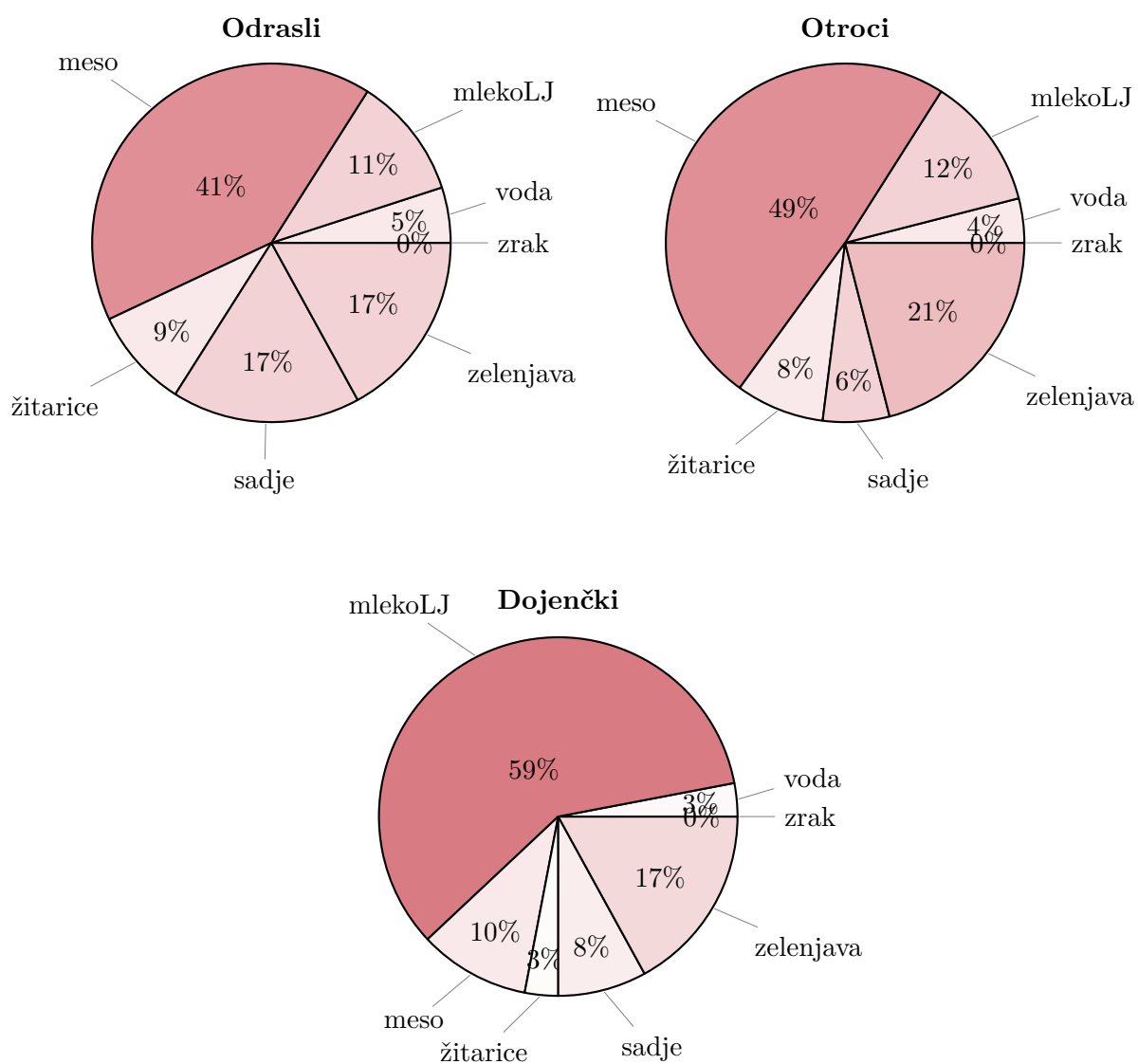


Tabela 6.3 | Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije umetnih radionuklidov za različne skupine prebivalstva v letu 2023.

vrsta vzorca										
	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko _{LJ}	mleko _{CO}	mleko _{BB}	voda	zrak	
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - dojenčki (μSv)									
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - dojenčki (μSv)									
Cs-137	0,00	0,01	0,00	0,01	0,10	0,12	0,06	3,26E-05	5,40E-05	
Sr-90	0,16	0,07	0,03	0,09	0,48	0,32	0,26	2,68E-02	0,00E+00	
H-3	0	0	0	0	0	0	0	5,61E-03	0,00E+00	
Skupaj	0,16±0,12	0,08±0,04	0,03±0,01	0,10±0,04	0,58±0,19	0,44±0,11	0,32±0,23	0,03±0,02	5,4E-5±4,0E-5	
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - otroci (μSv)									
Cs-137	0,00	0,01	0,02	0,11	0,03	0,04	0,02	4,37E-05	7,44E-05	
Sr-90	0,14	0,03	0,04	0,22	0,05	0,03	0,03	1,97E-02	0	
H-3	0	0	0	0	0	0	0	5,68E-03	0	
Skupaj	0,14±0,11	0,04±0,02	0,05±0,01	0,33±0,12	0,08±0,02	0,07±0,01	0,05±0,02	0,03±0,02	7,4E-5±5,5E-5	
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - splošno (μSv)									
Cs-137	0,00	0,04	0,02	0,10	0,03	0,04	0,02	9,17E-05	8,83E-05	
Sr-90	0,07	0,03	0,02	0,08	0,02	0,01	0,01	1,48E-02	0	
H-3	0	0	0	0	0	0	0	7,17E-03	0	
Skupaj	0,07±0,06	0,07±0,03	0,04±0,01	0,18±0,07	0,05±0,01	0,05±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	8,8E-5±6,5E-5	
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - urbano okolje (μSv)									
Cs-137	0,00	0,04	0,02	0,10	0,03	0,03	0,02	9,17E-05	8,83E-05	
Sr-90	0,07	0,03	0,02	0,08	0,01	0,01	0,01	1,48E-02	0,00E+00	
H-3	0	0	0	0	0	0	0	7,17E-03	0,00E+00	
Skupaj	0,07±0,05	0,07±0,02	0,04±0,01	0,18±0,07	0,04±0,01	0,04±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	8,8E-5±6,5E-5	
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - ruralno okolje (μSv)									
Cs-137	0,00	0,05	0,02	0,10	0,04	0,04	0,02	9,17E-05	8,83E-05	
Sr-90	0,08	0,04	0,02	0,08	0,02	0,01	0,01	1,48E-02	0,00E+00	
H-3	0	0	0	0	0	0	0	7,17E-03	0,00E+00	
Skupaj	0,08±0,07	0,08±0,03	0,04±0,01	0,18±0,07	0,05±0,01	0,05±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	8,8E-5±6,5E-5	

Tabela 6.4 | Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije Pb-210 (le informativno) za različne skupine prebivalstva v letu 2023.

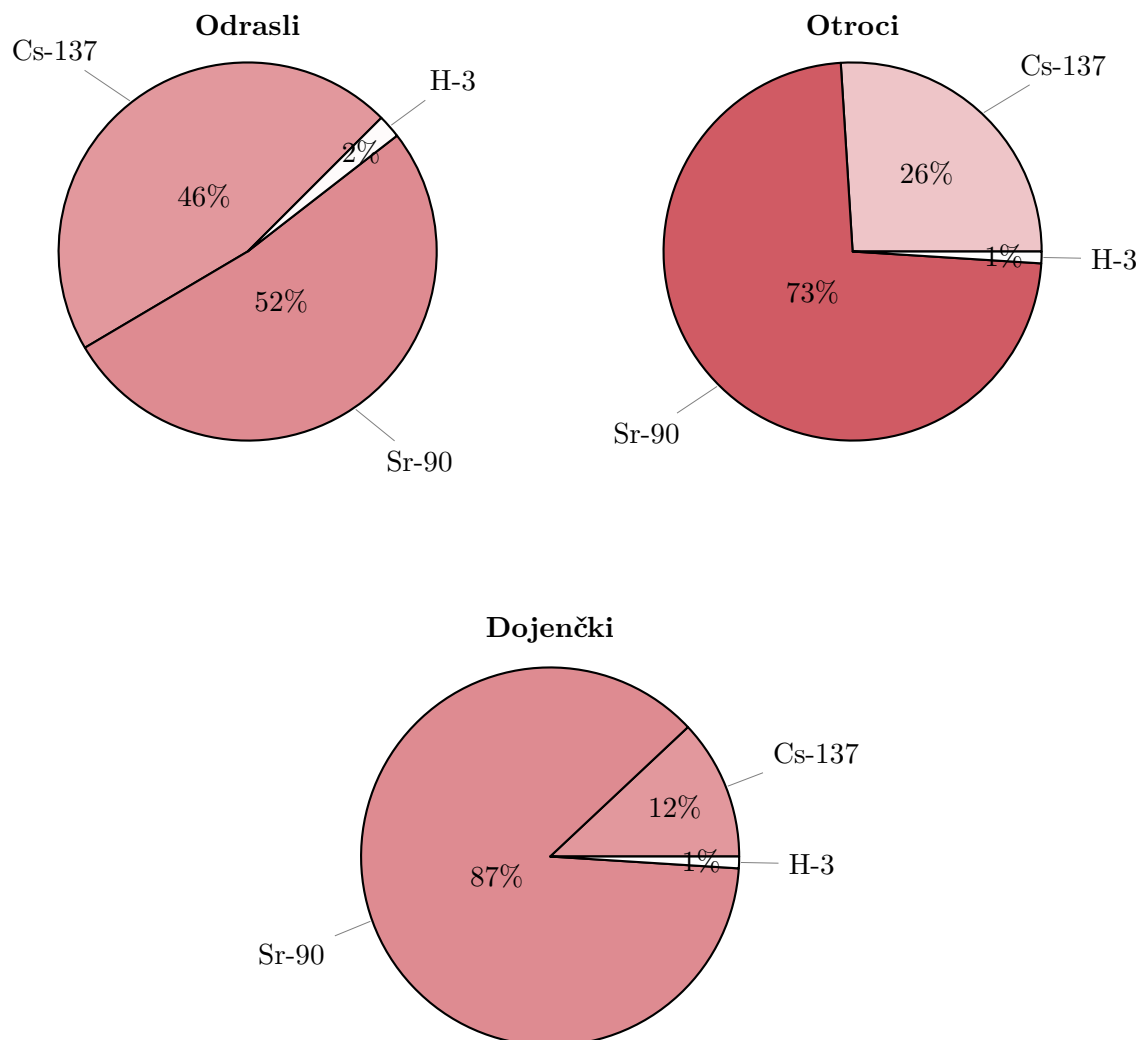
	zelenjava	sadje	moka	meso	vrsta vzorca					voda	zrak	skupaj ingestija	skupaj ing. in inh.
					mleko _{LJ}	mleko _{GO}	mleko _{BB}	dojenčki (μSv)					
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - dojenčki (μSv)												
Pb-210	32,3	23,1	23,1	0,0	284,5	229,7	244,6	3,7	5,7	366,8	372,4		
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - otroci (μSv)												
Pb-210	24,8	8,7	26,5	0,0	23,6	19,0	20,3	3,7	6,5	87,3	93,8		
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - splošno (μSv)												
Pb-210	10,1	7,3	9,8	0,0	6,4	5,1	5,5	1,4	7,6	34,9	42,5		
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - urbano okolje (μSv)												
Pb-210	9,1	6,6	9,8	0,0	5,7	4,6	4,9	1,4	7,6	32,6	40,1		
Izotop	Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - ruralno okolje (μSv)												
Pb-210	11,1	8,0	9,8	0,0	7,0	5,7	6,0	1,4	7,6	36,3	43,9		



Slika 6.4 | Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).

6.3.5 Prispevki posameznih izotopov

Če primerjamo prispevke po posameznih izotopih, k dozi največ prispeva Sr-90, delež H-3 je zelo majhen (pod 1%), preostalo gre na račun Cs-137. Prispevek Sr-90 k dozi zaradi ingestije in inhalacije za dojenčke znaša v letu 2023 ~87%, za otroke ~73% in za odrasle ~52%, kot je tudi prikazano na sliki 6.5.



Slika 6.5 | Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko)

6.4 Doza zaradi zunanjega sevanja

Povprečni letni okoliški ekvivalent doze $H^*(10)$ zaradi zunanjega sevanja v letu 2023 je bil $854 \mu\text{Sv}$. Ker je ocena črnobilske doze zunanjega sevanja na osnovi meritev TL dozimetров zelo konservativna, sploh ker sedaj glavnino k dozi prispevajo nramni radionuklidi, in ker je negotovost podatkov izmerjenih pred letom 1986 velika, smo ocenili dozo zunanjega sevanja umetnih radionuklidov s pomočjo globinske porazdelitve črnobilskega Cs-137 v zemlji [115]. Izotop Cs-137 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 [116].

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 redukcijske faktorje zaradi ščitenja v zaprtih prostorih ali na prostem (v mestih večje ščitenje in nižji faktorji, na deželi manjše ščitenje in višji faktorji - glej tabelo 6.5 in pojasnila v poglavju 6.1 s sliko 6.1), zato analiziramo doze za več referenčnih skupin, med drugim tudi za ruralno oziroma urbano območje.

Tabela 6.5 | Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja

Lokacija	delež časa zadrževanja		redukcijski faktor ščitenja	
	v notranjosti	zunaj	v notranjosti	zunaj
slovensko povprečje	0,8	0,2	0,10	0,9
urbana področja	0,8	0,2	0,07	0,8
ruralna področja	0,7	0,3	0,12	1

V tabeli 6.7 so prikazane izračunane efektivne doze prejete zaradi zunanjega obsevanja zaradi črnobilskega Cs-137 v zemlji (prispevek globalne kontaminacije zaradi jedrskih poskusov in fukušimske nesreče je zanemarljiv). Doza za odraslega prebivalca Slovenije je v letu 2023 ocenjena na $1,7 \pm 0,1 \mu\text{Sv}$, za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz tabele 6.7. Doza v letih 2023, 2022 in 2021 je nižja od vrednosti preteklih let predvsem zaradi izračuna iz koncentracij aktivnosti Cs-137 v zemlji, kjer močno vpliva mikrolokacija vzorčenja, kot je opisano v poglavju 4.1.1. 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 konservativni, saj temeljijo na naravnih radionuklidih K-40, Th-232 in U-238, 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 za pretekla leta je prikazana v tabeli 6.6, kjer so vrednosti primerljive med sabo po letih. Drugačni oceni doze v letih 2006 in 2008 sta posledica druge lokacije vzorčenja zemlje v Ljubljani in vzorčevalca, kot je bila pred letom 2006 in nato ponovno v 2007. V vseh teh letih je bilo mesto odvzema vzorcev na lokaciji ob Cesti dveh cesarjev, v letih 2006 in 2008 je bila lokacija vzorčenja na Reaktorskem izobraževalnem centru v Podgorici. Od leta 2009 dalje je lokacija ponovno ob Cesti dveh cesarjev. Koncentracije 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 globlin na posameznih lokacijah. Zato smo ocenili tudi dozo zunanjega sevanja na dveh ostalih lokacijah z lokalno višjimi vrednostmi Cs-137 - Kobarid in Bohinjska Bistrica (za slednjo privzamemo enako vrednost kot za Kobarid, saj tam zemlje ne vzorčimo). Rezultati prejetih letnih doz za vse referenčne skupine, prikazane na sliki 6.3, so navedene v tabeli 6.7.

6.5 Skupna ocena doze

Na osnovi povprečne vrednosti koncentracij aktivnosti dolgoživih umetnih radionuklidov v vzorcih zraka, vode in hrane, odvzetih v letu 2023, povprečnem letnem vnosu posameznih

Tabela 6.6 | Ocenjene doze zaradi zunanjega obsevanja odraslih prebivalcev v preteklih letih

Leto	Doza (μSv)	Leto	Doza (μSv)	Leto	Doza (μSv)
2000	53,7*	2010	7,8	2020	5,9
2001	50*	2011	7	2021	2,4
2002	6,9	2012	7,7	2022	2,1
2003	6,5	2013	6,2	2023	1,7
2004	6,5	2014	6,4		
2005	4,8	2015	6		
2006	1,45	2016	6,1		
2007	4,8	2017	5,5		
2008	6,7	2018	4,7		
2009	7,6	2019	5,6		

* ocena doze izdelana po drugi metodologiji (iz odčitkov TL dozimetrom)

vrst hrane in pitne vode ter ob upoštevanju doznih pretvorbenih faktorjev v uredbi UV2 [4] smo ocenili pričakovano efektivno dozo:

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

Izračun efektivnih doz smo naredili za različne referenčne skupine prebivalstva (slika 6.3), ki odražajo starostne skupine splošnih predstavnikov prebivalstva, kakor tudi specifične skupine bodisi zaradi lokalnih posebnosti, načinov prehranjevanja, bivanja ipd. Aktivnosti, zaužite s prehrano in vnesene v telo z dihanjem, ocenimo na podlagi izmerjenih vzorcev v preteklem letu. To pomeni, da lahko koncentracije aktivnosti v različnih vzorcih bistveno variirajo. Za izračun doz uporabimo metodologijo in enačbe predstavljene v poglavju 6.1, pri čemer za vhodne podatke uporabimo statistično obdelane vrednosti oziroma povprečne vrednosti aktivnosti z določeno negotovostjo oziroma standardno deviacijo ensambla vrednosti ($a \pm \sigma_a$). Izračun prejetih doz opravimo tako s povprečnimi vrednostmi, ki odraža realno oceno, za primerjavo pa izračun opravimo še za t.i. *zgornjo mejo doze* oziroma *najvišjo pričakovano dozo*, kjer na ta način pokrijemo $\sim 95\%$ vseh možnih primerov (95% verjetnost, da doza posameznika iz prebivalstva ne preseže te izračunane vrednosti). 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.

Rezultati ocenjenih doz za preteklo leto so prikazani v tabeli 6.7.

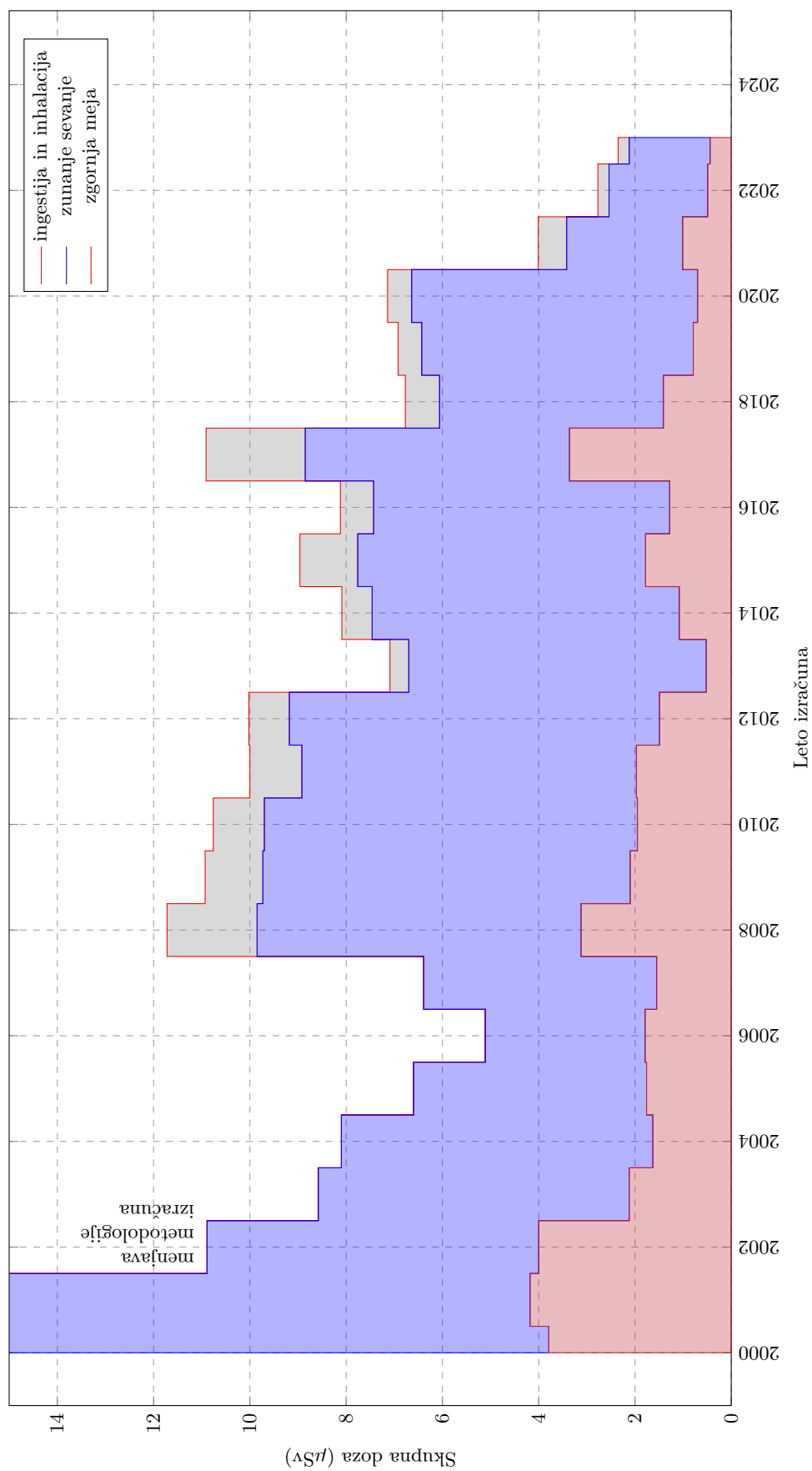
Skupna efektivna doza oziroma zgornja meja za odrasle zaradi vnosa umetnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo ter zaradi zunanjega obsevanja tal znaša **2,1 μSv oziroma $< 2,3 \mu\text{Sv}$** na leto za odrasle, **2,6 μSv oziroma $< 3,0 \mu\text{Sv}$** na leto za otroke od 7. do 12. leta starosti in **3,2 μSv oziroma $< 3,8 \mu\text{Sv}$** na leto za dojenčke. V hrani večji del doze prispeva Sr-90, k zunanjemu sevanju pa k dozi največ prispeva Cs-137. V letu 2023 je k dozi zaradi inhalacije največ prispeval Cs-137.

Na sliki 6.6 je prikazana časovna odvisnost ocenjenih efektivnih doz za odraslega prebivalca Slovenije za obdobje od leta 2000 dalje. Na grafu je prikazana ločena doza zaradi prispevkov ingestije in inhalacije oziroma zunanjega sevanja. Padec doze zunanjega obsevanja v letu 2002 je posledica spremenjene metodologije vrednotenja doz. Do leta 2001 se je namreč dozo zunanjega sevanja zaradi črnobilske kontaminacije ocenjevalo iz odčitkov TL dozimetrom, kar je bilo obremenjeno z veliko negotovostjo meritve (ocenjeni vrednosti dozi zunanjega sevanja sta znašali 53,7 μSv in 50,0 μSv v letih 2000 in 2001).



Tabela 6.7 | Obseвна obremenitev prebivalstva v letu 2023 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi umetnimi radionuklidi – pregledna zbirna tabela

Prejeta letna ekvivalentna doza								
Starostna skupina	Prehramb. navade	Mleko	Ref. skupina	Inhalacija (nSv)	Ingestija (μSv)	Zunanje sevanje (μSv)	Skupna doza (μSv)	Zgornja meja (μSv)
dojenčki do 1 leta	Pediatrska klinika	LJ	A1		1,0 ± 0,6	2,2 ± 0,1	3,2	< 3,8
		KB	A2	0,05 ± 0,04	0,8 ± 0,5	12,0 ± 0,2	12,8	< 13,4
		BB	A3		0,7 ± 0,4	12,0 ± 0,2	12,7	< 13,2
otroci od 7 do 12 let	IAEA podatki	LJ	B1		0,7 ± 0,4	1,9 ± 0,1	2,6	< 3,0
		KB	B2	0,07 ± 0,05	0,7 ± 0,4	10,4 ± 0,2	11,1	< 11,5
		BB	B3		0,6 ± 0,4	10,4 ± 0,2	11,1	< 11,5
odrasli	statistični podatki	LJ	C1		0,4 ± 0,2	1,7 ± 0,1	2,1	< 2,3
		KB	C2	0,09 ± 0,07	0,4 ± 0,2	9,1 ± 0,2	9,5	< 9,8
		BB	C3		0,4 ± 0,2	9,1 ± 0,2	9,5	< 9,8
	urbano okolje	LJ	D1		0,4 ± 0,2	1,4 ± 0,1	1,8	< 2,0
		KB	D2	0,09 ± 0,07	0,4 ± 0,2	7,6 ± 0,2	8,0	< 8,2
		BB	D3		0,4 ± 0,2	7,6 ± 0,2	8,0	< 8,2
	ruralno okolje	LJ	E1		0,5 ± 0,2	2,5 ± 0,1	2,9	< 3,2
		KB	E2	0,09 ± 0,07	0,5 ± 0,2	13,4 ± 0,3	13,9	< 14,3
		BB	E3		0,4 ± 0,2	13,4 ± 0,3	13,9	< 14,2



Slika 6.6 | Predvidena efektivna doza H_E zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi umetnimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje



7 — Zaključki

7.1 Ugotovitve

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. Ocenjene doze zaradi umetnih radionuklidov v letu 2023 so primerljive s preteklimi leti. Zaradi specifičnosti vzorčenja zemlje in vpliva mikrolokacije je koncentracija aktivnosti Cs-137 bila nižja kot v preteklih letih, posledično so nižje ocenjene doze zaradi zunanjega obsevanja, ki sicer prispeva glavnino doze. Ocenjena doza po vseh prenosnih poteh, znaša v letu 2023 za dojenčke **$3,2 \mu\text{Sv}$ oziroma $< 3,8 \mu\text{Sv}$** , za otroke od 7 do 12 let **$2,6 \mu\text{Sv}$ oziroma $< 3,0 \mu\text{Sv}$** in za odrasle **$2,1 \mu\text{Sv}$ oziroma $< 2,3 \mu\text{Sv}$** . Ta vrednost predstavlja približno 1% mejne letne doze za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju. V primerjavi pa prispevek umetnih radionuklidov predstavlja približno 0,1% k celotni ocenjeni dozi prebivalstva Slovenije. Ta vrednost predstavlja približno 0,2% mejne letne doze za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju. V primerjavi z ocenjeno letno dozo posameznega prebivalca Slovenije zaradi naravnega ozadja (poglavje 1.4) in medicinskih preiskav (poglavje 1.5), ki znaša skupaj okrog 6,7 mSv, pa prispevek zaradi izpostavljenosti dolgoživim umetnim radionuklidom znaša okrog 0,03%.

Zgodovinski pregled

V Sloveniji glavnino doze zaradi dolgoživih umetnih radionuklidov prispeva radioaktivni used po nesreči v jedrski elektrarni Černobil v letu 1986. Vpliv izpustov zaradi jedrske nesreče v Fukušimi 11. marca 2011 je bil v Sloveniji zanemarljiv. Nekaj mesecev po nesreči so bile merljive le vsebnosti izotopov I-131, Cs-134 in Cs-137 v zraku ter padavinah, in sicer v marcu, aprilu ter delno maju 2011. V letu 2017 je delno povešan prispevek k dozi zaradi prehoda radioaktivnega oblaka nad Evropo, ki je posledica izpusta zaradi nesreče v predelovalnem obratu izrabljenega jedrskega goriva nekje južno od Urala v Rusiji [117]. Ru-106 je bil merljiv v septembru, oktobru in delno v novembru 2017. Prispevek Ru-106 v letu 2017 k dozi zaradi ingestije in inhalacije je znašal okrog 3%, k skupni dozi (vključno z zunanjim obsevanjem) pa le okrog 1% [114]. V letu

2020 je v prvi polovici aprila dva tedna gorelo več gozdnih požarov v izključitveni coni okrog jedrske elektrarne v Černobilu. Upoštevajoč meritve v mesecih pred in po požaru ter meritve v prvi in drugi polovici aprila lahko zaključimo, da je bila v prvi polovici aprila zaznana rahlo višja koncentracija Cs-137 v zraku, vendar to na letnem nivoju zanemarljivo prispeva k dozi.

Primerjava z mejnimi vrednostmi

Na podlagi meritev radioaktivnosti življenjskega okolja Republike Slovenije v letu 2023 ugotavljamo, da so bile koncentracije aktivnosti umetnih radionuklidov v hrani in zraku okrog 1% od mejnih vrednosti, predpisanih v uredbi UV2 [4].

Letne efektivne doze zaradi ingestije umetnih radionuklidov in letne doze zaradi izpostavljenosti zunanjem sevanju so v okviru povprečnih svetovnih vrednosti, navedenih v poročilih UNSCEAR 2000 [87], UNSCEAR 2006 [118] in UNSCEAR 2008 [110].

7.2 Priporočila

V preteklih letih je bilo upoštevanih več naših predlogov:

- vzorčenje zemlje v plasteh do globin 50 cm,
- meritve vzorcev lesnih kuriv,
- študija koncentracij K-40 in ostalih sevalcev gama na poljedeljsko intenzivnih območjih blizu slovenskih rek,
- ZVD je v letu 2021 zaznižanje meje detekcije na lokaciji Predmeja namestil zračno črpalko s skoraj 6-krat večjo zmogljivostjo.

Na podlagi analiz meritev, preteklih izkušenj ali subjektivne strokovne ocene v nadaljevanju spodaj predlagamo nekaj priporočil za dodatno izboljšanje sevalne varnosti ali pridobivanje novih podatkov za določevanje izpostavljenosti prebivalcev Slovenije.

Odkrivanje in pripravljenost na izredne dogodke

V letu 2017 je nad Evropo v septembru in oktobru prešel radioaktivni oblak, kjer je bil izmerjen izotop Ru-106 (v nekaterih državah tudi Ru-103). Po ocenah tujih inštitutov je bil izpust konec septembra, nekje v Rusiji [84, 85, 117]. Nad Evropo je bila glavna oblaka ravno zadnje dneve septembra, zato so bili izpusti odkriti v začetku oktobra. V primeru zamika izpusta za nekaj dni bi v Sloveniji zaradi mesečne periodike vzorčenja in meritev zraka, radioaktivni oblak odkrili šele v začetku novembra. V aprilu 2020 je zaradi gozdnega požara v izključitveni coni okrog jedrske elektrarne v Černobilu bila z meritvami IJS v Ljubljani v prvi polovici aprila zaznana višja koncentracija Cs-137 v zraku kot v drugi polovici. Z meritvami ZVD v Murski Soboti, je bila za višja koncentracija zaznana šele po koncu meseca. V februarju 2022 se je začela vojna zaradi ruske agresije na Ukrajino, ki je kršila 56. člen Dodatnega protokola I Ženevske konvencije [119], s katerim je prepovedan kakršenkoli napad na jedrske objekte. Od začetka vojne so dejansko potekali boji, napad ali zavzetje območja na lokaciji oziroma v bližini jedrskih elektrarn Černobil in Zaporožje, vendar do sedaj zaradi ugodnega spleta okoliščin ni prišlo do izpustov v okolje.

Priporočilo 7.1 Zaradi zgoraj navedenih različnih razlogov, predlagamo, da se preide z mesečne frekvence vzorčenja zraka na vsaj dvotedensko ali pogostejšo, saj bi le v takem primeru dovolj hitro odkrili morebitno kontaminacijo v zraku in bi lahko v primeru večjih izpustov državni organi izdali pravočasne zaščitne ukrepe oziroma obvestili javnost. Trenutno se Republika Slovenija zanaša na obveščanje drugih držav.

■

V primeru izrednih dogodkov ali nesreč z večjim vplivom na okolje bodo izrednega pomena meritve na terenu. Ker se takšne meritve sicer redko izvajajo (z izjemo v okolici NEK), jih je smiselno vključiti v redni monitoring.

Priporočilo 7.2 Poleg stacionarnih meritev okoljskega doznega ekvivalenta s TL dozimetri predlagamo, da se začnejo izvajati tudi terenske sprotne meritve s sledenjem hitrostim doz po vnaprej izbrani in standardizirani poti. Lokacije oziroma poti bi se lahko vsako leto menjavale po različnih področjih Slovenije, lahko se tudi določijo kot del nacionalnega načrta za ukrepanje v primeru jedrske ali sevalne nesreče, kjer po teh poteh podrobno analiziramo stanje sevanja v okolju po regijah. ■

Priporočilo 7.3 Za pridobivanje novih podatkov o radioaktivnosti v okolju predlagamo vključitev rednih meritev zemlje z visoko ločljivo spektrometrijo gama in-situ (standardna meritev 1 m od tal). Lokacije bi se lahko vsako leto menjavale po različnih področjih Slovenije. ■

Priporočilo 7.4 Poleg zgoraj omenjene standardne gama spektrometrije in-situ bi lahko začeli z določevanjem globinskega profila Cs-137 v zemlji tudi po relativno novi metodi sledenja globinskim koncentracijam v vrtinah [120] z uporabo bolj občutljivih detektorjev (NaI ali LaBr) s sicer slabšo ločljivostjo. Lokacije bi se prav tako lahko vsako leto menjavale po različnih področjih Slovenije. ■

Ugotavljanje korelacij doze zunanje sevanja in koncentracij radona

V poglavju 4.2.2 smo zelo na grobo ugotovili morebitno korelacijo med letno dozo zunanjega sevanja in radonskim potencialom oziroma koncentracijami radona. Obstoječe meritve radona so sicer dostopne le za notranje koncentracije v bivalnih ali delovnih prostorih, le-te pa so močno odvisne od lastnosti zgradb, etaže, protiradonskih ukrepov ipd. Takšno hipotezo morebitnih korelacij bi lahko preverili s hkratnimi meritvami doz in zunanjih koncentracij radona po celotni površini Slovenije.

Priporočilo 7.5 Predlagamo morebitni projekt s študijo morebitnih korelacij povprečnega letnega okoljskega ekvivalenta doze $H^*(10)$ zaradi zunanje sevanja in zunanjih koncentracij radona. Tako bi lahko na dokaj gosti mreži nekaj 100 lokacij merili dozo zunanjega sevanja s pasivnimi TL ali OSL dozimetri, koncentracijo radona pa s pasivnimi detektorji jedrskih sledi. ■

Posodobljena analiza medicinske izpostavljenosti

V poglavju 1.5 smo pripravili povzetek prejetih letnih doz pacientov v Sloveniji, ki služi za primerjavo rezultatov pričujočega poročila.

Priporočilo 7.6 Analize prejetih doz prebivalstva Slovenije med diagnostičnimi posegi v medicini je bila izdelana leta 2011. Že literatura, ki povzema rezultate analize [12, 13], v zaključkih navaja možnost, da se bodo frekvence diagnostičnih preiskav lahko spremenile. Po posvetu z pooblaščenimi izvedenci medicinske fizike [121] je stanje glede na leto 2011 drastično drugačno, med drugim tudi število CT aparatov. Zato predlagamo izvedbo nove študije, ki bi zajemala morebitne nove diagnostične posege, spremenjene doze na preiskavo in frekvenco preiskav. ■

Zniževanje spodnjih mej detekcije - stalno priporočilo izvajalcem meritev

Meje detekcije pri meritvah so lahko odvisne od načinov vzorčenja, merilne opreme, časov merjenja in prispevkov ozadja. Ker se koncentracije aktivnosti umetnih radionuklidov znižujejo, je smiselno, da temu trendu sledijo tudi ukrepi na področju meritev.

Priporočilo 7.7 Izvajalcem meritev radioaktivnosti še naprej predlagamo, da vzorce zraka poletnih mesecev vzorčijo in merijo pod takšnimi pogoji, da so detekcijske meje Cs-137 precej nižane in na ta način dobljene vrednosti odražajo realnejše stanje spremljanja sezonskih variacij in dolgoročnih trendov. V prvi vrsti lahko pomeni daljši čas meritve, nato pa postopoma na primer optimalna izbira pri prihodnji zamenjavi iztrošene merske ali vzorčevalne opreme – občutljivost detektorja, znižanje ozadja, kapaciteta črpalke za čim večji vzorčeni volumen ipd. ■



Pojasnila k tabelam

Zapisi meritev ZVD

Zapisi meritev IJS

Zrak

Lesna kuriva

Padavine

Tekoče vode

Zemlja

Morje - voda in sedimenti

Zunanje sevanje

Pitna voda

Hrana

Krmila

8 — Rezultati meritev

8.1 Pojasnila k tabelam

8.1.1 Zapisi meritev ZVD

Za vse rezultate koncentracij aktivnosti ali specifičnih aktivnosti v izmerjenih vzorcih velja:

- Koncentracije aktivnosti ali specifične aktivnosti so preračunane na datum vzorčenja, v kolikor ni posebej navedeno.
- Število podano za znakom $\pm$ je skupna standardna negotovost in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivostjo (v kolikor ni drugače navedeno).
- Število podano za znakom $<$ je spodnja meja aktivnosti, ki jo lahko določimo za dani izotop in se nanaša na interval zaupanja z 68% zanesljivosti.
- Aktivnosti navedene v poročilu v poglavju 8 se nanašajo le na izmerjeni vzorec in ne na celotni vzorčeni material.
- Ekshalacija radona iz posode z vzorcem ni upoštevana.
- Ostale opombe so razložene ob vsaki tabeli.
- Izračun polletnih ali letnih povprečij poteka po internem navodilu ND-LMSAR-06 oziroma na naslednji način:

Neizmerjena vrednost v danem obdobju k povprečju prispeva vrednost 0

Poročana spodnja meja detekcije k povprečju prispeva polovico njene vrednosti, če je vsaj ena meritev v letu bila poročana nad mejo detekcije

Poročana spodnja meja detekcije k povprečju prispeva vrednost 0, če v letu ni bila poročana nobena vrednost nad mejo detekcije

8.1.2 Zapisi meritev IJS

Izmerki v tabelah so zapisani po naslednjih pravilih:

- Specifične aktivnosti in koncentracije aktivnosti sevalcev gama pri enkratno odvzetih vzorcih so preračunane na datum vzorčenja.
- Rezultati meritev z visokoločljivostno spektrometrijo gama so izraženi kot neposredni merski rezultati, $y \pm u(y)$, pri čemer je $u(y)$ združena standardna negotovost specifične aktivnosti in se nanaša na interval zaupanja z 68-odstotno zanesljivostjo (faktor pokritja $k = 1$). Združena standardna negotovost pri rutinskih meritvah na visokoločljivostni spektrometriji gama vključuje statistično negotovost števila

sunkov v vrhovih v spektru, negotovost metode določanja števila sunkov v vrhovih, ozadja, umeritve spektrometra, jedrskih podatkov in količine vzorca. Negotovosti, ki izvirajo iz vzorčevanja, razen količine vzorca, niso upoštevane.

- Če je pri detektirani prisotnosti radionuklida negotovost aktivnosti večja od 80% vrednosti izmerka, poročamo neposredni merski rezultat, ki ga označimo z znakom ‡, pod tabelo pa dopišemo, da gre za merski rezultat pod mejo kvantifikacije; v prejšnjih poročilih se je vrednost izmerka prištela k razširjeni negotovosti ($k = 2$), rezultat pa smo označili kot manjši ($<$) od dobljene številčne vrednosti.
- Specifične aktivnosti in koncentracije aktivnosti sevalcev gama pri kontinuirano zbiranih vzorcih so izračunane pri predpostavki, da sta bili hitrost zbiranja vzorca in kontaminacija konstantni v času vzorčevanja.
- Poročane negotovosti so izračunane v skladu z vodili GUM [122].
- Spodnjo mejo aktivnosti se zaradi visoke detekcijske meje poroča le za Pb-210, ki je zaradi visokega doznega faktorja pomemben pri oceni doz. To se poroča kot mersko negotovost. Številska vrednost spodnje meje aktivnosti pri danih pogojih meritve se nanaša na interval zaupanja s 95 % zanesljivostjo.
- Pri ostalih nedetektiranih radionuklidih zaradi preglednosti njihove spodnje meje aktivnosti v tabele ne pišemo. Pri izračunih mesečnih povprečij se prazna polja upoštevajo kot ničle.
- V tabele ne pišemo spodnjih detekcijskih mej, ki so ocenjene iz velikosti ozadja, verjetnosti za detekcijo in količine vzorca.
- Aktivnost Ra-226 je določena iz aktivnosti kratkoživih radonovih potomcev (Pb-214 in Bi-214). Faktor, ki opisuje ravnovesje med radijem in radonovimi potomci smo izračunali iz ekshalacije in časovnega intervala med pripravo in meritvijo vzorca.
- Aktivnost urana je določena pri predpostavki, da je U-238 v ravnovesju s potomci Th-234 in Pa-234M, ter da sta koncentraciji izotopov U-235 in U-238 v naravnem razmerju.
- Označba Sr-90/Sr-89 pomeni, da ni bila narejena analiza na Y-90. Ločitev za Y-90 se izvede samo v primerih, ko iz ponovitev meritev Sr-90/Sr-89 ugotovimo, da je izmerjena hitrost štetja res manjša od predhodno določene in je ta razlika hitrosti štetja posledica radioaktivnega razpada Sr-89.
- Radiokemična analiza stroncija Sr-89/Sr-90 je bila narejena na Odseku O-2, na Odsek F-2 so bile specifične aktivnosti (koncentracije aktivnosti v Bq/m³ za vodne in aerosolne vzorce) poročane v enotah Bq/kg suhe snovi. V tem poročilu je podan izračun specifične aktivnosti na dejanski vzorec (Bq/kg sveže snovi ali Bq/m³ za vodne in aerosolne vzorce), ki je bil izveden na Odseku F-2.

8.2 Zrak

Nadaljevanje na naslednji strani 138.

Tabela 8.1 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka - Ljubljana 



Rezultati meritev

Ljubljana US																					
Vzorč. mesto																					
Datum vzor.		29. 12. 2022	-	1. 2. 2023	1. 2. 2023	-	1. 3. 2023	1. 3. 2023	-	3. 4. 2023	3. 4. 2023	-	3. 5. 2023	3. 5. 2023	-	1. 6. 2023	1. 6. 2023	-	3. 7. 2023	Mesečno povprečje (za 1. polletje) (*)	
Kol. vzorca (m3)																					
Oznaka vzorca		141886.3 RP23AE111	116445.0 RP23AE121				146507.2 RP23AE131				1399181.9 RP23AE141				1331171.4 RP23AE151				145123.3 RP23AE161		
IZOTOP		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m3)																			
Na-22				2,3E-07 ± 2E-07		4,3E-07 ± 2E-07		3,8E-07 ± 2E-07		6,7E-07 ± 8E-08		9,7E-07 ± 2E-07		4,5E-07 ± 7E-08							
U-238						7,1E-08 ± 4E-06	*	2,6E-06 ± 4E-06	*			1,2E-06 ± 3E-06	*	6,4E-07 ± 9E-07							
Ra-226																					
Pb-210		8,3E-04 ± 4E-05		1,1E-03 ± 6E-05		6,4E-04 ± 3E-05		4,8E-04 ± 2E-05		4,0E-04 ± 6E-05		6,8E-04 ± 4E-05		7,0E-04 ± 2E-05							
Ra-228												5,4E-08 ± 8E-07	*	8,9E-09 ± 1E-07							
Th-230																					
Th-228																					
K-40																					
Be-7		2,0E-03 ± 7E-05		1,4E-06 ± 4E-07		9,9E-07 ± 5E-07		1,6E-06 ± 5E-07		1,5E-06 ± 4E-07		1,5E-06 ± 4E-07		1,1E-06 ± 2E-07							
I-131																					
Cs-134																					
Cs-137		1,6E-06 ± 2E-07		3,2E-03 ± 1E-04		4,3E-03 ± 2E-04		3,2E-03 ± 1E-04		4,0E-03 ± 2E-04		6,6E-03 ± 4E-04		3,9E-03 ± 9E-05							
Co-58				2,0E-06 ± 1E-07		1,2E-06 ± 2E-07		7,5E-07 ± 2E-07		4,5E-07 ± 1E-07		4,0E-07 ± 1E-07		1,1E-06 ± 7E-08							
Co-60																					
Cr-51																					
Mn-54																					
Zn-65																					
Nb-95																					
Ru-106																					
Sr-125																					

Vzorč. mesto		Ljubljana JS																		
Datum vzor.	3. 7. 2023	-	1. 8. 2023	1. 8. 2023	-	4. 9. 2023	4. 9. 2023	-	2. 10. 2023	2. 10. 2023	-	2. 11. 2023	6. 11. 2023	-	4. 12. 2023	4. 12. 2023	-	28. 12. 2023	Mesečno povprečje (za celotno leto) (*)	
Kol. vzorca (m3)	129283,3			152876,9			126751,1			135980,5			120426,2			96900,9				
Oznaka vzorca	RP23AE171			RP23AE181			RP23AE191			RP23AE1A1			RP23AE1B1			RP23AE1C1				
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI [Bq/m3]																			
Na-22	4,3E-07 ± 2,9E-06	1E-07 ± 5E-06	*	7,6E-07 ± 7,5E-07	2E-07 ± 3E-06	*	5,0E-07 ± 1,2E-06	2E-07 ± 3E-06	*	2,4E-06 ± 1,0E-03	3E-06 ± 4E-05	*	1,2E-06 ± 6,0E-04	3E-06 ± 3E-05	*	5,8E-06 ± 1,1E-03	5E-06 ± 4E-05	*	3,7E-07 ± 8,1E-04	4E-08 ± 1E-05
U-238																				
Ra-226																				
Pb-210	6,8E-04 ± 9,6E-04	6E-05 ± 5E-05					1,2E-03 ± 9,6E-04	6E-05 ± 5E-05		3,4E-08 ± 1,0E-03	7E-07 ± 4E-05	*				1,1E-03 ± 7,3E-09	4E-05 ± 9E-08			
Ra-228																				
Th-230																				
Th-228	3,4E-06 ± 1,7E-06	5E-07 ± 4E-07					1,8E-06 ± 4,7E-03	4E-07 ± 3E-04		1,9E-06 ± 3,5E-03	4E-07 ± 1E-04		1,3E-06 ± 1,7E-03	4E-07 ± 6E-05		1,9E-06 ± 2,0E-03	6E-07 ± 7E-05		1,6E-06 ± 3,7E-03	1E-07 ± 6E-05
K-40																				
Be-7	4,8E-03 ± 4,8E-03	2E-04 ± 3E-04																		
I-131																				
Cs-134																				
Cs-137	3,0E-07 ± 9,4E-08	9E-08 ± 5E-07	*				3,4E-07 ± 1E-07			2,0E-07 ± 2E-07		*	1,5E-06 ± 1E-07			2,9E-06 ± 5E-07			9,8E-07 ± 7E-08	
Co-58																				
Co-60																				
Cr-51																				
Mn-54																				
Zn-65																				
Nb-95																				
Ru-106																				
Sp-125																				

Tabela 8.2 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka v obdobju jedrske nesreče v Fukušimi marca 2011 - Ljubljana IJS

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS				
Datum vzor.	1. 2. 2011 - 1. 3. 2011	1. 3. 2011 - 4. 4. 2011	4. 4. 2011 - 3. 5. 2011	3. 5. 2011 - 1. 6. 2011	1. 6. 2011 - 4. 7. 2011
Kol. vzorca (m ³)	9640,7	181323,2	154131,2	154667,4	175404,2
Oznaka vzorca	RP11AE121	RP11AE13P	RP11AE141	RP11AE151	RP11AE161
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m ³)				
Na-22			7,8E-07 ± 1E-07	7,6E-07 ± 2E-07	9,0E-07 ± 2E-07
U-238			< 4E-06		
Ra-226					
Pb-210	1,3E-03 ± 1E-04	7,1E-04 ± 4E-05	5,7E-04 ± 3E-05	6,2E-04 ± 4E-05	5,2E-04 ± 3E-05
Ra-228				< 2E-06	
Th-228					4,6E-07 ± 3E-07
Th-230		5,7E-05 ± 4E-05			
K-40					
Be-7	4,3E-03 ± 2E-04	4,5E-03 ± 3E-04	5,6E-03 ± 3E-04	5,9E-03 ± 3E-04	5,7E-03 ± 3E-04
I-131		1,4E-04 ± 7E-06	3,5E-05 ± 2E-06		
Cs-134		5,5E-06 ± 3E-07	1,4E-05 ± 7E-07	8,2E-07 ± 1E-07	
Cs-137	< 2E-06	7,2E-06 ± 4E-07	1,6E-05 ± 8E-07	1,8E-06 ± 2E-07	3,5E-07 ± 9E-08
Co-58					
Co-60					
Cr-51					
Mn-54					
Zn-65					
Nb-95					
Ru-106					
Sb-125					

Vzorč. mesto	Ljubljana IJS		
Datum vzor.	1. 3. 2011 - 16. 3. 2011	16. 3. 2011 - 4. 4. 2011	1. 3. 2011 - 4. 4. 2011
Kol. vzorca (m ³)	79776,5	101546,7	181323,2
Oznaka vzorca	RP11AE131	RP11AE132	RP11AE13P
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m ³)		
Na-22			
U-238			
Ra-226			
Pb-210	8,7E-04 ± 5E-05	5,8E-04 ± 3E-05	7,1E-04 ± 3,7E-05
Ra-228			
Th-228			
Th-230		1,0E-04 ± 8E-05	5,7E-05 ± 4,3E-05
K-40			
Be-7	4,1E-03 ± 3E-04	4,8E-03 ± 2E-04	4,5E-03 ± 2,5E-04
I-131	1,2E-06 ± 5E-07	2,5E-04 ± 1E-05	1,4E-04 ± 7,2E-06
Cs-134		9,8E-06 ± 5E-07	5,5E-06 ± 2,7E-07
Cs-137	1,7E-06 ± 1E-07	1,2E-05 ± 7E-07	7,2E-06 ± 4,3E-07
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			

Vzorč. mesto							
Datum vzor.	1. 4. 2020	-	16. 4. 2020	16. 4. 2020	-	4. 5. 2020	Mesečno povprečje april 2020
Kol. vzorca (m ³)	67195,4		79050,2				
Oznaka vzorca	RP20AE141		RP20AE142				
IZOTOP							
Na-22	5,7E-07	±	3E-07	1,4E-06	±	7E-07	9,7E-07 ± 4E-07
U-238	1,1E-06	±	6E-06	±	±	±	5,6E-07 ± 3E-06
Ra-226				3,4E-07	±	4E-05	1,7E-07 ± 2E-05
Pb-210	7,3E-04	±	4E-05	6,1E-04	±	4E-05	6,7E-04 ± 3E-05
Ra-228							
Th-230							
Th-228	6,5E-06	±	1E-06	2,8E-06	±	9E-07	4,7E-06 ± 7E-07
K-40							
Be-7	7,3E-03	±	5E-04	6,3E-03	±	3E-04	6,8E-03 ± 3E-04
I-131							
Cs-134							
Cs-137	2,7E-06	±	3E-07	1,6E-06	±	3E-07	2,1E-06 ± 2E-07
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							



Tabela 8.4 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka - Murska Sobota ZVD

Oznaka vzorca	ZRMS0123	ZRMS0223	ZRMS0323	ZRMS0423	ZRMS0523	ZRMS0623	ZRMS0723	ZRMS0823	ZRMS0923	ZRMS1023	ZRMS1123	ZRMS1223
Vzorec	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter
Lokacija	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota
Dat. vzorčenja†	1.1.23-31.1.23	1.2.23-28.2.23	1.3.23-31.3.23	1.4.23-30.4.23	1.5.23-31.5.23	1.6.23-30.6.23	1.7.23-31.7.23	1.8.23-31.8.23	1.9.23-30.9.23	1.10.23-31.10.23	1.11.23-30.11.23	1.12.23-31.12.23
Dat. meritve	7.2.23	7.3.23	7.4.23	5.5.23	9.6.23	12.7.23	11.8.23	7.9.23	17.10.23	8.11.23	7.12.23	5.1.24
Količ. vzorca†	38523 m3	34541 m3	37447 m3	44508 m3	29481 m3	40998 m3	47482 m3	36290 m3	32570 m3	54933 m3	46560 m3	28597 m3
Izotop	prebrunana na srednja intervala vzorčenja											
U-238	3,2E-6 ± 2E-6	4,4E-6 ± 2E-6	2,0E-6 ± 3E-7	3,8E-6 ± 2E-6	2,3E-6 ± 1E-6	9,1E-7 ± 4E-7	2,0E-6 ± 2E-7	2,1E-6 ± 2E-7	3,3E-6 ± 6E-7	1,3E-6 ± 4E-7	2,5E-6 ± 3E-7	4,2E-6 ± 3E-6
Ra-226 *	1,3E-6 ± 3E-7	2,5E-6 ± 4E-7	2,0E-6 ± 3E-7	1,8E-6 ± 2E-7	2,4E-6 ± 2E-7	9,1E-7 ± 4E-7	2,0E-6 ± 2E-7	2,1E-6 ± 2E-7	3,3E-6 ± 6E-7	1,3E-6 ± 4E-7	2,5E-6 ± 3E-7	3,5E-6 ± 2E-6
Pb-210	3,2E-4 ± 3E-5	4,9E-4 ± 2E-5	3,0E-4 ± 1E-5	1,9E-4 ± 9E-6	3,2E-4 ± 1E-5	9,1E-7 ± 4E-7	2,0E-6 ± 2E-7	2,1E-6 ± 2E-7	3,3E-6 ± 6E-7	1,3E-6 ± 4E-7	2,5E-6 ± 3E-7	4,2E-6 ± 3E-6
Ra-228						1,0E-6 ± 1E-5	1,0E-6 ± 1E-5	1,4E-6 ± 2E-7	1,3E-6 ± 1E-6	1,8E-6 ± 8E-7	1,5E-6 ± 7E-7	1,7E-6 ± 1E-6
Th-228						5,6E-7 ± 3E-7	4,9E-7 ± 4E-7	3,6E-7 ± 2E-7	2,4E-6 ± 1E-6	1,7E-6 ± 7E-7	9,4E-7 ± 7E-7	9,9E-7 ± 3E-7
K-40	2,8E-4 ± 2E-5	2,7E-4 ± 1E-5	2,6E-4 ± 7E-6	2,2E-4 ± 6E-6	4,0E-4 ± 9E-6	2,8E-4 ± 1E-5	2,0E-4 ± 5E-6	2,7E-4 ± 6E-6	5,6E-4 ± 3E-5	3,4E-4 ± 2E-5	2,5E-4 ± 1E-5	3,0E-4 ± 3E-5
Be-7	1,5E-3 ± 4E-5	2,4E-3 ± 6E-5	3,2E-3 ± 9E-5	2,1E-3 ± 6E-5	4,7E-3 ± 1E-4	4,7E-3 ± 1E-4	2,5E-3 ± 7E-5	3,9E-3 ± 1E-4	5,7E-3 ± 4E-4	3,1E-3 ± 2E-4	1,7E-3 ± 1E-4	2,2E-3 ± 1E-4
Cs-134												
Cs-137	8,7E-7 ± 2E-7	1,3E-6 ± 2E-7	7,5E-7 ± 1E-7	< 1,0E-6	5,1E-7 ± 9E-8	< 1,9E-6	2,1E-7 ± 6E-8	8,5E-8 ± 3E-8	< 2,6E-6	< 2,1E-6	8,7E-7 ± 2E-7	1,8E-6 ± 2E-7
I-131												
Sr-90 **												
H-3 **												

* izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

† podatke nam sporoči podpisane izračunane koncentracije aktivnosti

Tabela 8.5 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zraka - Predmeja ZVD

Oznaka vzorca	ZRPM0123	ZRPM0223	ZRPM0323	ZRPM0423	ZRPM0523	ZRPM0623	ZRPM0723	ZRPM0823	ZRPM0923	ZRPM1023	ZRPM1123	ZRPM1223
Vzorec	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter	Zračni filter
Lokacija	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja	Predmeja
Dat. vzorčenja†	1.1.23-31.1.23	1.2.23-28.2.23	1.3.23-31.3.23	1.4.23-30.4.23	1.5.23-31.5.23	1.6.23-30.6.23	1.7.23-31.7.23	1.8.23-31.8.23	1.9.23-30.9.23	1.10.23-31.10.23	1.11.23-30.11.23	1.12.23-31.12.23
Dat. meritve	14.2.23	9.3.23	12.4.23	8.5.23	9.6.23	9.8.23	11.8.23	6.9.23	9.10.23	9.11.23	7.12.23	5.1.24
Količ. vzorca†	39676 m3	31031 m3	32969 m3	31842 m3	35685 m3	34762 m3	35296 m3	35296 m3	34722 m3	37712 m3	32637 m3	35395 m3
Izotop	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m³)											
U-238												
Ra-226 *	6,5E-6 ± 3E-7	2,0E-6 ± 3E-7	2,1E-6 ± 4E-7	2,3E-6 ± 3E-7	1,4E-6 ± 3E-7	1,7E-6 ± 3E-7	2,4E-6 ± 3E-7	1,8E-6 ± 4E-7	1,1E-5 ± 7E-6	2,4E-6 ± 2E-6	4,7E-6 ± 5E-7	1,4E-6 ± 4E-7
Pb-210	2,4E-4 ± 1E-5	3,6E-4 ± 2E-5	2,6E-4 ± 1E-5	2,2E-4 ± 1E-5	2,2E-4 ± 1E-5	3,1E-4 ± 1E-5	3,2E-4 ± 1E-5	4,4E-4 ± 2E-5	3,0E-3 ± 5E-4	6,9E-4 ± 7E-5	2,2E-4 ± 2E-5	1,6E-3 ± 2E-4
Ra-228												
Th-228												
K-40	6,9E-6 ± 2E-6	2,3E-4 ± 6E-6	2,7E-4 ± 1E-5	2,8E-4 ± 8E-6	2,5E-4 ± 7E-6	2,4E-4 ± 8E-6	1,3E-6 ± 5E-7	2,5E-6 ± 7E-7	2,7E-6 ± 1E-6	8,7E-7 ± 6E-7	1,4E-6 ± 8E-7	4,2E-6 ± 1E-6
Be-7	1,3E-3 ± 4E-5	2,4E-3 ± 7E-5	2,7E-3 ± 7E-5	2,2E-3 ± 6E-5	2,6E-3 ± 7E-5	4,5E-3 ± 1E-4	3,4E-3 ± 9E-5	2,4E-4 ± 1E-5	3,8E-4 ± 2E-5	2,7E-4 ± 1E-5	2,9E-4 ± 1E-5	2,8E-4 ± 2E-5
Cs-134												
Cs-137	< 7,6E-7	< 9,0E-7	5,8E-7 ± 1E-7	5,5E-7 ± 1E-7	< 8,6E-7	< 8,6E-7	3,5E-7 ± 7E-8	< 1,6E-6	< 2,9E-6	5,2E-7 ± 1E-7	6,8E-7 ± 1E-7	< 1,9E-6
I-131												
Sr-90 **												
H-3 **												

* izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

† podatke nam sporoči podpisane izračunane koncentracije aktivnosti

8.3 Lesna kuriva

Tabela 8.6 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih lesa in lesnih kuriv **ZVD** 

Oznaka vzorca	LES010123	LES020123	LES030123	LES040123	
Vzorec	Peleti (iglavci)	Peleti (iglavci)	Peleti (mešano)	Peleti (listavci)	
Lokacija	Slovenj Gradec	Todraž (RUŽV)	Todraž (RUŽV)	Hrvaška	letno
Dat. vzorčenja	18.1.23	18.1.23	18.1.23	18.1.23	povprečje
Dat. meritve	27.1.23	27.1.23	26.1.23	26.1.23	vseh
Količina vzorca	2000 g	2000 g	2000 g	2000 g	vzorcev
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				preračunana na datum vzorčenja
U-238					
Ra-226 *	9,0E+0 ± 2E-1	4,7E+0 ± 1E-1	2,2E+0 ± 7E-2	1,8E+0 ± 5E-2	4,4E+0 ± 2E+0
Pb-210	1,3E+0 ± 4E-1	1,2E+0 ± 2E-1	1,3E+0 ± 2E-1	1,4E+0 ± 2E-1	1,3E+0 ± 1E-1
Ra-228	2,1E-1 ± 1E-1	1,9E-1 ± 6E-2		1,5E-1 ± 6E-2	1,4E-1 ± 6E-2
Th-228	1,7E-1 ± 7E-2	9,9E-2 ± 6E-2	1,6E-1 ± 7E-2	2,3E-1 ± 6E-2	1,7E-1 ± 4E-2
K-40	1,5E+1 ± 1E+0	1,3E+1 ± 9E-1	1,6E+1 ± 1E+0	3,8E+1 ± 2E+0	2,0E+1 ± 6E+0
Be-7					
Cs-134					
Cs-137	2,5E+0 ± 8E-2	2,8E+0 ± 9E-2	3,3E+0 ± 1E-1	4,8E-1 ± 3E-2	2,3E+0 ± 6E-1
I-131					
Sr-90 **					
H-3 **					

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Vzorč. mesto	Ljubljana - Črnuče	Homec - Radomlje	Homec - Radomlje	Gornji Grad
Vrsta vzorca	Les - Bukev suha (SLO)	Les - bukev (HR)	Les - Gaber (HR)	Les - Bukov (SLO)
Datum vzor.	20. 2. 2023	20. 2. 2023	20. 2. 2023	12. 2. 2023
Kol. vzorca (kg)	0,070	0,086	0,10	0,09
Odstotek suhe snovi	100,00	100,00	100,00	100,00
Oznaka vzorca	RP23LES1231S121	RP23LES1235HR21	RP23LES1235HR22	RP23LES3342S121
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST SUHE SNOVI (Bq/kg)			
U-238			1,9E+00 ± 2E+00 ‡	1,2E+00 ± 1E+00 ‡
Ra-226		2,9E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 2E+00	2,6E+00 ± 2E+00
Pb-210	1,1E+00 ‡	1,6E-01 ‡	9,0E-01 ‡	2,6E-01 ‡
Ra-228		6,0E-01 ± 6E-01 ‡	1,5E+00 ± 8E-01	
Th-228	4,8E-01 ± 1E+00 ‡	2,0E-01 ± 2E-01	3,2E-01 ± 2E-01	4,0E-01 ± 1E-01
Th-230				
K-40	2,8E+01 ± 5E+00	3,0E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 3E+00	3,2E+01 ± 3E+00
Be-7				
I-131				
Cs-134				
Cs-137	2,7E+01 ± 1E+00	1,2E+00 ± 2E-01	2,1E+00 ± 3E-01	4,6E+00 ± 3E-01
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				

8.4 Padavine

Tabela 8.7 | Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Novo mesto **ZVD**

Oznaka vzorca	FANMK123	FANMK223	FANMK323	FANMK423	
Vzorec	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	letna
Lokacija	Novo mesto	Novo mesto	Novo mesto	Novo mesto	količina
Dat. vzorčenja	1.1.23-31.3.23	1.4.23-30.6.23	1.7.23-30.9.23	1.10.23-31.12.23	padavin
Količ. padavin#	290,6 mm	295,8 mm	378,0 mm	311,7 mm	1276,1 mm
Dat. meritve	26.5.23	18.9.23	20.11.23	23.1.24	letni used
Količina vzorca	69,70 L	75,35 L	87,00 L	71,80 L	radioaktivnosti
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m ²)		preračunana na sredino intervala vzorčenja		
U-238	4,7E-1 ± 2E-1				4,7E-1 ± 1E-1
Ra-226 *	2,8E-1 ± 4E-2	5,4E-1 ± 5E-2	1,2E-1 ± 3E-2		9,5E-1 ± 3E-2
Pb-210	1,3E+1 ± 1E+0	3,3E+1 ± 3E+0	5,0E+1 ± 2E+0	1,7E+1 ± 1E+0	1,1E+2 ± 2E+0
Ra-228	1,9E-1 ± 6E-2	1,3E-1 ± 8E-2		3,0E-1 ± 1E-1	6,2E-1 ± 8E-2
Th-228		1,0E-1 ± 8E-2		1,7E-1 ± 9E-2	2,8E-1 ± 6E-2
K-40	1,2E+0 ± 3E-1	7,4E-1 ± 5E-1	3,3E+0 ± 4E-1	2,1E+0 ± 6E-1	7,2E+0 ± 5E-1
Be-7	3,0E+1 ± 9E-1	7,7E+1 ± 3E+0	1,2E+2 ± 3E+0	2,1E+1 ± 9E-1	2,5E+2 ± 2E+0
Cs-134					
Cs-137	< 1,0E-1	< 1,2E-1	< 1,1E-1	< 1,9E-1	
I-131					
Sr-90	< 6,2E-2	< 5,0E-2	< 4,8E-2	1,0E-1 ± 5E-2	1,8E-1 ± 2E-2
H-3 **					

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

meritve označene z # se nanašajo na neakreditirano dejavnost

Tabela 8.8 | Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Murska Sobota **ZVD**

Oznaka vzorca	FAMSK123	FAMSK223	FAMSK323	FAMSK423	
Vzorec	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	letna
Lokacija	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	količina
Dat. vzorčenja	1.1.23-31.3.23	1.4.23-30.6.23	1.7.23-30.9.23	1.10.23-31.12.23	padavin
Količ. padavin#	195,8 mm	280,7 mm	332,6 mm	215,3 mm	1024,4 mm
Dat. meritve	26.5.23	18.9.23	20.11.23	23.1.24	letni used
Količina vzorca	42,30 L	39,00 L	67,30 L	35,50 L	radioaktivnosti
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m ²)		preračunana na sredino intervala vzorčenja		
U-238	3,1E-1 ± 2E-1	6,8E-1 ± 2E-1	4,5E-1 ± 4E-1		1,4E+0 ± 2E-1
Ra-226 *	5,8E-2 ± 3E-2	5,4E-1 ± 2E-2	4,3E-1 ± 7E-2	1,6E-1 ± 1E-1	1,2E+0 ± 6E-2
Pb-210	1,0E+1 ± 8E-1	4,7E+1 ± 4E+0	3,2E+1 ± 2E+0	5,1E+0 ± 6E-1	9,5E+1 ± 2E+0
Ra-228		5,4E-1 ± 4E-2			5,4E-1 ± 2E-2
Th-228	5,9E-1 ± 2E-1	4,5E-1 ± 4E-2	4,6E-1 ± 1E-1	2,5E-1 ± 1E-1	1,8E+0 ± 1E-1
K-40	2,0E+0 ± 3E-1	8,9E+0 ± 6E-1	2,2E+1 ± 1E+0	5,5E+0 ± 8E-1	3,8E+1 ± 8E-1
Be-7		1,3E+2 ± 4E+0	1,6E+2 ± 5E+0	2,4E+1 ± 1E+0	3,2E+2 ± 3E+0
Cs-134					
Cs-137	< 1,4E-1	1,6E-1 ± 1E-2	< 2,5E-1	< 3,0E-1	5,1E-1 ± 4E-2
I-131					
Sr-90	< 5,9E-2	< 8,0E-2	< 6,4E-2	< 5,1E-2	
H-3 **					

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

meritve označene z # se nanašajo na neakreditirano dejavnost



Tabela 8.9 | Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Bovec **ZVD**

Oznaka vzorca	FABOK123	FABOK223	FABOK323	FABOK423	
Vzorec	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	letna
Lokacija	Bovec	Bovec	Bovec	Bovec	količina
Dat. vzorčenja	1.1.23-31.3.23	1.4.23-30.6.23	1.7.23-30.9.23	1.10.23-31.12.23	padavin
Količ. padavin #	370,0 mm	367,1 mm	873,1 mm	1651,0 mm	3261,2 mm
Dat. meritve	26.5.23	14.9.23	20.11.23	23.1.24	letni used
Količina vzorca	31,55 L	30,60 L	59,90 L	117,90 L	radioaktivnosti
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m2)		preračunana na sredino intervala vzorčenja		
U-238	1,0E+0 ± 8E-1				1,0E+0 ± 4E-1
Ra-226 *	5,0E-1 ± 1E-1	7,4E-1 ± 7E-2	6,5E-1 ± 2E-1	1,9E-1 ± 1E-1	2,1E+0 ± 1E-1
Pb-210	1,8E+1 ± 2E+0	8,3E+0 ± 7E-1	5,1E+1 ± 3E+0	5,9E+1 ± 5E+0	1,4E+2 ± 3E+0
Ra-228				5,4E-1 ± 4E-1	5,4E-1 ± 2E-1
Th-228		8,3E-1 ± 1E-1			8,3E-1 ± 5E-2
K-40		4,6E+0 ± 8E-1	5,3E+0 ± 2E+0	3,6E+0 ± 2E+0	1,4E+1 ± 2E+0
Be-7	5,5E+1 ± 2E+0	3,3E+1 ± 1E+0	1,8E+2 ± 6E+0	1,7E+2 ± 6E+0	4,4E+2 ± 4E+0
Cs-134					
Cs-137	2,7E-1 ± 6E-2	< 2,2E-1	1,4E-1 ± 1E-1	6,7E-1 ± 1E-1	1,2E+0 ± 1E-1
I-131					
Sr-90	< 2,5E-1	< 2,4E-1	< 2,2E-1	< 2,1E-1	
H-3 **					
* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano		*** Meritev izotopa ni v programu meritev		meritve označene z # se nanašajo na neakreditirano dejavnost	

Tabela 8.10 | Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih padavin - Ljubljana ZVD

Oznaka vzorca		FALI0123	FALI0223	FALI0323	FALI0423	FALI0523	FALI0623	FALI0723	FALI0823	FALI0923	FALI1023	FALI1123	FALI1223	letna količina padavin
Vzorec		Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine	letna količina padavin
Lokacija		Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	
Dat. vzorčenja		1.1.23-31.1.23	1.2.23-28.2.23	1.3.23-31.3.23	1.4.23-30.4.23	1.5.23-31.5.23	1.6.23-30.6.23	1.7.23-31.7.23	1.8.23-31.8.23	1.9.23-30.9.23	1.10.23-31.10.23	1.11.23-30.11.23	1.12.23-31.12.23	
Količ. padavin #		173,6 mm	21,2 mm	70,5 mm	107,2 mm	132,8 mm	142,9 mm	260,0 mm	298,5 mm	65,5 mm	239,1 mm	132,5 mm	170,0 mm	1813,8 mm
Dat. meritve		9.2.23	7.3.23	5.4.23	22.6.23	30.6.23	18.7.23	4.10.23	4.10.23	18.10.23	20.12.23	26.12.23	25.1.24	letni used
Količina vzorca		43,80 L	3,40 L	11,30 L	29,55 L	30,70 L	52,50 L	67,85 L	66,50 L	15,85 L	50,05 L	34,80 L	26,80 L	radioaktivnosti
Izotop		SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m2)												
U-238		8,8E+0 ± 4E+0		8,8E+0 ± 3E+0	3,6E-1 ± 3E-1	4,2E+0 ± 8E-1		1,0E-1 ± 2E-2	1,2E-1 ± 5E-2	8,8E-2 ± 6E-2	9,6E-2 ± 4E-2	1,6E+0 ± 3E-1	3,4E-1 ± 5E-2	2,4E+1 ± 1E+0
Ra-226	***	9,2E+0 ± 8E-1		5,6E-1 ± 2E-1	6,5E-1 ± 4E-2	6,5E-1 ± 4E-2		2,6E+1 ± 1E+0	1,4E+1 ± 1E+0	1,3E+1 ± 1E+0	9,0E+0 ± 8E-1	5,3E+0 ± 6E-1	8,4E+0 ± 8E-1	2,2E+0 ± 6E-2
Pb-210		9,4E+0 ± 8E-1		5,3E+0 ± 5E-1	3,7E+0 ± 4E-1	1,2E+1 ± 1E+0		1,3E+1 ± 3E-2	1,3E+1 ± 3E-2	2,7E-1 ± 2E-1	2,0E-1 ± 1E-1	2,4E-1 ± 9E-2	3,4E-1 ± 1E-1	1,2E+2 ± 8E-1
Ra-228		1,4E-1 ± 1E-1		2,0E-1 ± 1E-1		4,5E-1 ± 7E-2		3,0E-1 ± 2E-2	3,0E-1 ± 2E-2		8,4E-2 ± 6E-2	9,8E-2 ± 9E-2	1,7E-1 ± 9E-2	2,1E+0 ± 9E-2
Th-228		1,4E-1 ± 1E-1				6,4E-1 ± 6E-2		1,6E+0 ± 2E-1	1,6E+0 ± 2E-1		1,5E+0 ± 3E-1	2,6E+0 ± 6E-1	4,1E-1 ± 6E-1	2,9E+0 ± 1E-1
K-40		6,8E-1 ± 5E-1		1,5E+1 ± 7E-1	1,7E+1 ± 7E-1	7,1E+1 ± 2E+0		1,7E+2 ± 5E+0	9,0E+1 ± 3E+0	5,2E+1 ± 2E+0	5,0E+1 ± 2E+0	1,4E+1 ± 6E-1	1,9E+1 ± 8E-1	6,8E+0 ± 3E-1
Be-7		2,9E+1 ± 1E+0		1,5E+1 ± 7E-1	1,7E+1 ± 7E-1	7,1E+1 ± 2E+0		1,7E+2 ± 5E+0	9,0E+1 ± 3E+0	5,2E+1 ± 2E+0	5,0E+1 ± 2E+0	1,4E+1 ± 6E-1	1,9E+1 ± 8E-1	5,6E+2 ± 2E+0
Cs-134														
Cs-137		< 2,0E-1		< 2,0E-1	< 1,9E-1	< 1,4E-1		5,3E-2 ± 8E-3	< 1,9E-1	< 2,8E-1	4,7E-2 ± 1E-2	< 1,8E-1	6,7E-2 ± 2E-2	1,1E+0 ± 4E-2
I-131														
Sr-90	**													
H-3	* #	6,7E+1 ± 1E+1	9,3E+0 ± 1E+0	2,3E+1 ± 4E+0	7,2E+1 ± 8E+0	1,6E+2 ± 1E+1	3,0E+2 ± 3E+1	1,8E+2 ± 2E+1	1,9E+2 ± 2E+1	3,9E+1 ± 6E+0	4,8E+1 ± 1E+1	5,6E+1 ± 1E+1	3,8E+1 ± 9E+0	1,2E+3 ± 1E+1
Izotop		SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m3)												
H-3	* #	4,0E+2 ± 9E+1	5,3E+2 ± 8E+1	4,5E+2 ± 8E+1	7,2E+2 ± 8E+1	1,3E+3 ± 1E+2	1,5E+3 ± 1E+2	7,1E+2 ± 9E+1	7,4E+2 ± 9E+1	5,9E+2 ± 9E+1	2,4E+2 ± 7E+1	3,9E+2 ± 8E+1	3,4E+2 ± 8E+1	658 ± 314

*** Izhajanje radona iz posodice pri bračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

*

* meritve po akreditirani metodi izvajajo pogodbeni izvajalci

meritve označene z # se nanašajo na neakreditirano dejavnost

Oznaka vzorca	FALJK123	FALJK223	FALJK323	FALJK423
Vzorec	Padavine	Padavine	Padavine	Padavine
Lokacija	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana
Dat. vzorčenja	1.1.23-31.3.23	1.4.23-30.6.23	1.7.23-30.9.23	1.10.23-31.12.23
Količ. padavin#	265,3 mm	382,9 mm	624,0 mm	541,6 mm
Dat. meritve	26.5.23	14.9.23	20.11.23	23.1.24
Količina vzorca	58,50 L	112,75 L	150,20 L	111,65 L
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m2)			
U-238	preračunana na sredino intervala vzorčenja			
Ra-226				
Pb-210				
Ra-228				
Th-228				
K-40				
Be-7				
Cs-134				
Cs-137				
I-131				
Sr-90	< 6,7E-2	< 6,0E-2	< 6,4E-2	< 5,1E-2
H-3				
* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano				
** Meritev izotopa ni v programu meritev				
meritve označene z # se nanašajo na neakreditirano dejavnost				

8.5 Tekoče vode

Tabela 8.11 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Soča IJS

Vzorč. mesto	Soča Solkan		Polletno povprečje (za celo leto)
	Datum vzor.	30. 1. 2023	13. 7. 2023
	Pretok (m ³ /s)***	38,5	69,6
	Kol. vzorca (L)	51,87	55,05
	Koda vzorca	RP23SN511	RP23SN571
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	1,3E+00 ± 2E+00	2,6E+00 ± 1E+00	1,9E+00 ± 1E+00
Ra-226	1,6E+00 ± 4E-01	1,7E+00 ± 5E-01	1,6E+00 ± 3E-01
Pb-210	2,6E+00 ± 2E+00	2,3E+00 ± 7E-01	2,4E+00 ± 1E+00
Ra-228	7,2E-01 ± 4E-01	3,6E-01 ± 3E-01	5,4E-01 ± 2E-01
Th-228	4,2E-01 ± 2E-01	4,2E-01 ± 1E-01	4,2E-01 ± 1E-01
Th-230			
K-40	1,3E+01 ± 2E+00	2,0E+01 ± 3E+00	1,6E+01 ± 2E+00
Be-7	6,5E-01 ± 2E+00	1,1E+01 ± 1E+00	5,9E+00 ± 1E+00
I-131			
Cs-134			
Cs-137			
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			

Tabela 8.12 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Sava 

Vzorč. mesto	Sava Laze		Polletno povprečje (za celo leto)
	20. 2. 2023	23. 8. 2023	
Datum vzor.	20. 2. 2023	23. 8. 2023	
Pretok (m ³ /s)***	67,27	52,3	
Kol. vzorca (L)	52,04	51,86	
Koda vzorca	RP23SN121	RP23SN181	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	2,8E+00 ± 4E-01	3,3E+00 ± 2E+00	3,1E+00 ± 9E-01
Ra-226	1,9E+00 ± 3E-01	6,4E+00 ± 7E-01	4,1E+00 ± 4E-01
Pb-210	1,4E+00 ± 3E-01	2,5E+00 ± 4E+00 ‡	1,9E+00 ± 2E+00
Ra-228	5,9E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 6E-01	9,5E-01 ± 3E-01
Th-228	4,0E-01 ± 2E-01	3,8E-01 ± 2E-01	3,9E-01 ± 1E-01
Th-230			
K-40	2,4E+01 ± 1E+00	3,1E+01 ± 3E+00	2,7E+01 ± 2E+00
Be-7	8,8E-01 ± 3E-01	5,0E+00 ± 8E-01	2,9E+00 ± 5E-01
I-131	2,3E+00 ± 7E-01	6,4E-01 ± 3E-01	1,46E+00 ± 4E-01
Cs-134			
Cs-137	5,1E-02 ± 1E-01 ‡	1,4E-01 ± 1E-01 ‡	9,3E-02 ± 9E-02
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Lu-177			
Sr-89/Sr-90	2,2E+00 ± 2E-01	2,3E+00 ± 2E-01	2,2E+00 ± 1E-01
H-3	4,8E+02 ± 5E+01	5,9E+02 ± 6E+01	5,35E+02 ± 4E+01

Vzorč. mesto	Sava Brežice		Polletno povprečje (za celo leto)
	27. 2. 2023	18. 10. 2023	
Datum vzor.	27. 2. 2023	18. 10. 2023	
Pretok (m ³ /s)***	336,7	82,15	
Kol. vzorca (L)	51,49	53,33	
Koda vzorca	RP23sn82521	RP23SN825A1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	2,5E+00 ± 2E+00	5,7E+00 ± 2E+00	4,1E+00 ± 1E+00
Ra-226	1,2E+00 ± 5E-01	1,3E+00 ± 3E-01	1,2E+00 ± 3E-01
Pb-210	6,2E+00 ± 3E+00	5,3E-01 †	3,3E+00 ± 3E+00 x
Ra-228	9,0E-01 ± 6E-01	5,3E-01 ± 5E-01 ‡	7,1E-01 ± 4E-01
Th-228	5,4E-01 ± 2E-01		2,7E-01 ± 1E-01
Th-230		1,1E+01 ± 1E+01 ‡	5,3E+00 ± 6E+00
K-40	3,5E+01 ± 4E+00	5,2E+01 ± 4E+00	4,3E+01 ± 3E+00
Be-7	5,6E+00 ± 2E+00	1,1E+00 ± 8E-01	3,4E+00 ± 1E+00
I-131	4,3E+00 ± 4E-01	5,5E+00 ± 1E+00	4,92E+00 ± 6E-01
Cs-134			
Cs-137			
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			
H-3	5,8E+02 ± 5E+01	6,3E+02 ± 4E+01	6,04E+02 ± 3E+01

Tabela 8.13 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Drava *IJS

Vzorč. mesto	Drava - Dravograd		Polletno povprečje (za celo leto)
	13. 3. 2023	28. 9. 2023	
Datum vzor.	145	670	
Pretok (m ³ /s)***			
Kol. vzorca (L)	52,44	54,17	
Koda vzorca	RP23SN2331	RP23SN2391	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	8,3E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 6E-01	6,2E+00 ± 7E-01
Ra-226	4,1E+00 ± 6E-01	4,6E+00 ± 5E-01	4,4E+00 ± 4E-01
Pb-210	4,7E+00 ± 1E+00	2,6E+00 ± 4E-01	3,6E+00 ± 7E-01
Ra-228	2,9E+00 ± 4E-01	1,5E+00 ± 3E-01	2,2E+00 ± 3E-01
Th-228	1,8E+00 ± 5E-01	2,4E-01 ± 1E-01	1,0E+00 ± 2E-01
Th-230			
K-40	6,0E+01 ± 3E+00	2,8E+01 ± 1E+00	4,4E+01 ± 2E+00
Be-7	2,7E+00 ± 1E+00	6,4E+00 ± 8E-01	4,6E+00 ± 7E-01
I-131			
Cs-134			
Cs-137	1,1E+00 ± 1E-01	2,4E-01 ± 7E-02	6,6E-01 ± 8E-02
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			
Sr-89/Sr-90	1,2E+00 ± 1E-01	9,4E-01 ± 1E-01	1,1E+00 ± 8E-02
H-3	6,3E+02 ± 7E+01	6,2E+02 ± 6E+01	6,2E+02 ± 5E+01

Vzorč. mesto	Drava Maribor (Dogoše)		Polletno povprečje (za celo leto)
	13. 3. 2023	28. 9. 2023	
Datum vzor.	145	670	
Pretok (m ³ /s)***			
Kol. vzorca (L)	53,48	53,05	
Koda vzorca	RP23SN20031	RP23SN20091	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	6,4E+00 ± 1E+00	6,6E+00 ± 1E+00	6,5E+00 ± 9E-01
Ra-226	4,8E+00 ± 7E-01	2,6E+00 ± 4E-01	3,7E+00 ± 4E-01
Pb-210	4,9E+00 ± 3E+00	3,9E-01	2,6E+00 ± 2E+00
Ra-228	2,0E+00 ± 3E-01	7,3E-01 ± 4E-01	1,4E+00 ± 3E-01
Th-228	1,6E+00 ± 2E-01	3,3E-01 ± 1E-01	9,8E-01 ± 1E-01
Th-230			
K-40	6,0E+01 ± 3E+00	4,4E+01 ± 3E+00	5,2E+01 ± 2E+00
Be-7	6,7E+00 ± 1E+00		3,3E+00 ± 6E-01
I-131	4,5E-01 ± 3E-01		2,3E-01 ± 2E-01
Cs-134			
Cs-137	8,1E-01 ± 1E-01	2,2E-01 ± 9E-02	5,2E-01 ± 7E-02
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			

Tabela 8.14 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Savinja IJS

Vzorč. mesto	Savinja Celje (za Čistilno napravo)		Polletno povprečje (za celo leto)
	Datum vzor.	19. 10. 2023	
Pretok (m3/s)***	34,04	40	
Kol. vzorca (L)	55,63	52,39	
Koda vzorca	RP23SN361	RP23SN3A1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m3)		
U-238	3,2E+00 ± 1E+00	4,4E+00 ± 2E+00	3,8E+00 ± 1E+00
Ra-226	2,8E+00 ± 4E-01	2,2E+00 ± 7E-01	2,5E+00 ± 4E-01
Pb-210	7,3E+00 ± 7E-01	4,9E+00 ± 2E+00	6,1E+00 ± 1E+00
Ra-228	1,3E+00 ± 2E-01	6,5E-01 ± 5E-01	9,9E-01 ± 3E-01
Th-228	1,1E+00 ± 2E-01	2,8E-01 ± 4E-01	7,1E-01 ± 2E-01
Th-230			
K-40	5,2E+01 ± 2E+00	2,7E+02 ± 9E+00	1,6E+02 ± 5E+00
Be-7	5,0E+00 ± 6E-01	5,8E+00 ± 1E+00	5,4E+00 ± 7E-01
I-131	1,2E+00 ± 5E-01		5,8E-01 ± 2E-01
Cs-134			
Cs-137	4,6E-01 ± 9E-02	2,3E-01 ± 1E-01	3,4E-01 ± 8E-02
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			

Tabela 8.15 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Mura IJS

Vzorč. mesto	Mura Petanjci		Polletno povprečje (za celo leto)
Datum vzor.	14. 6. 2023	28. 9. 2023	
Pretok (m3/s)***	218,8	166	
Kol. vzorca (L)	53,62	53,77	
Koda vzorca	RP23SN961	RP23SN991	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m3)		
U-238	5,5E+00 ± 2E+00	5,3E+00 ± 1E+00	5,4E+00 ± 1E+00
Ra-226	3,5E+00 ± 6E-01	3,5E+00 ± 5E-01	3,5E+00 ± 4E-01
Pb-210	6,1E+00 ± 3E+00	4,6E-01 †	3,3E+00 ± 3E+00 x
Ra-228	3,2E+00 ± 5E-01	1,7E+00 ± 7E-01	2,5E+00 ± 4E-01
Th-228	1,7E+00 ± 3E-01	5,8E-01 ± 2E-01	1,2E+00 ± 2E-01
Th-230			
K-40	6,7E+01 ± 3E+00	6,6E+01 ± 3E+00	6,7E+01 ± 2E+00
Be-7	7,4E+00 ± 1E+00		3,7E+00 ± 5E-01
I-131			
Cs-134			
Cs-137	1,3E+00 ± 1E-01	6,4E-01 ± 1E-01	9,6E-01 ± 1E-01
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			
Sr-89/Sr-90	1,4E+00 ± 1E-01	1,3E+00 ± 1E-01	1,3E+00 ± 8E-02
H-3	8,1E+02 ± 6E+01	7,5E+02 ± 7E+01	7,8E+02 ± 5E+01

Tabela 8.16 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Krka 

Vzorč. mesto	Krka Otočec		Polletno povprečje (za celo leto)
	27. 2. 2023	23. 8. 2023	
Datum vzor.	27. 2. 2023	23. 8. 2023	
Pretok (m ³ /s)***	96,3	26,1	
Kol. vzorca (L)	53,25	54,67	
Koda vzorca	RP23sn82221	RP23SN82281	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	3,7E+00 ± 8E-01	2,1E+00 ± 6E-01	2,9E+00 ± 5E-01
Ra-226	2,3E+00 ± 3E-01	3,6E+00 ± 7E-01	3,0E+00 ± 4E-01
Pb-210	8,1E+00 ± 7E-01	7,0E+00 ± 8E-01	7,6E+00 ± 5E-01
Ra-228	8,3E-01 ± 2E-01	1,3E+00 ± 2E-01	1,0E+00 ± 2E-01
Th-228	5,2E-01 ± 7E-02	1,1E+00 ± 1E-01	8,3E-01 ± 7E-02
Th-230			
K-40	1,9E+01 ± 2E+00	2,6E+01 ± 2E+00	2,3E+01 ± 1E+00
Be-7	1,7E+00 ± 9E-01	4,1E+00 ± 5E-01	2,9E+00 ± 5E-01
I-131		1,3E-01 ± 8E-02	6,6E-02 ± 4E-02
Cs-134			
Cs-137	1,2E-01 ± 1E-01 ±		5,9E-02 ± 5E-02
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			
H-3	6,6E+02 ± 5E+01	6,3E+02 ± 6E+01	6,4E+02 ± 4E+01

Tabela 8.17 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih rek - Kolpa 

Vzorč. mesto	Kolpa Vinica		Polletno povprečje (za celo leto)
	20. 3. 2023	12. 10. 2023	
Datum vzor.	20. 3. 2023	12. 10. 2023	
Pretok (m ³ /s)***	53,27	14,2	
Kol. vzorca (L)	55,01	55,06	
Koda vzorca	RP23sn83431	RP23SN834A1	
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	4,6E+00 ± 1E+00	3,0E+00 ± 2E+00 ‡	3,8E+00 ± 1E+00
Ra-226	2,3E+00 ± 1E+00	1,2E+00 ± 6E-01	1,7E+00 ± 7E-01
Pb-210	1,3E+00 ± 3E+00 ‡	2,4E+00 ± 1E+00	1,8E+00 ± 2E+00
Ra-228		7,0E-01 ± 3E-01	3,5E-01 ± 2E-01
Th-228	5,2E-01 ± 1E-01	2,3E-01 ± 2E-01	3,7E-01 ± 1E-01
Th-230			
K-40		1,3E+01 ± 2E+00	6,7E+00 ± 9E-01
Be-7	1,2E+00 ± 1E+00 ‡	4,8E+00 ± 1E+00	3,0E+00 ± 7E-01
I-131			
Cs-134			
Cs-137			
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Lu-177			



Tabela 8.18 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih neobdelane zemlje na poljedeljsko intenzivnih področjih ZVD

Oznaka vzorca	RV3080820	RV3090820	RV3100820	RV3110820	RV2440820	RV2960820	RV2950820	RV3120820	RV3130820	RV3140820	RV2730820	RV2430820
Vzorec	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)	Tla obdelana (0-15 cm)
Lokacija	Lendava	Petanjci (Tišina)	Ptuj	Laško	Blanca	Kostanjevica na Krki	Metlika	Radomlje (Zgornje Jarše)	Medvode (Zbilje)	Škofja Loka	Ilirska Bistrica	Bljke pri Novi Gorici (Renče)
Reka	Ledava	Mura	Drava	Savinja	Sava	Krka	Kolpa	Kamniška Bistrica	Sava	Sora	Reka	Vipava
Dat. vzorčenja	22.8.20	22.8.20	24.8.20	23.8.20	1.8.20	16.8.20	16.8.20	23.8.20	23.8.20	23.8.20	9.8.20	2.8.20
Dat. meritve	4.9.20	10.9.20	16.9.20	15.9.20	14.8.20	8.9.20	2.9.20	15.9.20	15.9.20	15.9.20	14.8.20	13.8.20
Količina vzorca	973,2 g	996,9 g	997,0 g	726,2 g	1167,4 g	891,1 g	1180,6 g	707,9 g	654,7 g	1113,1 g	1158,7 g	1210,7 g
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)											
U-238	3,8E+1 ± 9E+0	2,0E+1 ± 5E+0	5,2E+1 ± 1E+1	1,8E+1 ± 3E+0	2,8E+1 ± 6E+0	3,4E+1 ± 7E+0	4,6E+1 ± 9E+0	4,4E+1 ± 8E+0	3,3E+1 ± 7E+0	5,6E+1 ± 1E+1	3,2E+1 ± 7E+0	2,9E+1 ± 6E+0
Ra-226 *	3,3E+1 ± 1E+0	2,0E+1 ± 6E-1	4,6E+1 ± 1E+0	2,1E+1 ± 5E-1	3,1E+1 ± 7E-1	2,9E+1 ± 8E-1	4,6E+1 ± 9E-1	4,2E+1 ± 8E-1	3,8E+1 ± 9E-1	5,4E+1 ± 1E+0	2,8E+1 ± 7E-1	2,8E+1 ± 6E-1
Pb-210	4,9E+1 ± 8E+0	3,0E+1 ± 4E+0	6,1E+1 ± 7E+0	4,3E+1 ± 4E+0	4,0E+1 ± 5E+0	5,9E+1 ± 7E+0	7,1E+1 ± 7E+0	8,8E+1 ± 8E+0	6,5E+1 ± 7E+0	7,4E+1 ± 8E+0	5,3E+1 ± 6E+0	6,0E+1 ± 6E+0
Ra-228	4,0E+1 ± 2E+0	2,5E+1 ± 1E+0	4,3E+1 ± 2E+0	2,2E+1 ± 8E-1	3,2E+1 ± 1E+0	2,8E+1 ± 1E+0	4,1E+1 ± 1E+0	3,5E+1 ± 1E+0	2,7E+1 ± 1E+0	5,8E+1 ± 2E+0	2,5E+1 ± 1E+0	3,4E+1 ± 1E+0
Th-228	4,2E+1 ± 2E+0	2,0E+1 ± 1E+0	3,9E+1 ± 2E+0	2,0E+1 ± 9E-1	3,0E+1 ± 2E+0	2,8E+1 ± 2E+0	3,8E+1 ± 1E+0	3,4E+1 ± 1E+0	2,6E+1 ± 1E+0	5,0E+1 ± 2E+0	2,3E+1 ± 1E+0	3,1E+1 ± 1E+0
K-40	6,0E+2 ± 3E+1	3,1E+2 ± 2E+1	5,4E+2 ± 3E+1	2,7E+2 ± 2E+1	3,5E+2 ± 2E+1	2,1E+2 ± 1E+1	4,3E+2 ± 2E+1	4,8E+2 ± 3E+1	2,3E+2 ± 1E+1	6,7E+2 ± 4E+1	3,4E+2 ± 2E+1	4,4E+2 ± 2E+1
Be-7				2,8E+0 ± 9E-1				7,9E+0 ± 1E+0				8,9E-1 ± 2E+0
Cs-134												
Cs-137	8,3E+0 ± 6E-1	6,8E+0 ± 4E-1	1,7E+1 ± 7E-1	7,8E+0 ± 3E-1	1,4E+1 ± 6E-1	5,3E+0 ± 5E-1	1,2E+1 ± 4E-1	3,4E+1 ± 9E-1	2,3E+1 ± 9E-1	1,8E+1 ± 7E-1	1,5E+1 ± 6E-1	5,8E+0 ± 3E-1
I-131												

* Izbajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

Tabela 8.19 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih nefiltrirane rečne vode na poljedelsko intenzivnih področjih ZVD

Oznaka vzorca	RV3150820	RV3170820	RV3160820	RV3180820	RV2410820	RV2970820	RV2980820	RV3200820	RV3190820	RV3210820	RV2710820	RV2420820	
Vzorec	Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana) Rečna voda (nefiltrirana)												
Lokacija	Lendava	Petanjci (Tilina)	Puj	Laško	Bianca	Kostanjevica na Krki	Metlika	Radomlje (Zgoranje Jarše)	Metvode (Zbilje)	�korja Loka	Ilirska Bistrica	Bilje pri Novi Gorici (Rente)	
Reka	Ledava	Mura	Drava	Savinja	Sava	Krka	Kolpa	Kamniška Bistrica	Sava	Sora	Reka	Vipava	
Dat. vzorčenja	22.8.20	22.8.20	22.8.20	23.8.20	1.8.20	16.8.20	16.8.20	23.8.20	23.8.20	23.8.20	9.8.20	2.8.20	povprečje
Dat. meritev	14.9.20	12.9.20	16.9.20	17.9.20	17.8.20	12.9.20	12.9.20	15.9.20	17.9.20	17.9.20	17.8.20	28.8.20	vseh
Količina vzorca	50,00 L	48,30 L	48,65 L	49,45 L	43,34 L	48,60 L	47,60 L	45,70 L	49,60 L	48,35 L	49,54 L	47,04 L	vzorec
SPECIFIKNA AKTIVNOST [Bq/m3]													
IZOTOP													
U-238	9,8E+0 ± 2E+0	3,8E+0 ± 3E-1	3,6E+0 ± 3E+0	2,5E+0 ± 2E+0	3,0E+0 ± 3E+0	8,3E+0 ± 2E+0	2,7E+0 ± 3E+0	8,4E+0 ± 2E+0	1,1E+1 ± 2E+0	1,1E+1 ± 2E+0	4,1E+0 ± 4E+0		
Ra-226 *	4,3E+0 ± 2E-1	3,8E+0 ± 3E-1	1,8E+0 ± 3E-1	2,7E+0 ± 2E-1	3,0E+0 ± 3E-1	2,7E+0 ± 1E-1	2,3E+0 ± 3E-1	2,7E+0 ± 1E-1	1,4E+0 ± 3E-1	2,5E+0 ± 8E-2	2,1E+0 ± 2E-1		2,5E+0 ± 1E+0
Pb-210	1,0E+1 ± 9E-1	8,1E+0 ± 2E+0	8,1E+0 ± 2E+0	2,1E+1 ± 2E+0	1,7E+1 ± 3E+0	6,5E+0 ± 6E-1	2,4E+0 ± 2E+0	5,7E+0 ± 6E-1	6,1E+0 ± 2E+0	9,5E+0 ± 6E-1	1,1E+1 ± 2E+0		8,1E+0 ± 6E+0
Ra-228	6,8E+0 ± 4E-1	3,9E+0 ± 5E-1	1,9E+0 ± 7E-1	4,3E+0 ± 5E-1	3,1E+0 ± 7E-1	2,2E+0 ± 2E-1	2,4E+0 ± 6E-1	2,2E+0 ± 2E-1	1,4E+0 ± 6E-1	1,4E+0 ± 1E-1	1,6E+0 ± 2E-1		2,2E+0 ± 2E+0
Th-232	4,4E+0 ± 3E-1	1,3E+0 ± 6E-1	4,4E+1 ± 5E+0	6,9E+1 ± 4E+0	5,0E+1 ± 5E+0	1,3E+0 ± 2E-1	2,2E+0 ± 6E-1	1,3E+0 ± 2E-1	1,2E+0 ± 6E-1	1,1E+0 ± 1E-1	1,6E+0 ± 2E-1		1,2E+0 ± 1E+0
K-40	1,3E+2 ± 4E+0	7,2E+1 ± 5E+0	7,5E+0 ± 2E+0	1,2E+1 ± 9E-1	1,3E+2 ± 5E+0	4,4E+1 ± 2E+0	1,6E+1 ± 5E+0	3,5E+1 ± 2E+0	1,7E+1 ± 4E+0	3,7E+1 ± 1E+0	5,5E+1 ± 2E+0		5,1E+1 ± 3E+1
Ba-7	2,6E+1 ± 1E+0	1,5E+1 ± 1E+0				1,4E+1 ± 9E-1	1,2E+1 ± 2E+0	1,4E+1 ± 1E+0	9,3E+0 ± 1E+0	2,2E+1 ± 9E-1	1,8E+1 ± 1E+0		3,5E+1 ± 5E+1
Cs-134													
Cs-137	8,3E-1 ± 1E-1	9,9E-1 ± 1E-1	< 1,5E+0	2,1E-1 ± 6E-2	< 1,1E+0	2,7E-1 ± 6E-2	< 1,2E+0	2,9E-1 ± 7E-2	< 7,8E-1	< 2,9E-1	< 5,0E-1		4,7E-1 ± 3E-1
I-131				4,7E+0 ± 6E-1	2,4E+0 ± 6E-1								5,9E-1 ± 1E+0

* Izhajanje radona iz procedure pri ura unu ni upoštevano





Tabela 8.20 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih poljščin na poljedeljsko intenzivnih področjih ZVD

Onaka vzorca	RV3010820	RV3020820	RV3030820	RV3040820	RV2450820	RV2530820	RV2940820	RV3050820	RV3060820	RV3070820	RV2770820	RV2460820
Vzorec	Bučke	Bučke	Kumare	Bučke	Bučke	Paprika	Bučke	Paradižnik	Paradižnik	Bučke	Bučke	Zelje
Lokacija	Lendava	Petanjci (Trišina)	Ptuj	Laško	Blanca	Kostanjevica na Krki	Metlika	Radomlje (Zgornje Jarše)	Medvode (Zbilje)	Škofja Loka	Ilirska Bistrica	Bljice pri Novi Gorici (Rence)
Reka	Ledava	Mura	Drava	Savinja	Sava	Krka	Kolpa	Kamniška Bistrica	Sava	Sora	Reka	Vipava
Dat. vzorčenja	22.8.20	22.8.20	22.8.20	23.8.20	1.8.20	16.8.20	16.8.20	23.8.20	23.8.20	23.8.20	9.8.20	2.8.20
Dat. meritve	3.9.20	3.9.20	4.9.20	11.9.20	28.8.20	1.9.20	27.8.20	12.9.20	11.9.20	11.9.20	25.8.20	25.8.20
Količina vzorca	3238 g	3860 g	3666 g	2820 g	3410 g	2240 g	3670 g	2478 g	2266 g	3708 g	4706 g	5464 g
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)											
U-238	9,2E-2 ± 8E-2				2,4E-2 ± 6E-3	3,4E-2 ± 2E-2	4,3E-2 ± 8E-3	3,1E-2 ± 1E-2	4,4E-2 ± 1E-2	2,9E-2 ± 6E-3	7,3E-2 ± 6E-2	1,4E-2 ± 3E-2
Ra-226 *	4,8E-2 ± 9E-3		3,2E-2 ± 4E-3									3,0E-2 ± 2E-2
Pb-210	< 3,3E-1	1,2E-1 ± 8E-2	7,7E-2 ± 5E-2	< 4,0E-1		< 6,6E-1	< 3,3E-1	< 5,3E-1	< 4,5E-1	1,4E-1 ± 7E-2	9,4E-2 ± 6E-2	1,7E-1 ± 1E-1
Ra-228		6,4E-2 ± 2E-2	9,5E-2 ± 1E-2	3,5E-2 ± 2E-2	4,7E-2 ± 3E-3						5,8E-2 ± 3E-2	3,2E-2 ± 4E-2
Th-228	4,4E-2 ± 2E-2		1,5E-1 ± 4E-2				4,3E-2 ± 2E-2	5,9E-2 ± 3E-2	5,9E-2 ± 3E-2		8,6E-2 ± 3E-2	2,9E-2 ± 5E-2
K-40	5,1E-1 ± 3E+0	8,7E-1 ± 5E+0	6,4E-1 ± 3E+0	6,3E-1 ± 3E+0	5,0E-1 ± 3E+0	1,2E-2 ± 7E+0	3,4E-1 ± 2E+0	7,8E-1 ± 4E+0	9,8E-1 ± 5E+0	8,8E-1 ± 4E+0	4,4E-1 ± 2E+0	7,0E-1 ± 3E+1
Be-7	3,3E-1 ± 5E-2	3,3E-1 ± 5E-2	5,0E-1 ± 3E-2								1,3E-1 ± 3E-2	1,1E-1 ± 2E-1
Cs-134												
Cs-137	1,3E-2 ± 3E-3	< 5,6E-2	< 1,7E-2	< 5,1E-2	< 2,6E-2	< 8,0E-2	< 3,4E-2	< 6,7E-2	< 3,1E-2	5,3E-2 ± 5E-3	< 3,3E-2	2,3E-2 ± 2E-2
I-131												

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

8.6 Zemlja

Nadaljevanje na naslednji strani 158.

Tabela 8.21 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Ljubljana €us

Ljubljana							
Vzorč. mesto	22. 5. 2023						
Datum vzor.							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-30 + trava
Kol. vzor. (kg/m ²)	0,1	77,4	88,9	97,5	97,1	91,5	264,0
Oznaka vzorca	RP23ZNI151	RP23ZNI1A51	RP23ZNI1B51	RP23ZNI1C51	RP23ZNI1D51	RP23ZNI1E51	
SPECIFIČNA AKTIVNOSTI (Bq/kg)							
IZOTOP							
U-238	1,9E+00 ± 1E+00	3,1E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 3E+00	3,1E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 3E+00	3,8E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 2E+00
Ra-226	9,0E-01 ± 9E-01	4,5E+01 ± 4E+00	5,1E+01 ± 5E+00	4,6E+01 ± 4E+00	4,5E+01 ± 4E+00	5,3E+01 ± 5E+00	4,8E+01 ± 3E+00
Pb-210	2,0E+01 ± 2E+00	7,5E+01 ± 5E+00	5,2E+01 ± 4E+00	9,4E+00	2,9E+01 ± 4E+00	3,1E+01 ± 2E+00	4,3E+01 ± 2E+00
Ra-228	6,7E-01 ± 6E-01	3,9E+01 ± 1E+00	4,1E+01 ± 1E+00	4,0E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 1E+00	4,9E+01 ± 1E+00	4,0E+01 ± 7E-01
Th-228	6,2E-01 ± 1E-01	4,1E+01 ± 1E+00	4,2E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 1E+00	5,2E+01 ± 1E+00	4,1E+01 ± 7E-01
Th-230		2,2E+01 ± 2E+01	4,1E+00 ± 2E+01			9,0E+01 ± 2E+01	7,8E+00 ± 9E+00
K-40	6,0E+02 ± 3E+01	4,9E+02 ± 2E+01	5,0E+02 ± 2E+01	4,8E+02 ± 2E+01	4,4E+02 ± 2E+01	5,8E+02 ± 2E+01	4,9E+02 ± 1E+01
Be-7	1,6E+02 ± 1E+01	3,9E+00 ± 8E-01					1,2E+00 ± 2E-01
I-131							
Cs-134							
Cs-137		1,9E+01 ± 7E-01	1,9E+01 ± 1E+00	5,3E+00 ± 8E-01	3,5E-01 ± 2E-01	6,5E-01 ± 2E-01	1,4E+01 ± 5E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90		4,7E-01 ± 7E-02	6,0E-01 ± 7E-02	5,7E-01 ± 7E-02	5,6E-01 ± 7E-02	1,3E+00 ± 1E-01	5,5E-01 ± 4E-02

Ljubljana							
Vzorč. mesto	21. 8. 2023						
Datum vzor.							
Gl. vzor. (cm)	trava	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-30 + trava
Kol. vzor. (kg/m ²)	0,1	66,7	78,6	81,6	81,5	74,8	227,1
Oznaka vzorca	RP23ZNI181	RP23ZNI1A81	RP23ZNI1B81	RP23ZNI1C81	RP23ZNI1D81	RP23ZNI1E81	
SPECIFIČNA AKTIVNOSTI (Bq/kg)							
IZOTOP							
U-238	8,9E-01 ± 1E+00	3,3E+01 ± 5E+00	3,3E+01 ± 3E+00	2,9E+01 ± 5E+00	3,4E+01 ± 3E+00	3,9E+01 ± 5E+00	3,1E+01 ± 2E+00
Ra-226	4,8E+00 ± 2E+00	4,6E+01 ± 4E+00	5,0E+01 ± 5E+00	4,5E+01 ± 4E+00	5,0E+01 ± 5E+00	5,2E+01 ± 5E+00	4,7E+01 ± 3E+00
Pb-210	7,0E+01 ± 4E+00	3,4E+01 ± 4E+01	4,5E+01 ± 3E+00	9,1E+00	3,7E+01 ± 4E+00	9,9E+00	4,7E+01 ± 1E+01
Ra-228	1,9E+00 ± 4E-01	4,0E+01 ± 1E+00	4,0E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 1E+00	4,2E+01 ± 1E+00	4,7E+01 ± 1E+00	2,9E+01 ± 1E+01
Th-228	1,0E+00 ± 1E-01	3,9E+01 ± 1E+00	4,1E+01 ± 1E+00	3,7E+01 ± 1E+00	4,4E+01 ± 1E+00	4,7E+01 ± 1E+00	3,9E+01 ± 7E-01
Th-230		2,1E+01 ± 2E+01	2,1E+01 ± 2E+01		1,1E+01 ± 5E+01	6,9E+00 ± 7E+00	3,9E+01 ± 7E-01
K-40	5,3E+02 ± 9E+01	4,7E+02 ± 2E+01	5,0E+02 ± 2E+01	4,5E+02 ± 2E+01	5,1E+02 ± 2E+01	5,4E+02 ± 2E+01	6,9E+00 ± 7E+00
Be-7	5,7E+02 ± 4E+01	3,2E+00 ± 1E+00					4,8E+02 ± 1E+01
I-131							1,2E+00 ± 3E-01
Cs-134							
Cs-137	6,1E-01 ± 2E-01	2,0E+01 ± 7E-01	1,9E+01 ± 1E+00	6,2E+00 ± 3E-01	1,6E+00 ± 1E-01	6,8E-01 ± 2E-01	1,5E+01 ± 4E-01
Co-58							
Co-60							
Cr-51							
Mn-54							
Zn-65							
Nb-95							
Ru-106							
Sb-125							
Sr-89/Sr-90	9,0E-01 ± 8E-02	4,4E-01 ± 7E-02	5,6E-01 ± 6E-02	4,3E-01 ± 6E-02	6,4E-01 ± 8E-02	1,3E+00 ± 1E-01	4,8E-01 ± 4E-02



Tabela 8.22 | Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Ljubljana

Vzorec, mesto		Ljubljana															
		22. 5. 2023															
Datum vzor.		trava		0-10		10-20		20-30		30-40		40-50		0-30		0-30 + trava	
Gl. vzor. (cm)		0,1		77,4		88,9		97,1		97,1		91,5		263,8		264,0	
Kol. vzor. (kg/m²)		RP23ZNI151		RP23ZNI151		RP23ZNI151		RP23ZNIC51		RP23ZNI051		RP23ZNI151					
Oznaka vorca		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)															
IZOTOP																	
U-238	2,5E-01 ± 1E-01	2,4E+03 ± 4E+02	2,7E+03 ± 3E+02	3,0E+03 ± 4E+02	3,0E+03 ± 3E+02	3,5E+03 ± 4E+02	8,2E+03 ± 6E+02	8,2E+03 ± 6E+02									
Ra-226	1,2E-01 ± 1E-01	3,5E+03 ± 3E+02	4,6E+03 ± 4E+02	4,5E+03 ± 4E+02	4,3E+03 ± 4E+02	4,9E+03 ± 5E+02	1,3E+04 ± 7E+02	1,3E+04 ± 7E+02									
Pb-210	2,7E+00 ± 2E-01	5,8E+03 ± 4E+02	4,7E+03 ± 4E+02	9,2E+02 ± 1E+02	2,8E+03 ± 4E+02	2,8E+03 ± 2E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	x								
Ra-228	8,9E-02 ± 8E-02	3,0E+03 ± 9E+01	3,7E+03 ± 1E+02	3,9E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 1E+02	4,5E+03 ± 1E+02	1,1E+04 ± 2E+02	1,1E+04 ± 2E+02									
Th-228	8,3E-02 ± 2E-02	3,2E+03 ± 9E+01	3,8E+03 ± 1E+02	3,8E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 1E+02	4,7E+03 ± 2E+03	1,1E+04 ± 2E+02	1,1E+04 ± 2E+02									
Th-230	1,7E+03 ± 1E+03	1,7E+03 ± 1E+03	3,6E+02 ± 2E+03	4,4E+04 ± 1E+03	4,3E+04 ± 2E+03	8,3E+03 ± 2E+03	2,0E+03 ± 2E+03	2,0E+03 ± 2E+03									
K-40	8,0E+01 ± 4E+00	3,8E+04 ± 1E+03	4,4E+04 ± 1E+03	4,7E+04 ± 2E+03	4,3E+04 ± 2E+03	5,3E+04 ± 2E+03	1,3E+05 ± 3E+03	1,3E+05 ± 3E+03									
Be-7	2,1E+01 ± 1E+00	3,0E+02 ± 6E+01					3,0E+02 ± 6E+01	3,0E+02 ± 6E+01									
Cs-134	1-131																
Cs-137		1,5E+03 ± 6E+01	1,7E+03 ± 1E+02	5,2E+02 ± 8E+01	3,4E+01 ± 2E+01	6,0E+01 ± 1E+01	3,7E+03 ± 1E+02	3,7E+03 ± 1E+02									
Co-58																	
Co-60																	
Cr-51																	
Mn-54																	
Zn-65																	
Nb-95																	
Ru-106																	
Sb-125																	
Sr-89/Sr-90		3,6E+01 ± 5E+00	5,3E+01 ± 6E+00	5,5E+01 ± 6E+00	5,4E+01 ± 7E+00	1,2E+02 ± 1E+01	1,4E+02 ± 1E+01	1,4E+02 ± 1E+01									

Vzorec, mesto		Ljubljana															
		21. 8. 2023															
Datum vzor.		trava		0-10		10-20		20-30		30-40		40-50		0-30		0-30 + trava	
Gl. vzor. (cm)		0,1		66,7		78,6		81,6		81,5		74,8		227,0		227,1	
Kol. vzor. (kg/m²)		RP23ZNI181		RP23ZNI181		RP23ZNI181		RP23ZNIC81		RP23ZNI081		RP23ZNI181					
Oznaka vzorca		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m²)															
IZOTOP																	
U-238	1,0E-01 ± 1E-01 ±	2,2E+03 ± 3E+02	2,6E+03 ± 3E+02	2,4E+03 ± 4E+02	2,8E+03 ± 2E+02	2,9E+03 ± 4E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02	7,1E+03 ± 6E+02
Ra-226	5,5E-01 ± 2E-01	3,0E+03 ± 3E+02	3,9E+03 ± 4E+02	3,7E+03 ± 3E+02	4,1E+03 ± 4E+02	3,9E+03 ± 4E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02	1,1E+04 ± 6E+02
Pb-210	8,1E+00 ± 5E-01	2,3E+03 ± 3E+03	3,6E+03 ± 2E+02	7,5E+02 ± 3E+02	3,0E+03 ± 4E+02	7,4E+02 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03	6,6E+03 ± 3E+03
Ra-228	2,2E-01 ± 5E-02	2,6E+03 ± 8E+01	3,1E+03 ± 9E+01	3,0E+03 ± 1E+02	3,4E+03 ± 1E+02	3,5E+03 ± 1E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02	8,8E+03 ± 2E+02
Th-228	1,2E-01 ± 2E-02	2,6E+03 ± 8E+01	3,2E+03 ± 9E+01	3,0E+03 ± 1E+02	3,6E+03 ± 1E+02	3,5E+03 ± 1E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02	8,9E+03 ± 2E+02
Th-230	6,1E+01 ± 1E+01	3,1E+04 ± 1E+03	1,6E+03 ± 2E+03	3,7E+04 ± 1E+03	8,9E+02 ± 4E+03	4,0E+04 ± 1E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03	1,6E+03 ± 2E+03
K-40	6,6E+01 ± 4E+00	2,1E+02 ± 8E+01	4,0E+04 ± 1E+03	3,7E+04 ± 1E+03	4,2E+04 ± 1E+03	4,0E+04 ± 1E+03	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01	2,1E+02 ± 8E+01
Be-7	1-131																
Cs-134																	
Cs-137	7,0E-02 ± 2E-02	1,3E+03 ± 5E+01	1,5E+03 ± 9E+01	5,0E+02 ± 2E+01	1,3E+02 ± 1E+01	5,1E+01 ± 1E+01	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02	3,3E+03 ± 1E+02
Co-58																	
Co-60																	
Cr-51																	
Mn-54																	
Zn-65																	
Nb-95																	
Ru-106																	
Sb-125																	
Sr-89/Sr-90	1,0E-01 ± 9E-03	2,9E+01 ± 5E+00	4,4E+01 ± 5E+00	3,5E+01 ± 5E+00	5,2E+01 ± 6E+00	9,7E+01 ± 7E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00	1,1E+02 ± 8E+00





Tabela 8.24 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zemlje - Murska Sobota ZVD

Oznaka vzorca	ZMS100523	ZMS200523	ZMS300523	ZMS400523	ZMS500523	ZMS100923	ZMS200923	ZMS300923	ZMS400923	ZMS500923	
Vzorec	Tla (0-10 cm)	Tla (10-20 cm)	Tla (20-30 cm)	Tla (30-40 cm)	Tla (40-50 cm)	Tla (0-10 cm)	Tla (10-20 cm)	Tla (20-30 cm)	Tla (30-40 cm)	Tla (40-50 cm)	
Lokacija	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	letno povprečje vseh vzorcev
Dat. vzorčenja	6.5.23	6.5.23	6.5.23	6.5.23	6.5.23	16.9.23	16.9.23	16.9.23	16.9.23	16.9.23	
Dat. meritev	21.8.23	21.8.23	21.8.23	21.8.23	21.8.23	13.12.23	13.12.23	15.12.23	15.12.23	15.12.23	
Količina vzorca	650,1 g	920,5 g	810,1 g	889,5 g	942,3 g	923,7 g	980,4 g	1226,4 g	1073,3 g	1142,7 g	
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)										preračunano na datum vzorčenja
U-238	5,0E+1 ± 9E+0	4,0E+1 ± 7E+0	4,8E+1 ± 8E+0	4,0E+1 ± 7E+0	3,9E+1 ± 7E+0	3,5E+1 ± 7E+0	3,6E+1 ± 7E+0	6,6E+0 ± 2E+0	4,3E+1 ± 8E+0	3,7E+1 ± 8E+0	3,8E+1 ± 4E+0
Ra-226	3,9E+1 ± 7E-1	4,0E+1 ± 8E-1	4,1E+1 ± 7E-1	4,1E+1 ± 8E-1	3,8E+1 ± 7E-1	3,1E+1 ± 8E-1	2,9E+1 ± 6E-1	7,4E+0 ± 3E-1	2,9E+1 ± 7E-1	2,9E+1 ± 7E-1	3,3E+1 ± 3E+0
Pb-210	7,5E+1 ± 6E+0	4,2E+1 ± 4E+0	3,9E+1 ± 3E+0	4,4E+1 ± 4E+0	3,5E+1 ± 3E+0	5,5E+1 ± 5E+0	3,7E+1 ± 3E+0	9,1E+0 ± 1E+0	3,5E+1 ± 4E+0	4,0E+1 ± 4E+0	4,1E+1 ± 5E+0
Ra-228	4,6E+1 ± 1E+0	4,8E+1 ± 1E+0	4,8E+1 ± 1E+0	4,6E+1 ± 1E+0	4,3E+1 ± 1E+0	4,1E+1 ± 1E+0	3,9E+1 ± 7E-1	9,1E+0 ± 5E-1	3,7E+1 ± 1E+0	3,7E+1 ± 1E+0	3,9E+1 ± 4E+0
Th-228	4,2E+1 ± 2E+0	4,3E+1 ± 2E+0	4,7E+1 ± 1E+0	4,2E+1 ± 1E+0	3,6E+1 ± 1E+0	3,7E+1 ± 2E+0	3,6E+1 ± 1E+0	9,0E+0 ± 6E-1	3,5E+1 ± 2E+0	3,4E+1 ± 1E+0	3,6E+1 ± 3E+0
K-40	5,1E+2 ± 3E+1	4,8E+2 ± 3E+1	4,6E+2 ± 2E+1	4,5E+2 ± 2E+1	4,5E+2 ± 2E+1	5,0E+2 ± 2E+1	5,0E+2 ± 2E+1	1,1E+2 ± 5E+0	4,6E+2 ± 2E+1	4,7E+2 ± 2E+1	4,4E+2 ± 4E+1
Be-7						5,3E+0 ± 1E+0		1,4E+0 ± 4E-1			6,7E-1 ± 5E-1
Cs-134											
Cs-137	2,9E+1 ± 8E-1	1,1E+1 ± 4E-1	9,4E-1 ± 8E-2	< 8,0E-1	3,9E-1 ± 9E-2	1,0E+1 ± 4E-1	5,4E+0 ± 2E-1	2,3E+0 ± 2E-1	2,1E+1 ± 8E-1	1,9E+1 ± 7E-1	9,9E+0 ± 3E+0
I-131											
Sr-90	2,9E-1 ± 2E-1	2,6E-1 ± 2E-1	< 2,3E-1	< 2,1E-1	< 1,7E-1	6,4E-1 ± 2E-1	< 3,2E-1	< 2,3E-1	< 1,6E-1	< 1,6E-1	1,9E-1 ± 6E-2
H-3	**										
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/m ³)										preračunano na datum vzorčenja
Cs-137	1,2E+3 ± 3E+1	6,4E+2 ± 2E+1	4,9E+1 ± 4E+0	< 4,5E+1	2,4E+1 ± 5E+0	6,0E+2 ± 3E+1	3,3E+2 ± 1E+1	1,8E+2 ± 1E+1	1,4E+3 ± 6E+1	1,4E+3 ± 5E+1	
Sr-90	1,2E+1 ± 6E+0	1,5E+1 ± 1E+1	< 1,2E+1	< 1,2E+1	< 1,0E+1	3,7E+1 ± 1E+1	< 2,0E+1	< 1,8E+1	< 1,1E+1	< 1,1E+1	

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

8.7 Morje - voda in sedimenti

Tabela 8.25 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih morja - vode in sedimentov 

Vzorč. mesto	Piranski zaliv
Datum vzor.	13. 7. 2023
Kol. vzorca (L)	50,00
Koda vzorca	RP23VM63371
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)
Cs-137	1,2E+00 ± 1E-01

Vzorč. mesto	Piranski zaliv
Datum vzor.	3. 7. 2023
Kol. vzorca (kg)	0,40
Koda vzorca	RP23SD63371
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)
U-238	2,7E+01 ± 1E+00
Ra-226	2,7E+01 ± 3E+00
Pb-210	8,2E+01 ± 5E+00
Ra-228	2,4E+01 ± 9E-01
Th-228	2,6E+01 ± 1E+00
Th-230	3,3E+01 ± 2E+01
K-40	5,3E+02 ± 4E+01
Be-7	9,0E-01 ± 4E-01
I-131	
Cs-134	
Cs-137	2,8E+00 ± 2E-01
Co-58	
Co-60	
Cr-51	
Mn-54	
Zn-65	
Nb-95	
Ru-106	
Sb-125	

8.8 Zunanje sevanje

Tabela 8.26 | Izmerjene vrednosti zunanjega sevanja s TL dozimetri ☼JS

Št. TLD	Mesto postavitve	Izmerjena doza $H^*(10)$ (mSv) v obdobju		Letna doza $H^*(10)$ (mSv)	Povprečna mesečna doza $H^*(10)$ (mSv na mesec) v obdobju		Povprečna mesečna doza $H^*(10)$ (mSv na mesec)
		od 1. 1. 2023 do 1. 7. 2023	od 1. 7. 2023 do 1. 1. 2024		od 1. 1. 2023 do 1. 7. 2023	od 1. 7. 2023 do 1. 1. 2024	
1	KOČEVJE	0,433 ± 0,087	0,487 ± 0,097	0,921 ± 0,130	0,073 ± 0,015	0,081 ± 0,016	0,077 ± 0,022
2	DVOR PRI ŽUŽEMBERKU	0,508 ± 0,102	0,533 ± 0,107	1,041 ± 0,147	0,085 ± 0,017	0,088 ± 0,018	0,087 ± 0,025
3	DOBLUČE ČRNOMELJ	0,584 ± 0,117	0,601 ± 0,120	1,185 ± 0,168	0,098 ± 0,020	0,099 ± 0,020	0,099 ± 0,028
4	DRAŠIČI METLIKA	0,431 ± 0,086	0,468 ± 0,094	0,899 ± 0,127	0,072 ± 0,014	0,077 ± 0,015	0,075 ± 0,021
5	NOVO MESTO	0,339 ± 0,068	0,361 ± 0,072	0,700 ± 0,099	0,057 ± 0,011	0,060 ± 0,012	0,058 ± 0,017
6	MALKOVEC MOKRONOG	0,385 ± 0,077	0,387 ± 0,077	0,772 ± 0,109	0,065 ± 0,013	0,064 ± 0,013	0,064 ± 0,018
7	LISCA	0,381 ± 0,076	0,390 ± 0,078	0,771 ± 0,109	0,064 ± 0,013	0,064 ± 0,013	0,064 ± 0,018
8	CELJE	0,401 ± 0,080	0,423 ± 0,085	0,823 ± 0,116	0,067 ± 0,013	0,070 ± 0,014	0,069 ± 0,019
9	ROGAŠKA SLATINA	0,357 ± 0,071	0,375 ± 0,075	0,732 ± 0,104	0,060 ± 0,012	0,062 ± 0,012	0,061 ± 0,017
10	SLOVENSKE KONJICE	0,432 ± 0,086	0,418 ± 0,084	0,850 ± 0,120	0,073 ± 0,015	0,069 ± 0,014	0,071 ± 0,020
11	ROGLA	0,476 ± 0,095	0,554 ± 0,111	1,030 ± 0,146	0,080 ± 0,016	0,092 ± 0,018	0,086 ± 0,024
12	MARIBOR AERODROM	0,334 ± 0,067	0,402 ± 0,080	0,735 ± 0,104	0,056 ± 0,011	0,066 ± 0,013	0,061 ± 0,017
13	PTUJ	0,388 ± 0,078	0,407 ± 0,081	0,795 ± 0,112	0,065 ± 0,013	0,067 ± 0,013	0,066 ± 0,019
14	JERUZALEM ORMOŽ	0,451 ± 0,090	0,399 ± 0,080	0,850 ± 0,120	0,076 ± 0,015	0,066 ± 0,013	0,071 ± 0,020
15	LENDAVA	0,434 ± 0,087	0,452 ± 0,090	0,887 ± 0,125	0,073 ± 0,015	0,075 ± 0,015	0,074 ± 0,021
16	MURSKA SOBOTA	0,369 ± 0,074	0,379 ± 0,076	0,747 ± 0,106	0,062 ± 0,012	0,063 ± 0,013	0,062 ± 0,018
17	GORNJI PETROVCI	0,421 ± 0,084	0,438 ± 0,088	0,859 ± 0,121	0,071 ± 0,014	0,072 ± 0,014	0,072 ± 0,020
18	GORNJA RADGONA	0,400 ± 0,080	0,372 ± 0,074	0,772 ± 0,109	0,067 ± 0,013	0,061 ± 0,012	0,064 ± 0,018
19	SVEČINA PLAČ	0,470 ± 0,094	0,459 ± 0,092	0,928 ± 0,131	0,079 ± 0,016	0,076 ± 0,015	0,077 ± 0,022
20	RIBNICA NA POHORJU	0,416 ± 0,083	0,444 ± 0,089	0,860 ± 0,122	0,070 ± 0,014	0,073 ± 0,015	0,072 ± 0,020
21	KOTLJE	0,463 ± 0,093	0,450 ± 0,090	0,912 ± 0,129	0,078 ± 0,016	0,074 ± 0,015	0,076 ± 0,022
22	VELENJE	0,373 ± 0,075	0,344 ± 0,069	0,717 ± 0,102	0,063 ± 0,013	0,057 ± 0,011	0,060 ± 0,017
23	NAZARJE MOZIRJE	0,406 ± 0,081	0,411 ± 0,082	0,816 ± 0,115	0,068 ± 0,014	0,068 ± 0,014	0,068 ± 0,019
24	LUČE OB SAVINJI	0,412 ± 0,082	0,424 ± 0,085	0,836 ± 0,118	0,069 ± 0,014	0,070 ± 0,014	0,070 ± 0,020
25	VACÉ	0,409 ± 0,082	0,452 ± 0,090	0,862 ± 0,122	0,069 ± 0,014	0,075 ± 0,015	0,072 ± 0,020
26	LJUBLJANA BEŽIGRAD	0,381 ± 0,076	0,382 ± 0,076	0,763 ± 0,108	0,064 ± 0,013	0,063 ± 0,013	0,064 ± 0,018
27	BRNIK AERODROM	0,563 ± 0,113	0,511 ± 0,102	1,075 ± 0,152	0,095 ± 0,019	0,085 ± 0,017	0,090 ± 0,025
28	JEZERSKO	0,488 ± 0,098	0,503 ± 0,101	0,990 ± 0,140	0,082 ± 0,016	0,083 ± 0,017	0,083 ± 0,023
29	PODLJUBELJ	0,362 ± 0,072	0,372 ± 0,074	0,734 ± 0,104	0,061 ± 0,012	0,061 ± 0,012	0,061 ± 0,017
30	LESCE VRBNJE	0,360 ± 0,072	0,371 ± 0,074	0,731 ± 0,103	0,060 ± 0,012	0,061 ± 0,012	0,061 ± 0,017
31	PLANINA POD GOLICO	0,482 ± 0,096	0,496 ± 0,099	0,978 ± 0,138	0,081 ± 0,016	0,082 ± 0,016	0,082 ± 0,023
32	ZDENSKA VAS	0,456 ± 0,091	0,471 ± 0,094	0,927 ± 0,131	0,077 ± 0,015	0,078 ± 0,016	0,077 ± 0,022
33	RATEČE	0,428 ± 0,086	0,469 ± 0,094	0,898 ± 0,127	0,072 ± 0,014	0,078 ± 0,016	0,075 ± 0,021
34	TRENTA	0,296 ± 0,059	0,288 ± 0,058	0,584 ± 0,083	0,050 ± 0,010	0,048 ± 0,010	0,049 ± 0,014
35	LOG POD MANGARTOM	0,439 ± 0,088	0,447 ± 0,089	0,886 ± 0,125	0,074 ± 0,015	0,074 ± 0,015	0,074 ± 0,021
36	BOVEC	0,371 ± 0,074	0,373 ± 0,075	0,744 ± 0,105	0,062 ± 0,012	0,062 ± 0,012	0,062 ± 0,018
37	TOLMIN	0,372 ± 0,074	0,364 ± 0,073	0,736 ± 0,104	0,063 ± 0,013	0,060 ± 0,012	0,061 ± 0,017
38	BILJE NOVA GORICA	0,311 ± 0,062	0,323 ± 0,065	0,634 ± 0,090	0,052 ± 0,010	0,053 ± 0,011	0,053 ± 0,015
39	VEDRIJAN KOJSKO	0,412 ± 0,082	0,412 ± 0,082	0,824 ± 0,117	0,069 ± 0,014	0,068 ± 0,014	0,069 ± 0,019
40	LOKEV PRI LIPICI	0,461 ± 0,092	0,475 ± 0,095	0,936 ± 0,132	0,077 ± 0,015	0,079 ± 0,016	0,078 ± 0,022
41	SEČOVLJE AERODROM	0,359 ± 0,072	0,350 ± 0,070	0,709 ± 0,100	0,060 ± 0,012	0,058 ± 0,012	0,059 ± 0,017
42	KOSEZE IL. BISTRICA	0,403 ± 0,081	0,412 ± 0,082	0,815 ± 0,115	0,068 ± 0,014	0,068 ± 0,014	0,068 ± 0,019
43	ZALOG POSTOJNA	0,445 ± 0,089	0,450 ± 0,090	0,895 ± 0,127	0,075 ± 0,015	0,074 ± 0,015	0,075 ± 0,021
44	NOVA VAS NA BLOKAH	0,523 ± 0,105	0,543 ± 0,109	1,066 ± 0,151	0,088 ± 0,018	0,090 ± 0,018	0,089 ± 0,025
45	VRHNIKA	0,623 ± 0,125	0,630 ± 0,126	1,253 ± 0,177	0,105 ± 0,021	0,104 ± 0,021	0,104 ± 0,030
46	VOJSKO	0,402 ± 0,080	0,416 ± 0,083	0,818 ± 0,116	0,068 ± 0,014	0,069 ± 0,014	0,068 ± 0,019
47	SORICA	0,367 ± 0,073	0,357 ± 0,071	0,723 ± 0,102	0,062 ± 0,012	0,059 ± 0,012	0,060 ± 0,017
48	STARA FUŽINA	0,307 ± 0,061	0,329 ± 0,066	0,635 ± 0,090	0,052 ± 0,010	0,054 ± 0,011	0,053 ± 0,015
49	JELENJA VAS ISKRBA	0,623 ± 0,125	0,697 ± 0,139	1,320 ± 0,187	0,105 ± 0,021	0,115 ± 0,023	0,110 ± 0,031
50	KREDARICA	0,375 ± 0,075	0,361 ± 0,072	0,736 ± 0,104	0,063 ± 0,013	0,060 ± 0,012	0,061 ± 0,017
Število merilnih mest		50	50	50	50	50	50
Povprečje - merilna mesta		0,422 ± 0,086	0,433 ± 0,088	0,854 ± 0,151	0,071 ± 0,014	0,072 ± 0,015	0,071 ± 0,020
Najvišja doza		0,623 ± 0,125 ⁽⁴⁵⁾	0,697 ± 0,139 ⁽⁴⁹⁾	1,320 ± 0,187 ⁽⁴⁹⁾	0,105 ± 0,021 ⁽⁴⁵⁾	0,115 ± 0,023 ⁽⁴⁹⁾	0,110 ± 0,031 ⁽⁴⁹⁾
Najnižja doza		0,296 ± 0,059 ⁽³⁴⁾	0,288 ± 0,058 ⁽³⁴⁾	0,584 ± 0,083 ⁽³⁴⁾	0,050 ± 0,010 ⁽³⁴⁾	0,048 ± 0,010 ⁽³⁴⁾	0,049 ± 0,014 ⁽³⁴⁾

8.9 Pitna voda

Tabela 8.27 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih pitne vode Bq/m^3

Vzorč. mesto	Ljubljana - Polje (Kašelj)	Maribor (Vrtec Focheva)	Selnica ob Dravi	Vuzenica (Vrtec Vuzenica)
Datum vzor.	23. 3. 2023	14. 3. 2023	14. 3. 2023	14. 3. 2023
Kol. vzorca (L)	50,26	50,85	51,16	51,02
Koda vzorca	RP23VD126031	RP23VD200031	RP23VD235231	RP23VD236731
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)			
U-238	7,3E+00 ± 2E+00	2,1E+00 ± 1E+00	3,7E+00 ± 7E-01	7,0E+00 ± 2E+00
Ra-226	7,6E-01 ± 5E-01	1,9E+00 ± 1E+00	4,0E+00 ± 7E-01	1,9E+01 ± 3E+00
Pb-210	2,9E-01 ± 1E-01 †	1,9E+00 ± 1E+00	3,7E+00 ± 6E-01	7,3E-01 ± 1E-01 †
Ra-228	9,6E-01 ± 4E-01	9,1E-01 ± 5E-01	1,7E+00 ± 3E-01	6,7E+00 ± 5E-01
Th-228	2,5E-01 ± 2E-01	1,1E+00 ± 3E-01	2,6E-01 ± 2E-01 ‡	2,4E+00 ± 2E-01
Th-230		1,3E+00 ± 5E+00 ‡		
K-40	3,0E+01 ± 2E+00	7,1E+01 ± 4E+00	5,5E+01 ± 3E+00	4,2E+01 ± 3E+00
Be-7		1,9E+00 ± 2E+00 ‡	1,8E+00 ± 2E+00 ‡	
I-131				
Cs-134				
Cs-137				
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-89/Sr-90	2,1E-01 ± 6E-02	5,3E-01 ± 9E-02	4,4E-02 ± 1E-02 †	2,0E-01 ± 6E-02
H-3	5,0E+02 ± 6E+01	5,7E+02 ± 6E+01	5,2E+02 ± 6E+01	6,0E+02 ± 6E+01

Vzorč. mesto	Ravne na Koroškem (Mercator Center)	Laško (OŠ P. Trubarja)	Velenje (Vrtec Vrtljak)	Gornji Petrovci (OŠ Gornji Petrovci)
Datum vzor.	14. 3. 2023	23. 3. 2023	23. 3. 2023	22. 3. 2023
Kol. vzorca (L)	51,40	50,48	49,96	50,58
Koda vzorca	RP23VD239031	RP23VD327031	RP23VD332031	RP23VD920331
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m^3)			
U-238	7,5E-01 ± 1E+00 ‡	6,1E+00 ± 2E+00	9,2E+00 ± 4E+00	5,4E+00 ± 2E+00
Ra-226	3,1E+00 ± 1E+00	1,6E+01 ± 2E+00	2,4E+01 ± 4E+00	2,4E+00 ± 6E-01
Pb-210	8,4E-01 ± 2E+00 ‡	1,7E+01 ± 2E+00	3,4E-01 ± 1E+00 ‡	5,0E-01 ± 1E-01 †
Ra-228		3,4E+00 ± 6E-01	1,4E+00 ± 3E-01	2,9E+00 ± 6E-01
Th-228	6,1E-01 ± 2E-01	5,2E-01 ± 2E-01	8,8E-01 ± 2E-01	3,4E-01 ± 2E-01
Th-230	7,4E+00 ± 1E+01 ‡			
K-40	4,4E+00 ± 4E+00 ‡	9,7E+00 ± 3E+00	3,3E+01 ± 2E+00	4,9E+01 ± 5E+00
Be-7	1,2E+00 ± 1E+00 ‡			
I-131				
Cs-134				
Cs-137	2,3E-02 ± 1E-01 ‡			
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-89/Sr-90	3,7E-02 ± 1E-02 †	6,8E-01 ± 8E-02	3,7E-01 ± 7E-02	1,2E+00 ± 1E-01
H-3	4,9E+02 ± 6E+01	4,4E+02 ± 6E+01	3,7E+02 ± 5E+01	6,0E+02 ± 8E+01

Tabela 8.28 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih pitne vode – nadaljevanje $\neq$ IJS

Vzorč. mesto	Grosuplje (Vrtec Grosuplje)	Cerknica (OŠ Cerknica)	Kranj (OŠ Stražišče)	Idrija (Vrtec Idrija)
Datum vzor.	17. 4. 2023	14. 4. 2023	14. 4. 2023	14. 4. 2023
Kol. vzorca (L)	50,48	50,69	50,79	50,33
Koda vzorca	RP23VD129041	RP23VD138041	RP23VD400041	RP23VD528041
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)			
U-238	2,6E+00 ± 6E-01	5,4E+00 ± 6E-01	1,5E+00 ± 1E+00 $\neq$	1,2E+00 ± 3E+00 $\neq$
Ra-226	4,2E+00 ± 5E-01	2,5E+00 ± 3E-01	1,7E-01 ± 4E-01 $\neq$	1,3E+00 ± 1E+00 $\neq$
Pb-210	1,5E+00 ± 6E-01	3,5E+00 ± 1E+00	1,4E+00 ± 2E+00 $\neq$	4,6E-01 $\neq$
Ra-228	1,4E+00 ± 3E-01	4,5E-01 ± 2E-01		9,0E-02 ± 3E-01 $\neq$
Th-228	4,7E-01 ± 2E-01	1,9E-01 ± 1E-01		4,5E-01 ± 2E-01
Th-230				6,8E+00 ± 1E+01 $\neq$
K-40	8,7E+00 ± 9E-01	1,2E+01 ± 9E-01	3,0E+00 ± 4E+00 $\neq$	9,2E+00 ± 1E+00
Be-7		1,9E-01 ± 7E-01 $\neq$		3,9E+00 ± 2E+00
I-131				
Cs-134				
Cs-137		1,1E-01 ± 1E-01 $\neq$		
Co-58				
Co-60				
Cr-51				
Mn-54				
Zn-65				
Nb-95				
Ru-106				
Sb-125				
Sr-89/Sr-90	2,9E-01 ± 8E-02	1,6E+00 ± 1E-01	1,0E+00 ± 1E-01	1,0E+00 ± 9E-02
H-3	4,1E+02 ± 7E+01	6,7E+02 ± 8E+01	4,5E+02 ± 7E+01	4,6E+02 ± 7E+01

Vzorč. mesto	Jelšane (Vrtec Ilirska Bistrica)	Škofije (Vrtec Škofije)	Krško (VVZ, Leskovec pri Krškem)
Datum vzor.	11. 7. 2023	11. 7. 2023	13. 4. 2023
Kol. vzorca (L)	50,89	51,19	49,77
Koda vzorca	RP23VD625471	RP23VD628171	RP23VD827341
IZOTOP	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI (Bq/m ³)		
U-238	1,5E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 2E+00	2,8E+00 ± 7E-01
Ra-226	3,2E+00 ± 5E-01	8,3E-01 ± 6E-01	1,5E+00 ± 2E-01
Pb-210	2,5E+00 ± 5E-01	3,3E+00 ± 2E+00	2,8E+00 ± 5E-01
Ra-228	7,1E-01 ± 2E-01	1,3E-01 ± 2E-01 $\neq$	1,1E+00 ± 2E-01
Th-228	6,9E-01 ± 2E-01	3,2E-01 ± 2E-01	3,1E-01 ± 8E-02
Th-230			
K-40	4,0E+00 ± 9E-01	1,3E+01 ± 2E+00	4,4E+01 ± 3E+00
Be-7		2,7E+00 ± 1E+00	3,0E+00 ± 7E-01
I-131			
Cs-134			
Cs-137			3,7E-03 ± 6E-02 $\neq$
Co-58			
Co-60			
Cr-51			
Mn-54			
Zn-65			
Nb-95			
Ru-106			
Sb-125			
Sr-89/Sr-90	8,9E-01 ± 9E-02	1,8E+00 ± 1E-01	7,2E-01 ± 8E-02
H-3	3,2E+02 ± 8E+01	6,5E+02 ± 8E+01	9,2E+02 ± 9E+01

8.10 Hrana

Tabela 8.29 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Ljubljana ZVD

Oznaka vzorca	MLLJ0223	MLLJ0423	MLLJ0623	MLLJ0823	MLLJ1023	MLLJ1223	
Vzorec	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	
Lokacija	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	Ljubljana	
Dat. vzorčenja	1.1.23-28.2.23	1.3.23-30.4.23	1.5.23-30.6.23	1.7.23-31.8.23	1.9.23-31.10.23	1.11.23-31.12.23	povprečje
Dat. meritve	12.5.23	12.5.23	23.8.23	2.11.23	13.12.23	19.1.24	vseh
Količina vzorca	10822 g	10784 g	10164 g	10782 g	9876 g	10914 g	vzorcev
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)			preračunana na datum vzorčenja			
U-238				1,3E-1 ± 7E-2			2,2E-2 ± 2E-2
Ra-226 *	3,8E-2 ± 1E-2	1,4E-2 ± 6E-3	2,6E-2 ± 7E-3	1,1E-1 ± 5E-2	3,0E-2 ± 1E-2	1,5E-1 ± 9E-3	6,1E-2 ± 2E-2
Pb-210	2,2E-1 ± 7E-2	< 1,6E-1	< 3,2E-1	< 4,0E-1	< 3,2E-1	< 3,8E-1	1,7E-1 ± 3E-2
Ra-228		3,9E-2 ± 2E-2		3,1E-2 ± 2E-2	3,8E-2 ± 1E-2		1,8E-2 ± 9E-3
Th-228	6,7E-2 ± 2E-2	3,0E-2 ± 9E-3			9,5E-2 ± 1E-2		3,2E-2 ± 2E-2
K-40	4,5E+1 ± 2E+0	4,6E+1 ± 2E+0	4,7E+1 ± 3E+0	5,0E+1 ± 2E+0	5,0E+1 ± 2E+0	5,1E+1 ± 3E+0	4,8E+1 ± 1E+0
Be-7							
Cs-134							
Cs-137	3,2E-2 ± 6E-3	2,7E-2 ± 3E-3	8,8E-2 ± 7E-3	2,9E-2 ± 4E-3	5,5E-2 ± 5E-3	4,3E-2 ± 6E-3	4,6E-2 ± 1E-2
I-131							
Sr-90	7,0E-3 ± 6E-3	< 5,0E-3	7,6E-3 ± 4E-3	< 4,3E-3	1,8E-2 ± 5E-3	2,5E-2 ± 5E-3	1,0E-2 ± 4E-3
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.30 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Kobarid ZVD

Oznaka vzorca	MLKO0223	MLKO0423	MLKO0623	MLKO0823	MLKO1023	MLKO1223	
Vzorec	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	
Lokacija	Kobarid	Kobarid	Kobarid	Kobarid	Kobarid	Kobarid	
Dat. vzorčenja	1.1.23-28.2.23	1.3.23-30.4.23	1.5.23-30.6.23	1.7.23-31.8.23	1.9.23-31.10.23	1.11.23-31.12.23	povprečje
Dat. meritve	12.5.23	15.6.23	23.8.23	2.11.23	11.12.23	19.1.24	vseh
Količina vzorca	9900 g	10423 g	10708 g	10658 g	10432 g	10628 g	vzorcev
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)			preračunana na datum vzorčenja			
U-238			8,6E-2 ± 6E-2				1,4E-2 ± 2E-2
Ra-226 *		1,2E-2 ± 5E-3		1,4E-2 ± 1E-2	4,2E-2 ± 8E-3	8,4E-2 ± 9E-3	2,5E-2 ± 1E-2
Pb-210	1,3E-1 ± 6E-2	6,0E-2 ± 5E-2	< 3,2E-1	1,1E-1 ± 6E-2	< 3,4E-1	< 3,7E-1	1,4E-1 ± 3E-2
Ra-228		6,3E-2 ± 2E-2		2,6E-2 ± 2E-2			1,5E-2 ± 1E-2
Th-228	2,2E-2 ± 2E-2			2,7E-2 ± 2E-2			8,2E-3 ± 6E-3
K-40	4,9E+1 ± 3E+0	4,7E+1 ± 2E+0	4,7E+1 ± 2E+0	5,0E+1 ± 3E+0	5,0E+1 ± 3E+0	4,9E+1 ± 3E+0	4,9E+1 ± 1E+0
Be-7							
Cs-134							
Cs-137	2,4E-2 ± 5E-3	1,2E-1 ± 5E-3	5,3E-2 ± 6E-3	5,4E-2 ± 6E-3	4,3E-2 ± 5E-3	2,6E-2 ± 6E-3	5,3E-2 ± 1E-2
I-131							
Sr-90	< 6,9E-3	< 6,5E-3	9,9E-3 ± 5E-3	1,5E-2 ± 5E-3	7,9E-3 ± 4E-3	< 5,0E-3	7,0E-3 ± 2E-3
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.31 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Bohinjska Bistrica ZVD

Oznaka vzorca	MLBB0223	MLBB0423	MLBB0623	MLBB0823	MLBB1023	MLBB1223	
Vzorec	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	Mleko (kravje)	
Lokacija	Bohinjska Bistrica	Bohinjska Bistrica	Bohinjska Bistrica	Bohinjska Bistrica	Bohinjska Bistrica	Bohinjska Bistrica	
Dat. vzorčenja	1.1.23-28.2.23	1.3.23-30.4.23	1.5.23-30.6.23	1.7.23-31.8.23	1.9.23-31.10.23	1.11.23-31.12.23	povprečje
Dat. meritve	12.5.23	15.6.23	23.8.23	2.11.23	11.12.23	19.1.24	vseh
Količina vzorca	10492 g	10048 g	10324 g	10072 g	10818 g	10706 g	vzorcev
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)			preračunana na datum vzorčenja			
U-238						7,1E-2 ± 6E-2	1,2E-2 ± 1E-2
Ra-226 *		2,8E-2 ± 8E-3				2,0E-1 ± 1E-2	3,7E-2 ± 8E-2
Pb-210	< 3,2E-1	< 3,0E-1	8,0E-2 ± 7E-2	< 2,1E-1	< 4,3E-1	< 3,4E-1	1,5E-1 ± 8E-2
Ra-228			3,6E-2 ± 2E-2				6,0E-3 ± 2E-2
Th-228	4,3E-2 ± 1E-2			2,7E-2 ± 1E-2		1,7E-2 ± 1E-2	1,4E-2 ± 2E-2
K-40	4,5E+1 ± 2E+0	5,0E+1 ± 2E+0	4,9E+1 ± 2E+0	4,9E+1 ± 3E+0	4,4E+1 ± 2E+0	4,9E+1 ± 2E+0	4,8E+1 ± 3E+0
Be-7							
Cs-134							
Cs-137	2,2E-2 ± 4E-3	1,6E-2 ± 4E-3	5,7E-2 ± 5E-3	2,3E-2 ± 3E-3	2,1E-2 ± 6E-3	2,7E-2 ± 5E-3	2,8E-2 ± 2E-2
I-131							
Sr-90	< 4,4E-3	8,0E-3 ± 5E-3	< 4,6E-3	< 3,0E-3	1,2E-2 ± 5E-3	8,6E-3 ± 4E-3	5,7E-3 ± 5E-3
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.32 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih mleka - Murska Sobota ZVD

Oznaka vzorca	MLMS0223	MLMS0423	MLMS0623	MLMS0823	MLMS1023	MLMS1223	
Vzorec	Mleko v prahu (kravje)	Mleko v prahu (kravje)	Mleko v prahu (kravje)	Mleko v prahu (kravje)	Mleko v prahu (kravje)	Mleko v prahu (kravje)	
Lokacija	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	Murska Sobota	
Dat. vzorčenja	1.1.23-28.2.23	1.3.23-30.4.23	1.5.23-30.6.23	1.7.23-31.8.23	1.9.23-31.10.23	1.11.23-31.12.23	povprečje vseh vzorcev
Dat. meritve	12.5.23	7.8.23	10.7.23	2.11.23	13.12.23	19.1.24	
Količina vzorca	500 g	500 g	500 g	500 g	613,8 g	672,8 g	
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						preračunana na datum vzorčenja
U-238							
Ra-226 *		5,3E-1 ± 1E-1	1,4E-1 ± 1E-1		3,8E-1 ± 9E-2	2,6E-1 ± 1E-1	2,2E-1 ± 9E-2
Pb-210	< 2,5E+0	< 3,3E+0	< 4,7E+0	< 4,9E+0	< 3,3E+0	< 5,7E+0	
Ra-228							
Th-228			5,8E-1 ± 3E-1	4,1E-1 ± 2E-1			1,7E-1 ± 1E-1
K-40	6,5E+2 ± 3E+1	5,5E+2 ± 4E+1	5,4E+2 ± 4E+1	5,4E+2 ± 4E+1	5,5E+2 ± 4E+1	5,2E+2 ± 3E+1	5,6E+2 ± 2E+1
Be-7							
Cs-134							
Cs-137	5,7E-1 ± 5E-2	4,3E-1 ± 6E-2	5,3E-1 ± 9E-2	6,7E-1 ± 1E-1	3,9E-1 ± 5E-2	5,7E-1 ± 1E-1	5,3E-1 ± 5E-2
I-131							
Sr-90	1,1E-1 ± 7E-2	< 5,3E-2	1,4E-1 ± 4E-2	7,8E-2 ± 6E-3	1,2E-1 ± 5E-2	5,3E-1 ± 3E-1	1,7E-1 ± 8E-2
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.33 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih živil živalskega izvora ZVD

Oznaka vzorca	MS010523	MS020623	MS030623	MS040623	MS050623	MS060723	MS070823	MS081023	
Vzorec	Meso (svinjina)	Med	Meso (piščančje)	Divjačina	Jajca (kokošja)	Meso (govedina)	Sir (kravji)	Postrv	
Lokacija	Dutovlje	Slovenske Konjice	Ptuj	Škofja Loka	Selnica ob Dravi	Postojna	Kobarid	Škocjan	
Poreklo, oznaka naroč.	Poreklo: SLO, št. 11809484	Poreklo: SLO, št. 11253389	Poreklo: SLO, št. 11659952	Poreklo: SLO, št. 11345039	SLO, 11769866, 11769859	Poreklo: SLO, št. 11648031	Poreklo: SLO, št. 11725541	Poreklo: SLO, št. 11711331	povprečje vseh vzorcev
Dat. vzorčenja	16.5.23	1.6.23	5.6.23	14.6.23	20.6.23	26.7.23	25.8.23	11.10.23	
Dat. meritve	21.8.23	23.8.23	23.8.23	23.8.23	24.10.23	24.10.23	8.11.23	8.11.23	
Količina vzorca	1700 g	1720 g	1534 g	1500 g	1656 g	1386 g	1082 g	950,0 g	
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)								preračunana na datum vzorčenja
U-238		2,5E-1 ± 2E-1					3,4E-2 ± 1E-1		3,5E-2 ± 3E-2
Ra-226 *	1,6E-1 ± 1E-2	4,6E-1 ± 2E-2	2,4E-1 ± 2E-2	3,1E-2 ± 8E-3	1,1E-1 ± 7E-3		1,3E-2 ± 2E-2	6,7E-1 ± 4E-1	2,1E-1 ± 9E-2
Pb-210	< 3,5E-1	< 7,5E-1	< 7,9E-1	< 2,5E-1	< 1,7E-1	< 1,1E+0	< 5,7E-1	< 1,1E+0	
Ra-228					1,0E-1 ± 1E-2	2,1E-1 ± 6E-2		2,9E-1 ± 1E-1	7,6E-2 ± 4E-2
Th-228	9,3E-2 ± 2E-2	1,1E-1 ± 5E-2		7,9E-2 ± 2E-2	3,1E-2 ± 1E-2	1,6E-1 ± 5E-2			5,9E-2 ± 2E-2
K-40	8,7E+1 ± 5E+0	1,3E+1 ± 9E-1	1,1E+2 ± 6E+0	9,1E+1 ± 5E+0	4,4E+1 ± 2E+0	5,7E+1 ± 3E+0	3,9E+1 ± 2E+0	1,2E+2 ± 6E+0	7,0E+1 ± 1E+1
Be-7									
Cs-134									
Cs-137	2,6E-2 ± 6E-3	1,7E-1 ± 2E-2	3,2E-2 ± 1E-2	1,2E-1 ± 7E-3	5,7E-2 ± 4E-3	7,3E-1 ± 3E-2	< 8,3E-2	< 9,7E-2	1,5E-1 ± 8E-2
I-131									
Sr-90	< 3,0E-2	< 3,4E-2	< 3,9E-2	< 3,0E-2	1,9E-1 ± 2E-2	1,2E-1 ± 4E-2	< 4,3E-2	< 2,2E-2	5,1E-2 ± 2E-2
H-3 **									

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.34 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih kruha in žitaric ZVD

Oznaka vzorca	MO010523	MO020523	MO030523	MO040523	MO050523	MO060523	
Vzorec	Zdrob (pšenični)	Moka (bela)	Kruh (rženi)	Moka (polbela)	Moka (ajdova)	Kaša (proseni)	
Lokacija	Maribor	Maribor	Maribor	Hoče	Jesenice	Jesenice	
Poreklo, oznaka naroč.	Poreklo: SLO, št. 11544036	Poreklo: SLO, št. 11544029	Poreklo: SLO, št. 11544012	Poreklo: Ukrajina, št. 11977032	Poreklo: SLO, št. 12028405	Poreklo: SLO, št. 12028412	povprečje vseh vzorcev
Dat. vzorčenja	9.5.23	9.5.23	9.5.23	17.5.23	16.5.23	17.5.23	
Dat. meritve	1.7.23	7.8.23	7.8.23	21.8.23	11.8.23	11.8.23	
Količina vzorca	3000 g	3000 g	3140 g	3500 g	4000 g	4000 g	
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)						preračunana na datum vzorčenja
U-238					2,2E-1 ± 2E-1		3,7E-2 ± 4E-2
Ra-226 *	3,6E-2 ± 3E-3	1,9E-1 ± 1E-2	1,2E-1 ± 2E-2	7,5E-1 ± 2E-2	1,5E-1 ± 2E-2	4,0E-2 ± 2E-2	2,1E-1 ± 1E-1
Pb-210	< 8,8E-2	< 3,2E-1	< 6,5E-1	< 6,1E-1	< 1,1E+0	1,3E-1 ± 1E-1	2,5E-1 ± 9E-2
Ra-228	6,8E-2 ± 5E-3	4,5E-2 ± 1E-2	1,1E-1 ± 5E-2	5,1E-2 ± 3E-2			4,6E-2 ± 2E-2
Th-228	5,0E-2 ± 4E-3	5,0E-2 ± 2E-2					1,7E-2 ± 1E-2
K-40	4,4E+1 ± 2E+0	3,0E+1 ± 1E+0	9,2E+1 ± 5E+0	4,8E+1 ± 2E+0	1,4E+2 ± 8E+0	7,5E+1 ± 4E+0	7,2E+1 ± 2E+1
Be-7							
Cs-134							
Cs-137	< 1,0E-2	< 2,7E-2	< 1,1E-1	2,0E-2 ± 6E-3	< 1,2E-1	2,6E-2 ± 1E-2	3,0E-2 ± 1E-2
I-131							
Sr-90	7,0E-3 ± 3E-3	< 1,5E-2	< 2,1E-2	< 2,8E-2	< 2,7E-2	< 2,9E-2	1,1E-2 ± 2E-3
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.35 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih zelenjave ZVD

Oznaka vzorca	SZ010623	SZ020623	SZ030623	SZ040623	SZ050723	SZ060723	
Vzorec	Solata	Krompir	Paradižnik	Bučke	Redkvice	Korenje	
Lokacija	Celje	Celje	Ljubljana	Ljubljana	Maribor	Maribor	
Poreklo, oznaka naroč.	Poreklo: SLO št. 11960355	Poreklo: SLO, št. 11960362	Poreklo Hrvaška, št. 12068142	Poreklo: SLO, št. 12068159	Poreklo: Italija, št. 11544364	Poreklo: Egipt, št. 11544371	
Dat. vzorčenja	7.6.23	7.6.23	15.6.23	15.6.23	10.7.23	10.7.23	povprečje vseh vzorcev
Dat. meritve	25.8.23	25.8.23	25.8.23	24.10.23	24.10.23	24.10.23	
Količina vzorca	3710 g	4030 g	3956 g	3550 g	4214 g	3932 g	
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)			preračunana na datum vzorčenja			
U-238							
Ra-226 *		5,0E-2 ± 2E-2		1,7E-2 ± 5E-3	2,7E-2 ± 3E-3	3,9E-1 ± 2E-2	8,1E-2 ± 6E-2
Pb-210	1,1E-1 ± 1E-1	< 5,9E-1	< 4,9E-1	8,3E-2 ± 5E-2	< 1,1E-1	< 4,8E-1	1,7E-1 ± 5E-2
Ra-228						1,2E-1 ± 3E-2	2,0E-2 ± 2E-2
Th-228				2,1E-2 ± 1E-2	2,3E-2 ± 4E-3	2,9E-2 ± 3E-2	1,2E-2 ± 6E-3
K-40	1,3E+2 ± 7E+0	1,2E+2 ± 5E+0	5,6E+1 ± 3E+0	7,0E+1 ± 3E+0	8,8E+1 ± 5E+0	8,5E+1 ± 5E+0	9,1E+1 ± 1E+1
Be-7	2,2E-1 ± 6E-2			1,4E-1 ± 2E-2			6,0E-2 ± 4E-2
Cs-134							
Cs-137	< 7,5E-2	< 5,2E-2	< 6,3E-2	< 2,1E-2	< 1,3E-2	< 6,6E-2	
I-131							
Sr-90	< 7,0E-3	1,6E-2 ± 1E-2	< 8,7E-3	< 5,0E-3	1,5E-1 ± 2E-2	< 2,0E-2	3,1E-2 ± 2E-2
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.36 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih sadja ZVD

Oznaka vzorca	SS010523	SS020623	SS030623	SS040623	SS050723	SS060723	
Vzorec	Kivi	Grozdje	Breskev	Jagode	Hruške	Jabolka	
Lokacija	Kranj	Koper	Koper	Ljubljana	Maribor	Lenart v Slovenskih goricah	
Poreklo, oznaka naroč.	Poreklo: Italija, št. 12028399	Poreklo: Egipt, št. 12002771	Poreklo: Turčija, št. 12002795	Poreklo: SLO, št. 12068135	Poreklo: SLO, št. 11544395	Poreklo: SLO, št. 11544388	
Dat. vzorčenja	16.5.23	7.6.23	9.6.23	14.6.23	10.7.23	10.7.23	povprečje vseh vzorcev
Dat. meritve	23.8.23	21.8.23	25.8.23	24.10.23	24.10.23	24.10.23	
Količina vzorca	3654 g	2552 g	2794 g	3216 g	3635 g	3458 g	
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)			preračunana na datum vzorčenja			
U-238							
Ra-226 *	1,7E-1 ± 1E-2	1,1E-2 ± 7E-3	5,9E-2 ± 6E-3	7,3E-2 ± 7E-3	8,5E-2 ± 8E-3	7,4E-2 ± 6E-3	7,9E-2 ± 2E-2
Pb-210	< 4,9E-1	6,3E-2 ± 5E-2	< 2,3E-1	< 2,4E-1	< 2,9E-1	5,0E-2 ± 4E-2	1,2E-1 ± 4E-2
Ra-228		2,2E-2 ± 2E-2		5,1E-2 ± 2E-2	7,3E-2 ± 2E-2	2,9E-2 ± 1E-2	2,9E-2 ± 1E-2
Th-228	1,4E-1 ± 3E-2				2,9E-2 ± 2E-2		2,8E-2 ± 2E-2
K-40	1,1E+2 ± 6E+0	5,4E+1 ± 3E+0	6,8E+1 ± 4E+0	3,9E+1 ± 2E+0	3,9E+1 ± 2E+0	1,2E+1 ± 7E-1	5,4E+1 ± 1E+1
Be-7			3,5E-1 ± 4E-2		9,4E-2 ± 3E-2		7,4E-2 ± 6E-2
Cs-134							
Cs-137	< 6,3E-2	< 3,2E-2	< 2,8E-2	< 3,7E-2	1,2E-1 ± 5E-3	2,5E-2 ± 3E-3	3,7E-2 ± 2E-2
I-131							
Sr-90	< 1,7E-2	< 6,5E-3	< 1,3E-2	5,2E-2 ± 6E-3	< 1,5E-2	< 4,8E-3	1,3E-2 ± 8E-3
H-3 **							

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

Tabela 8.37 | Koncentracije aktivnosti izotopov v vzorcih obroka hrane ZVD

Oznaka vzorca	OHKP0323	OHLJ0323	OHMB0323	OHNM0323	OHKR0323	
Vzorec	Otroška hrana	Otroška hrana	Otroška hrana	Otroška hrana	Otroška hrana	
Lokacija	Koper	Ljubljana	Maribor	Novo mesto	Kranj	letno
Dat. vzorčenja	27.2.23-3.3.23	6.3.23-10.3.23	6.3.23-10.3.23	13.3.23-17.3.23	13.3.23-17.3.23	povprečje
Dat. meritve	15.6.23	15.6.23	15.6.23	15.6.23	15.6.23	vseh
Količina vzorca	5500 g	3942 g	4440 g	5508 g	6226 g	vzorcev
Izotop	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)			preračunana na datum oz. sredino intervala vzorčenja		
U-238				3,1E-2 ± 1E-2		6,3E-3 ± 6E-3
Ra-226 *		1,1E-1 ± 7E-3	2,7E-2 ± 3E-3	1,4E-2 ± 2E-3	1,8E-2 ± 3E-3	3,4E-2 ± 2E-2
Pb-210	< 2,2E-1	1,2E-1 ± 6E-2	< 1,4E-1	< 7,4E-2	< 1,9E-1	8,6E-2 ± 2E-2
Ra-228		4,6E-2 ± 1E-2		2,5E-2 ± 4E-3	2,7E-2 ± 1E-2	1,9E-2 ± 9E-3
Th-228	1,6E-2 ± 1E-2		9,4E-3 ± 6E-3	6,0E-3 ± 3E-3	2,1E-2 ± 9E-3	1,0E-2 ± 5E-3
K-40	5,0E+1 ± 3E+0	4,6E+1 ± 2E+0	4,6E+1 ± 2E+0	4,9E+1 ± 3E+0	4,3E+1 ± 2E+0	4,7E+1 ± 2E+0
Be-7						
Cs-134						
Cs-137	2,2E-2 ± 4E-3	1,8E-2 ± 3E-3	2,1E-2 ± 2E-3	2,0E-2 ± 1E-3	1,9E-2 ± 2E-3	2,0E-2 ± 1E-3
I-131						
Sr-90	< 7,0E-3	< 6,0E-3	< 6,6E-3	< 5,0E-3	< 6,0E-3	
H-3 **						

* Izhajanje radona iz posodice pri izračunu ni upoštevano

** Meritev izotopa ni v programu meritev

8.11 Krmila

Nadaljevanje na naslednji strani 168.

Tabela 8.38 | Specifične aktivnosti izotopov v vzorcih krme IJS

Vzorč. mesto	Jata Emona	Selo pri Ihanu	Zaboršt pri Dolu	Kašelj	Nova Štifta
Vrsta vzorca	krmna mešanica	koruzna silaža	koruzna silaža	travna silaža	travna silaža
Datum vzor.	22. 5. 2023	26. 7. 2023	26. 7. 2023	26. 7. 2023	29. 5. 2023
Kol.vzorca (kg)	0,3933	0,1981	0,2009	0,1339	0,1837
Odstotek suhe snovi	89,9	27,6	45,9	67,4	83,1
Koda vzorca	RP23KRM10051	RP23KRMKS123071	RP23KRMKS126271	RP23KRMTS126071	RP23KRMTS334251
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	3,4E+00 ± 6E-01	1,6E+00 ± 6E-01	3,2E-01 ± 4E-01 ‡	8,2E-01 ± 8E-01 ‡	8,0E-01 ± 7E-01 ‡
Ra-226	3,3E+00 ± 2E+00		2,3E+00 ± 1E+00	2,8E+00 ± 1E+00	2,4E+00 ± 1E+00
Pb-210	7,9E-01 ± 6E-01	3,6E+00 ± 1E+00	4,3E+00 ± 4E-01	1,4E+01 ± 1E+00	2,6E+01 ± 1E+00
Ra-228		3,2E-02 ± 7E-02 ‡		2,2E-01 ± 3E-01 ‡	2,6E+00 ± 2E-01
Th-228	4,9E-01 ± 8E-02	1,2E-01 ± 6E-02	1,3E-01 ± 5E-02	5,8E-01 ± 1E-01	2,2E+00 ± 2E-01
Th-230					
K-40	3,2E+02 ± 2E+01	5,9E+01 ± 2E+00	1,5E+02 ± 2E+01	5,9E+02 ± 3E+01	4,0E+02 ± 1E+01
Be-7			5,3E-01 ± 3E-01	4,6E+01 ± 3E+00	7,7E+00 ± 1E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137	1,9E-02 ± 7E-02 ‡	5,7E-03 ± 4E-02 ‡		3,6E-03 ± 4E-02 ‡	3,2E+00 ± 2E-01
Sr-89/Sr-90	2,5E-01 ± 2E-02 #	5,0E-01 ± 4E-02 #	2,2E-01 ± 2E-02 #	4,5E-01 ± 4E-02 #	4,2E+00 ± 2E-01 #

Vzorč. mesto	Žirovski Vrh, Boršt	Gorenja Dobrava	Železniki	Pivka (Perutninarstvo d.d.)	Vihre
Vrsta vzorca	seno	seno	seno	Krmna mešanica s kalcijevim fosfatom	sveža trava
Datum vzor.	26. 6. 2023	23. 6. 2023	28. 5. 2023	23. 5. 2023	26. 7. 2023
Kol.vzorca (kg)	0,1067	0,1134	0,1174	0,4417	0,1857
Odstotek suhe snovi	91,8	89,7	90,3	91,8	21,1
Koda vzorca	RP23KRMS422461	RP23KRMS422462	RP23KRMS422851	RP23KRM625751	RP23KRMT827371
IZOTOP	SPECIFIČNA AKTIVNOST (Bq/kg)				
U-238	2,5E-01 ± 4E+00 ‡	3,6E+00 ± 2E+00	3,7E+00 ± 3E+00	9,4E+00 ± 8E-01	5,3E-01 ± 5E-01 ‡
Ra-226	7,9E+00 ± 4E+00	1,7E+01 ± 1E+01	7,7E+00 ± 4E+00	3,0E+00 ± 1E+00	9,9E-01 ± 8E-01
Pb-210	9,5E+00 ± 4E+00	3,6E+01 ± 5E+00	3,7E+01 ± 5E+00		7,8E+00 ± 9E-01
Ra-228		5,6E+00 ± 5E-01	3,0E+00 ± 7E-01	2,2E+00 ± 2E-01	3,4E-01 ± 2E-01
Th-228	1,3E+00 ± 4E-01	5,4E+00 ± 4E-01	3,0E+00 ± 1E+00	1,0E+00 ± 8E-02	2,7E-01 ± 5E-02
Th-230			3,1E+01 ± 2E+01	9,1E+00 ± 8E+00 ‡	
K-40	3,6E+02 ± 1E+01	5,4E+02 ± 2E+01	6,7E+02 ± 2E+01	3,1E+02 ± 1E+01	1,5E+02 ± 5E+00
Be-7	6,5E+01 ± 4E+00	1,7E+02 ± 8E+00	5,4E+00 ± 3E+00		9,9E+01 ± 4E+00
I-131					
Cs-134					
Cs-137		2,8E+00 ± 2E-01	1,7E+00 ± 2E-01		4,2E-02 ± 5E-02 ‡
Sr-89/Sr-90	4,1E-01 ± 5E-02 #	5,9E+00 ± 3E-01 #	4,4E+00 ± 2E-01 #	9,4E-02 ± 2E-02 #	3,1E+00 ± 2E-01 #



9 — Literatura

- [1] Državni zbor RS. Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti. Ur. list RS št. 76/2017, 26/2019, 172/2021 in 18/23, 2021.
- [2] Ministrstvo za okolje in prostor. Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti. Ur. list RS št. 27/2018, 2018.
- [3] Ministrstvo za zdravje. Pravilnik o posebnih zahtevah varstva pred sevanji in načinu ocene doz. Ur. list RS št. 47/2018 in 30/2021, 2021.
- [4] Vlada RS. Uredba o mejnih dozah, referenčnih ravneh in radioaktivni kontaminaciji. Ur. list RS št. 18/2018, 2018.
- [5] ZVD. Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja. Poročilo LMSAR-26/2024-AŽ, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2024.
- [6] Tollefsen T, De Cort M, Cinelli G, Gruber V, and Bossew P. *European Atlas of Natural Radiation*. European Commission - Joint Research Centre, Ispra (Italy), 2017.
- [7] F Wissmann, Volker Dangendorf, and U Schrewe. Radiation exposure at ground level by secondary cosmic radiation. *Radiation measurements*, 39:95–104, 02 2005. doi: 10.1016/j.radmeas.2004.03.025.
- [8] Thomas K. Gaisser, Ralph Engel, and Elisa Resconi. *Cosmic Rays and Particle Physics*. Cambridge University Press, 2 edition, 2016.
- [9] Giorgia Cinelli, Valeria Gruber, Luca De Felice, Peter Bossew, Miguel Angel Hernandez-Ceballos, Tore Tollefsen, Stefan Mundigl, and Marc De Cort. European annual cosmic-ray dose: estimation of population exposure. *Journal of Maps*, 13 (2):812–821, 2017. doi: 10.1080/17445647.2017.1384934. URL <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1384934>.
- [10] International Commission on Radiological Protection. *Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60*, volume ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.) of *Annals of the ICRP*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2012.

- [11] Vlada RS. Uredba o nacionalnem radonskem programu. Ur. list RS št. 18/2018, 86/2018 in 152/2020, 2018.
- [12] Dejan Žontar. Estimated collective effective dose to the population from radiological examinations in slovenia. *Radiology and Oncology*, 49(1), Feb. 2015. URL <https://www.radioloncol.com/index.php/ro/article/view/2146>.
- [13] Damijan Škrk and Dejan Zontar. Estimated collective effective dose to the population from nuclear medicine examinations in slovenia. *Radiology and Oncology*, 47(3), Aug. 2013. URL <https://www.radioloncol.com/index.php/ro/article/view/1017>.
- [14] European Commission and Directorate-General for Energy and Transport. *European guidance on estimating population doses from medical x-ray procedures*, volume Radiation Protection No. 154. Publications Office, 2008. doi: doi/10.2768/38190.
- [15] ZVD. Sistem evidentiranja vzorcev za gamaspektrometrične in radiokemijske meritve ter spremljanje vzorcev. delovni postopek številka DP-LMSAR-01, zadnja veljavna revizija.
- [16] ZVD. Vzorčenje, pakiranje in pošiljanje vzorcev iz biosfere, hrane in drugih bioloških vzorcev. delovni postopek številka DP-LMSAR-02, zadnja veljavna revizija.
- [17] ZVD. Priprava bioloških in nebioloških vzorcev za gamaspektrometrično in radiokemijsko analizo. delovni postopek številka DP-LMSAR-03, zadnja veljavna revizija.
- [18] ZVD. Izračun aktivnosti in napaka meritve. delovni postopek številka DP-LMSAR-07, zadnja veljavna revizija.
- [19] ZVD. Metoda visokoločljivostne gamaspektrometrije. delovni postopek številka DP-LMSAR-09, zadnja veljavna revizija.
- [20] ZVD. Določitev specifične aktivnosti I-131 v mleku. delovni postopek številka DP-LMSAR-16, zadnja veljavna revizija.
- [21] ZVD. Kalibracije beta števca za določitev specifične aktivnosti I-131. delovni postopek številka DP-LMSAR-18, zadnja veljavna revizija.
- [22] ZVD. Opis metode za določitev aktivnosti Sr-89/90 v vzorcih iz okolja. delovni postopek številka DP-LMSAR-4.01, zadnja veljavna revizija.
- [23] ZVD. Kemijska obdelava vzorcev in merjenje aktivnosti Sr-89/90. delovni postopek številka DP-LMSAR-4.02, zadnja veljavna revizija.
- [24] ZVD. Izračun specifične aktivnosti Sr-89/90 in merilna negotovost. delovni postopek številka DP-LMSAR-4.03, zadnja veljavna revizija.
- [25] IJS. Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju. delovni postopek številka LMR-DN-10, zadnja veljavna revizija.
- [26] IJS. Določanje stroncija z beta štetjem. delovni postopek številka SDN-O2-STC(01), zadnja veljavna revizija.

- [27] IJS. Navodilo za uporabo proporcionalnega števca. delovni postopek številka DP-O2-STC(01), zadnja veljavna revizija.
- [28] IJS. Meritev, analiza in izračun vsebnosti tritija. delovni postopek številka LSC-DN-07, zadnja veljavna revizija.
- [29] IJS. Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem. delovni postopek številka SDN-O2-SZC(02), zadnja veljavna revizija.
- [30] ZVD. Poročilo o izvajanju monitoringa radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v 2023. Poročilo LMSAR-20220003-D-MG, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2024.
- [31] IJS. Letno poročilo o opravljenih meritvah aktivnosti sevalcev gama in beta, Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto 2023. Poročilo XX/2024, Institut "Jožef Stefan", 2024.
- [32] IJS. Ovrednotenje merskih podatkov o radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2022. Poročilo IJS-DP-142XX, Institut "Jožef Stefan", 2024.
- [33] ZVD. Poročilo o izvajanju monitoringa radioaktivnosti živil v Republiki Sloveniji v 2023. Poročilo LMSAR-20230013-3-MP, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2024.
- [34] IJS. Letno poročilo o opravljenih meritvah aktivnosti sevalcev gama in beta, Monitoring radioaktivnosti pitne vode za leti 2023 (sklop 2). Poročilo XX/2023, Institut "Jožef Stefan", 2023.
- [35] IJS. Letno poročilo o opravljenih meritvah aktivnosti sevalcev gama in beta, Izvedba vzorčenja in preiskav krme na aktivnost sevalcev gama in beta za leto 2023. Poročilo XX/2023, Institut "Jožef Stefan", 2023.
- [36] ZVD. Poročilo o meritvah radioaktivnosti koncentracije radionuklida K-40 in drugih gama sevalcev na poljedelskih območjih. Poročilo LMSAR-20200031-MG, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2020.
- [37] ZVD. Poročanje posameznih in povprečnih vrednosti nizkih aktivnosti radionuklidov. navodilo za delo številka ND-LMSAR-06, zadnja veljavna revizija.
- [38] P. Jovanovič. Radiological incident in Spain and its influence in Slovenia. In *Proceedings of the Fourth Symposium of the Croatian Radiation Protection Association*, 11-13 Nov 1998. Zagreb (Croatia).
- [39] Ukrainian arborist. Forest fires in the ukraine chernobyl exclusion zone. http://www.fire.uni-freiburg.de/GFMCnew/2016/07/20161707_ua-chernobyl.htm, 2016.
- [40] State agency of Ukraine on Exclusion Zone management. Fire in the Chernobyl Exclusion Zone, Photo from the plane, april 2020. <http://dazv.gov.ua/en/news-and-media.html>, 2020.
- [41] The Guardian Andrew Roth. 'Bad news': radiation 16 times above normal after forest fire near Chernobyl, 06.04.2020. <https://www.theguardian.com/environment/2020/apr/06/bad-news-radiation-spikes-16-times-above-normal-after-forest-fire-near-chernobyl>, 2020.

- [42] Emergency Management Service Mapping COPERNICUS. EMSR435: Fire in Chernobyl, Ukraine, 02.05.2020. <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR435>, 2020.
- [43] S. Stoulos, A. Ioannidou, E. Vagen, P. Koseoglou, and M. Manolopoulou. Post-Chernobyl Cs-137 in the atmosphere of Thessaloniki: a consequence of the financial crisis in greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 128:68–74, 2014.
- [44] M. Hus, Košutić. K., and S. Lulić. Radioactive contamination of wood and its products. *Journal of Environmental Radioactivity*, 55(2):179–186, 2001. ISSN 0265-931X. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X\(00\)00191-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X(00)00191-0). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X00001910>.
- [45] I. Suchara, P. Rulík, J. Hůlka, and H. Pilátová. Retrospective determination of Cs-137 specific activity distribution in spruce bark and bark aggregated transfer factor in forests on the scale of the Czech Republic ten years after the Chernobyl accident. *Science of the Total Environment*, 409(11):1927–1934, 2011.
- [46] I. Lovrenčić, M. Volner, D. Barišić, M. Popijac, N. Kezić, I. Seletković, and S. Lulić. Distribution of Cs-137, K-40 and Be-7 in silver fir-tree (*abies alba* l.) from gorski kotar, croatia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 275(1):71–79, 2008. ISSN 0236-5731. doi: 10.1007/s10967-007-7009-2. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-007-7009-2>.
- [47] A. H. Rantavaara and L. J. Aro. Radiological impact of using forest tree biomass for energy and recycling the ash. *Radioprotection*, 44:927–932, 1 2009. ISSN 1769-700X. doi: 10.1051/radiopro/20095165. URL http://www.radioprotection.org/article_S0033845109051655.
- [48] Constantin Cosma, Andra Rada Iurian, Reka Incze, Tibor Kovacs, and Zora S. Žunić. The use of tree bark as long term biomonitor of ¹³⁷Cs deposition. *Journal of Environmental Radioactivity*, 153:126–133, 3 2016. ISSN 0265-931X. doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.12.019.
- [49] ZVD. Poročilo o obsevanosti prebivalcev slovenije v letu 2013. Poročilo LMSAR-20140003-MG, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2014.
- [50] ZVD. Poročilo o obsevanosti prebivalcev slovenije v letu 2014. Poročilo LMSAR-20150005-MG, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2015.
- [51] ZVD. Poročilo o obsevanosti prebivalcev slovenije v letu 2015. Poročilo LMSAR-20160009-MG, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2016.
- [52] ZVD. Letna poročila o radioaktivnosti v življenjskem okolju Slovenije. Poročilo od 1964 dalje, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 1964-.
- [53] IJS. Letna poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško. Poročilo od 2003 dalje, Institut "Jožef Stefan", 2003-.
- [54] Agencija RS za okolje. Državne evidence izpustov onesnaževal zraka, Agencija RS za okolje, 2022; preglednica ZR15-2: Struktura izpustov delcev, po sektorjih, slovenija in eu-27, 2023. <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-delcev-v-zrak-8>, 2024.

- [55] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2013. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec013_slo.pdf, 2014.
- [56] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2014. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec2014_slo.pdf, 2015.
- [57] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2015. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec2015_slo.pdf, 2016.
- [58] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2016. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec16_slo.pdf, 2017.
- [59] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2017. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_jan18_slo.pdf, 2018.
- [60] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2018. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec18_slo.pdf, 2019.
- [61] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2019. https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec19_slo.pdf, 2020.
- [62] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2020. https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec20_slo.pdf, 2021.
- [63] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2021. https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec21.pdf, 2022.
- [64] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2022. https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec22.pdf, 2023.
- [65] Agencija RS za okolje. Povprečna mesečna koncentracija delcev PM10 v letu 2023. https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/PM10_dec23.pdf, 2024.
- [66] Leonida Mehle. Quantification of the contribution of winter salting to PM10 in Maribor. Poročilo Project I, University of Nova Gorica, School of environmental sciences, 2011.
- [67] ARSO. Naše okolje. Mesečni bilten Agencije Republike Slovenije za okolje Letnik XXVIII, številka 6, Agencija RS za okolje, junij 2021.
- [68] Wikipedija. Pearsonov koeficient korelacije. https://sl.wikipedia.org/wiki/Pearsonov_koeficient_korelacije, 2024.

- [69] Agencija RS za okolje. Kazalci okolja v sloveniji, EN18 obnovljivi viri energije, preglednica EN18-3: Raba obnovljivih virov energije. http://kazalci.arso.gov.si/xml_table?data=graph_table&graph_id=13179&ind_id=643, 2014.
- [70] Statistični urad RS. Kazalci okolja v sloveniji, EN18 obnovljivi viri energije, preglednica EN18-3: Raba obnovljivih virov energije. http://kazalci.arso.gov.si/sl/tablefield/export/node/57649/field_table_data/und/0, 2021.
- [71] EUROSTAT. Energy from renewable sources, SHARES summary results 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/energy/data/shares>, 2024.
- [72] Agencija RS za okolje. Kazalci okolja v sloveniji, EN18 obnovljivi viri energije. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=643, 2014.
- [73] EVROPSKI PARLAMENT IN SVET EVROPSKE UNIJE. DIREKTIVA 2009/28/ES EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES. Uradni list Evropske unije, L 140/16, 2009.
- [74] EVROPSKI PARLAMENT IN SVET EVROPSKE UNIJE. DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 11. decembra 2018 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov. Uradni list Evropske unije, L 328/82, 2018.
- [75] Statistični urad RS. Podatkovni portal SI-STAT - končna poraba energije po vrsti energetskega vira (naravne enote), gospodinjstva, Slovenija, letno. <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/Data/1815404S.px/>, 2024.
- [76] IJS. Ovrednotenje merskih podatkov o radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji v letu 2019. Poročilo IJS-DP-12748, Institut "Jožef Stefan", 2020.
- [77] European Space Agency. The force that protects our planet. http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/05/The_force_that_protects_our_planet, 2014.
- [78] M. Yoshimori. Atmospheric transport inferred from seasonal variations in cosmogenic Be-7 concentrations. In *Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference*, July 3–11, 2007 2007. Mérida, Yucatán.
- [79] H. W. Feely, R. J. Larsen, and C. G. Sanderson. Factors that cause seasonal variations in Beryllium-7 concentrations in surface air. *Journal of Environmental Radioactivity*, 9(3):223–249, 1989.
- [80] K. Tokieda, T. Yamanaka, K. Harada, and S. Tsunogai. Seasonal variations of residence time and upper atmospheric contribution of aerosols studied with Pb-210, Bi-210, Po-210 and Be-7. *Tellus B*, 48(5):690–702, 1996.
- [81] National Academy of Sciences Space Studies Board, National Research Council. *Exploration of the Outer Heliosphere and the Local Interstellar Medium: A Workshop Report*. The National Academies Press, Washington, D.C., USA, 2004.
- [82] Brussels WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium. Total sunspot number. <http://sidc.oma.be/silso/datafiles>, 2019.

- [83] National Aeronautics and Space Administration. Sunspots and solar flares. https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_2201.html, 2017.
- [84] Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire. Report on the IRSN's investigations following the widespread detection of Ru-106 in Europe early October 2017. http://www.irsnn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_Report-on-IRSN-investigations-of-Ru-106-in-Europe-in-october-2017.pdf, 2018.
- [85] SCK-CEM Belgian Nuclear Research Centre. SCK-CEN publishes study on the presence of radioactive ruthenium-106 together with the RMI. http://www.sckcen.be/en/News/20171221_Ruthenium, 2018.
- [86] L. Lebaron-Jacobs, J. Garnier-Laplace, B. Lopez, C. Adam-Guillermine, I. Dublaineau, S. Roussel-Debet, C. Antonelli, B. Fievet, P. Bailly du Bois, and M. Masson. *Tritium*, volume 30 of *Toxicologie nucléaire environnementale et humaine*. Lavoisier, 2009.
- [87] UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I: Sources, with Scientific Annexes*. UNSCEAR Report 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna, Austria, 2000. URL <http://digitallibrary.un.org/record/422833>.
- [88] P. Guétat, C. Douche, and J.C. Hubinois. Le tritium et l'environnement: sources, mesures et transferts. *Radioprotection*, 43:547–569, 2008.
- [89] World Nuclear Association. World nuclear power reactors and uranium requirements. <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>, 2016.
- [90] IAEA. *Heavy water reactors: status and projected development*. IAEA Technical Reports Series 407. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2002.
- [91] Umweltbundesamt GmbH. 35 years since the Chernobyl reactor accident. <https://www.umweltbundesamt.at/en/news210423en-1>, 2022.
- [92] D.J. Kang, H. Tazoe, and Y. Ishii. Effect of Fertilizer with Low Levels of Potassium on Radiocesium-137 Decontamination. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21:113–119, 2018.
- [93] K. Fujimoto. Correlation between indoor radon concentration and dose rate in air from terrestrial gamma radiation in japan. *Health Physics*, 75:291–296, 1998. URL https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1998/09000/Correlation_Between_Indoor_Radon_Concentration_and.8.aspx.
- [94] D.E. Tchorz-Trzeciakiewicz and M. Rysiukiewicz. Ambient gamma dose rate as an indicator of geogenic radon potential. *Science of The Total Environment*, 755:142771, 2021. ISSN 0048-9697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142771>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720363002>.
- [95] ZVD. Poročilo o meritvah koncentracije radona v okviru projektne naloge sistematično pregledovanje in izvajanje meritev radona v bivalnih prostorih v letu 2018. Poročilo LMSAR-240/2018-PJ, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2018.

- [96] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20190513-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2019.
- [97] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20210921-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2019.
- [98] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20200603-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2020.
- [99] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20210510-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2021.
- [100] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20210921-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2021.
- [101] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20220512-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2022.
- [102] ZVD. Poročilo o meritvah povprečne koncentracije radona z detektorji jedrskih sledi. Poročilo LMSAR-RN-DJS-20221115-1, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2022.
- [103] W. G. Alberts, P. Ambrosi, J. Böhm, G. Dietze, K. Hohlfeld, and W. Will. New dose quantities in radiation protection. Poročilo PTB-Dos-23e, PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 1995.
- [104] P. Jovanovič. Radioaktivna kontaminacija alpskega predela slovenije kot posledica černobilske nesreče in jedrskih poskusov. Poročilo, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2004.
- [105] Statistični urad Republike Slovenije. Prebivalci, občine in naselja, Slovenija, 1. januar 2022. <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/10374>, 2022.
- [106] Per Hedemann Jensen. *Calculated shielding factors for selected European houses*. Number 2474 in Risø-M. Risø National Laboratory, 1984. ISBN 87-550-1081-4.
- [107] Reinhard Meckbach, Peter Jacob, and Herwig G. Paretzke. Shielding of gamma radiation by typical european houses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 255(1):160–164, 1987. ISSN 0168-9002. doi: [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(87\)91093-X](https://doi.org/10.1016/0168-9002(87)91093-X). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016890028791093X>.
- [108] Hiroko Yoshida-Ohuchi, Norihiro Matsuda, and Kimiaki Saito. Review of reduction factors by buildings for gamma radiation from radiocaesium deposited on the ground due to fallout. *Journal of Environmental Radioactivity*, 187:32–39, 2018. ISSN 0265-931X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.02.006>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X17309244>.
- [109] Statistični urad Republike Slovenije. Ljudje, družine, stanovanja, registrski popis 2011. https://www.stat.si/doc/pub/Ljudje_druzine_stanovanja.pdf, april 2013.
- [110] UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I: Sources, with Scientific Annexes*. UNSCEAR Report 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna, Austria, 2010. URL <http://digitallibrary.un.org/record/692851>.

- [111] IAEA. *Assessment of doses to the public from ingested radionuclides*. IAEA Safety Reports Series 14. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1999.
- [112] Statistični urad RS. Količine doma porabljenih živil in pijač na člana gospodinjstva, slovenija, večletno, ID tabele H155. https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/HITRE_Repozitorij/HITRE_Repozitorij/H155S.px/, 2020.
- [113] Statistični urad RS. Anketa o porabi v gospodinjstvih, slovenija, 2004 - količina porabljenih živil in pijač na člana gospodinjstva, letno povprečje, 2004. <http://www.stat.si/PrikaziDatoteko.aspx?id=247>, 2006.
- [114] ZVD. Poročilo o obsevanosti prebivalcev slovenije v letu 2017. Technical Report LMSAR-20180005-MG, ZVD Zavod za varstvo pri delu, 2018.
- [115] A. Likar, T. Vidmar, and B. Pucelj. Monte Carlo determination of gamma-ray dose rate with the GEANT system. *Health Physics*, 75(2):165–169, 1998.
- [116] A. Likar, G. Omahen, M. Lipoglavšek, and T. Vidmar. A theoretical description of diffusion and migration of Cs-137 in soil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 57:191–201, 2001.
- [117] P. Bossew, F. Gering, E. Petermann, T. Hamburger, C. Katzlberger, M.A. Hernandez-Ceballos, M. De Cort, K. Gorzkiewicz, R. Kierepko, and J.W. Mitelski. An episode of ru-106 in air over europe, september-october 2017 - geographical distribution of inhalation dose over europe. *Journal of Environmental Radioactivity*, 205-206:79 – 92, 2019. ISSN 0265-931X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.05.004>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X18306039>.
- [118] UNSCEAR. *Effects of ionizing radiation, Volume I - Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer*. UNSCEAR Report 2006. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna, Austria, 2008. URL <http://digitallibrary.un.org/record/692844>.
- [119] international Committee of the Red Cross. Protocol additional to the geneva conventions of 12 august 1949, and relating to the protection of victims of international armed conflicts (protocol i), 8 june 1977, article 56 – Protection of works and installations containing dangerous forces. <https://www.umweltbundesamt.at/en/news210423en-1>, 2022.
- [120] Md Moudud Hasan, Bart Rogiers, Eric Laloy, Jos Rutten, Johan Camps, Tim Vidmar, and Marijke Huysmans. Soil radioactivity-depth profiles from regularized inversion of borehole gamma spectrometry data. *Journal of Environmental Radioactivity*, 243:106807, 2022. ISSN 0265-931X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106807>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X21002794>.
- [121] ZVD Urban Zdešar. Pojasnila glede sodobnih radioloških posegov. osebna korespondenca, marec 2024, 2024.
- [122] Joint Committee for Guides in Metrology. Evaluation of measurement data – guide to the expression of uncertainty in measurement. http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf, 2008.

V Republiki Sloveniji poteka redni monitoring radioaktivnosti v okolju, ki ga financirata Ministrstvo za naravne vire in prostor ter Ministrstvo za zdravje, delno tudi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Namen monitoringa je odkrivanje in spremljanje stanja obstoječe radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja, ki je posledica človekove dejavnosti, t.j. globalnega onesnaženja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij v ozračju in jedrskih nesreč v Černobilu in Fukušimi (prispevek slednje je v Sloveniji zanemarljiv) ter morebitnih drugih sevalnih nesreč z večjimi izpusti v okolje.

V pričujočem poročilu so zbrani, analizirani in komentirani rezultati meritev radioaktivnosti antropogenih umetnih in naravnih radionuklidov v vzorcih biosfere, kakor tudi v posameznih členih prehranske verige. Na podlagi rezultatov meritev radioaktivnosti, smo izdelali oceno doz prebivalstva zaradi izpostavljenosti dolgoživim umetnim radionuklidom (naravni so izvzeti). Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije nima namena prikazati sevalnih obremenitev, katerim je izpostavljeno prebivalstvo zaradi naravnih virov ali tehnološko modificiranih naravnih virov sevanja (radon v bivalnem okolju, rudnik urana Žirovski vrh), delovanja jedrske elektrarne Krško ali vpliva medicinskih virov.

Že vrsto let ocenjujemo smo doze sevanja za dojenčke, za otroke od 7 do 12 let in za odrasle po različnih ekspozicijskih prenosnih poteh, ki tipično znašajo pod $10 \mu\text{Sv}$. Te vrednosti predstavljajo približno 1 % mejne letne doze 1 mSv za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju. V primerjavi z letno dozo posameznega prebivalca Slovenije zaradi naravnega ozadja in medicinskih preiskav, ki znaša skupaj okrog $6,7 \text{ mSv}$, pa prispevek zaradi izpostavljenosti dolgoživim umetnim radionuklidom znaša tipično pod 0,05%.

