



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

# Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije v letu 2010

Poročilo je napisano na osnovi naslednjih posameznih poročil:

Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji za leto  
2010

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

Monitoring radioaktivnosti živil za leto 2010

*naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji*

Monitoring radioaktivnosti pitne vode za leto 2010

*naročnik Ministrstvo za zdravje, Uprava RS za varstvo pred sevanji*

Monitoring radioaktivnosti živalske krme za leto 2010

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

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

Marec 2010



Center za fizikalne meritve  
Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti  
radionuklidov

Št. poročila: LMSAR-20110009-MG

Datum: 29.03.2010

## Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije za leto 2010

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Naročnik / uporabnik (koda):</b> | Ministrstvo za zdravje<br>Uprava RS za varstvo pred sevanji<br>Ajdovščina 4<br>1000 Ljubljana  |
| <b>Skrbnik v imenu naročnika:</b>   | dr. Tomaž Šutej  |
| <b>Številka pogodbe z ZVD d.d.:</b> | C2717-10-000009  |
| <b>Skrbnik v imenu izvajalca:</b>   | dr. Gregor Omahen  |
| <b>Program:</b>                     | Radioaktivnost v življenjskem okolju Slovenije za leto 2010<br>Radioactivity in the living environment of Slovenia for the year 2010   |
| <b>Izvajalca programa:</b>          | ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d. in Institut "Jožef Stefan"  |
| <b>Koordinatorja:</b>               | dr. Gregor OMAHEN, univ.dipl.fiz. (ZVD), dr. Benjamin Zorko (IJS)  |
| <b>Izvajalci:</b>                   | <i>ZVD: Peter JOVANOVIČ, Majda LEVSTEK, Lili PERŠIN, Dušan KONDA, mag. Urban ZDEŠAR, dr. Marko GIACOMELLI, dr. Gregor OMAHEN</i><br><i>IJS: D. Brodnik, B. Črnič, dipl. inž. fiz., mag. D. Glavič - Cindro, S. Gobec, dr. M. Korun, K. Kovačič, univ. dipl. inž. geol., dr. J. Kožar Logar, R. Krištof, dipl. san. inž., P. Maver Modec, dipl. inž. fiz., dr. M. Nečemer, mag. B. Vodenik, dr. B. Zorko (vsi <i>Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij</i>), B. Svetek, inž. kem. tehnol., iz. prof. dr. V. Stibilj, Z. Trkov, inž. kem. tehnol. (vsi <i>Odsek za znanosti o okolju</i>)</i> |

Poslano: 6 × naročnik in 2 × arhiv ZVD

**Poročilo pripravil:**

Dr. Marko Giacomelli, univ. dipl. fiz.

**Poročilo pregledal in odobril:**

Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

Poročilo vsebuje skupaj 67 strani in eno prilogo (Poročilo o meritvah radioaktivnosti vzorcev iz okolja Republike Slovenije v letu 2010) ter ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti

## Povzetek

Podani so rezultati meritev radioaktivnosti umetnih in naravnih radionuklidov v vzorcih biosfere, kakor tudi v posameznih členih prehrambne verige. Radioaktivnost okolja je posledica globalnega onesnaženja zaradi poskusnih jedrskih eksplozij v ozračju in radiološke nesreče v Černobilu. Ocenjene so doze sevanja po ekspozicijskih prenosnih poteh. Ocenjena doza zaradi izpostavljenosti umetnim radionuklidom po vseh prenosnih poteh, znaša v letu 2010 za dojenčke < 17,3  $\mu\text{Sv}$ , za otroke od 7 do 12 let < 13,0  $\mu\text{Sv}$  in za odrasle < 10,8  $\mu\text{Sv}$ . Ta vrednost predstavlja približno 1 % mejne letne doze za dolgoročno izpostavljenost posameznika iz prebivalstva ionizirajočemu sevanju.

## Ključne besede

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

---

## Abstract

Summarized results of radioactivity measurements for manmade and natural radionuclides in the biosphere and in the particular elements of the food chain are presented. Radioactivity of the environment is a consequence of the general radioactive contamination due to the nuclear test explosions and Chernobyl accident. Dose estimates for important exposure pathways are presented. Dose estimates for infants, children for 7 up to 12 years and adults for manmade radionuclides in the year 2010 are < 17.3  $\mu\text{Sv}$ , < 13.0 and < 10.8  $\mu\text{Sv}$ , respectively. These values represent approximately 1 % of the annual dose limit for the long term exposure of the individuals from the population, exposed to the man made sources of ionizing radiation.

## Keywords

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

---

# Kazalo

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Povzetek</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Ključne besede</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Keywords</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Kazalo</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>Kazalo slik</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>Kazalo tabel</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>1 Uvod</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2 Program meritev</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>3 Metodologija meritev</b> .....   | <b>17</b> |
| 3.1 Akreditirane meritve.....   | 17        |
| 3.2 Izračuni specifičnih aktivnosti .....                                       | 18        |
| <b>4 Rezultati meritev in komentar</b> .....                                    | <b>19</b> |
| 4.1 Tekoče vode .....   | 19        |
| 4.2 Zrak.....   | 21        |
| 4.2.1 Dolgoročna odvisnost koncentracij Be-7 od sončevega ciklusa .....         | 22        |
| 4.2.2 Sezonske variacije Be-7 .....   | 25        |
| 4.3 Padavine.....   | 28        |
| 4.3.1 Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90 .....                         | 28        |
| 4.3.2 Specifična aktivnost H-3 .....  | 31        |
| 4.3.3 Specifična aktivnost kozmogenega Be-7 .....                               | 32        |
| 4.4 Zemlja.....   | 34        |
| 4.5 Zunanje sevanje .....   | 41        |
| 4.6 Pitna voda .....  | 42        |
| 4.7 Hrana.....  | 43        |
| 4.7.1 Mleko .....   | 43        |
| 4.7.2 Živila živalskega izvora.....   | 52        |
| 4.7.3 Žitarice, moka, kruh.....   | 52        |
| 4.7.4 Sadje .....   | 52        |
| 4.7.5 Zelenjava .....   | 53        |
| 4.7.6 Otroška hrana.....  | 53        |
| 4.8 Krmila .....  | 53        |
| <b>5 Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fisijskih produktov</b> ..... | <b>54</b> |
| 5.1 Osnovne enačbe.....   | 54        |

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.2      | Uporabljeni podatki in predpostavke ..... | 55        |
| 5.2.1    | Umetni radionuklidi.....                  | 55        |
| 5.2.2    | Naravni radionuklidi .....                | 55        |
| 5.2.3    | Starostne skupine .....                   | 56        |
| 5.2.4    | Prehranjevalne predpostavke .....         | 56        |
| 5.2.5    | Privzete specifične aktivnosti .....      | 57        |
| 5.3      | Doza zaradi ingestije in inhalacije ..... | 58        |
| 5.4      | Doza zaradi zunanjega sevanja .....       | 62        |
| 5.5      | Skupna ocena doze .....                   | 63        |
| <b>6</b> | <b>Zaključki .....</b>                    | <b>66</b> |
| 6.1      | Priporočila .....                         | 66        |
| <b>7</b> | <b>Literatura .....</b>                   | <b>67</b> |

## Kazalo slik

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Lokacije vzorčenja vzorcev iz okolja.....  | 15 |
| Slika 2: Lokacije TLD za meritve letne doze zunanje sevanja .....   | 16 |
| Slika 3: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi (povprečje lokacij Ljubljana in Brežice) in Dravi od leta 2002 dalje. ....  | 20 |
| Slika 4: Povprečne celoletne specifične aktivnosti Pb-210 in Be-7 v zraku za obdobje od leta 1996 dalje za Slovenijo (povprečje vseh treh lokacij vzorčenja).....                                   | 21 |
| Slika 5: S površine Sonca izhaja t.i. solarni veter, ki praktično ne more prodreti v zemljino atmosfero (shematski prikaz). ....  | 22 |
| Slika 6: V času večje sončeve aktivnosti heliosfera zmanjšuje fluks galaktičnih kozmičnih žarkov do zemljine atmosfere.....   | 23 |
| Slika 7: Povprečno mesečno število sončevih peg (črtkana črta predstavlja drseče povprečje), ki je merilo za sončevo aktivnost in solarni veter. ....   | 24 |
| Slika 8: Antikorelacija sončevega cikla s koncentracijami Be-7 v zraku. ....  | 24 |
| Slika 9: Sezonske variacije izmerjenih koncentracij atmosferskega Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2010 .....   | 25 |
| Slika 10: Korelacija padavin in izmerjenega mesečnega useda Be-7 v padavinah iz Ljubljane .....   | 26 |
| Slika 11: Sezonska variacija koncentracij atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku v Ljubljani .....  | 26 |
| Slika 12: Zimske in poletne korelacije med izmerjenimi koncentracijami atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2010 – številka ob meritvi pomeni mesec vzorčevanja. .... | 27 |
| Slika 13: Povprečne mesečne specifične aktivnosti Cs-137 v zraku na lokaciji Ljubljana za obdobje od leta 1986 dalje .....  | 28 |
| Slika 14: Povprečni letni used Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij po Sloveniji).....   | 30 |
| Slika 15: Korelacija količine padavin s povprečnim letnim usedom Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine (povprečje vseh lokacij po Sloveniji).....   | 31 |
| Slika 16: Specifične aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje .....  | 32 |
| Slika 17: Specifične aktivnosti Be-7 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1996 dalje .....   | 33 |
| Slika 18: Povprečna letna specifična aktivnost K-40, Cs-137 in Sr-90 v zemlji .....   | 35 |
| Slika 19: Specifične aktivnosti – depozit za Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje .....   | 36 |
| Slika 20: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje. ....  | 37 |
| Slika 21: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje .....  | 38 |
| Slika 22: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje.....  | 39 |
| Slika 23: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje.....  | 40 |
| Slika 24: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Mursko Soboto, od leta 1986 dalje .....   | 41 |
| Slika 25: Doza zunanje sevanja za Ljubljano za obdobje od leta 1986 dalje .....   | 42 |
| Slika 26: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v mleku na različnih lokacijah v Sloveniji za leto 2010.....   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 27: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane.....   | 44 |
| Slika 28: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Kobarida.....  | 45 |
| Slika 29: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice.....  | 46 |
| Slika 30: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku v prahu iz Murske Sobote.....   | 47 |
| Slika 31: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Ljubljana.....  | 48 |
| Slika 32: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Kobarid.....  | 49 |
| Slika 33: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Bohinjska Bistrica.....   | 50 |
| Slika 34: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Murska Sobota.....  | 51 |
| Slika 35: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin, ki so specifične bodisi zaradi lokacije ali prehranjevalnih navad.....                         | 57 |
| Slika 36: Relativni prispevki k dozi zaradi ingestije in inhalacije posameznih vrst hrane, vode in zraka za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).....           | 61 |
| Slika 37: Relativni prispevki k dozi posameznih radionuklidov za tri starostne skupine prebivalstva (ljubljsko mleko).....  | 62 |
| Slika 38: Predvidena efektivna doza $H_E$ zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fizijskimi radionuklidi za odrasle (slovensko povprečje) za obdobje od leta 2000 dalje..... | 65 |



## Kazalo tabel

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2010 (modra – ZVD, zelena - IJS) .....   | 12 |
| Tabela 2: Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide .....  | 18 |
| Tabela 3: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod .....   | 19 |
| Tabela 4: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij)..... | 29 |
| Tabela 5: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine .....  | 56 |
| Tabela 6: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2010.....  | 57 |
| Tabela 7: Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2010. ....   | 60 |
| Tabela 8: Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjega sevanja .....  | 63 |
| Tabela 9: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2010 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fisijskimi radionuklidi .....                               | 64 |

## 1 Uvod

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

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

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

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

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

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

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

## 2 Program meritev

Program meritev radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja v Republiki Sloveniji je bil v letu 2010 enak kot v prejšnjih treh letih. Način zbiranja in odvzema vzorcev, priprava in obdelava ter meritve radioaktivnosti so v skladu z enotno metodologijo, predpisano s Pravilnikom JV10.

Stalen nadzor nad kontaminacijo okolja s sevalci gama, Sr-90, I-131 in H-3 je tudi v letu 2010 zajel najpomembnejše člene prehranske verige in tako kot v prejšnjih letih, upošteval padavinsko različna področja. Na podlagi černobilskih izkušenj so v programu tudi termoluminiscentni dozimetri in sicer na večjih krajih v Sloveniji, ki služijo za indikacijo nihanj zunanjega sevanja gama oziroma za določevanje prejetih doz prebivalstva zaradi zunanjega sevanja gama.

Lokacije vzorčenja zraka, padavin, zemlje, tekočih in pitnih vod ter merilna mesta doz zunanjega sevanja so ostala v splošnem enaka kot v prejšnjih letih. ZVD je v letu 2010 izvajal meritve radioaktivnosti zraka, zemlje, padavin, hrane, IJS pa meritve radioaktivnosti tekočih vod, krmil in zunanjega sevanja ter kot podizvajalec tudi meritve radioaktivnosti pitnih vod.

Program meritev v Sloveniji v letu 2010 je prikazan v spodnji tabeli (Tabela 1). Z modro barvo so označene meritve, ki ji je opravil ZVD, z zeleno pa meritve IJS.

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

Tabela 1: Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2010 (modra – ZVD, zelena - IJS)

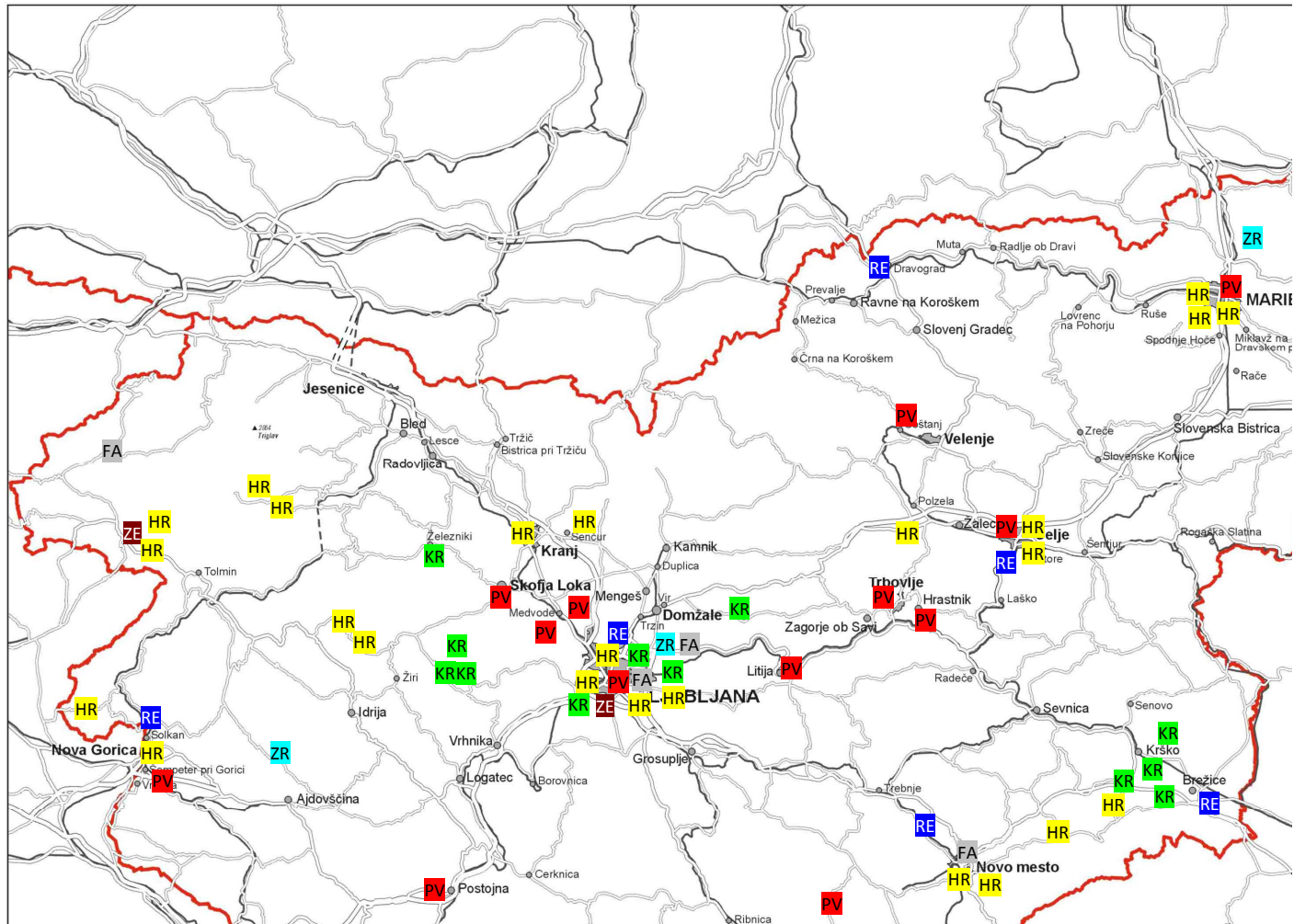
| Vrsta in opis meritev     | Vzorčevalno mesto | Vrsta vzorca          | Pogostost meritev | Letno št. meritev |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| <b>1.0. REKE, MORJE</b>   |                   |                       |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

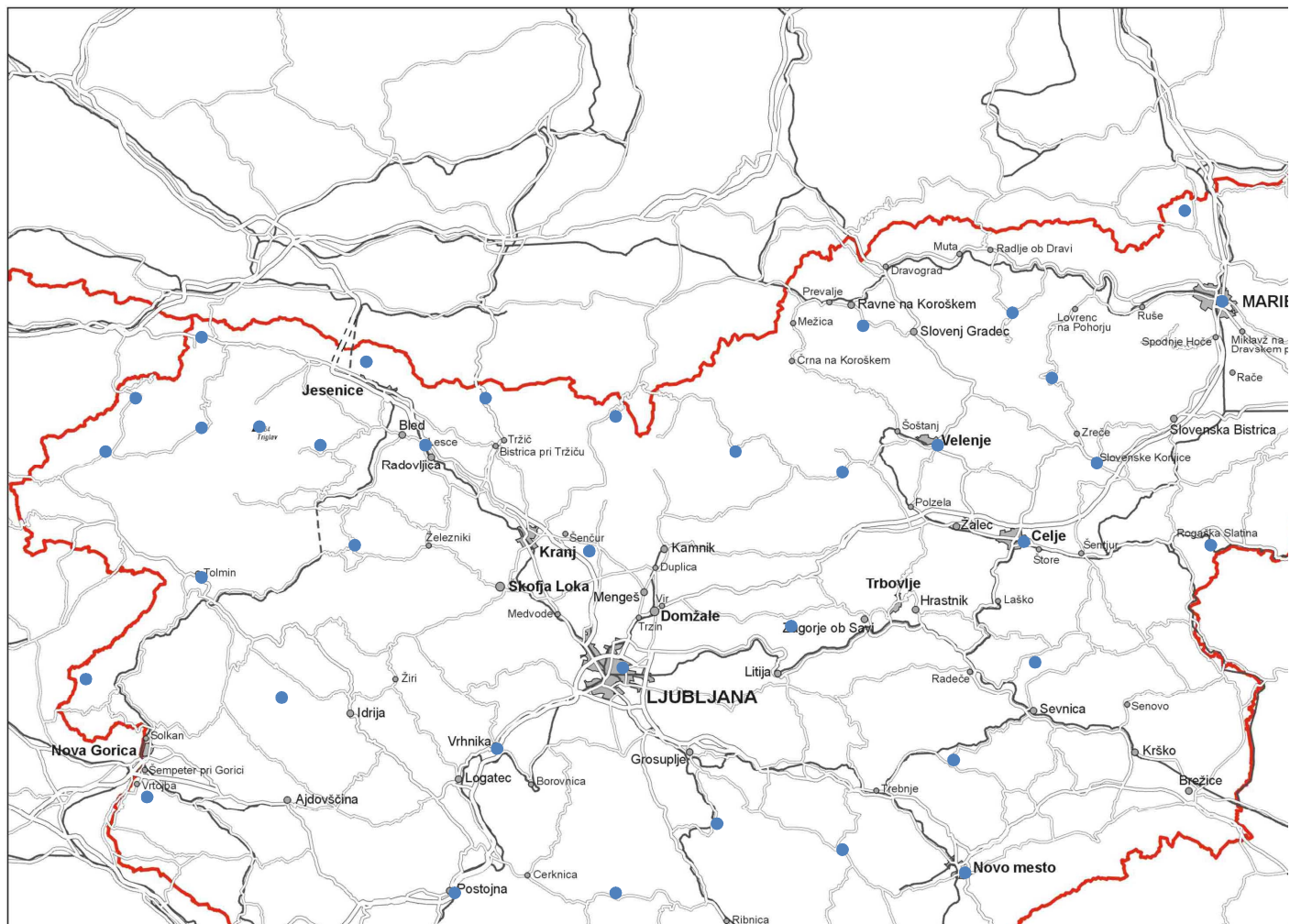
Tabela 1 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2010 (modra – ZVD, zelena - IJS)

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

*Tabela 1 (nadaljevanje). Program meritev v življenjskem okolju v Sloveniji v 2010 (modra – ZVD, zelena - IJS)*

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







### 3 Metodologija meritev

Meritve v okviru rednega monitoringa življenjskega okolja v Republiki Sloveniji v letu 2010 sta izvajala ZVD in IJS. Za določanje specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih iz okolja smo uporabljali visokoločljivostno spektrometrijo gama (ZVD in IJS), radiokemično analizo Sr-90 (ZVD in IJS), radiokemično analizo H-3 (IJS) in radiokemično analizo I-131 (ZVD). Za meritve doze zunanjskega sevanja smo uporabljali TL dozimetre (IJS).

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

IJS je v letu 2010 izvajal meritve radioaktivnosti tekočih vod, pitnih vod, sedimenta, zemlje in zraka v Ljubljani in krmil ter zunanjskega sevanja. Vzorce so na IJS vzorčili, pripravili in merili v skladu s sprejetimi postopki IJS. Sevalce gama določajo v skladu s postopkom *Visokoločljivostna spektrometrija gama v laboratoriju (LMR-DN-10)*, vsebnost Sr-89/90 v skladu s postopki *Določanje stroncija z beta štetjem (SDN-O2-STC(01))* in *Navodilo za uporabo proporcionalnega števca (DP-O2-STC(01))*, vsebnost tritija pa v skladu s postopkom *Meritve, analiza in izračun vsebnosti tritija (LSC-DN-07)* ali *Določanje tritija s tekočinskim scintilacijskim štetjem (SDN-O2-SZC(02))*. Rezultati meritev, ki jih je izvajal IJS, so v tabelah v prilogi tega poročila.

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

#### 3.1 Akreditirane meritve

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

## 3.2 Izračuni specifičnih aktivnosti

Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih zraka podajamo v Bq/m<sup>3</sup>, v vzorcih tekočih in pitnih vod v Bq/m<sup>3</sup>, v vzorcih padavin na količino padavin v Bq/mm, v Bq/m<sup>3</sup> in preračunane na enoto prestrezne površine, v Bq/m<sup>2</sup>. V vzorcih zemlje podajamo specifične aktivnosti radionuklidov v Bq/kg in preračunane na enoto površine v Bq/m<sup>2</sup>. Specifične aktivnosti radionuklidov v vzorcih hrane (mleko, meso, sadje, zelenjava in močnati izdelki) podajamo v Bq/kg. Doze zunanjega sevanja in efektivne doze za prebivalstvo podajamo v mSv oziroma μSv.

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

$$= \frac{(\quad)}{\quad} \text{ in } = \frac{\quad}{\quad} \\ - = \quad +$$

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

V spodnji tabeli so prikazane orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide za metodo visokoločljivostne spektrometrije gama (Tabela 2).

*Tabela 2: Orientacijske vrednosti meje detekcije za različne vzorce in radionuklide*

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

## 4 Rezultati meritev in komentar

### 4.1 Tekoče vode

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

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

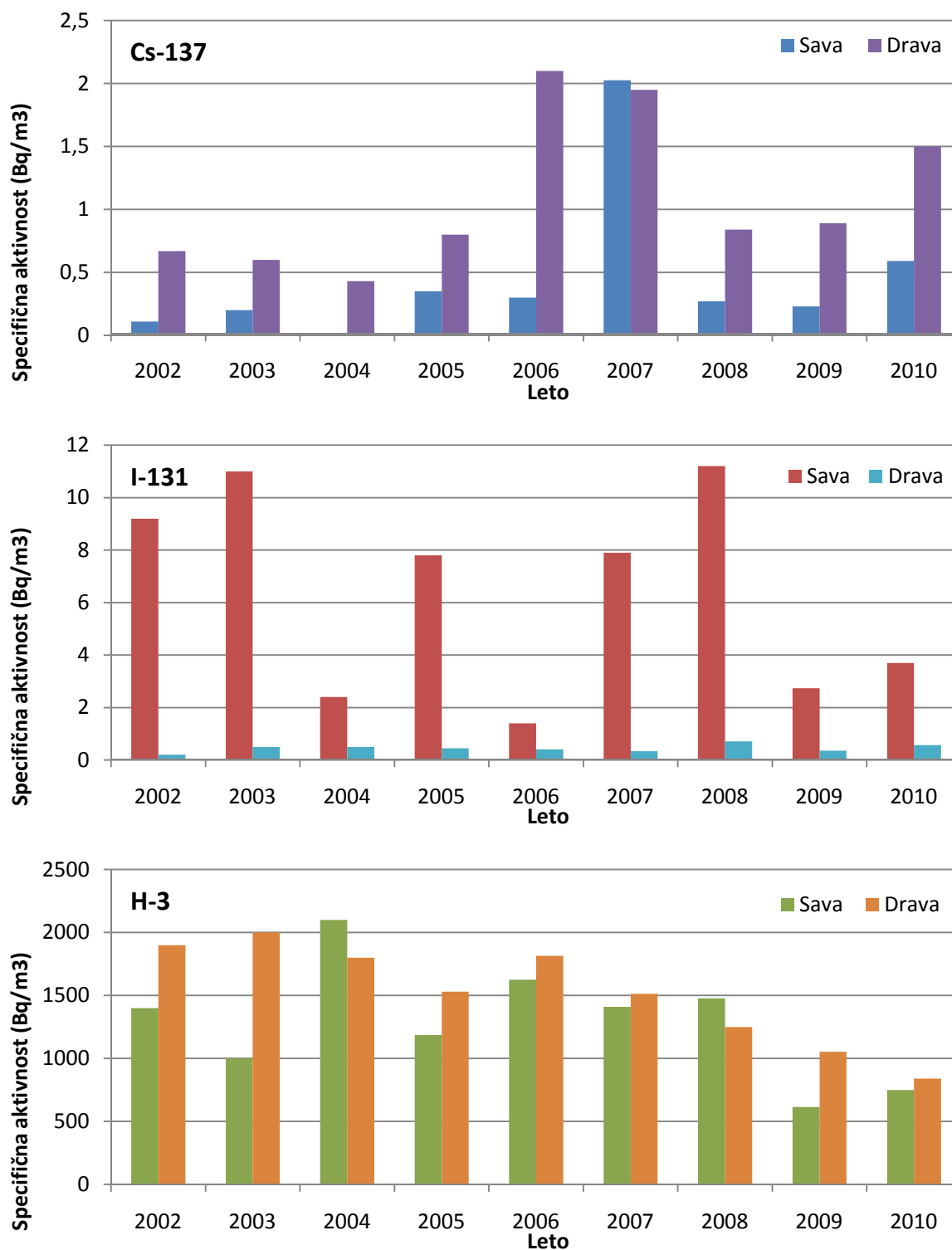
Iz tabele meritev (Tabela 1 v prilogi) vidimo, da je koncentracija K-40 v Savinji pri Celju za en velikostni red višja kot na drugih mestih. Utemeljene razlage za to ni, lahko je posledica uporabe surovin v industriji ali pa izdelkov v poljedelstvu, ki vsebujejo večje količine kalija. Predlagamo, da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

*Tabela 3: Najvišje izmerjene koncentracije radionuklidov v vzorcih tekočih vod*

| Radionuklid | Najvišja izm. spec. akt. (Bq/m <sup>3</sup> ) | Lokacija         | Povprečna vrednost (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|---|------------------|---|
| Cs-137      | 2,8   | Mura             | 1,0 ± 1,0                               |
| Sr-90       | 4,1   | Sava - Ljubljana | 2,7 ± 0,9                               |
| I-131       | 6,6   | Sava - Ljubljana | 1,0 ± 1,7                               |
| H-3         | 1600  | Savinja          | 910 ± 240                               |
| Pb-210      | 15  | Kolpa            | 4,6 ± 5,3                               |
| K-40        | 320   | Savinja          | 77 ± 87                                 |
| Be-7        | 54  | Sava Brežice     | 9 ± 13                                  |

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

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

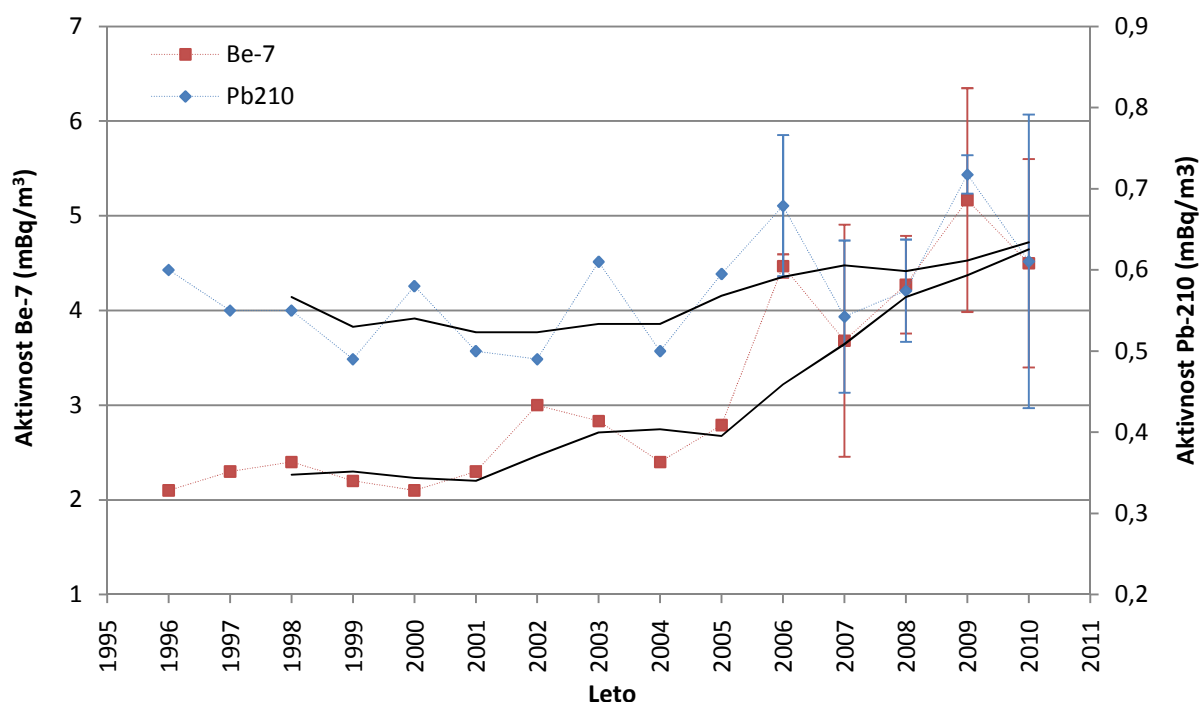


Slika 3: Povprečne specifične aktivnosti Cs-137, I-131 in H-3 v reki Savi (povprečje Ikcij Ljubljana in Brežice) in Dravi od leta 2002 dalje.

## 4.2 Zrak

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

Celoletna letna povprečna vrednost specifične aktivnosti Cs-137 na lokaciji vzorčenja v Ljubljani je bila  $1,7 \pm 0,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ , na lokaciji vzorčenja na Jareninskem vrhu  $5,6 \pm 3,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  in na lokaciji vzorčenja na Predmeji  $2,0 \pm 1,0 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . Povprečna vrednost koncentracije Cs-137 za področje cele Slovenije v letu 2010 je  $3,1 \pm 2,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . Poleg naravnih radionuklidov je opaziti tudi kozmogeni Be-7. Povprečna letna vrednost specifične aktivnosti je bila na Jareninskem vrhu za Be-7  $5,7 \pm 3,5 \text{ mBq}/\text{m}^3$  oziroma za Pb-210  $0,72 \pm 0,28 \text{ mBq}/\text{m}^3$ , v Ljubljani za Be-7  $4,1 \pm 0,5 \text{ mBq}/\text{m}^3$  oziroma za Pb-210  $0,71 \pm 0,06 \text{ mBq}/\text{m}^3$  in na Predmeji za Be-7  $3,7 \pm 1,2 \text{ mBq}/\text{m}^3$  oziroma za Pb-210  $0,40 \pm 0,14 \text{ mBq}/\text{m}^3$ . Povprečna vrednost koncentracije Be-7 za področje cele Slovenije v letu 2010 je  $4,5 \pm 1,1 \text{ mBq}/\text{m}^3$  oziroma za Pb-210  $0,61 \pm 0,18 \text{ mBq}/\text{m}^3$ . Na spodnji sliki (Slika 4) so prikazane povprečne celoletne vrednosti specifičnih aktivnosti v zraku iz vseh treh lokacij vzorčenja za Pb-210 in kozmogeni Be-7 za obdobje od dalje 1996 dalje.



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

Iz slike (Slika 4) je razvidno, da je specifična aktivnost Pb-210 skozi celotno obdobje dokaj konstantna in variira okrog povprečne vrednosti  $0,55 \text{ mBq}/\text{m}^3$ . Vrednosti specifičnih aktivnosti Be-7 se gibajo med  $2,1\text{-}5,1 \text{ mBq}/\text{m}^3$ . V letih 2006-2010 so izmerjene vrednosti Be-7 v zraku za slabo polovico višje kot v prejšnjih letih (do 2005), dodatno je opazen rahel vrh okrog leta 2002.

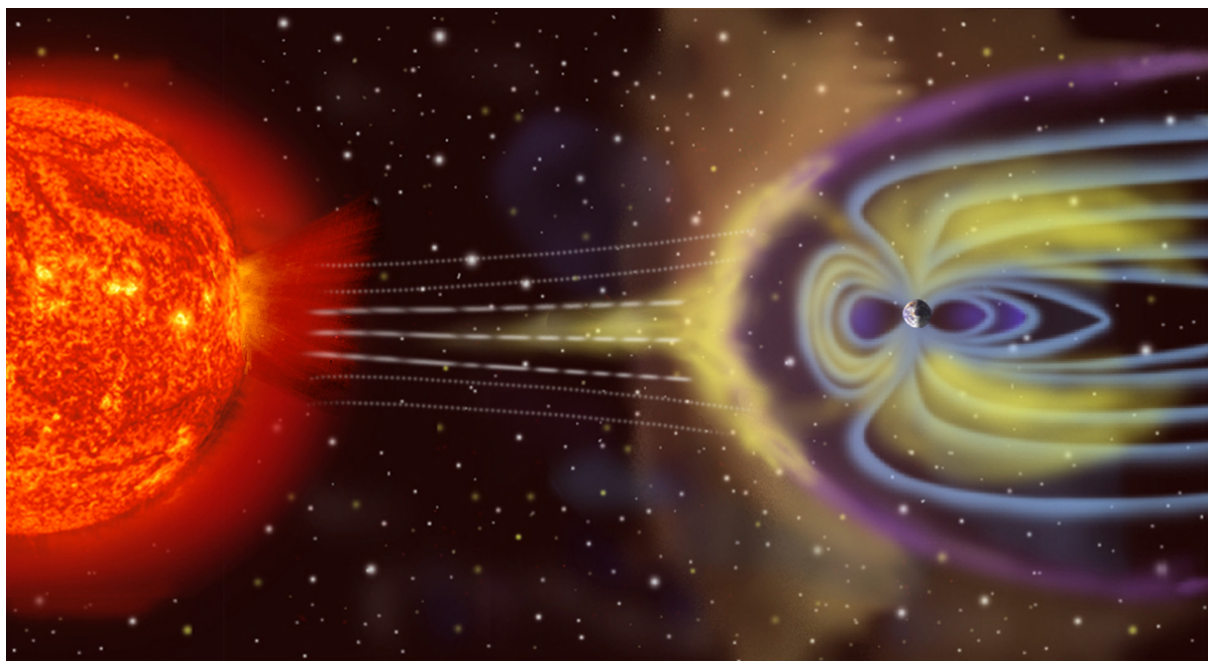
Podoben trend je možno opaziti tudi pri vrednostih Be-7 v vzorcih padavin (Slika 17), kjer je tudi opazno povišanje koncentracij v letih 2006-2010 v primerjavi s preteklimi leti. Potrebno pa se je zavedati, da je vsebnost Be-7 v padavinah v kratkih vzorčevalnih obdobjih (npr. mesečnih) antikorelirana z vsebnostjo Be-7 v zraku, v letnih povprečjih pa so koncentracije korelirane.

#### 4.2.1 Dolgoročna odvisnost koncentracij Be-7 od sončevega ciklusa

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

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

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

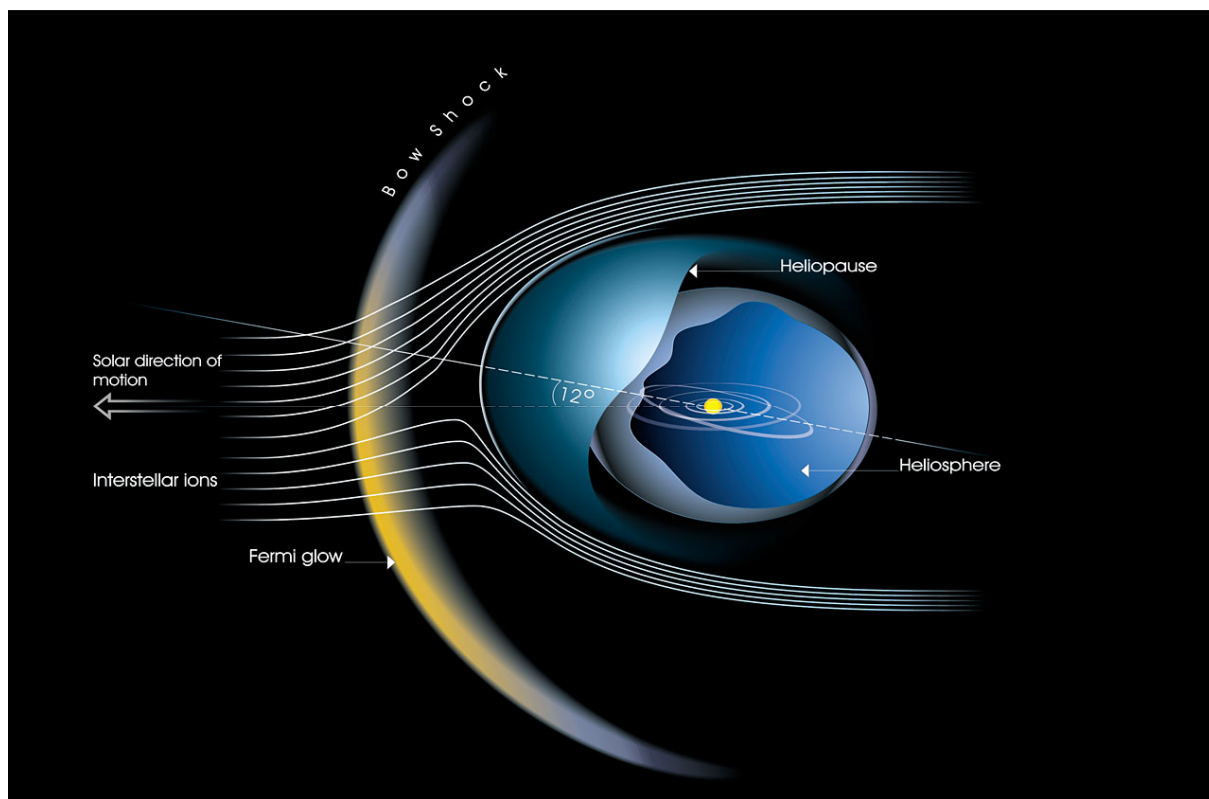


*Slika 5: S površine Sonca izhaja t.i. solarni veter, ki praktično ne more prodreti v zemljino atmosfero (shematski prikaz).*

Solarni veter gledano v celotnem našem osončju pomeni tudi kontinuiran tok plazme (protoni in elektroni), območje vpliva te plazme pa imenujemo heliosfera in sega onkraj Plutonove orbite. Ker je plazma električno prevodna, prenaša del Sončevega magnetnega polja. Na ta način ima solarni veter močan vpliv na galaktične kozmične žarke.

Galaktični kozmični žarki prihajajo tipično izven našega osončja iz medzvezdnega prostora naše galaksije. To so visoko energijski nabiti delci – protoni, elektroni in popolnoma ionizirana jedra lahkih

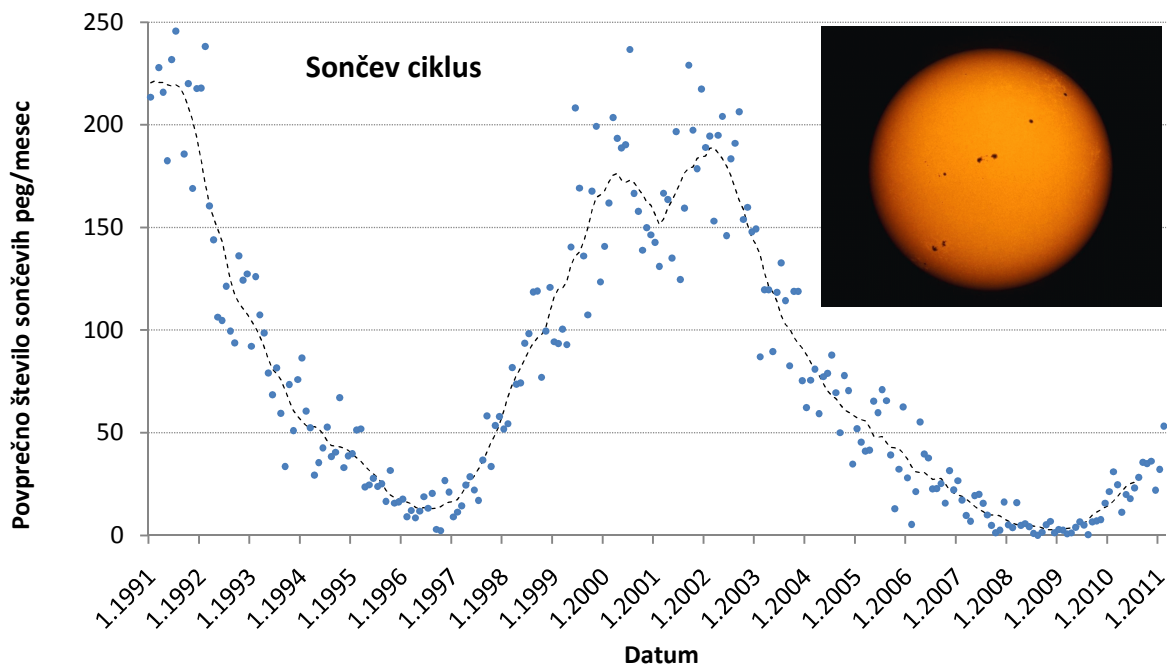
elementov. Ko se galaktični kozmični žarki približajo našemu osončju, v heliosferi lahko izgubijo precejšen del svoje energije in posledično v manjši meri prodrejo v Zemljino atmosfero (Slika 6). V tem primeru je verjetnost nastajanja kozmogenega Be-7 zmanjšana.



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

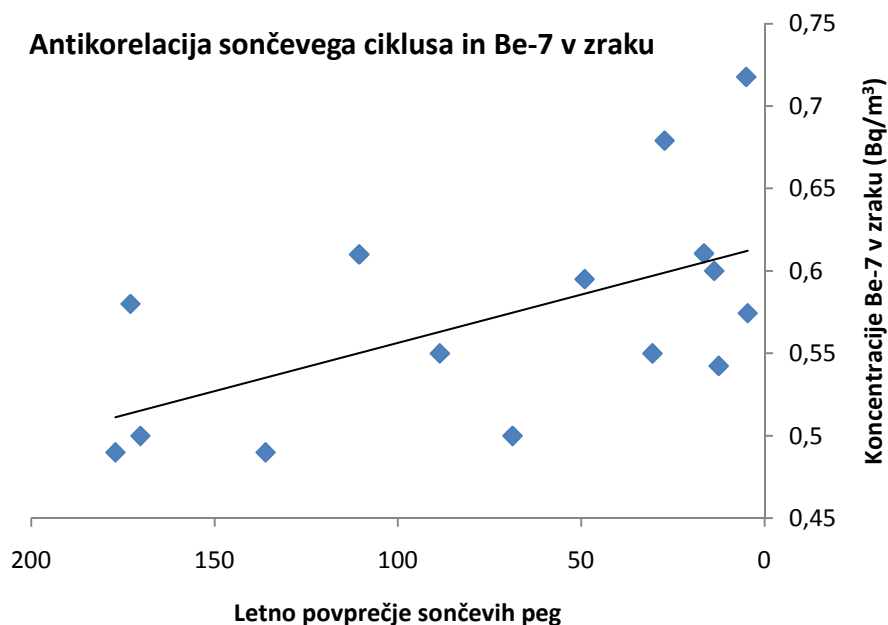
Sončeva aktivnost ima svoj tipični 11-letni cikel. Odraž aktivnosti je viden kot povečanje ali zmanjšanje števila sončevih peg. V času solarnega maksimuma je število peg večje, v času minimuma pa manjše. Med sončevim maksimumom je tudi solarni veter močnejši, kar posledično preko močnejše heliosfere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





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

Če primerjamo izmerjene specifične aktivnosti Be-7 v zraku (Slika 4) in sončevo aktivnost (Slika 7) ugotovimo močno antikorelacijo (Slika 8). V času sončevega minimuma (od 2006 do 2010) je zaradi večjega fluksa galaktičnih kozmičnih žarkov narasla specifična aktivnost Be-7, v času sončevega maksimuma (od 1999 do 2003) pa so specifične aktivnosti Be-7 v zraku nizke, z izjemo lokalnega sončevega minimuma v letu 2001-2002, ki se prav tako odraža v lokalnem maksimumu izmerjene specifične aktivnosti Be-7 v zraku v letu 2002.



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



#### 4.2.2 Sezonske variacije Be-7

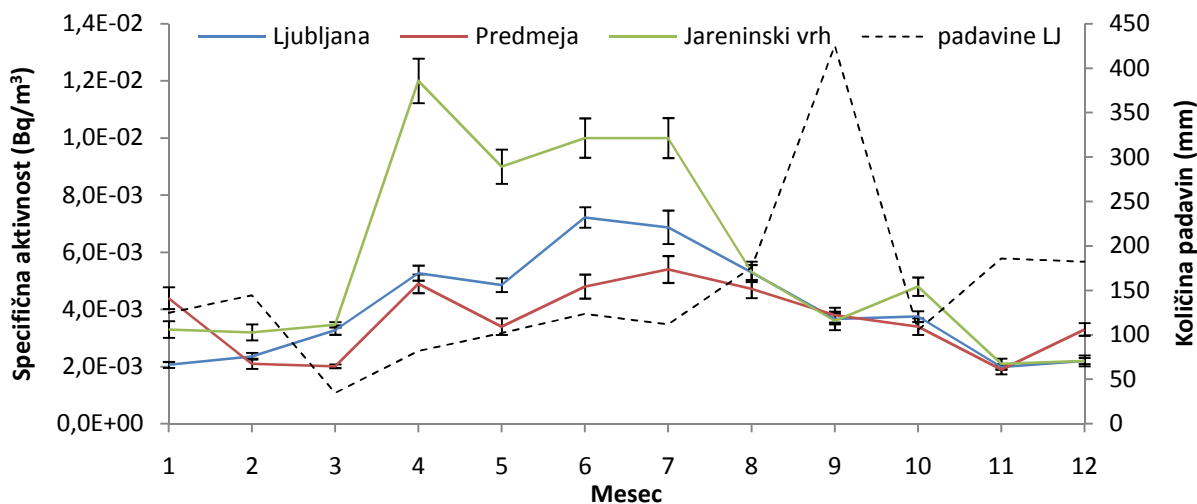
Dodatno smo analizirali tudi sezonske variacije specifičnih aktivnosti Be-7 v letu 2010, ki so prikazane na spodnji sliki (Slika 9). Kozmogeni radionuklid Be-7 nastaja v jedrskih reakcijah fragmentacije ob interakcijah s galaktičnimi kozmičnimi žarki v zemeljski atmosferi. Večina Be-7 nastane v spodnji stratosferi in nato počasi prehaja navzdol do nadmorskih višin zemeljskega površja.

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

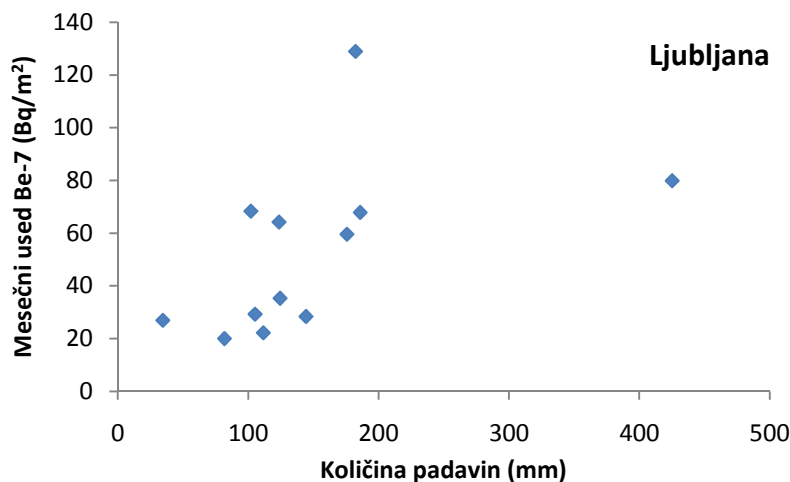
- hitrost prehajanja zračnih mas med stratosfero (višine do 50-60 km) in troposfero (višine do 8-15 km)
- vertikalno mešanje zračnih mas v troposferi
- prehajanje zračnih mas iz srednjih do visokih nadmorskih višin v troposferi in
- izpiranje atmosferskih aerosolov iz zraka preko padavin.

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

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

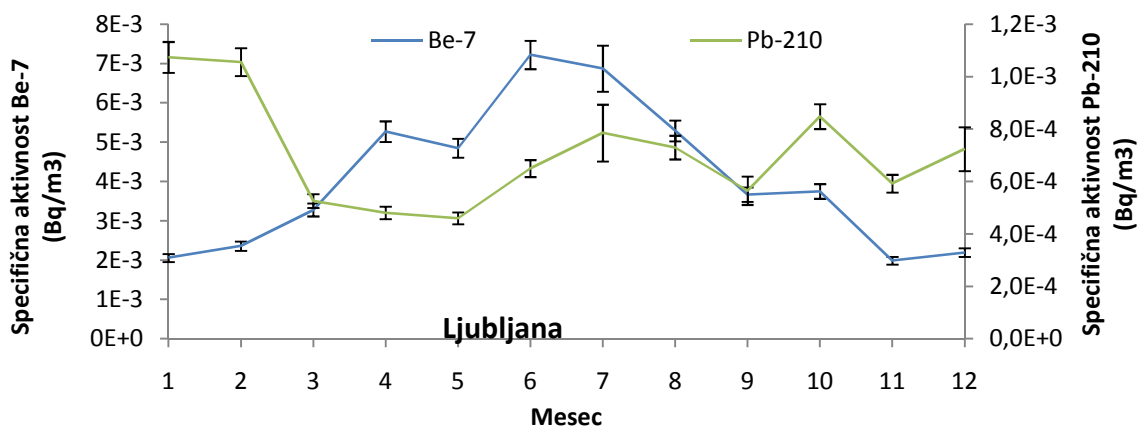


Slika 9: Sezonske variacije izmerjenih koncentracij atmosferskega Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2010



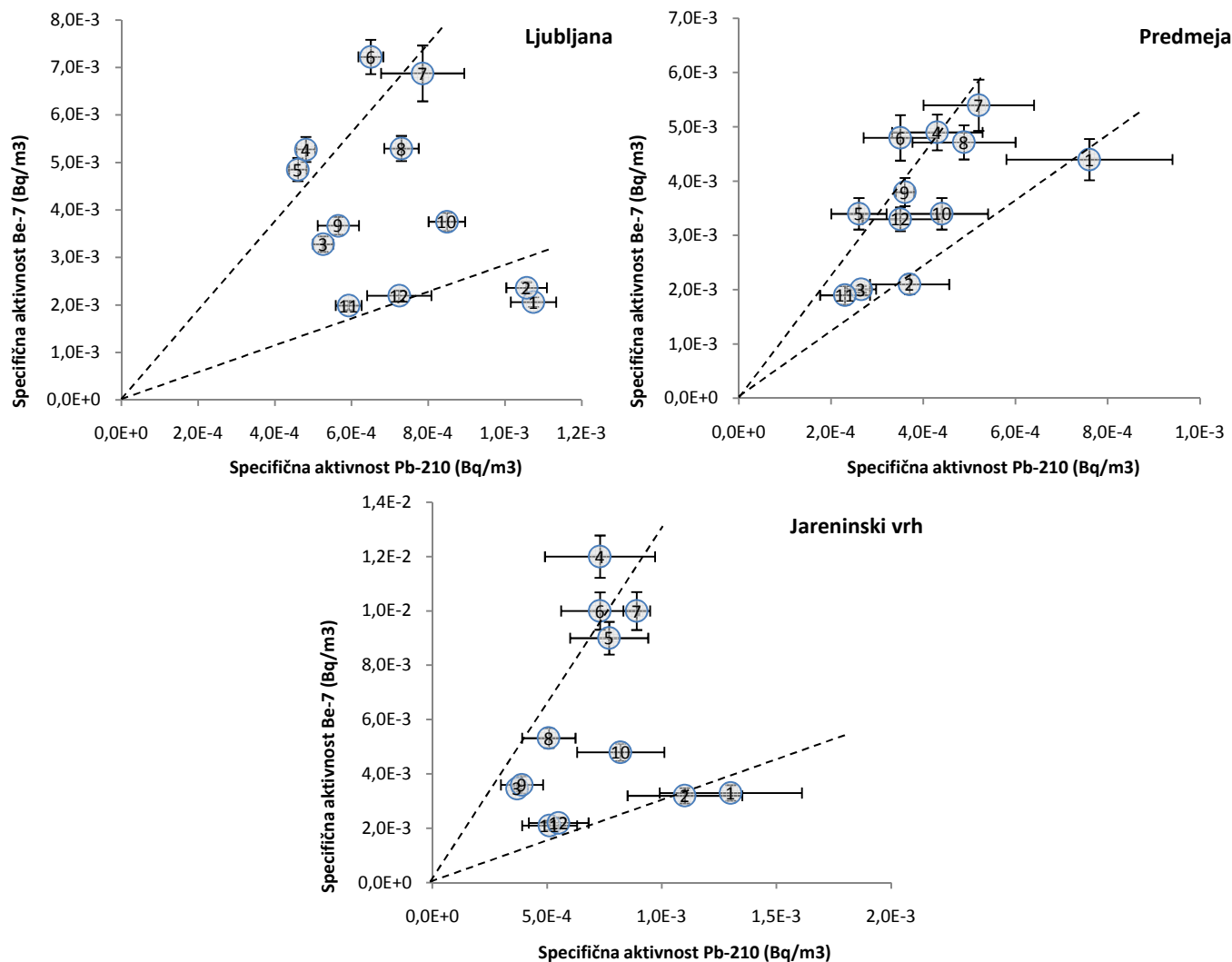
Slika 10: Korelacija padavin in izmerjenega mesečnega useda Be-7 v padavinah iz Ljubljane

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



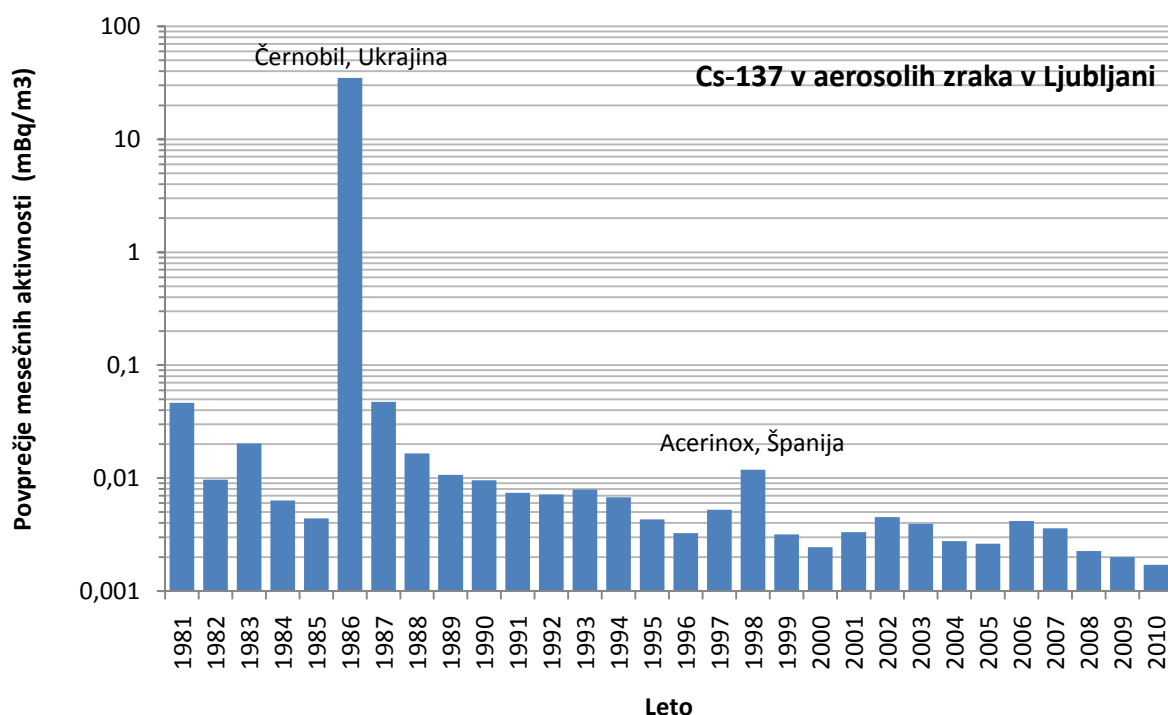
Slika 11: Sezonska variacija koncentracij atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku v Ljubljani

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



Slika 12: Zimske in poletne korelacije med izmerjenimi koncentracijami atmosferskega Pb-210 in Be-7 v zraku na različnih lokacijah v letu 2010 – številka ob meritvi pomeni mesec vzorčevanja.

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



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

Mesečne koncentracije Cs-137 po letu 1986, ko so bile najvišje zaradi černobilske nesreče padajo. Povprečne letne koncentracije Cs-137 v zraku v Ljubljani se po letu 2000 gibljejo v območju vrednosti 2 – 5  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . Edino povišanje po černobilski nesreči je bilo vidno leta 1998, v času nezgode v jeklarni Acerinox v Španiji (Algeciras), kjer so stalili radioaktivni vir Cs-137, zaradi česar so bile izmerjene vrednosti okoli 10  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ .

## 4.3 Padavine

### 4.3.1 Specifična aktivnost sevalcev gama in Sr-90

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

Rezultati meritev so zbrani v prilogi (Tabela 5).

Letna količina padavin v letu 2010 v Ljubljani je bila 1798 mm, v Bovcu 3522 mm, v Novem mestu 1250 mm in v Murski Soboti 870 mm. Poleg umetnih radionuklidov Cs-137, Sr-90 in H-3 smo določali tudi naravne radionuklide U-238, Ra-226, Pb-210, Th-228, Ra-228, K-40 ter kozmogeni Be-7.

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

Od umetnih radionuklidov sta opazna samo Cs-137 in Sr-90, vendar so specifične aktivnosti večkrat na meji detekcije, tako da so negotovosti pri meritvah precej velike. Najvišji letni used Cs-137 je bil izmerjen v Bovcu  $0,8 \pm 0,1$  Bq/m<sup>2</sup> in najmanjši v Murski Soboti ter Ljubljani, kjer je znašal  $0,11 \pm 0,03$  Bq/m<sup>2</sup>. Najvišji letni used Sr-90 je bil izmerjen v Bovcu  $1,7 \pm 0,1$  Bq/m<sup>2</sup>, najnižji pa v Ljubljani  $0,11 \pm 0,02$  Bq/m<sup>2</sup>.

Od naravnih radionuklidov naj omenimo še skupne vrednosti kozmogenega Be-7, katerega rezultati znašajo od 190 Bq/m<sup>2</sup> v Murski Soboti do 1853 Bq/m<sup>2</sup> v Bovcu.

V tabeli (Tabela 4) so prikazane povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine povprečene na vse lokacije vzorčenja za obdobje od leta 2000 naprej. Dodane so tudi povprečne količine padavin na vseh merskih lokacijah za to obdobje. Na spodnji sliki (Slika 14) pa je prikazana časovna odvisnost letnega useda od leta 2000 dalje.

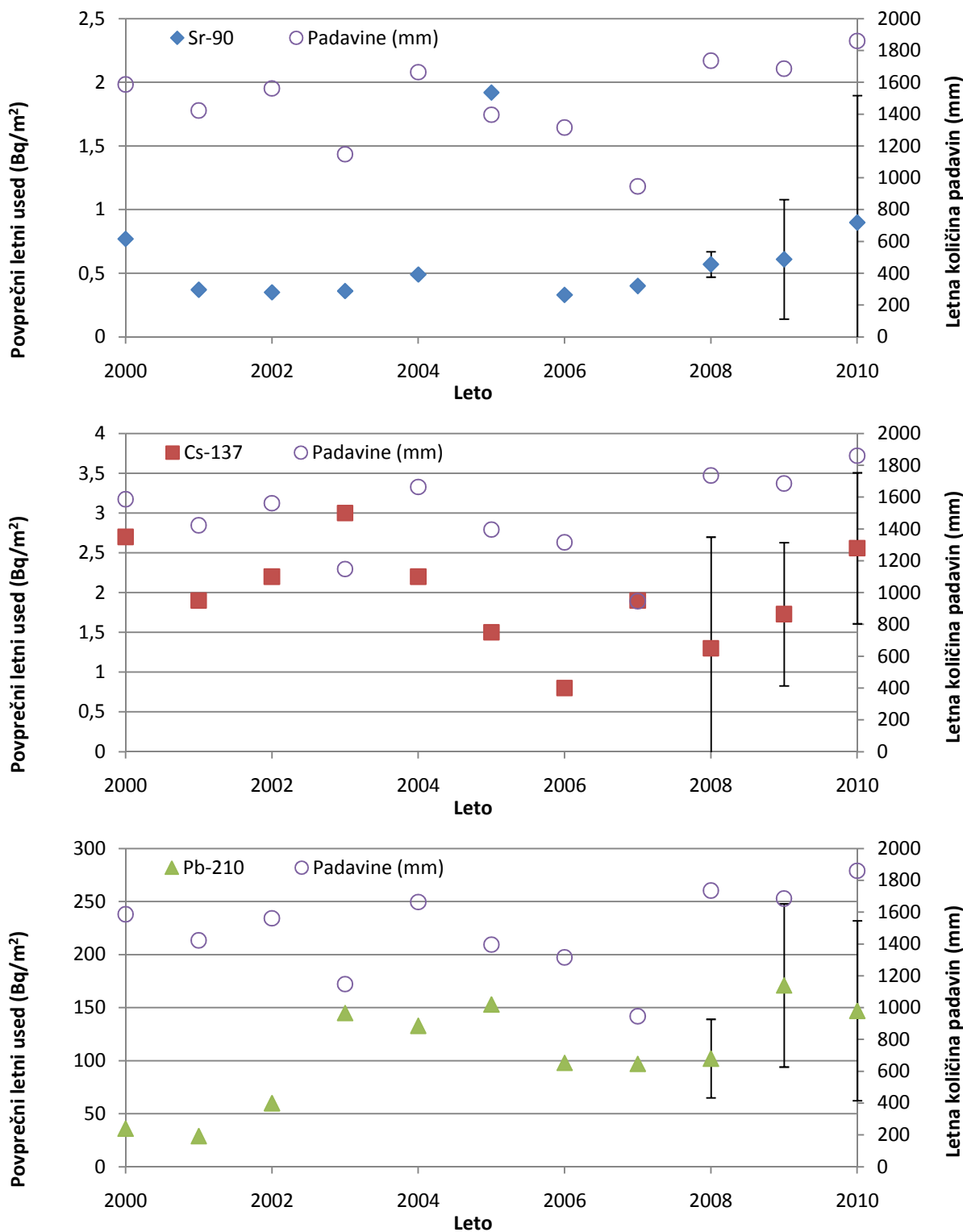
*Tabela 4: Povprečne letne vsote specifičnih aktivnosti Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine za obdobje od leta 2000 dalje (povprečje vseh lokacij)*

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

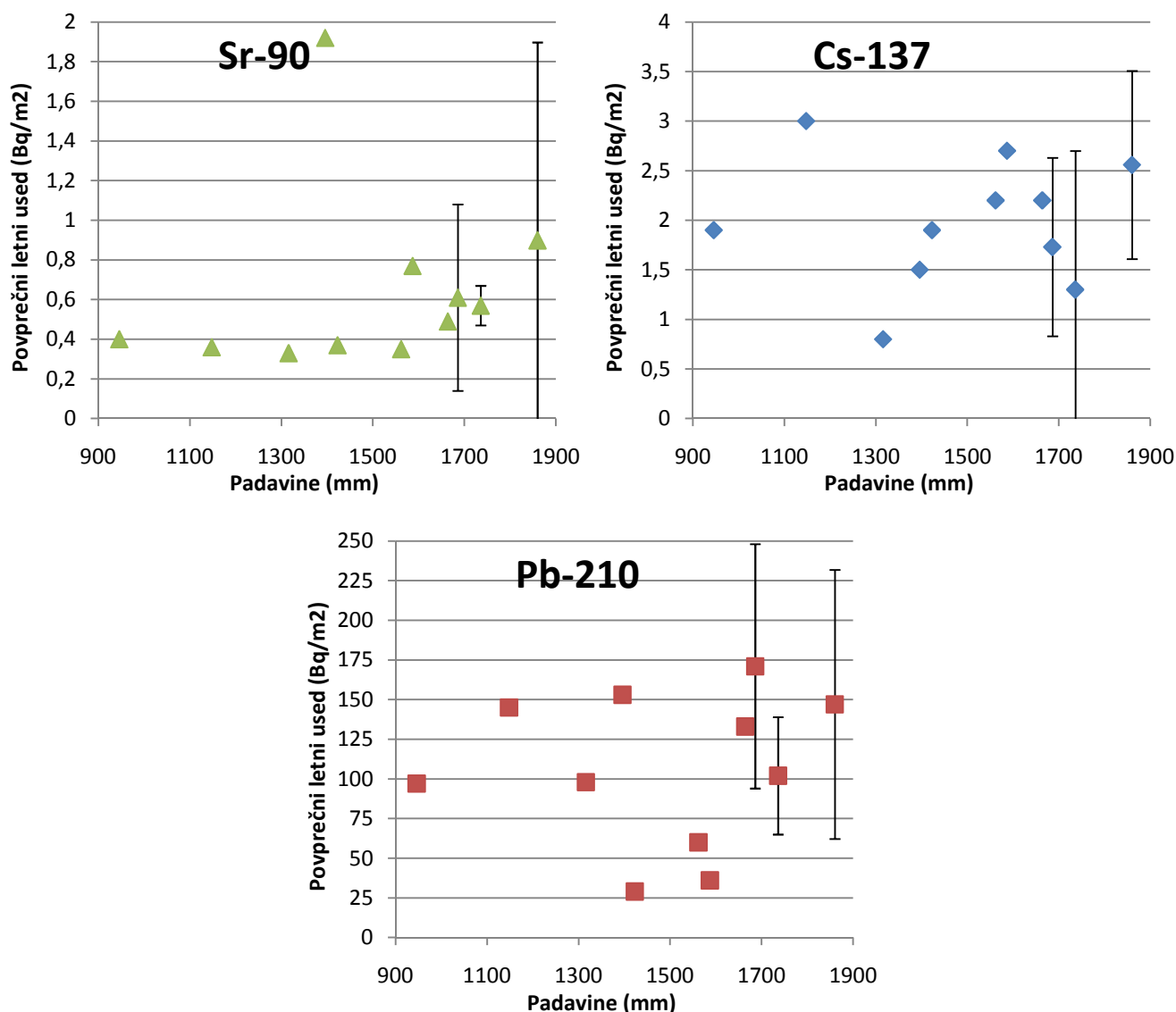
Iz rezultatov v tabeli je razvidno, da vrednosti specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 na enoto površine povprečene po lokacijah Slovenije variirajo z leti. Relativno visoka vrednost za Sr-90 v 2005 v Ljubljani je posledica ene same visoke vrednosti, izmerjene v marcu 2005  $41,0 \pm 0,2$  Bq/m<sup>3</sup>. Vendar pa, če primerjamo odvisnost letnega useda od letne količine padavin (Slika 15), korelacija med njima ni zelo opazna. To najverjetneje pomeni, da ne glede na količino padavin, le-te izperejo praktično celotno aktivnost v zraku, zato na letni ravni ni zaznati velikih variacij.

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

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



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

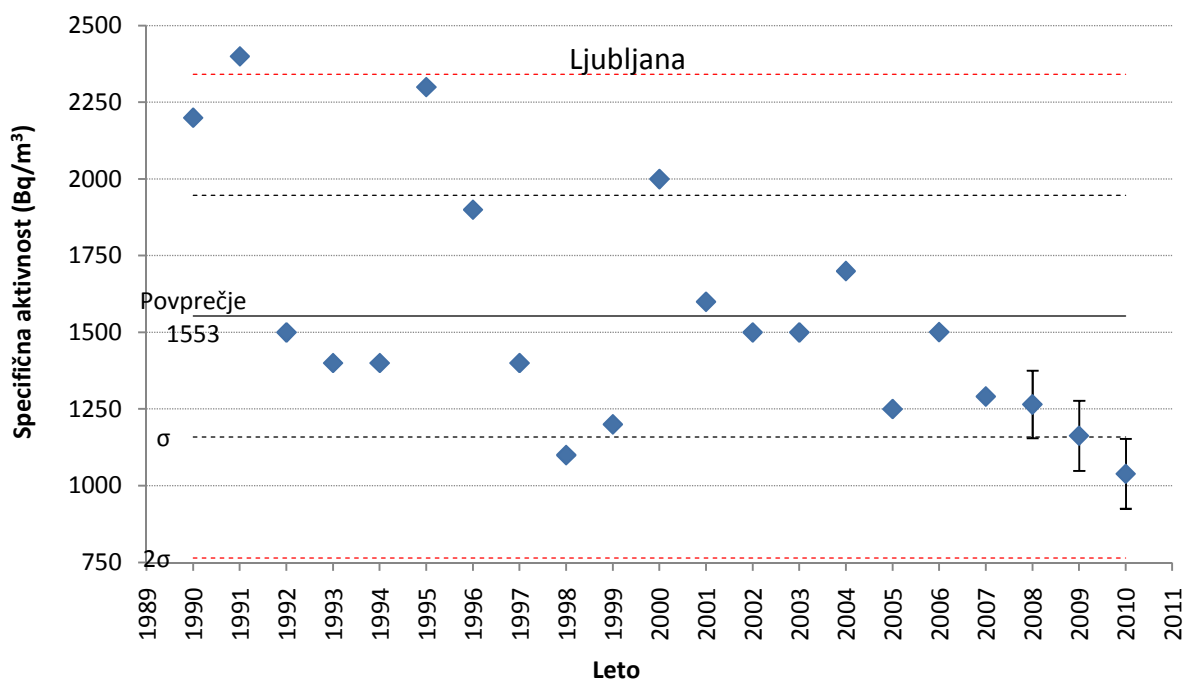


Slika 15: Korelacija količine padavin s povprečnim letnim usedom Cs-137, Sr-90 in Pb-210 na enoto površine (povprečje vseh lokacij po Sloveniji)

#### 4.3.2 Specifična aktivnost H-3

Meritve specifične aktivnosti H-3 v vzorcih padavin smo opravili le v mesečnih vzorcih iz Ljubljane (meritve je izvajal IJS). Rezultati meritev so prikazani v prilogi. Koncentracije aktivnosti H-3 v deževnici v letu 2010 so v okviru dolgoletnega povprečja. Vrednosti specifičnih aktivnosti H-3 v obdobju od leta 1990 dalje se gibajo v območju 1000-2400 Bq/m<sup>3</sup>. Povprečna dolgoletna koncentracija H-3 znaša 1553 Bq/m<sup>3</sup>, v letu 2010 pa je znašala koncentracija H-3 1039 ± 114 Bq/m<sup>3</sup>. Potrebno je omeniti, da so nekatere primerjave meritev koncentracij H-3 laboratorija v IJS in v Seibersdorfu, ki so opravljali nekatere meritve v prejšnjih letih, pokazale odstopanje tudi za faktor 2 (IJS izmeri višje vrednosti).

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



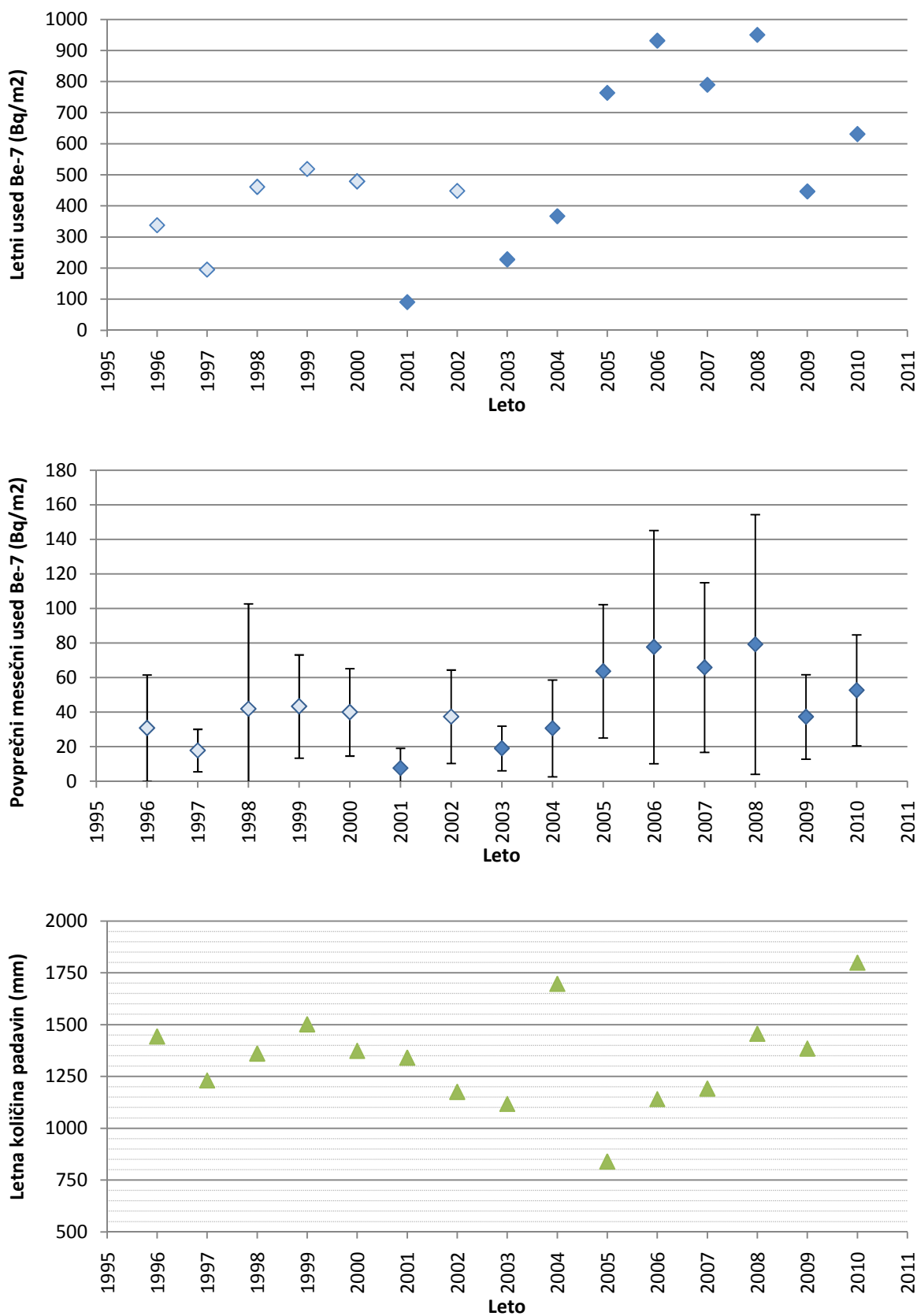
Slika 16: Specifične aktivnosti H-3 v padavinah iz Ljubljane za obdobje od leta 1990 dalje

#### 4.3.3 Specifična aktivnost kozmogenega Be-7

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

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





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

## 4.4 Zemlja

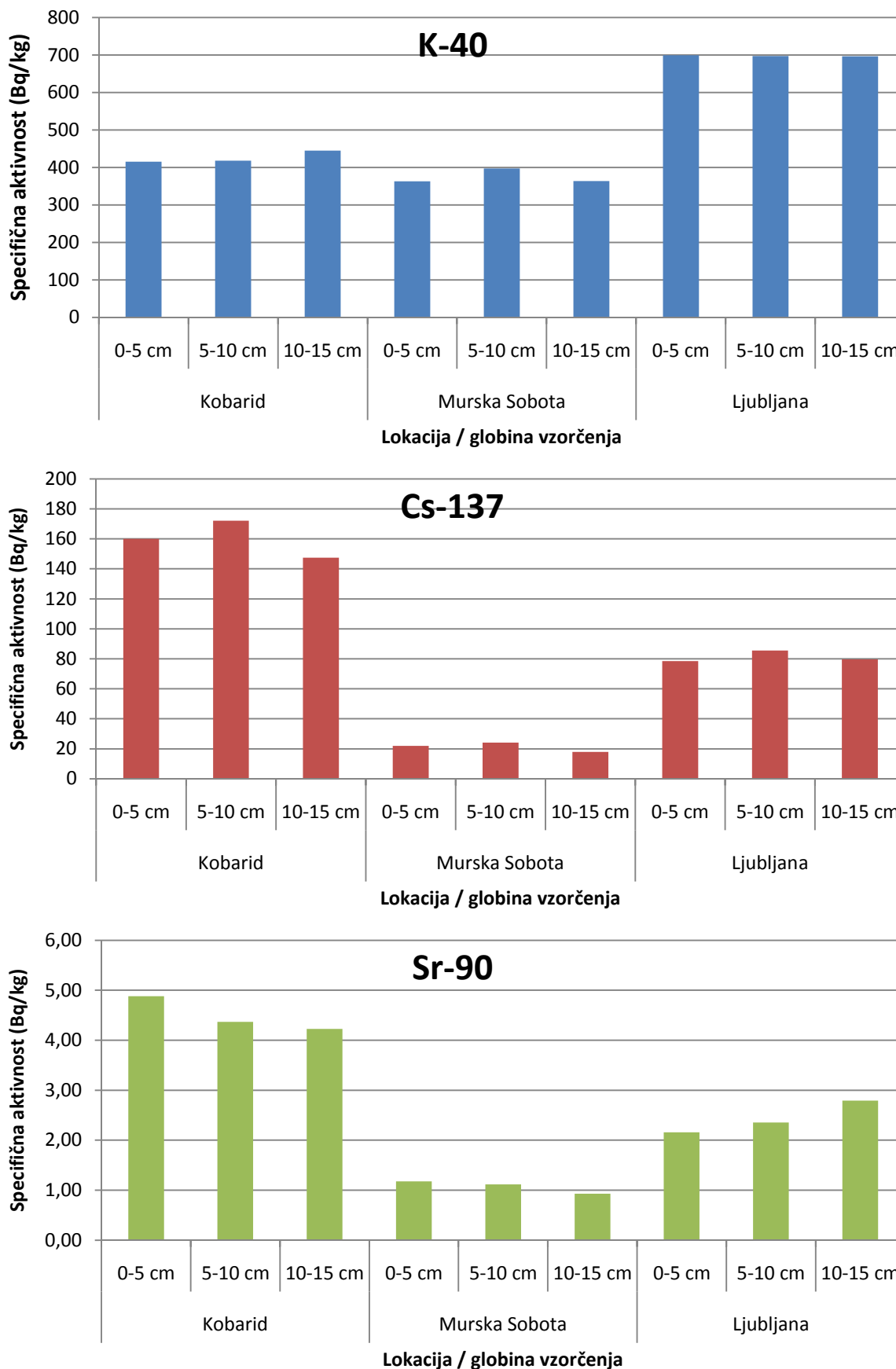
Zemljo smo vzorčili na treh globinah 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm na lokacijah Ljubljana (IJS), Kobarid in Murska Sobota (obe ZVD) v spomladanskem in jesenskem obdobju. V letu 2009 je začel IJS vzorčiti zemljo v Ljubljani na lokaciji Ceste dveh cesarjev, kjer je prejšnja leta vzorčil ZVD (v letu 2008 in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

Specifične aktivnosti v vseh treh plasteh so v prilogi (Tabela 3) prikazane v enotah Bq/kg posušene zemlje in tudi preračunane na enoto površine v Bq/m<sup>2</sup>. Pri tem so preračunane tudi vrednosti za naravne radionuklide, za katere pa vemo, da ne predstavljajo površinske kontaminacije.

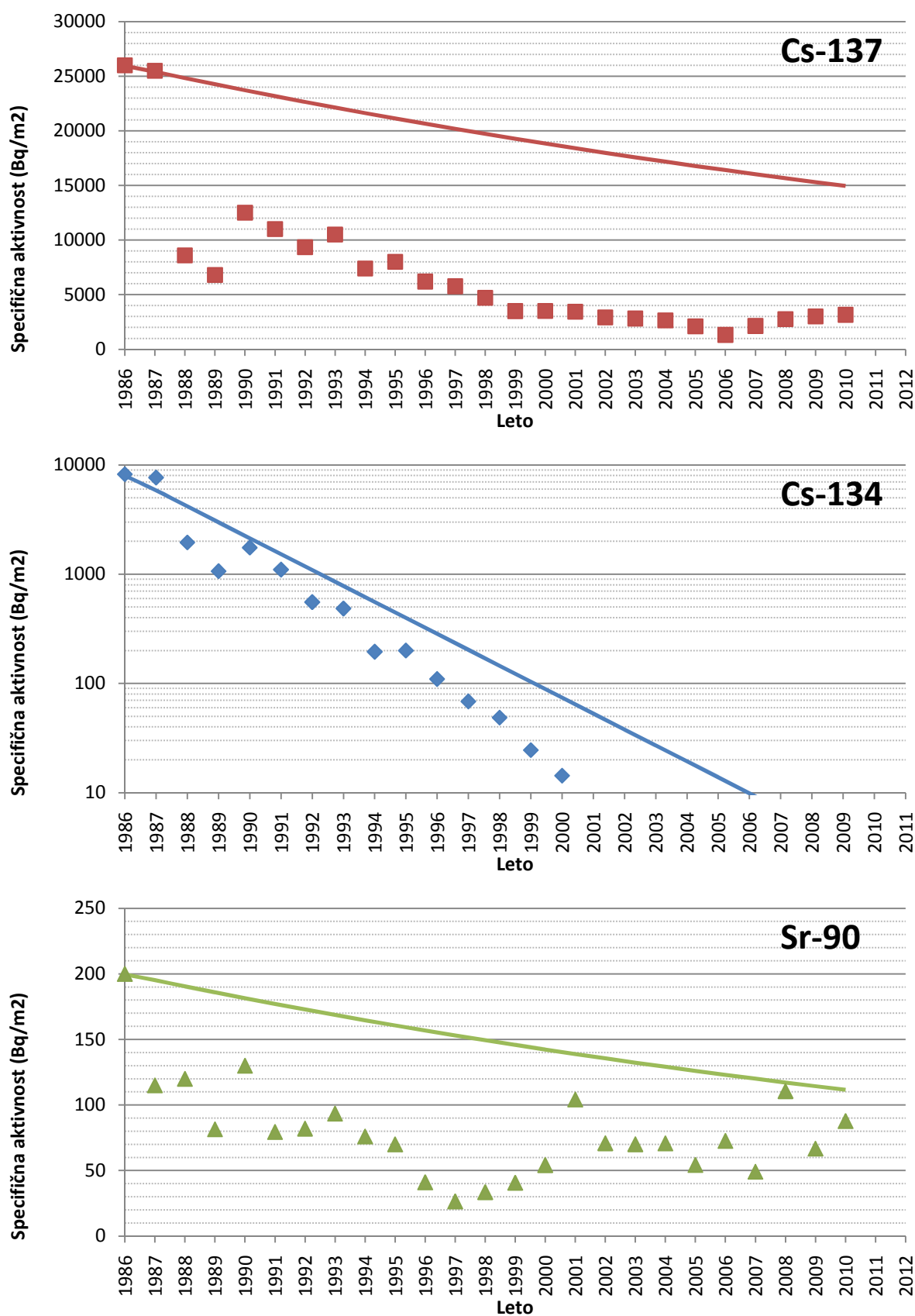
V vzorcih zemlje iz Ljubljane je bilo povprečje specifične aktivnosti v vseh treh plasteh  $81 \pm 4$  Bq/kg Cs-137 in  $2,4 \pm 0,3$  Bq/kg Sr-90, po plasteh pa je vsebnost Cs-137 konstantna, vsebnost Sr-90 pa narašča z globino vzorčenja. V vzorcih zemlje iz Kobarida je bilo povprečje specifične aktivnosti  $160 \pm 12$  Bq/kg Cs-137 in  $4,5 \pm 0,3$  Bq/kg Sr-90, po plasteh je vsebnost Cs-137 približno konstantna, vsebnost Sr-90 pa pada z globino vzorčenja. V vzorcih zemlje iz Murske Sobote je bilo povprečje specifične aktivnosti Cs-137  $21,4 \pm 3,2$  Bq/kg in Sr-90  $1,1 \pm 0,1$  Bq/kg, po plasteh vsebnosti Cs-137 in Sr-90 padata z globino vzorčenja.

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

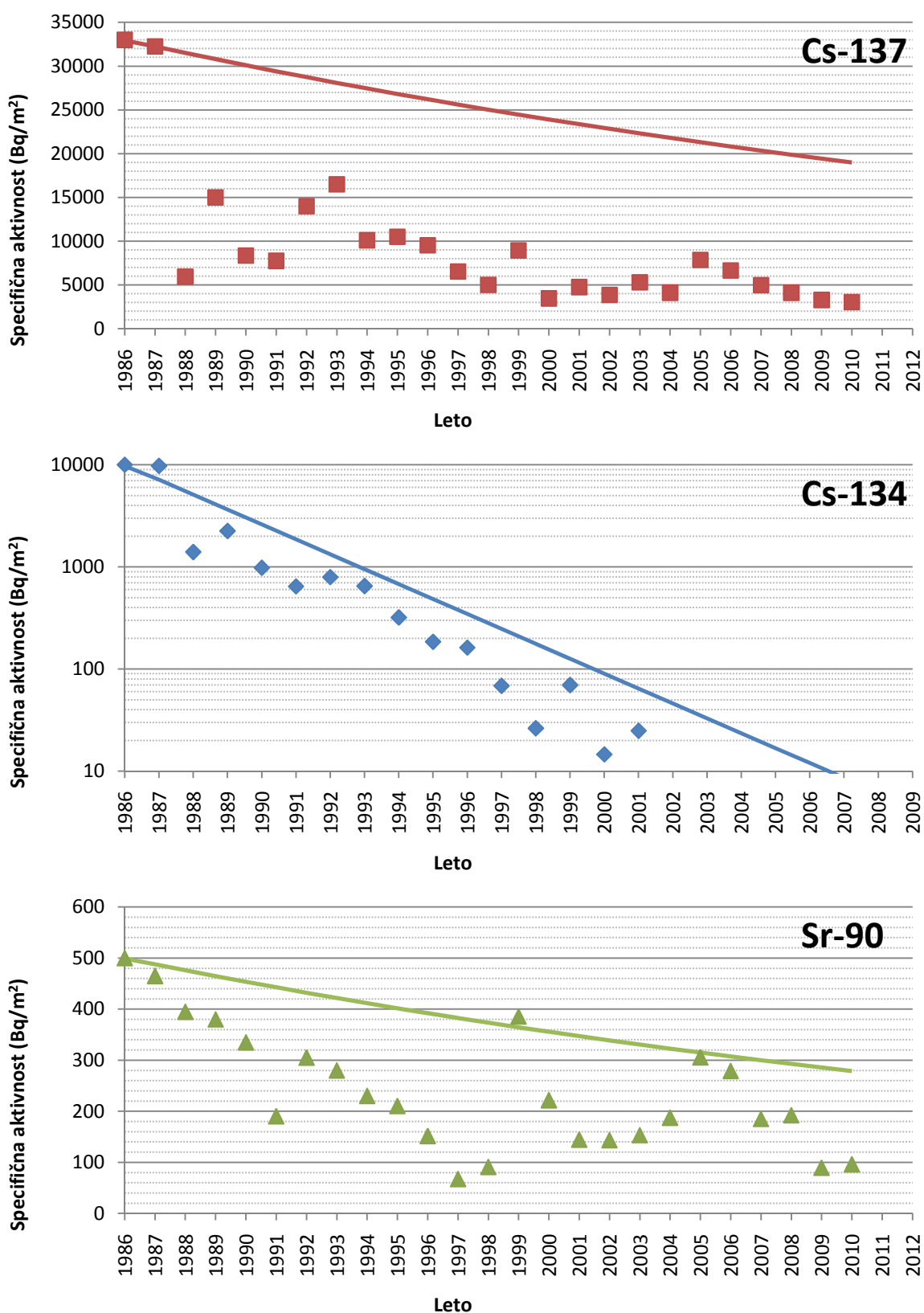
Na slikah (Slika 19, Slika 20, Slika 21) je prikazana časovna odvisnost specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Ljubljano, Kobarid in Mursko Soboto za obdobje od leta 1986 dalje. Poleg povprečnih letnih specifičnih aktivnosti so za primerjavo prikazane tudi vrednosti za naravni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



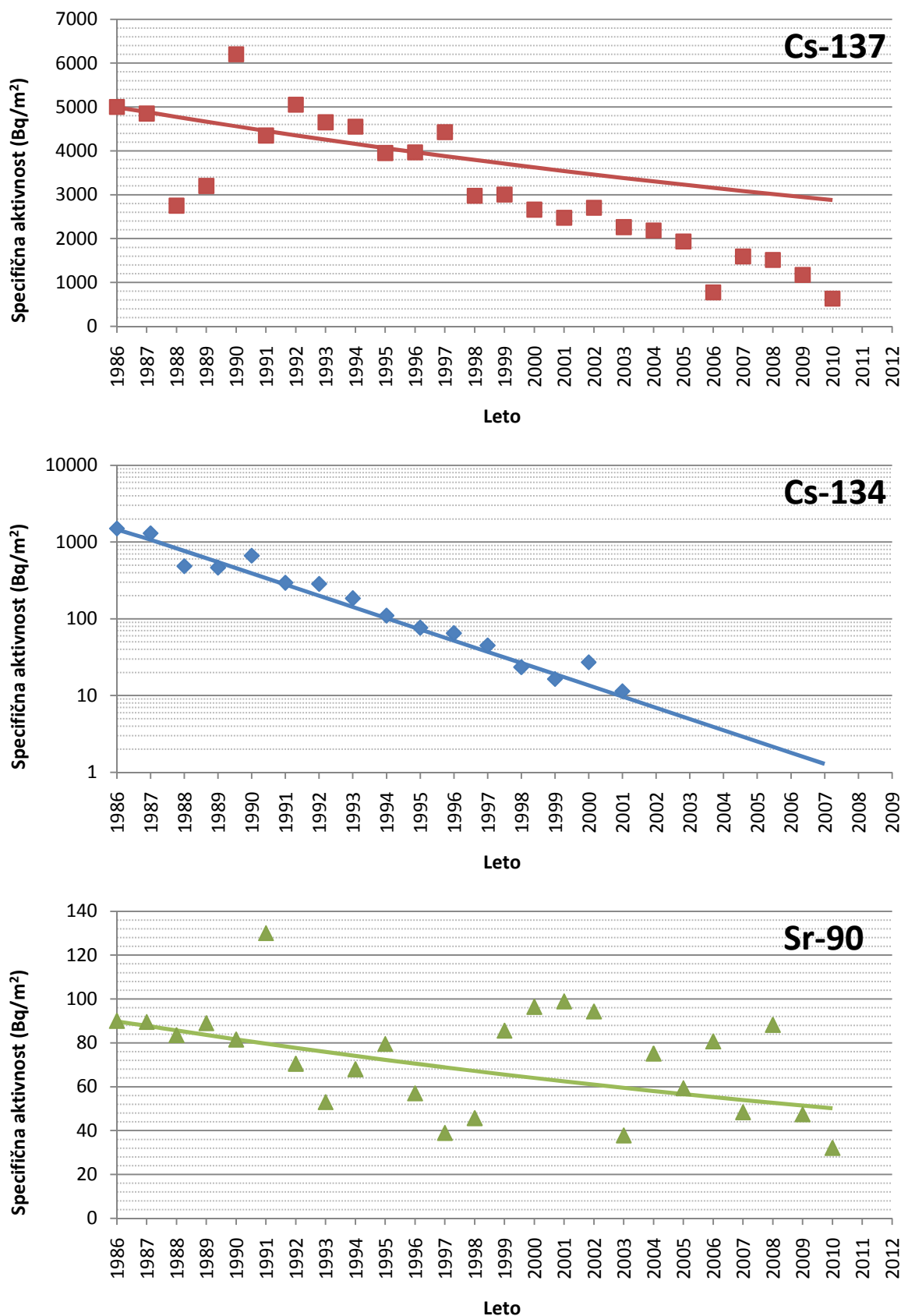
Slika 18: Povprečna letna specifična aktivnost K-40, Cs-137 in Sr-90 v zemlji



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



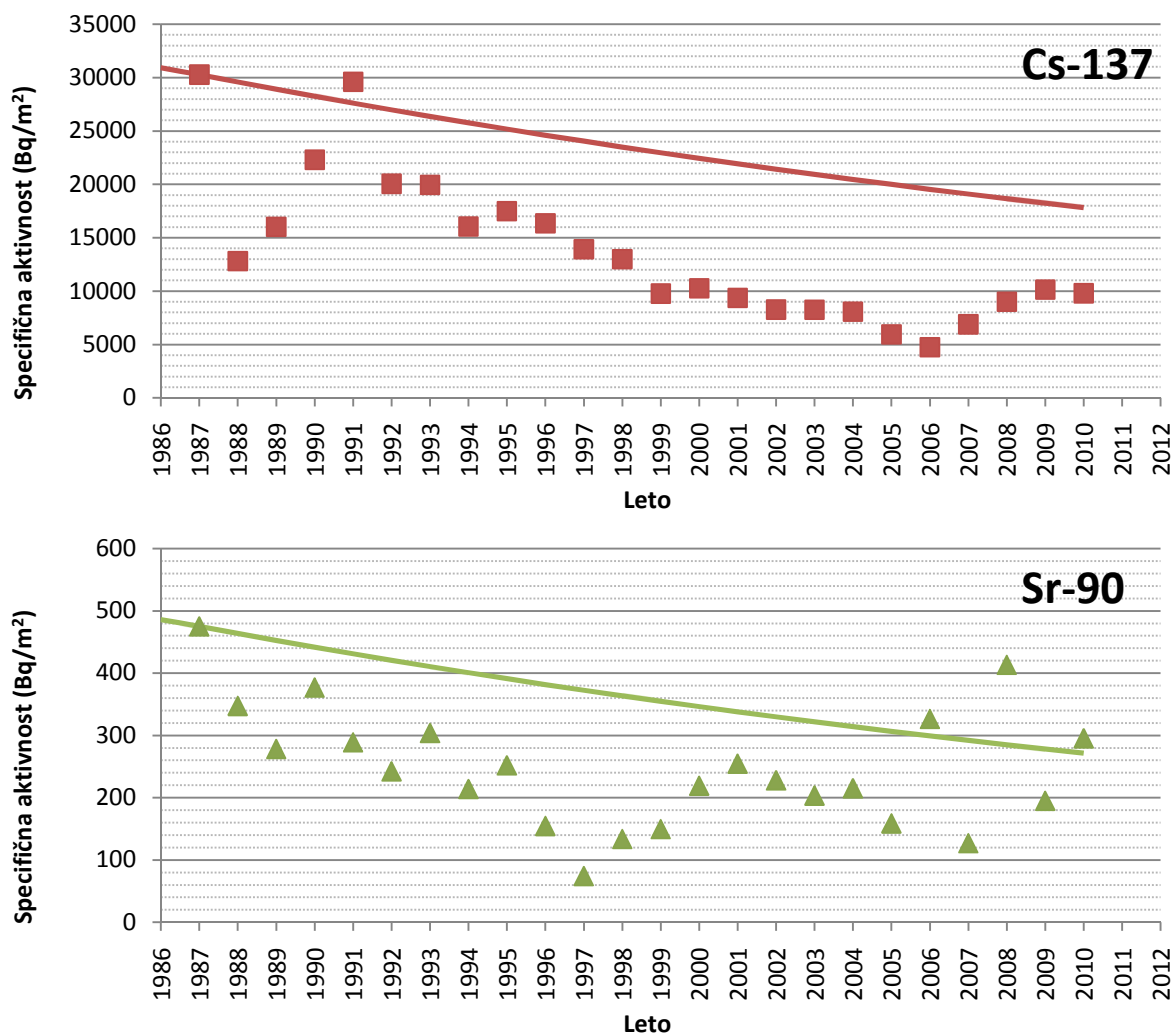
Slika 20: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137, Cs-134 in Sr-90 v plasti 0-5 cm za Kobarid, od leta 1986 dalje



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

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

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

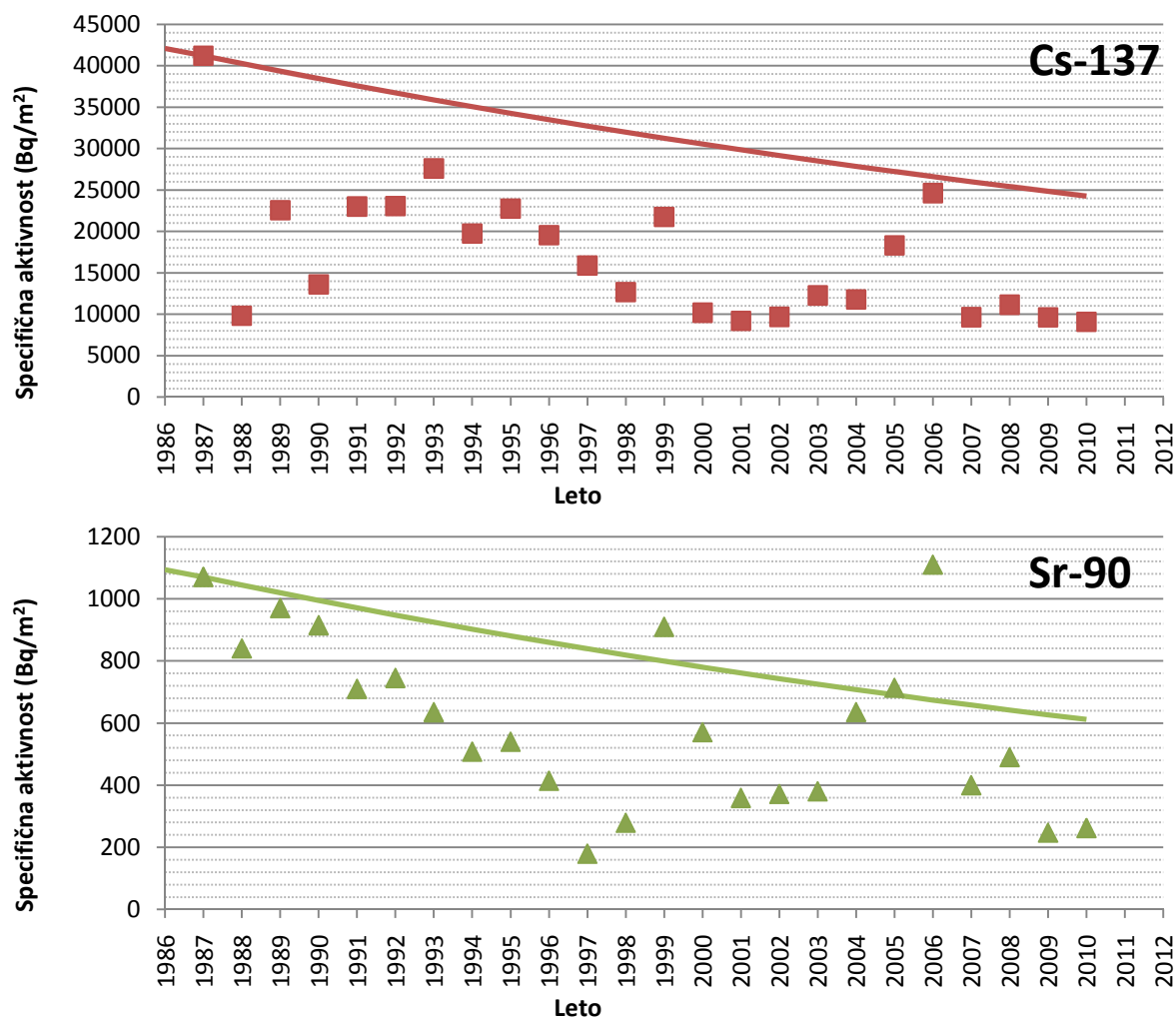


Slika 22: Specifične aktivnosti – depozit Cs-137 in Sr-90 v plasti 0-15 cm za Ljubljano, od leta 1986 dalje

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

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

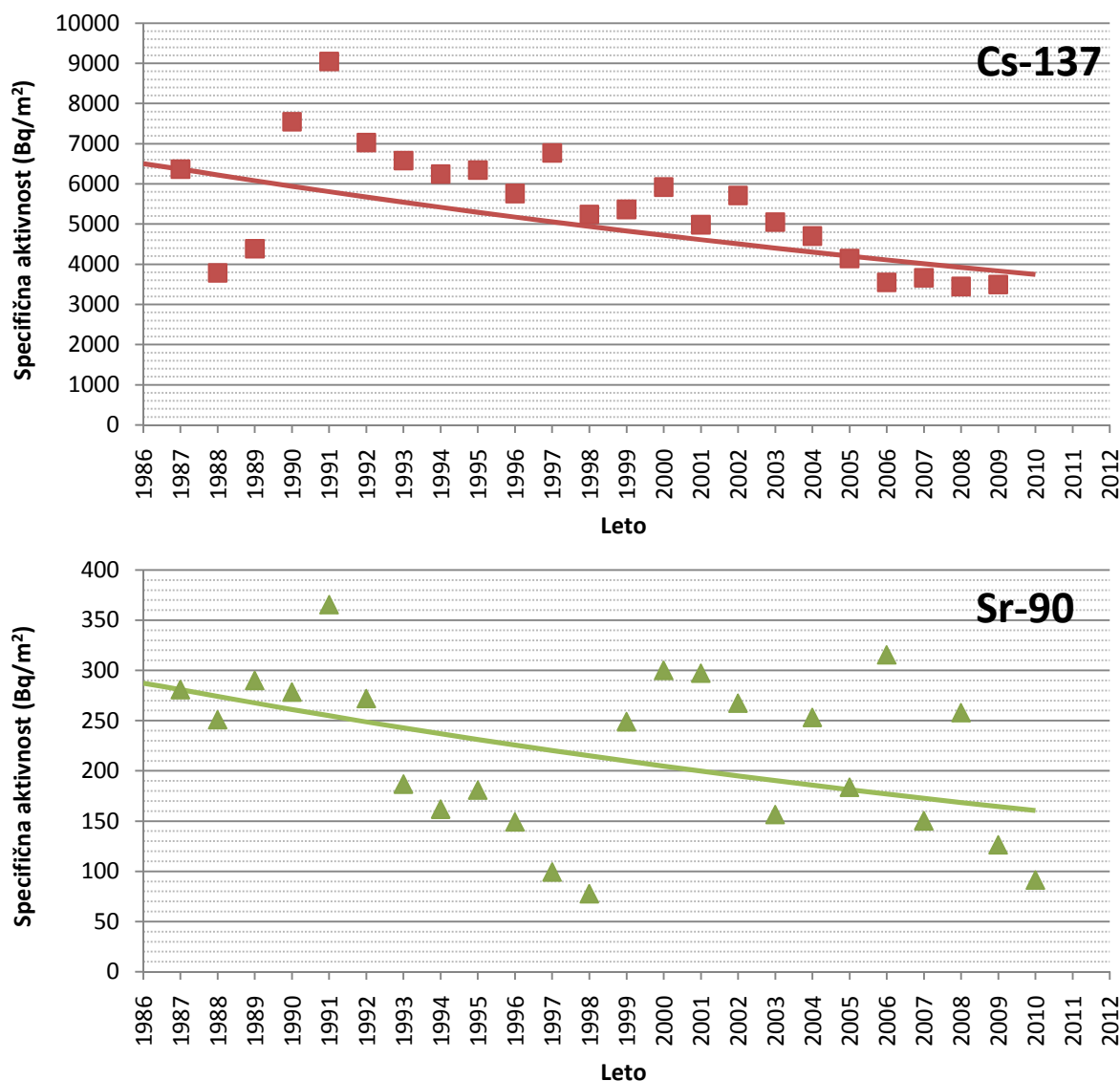
do globine 15 cm. Mikrolokacija vzorčenja v Murski Soboti je sicer takšna, da tam zemlje ne orjejo, kar bi pomenilo morebitno mešanje plasti.



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

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





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

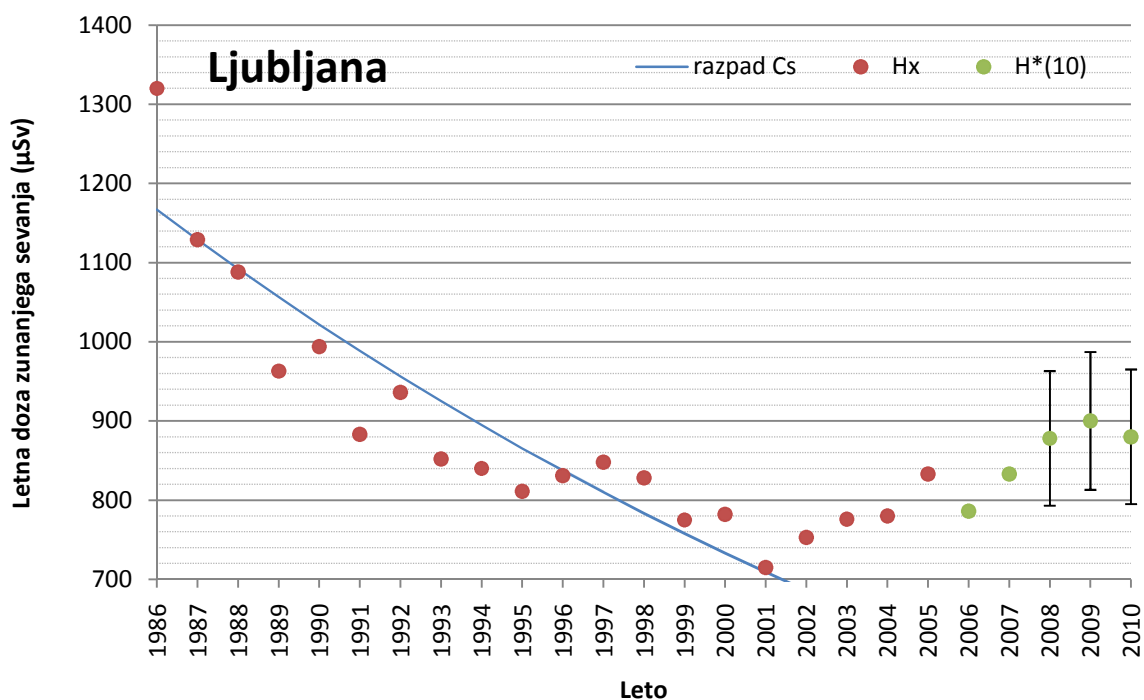
## 4.5 Zunanje sevanje

Doze zunanjega sevanja se merijo na petdesetih različnih lokacijah po Sloveniji s TL dozimetri (Slika 2). Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 4). Povprečni letni okoliški ekvivalent doze  $H^*(10)$  zaradi zunanjega sevanja v letu 2010 je bil  $886 \pm 146 \mu\text{Sv}$ , največji izmerjen okoliški ekvivalent doze je bil  $1347 \pm 131 \mu\text{Sv}$  v Jelenji vasi, najnižji pa  $630 \pm 61 \mu\text{Sv}$  v Stari Fužini. Povprečna mesečna vrednost okoliškega ekvivalenta doze zaradi zunanjega sevanja je bila  $74 \pm 14 \mu\text{Sv}$ , območje vrednosti pa od  $53 \mu\text{Sv}$  do  $112 \mu\text{Sv}$ .

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

energijah gama sevanja pod okoli 30 keV je kvocient med  $H^*(10)/H_x$  manjši od 1, sicer pa je večji od ena do energije okoli 2 Mev, ko vrednost spet pade pod 1. Pri energiji Cs-137 je vrednost kvocienta približno 1,05. Kljub temu, da veličini nista povsem primerljivi pa se pri energijah sevanja gama, ki ga merimo v okolju ne razlikujeta veliko, nekaj %, in jih na sliki (Slika 25) prikazujemo na skupnem grafu.

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



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

## 4.6 Pitna voda

V letu 2010 je bilo odvzetih petnajst enkratnih vzorcev pitne vode iz javnih objektov kot so šole, vrtci, bolnišnice ali gostišča na naslednjih lokacijah: Šoštanj, Celje, Postojna, Prevole, Gornji Petrovci, Hrastnik, Mavčiče, Litija, Medvode, Šempeter pri Novi Gorici, Maribor, Ljubljana, Trbovlje, Sečovlje in Škofja Loka.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 6). Izotop cezija, Cs-137, je bilo opaziti le v sledih, izmerjene vrednosti so bile pod  $0,4 \text{ Bq/m}^3$ . Povprečna vrednost specifičnih aktivnosti Sr-90 v vseh odvzetih vzorcih je  $1,1 \pm 0,8 \text{ Bq/m}^3$ , H-3 pa  $911 \pm 256 \text{ Bq/m}^3$ . Poleg umetnih radionuklidov so se

določale tudi specifične aktivnosti naravnih radionuklidov in kozmogenega Be-7. Povprečne vrednosti so za U-238  $6,6 \text{ Bq/m}^3$ , Ra-226  $3,3 \text{ Bq/m}^3$ , Pb-210  $< 4,8 \text{ Bq/m}^3$ , Ra-228  $1,5 \text{ Bq/m}^3$ , Th-228  $0,8 \text{ Bq/m}^3$  in K-40  $19,6 \text{ Bq/m}^3$ .

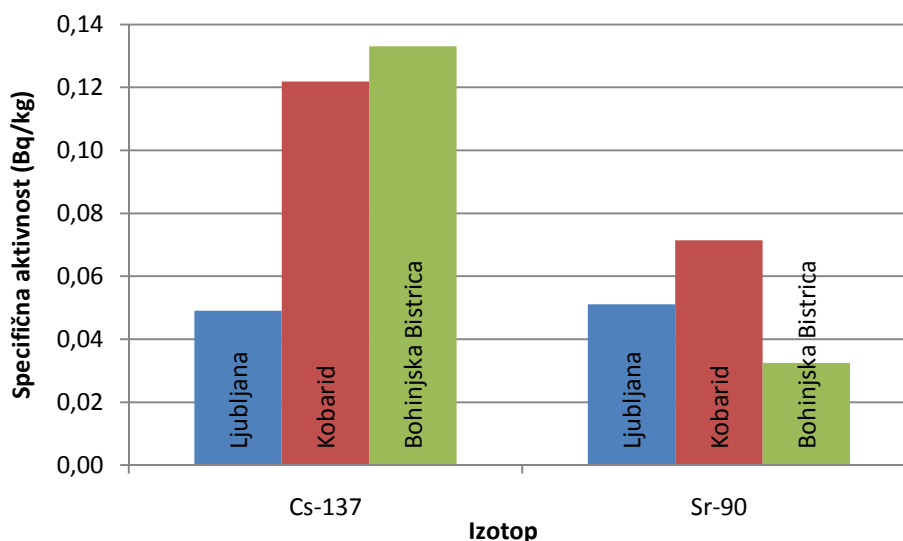
## 4.7 Hrana

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

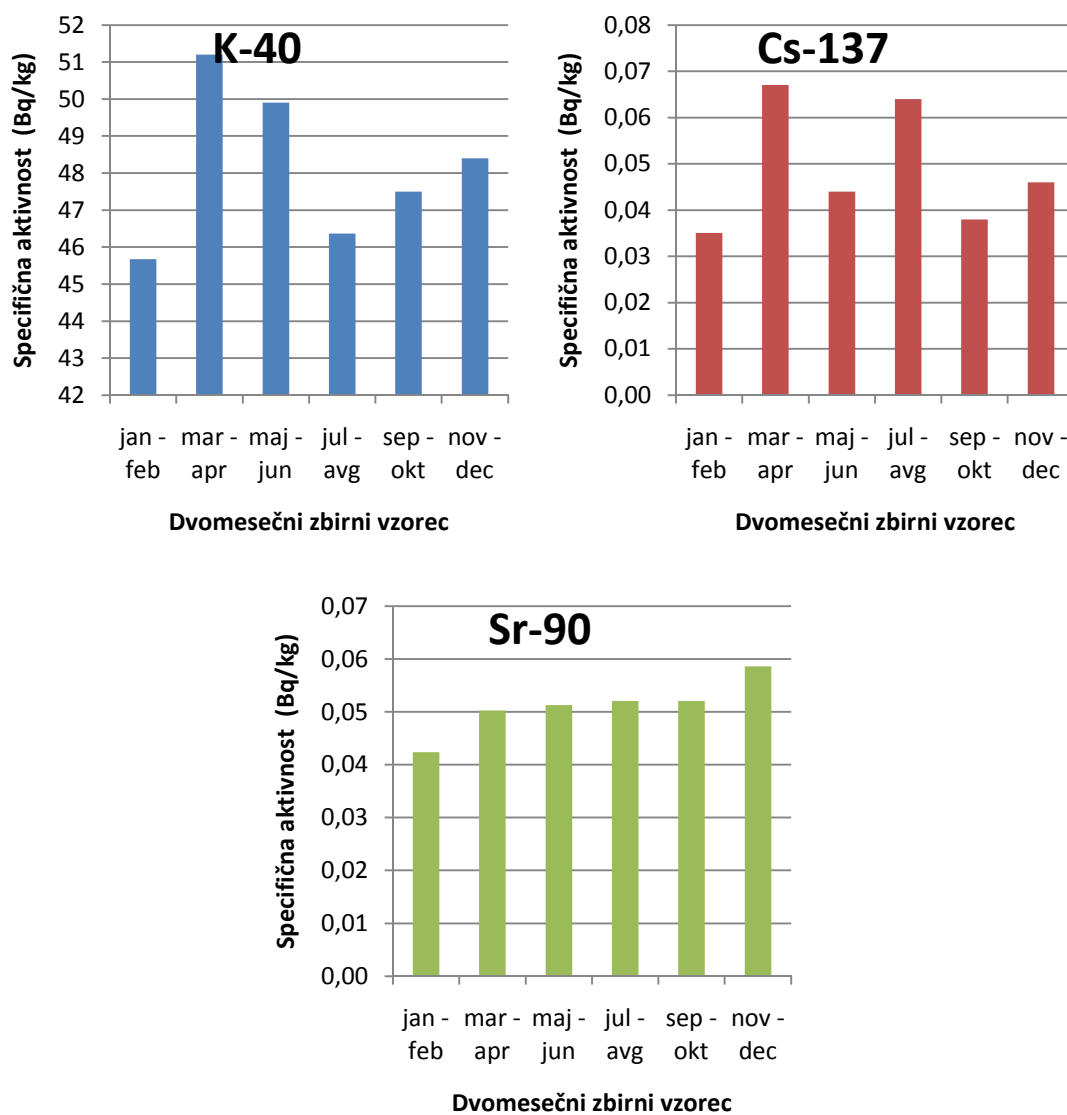
### 4.7.1 Mleko

V letu 2010 smo analizirali vzorce surovega mleka iz Ljubljane, Kobarida in Bohinjske Bistrice ter mleka v prahu iz Murske Sobote. Rezultati meritev specifičnih aktivnosti radionuklidov v vzorcih mleka za vse lokacije vzorčenja so prikazani v prilogi (Tabela 7).

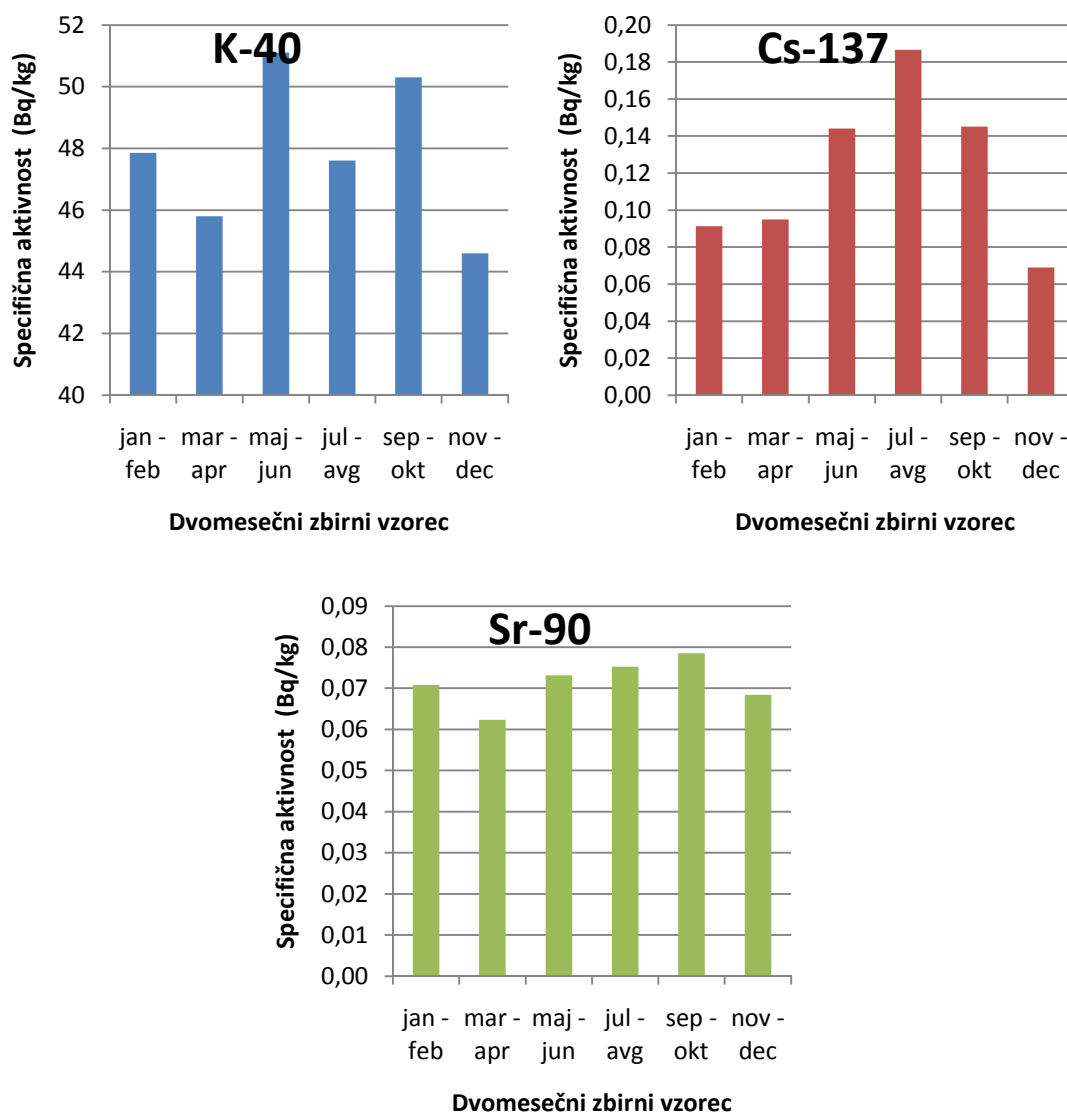
Na slikah (Slika 27, Slika 28, Slika 29, Slika 30) so prikazane specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 in letne povprečne vrednosti v vzorcih mleka iz Ljubljane, Kobarida, Bohinjske Bistrice in Murske Sobote za leto 2010 (Slika 26). V Ljubljani je bila povprečna letna vrednost Cs-137  $0,05 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$  in Sr-90  $0,05 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$ , v Kobaridu Cs-137  $0,12 \pm 0,05 \text{ Bq/kg}$  in Sr-90  $0,07 \pm 0,01 \text{ Bq/kg}$ , v Bohinjski Bistrici Cs-137  $0,13 \pm 0,10 \text{ Bq/kg}$  in Sr-90  $0,03 \pm 0,06 \text{ Bq/kg}$  ter v Murski Soboti Cs-137  $0,5 \pm 0,3 \text{ Bq/kg}$  in Sr-90  $0,53 \pm 0,07 \text{ Bq/kg}$ . Slovensko povprečje za surovo mleko Cs-137  $0,19 \pm 0,18 \text{ Bq/kg}$  in za Sr-90  $0,17 \pm 0,24 \text{ Bq/kg}$ . V vzorcu mleka iz Bohinjske Bistrice je v obdobju zbiranja julij-avgust izmerjena trikratna vrednost Cs-137 glede na ostale mesece  $0,34 \text{ Bq/kg}$ .



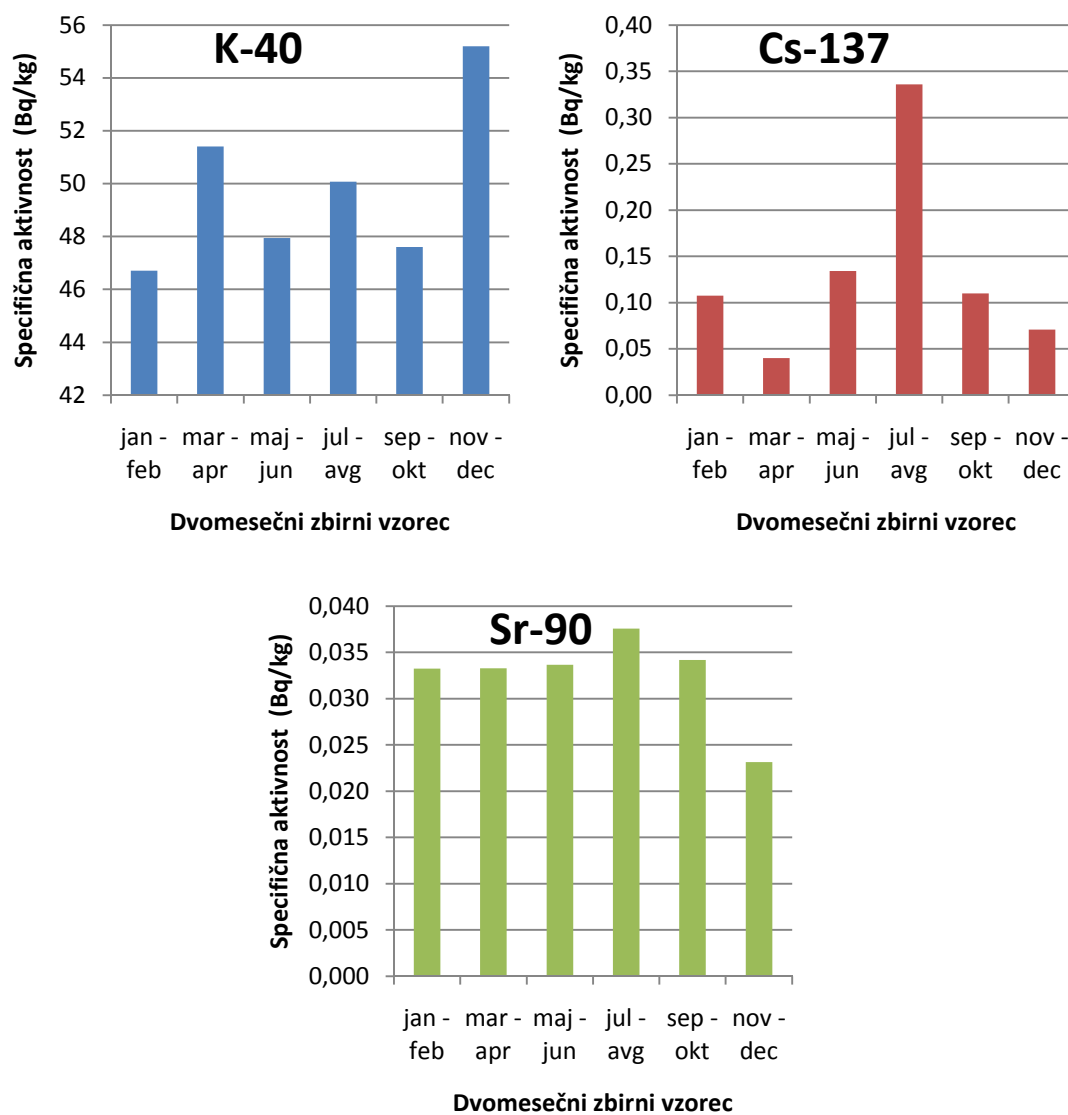
Slika 26: Primerjava povprečnih specifičnih aktivnosti Cs-137 in Sr-90 v mleku na različnih lokacijah v Sloveniji za leto 2010.



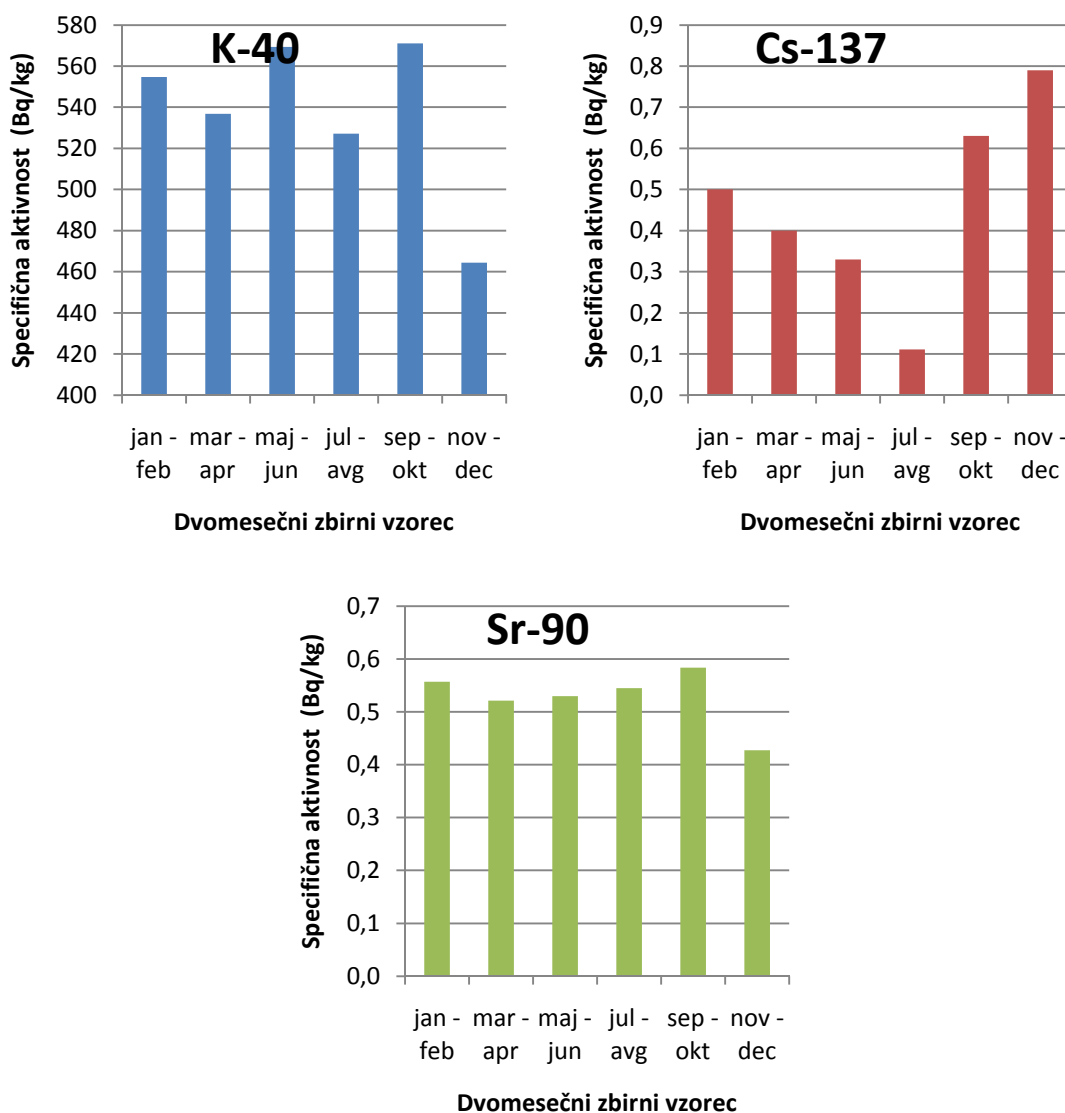
Slika 27: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Ljubljane



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



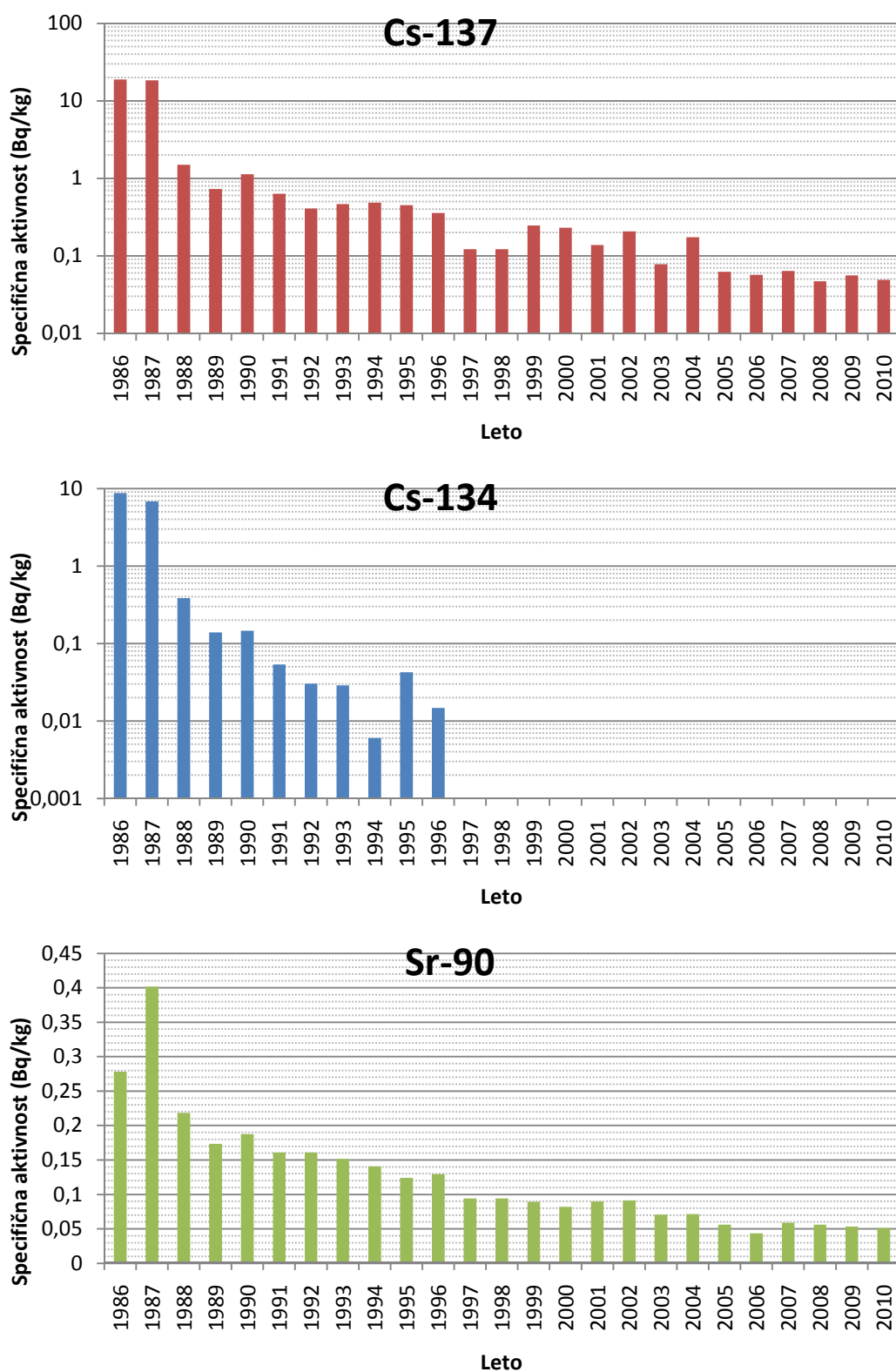
Slika 29: Specifične aktivnosti K-40, Cs-137 in Sr-90 v mleku iz Bohinjske Bistrice



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

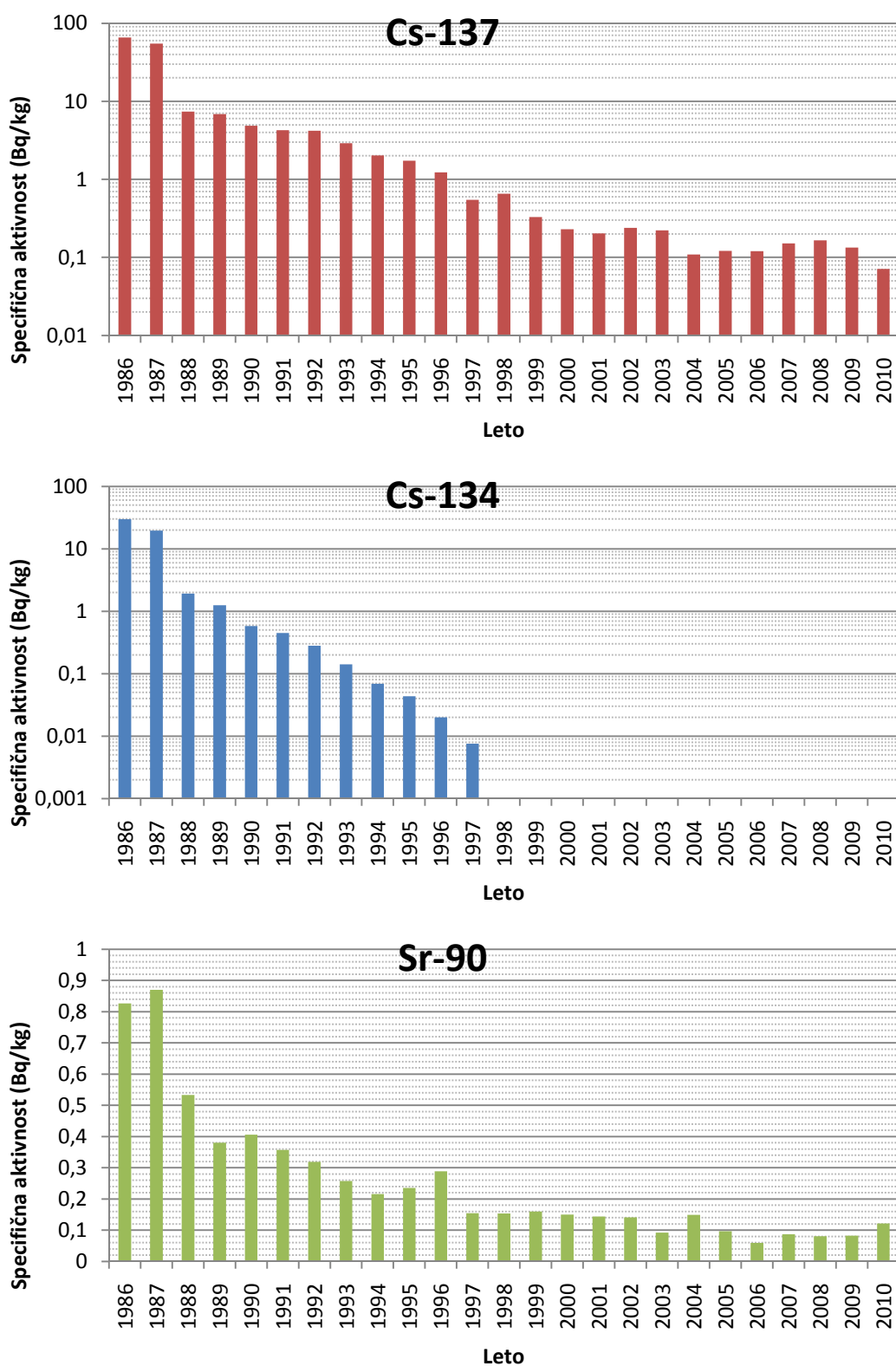
Ob eksploziji jedrskega reaktorja v Černobilu 26. aprila 1986 je bila v zrak sproščena velika količina radioaktivnih snovi, ki so se razpršile po Evropi izven tedanje Sovjetske zveze. V Sloveniji je v Alpah v času nezgode padlo okoli 100 mm/m<sup>2</sup> padavin, kar je povzročilo površinsko kontaminacijo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

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

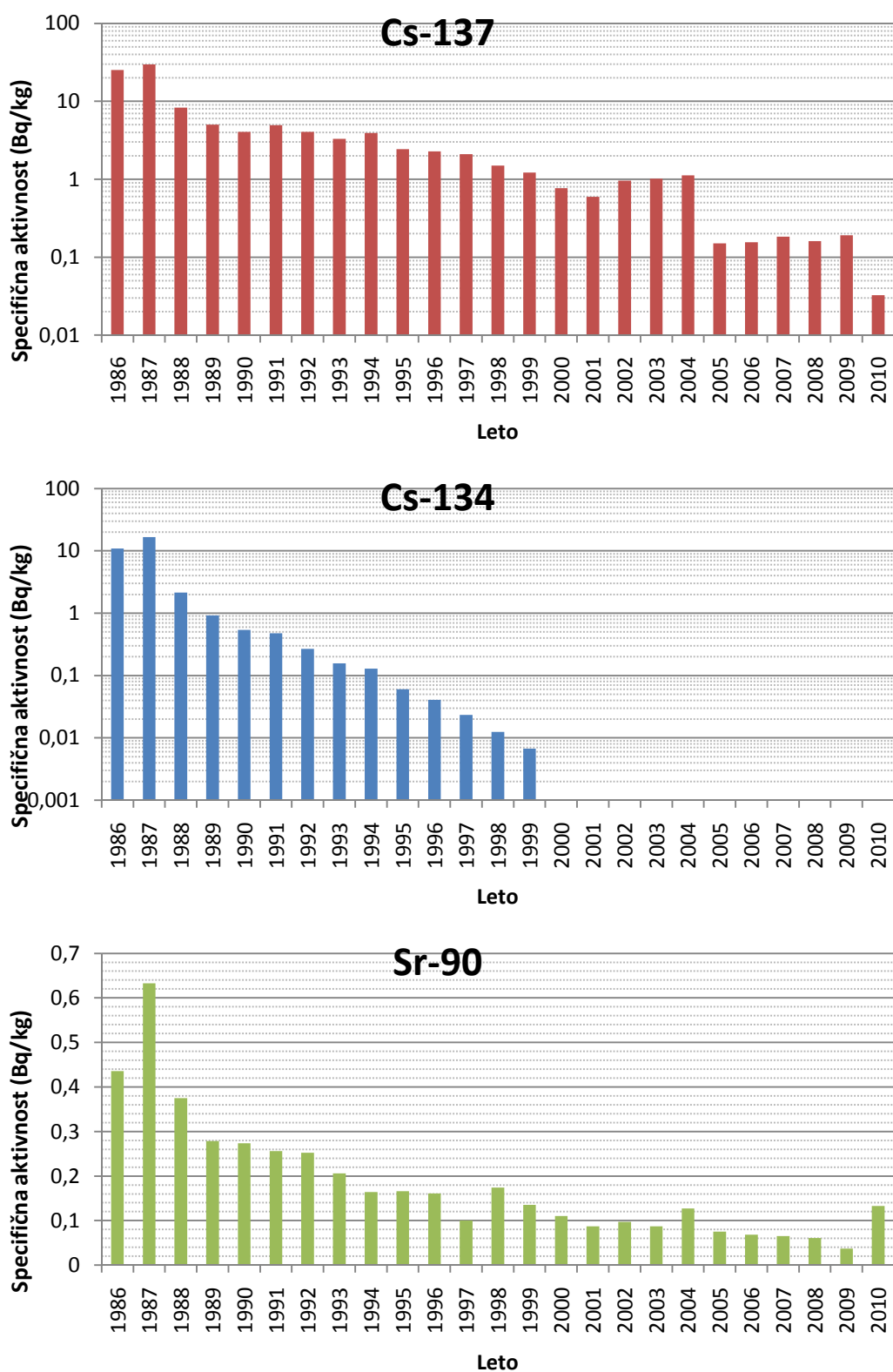


Slika 31: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Ljubljana

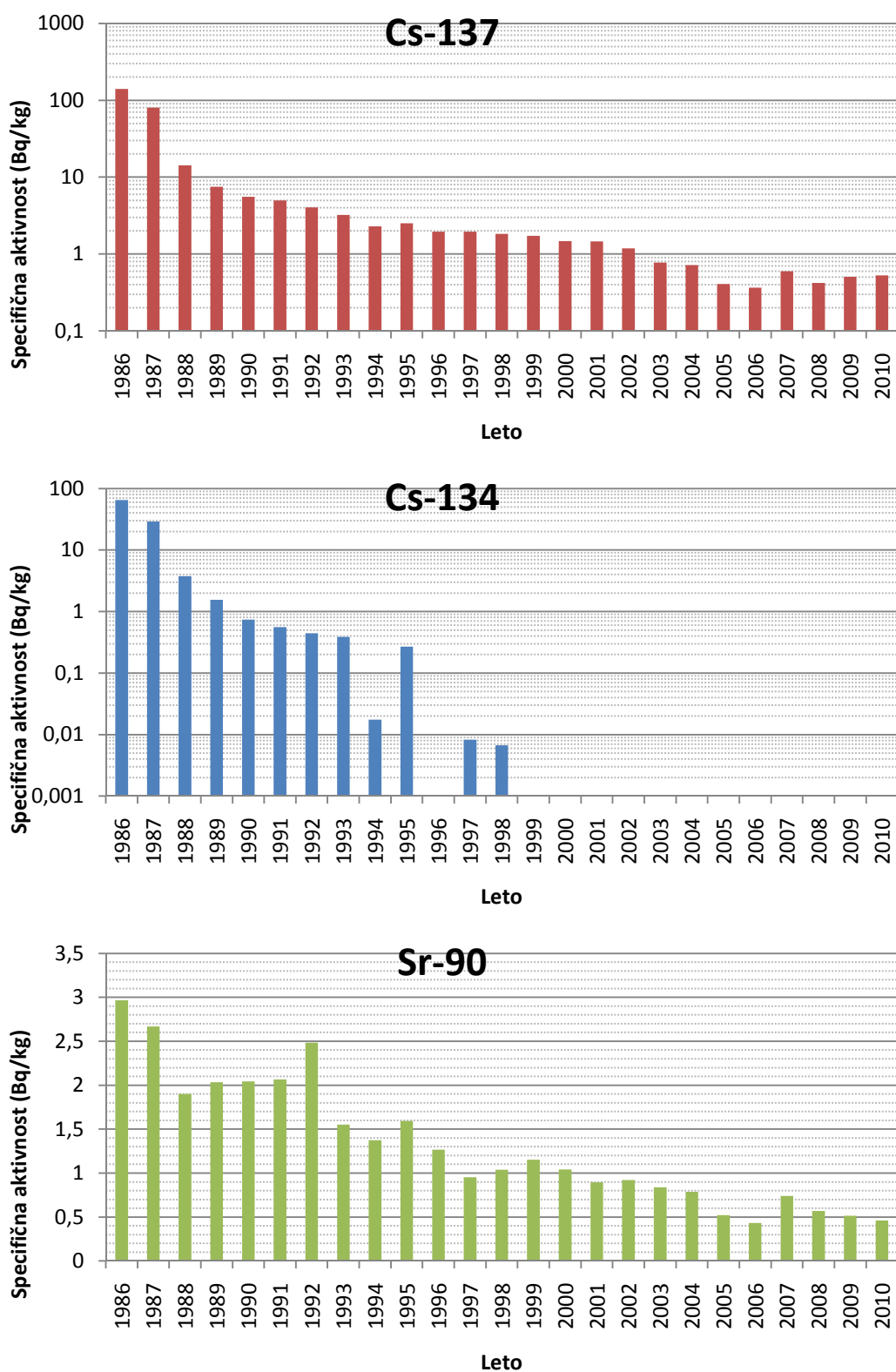




Slika 32: Povprečne letne specifične aktivnosti Cs-134, Cs-137 in Sr-90 v mleku, od leta 1986 dalje, lokacija Kobarid



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



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

#### 4.7.2 Živila živalskega izvora

V letu 2010 smo analizirali osem vzorcev živil živalskega izvora:

- svinjina iz Bohinjske Bistrice,
- sir gauda iz Kočevja,
- školjke klapavice iz Izole,
- piščanec iz Velike Nedelje,
- jajca iz Nove Gorice,
- skuta iz Pivke,
- med iz Celja,
- govedina iz Metlike in
- divjačina s Ptuja.

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

Povprečna specifična aktivnost Cs-137 v vseh vzorcih je  $0,41 \pm 0,05$  Bq/kg in Sr-90  $0,16 \pm 0,19$  Bq/kg. Najvišja vsebnost Cs-137 je bila v cvetličnem medu,  $1,8 \pm 0,2$  Bq/kg, v divjačini je bila aktivnost podobna ostalim vzorcem  $0,25 \pm 0,03$  Bq/kg in ni torej izstopala kot v prejšnjih letih.

#### 4.7.3 Žitarice, moka, kruh

Izmerili smo šest vzorcev žitaric in njihovih izdelkov:

- rženi kruh iz Celja,
- pšenična bela moka iz Murske Sobote,
- pšenica iz Maribora,
- polbeli kruh iz Kobarida,
- ječmen iz Ljubljane in
- ržena moka iz Celja.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je  $0,11 \pm 0,08$  Bq/kg in Sr-90  $0,17 \pm 0,07$  Bq/kg.

#### 4.7.4 Sadje

Izmerili smo šest vzorcev sadja:

- jagode iz Kostanjevice,
- češnje iz Goriških Brd,
- marelice iz Ankarana,
- breskve iz Dekanov,
- jabolka iz Lenarta in
- hruške iz Šempetra.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je  $0,04 \pm 0,02$  Bq/kg in Sr-90  $0,04 \pm 0,01$  Bq/kg.

#### 4.7.5 Zelenjava

Izmerili smo šest vzorcev zelenjave:

- blitva iz Ljubljane,
- solata iz Kopra,
- peteršilj iz Kozine,
- jajčevci iz Otočca,
- kumare iz Šenčurja in
- zelje iz Maribora.

Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je  $0,05 \pm 0,05$  Bq/kg in Sr-90  $0,15 \pm 0,17$  Bq/kg.

#### 4.7.6 Otroška hrana

V letu 2008 smo začeli z analizo celotnega obroka otroške hrane. Tako smo v letu 2010 analizirali 5 vzorcev iz Kopra, Ljubljane, Novega mesta, Mariborja in Kranja. Rezultati meritev so prikazani v prilogi (Tabela 8). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je  $0,04 \pm 0,02$  Bq/kg in Sr-90  $0,17 \pm 0,23$  Bq/kg.

### 4.8 Krmila

V letu 2010 je bilo odvzetih deset vzorcev krme:

- 2 vzorca travne silaže,
- 4 vzorci sena,
- 1 vzorec koruzne silaže,
- 1 vzorec sveže trave,
- 1 vzorec krmne mešanice in
- 1 vzorec krme s Ca-fosfatom.

Rezultati so prikazani v prilogi (Tabela 9). Povprečna specifična aktivnost Cs-137 je  $1,1 \pm 1,5$  Bq/kg in Sr-90  $3,2 \pm 5,0$  Bq/kg.

## 5 Ocena prejetih doz sevanja zaradi dolgoživih fizijskih produktov

### 5.1 Osnovne enačbe

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

kjer je vnesena aktivnost zaradi inhalacije,  $A_{j,inh}$ , enaka produktu specifične aktivnosti radionuklida  $j$ , v zraku,  $c_{j,inh}$  (v Bq/m<sup>3</sup>), količini vdihanega zraka na uro  $\Phi$  (v m<sup>3</sup>/h) in številu ur v predvidenem časovnem obdobju (tekoče leto),  $T$  (v urah),

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

## 5.2 Uporabljeni podatki in predpostavke

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

### 5.2.1 Umetni radionuklidi

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

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

### 5.2.2 Naravni radionuklidi

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

### 5.2.3 Starostne skupine

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

### 5.2.4 Prehranjevalne predpostavke

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

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

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

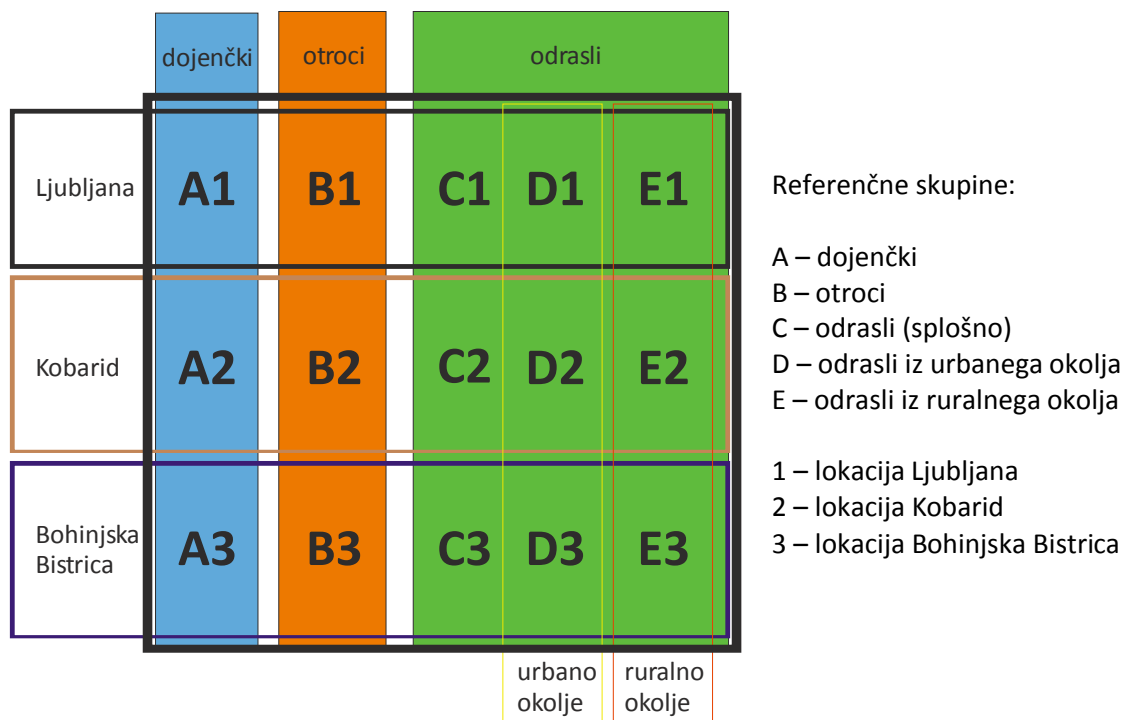
*Tabela 5: Podatki o letni količini zaužite hrane za starostne skupine*

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

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

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





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

### 5.2.5 Privzete specifične aktivnosti

Povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti umetnih radionuklidov – Cs-137, Sr-90 in H-3 – v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2010 so predstavljene v tabeli (Tabela 6). Podatke za naravni radionuklid Pb-210 podajamo le informativno. V povprečju za meso, sir in ostala živila živalskega izvora nismo upoštevali vrednosti za divjačino, saj je povprečni prebivalec relativno malo zaužije v celotni prehrani, v samem povprečju specifičnih aktivnosti pa bistveno dvignejo vrednosti. Zato bi bili izračuni doz nerealni.

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

Tabela 6: Povprečne specifične aktivnosti sevalcev gama in Sr-90 v hrani, pitni vodi in zraku za leto 2010

| Radionuklid | Privzete povprečne specifične aktivnosti vzorcev |       |       |       |          |          |          |                   |                    |
|-------------|--|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|
|             | zelenjava  | sadje | moka  | meso  | mleko LJ | mleko KB | mleko BB | voda              | zrak               |
|             | Bq/kg  | Bq/kg | Bq/kg | Bq/kg | Bq/kg    | Bq/kg    | Bq/kg    | Bq/m <sup>3</sup> | mBq/m <sup>3</sup> |
| Cs-137      | 0,05   | 0,04  | 0,11  | 0,41  | 0,05     | 0,12     | 0,13     | 0                 | 0,003              |
| Sr-90       | 0,15   | 0,03  | 0,17  | 0,16  | 0,05     | 0,07     | 0,03     | 1,13              | 0                  |
| H-3         | 0  | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 911               | 0                  |
| Pb-210      | 0,51   | 0,08  | 0,20  | 0,81  | 0,02     | 0,10     | 0,15     | 4,84              | 0,70               |

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

## 5.3 Doza zaradi ingestije in inhalacije

Pri oceni učinkovite doze zaradi vnosa z ingestijo smo upoštevali enačbi 3 in 4, podatke o količini zaužite hrane za različne starostne skupine (Tabela 5) in povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti radionuklidov v različnih vrstah hrane in pitne vode (Tabela 6), pri mleku smo upoštevali specifične aktivnosti za Ljubljano, Kobarid in Bohinjsko Bistrico. Vrednosti iz Ljubljane upoštevamo za slovensko povprečje, vrednosti iz Kobarida in Bohinjske Bistrice pa za lokalno posebnost zaradi povišanih vrednosti Cs-137 kot posledico črnobilske nesreče. Upoštevali smo dozne pretvorbene faktorje iz Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. list RS, št. 49, 2004).

V tabeli (V tabeli (Tabela 9) so prikazane izračunane učinkovite doze prejete zaradi *ingestije in inhalacije* dolgoživih črnobilskih fizijskih produktov - Cs-137 in Sr-90 (vpliv H-3 je zanemarljiv). Doza za odraslega prebivalca je v letu 2010 ocenjena na  $2,0 \pm 1,0 \mu\text{Sv}$ , za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz omenjene tabele.

Učinkovite doze v letu 2010 zaradi *ingestije* so primerljive s prejšnjimi leti (od 2003 dalje). V letu 2008 je opazna rahlo višja ocenjena vrednost, ki je posledica predvsem višje povprečne vrednosti Sr-90 v izbranih vzorcih zelenjave.

Ocenjene učinkovite doze zaradi *inhalacije* so za vse tri starostne skupine iz prebivalstva, dojenčke do enega leta, otroke od 7 – 12 let in odrasle, v letu 2010 nižje od 1 nSv.

Za naravne radionuklide informativno podajamo samo učinkovito dozo zaradi ingestije in inhalacije zaradi Pb-210, ki ima velik dozni pretvorbene faktor. Najvišja vrednost je za otroke od 7 do 12 let in znaša  $225 \mu\text{Sv}$ , za dojenčke do enega leta starosti znaša  $219 \mu\text{Sv}$  in za odrasle  $94 \mu\text{Sv}$ , kjer upoštevamo ingestijo mleka v Ljubljani.

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

Če primerjamo prispevke po posameznih izotopih, največ k dozi prispeva Sr-90, delež H-3 je zanemarljiv, preostalo gre na račun Cs-137. Prispevek Sr-90 k dozi zaradi ingestije in inhalacije za dojenčke znaša ~92%, za otroke ~83% in za odrasle ~68%, kot je tudi prikazano na sliki (Slika 37).

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

V tabeli (Tabela 9) so prikazane izračunane učinkovite doze prejete zaradi *ingestije in inhalacije* dolgoživih črnobilskih fizijskih produktov - Cs-137 in Sr-90 (vpliv H-3 je zanemarljiv). Doza za odraslega prebivalca je v letu 2010 ocenjena na  $2,0 \pm 1,0 \mu\text{Sv}$ , za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz omenjene tabele.

Efektivne doze v letu 2010 zaradi *ingestije* so primerljive s prejšnjimi leti (od 2003 dalje). V letu 2008 je opazna rahlo višja ocenjena vrednost, ki je posledica predvsem višje povprečne vrednosti Sr-90 v izbranih vzorcih zelenjave.

Ocenjene efektivne doze zaradi *inhalacije* so za vse tri starostne skupine iz prebivalstva, dojenčke do enega leta, otroke od 7 – 12 let in odrasle, v letu 2010 nižje od 1 nSv.

Za naravne radionuklide informativno podajamo samo efektivno dozo zaradi ingestije in inhalacije zaradi Pb-210, ki ima velik dozni pretvorbeni faktor. Najvišja vrednost je za otroke od 7 do 12 let in znaša 225  $\mu\text{Sv}$ , za dojenčke do enega leta starosti znaša 219  $\mu\text{Sv}$  in za odrasle 94  $\mu\text{Sv}$ , kjer upoštevamo ingestijo mleka v Ljubljani.

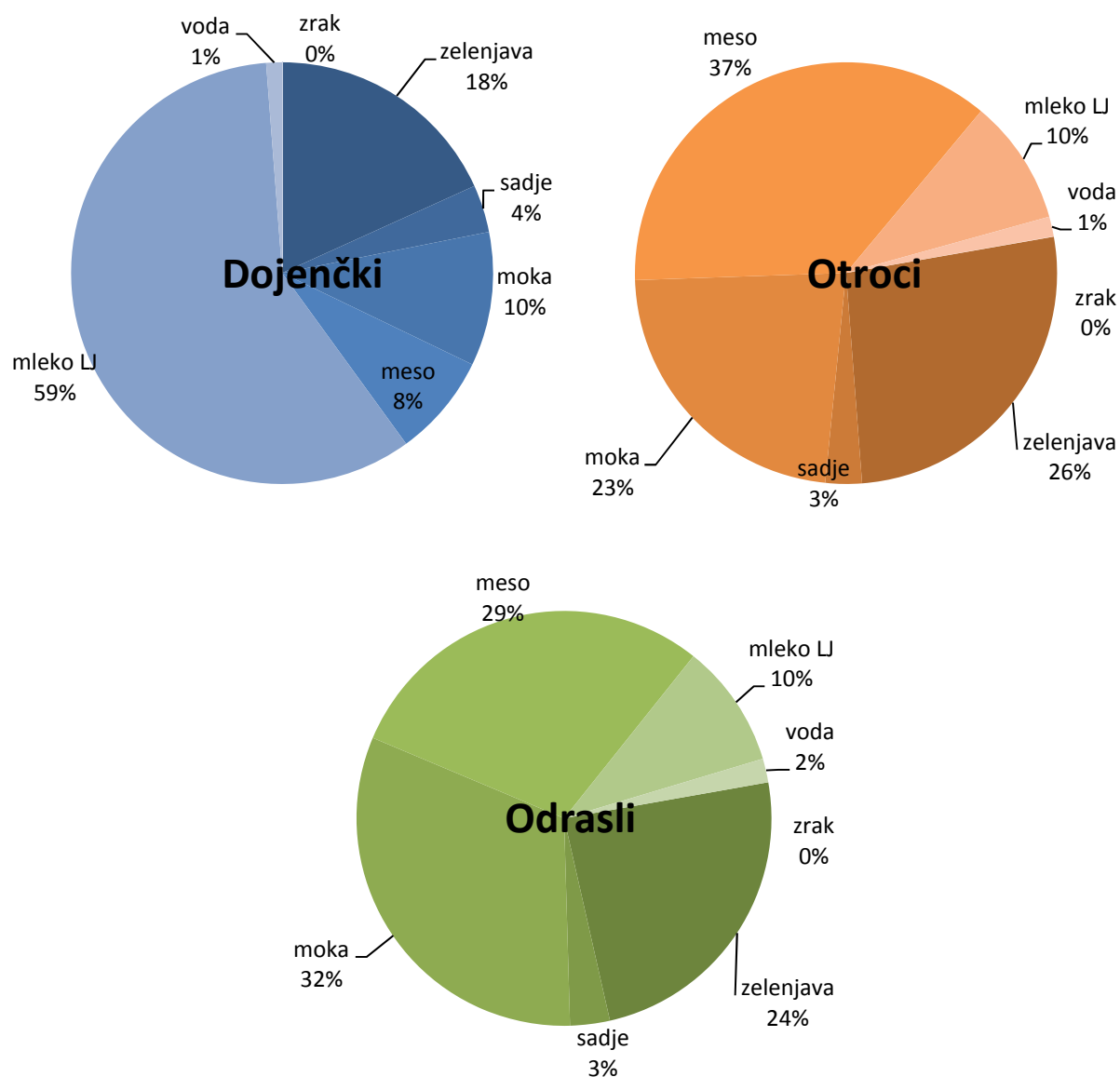
Na sliki (Slika 36) smo za primer vnosa ljubljanskega mleka analizirali relativne prispevke posameznih vrst hrane, vode in zraka k skupni dozi zaradi ingestije in inhalacije. Pri dojenčkih k dozi zaradi specifične prehrane prevladuje prispevek mleka (več kot polovico). Pri otrocih in odraslih je približno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

Če primerjamo prispevke po posameznih izotopih, največ k dozi prispeva Sr-90, delež H-3 je zanemarljiv, preostalo gre na račun Cs-137. Prispevek Sr-90 k dozi zaradi ingestije in inhalacije za dojenčke znaša ~92%, za otroke ~83% in za odrasle ~68%, kot je tudi prikazano na sliki (Slika 37).

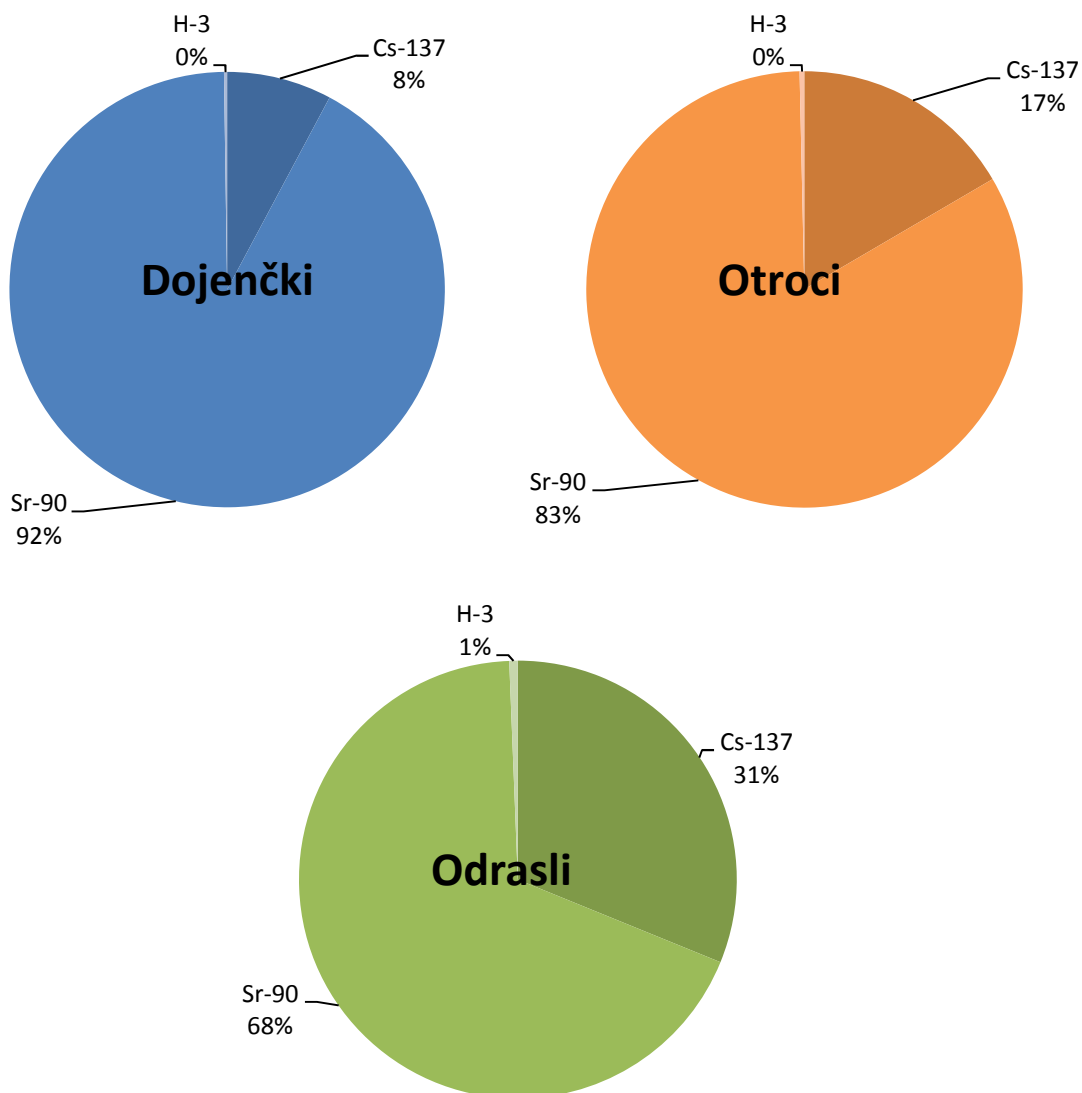
Tabela 7: Efektivne doze zaradi ingestije in inhalacije za različne skupine za leto 2010.

| vrsta vzorca  | zelenjava   | sadje           | moka            | meso            | mleko LJ        | mleko KB        | mleko BB        | voda            | zrak            |
|---------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Radionuklid   | Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - dojenčki (mSv)                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Cs-137        | 2,43E-05  | 1,79E-05        | 2,63E-05        | 6,43E-05        | 2,05E-04        | 5,10E-04        | 5,57E-04        | 0,00E+00        | 8,63E-08        |
| Sr-90         | 7,65E-04  | 1,41E-04        | 4,18E-04        | 2,77E-04        | 2,34E-03        | 3,28E-03        | 1,49E-03        | 4,31E-05        | 0               |
| H-3           | 0   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 9,63E-06        | 0               |
| <b>Skupaj</b> | <b>7,90E-04</b>   | <b>1,58E-04</b> | <b>4,45E-04</b> | <b>3,42E-04</b> | <b>2,55E-03</b> | <b>3,79E-03</b> | <b>2,05E-03</b> | <b>5,27E-05</b> | <b>8,63E-08</b> |
| negotovost    | 9,28E-04  | 2,57E-04        | 2,44E-04        | 3,27E-04        | 5,37E-04        | 1,60E-03        | 3,78E-03        | 3,08E-05        | 6,37E-08        |
| Pb-210        | 9,55E-02  | 1,58E-02        | 1,84E-02        | 5,08E-02        | 2,68E-02        | 1,64E-01        | 2,43E-01        | 6,71E-03        | 4,96E-03        |
| Radionuklid   | Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - otroci (mSv)                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Cs-137        | 3,93E-05  | 1,42E-05        | 6,34E-05        | 2,94E-04        | 3,58E-05        | 8,89E-05        | 9,71E-05        | 0,00E+00        | 1,19E-07        |
| Sr-90         | 6,77E-04  | 6,13E-05        | 5,54E-04        | 6,93E-04        | 2,24E-04        | 3,13E-04        | 1,42E-04        | 3,17E-05        | 0               |
| H-3           | 0   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 9,75E-06        | 0               |
| <b>Skupaj</b> | <b>7,16E-04</b>   | <b>7,55E-05</b> | <b>6,17E-04</b> | <b>9,87E-04</b> | <b>2,60E-04</b> | <b>4,02E-04</b> | <b>2,39E-04</b> | <b>4,14E-05</b> | <b>1,19E-07</b> |
| negotovost    | 7,99E-04  | 1,08E-04        | 2,46E-04        | 8,01E-04        | 2,47E-05        | 4,06E-05        | 8,09E-05        | 2,28E-05        | 8,78E-08        |
| Pb-210        | 7,32E-02  | 5,99E-03        | 2,12E-02        | 1,10E-01        | 2,22E-03        | 1,36E-02        | 2,02E-02        | 6,71E-03        | 5,67E-03        |
| Radionuklid   | Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - splošno (mSv)        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Cs-137        | 6,57E-05  | 2,36E-05        | 1,50E-04        | 3,10E-04        | 5,80E-05        | 1,44E-04        | 1,57E-04        | 0,00E+00        | 1,41E-07        |
| Sr-90         | 4,07E-04  | 3,66E-05        | 4,70E-04        | 2,63E-04        | 1,30E-04        | 1,82E-04        | 8,28E-05        | 2,38E-05        | 0               |
| H-3           | 0   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 1,23E-05        | 0               |
| <b>Skupaj</b> | <b>4,72E-04</b>   | <b>6,02E-05</b> | <b>6,20E-04</b> | <b>5,73E-04</b> | <b>1,88E-04</b> | <b>3,26E-04</b> | <b>2,40E-04</b> | <b>3,61E-05</b> | <b>1,41E-07</b> |
| negotovost    | 4,84E-04  | 6,53E-05        | 2,32E-04        | 3,06E-04        | 2,06E-05        | 5,40E-05        | 1,25E-04        | 1,77E-05        | 1,04E-07        |
| Pb-210        | 3,42E-02  | 2,78E-03        | 1,40E-02        | 3,25E-02        | 1,00E-03        | 6,16E-03        | 9,13E-03        | 2,50E-03        | 6,61E-03        |
| Radionuklid   | Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - urbano okolje (mSv)  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Cs-137        | 6,70E-05  | 3,69E-05        | 1,70E-04        | 4,57E-04        | 9,75E-05        | 2,42E-04        | 2,65E-04        | 0,00E+00        | 1,41E-07        |
| Sr-90         | 4,14E-04  | 5,71E-05        | 5,33E-04        | 3,87E-04        | 2,19E-04        | 3,06E-04        | 1,39E-04        | 2,38E-05        | 0               |
| H-3           | 0   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 1,23E-05        | 0               |
| <b>Skupaj</b> | <b>4,81E-04</b>   | <b>9,39E-05</b> | <b>7,03E-04</b> | <b>8,44E-04</b> | <b>3,16E-04</b> | <b>5,48E-04</b> | <b>4,04E-04</b> | <b>3,61E-05</b> | <b>1,41E-07</b> |
| negotovost    | 4,93E-04  | 1,02E-04        | 2,63E-04        | 4,50E-04        | 3,47E-05        | 9,08E-05        | 2,10E-04        | 1,77E-05        | 1,04E-07        |
| Pb-210        | 3,49E-02  | 4,34E-03        | 1,58E-02        | 4,79E-02        | 1,69E-03        | 1,03E-02        | 1,53E-02        | 2,50E-03        | 6,61E-03        |
| Radionuklid   | Letna efektivna doza - ingestija in inhalacija - odrasli - ruralno okolje (mSv) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Cs-137        | 4,89E-05  | 2,46E-05        | 1,86E-04        | 4,03E-04        | 9,24E-05        | 2,30E-04        | 2,51E-04        | 0,00E+00        | 1,41E-07        |
| Sr-90         | 3,02E-04  | 3,80E-05        | 5,84E-04        | 3,42E-04        | 2,07E-04        | 2,90E-04        | 1,32E-04        | 2,38E-05        | 0               |
| H-3           | 0   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 1,23E-05        | 0               |
| <b>Skupaj</b> | <b>3,51E-04</b>   | <b>6,26E-05</b> | <b>7,70E-04</b> | <b>7,46E-04</b> | <b>3,00E-04</b> | <b>5,20E-04</b> | <b>3,83E-04</b> | <b>3,61E-05</b> | <b>1,41E-07</b> |
| negotovost    | 3,60E-04  | 6,79E-05        | 2,88E-04        | 3,98E-04        | 3,29E-05        | 8,60E-05        | 1,99E-04        | 1,77E-05        | 1,04E-07        |
| Pb-210        | 2,54E-02  | 2,89E-03        | 1,74E-02        | 4,23E-02        | 1,60E-03        | 9,81E-03        | 1,45E-02        | 2,50E-03        | 6,61E-03        |

Pb-210 podajamo le informativno



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



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

## 5.4 Doza zaradi zunanega sevanja

Povprečni letni okoliški ekvivalent doze  $H^*(10)$  zaradi zunanega sevanja v letu 2010 je bil  $886 \mu\text{Sv}$ . Ker je ocena černobilske doze zunanega sevanja na osnovi meritev TL dozimetrom zelo konservativna in ker je negotovost podatkov izmerjenih pred letom 1986 velika, smo ocenili dozo zunanega sevanja s pomočjo globinske porazdelitve černobilskega Cs-137 v zemlji. Izotop v zemlji ni več porazdeljen eksponentno, kot v prvih letih po nesreči, pač pa se je vrh premaknil v globlje plasti. Globina vrha je odvisna od lastnosti zemlje. Porazdelitev tako lahko deloma opišemo z Gaussovo funkcijo. Širina porazdelitve pa je prav tako odvisna od definicijskih lastnosti zemlje. S pomočjo te metode smo iz meritev koncentracij Cs-137 v zemlji ocenili dozo zunanega sevanja za različne starostne in referenčne skupine prebivalstva. Pri tem smo tudi upoštevali različne deleže zadrževanja na prostem

ali v zaprtih prostorih ter faktorje ščitenja v zaprtih prostorih (v mestih večje, na deželi manjše - Tabela 8).

*Tabela 8: Predpostavke o deležih zadrževanja v zaprtih prostorih in na prostem za izračun doz zunanjšega sevanja*

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

V tabeli (Tabela 9) so prikazane izračunane efektivne doze prejete zaradi *zunanjšega obsevanja zaradi črnobilskega Cs-137 v zemlji*. Doza za odraslega prebivalca je v letu 2010 ocenjena  $7,7 \pm 0,4 \mu\text{Sv}$ , za ostale skupine prebivalstva z upoštevanjem nekaterih posebnosti so doze višje, kot je razvidno iz tabele. Upoštevali smo dozne pretvorbene faktorje med Gy in Sv za različne starostne skupine prebivalcev po UNSCEAR poročilu iz leta 2000, in sicer 0,91 za dojenčke, 0,79 za otroke in 0,69 za odrasle. Ti pretvorbni faktorji so konservativni, saj temeljijo na naravnih radionuklidih K-40, Th-232 in U-239, ker pa v izračunu doz upoštevamo le Cs-137, bi bili ti faktorji v skladu s priporočili ICRU Report 57 lahko ~20% nižji.

Doza za odraslega prebivalca ocenjena v letih pred tem je bila 2009  $7,6 \mu\text{Sv}$ , 2008  $6,7 \mu\text{Sv}$ , 2007  $4,8 \mu\text{Sv}$ , 2006  $1,45 \mu\text{Sv}$ , 2005  $4,8 \mu\text{Sv}$  ter 2004 in 2003: 6.4. Drugačni oceni doze v letih 2006 in 2008 sta posledica druge lokacije vzorčenja zemlje v Ljubljani in vzorčevalca, kot je bila pred letom 2006 in nato ponovno v 2007. V vseh teh letih je bilo mesto odvzema vzorcev na lokaciji ob Cesti dveh cesarjev, v letih 2006 in 2008 je bila lokacija vzorčenja na Reaktorskem izobraževalnem centru v Podgorici. Od leta 2009 dalje je lokacija ponovno ob Cesti dveh cesarjev. Specifične aktivnosti izmerjene v vzorcih zemlje iz lokacije na Reaktorskem centru so nekajkrat nižje od tistih iz lokacije ob Cesti dveh cesarjev. Primerjava ocenjenih doz v preteklih letih nam pokaže, da je bila 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 zunanjšega sevanja na dveh ostalih lokacijah z lokalno višjimi vrednostmi Cs-137 - Kobarid in Bohinjska Bistrica (za slednjo privzamemo enako vrednost kot za Kobarid, saj tam zemlje ne vzorčimo). Rezultati prejetih letnih doz za vse referenčne skupine so navedene v tabeli (Tabela 9).

## 5.5 Skupna ocena doze

Na osnovi povprečne vrednosti specifičnih aktivnosti dolgoživih fisijskih radionuklidov v vzorcih zraka, vode in hrane, odvzetih v letu 2010, povprečnem letnem vnosu posameznih vrst hrane in pitne vode ter ob upoštevanju doznih pretvorbene faktorjev po UV2 (Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.l RS, št. 49, 2004) smo ocenili pričakovano efektivno dozo

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

Izračun učinkovitih doz smo naredili za različne referenčne skupine prebivalstva (Slika 35), ki odražajo starostne skupine splošnih predstavnikov prebivalstva, kakor tudi specifične skupine bodisi zaradi lokalnih posebnosti, načinov prehranjevanja, bivanja ipd. Skupna učinkovita doza za odrasle zaradi vnosa umetnih radionuklidov v telo z ingestijo in inhalacijo ter zaradi zunanjšega obsevanja tal znaša < 10,8  $\mu\text{Sv}$  na leto za odrasle, < 13,0  $\mu\text{Sv}$  na leto za otroke od 7. do 12. leta starosti in < 17,3  $\mu\text{Sv}$  na leto za dojenčke. V hrani večji del doze prispeva Sr-90, k zunanjemu sevanju pa k dozi največ prispeva Cs-137.

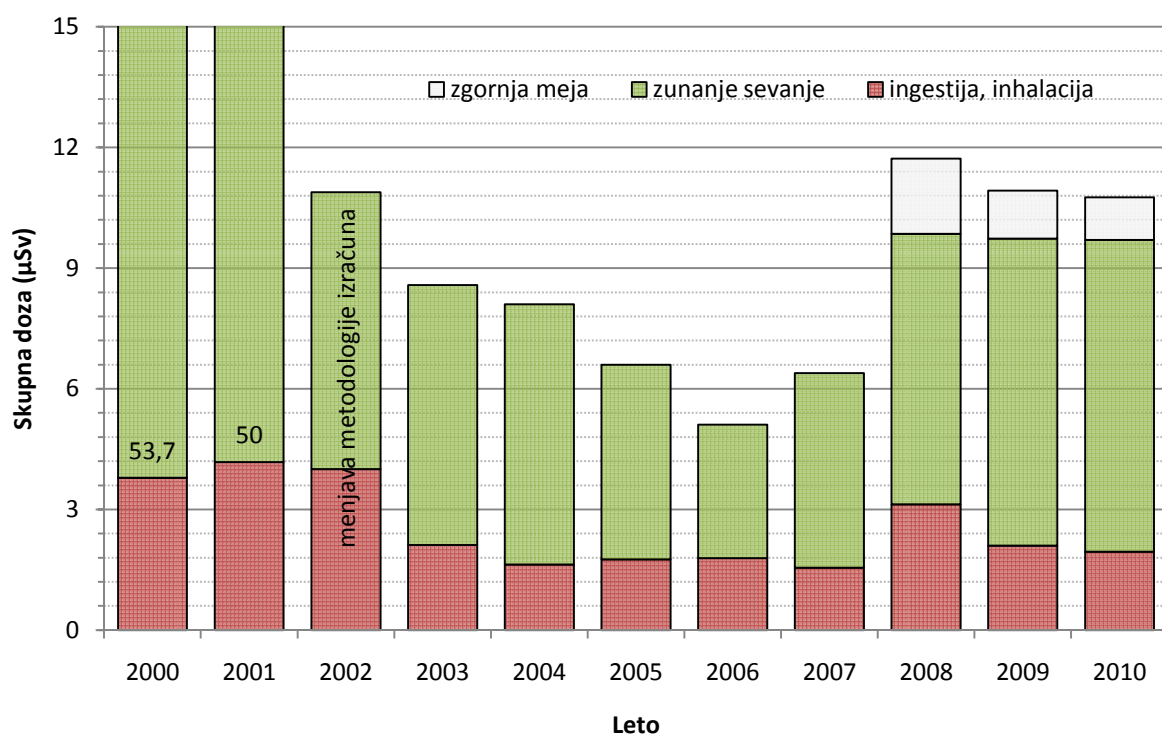
Namesto negotovosti ocene doze je v našem primeru bolj smiselno podati zgornjo mejo letne doze, saj je razpon vrednosti predvsem posledica povprečenja vrednosti radionuklidov v posameznih vrstah vzorcev.

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

*Tabela 9: Obsevna obremenitev prebivalstva v letu 2010 zaradi kontaminacije okolja z dolgoživimi fizijskimi radionuklidi*

| Starostna skupina           | Prehrambene navade  | Mleko | referenčna skupina | Ingestija in inhalacija skupaj ( $\mu\text{Sv}$ ) | Doza zunanjšega sevanja ( $\mu\text{Sv}$ ) | Skupna letna doza ( $\mu\text{Sv}$ ) | Zgornja meja ( $\mu\text{Sv}$ ) |
|-----------------------------|---------------------|-------|--------------------|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| dojenčki do 1 leta starosti | Pediatrska klinika  | LJ    | A1                 | 4,3 $\pm$ 2,7                                     | 10,2 $\pm$ 0,5                             | 14,6                                 | < 17,3                          |
|                             |                     | KB    | A2                 | 5,6 $\pm$ 3,9                                     | 9,7 $\pm$ 0,2                              | 15,3                                 | < 19,2                          |
|                             |                     | BB    | A3                 | 3,8 $\pm$ 2,3                                     | 9,7 $\pm$ 0,2                              | 13,5                                 | < 15,8                          |
| otroci od 7 do 12 let       | IAEA podatki        | LJ    | B1                 | 2,7 $\pm$ 1,4                                     | 8,9 $\pm$ 0,4                              | 11,6                                 | < 13,0                          |
|                             |                     | KB    | B2                 | 2,8 $\pm$ 1,4                                     | 8,4 $\pm$ 0,2                              | 11,3                                 | < 12,7                          |
|                             |                     | BB    | B3                 | 2,7 $\pm$ 1,4                                     | 8,4 $\pm$ 0,2                              | 11,1                                 | < 12,5                          |
| odrasli                     | statistični podatki | LJ    | C1                 | 2,0 $\pm$ 1,0                                     | 7,7 $\pm$ 0,4                              | 9,7                                  | < 10,8                          |
|                             |                     | KB    | C2                 | 2,1 $\pm$ 1,0                                     | 7,4 $\pm$ 0,2                              | 9,4                                  | < 10,5                          |
|                             |                     | BB    | C3                 | 2,0 $\pm$ 1,0                                     | 7,4 $\pm$ 0,2                              | 9,4                                  | < 10,4                          |
|                             | urbano okolje       | LJ    | D1                 | 2,5 $\pm$ 1,2                                     | 6,6 $\pm$ 0,3                              | 9,1                                  | < 10,4                          |
|                             |                     | KB    | D2                 | 2,7 $\pm$ 1,3                                     | 6,3 $\pm$ 0,1                              | 9,0                                  | < 10,3                          |
|                             |                     | BB    | D3                 | 2,6 $\pm$ 1,3                                     | 6,3 $\pm$ 0,1                              | 8,9                                  | < 10,1                          |
|                             | ruralno okolje      | LJ    | E1                 | 2,3 $\pm$ 1,2                                     | 11,2 $\pm$ 0,6                             | 13,5                                 | < 14,8                          |
|                             |                     | KB    | E2                 | 2,5 $\pm$ 1,2                                     | 10,6 $\pm$ 0,2                             | 13,1                                 | < 14,4                          |
|                             |                     | BB    | E3                 | 2,3 $\pm$ 1,2                                     | 10,6 $\pm$ 0,2                             | 13,0                                 | < 14,2                          |





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

## 6 Zaključki

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

Na podlagi meritev radioaktivnosti življenjskega okolja Republike Slovenije v letu 2010 ugotavljamo, da so bile specifične aktivnosti umetnih radionuklidov v hrani in zraku okrog 1% od mejnih vrednosti, predpisanih v Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. list RS, št. 49, 2004).

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

### 6.1 Priporočila

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

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

## 7 Literatura

- 1) Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (ZVISJ-UPB2), Ur.list RS št. 102, 2004;
- 2) Pravilnik o mestih, metodah in rokih za preiskave kontaminacije z radioaktivnimi snovmi (Ur.list SFRJ št. 40/86 – Z1);
- 3) Pravilnik o pogojih in metodologiji ocenjevanja doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Ur. list RS št. 115, 2003;
- 4) Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.list RS št. 49, 2004;
- 5) IAEA Safety Reports Series 14: Assessment of doses to the public from ingested radionuclides, IAEA 1999;
- 6) Letna poročila o nadzoru radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško , IJS.
- 7) Letna poročila o radioaktivnosti v življenjskem okolju Slovenije, ZVD (od 1964).
- 8) A.Likar, G. Omahen, M. Lipoglavšek, T. Vidmar, A Theoretical description of diffusion and migration of Cs-137 in soil, Journal of Environmental Radioactivity 57 (2001) 191-201;
- 9) Likar, T. Vidmar, B. Pucelj: Monte Carlo Determination of Gamma-Ray Dose Rate with the GEANT System, Health Physics vol. 75, No.2, 1998;
- 10) P. Jovanovič: Radioaktivna kontaminacija alpskega predela Slovenije kot posledica černobilske nesreče in jedrskih poskusov, ZVD, 2004.
- 11) UNSCEAR Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I – Annex A: Dose Assessment Methodologies, 2000.
- 12) UNSCEAR Report 2006: Effects of ionizing radiation, Volume I – Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer, 2008.
- 13) Yoshimori, M., Atmospheric Transport Inferred from Seasonal Variations in Cosmogenic Be-7 Concentrations, Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference. July 3 - 11, 2007, Mérida, Yucatán, 2007.
- 14) Herbert W. Feely, Richard J. Larsen and Colin G. Sanderson. Factors that cause seasonal variations in Beryllium-7 concentrations in surface air, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 9, Issue 3, 1989, Pages 223-249
- 15) T. Tokieda, K. Yamanaka, K. Harada, S. Tsunogai. Seasonal variations of residence time and upper atmospheric contribution of aerosols studied with Pb-210, Bi-210, Po-210 and Be-7, Tellus B Volume 48, Issue 5, pages 690–702, November 1996.