



Center za fizikalne meritve

Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov

Oznaka dokumenta: **LMSAR-20230024-AŽ-rev1**

Datum: 26.3.2024

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Naročnik: Uprava RS za varstvo pred sevanji  
Ajdovščina 4  
1000 Ljubljana

Poročilo izdelal: dr. ANDREJ ŽOHAR, mag. jedr. teh.

Podpis

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

Podpis

Poročilo odobril: dr. GREGOR OMAHEN, univ. dipl. fiz.

Podpis

*Študija je bila izdelana na podlagi pogodbe med Upravo Republike Slovenije za varstvo pred sevanji in ZVD Zavodom za varstvo pri delu d.o.o. številka C2717-23-232005 iz dne 5. 6. 2023.*

Pri pripravi in izvedbi študije so sodelovali (ZVD):

- dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.,
- dr. Andrej Žohar, mag. jedr. teh.
- Peter Jovanovič, inž. fiz.,
- Manca Podvratnik, mag. med. fiz.
- Matija Škrlep, mag. prof. fiz.
- dr. Marko Giacomelli, univ. dipl. fiz.

Poročilo pripravil: dr. Andrej Žohar, mag. jedr. teh.

Oznaka dokumenta: LMSAR-20230024-AŽ-rev1

Datum izdaje: 26. 03. 2024

Naslov: ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o,

Pot k izviro 6, 1260 Ljubljana-Polje

Spletna stran: <http://www.zvd.si>

## POVZETEK

Zaradi prisotnosti naravnih radioaktivnih izotopov in sevanja, ki prihaja iz vesolja, so v našem življenjskem okolju prebivalci ves čas izpostavljeni ionizirajočemu sevanju. To sevanje imenujemo sevanje naravnega ozadja. Letni dozi, ki jo prejmemo osebe zaradi izpostavljenosti sevanju naravnega ozadja, prispevajo različni viri sevanja. Te lahko v grobem razdelimo glede na vir sevanja oziroma način izpostavljenosti. Notranja izpostavljenost je posledica zaužitja oziroma vdihavanja radionuklidov v hrani in pijači oziroma zraku ter sevanja zaradi radona in njegovih potomcev. Zunanja izpostavljenost je posledica sevanja radionuklidov v zemlji in gradbenih materialih ter kozmičnega sevanja. Prva ocena letne doze, ki jo prejme prebivalec Slovenije zaradi naravnih in umetnih izvorov, je bila narejena leta 1989 in je bila ocenjena na 4,03 mSv/leto (naravno obsevanje (2,4 mSv) + medicinsko obsevanje (1,5 mSv) + Černobilska nesreča (0,12 mSv) + izpusti NEK (0,006 mSv)). Ocena doze izključno zaradi naravnega sevanja se je nato skozi leta dopolnjevala z novimi meritvami in analizami ter je trenutno ocenjena na 2,4 mSv/leto, kar je enako kot pri prvi oceni. Ta vrednost letne doze se je prvič samostojno pojavila v poročilu Meritve radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2001. Od zadnje določitve vrednosti letne doze naravnega ozadja do danes, leta 2023, so bile izvedene številne dodatne meritve koncentracije radona v bivalnih in delovnih prostorih, meritve koncentracije radioaktivnih izotopov v zemlji, hrani, pitni vodi in zraku ter meritve doze v stavbah zaradi naravnega sevanja. Poleg novih meritev se je v letu 2018 spremenila tudi zakonodaja (Uredba o nacionalnem radonskem programu (Uradni list RS, št. 18/18, 86/18 in 152/20)), ki določa faktorje za izračun doze zaradi izpostavljenosti radonu na osnovi meritev koncentracije radona v stavbah. Zaradi razpoložljivosti številnih novih meritev in spremembe doznih faktorjev je bila izvedena ponovna ocena letne doze zaradi sevanja naravnega ozadja v Sloveniji. Nova ocena povprečne letne doze zaradi naravnega sevanja v Sloveniji je bila določena na **5,98 mSv ± 0,60 mSv**. Razpon letne doze po Sloveniji pa se giblje od 1,99 mSv za občino z najnižjo povprečno koncentracijo radona v stavbah (Piran) do 17,77 mSv za občino z najvišjo povprečno koncentracijo radona v stavbah (Mirna Peč). Največ k letni dozi prispeva radon in njegovi potomci, skupaj kar 83 % celotne letne doze. Razlog za tako velik prispevek radona in potomcev je zaradi novih meritev koncentracije radona v stavbah, ki so pokazale višje vrednosti kot prvotne ocene. Dodatno so se znatno povišali dozni pretvorni faktorji, saj je pregled različnih svetovnih epidemioloških študij pokazalo bolj jasno povezavo med rakavim obolenjem pljuč in izpostavljenostjo povišanim koncentracijam radona. Preostali prispevki virov sevanja naravnega ozadja pa se niso bistveno spremenili v primerjavi s preteklimi analizami.

## KAZALO

Povzetek .....	3
1. Uvod .....	5
2. Zgodovina letne doza naravnega ozadja .....	6
2.1 Meritve koncentracije radona v Sloveniji leta 1993 .....	7
2.2 Letna doza naravnega ozadja Slovenije - Evropska komisija .....	9
3. Statistični podatki prebivalcev Republike Slovenije .....	9
4. Letna doza zaradi kozmičnega sevanja .....	11
5. Letna doza zaradi vnosa radionuklidov s hrano, vodo in zrakom .....	12
5.1 Zrak .....	13
5.2 Pitna voda .....	15
5.3 Hrana .....	16
5.4 Skupna letna doza zaradi vnosa radionuklidov s hrano, vodo in zrakom .....	19
6. Doza zaradi zunanjega obsevanja zaradi naravne radioaktivnosti v zemlji .....	20
6.1 Meritve s termoluminiscenčni dozimetri .....	22
7. Doza zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih .....	23
7.1 Koncentracije radionuklidov v gradbenih materialih .....	24
8. Doza zaradi vdihavanja radona in potomcev .....	25
9. Letna doza zaradi naravnega sevanja .....	31
10. Podatki meritev .....	32
10.1 Zrak .....	32
10.2 Pitna voda .....	33
10.3 Hrana .....	33
10.4 Zemlja .....	38
10.5 TLD meritve .....	39
10.6 Radon mediana koncentracije .....	41
10.7 Letno naravno ozadje po občinah .....	45
11. Dozni pretvorni faktorji .....	51
12. Literatura .....	52

# 1. UVOD

Zaradi prisotnosti naravnih radioaktivnih izotopov v okolju in sevanja iz vesolja je vsak izmed nas neprestano izpostavljen sevanju. To sevanje imenujemo sevanje naravnega ozadja. Letni dozi, ki jo prejmemo osebe zaradi izpostavljenosti sevanju naravnega ozadja, prispevajo različni viri sevanja, ki jih lahko v grobem razdelimo na:

- Sevanje zaradi naravnih in kozmogenih radioaktivnih izotopov prisotnih v hrani, pijači in zraku, ki jih ingestijo in inhalacijo vnesemo v telo
- Zunanje sevanje zaradi radioaktivnih izotopov prisotnih v zemlji in gradbenih materialih, ki nas obdajajo
- Zunanje sevanje zaradi radioaktivnih izotopov, protonov in nevtronov, ki prodrejo do površja Zemlje iz vesolja (ti. kozmično sevanje)
- Sevanje zaradi inhalacije radioaktivnega plina radona in njegovih potomcev

Trenutna letna doza zaradi naravnega ozadja v Sloveniji je ocenjena na **2,4 mSv**. Ta vrednost letne doze se je prvič pojavila v poročilu Meritve radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2001 [1], medtem ko same ocene letne doze naravnega ozadja segajo v leto 1989 v okviru ocen doz prebivalcev okolice Nuklearne elektrarne Krško [2]. Največ k tej letni dozi prispeva inhalacija radona in potomcev, ki prispeva kar 1,3 mSv. Sledi doza zaradi kozmičnega sevanja in radioaktivnih izotopov v zemlji, oba prispevata skupaj okoli 0,8 mSv. Najnižji prispevek k letni dozi pa je zaradi vnosa radioaktivnih izotopov v telo s hrano, pijačo in zrakom.

Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-10) [3] ureja varstvo pred ionizirajočimi sevanji z namenom zmanjšanja škode za zdravje ljudi in radioaktivne kontaminacije življenjskega okolja zaradi uporabe virov ionizirajočih sevanj. Nekatere komponente naravnega sevanja, kot so gradbeni materiali in radon na delovnem mestu, imajo tako zakonsko omejene vrednosti radioaktivnosti, medtem ko nekatere komponente, kot je kozmično sevanje, zaradi nastanka sevanja ni mogoče zakonsko omejiti. Od prve določitve vrednosti letne doze naravnega ozadja do danes, leta 2023, so bile izvedene številne dodatne meritve koncentracije radona v stavbah, meritve koncentracije radioaktivnih izotopov v zemlji, hrani, pitni vodi in zraku ter meritve sevanja v stavbah zaradi naravnega sevanja. Te meritve so bile izvedene v okviru različnih projektov monitoringov Uprave Republike Slovenije za varnost pred sevanji (URSVS) in Uprave Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV). Meritve so izvedli ZVD Zavod za varnost pri delu d.o.o. (ZVD) in Institut "Jožef Stefan" (IJS). Poleg novih meritev se je v letu 2018 spremenila zakonodaja (Uredba o nacionalnem radonskem programu (Uradni list RS, št. 18/18, 86/18 in 152/20)) [4], v kateri so določeni faktorji za izračun doze zaradi radona na osnovi meritev koncentracije radona v stavbah povzetih po ICRP 137 [5].

Zaradi številnih novih meritev in spremembe doznih faktorjev je bila izvedena ponovna ocena letne doze zaradi naravnega ozadja v Sloveniji. Izračun nove letne doze naravnega ozadja smo razdelili na naslednjih sestavne dele doze:

- Doza zunanjega obsevanja zaradi naravne radioaktivnosti v zemlji
- Doza zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih

### Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

- Doza notranjega obsevanja zaradi vnosa naravnih in kozmogennih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom
- Doza zaradi kozmičnega sevanja
- Doza zaradi vdihavanja radona in potomcev

Sestavni deli pri oceni letne doze naravnega ozadja so enaki kot v trenutni oceni z izjemo delitve doze zaradi radioaktivnih izotopov v zemlji in gradbenih materialov na dve ločeni dozi, torej na dozo zaradi radioaktivnosti zemlje in radioaktivnosti gradbenih materialov.

## 2. ZGODOVINA LETNE DOZA NARAVNEGA OZADJA

Prva ocena letne doze ki jo prejme prebivalec Slovenije zaradi naravnih in umetnih virov sevanja je bila narejena leta 1989 in rezultati so bili predstavljeni v poročilu Meritve radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško – Poročilo za leto 1989 [2]. Letno dozo so pri določitvi razdelili na dve skupini, notranje obsevanje in zunanje obsevanje:

- Notranje obsevanje
  - Zaradi vnosa z dihanjem (inhalacijo)
    - Radon in kratkoživi potomci v zraku **1,3 mSv/leto**
    - Splošna kontaminacija prašnih delcev **0,02 mSv/leto**
    - Zračna emisija NEK-a **0,0003 mSv/leto**
  - Zaradi vnosa s hrano in vodo (ingestija)
    - Naravna radioaktivnost **0,36 mSv/leto**
    - Splošna kontaminacija **0,0042 mSv/leto**
    - Emisije NEK-a v Savo **0,0015 mSv/leto**
- Zunanje obsevanje
  - Medicinska diagnostika **1,5 mSv/leto**
  - Kozmično in terestialno sevanja **0,72 mSv/leto**
  - Černobilski used v okolju **0,12 mSv/leto**
  - Zračne emisije NEK-a **0,00002 mSv/leto**

Skupna letna doza odrasle osebe je **4,026 mSv/leto**, če pa ne upoštevamo medicinskih pregledov, Černobilske nesreče in izpustov NEK pa je letna doza odrasle osebe **2,4 mSv/leto**. Pri tem je potrebno poudariti, da zgornje vrednosti določene letne doze veljajo za odraslo osebo, ki živi in uživa hrano izključno v okolici NEK.

Pri določitvi doze so uporabili vrednosti meritev narejenih v okviru poročila, dozo zaradi medicinske diagnostike so pridobili iz vladnega poročila ZRN za leto 1987 [6], medtem ko je vrednost doze zaradi radona in potomcev določena za koncentracijo  $38 \text{ Bq/m}^3$  ob ravnovesnem faktorju 0,4 in faktorju bivanja v bivališčih 0,8 (svetovno povprečje).

Letna doza se je v nadaljnjih poročilih o Meritvah radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško zmanjševala zaradi zmanjševanja vpliva Černobilske nesreče, medtem ko se preostale vrednosti niso spreminjale. V poročilu o Meritvah radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško za leto 1995 [7] pa so pri določitvi letne doze zaradi radona in potomcev uporabili rezultate meritev koncentracije radona po Sloveniji izvedene v letu 1993 [8]. Povprečna koncentracija radona v Sloveniji je bila določena na  $54 \text{ Bq/m}^3$ . Med leti 1989 in 1995 so se pri določitvi doze zaradi radona in potomcev

uporabljali dozni pretvorni faktor iz ICRP 50 [9], ki je znašal 6,3 mSv/WLM (working level months: 170 ur  $\times$  3700 Bq/m<sup>3</sup>). V ICRP Publication 65 [10] iz leta 1993 pa so spremenil dozni pretvorni faktor na 4 mSv/WLM. Zaradi te spremembe doznega faktorja je doza enaka pri koncentraciji radona 38 Bq/m<sup>3</sup> in pretvornemu faktorju iz ICRP 50 in koncentraciji 55 Bq/m<sup>3</sup> ter pretvornemu faktorju iz ICRP 65. V obeh v obeh primerih je ravnovesni faktor radonovih potomcev 0,4 in faktor bivanja v bivališčih 0,8. Zaradi sprememb ICRP priporočil se kljub višjim vrednostim koncentracije radona v Sloveniji letna doza zaradi radona in potomcev ni spremenila in je ostala ocenjena na 1,3 mSv/leto.

Naslednja večja sprememba pri določitvi letne doze zaradi naravnega ozadja pa se je zgodila leta 2001 v poročilu Meritve radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2001 [1]. Od tega poročila dalje, obsevanja v medicinske namene niso več upoštevali pri letni dozi. Izločili so tudi prispevek Černobilske nesreče k letni dozi. Letno dozo za to leto so ocenili na **2,43 mSv**. Vrednost naravne doze so se v nadaljnjih poročilih od leta 2001 do 2022 spreminjale med 2,31 mSv do 2,5 mSv s povprečjem 2,4 mSv zaradi različnih vrednosti doze kozmičnega sevanja. Povprečna letna doza zaradi naravnega ozadja je tako določena na 2,4 mSv in se sestavlja iz naslednjih prispevkov:

- Zemeljsko in kozmično sevanje: **0,81 mSv**
- Ingestija: **0,29 mSv**
- Inhalacija: **1,3 mSv**

## 2.1 Meritve koncentracije radona v Sloveniji leta 1993

V obdobju november 1993 – februar 1994 so bile z detektorji jedrskih sledi izvedene meritve koncentracije radona v 892 naključno izbranih stanovanjih na območju celotne Slovenije (meritvene pozicije predstavljene na Slika 1). Metoda za merjenje koncentracije radona uporabljena pri projektu je bila razvita na IJS in temelji na uporabi detektorja jedrskih sledi CR-39 [8]. Med meritvami so bili detektorji postavljeni v dnevni sobah merjenih stanovanj.

Lokacije meritev radona so bile naključno izbrane iz podatkovne baze statističnega zavoda Slovenije o telefonskih naročnikih. Ta način izbora lokacije je vplival na reprezentativnost vzorca meritev, saj so na osnovi baze prevladovala merilna mesta v večjih mestih (Ljubljana, Maribor, Velenje, Celje, itd.), kar je povzročilo manjše število meritev v drugih območjih Slovenije. V manjših občinah je bilo zato število meritev manjše od statistično pričakovanega deleža. V nekaterih občinah so bile tako izračunane visoke povprečne koncentracije radona na osnovi majhnega števila meritev.

Minimalna izmerjena koncentracija radona je bila 7 Bq/m<sup>3</sup>, medtem ko je bila maksimalna izmerjena koncentracija 1889 Bq/m<sup>3</sup>. Mediana vseh meritev je bila 74 Bq/m<sup>3</sup>. Pri tem je potrebno poudariti, da so bile meritve izvedene v zimskem času, torej v času, ko so koncentracije radona v zaprtih prostorih najvišje. Zaradi tega je bilo potrebno meritve prevesti na celoletno povprečje na osnovi metodologije, ki so je uporabljali pri britanski National Radiological Protection Board (NRPB) [11]. V primerih, ko z meritvijo ni zajeto celotno leto, se uporabljajo ustrezni korekcijski faktorji, ki bazirajo na predhodnih celoletnih meritvah. V Sloveniji so koncentracije v poletnih mesecih v povprečju za 2,5 krat nižje od koncentracij v zimskih mesecih, medtem ko so koncentracije v jesenskih in pomladanskih mesecih enake celoletnemu povprečju [8].

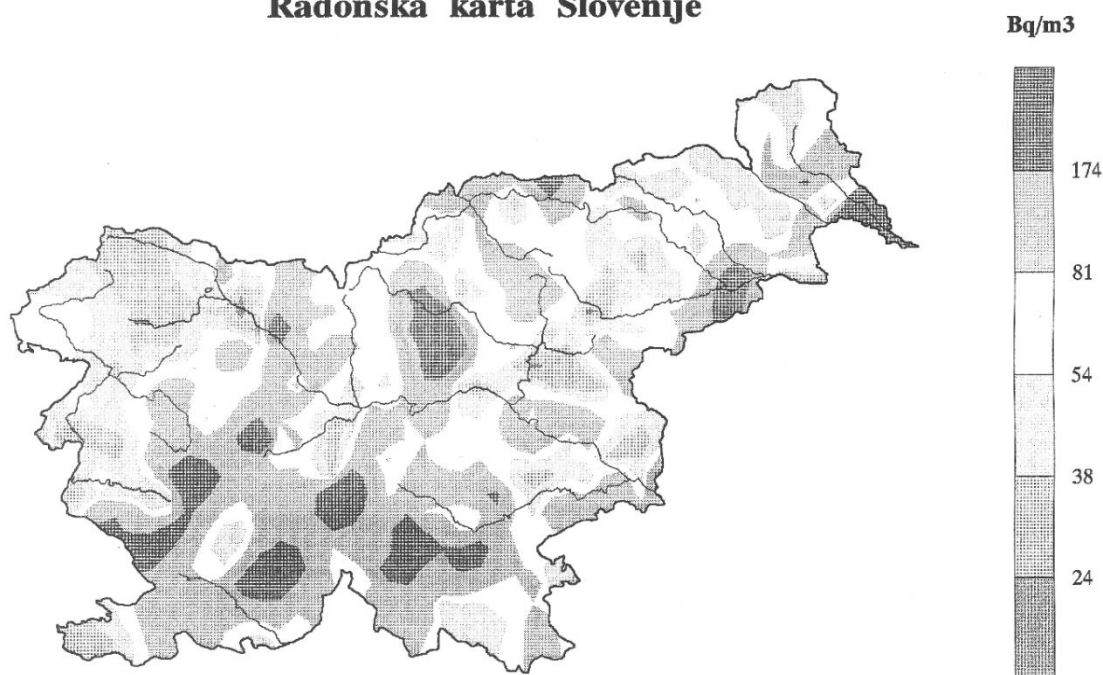
Na osnovi zimskih meritev in korekcijskega faktorja je bila v raziskavi določena mediana celoletne koncentracije radona v Slovenija in je znašala **54 Bq/m<sup>3</sup>**. Porazdelitev koncentracije radona po Sloveniji na osnovi meritev in obdelave je prikazana na Slika 2.

## Lokacije vzorčnih točk



Slika 1: Porazdelitev merilnih mest koncentracije radona. Slika je vzeta iz [8].

## Radonska karta Slovenije



Slika 2: Karta koncentracije radona po Sloveniji v stavbah na osnovi meritev izvedenih v letu 1993 - 1994. Slika je vzeta iz [8].

Najvišje koncentracije radona so bile izmerjene na območjih kraškega sveta (Sežana, Logatec, Vrhnika, Cerknica, Kočevje in Ribnica) zaradi višjih koncentracij Ra-226 v zemlji. Povišane koncentracije se pojavljajo tudi na območjih vzhodnega dela Prekmurja, v zahodnem delu Štajerske, v Halozah, predelu južno od Ptuja, področju Kranja, Jesenic, Škofje Loke in Idrije [8]. Razlogi za višje vrednosti radona so v višjih deležih urana v tleh, višji prepustnosti tal, vremenskih vplivih med meritvami, itd.



## 2.2 Letna doza naravnega ozadja Slovenije - Evropska komisija

Dozo naravnega ozadja za vse države v Evropi je določila tudi Evropska komisija. Rezultati analize so predstavljeni v publikaciji: European Atlas of Natural Radiation, izdani leta 2019 [12]. Letno dozo naravnega ozadja so razdelili na tri glavne skupine in ocenjena letne doze za Slovenijo je:

- Doza zaradi zunanjega sevanja
  - Kozmično sevanje **0,36 mSv/leto**
  - Zemeljsko sevanje **0,60 mSv/leto**
- Doza zaradi zaužitja radioaktivnih izotopov
  - Kozmični radioizotopi **0,01 mSv/leto**
  - Zemeljski radioizotopi (brez radona) **0,29 mSv/leto**
- Doza zaradi inhalacije Radona in njegovih potomcev
  - Radon in potomci **3,43 mSv/leto**
  - Toron in potomci **0,10 mSv/leto**

Ocenjena letna doza zaradi naravnega sevanja za Slovenijo tako znaša **4,79 mSv/leto**. Največja razlika med letno dozo naravnega ozadja narejeno pri Evropski komisiji in meritev okoli NEK je v letni dozi zaradi radona in potomcev. Pri določitvi so uporabili podatke o koncentracijah radona, ki jih je posredoval IJS in pretvorni faktor iz ICRP 137 [5].

V študiji je bila višja letna doza naravnega ozadja v Evropi samo še na Češkem, kjer je doza ocenjena na 5,83 mSv/leto in Finskem, kjer je doza ocenjena na 6,16 mSv/leto. V obeh primerih imata državi višjo dozo zaradi radona v primerjavi s Slovenijo, preostali prispevki k dozi pa so podobne vrednosti.

## 3. STATISTIČNI PODATKI PREBIVALCEV REPUBLIKE SLOVENIJE

Pri določitvi letne prejete doze zaradi naravnega ozadja v Sloveniji smo uporabili statistične podatke o številu in porazdelitvi prebivalcev Slovenije. Ti podatki so bili pridobljeni iz podatkovne baze SiStat Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) [13]. Podatke smo pridobili tako za število prebivalcev v občinah (prikazano na Slika 3) kot tudi v naseljih (prikazano na Slika 4) za leto 2022. Z uporabo podatkov iz leta 2022 smo preprečili spreminjanje števila prebivalcev med izvedbo projekta. Celotno število prebivalcev v Sloveniji pri analizi je bilo 2.107.180, ki so živeli v 212 občinah in 6035 naseljih.

Pri analizah je bilo število prebivalcev razdeljeno ne samo na občine in naselja, ampak tudi na starostne skupine med 0 – 4 let, 5 – 9 let, 10 – 14 let, 15 – 19 let in odrasli. Ti podatki so bili prav tako pridobljeni iz podatkovne baze SiStat.

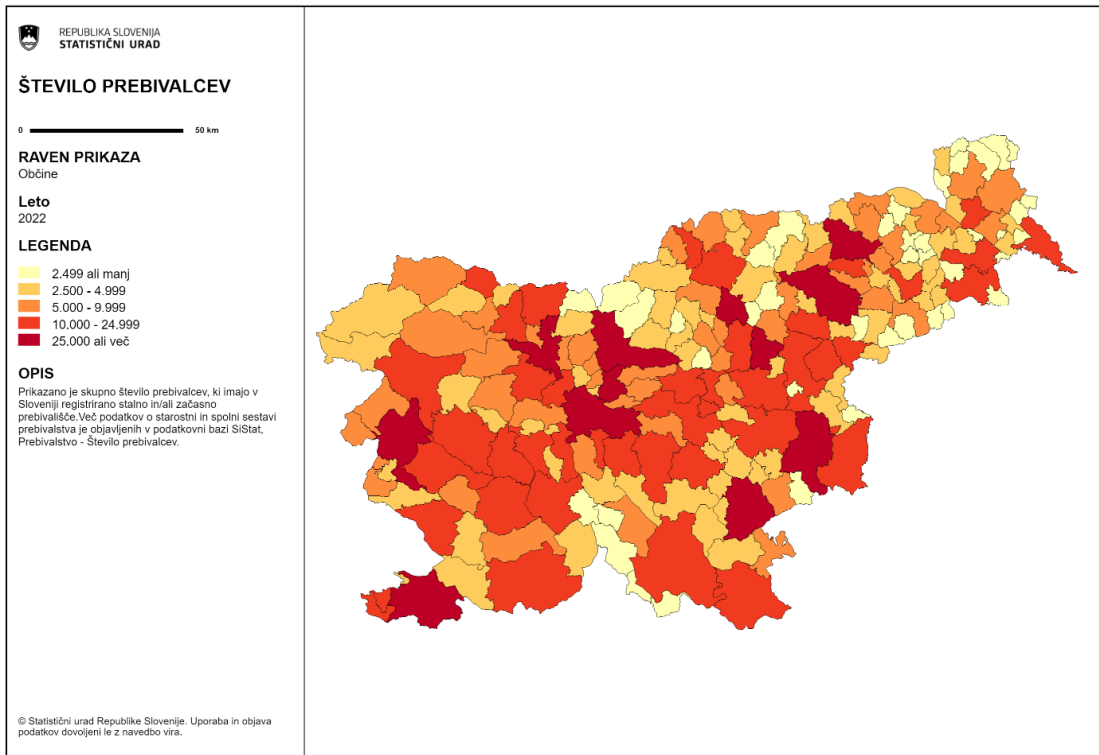
Iz SiStat podatkovne baze so bili tudi pridobljeni podatki o številu delovnih mest v posamezni občini.

Pri določitvi doze naravnega ozadja je bilo število prebivalcev upoštevano tako, da smo dozo izračunano za določeno območje (občino) ali starostno skupino uteži z deležem prebivalcev Slovenije na tem območju ali starostni skupini:

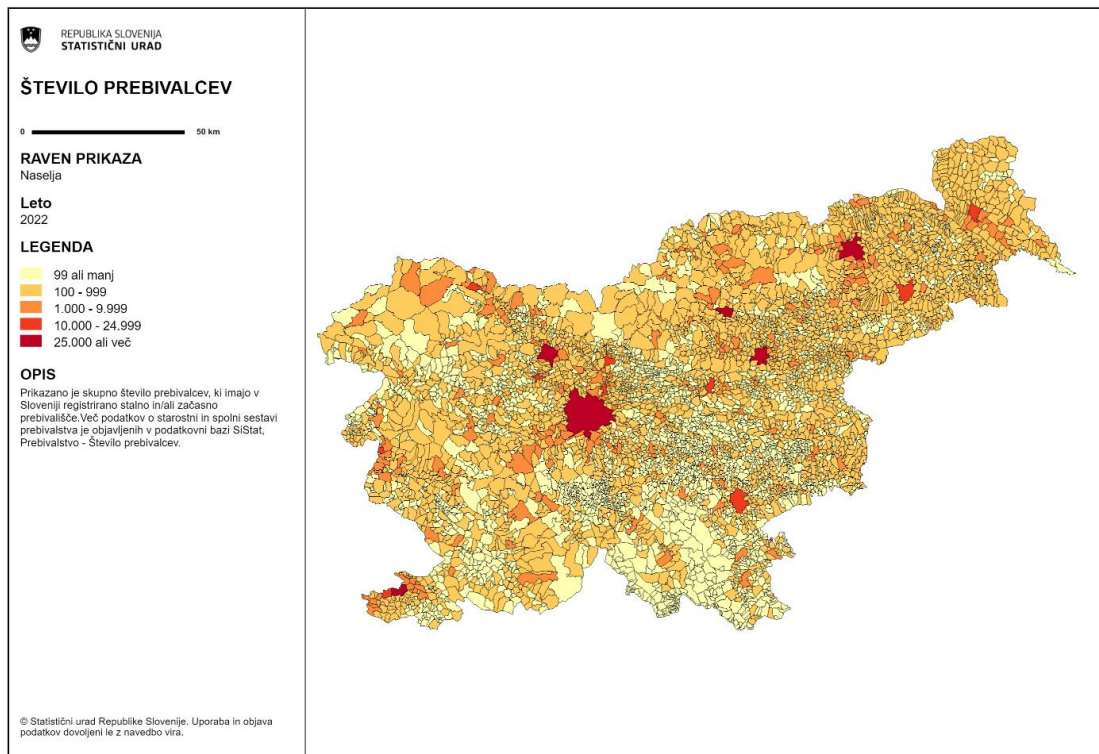
$$D = \sum_{i,j} D_{ij} n_{ij}. \quad (1)$$

### Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

V enačbi  $i$  poteka po vseh občinah,  $j$  pa po starostnih skupinah,  $D_{ij}$  predstavlja izračunano dozo za določeno območje in starostno skupino in  $n_{ij}$  predstavlja delež prebivalcev v območju  $i$  in starostni skupini  $j$  glede na celotno slovensko populacijo.



Slika 3: Grafični prikaz števila prebivalcev Slovenije po občinah uporabljenih pri določitvi letne doze zaradi naravnega ozadja.



Slika 4: Grafični prikaz števila prebivalcev Slovenije po naseljih uporabljenih pri določitvi letne doze zaradi naravnega ozadja.

## 4. LETNA DOZA ZARADI KOZMIČNEGA SEVANJA

Visoko energijsko kozmično sevanje neprestano bombardira Zemljino atmosfero, kjer interagira z atomi plina ter ustvarja številne različne radioizotope, ki nato dosežejo površje. Številne meritve so ugotovile, da je kozmično sevanje sestavljeno iz nabitih delcev in elektromagnetnega valovanja. Večji del kozmičnega sevanja predstavljajo visoko energijski nabiti delci (nabiti delci, ki se gibljejo skoraj s hitrostjo svetlobe). 90 % kozmičnih delcev je galaktičnega izvora in so sestavljeni iz protonov (87 %), helijevih jeder (alfa delci, 12 %) in težjih jeder (1 %). 10 % kozmičnega sevanja pa predstavlja sevanje Sonca, ki je v 98 % sestavljeno iz protonov in v 2 % iz helijevih jeder [12, 14, 15].

Spremembe v Zemeljski atmosferi, magnetnem polju in Sončevem ciklu vplivajo na intenziteto kozmičnega sevanja, ki doseže površje. V povprečju lahko intenziteta kozmičnega sevanja variira za 50 %. Najpogostejši kozmogeni radioizotopi proizvedeni v Zemljini atmosferi zaradi kozmičnih delcev so H-3, Be-7 in C-14 ter Na-22. Prispevek teh k letni dozi obravnavamo v poglavju 5<sup>1</sup>.

Določitev letne doze zaradi kozmičnega sevanja temelji na modelskih izračunih doze na zemljepisni širini in nadmorski višini Slovenije. Modeli doze so določeni na osnovi številnih mednarodnih meritev in so podrobno predstavljeni v članku G. Cinelli, et al., European annual cosmic-ray dose: estimation of population exposure [16] in v publikaciji skupnega raziskovalnega centra Evropske komisije European Atlas of Natural Radiation [12].

Dozo zaradi kozmičnega sevanja delimo na dva dela: dozo zaradi nabitih delcev in žarkov gama ter dozo zaradi nevtronov.

Doza zaradi nabitih delcev in žarkov gama je odvisna samo od nadmorske višine in se določi s pomočjo enačbe [16]:

$$D(h)[\mu\text{Sv}/\text{leto}] = D(0)(0,21e^{-1,649h} + 0,79e^{0,458h}),$$

kjer je  $h$  nadmorska višina preučevane lokacije v kilometrih in  $D(0)$  referenčna letna doza kozmičnega gama sevanja na nadmorski višini 0 m, ki je ocenjena na 0,24 mSv. Pri tej vrednosti je upoštevano, da se ljudje 80 % časa zadržujejo v zgradbah, ki imajo redukcijski faktor zaradi ščitenja 0,8 (ang. shielding factor). Redukcijski faktor zaradi ščitenja je definiran kot razmerje med prejeto dozo v zgradbah in prejeto dozo na t.i. referenčnem področju (na veliki prazni ravnini daleč stran od zgradb). Faktor 0,8 za kozmično sevanje nam tako pove, da 80 % kozmičnega sevanja prodre v zgradbe.

Doza zaradi nevtronov je odvisna tako od položaja preučevane lokacije na Zemlji (geografska širina) kot tudi nadmorske višine. Doza se izračuna po enačbi:

$$D [\mu\text{Sv}/\text{leto}] = 0,72t\Phi,$$

kjer je  $t$  število ur v letu, pretvorni faktor 0,72  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  na nevtron na  $1/\text{cm}^2\text{s}^1$  in  $\Phi$  nevtronski fluks na višini in geografski širini lokacije. Nevtronski fluks  $\Phi$  je odvisen od geografske širine in je za Slovenijo 0,6 nevtronskega fluksa na geografskem severu [16]. Nevtronski fluks je tako na nadmorski višini 0 m in geografski širini Slovenije  $0,013 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  in se z višino spreminja kot:

<sup>1</sup> Razen C-14, ki ga ni v nobenem programu meritev, in H-3 za katerega privzamemo, da je na naših nadmorskih višinah posledica človeške dejavnosti in je doza zanj ocenjena v ločenih poročilih, npr. [19], [20], [21].

Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

$$\Phi(p) = \Phi_0 e^{-0,00721p},$$

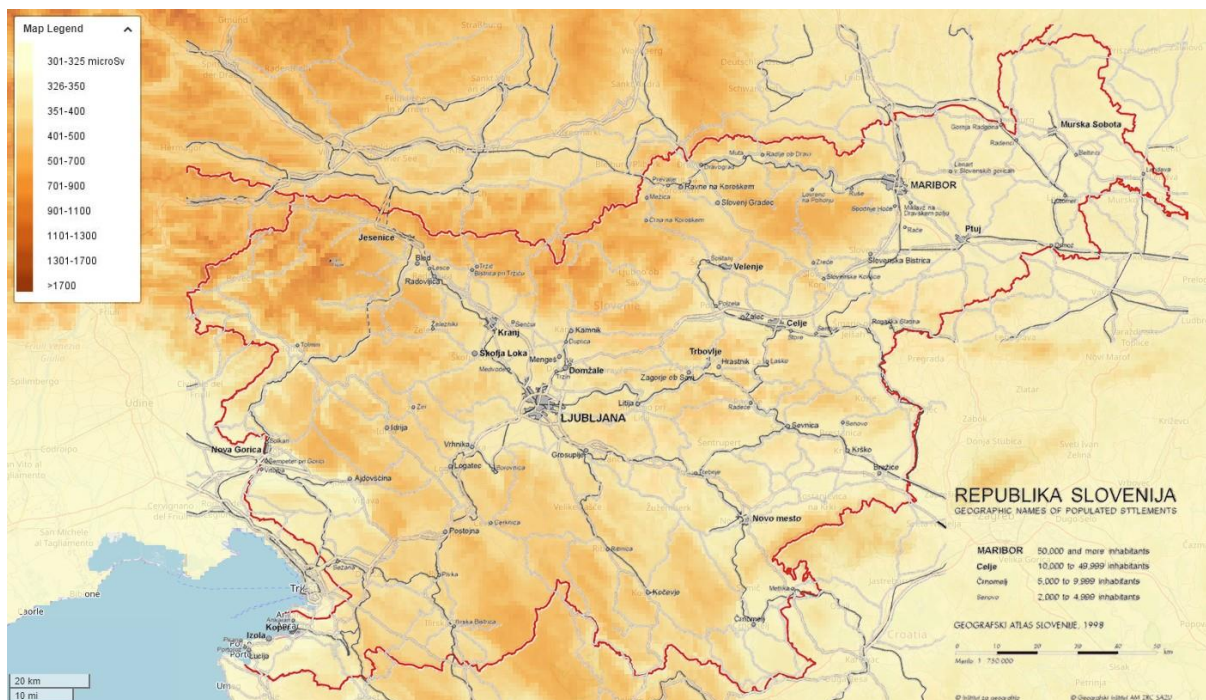
kjer je  $p$  tlak na višini in se določi s pomočjo enačbe:

$$h = 44,34 - 11,86p^{0,19},$$

kjer je  $h$  višina v kilometrih,  $p$  pa tlak je v enotah  $\text{g/cm}^2$ . Za določitev prejete doze nevtronske komponente kozmičnega sevanja pa je potrebno še upoštevati, da se ljudje samo 20 % časa zadržujemo na prostem in smo tako 80 % časa v zgradbah, ki imajo redukcijski faktor zaradi ščitenja 0,8.

Evropska komisija je v sklopu analize doze zaradi kozmičnega sevanja določila povprečne letne doze po državah. Pri tem so upoštevali nadmorsko višino in število prebivalcev na mreži  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  po celotni Evropi. Za porazdelitev prebivalcev so uporabili podatke iz leta 2006. Izdelana dozna karta je predstavljena na Slika 5.

Za Slovenijo so tako določili povprečno letno dozo zaradi kozmičnega sevanja na **0,36 mSv  $\pm$  0,035 mSv**. Napaka vrednosti je posledica negotovosti v vrednostih za izračun doze in spremembi intenzitete kozmičnega sevanja zaradi 11-letnih Sončevih ciklov. Vrednost, ki jo je določila Evropska komisija, smo prevzeli tudi mi v tej analizi kot letno dozo zaradi kozmičnega sevanja.



Slika 5: Karta letne doze zaradi kozmičnega sevanja. Slika je prirejena po [12].

## 5. LETNA DOZA ZARADI VNOSA RADIONUKLIDOV S HRANO, VODO IN ZRAKOM

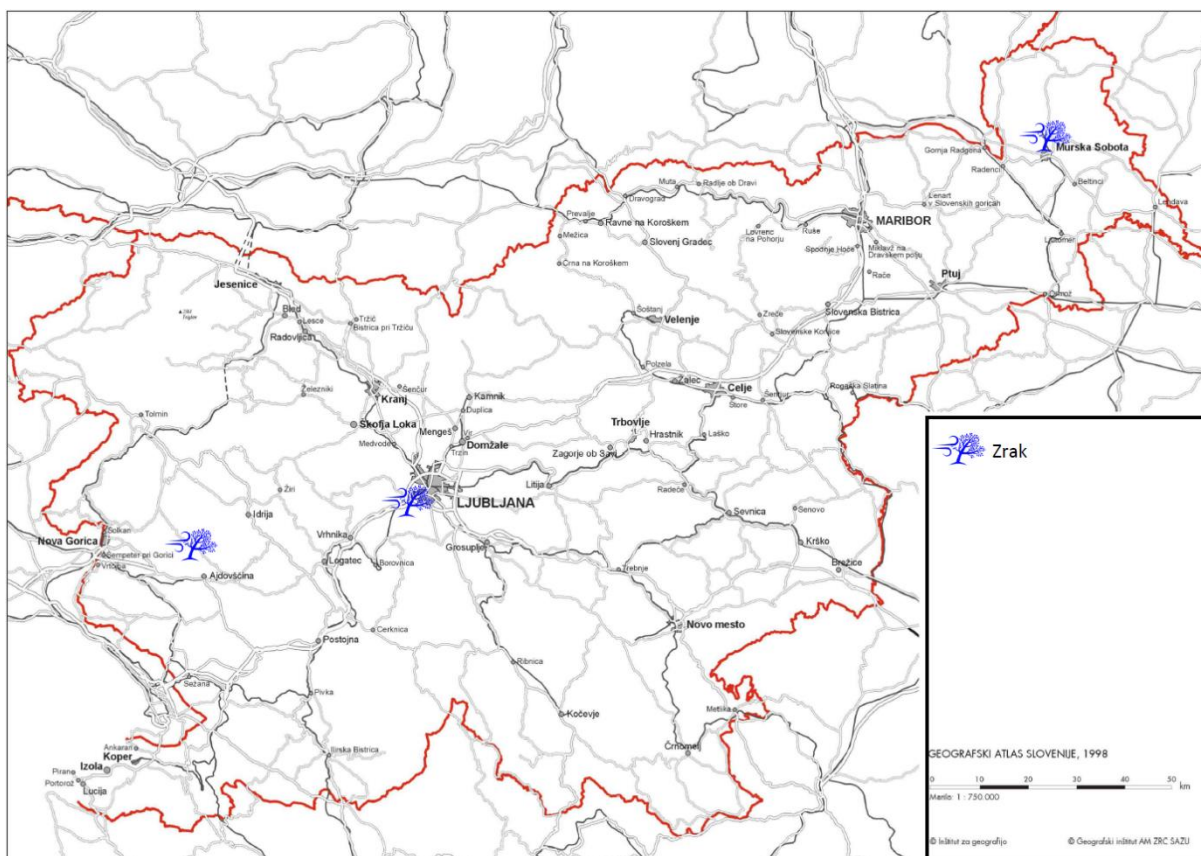
Naravni izotopi so prisotni povsod v Zemljini skorji. Ti nato z erozijo in vsrkavanjem pridejo v vodo, zrak in hrano, ter tako v človeško telo, kjer z radioaktivnim razpadom povzročijo dozo zaradi naravnega ozadja. Podobno velja za kozmogene radionuklide, ki nastanejo v zgornjih plasteh atmosfere in nato s prehajanjem zračnih mas in usedanjem ali s padavinami pridejo do naših nadmorskih višin. Določitev letne doze zaradi vnosa radionuklidov v analizi je temeljila na meritvah radionuklidov v zraku, pitni vodi

in hrani ter pretvornih faktorjih za izračun doze na osnovi koncentracije izotopov. Pri analizi smo uporabili povprečne rezultate meritev zadnjih pet let v obdobju med 2018 – 2022 izvedenih v okviru programov monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v Republiki Sloveniji URSJV in programov monitoringa radioaktivnosti živil URSVS. V vseh vzorcih se je merilo poleg naravnih radionuklidov (U-238, Ra-226, Pb-210, K-40, Be-7,...) tudi umetne radionuklide Cs-137 in Sr-90 in rezultati so bili letno predstavljeni v Poročilih obsevanosti prebivalcev Slovenije [17, 18, 19, 20, 21]. Podatki o doznih pretvornih faktorjih so bili pridobljeni iz poročila ICRP 119 iz leta 2012 [22] in pri analizi so bile uporabljene najbolj konservativne vrednosti.

## 5.1 Zrak

Pri izračunu doze naravnega ozadja zaradi vdihavanja naravnih radionuklidov v zraku brez radona smo populacijo Slovenije delili na več podskupin po starosti, saj so pretvorni faktorji po starostih različni v ICRP 119 [22]. Prebivalce smo tako razdelili na skupine med 0 – 4 let, 5 – 9 let, 10 – 14 let, 15 – 19 let in odrasli, kot je opisano v poglavju 3.

Meritve radionuklidov v zraku so bile izvedene na lokaciji Predmeja in Murska Sobota s strani ZVD in na lokaciji Ljubljana s strani IJS. Lokacije so označene na Slika 6. Zrak se kontinuirano vzorči, analize sevalcev gama sestavljenih vzorcev pa se opravljajo mesečno.



Slika 6: Lokacije vzorčevanja vzorcev zraka. Slika je vzeta iz [21].

Povprečno koncentracijo radionuklida v zraku smo pridobili s povprečenjem meritev na vseh treh merilnih lokacijah opravljenih v zadnjih petih letih. Vrednosti so predstavljene v Tabela 1 in poglavju 10.1. Pri analizi nismo upoštevali koncentracije radona na prostem, saj smo njegov prispevek upoštevali pri analizi doze zaradi radona in potomcev.

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Pri izračunu letne doze zaradi inhalacije je potrebno tudi upoštevati, da različne starostne skupine predihajo različne količine zraka na dan. Pri analizi smo uporabili podatke o volumnu predihanega zraka iz ICRP 119 in vrednosti so bile: 5,2, 8,7, 15, 20 in 22 m<sup>3</sup> predihanega zraka na dan za posamezne starostne skupine [22]. Letno dozo smo izračunali po enačbi:

$$D [mSv/leto] = \sum_j \sum_i F_{ij} t c_i V_j, \quad (2)$$

Tabela 1: Povprečne koncentracije radioaktivnih izotopov v zraku Slovenije.

Izotop	Koncentracija izotopa [Bq/m <sup>3</sup> ]
U-238	4,33E-06 ± 2,49E-06
Ra-226	6,64E-06 ± 5,37E-06
Pb-210	7,04E-04 ± 2,67E-04
Ra-228	2,42E-06 ± 1,39E-06
Th-228	3,78E-06 ± 1,66E-06
K-40	7,98E-04 ± 3,45E-04
Be-7	5,73E-03 ± 2,98E-03
Na-22	2,60E-07 ± 6,88E-07

kjer indeksa  $i$  in  $j$  predstavljata različne izotope in starostne skupine,  $F_{ij}$  je dozni pretvorni faktor iz ICRP 119 za izotop  $i$  in starostno skupino  $j$  v enotah Sv/Bq (predstavljeni v poglavju 11),  $t$  je število dni v letu,  $c_i$  je koncentracija izotopa  $i$  v zraku v enotah Bq/m<sup>3</sup> in  $V_j$  je količina predihanega zraka na dan za starostno skupino  $j$ .

Po zgoraj zapisanih starostnih skupinah so letne doze zaradi inhalacije 0,026 mSv, 0,027 mSv, 0,030 mSv, 0,033 mSv in 0,034 mSv (podrobne vrednosti predstavljene v Tabela 2). Z upoštevanjem starostne strukture prebivalstva v Sloveniji, kot je predstavljeno v poglavju 3, je povprečna letna doza zaradi vdihavanja radioaktivnih izotopov v zraku **0,033 mSv ± 0,012 mSv**. Napaka je posledica negotovosti in raztresenosti meritev. Največ k celotni letni dozi prispeva izotop Pb-210, ki prispeva kar 93 % celotne letne doze.

Tabela 2: Doza prejeta v enem letu zaradi vdihavanja radioaktivnih izotopov po starostnih skupinah.

[Sv]	0 – 4 let	5 – 9 let	10 – 14 let	15 – 19 let	Odrasli
U-238	2,1E-07 ± 1,2E-07	2,2E-07 ± 1,3E-07	2,4E-07 ± 1,4E-07	2,7E-07 ± 1,6E-07	2,8E-07 ± 1,6E-07
Ra-226	3,7E-07 ± 3,0E-07	4,0E-07 ± 3,2E-07	4,4E-07 ± 3,5E-07	4,8E-07 ± 3,9E-07	5,1E-07 ± 4,1E-07
Pb-210	2,4E-05 ± 9,1E-06	2,5E-05 ± 9,3E-06	2,8E-05 ± 1,1E-05	3,0E-05 ± 1,2E-05	3,2E-05 ± 1,2E-05
Ra-228	2,2E-07 ± 1,3E-07	2,5E-07 ± 1,4E-07	2,6E-07 ± 1,5E-07	2,8E-07 ± 1,6E-07	3,1E-07 ± 1,8E-07
Th-228	9,3E-07 ± 4,1E-07	9,9E-07 ± 4,3E-07	1,1E-06 ± 5,0E-07	1,3E-06 ± 5,7E-07	1,2E-06 ± 5,3E-07
K-40	2,6E-08 ± 1,1E-08	1,9E-08 ± 8,2E-09	2,0E-08 ± 8,5E-09	1,5E-08 ± 6,3E-09	1,3E-08 ± 5,8E-09
Be-7	2,6E-09 ± 1,4E-09	2,5E-09 ± 1,3E-09	3,0E-09 ± 1,6E-09	2,8E-09 ± 1,5E-09	2,5E-09 ± 1,3E-09
Na-22	3,6E-12 ± 9,5E-13	3,1E-12 ± 8,3E-13	3,4E-12 ± 9,0E-13	2,8E-12 ± 7,5E-13	2,7E-12 ± 7,2E-13

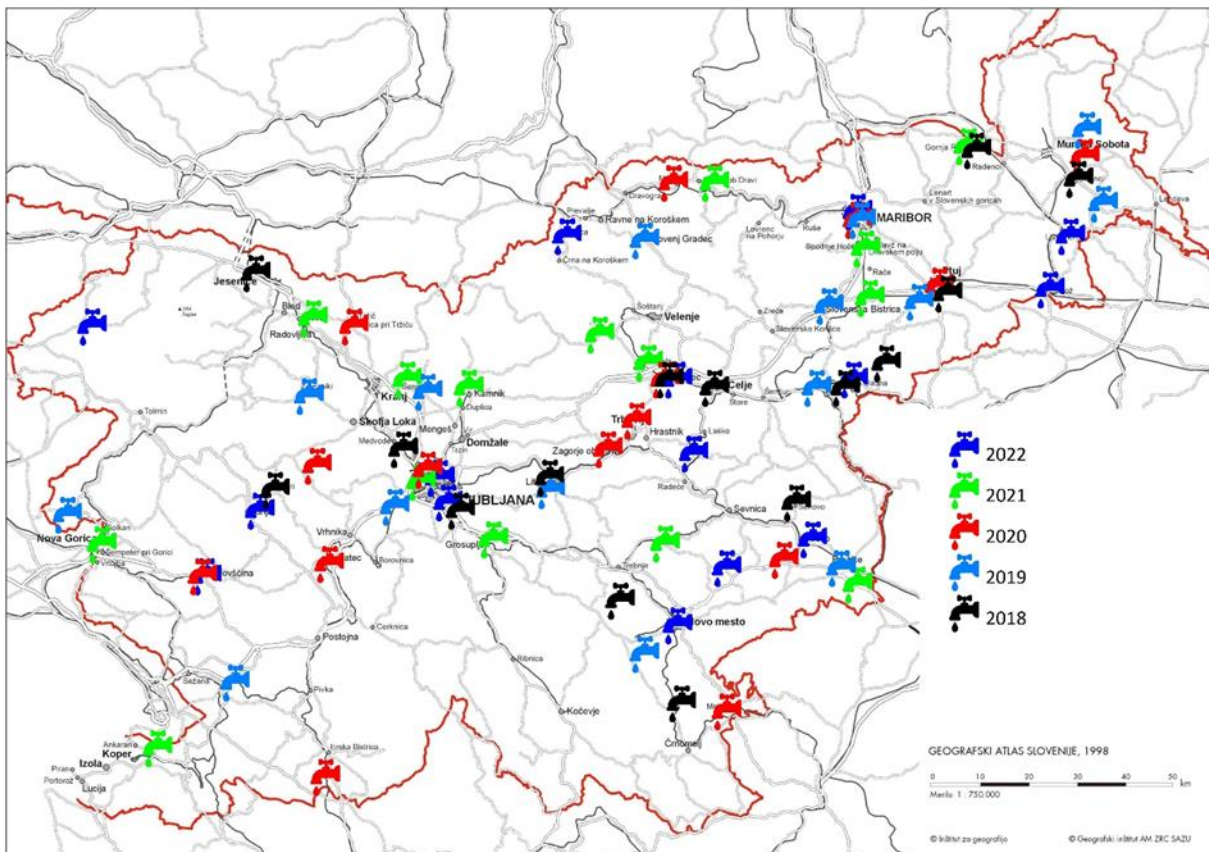
## 5.2 Pitna voda

Pri izračunu doze zaradi vnosa radionuklidov s pitno vodo je bila populacija Slovenije deljena na enake starostne skupine kot pri analizi doze zaradi zraka. Meritve radionuklidov pitne vode so bile letno izvedene na petnajstih različnih lokacijah po Sloveniji in meritve je izvedel IJS. Primer lokacije meritev v letu 2021 je predstavljen na Slika 7.

Povprečno koncentracijo radionuklida v pitni vodi v Sloveniji smo dobili s povprečenjem vseh meritev opravljenih v zadnjih petih letih (2018 – 2022). Vrednosti so predstavljene v Tabela 3 in poglavju 10.2. Pri izračunu letne doze zaradi pitne vode je potrebno tudi upoštevati, da različne starostne skupine popijejo različne količine vode na leto. Pri analizi smo uporabili podatke o volumnu popite vode: 0,165, 0,465, 0,75, 0,75 in 0,75 m<sup>3</sup> [21] vode na leto po starostnih skupinah. Letna doza se zračuna po enačbi:

$$D [mSv/leto] = \sum_j \sum_i F_{ij} c_i V_j, \quad (3)$$

kjer indeksa  $i$  in  $j$  predstavljata različne izotope in starostne skupine,  $F_{ij}$  je dozni pretvorni faktor iz ICRP 119 za izotop  $i$  in starostno skupino  $j$  v enotah Sv/Bq (predstavljeno v poglavju 11),  $c_i$  je koncentracija izotopa  $i$  v vodi v enotah Bq/m<sup>3</sup> in  $V_j$  je količina popite vode na leto za starostno skupino  $j$ .



Slika 7: Lokacije vzorčenja vzorcev pitne vode v letih 2018 do 2022.

Tabela 3: Povprečne koncentracije radioaktivnih izotopov v pitnih vodah Slovenije.

Izotop	Koncentracija izotopa [Bq/m <sup>3</sup> ]
U-238	4,19E+00 ± 1,61E+00
Ra-226	5,01E+00 ± 2,53E+00
Pb-210	3,10E+00 ± 1,53E+00
Ra-228	2,46E+00 ± 2,00E+00
Th-228	5,72E+02 ± 1,78E+02
K-40	2,45E+01 ± 1,05E+01
Be-7	2,87E+01 ± 1,97E+00

Po izbranih starostnih skupinah so letne doze zaradi radionuklidov v pitni vodi 0,007 mSv, 0,013 mSv, 0,012 mSv, 0,024 mSv in 0,008 mSv (podrobne vrednosti predstavljene v Tabela 4). Z upoštevanjem starostne strukture prebivalstva v Sloveniji, kot je predstavljeno v poglavju 3, je povprečna letna doza zaradi pitja vode, ki vsebuje naravne radioaktivne izotope **0,009 mSv ± 0,002 mSv**. K celotni dozi prispevajo največ izotopi Ra-226, Pb-210, Ra-228 in Th-230.

Tabela 4: Doza prejeta v enem letu zaradi zaužitja radioaktivnih izotopov s pitno vodo po starostnih skupinah.

[Sv]	0 – 4 let	5 – 9 let	10 – 14 let	15 – 19 let	Odrasli
U-238	8,3E-08 ± 3,2E-08	1,6E-07 ± 6,0E-08	1,3E-07 ± 5,1E-08	2,1E-07 ± 8,1E-08	1,4E-07 ± 5,4E-08
Ra-226	7,9E-07 ± 4,0E-07	1,4E-06 ± 7,3E-07	1,9E-06 ± 9,4E-07	5,6E-06 ± 2,8E-06	1,1E-06 ± 5,3E-07
Pb-210	1,8E-06 ± 9,1E-07	3,2E-06 ± 1,6E-06	2,7E-06 ± 1,3E-06	4,4E-06 ± 2,2E-06	1,6E-06 ± 7,9E-07
Ra-228	2,3E-06 ± 1,9E-06	3,9E-06 ± 3,2E-06	4,5E-06 ± 3,6E-06	9,8E-06 ± 8,0E-06	1,3E-06 ± 1,0E-06
Th-228	3,5E-08 ± 1,1E-08	5,9E-08 ± 1,8E-08	3,8E-08 ± 1,2E-08	4,1E-08 ± 1,3E-08	3,1E-08 ± 9,6E-09
K-40	1,7E-06 ± 5,3E-07	3,5E-06 ± 1,1E-06	2,7E-06 ± 8,7E-07	4,0E-06 ± 1,3E-06	3,9E-06 ± 1,2E-06
Be-7	2,0E-07 ± 7,3E-08	2,8E-07 ± 1,0E-07	1,7E-07 ± 6,4E-08	1,6E-07 ± 6,0E-08	1,3E-07 ± 4,9E-08

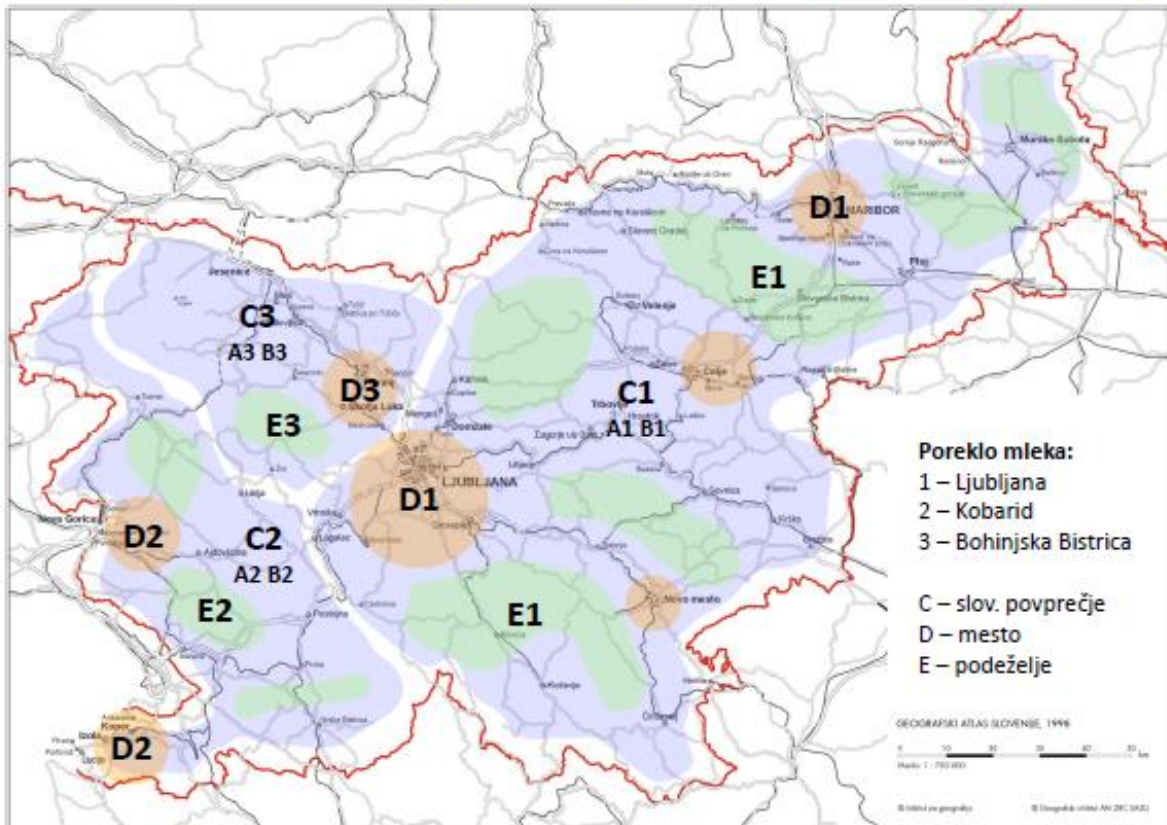
### 5.3 Hrana

Pri izračunu doze zaradi vnosa radionuklidov s hrano je bila populacija Slovenije deljena na več podskupin po starosti, saj so dozni pretvorni faktorji po starostih različni v ICRP 119 [22]. V analizi smo prebivalstvo delili po lokacijah bivanja. Zaradi lokalnih posebnosti smo naredili oceno doz zaradi ingestije mleka za tri lokacije, in sicer za Ljubljano (kot slovensko povprečje) ter za Kobarid in Bohinjsko Bistrico. Oceno doz opišemo tako za različne starostne skupine prebivalstva in različne lokacije zaradi ingestije mleka. Razdelitev skupin je shematsko prikazana na Slika 8.

Meritve radionuklidov v hrani so bile izvedene s strani ZVD in so zajemale mleko, meso, sadje, zelenjavo in moko. Meritve vzorcev hrane se letno izvajajo v okviru programa meritev radioaktivnosti vzorcev hrane URSVS in zajemajo najpomembnejša živila rastlinskega in živalskega porekla, ki se sezonsko jemljejo na različnih področjih Slovenije – v Prekmurju, na Štajerskem, na Gorenjskem, na Primorskem, na Notranjskem in na Dolenjskem. Meritve se izvajajo tudi za celotne obroke otroške hrane v vrtcih večjih mest. Lokacije vzorčenja so različna vsako leto, primeri vzorčnih lokacij hrane za leto 2021 so prikazani na Slika 9.



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



Slika 8: Shematski prikaz določitve različnih starostnih in referenčnih skupin uporabljenih pri analizi. Slika vzeta iz [21].

Poleg delitve prebivalcev Slovenije po lokaciji bivanja smo prebivalstvo delili tudi na starostne skupine med 0 – 4 let, 5 – 14 let in odrasli zaradi podatkov o količine zaužite letne hrane. Po podatkih kuhinje Pediatrične klinike v Ljubljani (marec 2005) popijejo dojenčki do šestega meseca od 0,6 – 1,0 litra mleka

### Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

na dan (v obliki adaptiranega kravjega mleka, če niso dojeni). Po šestih mesecih se količina mleka zmanjša na 0,5 – 0,7 litra na dan, ker začnejo uživati sadje, zelenjavo in meso. V naši oceni smo za dojenčke upoštevali podatke Pediatrične klinike v Ljubljani, ki so navedeni v Tabela 5.

Za otroke od 5 do 14 let smo upoštevali podatke IAEA (za Nemčijo), tabela III [23], ki združuje podatke o porabi hrane za otroke od 7 do 12 let, ker za Slovenijo ni ustreznih podatkov za to starostno skupino.

Tabela 5: Letna količina zaužite hrane za starostne skupine.

Starostna skupina	Povprečna količina zaužite hrane v enem letu [kg]						
	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko <sub>L</sub>	mleko <sub>KO</sub>	mleko <sub>BB</sub>
Dojenčki	22,5	22,5	11,0	7,5	199,4	199,4	199,4
5 – 14 let	76,3	37,6	55,8	71,9	73,0	73,0	73,0
Odrasli	85,9	86,4	56,6	52,6	54,3	54,3	54,3
V mestu	77,3	77,7	56,6	52,6	48,9	48,9	48,9
Na podeželju	94,5	95	56,6	52,6	59,7	59,7	59,7

Za odrasle smo upoštevali zadnje dostopne podatke Statističnega urada RS iz leta 2018 o letni količini zaužite hrane posameznega tipa [13]. V primeru odraslih smo poleg statističnega povprečja upoštevali dve referenčni skupini prebivalstva, živeče v urbanem in ruralnem območju, ki imajo hipotetično različne prehranjevalne navade (za ti dve skupini so količine arbitrarno popravljene, kjer v mestih upoštevamo 10 % manjšo porabo sadja in zelenjave ter mleka, na podeželju pa 10 % večjo porabo teh živil). Razdelitev skupin je shematsko predstavljena na Slika 8, privzete količine zaužite hrane v enem letu pa so podane v Tabela 5.

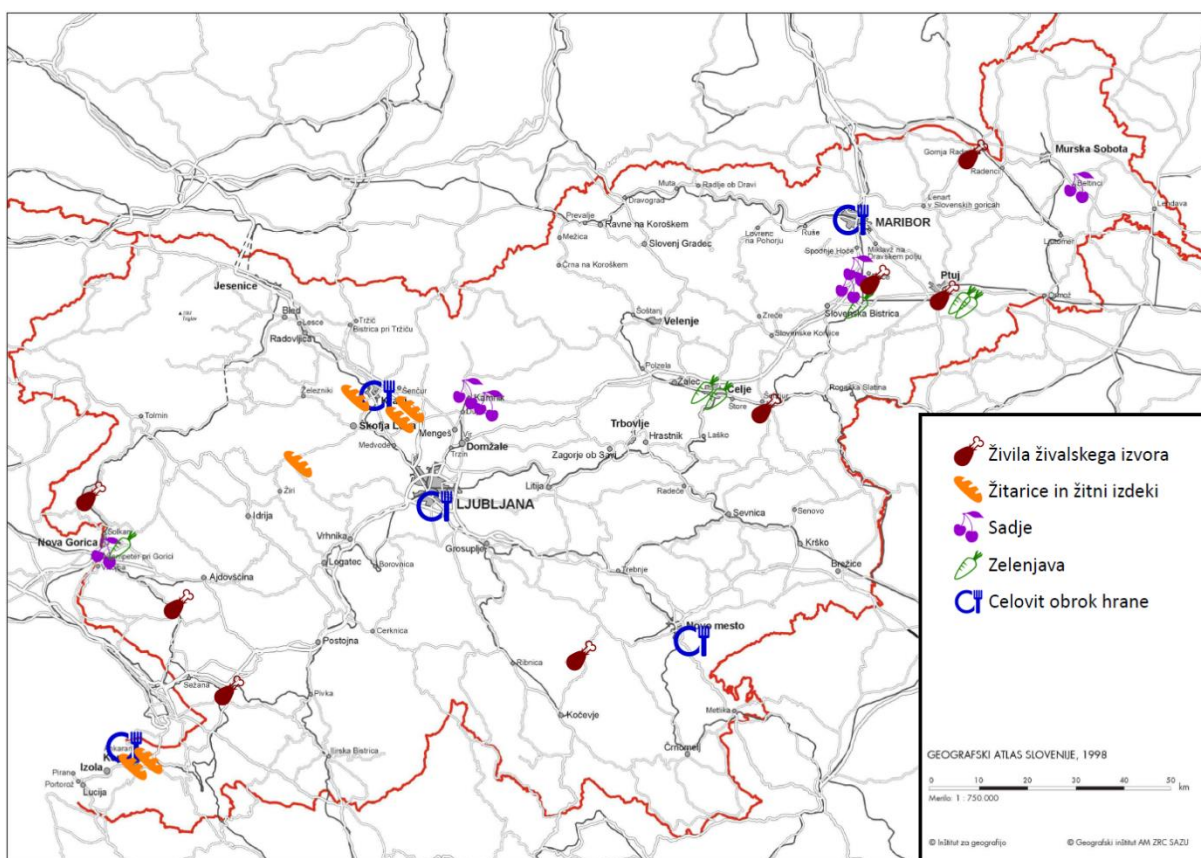
Zelenjava zavzema vse vrste, sadje zavzema vse vrste in sadne sokove, moka zavzema riž, kruh, pekovske izdelke, testenine, moko, kosmiče in zdrob, ter meso zavzema vso meso in mesne izdelke, ribe in jajca. Povprečne vrednosti uporabljene pri analizi so predstavljene v poglavju 10.3.

Letna doza je tako bila izračuna po enačbi ( 3 ) kot v primeru izračuna doze zaradi zaužitih radionuklidov s pitno vodo.

Na podlagi zgornjih podatkov za starostno strukturo prebivalcev Slovenije so bile določene letne doze zaradi zaužitja različnih vrste hrane in so predstavljene v Tabela 6, doze po različnih radioaktivnih izotopih pa so predstavljene v poglavju 10.3. Povprečna letna doza zaradi zaužitja hrane je **0,288 mSv ± 0,010 mSv**. Največji prispevek k celotni letni dozi je zaradi izotopa K-40, ki prispeva kar 64 % (0,18 mSv) celotne doze, sledi pa mu izotop Pb-210, ki prispeva 25 % k celotni letni dozi. Pri tem je potrebno poudariti, da je bilo na podlagi številnih analiz ugotovljeno, da človeško telo lahko zadrži omejeno količino K-40, odvečne količine pa izloči iz telesa [24]. Tako oseba ne more prejeti višje doze zaradi večje količine zaužitega kalija.

Tabela 6: Letna doza zaradi zaužite posamezne vrste hrane po starostnih skupinah.

Starostna skupina	Povprečna letna doza zaradi zaužite hrane [ $\mu\text{Sv}$ ]						
	zelenjava	sadje	moka	meso	mleko <sub>L</sub>	mleko <sub>KO</sub>	mleko <sub>BB</sub>
Dojenčki	134 ± 21	76 ± 6	60 ± 8	33 ± 2	503 ± 18	518 ± 25	493 ± 29
5 – 14 let	171 ± 24	49 ± 4	127 ± 17	129 ± 10	65 ± 4	69 ± 5	64 ± 6
Odrasli	80 ± 12	48 ± 4	51 ± 7	37 ± 3	21 ± 1	21 ± 1	21 ± 2
V mestu	72 ± 11	43 ± 4	51 ± 7	37 ± 3	19 ± 1	19 ± 1	19 ± 2
Na podeželju	88 ± 14	52 ± 4	51 ± 7	37 ± 3	23 ± 1	24 ± 1	23 ± 2



Slika 9: Lokacije vzorčenja hrane v letu 2021. Slika je vzeta iz [20].

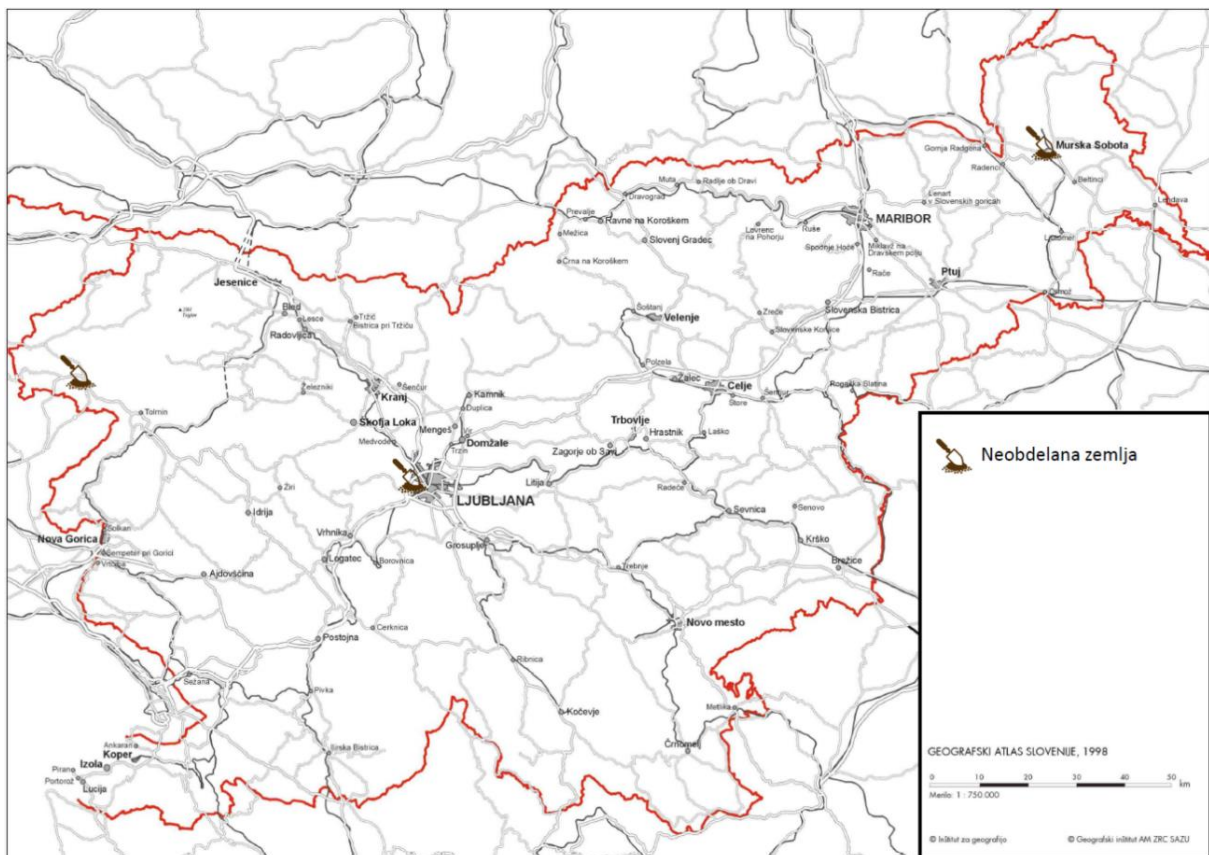
#### 5.4 Skupna letna doza zaradi vnosa radionuklidov s hrano, vodo in zrakom

V povprečju vsak prebivalec Slovenije letno zaradi vnosa radionuklidov v hrani, vodi in zraku prejme dozo **0,33 mSv ± 0,016 mSv**, h kateri hrana prispeva 87 % letne doze, pitna voda prispeva 3 % doze in dihanje prispeva 10 % doze. Razlogi za to so v veliki količini radioaktivnih izotopov v hrani in veliki količini zaužite hrane v letu v primerjavi s količini zaužite vode in količini vdihnjene zraka. Izračunana letna doza je zelo podobna do sedaj uporabljeni vrednosti 0,3 mSv predstavljeni v poglavju 2.

## 6. DOZA ZARADI ZUNANJEGA OBSEVANJA ZARADI NARAVNE RADIOAKTIVNOSTI V ZEMLJI

Radioaktivni izotopi v zemlji sevajo  $\alpha$ ,  $\beta$  in  $\gamma$  sevanje, med katerimi je najpomembnejše zadnje zaradi prodornosti žarkov iz zemlje v okoliški zrak. V času zadrževanja na prostem in v zgradbah tako ljudje prejemo dozo zaradi teh radioaktivnih izotopov v zemlji.

Meritve koncentracij radionuklidov v neobdelani zemlji v Sloveniji se dvakrat na leto izvajajo na treh različnih lokacijah. Na lokaciji Murska Sobota in Kobarid meritve izvaja ZVD, na lokaciji Ljubljana pa IJS. Lokacije so prikazane na Slika 10. Vzorci zemlje se jemljejo na petih globinah: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm, 30 – 40 cm in 40 – 50 cm. Za vsak vzorec se nato izvede gama spektrometrija za določitev koncentracij radioaktivnih izotopov.



Slika 10: Lokacije vzorčenja zemlje v letu 2022. Slika je vzeta iz [21].

Določitev letne doze zaradi zunanjega obsevanja v zunanjem okolju zaradi radioaktivnosti zemlje temelji na meritvah koncentracij radionuklidov v zemlji in pretvornih faktorjih za izračun doze. Pretvorni faktorji so podani v UNSCEAR 2008 poročilu [26]. Absorbirano dozo v zraku zaradi naravnih izotopov (U-238, Th-232 in K-40) in njihovih potomcev se izračuna po enačbi [26]:

$$TGDR [nGy/h] = 0,0417 \frac{nGy h^{-1}}{Bq kg^{-1}} C_K + 0,604 \frac{nGy h^{-1}}{Bq kg^{-1}} C_T + 0,462 \frac{nGy h^{-1}}{Bq kg^{-1}} C_U$$

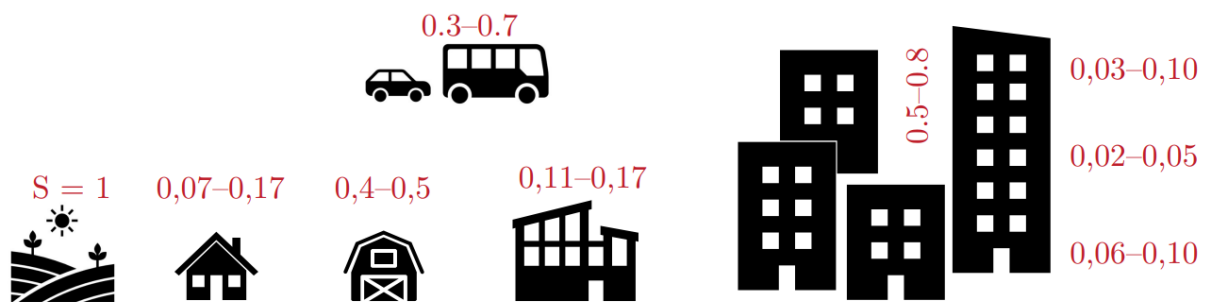
Kjer so vse koncentracije izotopov ( $C_K$ ,  $C_T$  in  $C_U$ ) podane v enoti Bq/kg. Pomembna predpostavka pri enačbi je, da so naravni izotopi K-40, Th-232 in U-238 in njihovi potomci v sekularnem ravnovesju, kar je za oceno letne doze zaradi teh izotopov v zemlji dobra predpostavka. Predpostavka je tudi, da so ti

izotopi po globini homogeno porazdeljeni v zemlji, v Sloveniji je okrog 10% obdelovalnih površin (podatki SURS za leto 2020 [27]), kjer je zemlja zaradi oranja dodatno homogenizirana po globini. Na podlagi meritev radioizotopov v zemlji smo določili povprečne koncentracije za Slovenija na  $42 \pm 9$  Bq/kg za izotop U-238,  $41 \pm 5$  Bq/kg za izotop in Th-232 in  $473 \pm 57$  Bq/kg za izotop K-40. Povprečna absorbirana dozna hitrost 1 meter nad tlemi v Sloveniji je tako  **$63,7 \pm 17,2$  nGy/h**. Končna letna doza ki jo prejme prebivalec Slovenije se izračuna po enačbi [12]:

$$D [mSv/leto] = F \cdot TGDR \cdot T[(1 - F_z) + (F_z \cdot S)]$$

Kjer je  $F$  faktor med absorbirano dozo v zraku in efektivno dozo zunanjega obsevanja. Vrednost je odvisna od starostne skupine in vrednosti so 0,91 Sv/Gy za dojenčke, 0,79 Sv/Gy za otroke in 0,7 Sv/Gy za odrasle (delitev po letih 0 – 4 let, 5 – 14 let in odrasli) [26].  $T$  je število ur v letu,  $F_z$  je delež časa zadrževanja v notranjosti zgradb (0,8) in  $S$  je redukcijski faktor zaradi ščitenja stavb (0,1).

Redukcijski faktorji zaradi ščitenja so odvisni od vrste zgradbe (eno ali dvonadstropna samostojna hiša, vrstna hiša, večnadstropne stavbe, ...), od uporabljenega gradbenega materiala (betonsko zidane hiše, lesena gospodarska poslopja), debelin materiala, površine oken, ipd. Shematsko so faktorji zaradi ščitenja zgradb, kar jih je moč najti v literaturi [28] [29] [30], prikazani na Slika 11. Da bi privzeli ustrezne faktorje zaradi ščitenja v bivalnih prostorih V Sloveniji po podatkih popisa prebivalstva iz leta 2011 je bilo enostanovanjskih stavb 53,5%, dvostanovanjskih stavb 7,0% in tro- ali več stanovanjskih stavb 36,4%. Z veliko gotovostjo na ruralnih območjih najdemo skoraj izključno samostojne hiše z enim ali dvema stanovanjema, po podatkih iz literature, ki so prikazani tudi na Slika 11, privzamemo srednji redukcijski faktor zaradi ščitenja 0,12. Za urbana območja lahko v grobem ocenimo, da je 2/3 stanovanjskih stavb z več stanovanji s srednjim redukcijskim faktorjem zaradi ščitenja 0,05, 1/3 pa v samostojnih hišah s srednjim redukcijskim faktorjem zaradi ščitenja 0,12. Z uteženim povprečjem tako privzamemo srednji redukcijski faktor zaradi ščitenja v Sloveniji 0,1 [31].



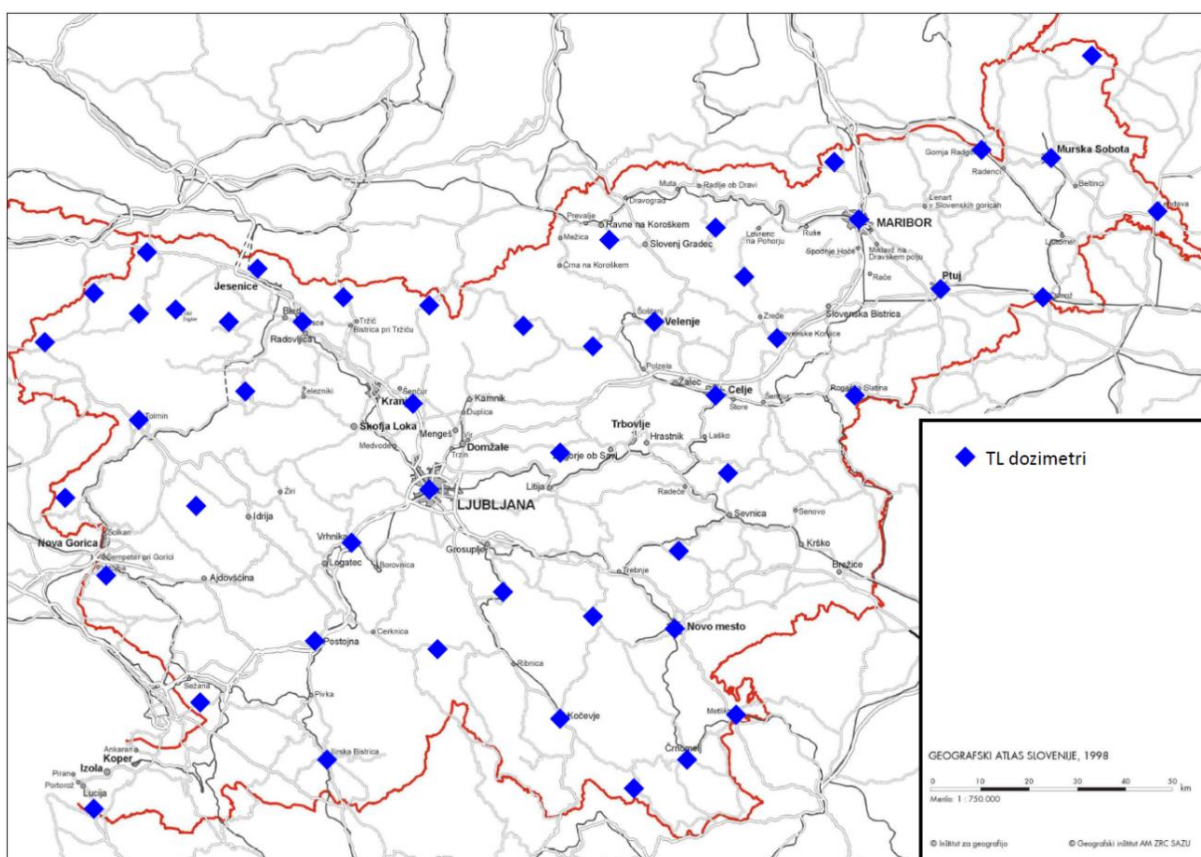
Slika 11: Shematski prikaz redukcijskega faktorja zaradi ščitenja glede na različno vrsto zgradb.

Pri analizi so povprečne vrednosti izotopov v zemlji bile narejene na osnovi rezultatov meritev v obdobju zadnjih petih let (2018 – 2022) in na petih globinah z izjemo leta 2018, ko so bile meritve izvedene samo na treh globinah (merilni program URSJV). Vse tri lokacije vzorčenja so bile združene v slovensko povprečje, saj se koncentracije naravnih radionuklidov niso bistveno razlikovalne. Vrednosti izmerjenih koncentracij radioaktivnih izotopov v zemlji so predstavljene v poglavju 10.4.

Po zgoraj zapisanih starostnih skupinah in enačbah smo določili letne doze zaradi zunanjega obsevanja v zunanjem okolju zaradi radioaktivnosti zemlje na 0,142 mSv, 0,123 mSv in 0,109 mSv. Z upoštevanjem starostne strukture prebivalstva Slovenije je povprečna letna doza zaradi zunanjega obsevanja v zunanjem okolju zaradi radioaktivnosti zemlje  **$0,112$  mSv  $\pm$   $0,008$  mSv**.

## 6.1 Meritve s termoluminiscenčni dozimetri

Doza zaradi zunanjega obsevanja v zunanjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v zemlji je mogoče določiti tudi z uporabo termoluminiscenčnih dozimetrov (TLD). Detektorji so postavljeni na prostem na petdesetih različnih lokacijah po Sloveniji, ki so prikazane na Slika 12 in vrednosti so predstavljene v poglavju 10.5. Letne meritve doze na prostem izvaja IJS in je posledica dveh prispevkov – doze zaradi kozmičnega sevanja in doze zaradi radionuklidov v zemlji. Za izračun doze zaradi radionuklidov iz zemlje na osnovi TLD meritev je od izmerjenih vrednosti potrebno odšteti dozo zaradi kozmičnih žarkov, ki smo jo določili v poglavju 4 (izračunano kozmično dozo je potrebno pretvoriti v kozmično dozo brez zadrževanja v stavbah). Povprečna letna doza na prostem pridobljena iz petdeset TLD meritev po Sloveniji je  $865 \mu\text{Sv}$ . Od pridobljene letne doze pa je potrebno odšteti prispevek zaradi kozmičnega sevanja, ki na leto znese  $429 \mu\text{Sv}$ . Preostanek lahko pripišemo prispevku zaradi radioaktivnih izotopov v zemlji ki znaša  $436 \mu\text{Sv}$  na leto. Na osnovi te vrednosti in časa zadrževanja ljudi na prostem in v stavbah je bila določena letna doza zaradi obsevanja iz zunanjega okolja zaradi naravne radioaktivnosti v zemlji  $0,122 \text{ mSv} \pm 0,054 \text{ mSv}$ . Pri izračunu doze smo upoštevali čas zadrževanja v zaprtih prostorih (0,8) in redukcijski faktor zaradi ščitenja stavb (0,1). Doza se v okviru napake ujema z vrednostjo izračunano na podlagi meritev izotopov v zemlji. Pri določitvi skupne letne doze zaradi naravnega sevanja v Sloveniji smo upoštevali dozo izračunano na osnovi meritev koncentracije radioaktivnih izotopov v zemlji.

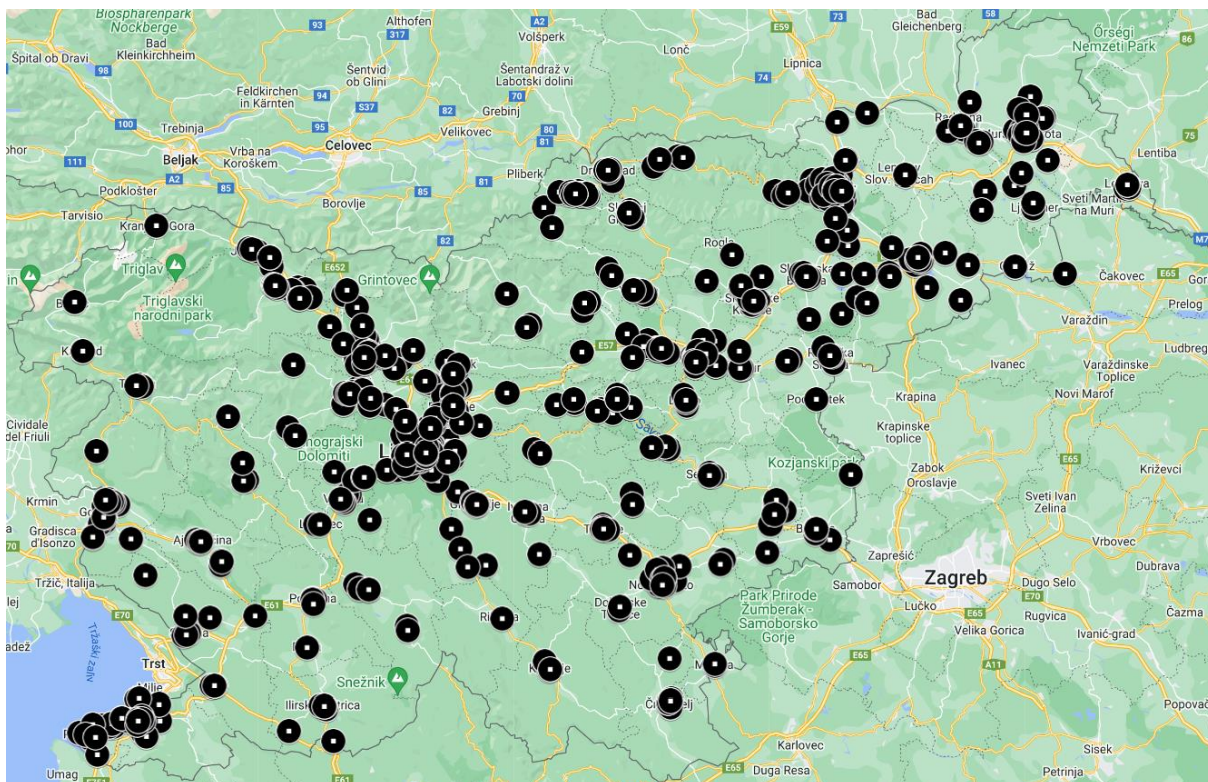


Slika 12: Lokacije TL dozimetrov po Sloveniji za meritve doze zunanjega sevanja. Slika je vzeta iz [21].

## 7. DOZA ZUNANJEGA OBSEVANJA V NOTRANJEM OKOLJU ZARADI NARAVNE RADIOAKTIVNOSTI V GRADBENIH MATERIALIH

Pri izdelavi gradbenega materiala se uporabljajo naravne surovine in industrijski stranski proizvodi, ki vsebujejo naravne radioaktivne izotope, ki so prisotni v zemeljski skorji. Radionuklidi v gradbenih materialih lahko povzročajo obsevanost ljudi, ki bivajo v zaprtih prostorih, bodisi preko direktnega obsevanja bodisi preko vdihavanja kratkoživih potomcev radona. Po eni strani zaprti prostori nudijo zaščito pred zunanjim (kozmičnim) sevanjem, po drugi strani pa so gradbeni materiali sami vir sevanja. Kadar vsebujejo povišane koncentracije radionuklidov, so v prostorih povišane tudi ravni sevanja ali koncentracije radona in povzročajo sevalne obremenitve prebivalstva.

Določitev letne doze zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih temelji na TLD meritvah ozadja v okviru izvajanja osebne dozimetrije delavcev, ki delajo z viri sevanja. Meritve izvaja ZVD ob začetni postavitvi virov sevanja v podjetjih in v nekaterih primerih kontinuirane letne meritve. Baza TLD meritev ozadja v stavbah tako zavzema več kot 1000 podjetij v obdobju od leta 2010 do leta 2023 s kar nekaj podjetji z večletnimi meritvami. Meritve tudi zajemajo številne različne zgradbe, od starih do novih zgradb. Lokacije merjenih ozadij so predstavljene na Slika 13.



Slika 13: Lokacije TLD meritev naravnega ozadja v stavbah.

Pomembna opomba pri TLD meritvah, ki jih izvaja ZVD v namen osebne dozimetrije je, da se s TLD merilniki meri  $H_p(10)$  doza (osebna doza) in ne  $H^*(10)$  doza kot v primeru IJS TLD meritev. Razlog za meritve  $H_p(10)$  doze je v določitvah osebnih prejetih doz zaposlenih na delovnih mestih med delom z

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

viri sevanja. Razlika med  $H_p(10)$  in  $H^*(10)$  je v kalibraciji TLD-jev, ki je za  $H_p(10)$  izvedena s pomočjo vodnega fantoma in Cs-137 gama izvora (661 keV) pod kotom  $0^\circ$ . Pretvorni faktor med  $H_p(10)$  dozo in  $H^*(10)$  dozo je tako odvisen od energije gama izvora in kota med TLD-jem in fantomom in je zbran v poročilu ICRU Report 57 [32]. Za uporabljene kalibracijske pogoje je pretvorni faktor  $H_p(10)/H^*(10)$  1,04.

Od TLD meritev pa je za določitev letne doze zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih potrebno odšteti deleže kozmičnega sevanja in sevanja zemlje, ki pridejo v objekt. Faktorji zaradi ščitenja uporabljeni v analizi so bili 0,8 za kozmično sevanje in 0,2 za sevanje zemlje. Z enačbo lahko to zapišemo kot:

$$D_N = 0,8(D_{TLD} - D_K - D_Z),$$

kjer je  $D_N$  doza zunanjega obsevanja v notranjem okolju,  $D_{TLD}$  je povprečna letna doza ozadja izmerjena s TL detektorji,  $D_K$  je prispevek kozmičnega sevanja v prostoru stavbe, ki znaša  $429 \mu\text{Sv}$  na leto in  $D_Z$  je prispevek letne doze sevanja zaradi radioaktivnih izotopov v zemlji v stavbah, ki znaša  $39 \mu\text{Sv}$  na leto.

S povprečjem vseh TLD meritev v zgradbah in odštetjem zunanjega sevanja smo določili dozo zaradi gradbenih materialov. Pri izračunu je tudi potrebno upoštevati, da se v stavbah zadržujemo 80 % časa. Določena letna doza zaradi zunanjega obsevanja v notranjem okolju zaradi naravne radioaktivnosti v gradbenih materialih je **0,209 mSv  $\pm$  0,056 mSv**.

### 7.1 Koncentracije radionuklidov v gradbenih materialih

Dozo prejeto v zgradbah zaradi radioaktivnih izotopov v gradbenih materialih lahko določimo tudi na podlagi meritev koncentracij izotopov v gradbenih materialih. Na področju Slovenije so bile v preteklih letih izvedena projekta Radioaktivnost gradbenih materialov in gradbenih elementov v visoki gradnji v Sloveniji v letu 2008 [33] in študija identifikacije in primernosti gradbenega materiala za uporabo z vidika izpostavljenosti naravnim radionuklidom v letu 2021 [34]. V projektih so analizirali koncentracije radioaktivnih izotopov v številnih različnih gradbenih materialih, kot so glinene in betonske opeke, cementi za omete sten, keramične plošče in mavčne plošče. Na osnovi meritev predstavljenih v obeh projektih smo določili povprečne vrednosti izotopov U-238, Th-232 in K-40 v gradbenih materialih. Povprečne vrednosti so  $53 \text{ Bq/kg}$  za U-238,  $35 \text{ Bq/kg}$  za izotop Th-232 in  $386 \text{ Bq/kg}$  za izotop K-40. Pri tem je potrebno poudariti, da v analizi nismo upoštevali vrednosti keramičnih ploščič, ki imajo v visoke vrednosti koncentracij radioaktivnosti v primerjavi s preostalimi gradbenimi materiali, hkrati pa so v tipičnih bivanjskih prostorih količinski deleži takih oblog bistveno manjši glede na ostale uporabljene gradbene materiale.

Na podlagi izračunanih povprečnih vrednosti koncentracij izotopov lahko izračunamo dozo prejeto v prostoru dimenzije  $5 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}$  [35], [36]:

$$D [n\text{Gy/h}] = 0,08 \frac{n\text{Gy h}^{-1}}{\text{Bq kg}^{-1}} C_K + 1,1 \frac{n\text{Gy h}^{-1}}{\text{Bq kg}^{-1}} C_T + 0,92 \frac{n\text{Gy h}^{-1}}{\text{Bq kg}^{-1}} C_U$$

kjer so vse koncentracije izotopov ( $C_K, C_T$  in  $C_U$ ) podane v enoti  $\text{Bq/kg}$ . Od izračunane doze je potrebno odšteti dozo v prostorih zaradi kozmičnega sevanja in tal, ki v primeru Slovenije znaša  $68 \text{ nGy/h}$ . Letna doza zaradi naravnih radioaktivnih izotopov v gradbenih materialih je bila določena na **270  $\mu\text{Sv}$   $\pm$  51  $\mu\text{Sv}$** . Izračunana vrednost je v zelo dobrem ujemanju z dozo izračunano na osnovi TLD



meritev. Pri določitvi letne doze zaradi naravnega sevanje v Sloveniji smo upoštevali dozo izračunano na osnovi TLD meritev ozadij v zgradbah po Sloveniji.

## 8. DOZA ZARADI VDIHAVANJA RADONA IN POTOMCEV

Dolgoživi radionuklidi U-238, Th-232 in U-235 so začetni izotopi dolgih naravnih razpadnih nizov. V vsakem razpadnem nizu se nahaja eden izmed radijevih izotopov Ra-226, Ra-224 in Ra-223. Ti razpadajo v izotope radona Rn-222 (radon), Rn-220 (toron) in Rn-219 (aktinon), ki so vsi radioaktivni inertni plini. Izotopi so med seboj kemijsko enaki, razlikujejo pa se po razpolovnih časih, ki so 2,82 dni za radon, 55,6 s za toron in 3,96 s za aktinon [37]. Vsi trije izotopi radona razpadajo z alfa razpadom v izotope polonija, ki nato razpadajo naprej vse do končnega stabilnega izotopa svinca. Najpomembnejši izotop je radon, ki skupaj s potomci prispeva k sevalnim obremenitvam zaradi vdihavanja skoraj 90 %, toron s potomci prispeva okoli 10 %, medtem ko aktinon s potomci prispeva manj kot 1 % [38].

Radon pronica iz tal proti površju, kjer se zbira v zaprtih prostorih ali pa izhaja v atmosfero. Količine radona v zaprtih prostorih so lahko tako visoke, da povzroči sevanje alfa v življenjski dobi človeka nepopravljive spremembe v celicah pljučnega tkiva, katerih posledica je lahko rakavo obolenje.

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je v letih med 2005 in 2007 izvajala mednarodni radonski projekt, v katerem so sodelovali strokovnjaki iz več kot 30 držav vsega sveta. V knjigi WHO Handbook on Indoor Radon [39] so zapisali, da epidemiološke študije potrjujejo povezavo med koncentracijo radona v bivalnem okolju in verjetnostjo za rakasta obolenja pljuč. Predlagali so zgornjo mejo za povprečno celoletno koncentracijo radona v bivalnem okolju  $300 \text{ Bq/m}^3$ , kar ustreza efektivni letni dozi 10 mSv.

Mednarodna komisija za varstvo pred sevanji (ICRP) je v svojih publikacijah ICRP 115 [40] in ICRP 137 [5] predstavila ugotovitve epidemioloških študij, ki potrjujejo vzročno povezavo med koncentracijo radona in pljučnim rakom. Komisija je tudi predlagala faktor rizika  $8 \cdot 10^{-10} \text{ Bqhm}^{-3}$ , kar je skoraj dvakrat več od predhodnega faktorja rizika navedenega v publikaciji ICRP 65 [10].

Na podlagi evropske direktive, Council Directive 2013/59, Euratom, OJ L13, 2014 [41], smo tudi v Sloveniji sprejeli referenčno raven povprečne celoletne koncentracije radona v delovnem in bivalnem okolju, ki znaša  $300 \text{ Bq/m}^3$ , ter dozne pretvorne faktorje (Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-10) [3] in Uredba o nacionalnem radonskem programu (Uradni list RS, št. 18/18, 86/18 in 152/20) [4]).

Določitev letne doze zaradi vdihavanja radona in potomcev temelji na številnih meritvah koncentracije radona v zgradbah ter pretvorbenih faktorjih za izračun doze na osnovi koncentracije radona, ki so zabeleženi v Uredbi o nacionalnem radonskem programu [4] ter so začeli veljati z začetkom leta 2023. Slovenija odstopa od svetovnega povprečja zaradi geološke sestave tal. Po UNSCEAR 2000 je povprečna koncentracija radona v stavbah na svetu  $40 \text{ Bq/m}^3$  [42]. V Sloveniji imajo le redka območja tako nizko vrednost, večji del ozemlja Slovenije ima višje vrednosti. Uredba o nacionalnem radonskem programu [4], deli Slovenske občine na tiste z višjimi vrednostmi radona, srednjimi vrednostmi radona in preostale. Občine, ki imajo višje vrednosti radona so (prikazane na Slika 14 z rdečo barvo):

Bloke, Cerknica, Črnomelj, Divača, Dobropolje, Dolenjske Toplice, Hrpelje-Kozina, Idrija, Ig, Ivančna Gorica, Kočevje, Komen, Logatec, Loška dolina, Loški Potok, Miren-Kostanjevica, Pivka, Postojna, Ribnica, Semič, Sezana, Sodražica, Vrhnika, Žužemberk.

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Občine, ki imajo srednjimi vrednostmi radona so (prikazane na Slika 14 z rumeno barvo):

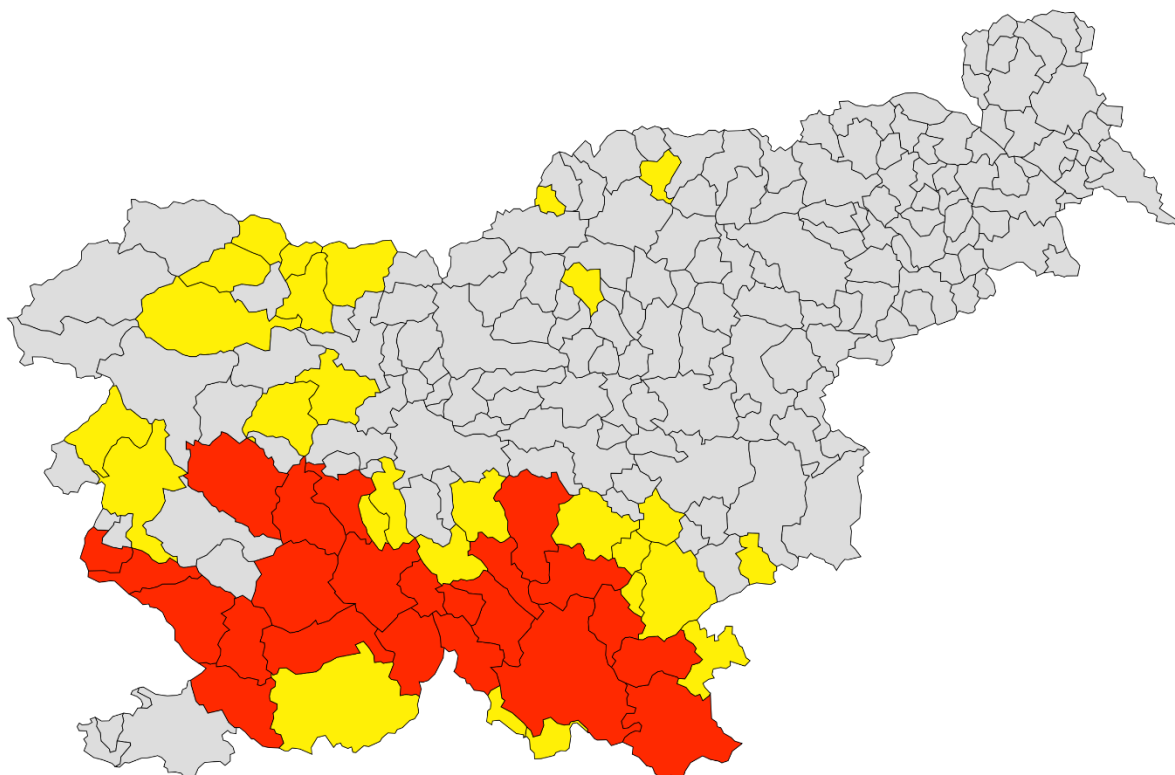
Bohinj, Borovnica, Brezovica, Gorenja vas-Poljane, Gorje, Grosuplje, Ilirska Bistrica, Jesenice, Kanal, Kostanjevica na Krki, Kostel, Metlika, Mežica, Mirna Peč, Mokronog-Trebelno, Mozirje, Nova Gorica, Novo mesto, Osilnica, Radovljica, Straža, Škofja Loka, Trebnje, Tržič, Velike Lašče, Vuzenica in Žirovnica.

V teh občinah v skladu z uredbo Uredba o nacionalnem radonskem programu zato poteka sistematično merjenja radona v šolah, vrtcih, gospodarskih objektih in stanovanjskih objektih.

Doza zaradi radona in njegovih potomcev se izračuna na osnovi koncentracije radona in pretvornih faktorjev:

$$D = DCF \cdot C \cdot F \cdot t, \quad (4)$$

kjer je  $t$  čas zadrževanja v prostoru,  $C$  je izmerjena koncentracija radona v  $\text{Bq/m}^3$ ,  $F$  je faktor ravnovesja in  $DCF$  dozni pretvorbni faktor 10 mSv/WLM (working level months: 170 ur  $\times$  3700  $\text{Bq/m}^3$ ) [5, 4]. Pretvorni dozni faktor za radon se je povečal iz 4 mSv/WLM na 10 mSv/WLM za splošno populacijo s poročilom ICRP 137, medtem ko je faktor za opravljanje intenzivnih del v območjih z visokimi koncentracijami radona, ko so jame, 20 mSv/WLM.

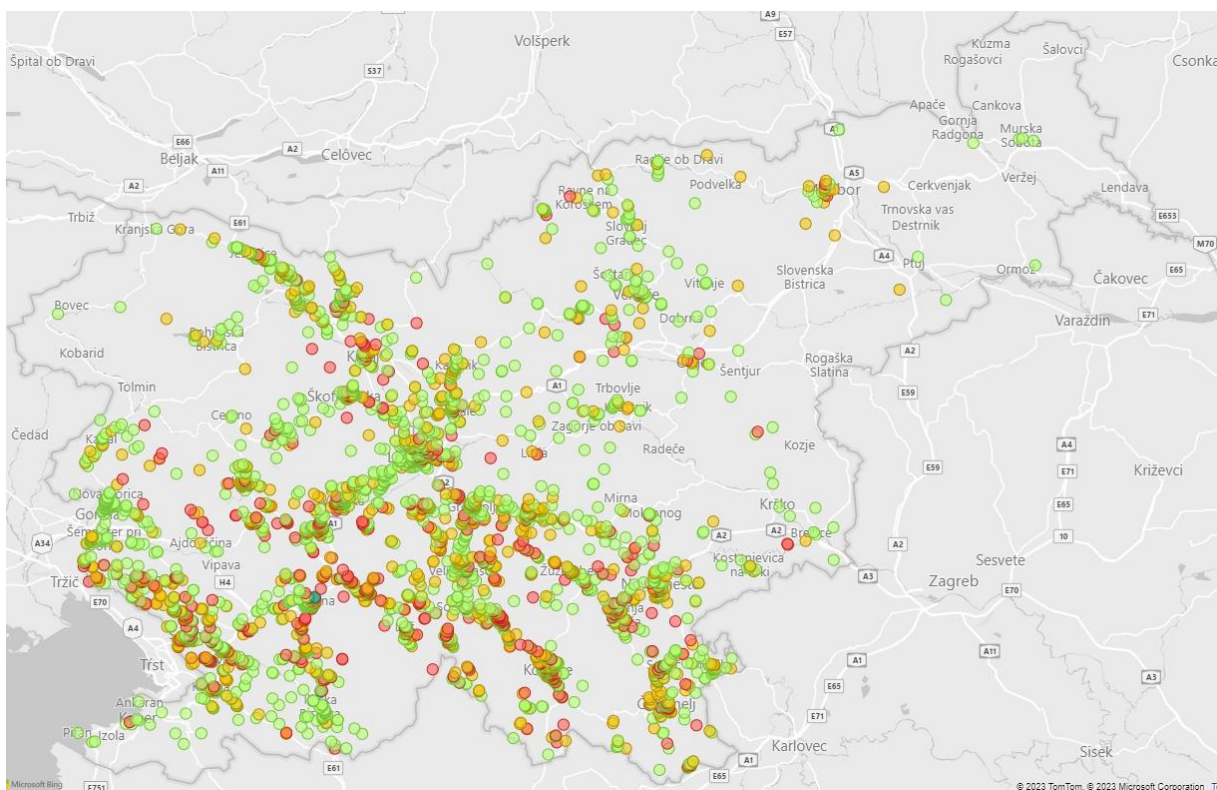


Slika 14: Stopnje tveganja izpostavljenosti koncentraciji radona po občinah Slovenije. Z rdečo barvo so označene občine z visoko stopnjo tveganja, z rumeno barvo so označene občine s srednjo stopnjo tveganja in z sivo barvo občine z nizko stopnjo tveganja. Slika je vzeta iz [43].

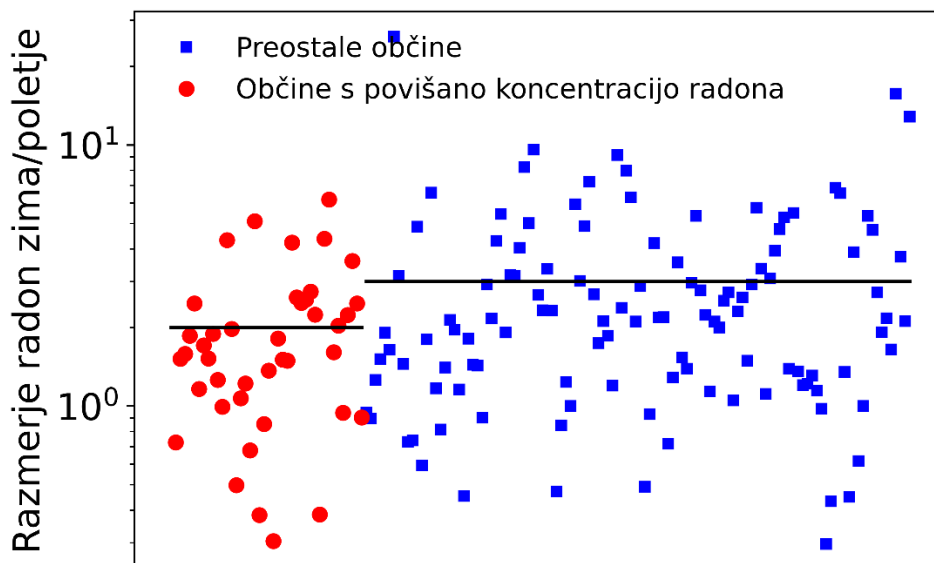
Zaradi povečane koncentracije radona v nekaterih delih Slovenije se že vrsto let izvajajo sistematične meritve koncentracije radona. Nekateri meritve v šolah, vrtcih, podjetjih in stanovanjskih objektih izvaja ZVD, rezultatih katerih so predstavljeni v poročilih Sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja [44, 45, 46, 47, 48]. Lokacije meritev v obdobju med 2018 in 2023 so prikazane na Slika 15 iz katere je razvidno, da je večje število meritev izvedenih na območjih s povečanimi

koncentracijami radona. Poleg osredotočenih meritev koncentracije radona v tako imenovanih radonskih občinah, so bile izvedene tudi vseslovenske meritve. Prve so bile izvedene v obdobju november 1993 – februar 1994 [8] in rezultati so predstavljeni v poglavju 2.1. Ker pa so te meritve zajemale samo zimsko obdobje, so bile izvedene nove vseslovenske meritve v letih 2011 in 2012, ki so zajemale tako meritve v zimskih kot tudi v poletnih mesecih [49]. Meritve so bile narejene s strani IJS.

Pri analizi koncentracij radona v zgradbah, izvedenih s strani ZVD, smo upoštevati tudi čas izvajanja meritev koncentracije radona, saj so pretekle meritve pokazale, da so koncentracije radona v zimskih mesecih višje kot v poletnih mesecih. Za določitev razmerja med zimskim in poletnim časom so bile uporabljene meritve koncentracije radona v šolah, saj so bile za veliko število šol izvedene meritve tako v zimskem kot tudi v poletnem času. Analizo razmerja smo razdelili na dve skupini, občine s povečano koncentracijo radona in preostale občine. Meritve so pokazale, da je razmerje med povprečno koncentracijo radona pozimi in poleti manjše v kraškem delu Slovenije (večinoma južna polovica Slovenije) in večje na drugih delih v Sloveniji. Razlog je v tem, da vdira radon v stavbe v kraškem okolju zaradi konvekcije, drugje pa tudi zaradi difuzije. Rezultati so prikazani na Slika 16 in na podlagi teh rezultatov smo določili razmerje med zimsko in poletno koncentracijo **2** za občine s povečano koncentracijo radona in **3** za preostale občine. Ta razmerja so bila uporabljena pri določitvi povprečne letne koncentracije radona v analiziranih stavbah.



Slika 15: Zemljevid meritev koncentracije radona izvedenih s strani ZVD med leti 2018 in 2023. Barve krogecv označujejo najvišje izmerjene koncentracije radona ( zelena  $< 300 \text{ Bq/m}^3$ , rumene  $< 1000 \text{ Bq/m}^3$  in rdeče  $> 1000 \text{ Bq/m}^3$ ).



Slika 16: Rezultati analize razmerja koncentracije radona med zimo in poletjem. Rezultati so razdeljeni na dva dela – rdeča predstavlja meritve v občinah s povečano koncentracijo radona, medtem ko modra predstavlja meritve v preostalih občinah.

Podatki o številu in starostni sestavi prebivalcev posamezne občine so bili pridobljeni s strani SURS [13]. Prebivalstvo smo razdelili na tri starostne skupine: šolske otroke do 14 leta starosti, aktivno prebivalstvo od 15 – 64 let in upokojenci od 65 let naprej. Razlog za takšno delitev je v dnevnem gibanju prebivalcev. Dodatno so bili pri analizi uporabljeni podatki o številu delovnih mest na občino iz SURS [13]. Tako smo pri izračunu doze upoštevali, da delež prebivalcev dnevno migrira v druge občine na delo. Kot primer si pogledjmo občino Ljubljano, kjer je za vsakega aktivnega prebivalca 1,9 delovnih mest v občini. Oziroma drugače povedano, na delo v Ljubljano se dnevno pripelje skoraj še enkrat več ljudi kot je število delovno aktivnih prebivalcev občine.

Na podlagi takšnega gibanja prebivalcev smo za vsako starostno skupino ločeno določili čas izpostavljenosti radonu v zaprtih prostorih.

Za otroke je bil določen čas izpostavljenosti:

- 9 mesecev
  - o 4 ure v šoli + 15 ur doma + 5 ur zunaj, kar je 80 % časa v zaprtih prostorih in 20 % časa zunaj
- 3 mesece:
  - o 19 ur doma + 5 ur zunaj, kaj je 80 % časa v zaprtih prostorih in 20 % časa zunaj (poletni meseci)

Za aktivno prebivalstvo je bil določen čas izpostavljenosti:

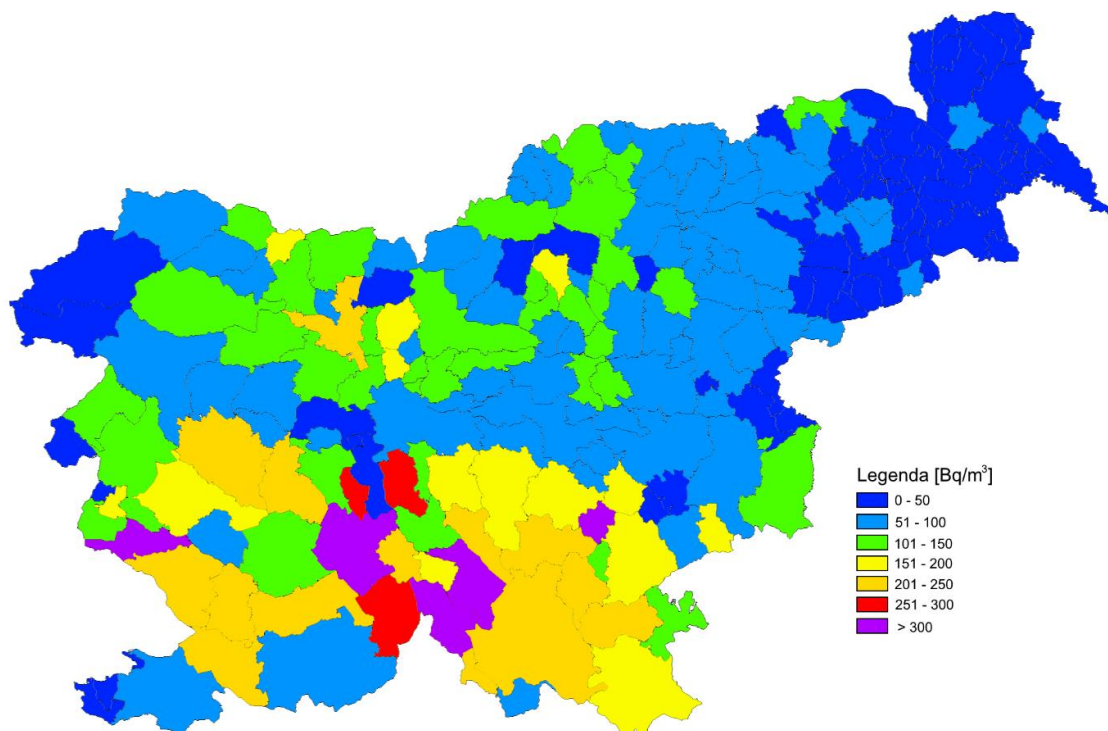
- 5 dni na teden
  - o 12 ur doma + 7 ur v službi (glede na delovna mesta v občini) + 1 ura zunaj za prevoz na delo + 1 ura zunaj v službi + 3 ure zunaj (skupaj 15 ur doma od tega 80 % časa v domu in 20 % časa zunaj in 9 ur v službi, od tega 2 uri zunaj in prevoz na delo)
- 2 dni na teden
  - o 19 ur doma + 5 ur zunaj (80 % časa v domu + 20 % časa zunaj)

Za upokojence je bil določen čas izpostavljenosti:

- 19 ur doma + 5 ur zunaj (80 % časa v domu + 20 % časa zunaj)

Pri analizi je bilo uporabljenih več kot 7000 ZVD meritev koncentracije radona izvedenih v obdobju med 2018 in 2023. Meritve so bile izvedene v vrtcih, šolah in stanovanjskih objektih znotraj merilnega programa URSVS, medtem ko so bile meritve v podjetjih izvedene pa podlagi individualnih zahtev podjetij. Na podlagi teh meritev koncentracij radona in razmerja med zimsko in poletno koncentracijo smo za vsako izvedeno meritev izračunali povprečno letno koncentracijo radona za merilno mesto. Če je bilo v zgradbi izvedenih več meritev v različnih letih, smo meritve združili v eno skupno povprečno vrednost. Tako smo se izognili problemu prevelike obtežitve rezultatov zaradi velikega števila meritev na eni lokaciji. Pri analizi tudi nismo upoštevali meritev izvedenih v kletnih prostorih in shrambah, ki niso namenjene stalni uporabi. Razlog za to je v tem, da so ti prostori zaradi redke uporabe po navadi manj prezračeni in je zato koncentracija radona v takšnih prostorih tudi povečana.

Na podlagi obdelanih meritev so bile za posamezne občine izračunane mediane koncentracije radona, ki so predstavljene v poglavju 10.6. Za občine Ajdovščina, Kranj, Cerknica, Kočevje, Novo mesto, Nova Gorica in Radovljica so bile mediane koncentracije radona v občini določene na podlagi delitve po naseljih zaradi izrazitih geografskih razlik znotraj občine. Za občine, v katerih ZVD še ni izvedel meritev radona so bile koncentracije radona določene na podlagi meritev IJS izvedenih v letih 2011 – 2012 [49]. Povprečne koncentracije radona po občinah so prikazane na Slika 17 in v Tabela 28. Na podlagi povprečnih koncentracij radona in deležu prebivalcev Slovenije v posameznih občinah (enačba ( 1 )), je bila tudi določena povprečna koncentracija radona v stavbah v Sloveniji, ki znaša  $109 \text{ Bq/m}^3 \pm 33 \text{ Bq/m}^3$ .



Slika 17: Povprečne koncentracije radona po občinah.

Na podlagi povprečnih koncentracij radona in enačbe ( 4 ) so bile izračunane povprečne letne doze za prebivalce posameznih občin. V Tabela 7 so predstavljene vrednosti mediane koncentracije radona in delež k celotni povprečni Slovenski letni dozi zaradi radona za občine, ki imajo najvišje mediane koncentracije radona in največji prispevek k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona (rezultati za vse

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

občine so predstavljeni v poglavju 10.6). Iz tabele je razvidno, da največ k celotni letni dozi zaradi radona prispevajo občine z velikim številom prebivalcev. Samo ena občina, ki je med prvih deset po mediani koncentracije radona je tudi med prvih deset po deležu k celotni letni dozi zaradi radona. To je občina Cerknica, ki ima visoko mediano koncentracije radona in veliko število prebivalcev.

Na podlagi mediane koncentracije radona in pretvornih faktorjev je bila po enačbi ( 4 ) izračunana povprečna letna doza za prebivalca Slovenije zaradi radona in potomcev v zaprtih prostorih in znaša **4,795 mSv ± 0,598 mSv**. Poleg povprečne letne doze je tudi zelo pomemben podatek razpon letnih doz v zaprtih prostorih. Oseba, ki živi v občini Piran, ki ima na podlagi meritev najnižjo koncentracijo radona v zaprtih prostorih, in tudi dela v občini Piran dobi letno dozo zaradi radona in potomcev v zaprtih prostorih 0,973 mSv, medtem ko oseba, ki živi in dela v občini Mirna Peč, ki ima najvišjo mediano koncentracije radona v zaprtih prostorih, dobi letno dozo 16,632 mSv. Razlog za visoko letno dozo zaradi radona in potomcev je zaradi visoke povprečne koncentracija radona v občini, ki presega zakonsko referenčno raven povprečne letne koncentracije radona 300 Bq/m<sup>3</sup> [3, 4].

Poleg letne doze zaradi radona v zaprtih prostorih se ta nahaja tudi na prostem. Povprečna koncentracija radona na prostem je 10 Bq/m<sup>3</sup>, vendar pa je delež radonovih potomcev višji in je 0,6 [12]. Če se 20 % časa v dnevu gibljemo na prostem bomo zaradi radona dobili dozo **0,177 mSv ± 0,018 mSv** (izračunano z uporabo enačbe ( 4 )).

Celotna povprečna letna doza zaradi radona in njegovih potomcev v Sloveniji je tako **4,972 mSv ± 0,598 mSv**.

Tabela 7: Mediana koncentracije radona in delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona.

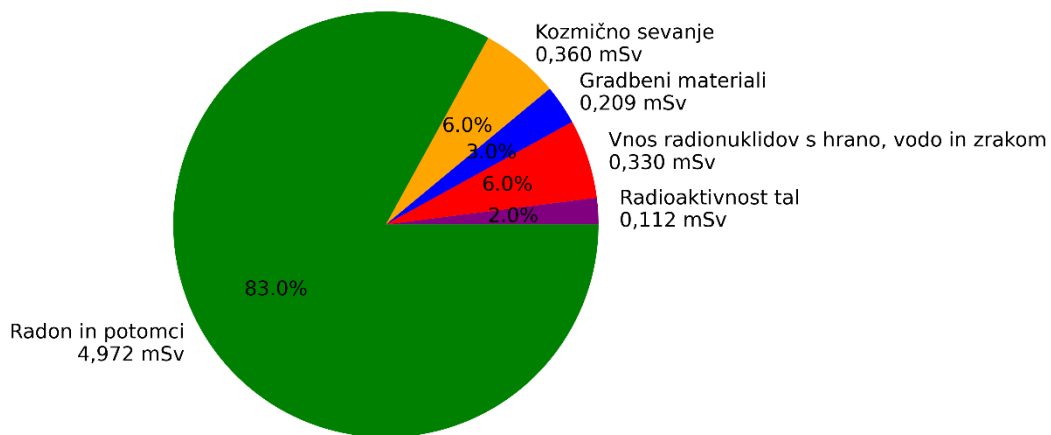
Občina	Mediana koncentracije radona [Bq/m <sup>3</sup> ]	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]	Občina	Mediana koncentracije radona [Bq/m <sup>3</sup> ]	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]
Mirna Peč	376 ± 98	0,45	Ljubljana	93 ± 7	13,72
<b>Cerknica</b>	<b>370 ± 16</b>	<b>1,79</b>	Kranj	229 ± 40	5,67
Loški Potok	361 ± 52	0,25	Maribor	100 ± 45	5,28
Ribnica	339 ± 25	1,39	Novo mesto	189 ± 9	3,35
Komen	308 ± 18	0,44	Celje	100 ± 34	2,27
Ig	299 ± 27	0,91	<b>Cerknica</b>	<b>370 ± 16</b>	<b>1,79</b>
Borovnica	279 ± 71	0,51	Domžale	113 ± 14	1,74
Loška dolina	257 ± 46	0,39	Nova Gorica	108 ± 7	1,52
Bloke	242 ± 54	0,15	Velenje	103 ± 24	1,52
Logatec	236 ± 14	1,46	Grosuplje	168 ± 9	1,51

## 9. LETNA DOZA ZARADI NARAVNEGA SEVANJA

Na podlagi narejene analize so prispevki posameznih komponent povprečne letne doze zaradi naravnega ozadja:

- Radioaktivnost tal: 0,112 mSv ± 0,008 mSv (2 %)
- Gradbeni materiali: 0,209 mSv ± 0,056 mSv (3 %)
- Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom: 0,330 mSv ± 0,016 mSv (6 %)
- Kozmično sevanje: 0,360 mSv ± 0,035 mSv (6 %)
- Radon in potomci: 4,972 mSv ± 0,598 mSv (83 %)

Na podlagi izvedene analize je nova ocena povprečne letne doze zaradi naravnega sevanja **5,98 mSv ± 0,602 mSv (5983 μSv ± 602 μSv)**. Razpon letne doze po Sloveniji pa se giblje od 1,991 mSv za občino z najnižjo koncentracijo radona (Piran) do 17,768 mSv za občino z najvišjo koncentracijo radona (Mirna Peč). V poglavju 10.7 so predstavljene letne doze in prispevki posameznih komponent letne doze naravnega ozadja za posamezne občine Slovenije.



Slika 18: Deleži letne doze zaradi naravnega sevanja.

Vrednosti doze zaradi zunanjega okolja, gradbenih materialov, vnosa naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom ter kozmičnega sevanje se v večji meri niso spremenile od prve ocene letne doze zaradi naravnega ozadja, medtem ko se je vrednost doze zaradi radona in potomcev drastično povečala. Razlog za povečanje prispevka je zaradi novih meritev koncentracije radona v zgradbah, ki so pokazale višje vrednosti kot prvotne ocene, saj so bile meritve v zadnjih letih osredotočene na območja s povišanimi koncentracijami radona. Dodatno so se povišali dozni pretvorni faktorji, saj so različne svetovne študije pokazale povezavo med rakavim obolenjem in koncentracijo radona.

Za znižanje prispevka radona in potomcev k letni dozi zaradi naravnega sevanja bo potreben vseslovenski projekt sanacije starejših zgradb s povečanimi koncentracijami radona. Osnova za sanacije pa so lahko številni uspešni sanacijski projekti v vrtcih in šolah v tako imenovanih radonskih občinah.

## 10. PODATKI MERITEV

### 10.1 Zrak

Tabela 8: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zraku na merilnem mestu Murska Sobota.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/m <sup>3</sup> ]				
U-238	1,8E-06 ± 9,3E-07	1,1E-06 ± 6,5E-07	1,9E-06 ± 7,1E-07	3,0E-06 ± 1,2E-06	2,3E-06 ± 9,5E-07
Ra-226	4,0E-06 ± 4,1E-07	2,6E-06 ± 3,9E-07	2,6E-06 ± 5,7E-07	3,0E-06 ± 1,7E-05	2,1E-06 ± 2,3E-07
Pb-210	4,0E-04 ± 3,3E-05	5,0E-04 ± 3,4E-05	4,2E-04 ± 4,5E-05	4,5E-04 ± 7,8E-05	4,9E-04 ± 6,2E-05
Ra-228	1,8E-06 ± 5,0E-07	1,5E-06 ± 4,3E-07	1,2E-06 ± 3,9E-07	1,5E-06 ± 5,6E-07	1,3E-06 ± 3,4E-07
Th-228	4,5E-06 ± 1,5E-06	1,8E-06 ± 9,7E-07	1,4E-05 ± 1,2E-05	2,8E-06 ± 1,1E-06	1,7E-06 ± 5,2E-07
K-40	3,4E-04 ± 3,2E-05	2,8E-04 ± 3,3E-05	2,3E-04 ± 1,6E-05	2,9E-04 ± 1,8E-05	2,6E-04 ± 1,3E-05
Be-7	3,8E-03 ± 6,5E-04	4,4E-03 ± 5,0E-04	3,4E-03 ± 3,9E-04	2,9E-03 ± 4,5E-04	3,6E-03 ± 5,1E-04
Cs-137	9,3E-07 ± 1,0E-07	9,5E-07 ± 1,3E-07	7,0E-07 ± 1,1E-07	7,4E-07 ± 1,2E-07	8,7E-07 ± 1,3E-07

Tabela 9: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zraku na merilnem mestu Predmeja.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/m <sup>3</sup> ]				
U-238	8,9E-06 ± 3,0E-06	7,3E-06 ± 3,4E-06	2,1E-05 ± 9,2E-06	8,0E-06 ± 4,8E-06	1,9E-06 ± 7,5E-07
Ra-226	7,3E-06 ± 3,1E-07	1,3E-05 ± 2,8E-06	1,9E-05 ± 2,6E-06	4,4E-05 ± 1,8E-05	1,9E-06 ± 2,7E-07
Pb-210	3,3E-04 ± 2,1E-05	4,6E-04 ± 8,9E-05	3,5E-04 ± 5,1E-05	2,7E-03 ± 5,9E-04	3,4E-04 ± 3,5E-05
Ra-228	4,6E-06 ± 1,3E-06	6,8E-06 ± 1,7E-06	9,8E-06 ± 4,8E-06	6,0E-06 ± 2,3E-06	4,6E-07 ± 2,7E-07
Th-228	3,1E-06 ± 8,8E-07	5,9E-06 ± 2,7E-06	4,0E-06 ± 2,0E-06	7,0E-06 ± 3,5E-06	8,6E-07 ± 2,3E-07
K-40	8,4E-04 ± 7,3E-05	1,4E-03 ± 6,2E-05	1,9E-03 ± 3,1E-04	2,2E-03 ± 2,7E-04	2,4E-04 ± 8,3E-06
Be-7	3,5E-03 ± 4,3E-04	4,6E-03 ± 4,5E-04	4,2E-03 ± 5,8E-04	3,0E-02 ± 6,1E-03	3,1E-03 ± 3,3E-04
Cs-137	2,7E-06 ± 8,4E-07	3,8E-06 ± 6,8E-07	5,1E-06 ± 1,2E-06	5,8E-06 ± 1,3E-06	5,8E-07 ± 8,9E-08

Tabela 10: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zraku na merilnem mestu Ljubljana.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/m <sup>3</sup> ]				
U-238	2,3E-07 ± 3,0E-07	2,2E-06 ± 1,0E-06	2,7E-06 ± 9,0E-07	1,1E-06 ± 7,0E-07	1,9E-06 ± 8,0E-07
Ra-226	1,5E-07 ± 2,0E-06	5,8E-07 ± 2,0E-06	1,4E-08 ± 2,0E-06	1,7E-07 ± 2,0E-06	3,2E-07 ± 2,0E-06
Pb-210	8,6E-04 ± 2,0E-05	8,6E-04 ± 2,0E-05	7,9E-04 ± 1,0E-05	7,5E-04 ± 2,0E-05	8,3E-04 ± 3,0E-05
Ra-228	3,3E-07 ± 3,0E-07	3,5E-07 ± 2,0E-07	4,4E-07 ± 2,0E-07	2,4E-07 ± 2,0E-07	3,4E-08 ± 9,0E-08
Th-228	2,2E-06 ± 2,0E-07	2,5E-06 ± 2,0E-07	2,3E-06 ± 2,0E-07	2,7E-06 ± 2,0E-07	1,5E-06 ± 1,0E-07
Be-7	4,8E-03 ± 7,0E-05	4,9E-03 ± 7,0E-05	4,6E-03 ± 6,0E-05	4,3E-03 ± 6,0E-05	4,3E-03 ± 6,0E-05
Cs-137	1,2E-06 ± 7,0E-08	1,5E-06 ± 7,0E-08	1,6E-06 ± 7,0E-08	1,2E-06 ± 6,0E-08	1,0E-06 ± 5,0E-08
Na-22	2,5E-07 ± 5,0E-08	2,2E-07 ± 5,0E-08	2,5E-07 ± 5,0E-08	2,1E-07 ± 5,0E-08	3,7E-07 ± 5,0E-07
Th-230		1,8E-06 ± 7,0E-08			9,2E-07 ± 2,0E-06



## 10.2 Pitna voda

Tabela 11: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v pitnih vodah po Slovenji.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/m <sup>3</sup> ]				
U-238	4,2E+00 ± 3,5E+00	4,1E+00 ± 2,4E+00	4,6E+00 ± 5,3E+00	3,5E+00 ± 2,3E+00	4,6E+00 ± 4,4E+00
Ra-226	5,6E+00 ± 5,3E+00	5,9E+00 ± 7,7E+00	4,6E+00 ± 5,4E+00	5,2E+00 ± 6,7E+00	3,8E+00 ± 2,8E+00
Pb-210	5,0E+00 ± 4,3E+00	9,8E-01 ± 5,7E-01	2,3E+00 ± 2,8E+00	2,7E+00 ± 2,3E+00	4,5E+00 ± 5,4E+00
Ra-228	2,8E+00 ± 3,3E+00	5,5E+00 ± 1,5E+01	9,9E-01 ± 7,5E-01	1,8E+00 ± 1,4E+00	1,2E+00 ± 8,8E-01
Th-228	5,7E-01 ± 2,9E-01	7,5E-01 ± 3,9E-01	6,5E-01 ± 4,9E-01	4,8E-01 ± 4,2E-01	4,6E-01 ± 3,3E-01
Th-230	1,1E+01 ± 6,6E+00	3,8E+01 ± 2,2E+01	2,6E+01 ± 2,0E+01		2,3E+01 ± 1,0E+01
K-40	3,5E+01 ± 2,3E+01	2,8E+01 ± 1,5E+01	2,5E+01 ± 2,4E+01	2,8E+01 ± 2,9E+01	2,8E+01 ± 2,5E+01
Be-7	3,7E+00 ± 3,4E+00	1,7E+00 ± 1,3E+00	2,5E+00 ± 2,7E+00	3,6E+00 ± 3,0E+00	4,3E+00 ± 1,1E+01
Cs-137		2,1E-02 ± 2,0E-01			
Sr-90	4,0E-01 ± 6,6E-01	8,5E-01 ± 7,6E-01	4,6E-01 ± 3,4E-01	9,6E-01 ± 9,9E-01	7,6E-01 ± 1,0E+00
H-3	4,8E+02 ± 1,5E+02	4,9E+02 ± 1,7E+02	4,9E+02 ± 1,9E+02	5,4E+02 ± 1,8E+02	5,5E+02 ± 2,6E+02

## 10.3 Hrana

Tabela 12: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zelenjavi po Slovenji.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	2,3E-01	8,3E-02 ± 4,8E-02	7,7E-02 ± 4,8E-02	1,1E-01 ± 1,1E-01	1,4E-02 ± 1,4E-02
Ra-226	2,8E-02	1,0E-01 ± 5,4E-02	3,9E-02 ± 1,3E-02	6,9E-02 ± 2,7E-02	3,2E-02 ± 1,7E-02
Pb-210	3,4E-01	1,8E-01 ± 1,1E-01	4,7E-01 ± 1,7E-01	3,2E-01 ± 9,9E-02	1,7E-01 ± 5,0E-02
Ra-228	4,2E-02	8,5E-02 ± 3,5E-02	6,6E-02 ± 2,2E-02	8,4E-02 ± 4,3E-02	3,9E-02 ± 1,8E-02
Th-228	3,1E-02	4,4E-02 ± 4,0E-02	1,2E-02 ± 1,2E-02	5,1E-02 ± 3,4E-02	1,6E-01 ± 1,4E-01
K-40	7,0E+01	9,3E+01 ± 1,7E+01	8,5E+01 ± 1,3E+01	1,8E+02 ± 6,5E+01	9,4E+01 ± 1,3E+01
Be-7	2,3E+00	4,0E-01 ± 2,2E-01	2,9E+00 ± 2,6E+00	3,1E-01 ± 2,0E-01	1,2E-02 ± 1,2E-02
Cs-137	5,4E-01	3,2E+00 ± 7,8E+00	3,8E-01 ± 8,3E-01	3,8E-02 ± 2,7E-02	2,8E-02 ± 1,8E-02
Sr-90	9,1E-02	1,1E-01 ± 1,6E-01	5,0E-02 ± 6,7E-02	1,3E-02 ± 9,6E-03	8,1E-03 ± 6,3E-03

Tabela 13: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v sadju po Slovenji.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	1,3E-01	4,1E-02 ± 4,2E-02	4,5E-02 ± 3,1E-02	4,4E-02 ± 4,5E-02	9,8E-03 ± 1,0E-02
Ra-226	6,6E-02	1,3E-01 ± 6,5E-02	5,2E-02 ± 2,1E-02	3,7E-02 ± 8,6E-03	5,3E-02 ± 2,8E-02
Pb-210	1,9E-01	1,2E-01 ± 5,7E-02	2,1E-01 ± 5,2E-02	1,7E-01 ± 3,9E-02	1,6E-01 ± 5,6E-02
Ra-228	7,0E-02	3,4E-02 ± 1,3E-02	1,4E-02 ± 9,6E-03	2,4E-02 ± 1,2E-02	3,8E-02 ± 3,8E-02
Th-228	1,8E-02	1,4E-02 ± 9,5E-03	1,8E-02 ± 1,8E-02	2,8E-02 ± 1,5E-02	1,3E-02 ± 1,3E-02
K-40	5,1E+01	5,0E+01 ± 7,6E+00	5,7E+01 ± 9,8E+00	6,8E+01 ± 1,2E+01	6,6E+01 ± 9,6E+00
Be-7	8,3E-01	3,7E-01 ± 1,7E-01	5,1E-01 ± 2,9E-01	2,0E-01 ± 1,5E-01	1,8E-01 ± 9,2E-02
Cs-137	1,3E-01			6,5E+00 ± 6,5E+00	2,4E+00 ± 2,4E+00
Sr-90	2,7E-02			1,7E-01 ± 1,5E-01	5,3E-02 ± 4,5E-02

Tabela 14: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v moki po Slovenji.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	4,3E-01	6,5E-02 ± 6,6E-02		8,8E-02 ± 4,6E-02	1,8E-02 ± 1,9E-02
Ra-226	2,6E-01	1,7E-01 ± 1,0E-01	1,6E-01 ± 1,1E-01	2,3E-01 ± 6,2E-02	2,7E-01 ± 1,2E-01
Pb-210	3,8E-01	2,2E-01 ± 1,3E-01	5,0E-01 ± 1,9E-01	7,5E-01 ± 4,6E-01	1,6E-01 ± 4,9E-02
Ra-228	1,4E-01	7,0E-02 ± 4,8E-02	3,2E-02 ± 2,1E-02	4,5E-02 ± 3,0E-02	6,3E-02 ± 1,8E-02
Th-228	1,1E-01	7,8E-02 ± 4,1E-02	8,7E-02 ± 5,5E-02	7,0E-02 ± 2,1E-02	5,5E-02 ± 2,4E-02
K-40	1,1E+02	8,5E+01 ± 2,0E+01	6,9E+01 ± 1,6E+01	6,7E+01 ± 1,9E+01	7,0E+01 ± 2,4E+01
Be-7	2,0E+00	2,8E-01 ± 2,8E-01	2,9E-01 ± 2,9E-01	5,2E-01 ± 5,2E-01	
Cs-137	1,3E-01	1,1E-01 ± 5,6E-02	6,5E-02 ± 2,6E-02	4,5E-02 ± 1,4E-02	3,2E-02 ± 7,3E-03
Sr-90	7,5E-02	3,5E-02 ± 1,4E-02		4,3E-02 ± 2,5E-02	4,2E-02 ± 3,0E-02

Tabela 15: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v mesu po Slovenji.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	2,2E-01	6,7E-02 ± 4,9E-02	2,1E-01 ± 1,4E-01		
Ra-226	8,7E-02	8,8E-02 ± 2,5E-02	7,0E-02 ± 3,0E-02	1,4E-01 ± 3,7E-02	6,9E-02 ± 2,1E-02
Pb-210	3,0E-01	1,9E-01 ± 6,4E-02	3,2E-01 ± 6,3E-02	3,8E-01 ± 9,1E-02	2,7E-01 ± 8,7E-02
Ra-228	1,3E-01	6,1E-02 ± 2,2E-02	8,8E-02 ± 5,9E-02	3,2E-02 ± 1,8E-02	2,5E-02 ± 1,8E-02
Th-228	1,2E-01	1,2E-01 ± 1,1E-01	6,1E-02 ± 2,6E-02	5,7E-02 ± 2,7E-02	1,3E-02 ± 1,3E-02
K-40	7,5E+01	6,8E+01 ± 1,2E+01	6,7E+01 ± 1,1E+01	6,3E+01 ± 1,1E+01	6,2E+01 ± 1,2E+01
Be-7					2,8E-02 ± 2,8E-02
Cs-137	4,7E-01	2,0E-01 ± 1,3E-01	4,5E-01 ± 2,8E-01	2,7E-01 ± 2,1E-01	6,1E-01 ± 5,1E-01
Sr-90	7,9E-02	5,3E-02 ± 2,5E-02	6,1E-02 ± 4,5E-02	5,4E-02 ± 2,6E-02	3,0E-02 ± 1,2E-02

Tabela 16: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v mleku iz okolice Ljubljane.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	1,1E-01	3,2E-02 ± 2,2E-02	2,4E-02 ± 1,7E-02		1,2E-02 ± 1,2E-02
Ra-226	2,4E-02	6,2E-03 ± 4,3E-03	2,8E-02 ± 6,8E-03	2,0E-02 ± 1,1E-02	2,0E-02 ± 7,4E-03
Pb-210	1,2E-01	2,9E-02 ± 2,3E-02	1,2E-01 ± 3,4E-02	1,2E-01 ± 3,5E-02	1,2E-01 ± 3,3E-02
Ra-228		1,6E-02 ± 1,2E-02	1,9E-02 ± 1,1E-02	1,2E-02 ± 1,2E-02	3,9E-03 ± 4,0E-03
Th-228	3,8E-02	1,2E-02 ± 1,2E-02	2,4E-02 ± 1,6E-02	2,2E-02 ± 9,7E-03	2,0E-02 ± 1,1E-02
K-40	5,0E+01	4,9E+01 ± 1,2E+00	5,1E+01 ± 1,2E+00	4,8E+01 ± 2,2E+00	4,7E+01 ± 1,2E+00
Be-7					
Cs-137	4,4E-02	3,2E-02 ± 2,6E-03	3,0E-02 ± 5,3E-03	3,5E-02 ± 3,7E-03	3,4E-02 ± 3,1E-03
Sr-90	3,8E-02	2,2E-02 ± 9,4E-03	1,9E-02 ± 4,0E-03	4,7E-02 ± 2,2E-02	2,5E-02 ± 1,1E-02

Tabela 17: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v mleku iz okolice Kobarida.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	8,0E-02	2,2E-02 ± 2,2E-02		1,8E-02 ± 1,9E-02	
Ra-226	2,5E-02	8,9E-03 ± 4,4E-03	9,4E-03 ± 5,4E-03	8,7E-03 ± 4,3E-03	2,0E-02 ± 5,2E-03
Pb-210		2,1E-02 ± 2,2E-02	1,4E-01 ± 3,5E-02	1,5E-01 ± 2,9E-02	6,4E-02 ± 2,4E-02
Ra-228	5,5E-02	5,0E-02 ± 2,7E-02	1,6E-02 ± 1,1E-02	2,7E-02 ± 1,2E-02	2,5E-02 ± 1,5E-02
Th-228	1,6E-02	6,3E-03 ± 4,7E-03	3,3E-02 ± 1,4E-02	1,4E-02 ± 7,9E-03	4,9E-02 ± 3,0E-02
K-40	5,1E+01	5,1E+01 ± 1,3E+00	5,0E+01 ± 2,3E+00	5,1E+01 ± 2,5E+00	4,8E+01 ± 1,2E+00
Be-7					
Cs-137	7,3E-02	4,9E-02 ± 8,2E-03	3,4E-02 ± 5,3E-03	5,5E-02 ± 6,9E-03	4,4E-02 ± 4,8E-03
Sr-90	6,0E-02	3,2E-02 ± 6,3E-03	2,5E-02 ± 7,2E-03	2,6E-02 ± 6,6E-03	1,8E-02 ± 5,9E-03

Tabela 18: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v mleku iz okolice Bohinjske Bistrice.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238		2,8E-02 ± 2,1E-02	2,4E-01 ± 2,4E-01	7,9E-03 ± 8,4E-03	1,8E-02 ± 1,8E-02
Ra-226	4,9E-02	2,9E-03 ± 2,9E-03	3,6E-02 ± 2,8E-02	4,7E-03 ± 3,2E-03	2,9E-02 ± 6,7E-03
Pb-210		5,1E-02 ± 3,7E-02	1,9E-01 ± 9,9E-02		1,2E-01 ± 2,2E-02
Ra-228	3,7E-02	7,7E-03 ± 7,8E-03	3,8E-02 ± 1,8E-02	1,0E-02 ± 7,0E-03	5,7E-03 ± 5,8E-03
Th-228	2,0E-02	8,6E-03 ± 6,9E-03	2,5E-02 ± 2,5E-02	1,9E-02 ± 1,9E-02	3,5E-02 ± 2,7E-02
K-40	4,9E+01	5,1E+01 ± 1,3E+00	4,9E+01 ± 1,5E+00	4,9E+01 ± 1,5E+00	4,8E+01 ± 1,2E+00
Be-7					
Cs-137	2,3E-02	2,8E-02 ± 4,8E-03	2,6E-02 ± 3,8E-03	1,5E-02 ± 3,1E-03	1,5E-02 ± 2,7E-03
Sr-90	1,6E-02	3,1E-02 ± 1,9E-02	2,4E-02 ± 1,3E-02	6,0E-03 ± 2,5E-03	2,3E-02 ± 5,5E-03

Tabela 19: Prejeta letna doza starostne skupine dojenčkov zaradi zaužitja izotopov v različnih tipih hrane.

Dojenčki [ $\mu\text{Sv}$ ]														
Izotop	Zelenjava		Sadje		Moka		Meso		Mleko LJ		Mleko KB		Mleko BB	
U-238	2,7E-01	$\pm$ 1,1E-01	1,5E-01	$\pm$ 6,2E-02	1,6E-01	$\pm$ 9,6E-02	9,0E-02	$\pm$ 4,4E-02	8,6E-01	$\pm$ 4,4E-01	5,8E-01	$\pm$ 3,3E-01	1,4E+00	$\pm$ 1,2E+00
Ra-226	1,2E+00	$\pm$ 3,8E-01	1,5E+00	$\pm$ 4,3E-01	2,3E+00	$\pm$ 5,2E-01	6,5E-01	$\pm$ 1,2E-01	3,7E+00	$\pm$ 9,0E-01	2,8E+00	$\pm$ 7,2E-01	4,6E+00	$\pm$ 1,8E+00
Pb-210	2,4E+01	$\pm$ 5,6E+00	1,4E+01	$\pm$ 2,1E+00	1,6E+01	$\pm$ 5,2E+00	7,9E+00	$\pm$ 1,2E+00	7,4E+01	$\pm$ 1,6E+01	5,3E+01	$\pm$ 2,1E+01	5,2E+01	$\pm$ 2,7E+01
Ra-228	8,1E+00	$\pm$ 2,1E+00	4,6E+00	$\pm$ 1,5E+00	4,4E+00	$\pm$ 1,3E+00	2,9E+00	$\pm$ 9,2E-01	1,2E+01	$\pm$ 6,2E+00	3,9E+01	$\pm$ 1,1E+01	2,2E+01	$\pm$ 8,9E+00
Th-228	5,0E-01	$\pm$ 2,9E-01	1,5E-01	$\pm$ 5,5E-02	3,3E-01	$\pm$ 7,2E-02	2,1E-01	$\pm$ 7,4E-02	1,7E+00	$\pm$ 4,9E-01	1,8E+00	$\pm$ 6,9E-01	1,6E+00	$\pm$ 7,1E-01
K-40	9,9E+01	$\pm$ 2,0E+01	5,5E+01	$\pm$ 5,2E+00	3,7E+01	$\pm$ 5,3E+00	2,1E+01	$\pm$ 1,7E+00	4,1E+02	$\pm$ 7,4E+00	4,2E+02	$\pm$ 8,0E+00	4,1E+02	$\pm$ 6,3E+00
Be-7	3,4E-03	$\pm$ 1,8E-03	1,2E-03	$\pm$ 3,9E-04	8,8E-04	$\pm$ 4,8E-04	5,4E-06	$\pm$ 5,7E-06	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00

Tabela 20: Prejeta letna doza starostne skupine otrok 5 – 14 let zaradi zaužitja izotopov v različnih tipih hrane.

5 – 14 let [ $\mu\text{Sv}$ ]														
Izotop	Zelenjava		Sadje		Moka		Meso		Mleko LJ		Mleko KB		Mleko BB	
U-238	5,2E-01	$\pm$ 2,0E-01	1,4E-01	$\pm$ 5,8E-02	4,6E-01	$\pm$ 2,8E-01	4,9E-01	$\pm$ 2,4E-01	1,8E-01	$\pm$ 9,2E-02	1,2E-01	$\pm$ 6,9E-02	2,9E-01	$\pm$ 2,6E-01
Ra-226	3,3E+00	$\pm$ 1,1E+00	2,0E+00	$\pm$ 6,0E-01	9,7E+00	$\pm$ 2,2E+00	5,2E+00	$\pm$ 9,8E-01	1,1E+00	$\pm$ 2,7E-01	8,4E-01	$\pm$ 2,2E-01	1,4E+00	$\pm$ 5,4E-01
Pb-210	4,3E+01	$\pm$ 1,0E+01	1,2E+01	$\pm$ 1,9E+00	4,3E+01	$\pm$ 1,4E+01	4,0E+01	$\pm$ 6,0E+00	1,4E+01	$\pm$ 3,0E+00	1,0E+01	$\pm$ 4,1E+00	1,0E+01	$\pm$ 5,2E+00
Ra-228	1,9E+01	$\pm$ 4,8E+00	5,2E+00	$\pm$ 1,7E+00	1,5E+01	$\pm$ 4,7E+00	1,9E+01	$\pm$ 6,1E+00	2,9E+00	$\pm$ 1,6E+00	9,8E+00	$\pm$ 2,8E+00	5,6E+00	$\pm$ 2,2E+00
Th-228	6,4E-01	$\pm$ 3,8E-01	9,4E-02	$\pm$ 3,5E-02	6,2E-01	$\pm$ 1,4E-01	7,5E-01	$\pm$ 2,7E-01	2,3E-01	$\pm$ 6,8E-02	2,4E-01	$\pm$ 9,5E-02	2,2E-01	$\pm$ 9,8E-02
K-40	1,0E+02	$\pm$ 2,2E+01	2,8E+01	$\pm$ 2,7E+00	5,8E+01	$\pm$ 8,3E+00	6,3E+01	$\pm$ 5,2E+00	4,6E+01	$\pm$ 8,4E-01	4,8E+01	$\pm$ 9,1E-01	4,7E+01	$\pm$ 7,1E-01
Be-7	4,7E-03	$\pm$ 2,5E-03	8,4E-04	$\pm$ 2,6E-04	1,8E-03	$\pm$ 1,0E-03	2,1E-05	$\pm$ 2,2E-05	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00

Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Tabela 21:Prejeta letna doza starostne skupine odraslih oseb zaradi zaužitja izotopov v različnih tipih hrane.

Odrasli [ $\mu\text{Sv}$ ]														
Izotop	Zelenjava		Sadje		Moka		Meso		Mleko LJ		Mleko KB		Mleko BB	
U-238	3,9E-01	$\pm$ 1,5E-01	2,1E-01	$\pm$ 8,9E-02	3,1E-01	$\pm$ 1,9E-01	2,4E-01	$\pm$ 1,1E-01	8,7E-02	$\pm$ 4,5E-02	5,9E-02	$\pm$ 3,4E-02	1,4E-01	$\pm$ 1,3E-01
Ra-226	1,3E+00	$\pm$ 4,2E-01	1,6E+00	$\pm$ 4,8E-01	3,5E+00	$\pm$ 7,8E-01	1,3E+00	$\pm$ 2,5E-01	3,0E-01	$\pm$ 7,2E-02	2,2E-01	$\pm$ 5,7E-02	3,7E-01	$\pm$ 1,4E-01
Pb-210	1,8E+01	$\pm$ 4,1E+00	1,0E+01	$\pm$ 1,6E+00	1,6E+01	$\pm$ 5,2E+00	1,1E+01	$\pm$ 1,6E+00	3,9E+00	$\pm$ 8,1E-01	2,8E+00	$\pm$ 1,1E+00	2,7E+00	$\pm$ 1,4E+00
Ra-228	3,7E+00	$\pm$ 9,5E-01	2,1E+00	$\pm$ 6,9E-01	2,8E+00	$\pm$ 8,4E-01	2,4E+00	$\pm$ 7,9E-01	3,8E-01	$\pm$ 2,1E-01	1,3E+00	$\pm$ 3,7E-01	7,3E-01	$\pm$ 2,9E-01
Th-228	3,7E-01	$\pm$ 2,2E-01	1,1E-01	$\pm$ 4,1E-02	3,3E-01	$\pm$ 7,2E-02	2,8E-01	$\pm$ 1,0E-01	9,0E-02	$\pm$ 2,6E-02	9,3E-02	$\pm$ 3,6E-02	8,4E-02	$\pm$ 3,8E-02
K-40	5,6E+01	$\pm$ 1,2E+01	3,1E+01	$\pm$ 2,9E+00	2,8E+01	$\pm$ 4,0E+00	2,2E+01	$\pm$ 1,8E+00	1,6E+01	$\pm$ 3,0E-01	1,7E+01	$\pm$ 3,2E-01	1,7E+01	$\pm$ 2,5E-01
Be-7	2,8E-03	$\pm$ 1,5E-03	1,0E-03	$\pm$ 3,2E-04	9,7E-04	$\pm$ 5,3E-04	8,2E-06	$\pm$ 8,6E-06	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00

Tabela 22:Prejeta letna doza starostne skupine odraslih oseb živečih v mestih zaradi zaužitja izotopov v različnih tipih hrane.

Odrasli - mesto [ $\mu\text{Sv}$ ]														
Izotop	Zelenjava		Sadje		Moka		Meso		Mleko LJ		Mleko KB		Mleko BB	
U-238	3,5E-01	$\pm$ 1,4E-01	1,9E-01	$\pm$ 8,0E-02	3,1E-01	$\pm$ 1,9E-01	2,4E-01	$\pm$ 1,1E-01	7,9E-02	$\pm$ 4,1E-02	5,3E-02	$\pm$ 3,1E-02	1,3E-01	$\pm$ 1,1E-01
Ra-226	1,2E+00	$\pm$ 3,8E-01	1,5E+00	$\pm$ 4,3E-01	3,5E+00	$\pm$ 7,8E-01	1,3E+00	$\pm$ 2,5E-01	2,7E-01	$\pm$ 6,4E-02	2,0E-01	$\pm$ 5,2E-02	3,3E-01	$\pm$ 1,3E-01
Pb-210	1,6E+01	$\pm$ 3,7E+00	9,1E+00	$\pm$ 1,4E+00	1,6E+01	$\pm$ 5,2E+00	1,1E+01	$\pm$ 1,6E+00	3,5E+00	$\pm$ 7,3E-01	2,5E+00	$\pm$ 9,9E-01	2,5E+00	$\pm$ 1,3E+00
Ra-228	3,4E+00	$\pm$ 8,6E-01	1,9E+00	$\pm$ 6,2E-01	2,8E+00	$\pm$ 8,4E-01	2,4E+00	$\pm$ 7,9E-01	3,4E-01	$\pm$ 1,8E-01	1,2E+00	$\pm$ 3,4E-01	6,6E-01	$\pm$ 2,6E-01
Th-228	3,4E-01	$\pm$ 2,0E-01	1,0E-01	$\pm$ 3,7E-02	3,3E-01	$\pm$ 7,2E-02	2,8E-01	$\pm$ 1,0E-01	8,1E-02	$\pm$ 2,3E-02	8,4E-02	$\pm$ 3,3E-02	7,6E-02	$\pm$ 3,4E-02
K-40	5,0E+01	$\pm$ 1,0E+01	2,8E+01	$\pm$ 2,7E+00	2,8E+01	$\pm$ 4,0E+00	2,2E+01	$\pm$ 1,8E+00	1,5E+01	$\pm$ 2,7E-01	1,5E+01	$\pm$ 2,9E-01	1,5E+01	$\pm$ 2,3E-01
Be-7	2,5E-03	$\pm$ 1,3E-03	9,1E-04	$\pm$ 2,9E-04	9,7E-04	$\pm$ 5,3E-04	8,2E-06	$\pm$ 8,6E-06	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00

Tabela 23:Prejeta letna doza starostne skupine odraslih oseb živečih na podeželju zaradi zaužitja izotopov v različnih tipih hrane.

Odrasli - podeželje [ $\mu\text{Sv}$ ]														
Izotop	Zelenjava		Sadje		Moka		Meso		Mleko LJ		Mleko KB		Mleko BB	
U-238	4,3E-01	$\pm$ 1,7E-01	2,3E-01	$\pm$ 9,8E-02	3,1E-01	$\pm$ 1,9E-01	2,4E-01	$\pm$ 1,1E-01	9,6E-02	$\pm$ 5,0E-02	6,5E-02	$\pm$ 3,8E-02	1,6E-01	$\pm$ 1,4E-01
Ra-226	1,4E+00	$\pm$ 4,6E-01	1,8E+00	$\pm$ 5,3E-01	3,5E+00	$\pm$ 7,8E-01	1,3E+00	$\pm$ 2,5E-01	3,3E-01	$\pm$ 7,9E-02	2,4E-01	$\pm$ 6,3E-02	4,1E-01	$\pm$ 1,5E-01
Pb-210	1,9E+01	$\pm$ 4,5E+00	1,1E+01	$\pm$ 1,7E+00	1,6E+01	$\pm$ 5,2E+00	1,1E+01	$\pm$ 1,6E+00	4,3E+00	$\pm$ 9,0E-01	3,1E+00	$\pm$ 1,2E+00	3,0E+00	$\pm$ 1,6E+00
Ra-228	4,1E+00	$\pm$ 1,0E+00	2,3E+00	$\pm$ 7,6E-01	2,8E+00	$\pm$ 8,4E-01	2,4E+00	$\pm$ 7,9E-01	4,2E-01	$\pm$ 2,3E-01	1,4E+00	$\pm$ 4,1E-01	8,1E-01	$\pm$ 3,2E-01
Th-228	4,1E-01	$\pm$ 2,4E-01	1,2E-01	$\pm$ 4,5E-02	3,3E-01	$\pm$ 7,2E-02	2,8E-01	$\pm$ 1,0E-01	9,9E-02	$\pm$ 2,8E-02	1,0E-01	$\pm$ 4,0E-02	9,2E-02	$\pm$ 4,1E-02
K-40	6,2E+01	$\pm$ 1,3E+01	3,4E+01	$\pm$ 3,2E+00	2,8E+01	$\pm$ 4,0E+00	2,2E+01	$\pm$ 1,8E+00	1,8E+01	$\pm$ 3,3E-01	1,9E+01	$\pm$ 3,5E-01	1,8E+01	$\pm$ 2,8E-01
Be-7	3,1E-03	$\pm$ 1,6E-03	1,1E-03	$\pm$ 3,5E-04	9,7E-04	$\pm$ 5,3E-04	8,2E-06	$\pm$ 8,6E-06	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00	0,0E+00	$\pm$ 0,0E+00

## 10.4 Zemlja

Tabela 24: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zemlji na lokaciji Murska Sobota.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	4,6E+01 ± 7,5E+00	3,5E+01 ± 1,7E+01	4,5E+01 ± 1,4E+01	4,0E+01 ± 1,0E+01	4,5E+01 ± 1,2E+01
Ra-228	4,2E+01 ± 1,7E+00	3,4E+01 ± 1,6E+01	4,1E+01 ± 9,1E+00	4,1E+01 ± 8,7E+00	4,3E+01 ± 8,4E+00
K-40	5,0E+02 ± 3,0E+01	4,0E+02 ± 1,1E+02	4,5E+02 ± 1,2E+02	4,3E+02 ± 8,5E+01	4,4E+02 ± 1,0E+02
Cs-137 [Bq/m <sup>2</sup> ]	7,9E+02 ± 4,3E+01	9,5E+02 ± 6,8E+02		6,7E+02 ± 5,7E+02	9,0E+02 ± 3,1E+02

Tabela 25: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zemlji na lokaciji Kobarid.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	4,4E+01 ± 4,9E+00	3,3E+01 ± 1,1E+01	3,5E+01 ± 1,0E+01	2,9E+01 ± 1,1E+01	2,7E+01 ± 8,0E+00
Ra-228	3,8E+01 ± 1,3E+00	3,7E+01 ± 3,4E+00	3,5E+01 ± 7,6E+00	3,0E+01 ± 7,8E+00	2,6E+01 ± 7,0E+00
K-40	4,2E+02 ± 2,4E+01	4,8E+02 ± 9,1E+01	4,5E+02 ± 1,3E+02	4,1E+02 ± 1,3E+02	3,0E+02 ± 1,1E+02
Cs-137 [Bq/m <sup>2</sup> ]	3,5E+03 ± 9,3E+01	3,5E+03 ± 9,0E+02		2,4E+03 ± 1,5E+03	2,6E+03 ± 1,4E+03

Tabela 26: Povprečne vrednosti merjenih izotopov v zemlji na lokaciji Ljubljana.

	2018	2019	2020	2021	2022
Izotop	Koncentracija [Bq/kg]				
U-238	5,2E+01 ± 7,0E+00	4,8E+01 ± 7,0E+00	8,0E+01 ± 5,7E+01	3,2E+01 ± 4,5E+00	3,4E+01 ± 2,1E+00
Ra-228	6,0E+01 ± 1,7E+00	5,1E+01 ± 9,2E+00	5,3E+01 ± 4,6E+01	3,9E+01 ± 8,0E-01	4,0E+01 ± 1,6E+00
K-40	7,8E+02 ± 4,6E+01	6,2E+02 ± 1,5E+02	5,0E+02 ± 1,0E+01	4,6E+02 ± 1,7E+01	4,8E+02 ± 9,5E+00
Cs-137 [Bq/m <sup>2</sup> ]	9,6E+03 ± 3,8E+02	1,2E+04 ± 2,5E+02	9,7E+03 ± 6,1E+03	5,3E+03 ± 5,2E+02	4,3E+03 ± 9,9E+02

## 10.5 TLD meritve

Tabela 27: Letna doza zunanjega sevanja merjena s TL dozimetri na 50 lokacijah po Sloveniji.

	2018	2019	2020	2021	2022
Mesto	Letna doza [mSv]				
Kočevje	9,0E-01 ± 9,8E-02	9,2E-01 ± 1,0E-01	9,4E-01 ± 1,3E-01	9,1E-01 ± 1,3E-01	9,1E-01 ± 1,3E-01
Dvor pri Žužemberku	9,3E-01 ± 1,0E-01	9,7E-01 ± 1,1E-01	1,0E+00 ± 1,4E-01	9,2E-01 ± 1,3E-01	9,2E-01 ± 1,3E-01
Dobliče Črnomelj	1,1E+00 ± 1,3E-01	1,2E+00 ± 1,3E-01	1,2E+00 ± 1,6E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01
Drašiči metlika	8,5E-01 ± 9,3E-02	8,5E-01 ± 9,3E-02	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,6E-01 ± 1,2E-01	8,6E-01 ± 1,2E-01
Novo mesto	9,5E-01 ± 1,1E-01	7,1E-01 ± 7,7E-02	6,9E-01 ± 9,8E-02	6,7E-01 ± 9,4E-02	6,7E-01 ± 9,4E-02
Malkovec Mokronog	7,6E-01 ± 8,3E-02	7,6E-01 ± 8,3E-02	7,9E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,0E-01	7,4E-01 ± 1,0E-01
Lisca	7,3E-01 ± 8,0E-02	7,8E-01 ± 8,5E-02	8,0E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,1E-01
Celje	8,3E-01 ± 9,1E-02	8,5E-01 ± 9,3E-02	8,8E-01 ± 1,3E-01	8,3E-01 ± 1,2E-01	8,3E-01 ± 1,2E-01
Rogaška slatina	8,0E-01 ± 8,7E-02	8,6E-01 ± 9,4E-02	8,0E-01 ± 1,1E-01	7,8E-01 ± 1,1E-01	7,8E-01 ± 1,1E-01
Slovenske konjice	8,2E-01 ± 8,9E-02	8,6E-01 ± 9,4E-02	9,2E-01 ± 1,3E-01	8,2E-01 ± 1,2E-01	8,2E-01 ± 1,2E-01
Rogla	9,9E-01 ± 1,1E-01	1,1E+00 ± 1,2E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01	1,0E+00 ± 1,4E-01	1,0E+00 ± 1,4E-01
Maribor aerodrom	8,3E-01 ± 9,0E-02	8,1E-01 ± 8,9E-02	8,2E-01 ± 1,2E-01	7,7E-01 ± 1,1E-01	7,7E-01 ± 1,1E-01
Ptuj	8,9E-01 ± 9,7E-02	8,2E-01 ± 9,0E-02	8,3E-01 ± 1,2E-01	7,8E-01 ± 1,1E-01	7,8E-01 ± 1,1E-01
Jeruzalem Ormož	7,9E-01 ± 8,7E-02	8,3E-01 ± 9,0E-02	7,5E-01 ± 1,1E-01	7,8E-01 ± 1,1E-01	7,8E-01 ± 1,1E-01
Lendava	9,0E-01 ± 9,8E-02	9,1E-01 ± 9,9E-02	8,9E-01 ± 1,3E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01
Murska sobota	7,8E-01 ± 8,5E-02	8,3E-01 ± 9,0E-02	8,0E-01 ± 1,1E-01	7,6E-01 ± 1,1E-01	7,6E-01 ± 1,1E-01
Gornji Petrovci	9,2E-01 ± 1,0E-01	9,2E-01 ± 1,0E-01	9,0E-01 ± 1,3E-01	8,6E-01 ± 1,2E-01	8,6E-01 ± 1,2E-01
Gornja Radgona	7,9E-01 ± 8,6E-02	7,8E-01 ± 8,5E-02	7,9E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,1E-01
Svečina plač	9,5E-01 ± 1,0E-01	9,6E-01 ± 1,1E-01	9,6E-01 ± 1,4E-01	9,4E-01 ± 1,3E-01	9,4E-01 ± 1,3E-01
Ribnica na Pohorju	8,4E-01 ± 9,1E-02	9,3E-01 ± 1,0E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,5E-01 ± 1,2E-01	8,5E-01 ± 1,2E-01
Kotlje	9,9E-01 ± 1,1E-01	9,8E-01 ± 1,1E-01	9,5E-01 ± 1,3E-01	9,4E-01 ± 1,3E-01	9,4E-01 ± 1,3E-01
Velenje	8,2E-01 ± 8,9E-02	9,0E-01 ± 9,8E-02	8,5E-01 ± 1,2E-01	8,3E-01 ± 1,2E-01	8,3E-01 ± 1,2E-01
Nazarje Mozirje	8,6E-01 ± 9,4E-02	9,0E-01 ± 9,8E-02	8,5E-01 ± 1,2E-01	8,2E-01 ± 1,2E-01	8,2E-01 ± 1,2E-01
Luče ob Savinji	8,4E-01 ± 9,2E-02	8,6E-01 ± 9,4E-02	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,3E-01 ± 1,2E-01	8,3E-01 ± 1,2E-01
Vače	8,7E-01 ± 9,5E-02	9,4E-01 ± 1,0E-01	9,0E-01 ± 1,3E-01	8,8E-01 ± 1,2E-01	8,8E-01 ± 1,2E-01

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Ljubljana Bežigrad	8,0E-01 ± 8,8E-02	8,1E-01 ± 8,8E-02	7,7E-01 ± 1,1E-01	7,6E-01 ± 1,1E-01	7,6E-01 ± 1,1E-01
Brnik aerodrom	1,1E+00 ± 1,2E-01	1,2E+00 ± 1,3E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01	1,1E+00 ± 1,5E-01	1,1E+00 ± 1,5E-01
Jezersko	1,0E+00 ± 1,1E-01	1,1E+00 ± 1,2E-01	1,0E+00 ± 1,5E-01	1,0E+00 ± 1,4E-01	1,0E+00 ± 1,4E-01
Podljubelj	7,9E-01 ± 8,6E-02	8,6E-01 ± 9,3E-02	7,9E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,1E-01	7,4E-01 ± 1,1E-01
Lescevrbnje	8,9E-01 ± 9,7E-02	8,3E-01 ± 9,1E-02	7,1E-01 ± 1,0E-01	7,0E-01 ± 9,8E-02	7,0E-01 ± 9,8E-02
Planina pod golico	9,1E-01 ± 1,0E-01	1,0E+00 ± 1,1E-01	9,5E-01 ± 1,3E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01
Zdenska vas	9,1E-01 ± 9,9E-02	9,9E-01 ± 1,1E-01	9,5E-01 ± 1,4E-01	9,3E-01 ± 1,3E-01	9,3E-01 ± 1,3E-01
Rateče	8,4E-01 ± 9,3E-02	9,9E-01 ± 1,1E-01	9,7E-01 ± 1,4E-01	8,2E-01 ± 1,2E-01	8,2E-01 ± 1,2E-01
Trenta	6,1E-01 ± 6,7E-02	6,5E-01 ± 7,1E-02	6,0E-01 ± 8,5E-02	5,6E-01 ± 8,0E-02	5,6E-01 ± 8,0E-02
Log pod Mangartom	9,0E-01 ± 9,8E-02	9,6E-01 ± 1,1E-01	9,1E-01 ± 1,3E-01	8,4E-01 ± 1,2E-01	8,4E-01 ± 1,2E-01
Bovec	7,5E-01 ± 8,1E-02	8,0E-01 ± 8,7E-02	7,3E-01 ± 1,0E-01	7,2E-01 ± 1,0E-01	7,2E-01 ± 1,0E-01
Tolmin	7,8E-01 ± 8,5E-02	8,1E-01 ± 8,9E-02	7,4E-01 ± 1,1E-01	7,3E-01 ± 1,0E-01	7,3E-01 ± 1,0E-01
Bilje nova gorica	6,2E-01 ± 6,8E-02	6,6E-01 ± 7,3E-02	5,9E-01 ± 8,4E-02	6,1E-01 ± 8,6E-02	6,1E-01 ± 8,6E-02
Vedrijan Kojsko	8,0E-01 ± 8,7E-02	8,7E-01 ± 9,5E-02	8,3E-01 ± 1,2E-01	8,1E-01 ± 1,1E-01	8,1E-01 ± 1,1E-01
Lokev pri lipici	9,6E-01 ± 1,1E-01	1,1E+00 ± 1,2E-01	9,4E-01 ± 1,3E-01	9,5E-01 ± 1,4E-01	9,5E-01 ± 1,4E-01
Sečovelje aerodrom	7,0E-01 ± 7,6E-02	7,2E-01 ± 7,9E-02	7,2E-01 ± 1,0E-01	6,8E-01 ± 9,6E-02	6,8E-01 ± 9,6E-02
Koseze il. Bistrica	7,9E-01 ± 8,6E-02	8,0E-01 ± 8,8E-02	7,6E-01 ± 1,1E-01	7,7E-01 ± 1,1E-01	7,7E-01 ± 1,1E-01
Zalog postojna	8,7E-01 ± 9,4E-02	9,3E-01 ± 1,0E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01	8,7E-01 ± 1,2E-01
Nova vas na Blokah	1,1E+00 ± 1,2E-01	1,2E+00 ± 1,3E-01	1,1E+00 ± 1,5E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01
Vrhnika	1,3E+00 ± 1,4E-01	1,3E+00 ± 1,5E-01	1,3E+00 ± 1,9E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01	1,1E+00 ± 1,6E-01
Vojsko	8,6E-01 ± 9,4E-02	9,4E-01 ± 1,0E-01	8,8E-01 ± 1,3E-01	7,5E-01 ± 1,1E-01	7,5E-01 ± 1,1E-01
Sorica	7,3E-01 ± 8,0E-02	7,8E-01 ± 8,5E-02	7,3E-01 ± 1,0E-01	7,1E-01 ± 1,0E-01	7,1E-01 ± 1,0E-01
Stara fužina	6,4E-01 ± 7,0E-02	6,9E-01 ± 7,5E-02	6,2E-01 ± 8,8E-02	6,1E-01 ± 8,6E-02	6,1E-01 ± 8,6E-02
Jelenja vas Iskrba	1,3E+00 ± 1,4E-01	1,4E+00 ± 1,6E-01	1,3E+00 ± 1,9E-01	1,3E+00 ± 1,9E-01	1,3E+00 ± 1,9E-01
Kredarica	7,9E-01 ± 8,6E-02	8,3E-01 ± 9,0E-02	6,9E-01 ± 9,8E-02	7,7E-01 ± 1,1E-01	7,7E-01 ± 1,1E-01



## 10.6 Radon mediana koncentracije

Tabela 28: Mediana letne koncentracije radona po občinah.

Občina	Koncentracija radona [Bq/m <sup>3</sup> ]	Občina	Koncentracija radona [Bq/m <sup>3</sup> ]	Občina	Koncentracija radona [Bq/m <sup>3</sup> ]
Ajdovščina	151 ± 34	Kozje	50 ± 33	Ribnica	339 ± 25
Ankaran	25 ± 18	Kranj	229 ± 40	Ribnica na Pohorju	96 ± 49
Apače	25 ± 13	Kranjska Gora	66 ± 9	Rogaška Slatina	75 ± 38
Beltinci	50 ± 20	Križevci	50 ± 20	Rogašovci	50 ± 20
Benedikt	50 ± 20	Krško	92 ± 37	Rogatec	75 ± 38
Bistrica ob Sotli	50 ± 20	Kungota	50 ± 20	Ruse	100 ± 40
Bled	100 ± 45	Kuzma	50 ± 20	Selnica ob Dravi	100 ± 40
Bloke	242 ± 54	Laško	77 ± 17	Semič	222 ± 18
Bohinj	120 ± 27	Lenart	50 ± 20	Sevnica	75 ± 38
Borovnica	279 ± 71	Lendava	25 ± 13	Sezana	224 ± 7
Bovec	50 ± 4	Litija	88 ± 91	Slovenj Gradec	112 ± 13
Braslovče	150 ± 65	Ljubljana	93 ± 7	Slovenska Bistrica	75 ± 38
Brda	25 ± 13	Ljubno	42 ± 57	Slovenske Konjice	75 ± 38
Brezovica	50 ± 9	Ljutomer	50 ± 25	Sodražica	182 ± 24
Brežice	125 ± 25	Logatec	236 ± 14	Solčava	68 ± 14
Cankova	50 ± 25	Log-Dragomer	39 ± 11	Središče ob Dravi	50 ± 20
Celje	100 ± 34	Loška dolina	257 ± 46	Starše	75 ± 38
Cerklje na Gorenjskem	168 ± 111	Loški Potok	361 ± 52	Straža	135 ± 39
Cerknica	370 ± 16	Lovrenc na Pohorju	100 ± 50	Sveta Ana	75 ± 38
Cerkno	81 ± 36	Luče	75 ± 93	Sveta Trojica v Slovenskih goricah	50 ± 20
Cerkvenjak	50 ± 25	Lukovica	108 ± 47	Sveti Andraž v Slov. goricah	50 ± 20
Cirkulane	59 ± 16	Majšperk	50 ± 20	Sveti Jurij ob Ščavnici	50 ± 20
Črenšovci	25 ± 13	Makole	50 ± 20	Sveti Jurij v Slovenskih goricah	50 ± 20
Črna na Koroškem	136 ± 60	Maribor	100 ± 45	Sveti Tomaž	50 ± 20
Črnomelj	186 ± 14	Markovci	50 ± 25	Šalovci	50 ± 20
Destričnik	75 ± 38	Medvode	107 ± 23	Šempeter-Vrtojba	35 ± 10
Divača	216 ± 13	Mengeš	137 ± 40	Šenčur	106 ± 132
Dobje	50 ± 25	Metlika	116 ± 17	Šentilj	144 ± 30
Dobrepolje	235 ± 26	Mežica	89 ± 11	Šentjernej	100 ± 34
Dobrna	50 ± 25	Miklavž na Dravskem polju	50 ± 25	Šentjur	89 ± 40
Dobrova-Polhov Gradec	65 ± 21	Miren-Kostanjevica	122 ± 11	Šentrupert	75 ± 38

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Občina	Koncentracija radona [Bq/m <sup>3</sup> ]	Občina	Koncentracija radona [Bq/m <sup>3</sup> ]	Občina	Koncentracija radona [Bq/m <sup>3</sup> ]
Dobrovnik	75 ± 38	Mirna	88 ± 17	Škocjan	50 ± 14
Dol pri Ljubljani	75 ± 38	Mirna Peč	376 ± 98	Škofja Loka	120 ± 23
Dolenjske Toplice	212 ± 21	Mislinja	60 ± 34	Škofljica	136 ± 28
Domžale	113 ± 14	Mokronog-Trebelno	192 ± 37	Šmarje pri Jelšah	75 ± 38
Dornava	50 ± 20	Moravce	91 ± 23	Šmarješke Toplice	50 ± 20
Dravograd	105 ± 22	Moravske Toplice	50 ± 20	Šmartno ob Paki	81 ± 48
Duplek	50 ± 20	Mozirje	155 ± 17	Šmartno pri Litiji	75 ± 38
Gorenja vas-Poljane	89 ± 18	Murska Sobota	97 ± 31	Šoštanj	38 ± 59
Gorišnica	50 ± 20	Muta	100 ± 21	store	100 ± 50
Gorje	83 ± 25	Naklo	97 ± 9	Tabor	29 ± 57
Gornja Radgona	50 ± 20	Nazarje	103 ± 48	Tišina	50 ± 20
Gornji Grad	100 ± 83	Nova Gorica	108 ± 7	Tolmin	61 ± 17
Gornji Petrovci	50 ± 20	Novo mesto	189 ± 9	Trbovlje	135 ± 13
Grad	50 ± 20	Odranci	50 ± 20	Trebnje	164 ± 26
Grosuplje	168 ± 9	Oplotnica	75 ± 38	Trnovska vas	50 ± 20
Hajdina	50 ± 20	Ormož	50 ± 24	Trzin	125 ± 115
Hoče-Slivnica	100 ± 40	Osilnica	203 ± 19	Tržič	108 ± 8
Hodoš	50 ± 20	Pesnica	75 ± 38	Turnišče	50 ± 20
Horjul	75 ± 38	Piran	22 ± 10	Velenje	103 ± 24
Hrastnik	105 ± 31	Pivka	201 ± 22	Velika Polana	25 ± 13
Hrpelje-Kozina	201 ± 14	Podčetrtek	50 ± 20	Velike Lasce	149 ± 12
Idrija	218 ± 15	Podlehnik	50 ± 20	Veržej	50 ± 20
Ig	299 ± 27	Podvelka	100 ± 90	Videm	50 ± 49
Ilirska Bistrica	90 ± 26	Poljčane	75 ± 38	Vipava	75 ± 38
Ivančna Gorica	152 ± 12	Polzela	150 ± 92	Vitanje	84 ± 21
Izola	25 ± 13	Postojna	142 ± 11	Vodice	169 ± 43
Jesenice	137 ± 15	Prebold	101 ± 23	Vojnik	104 ± 15
Jezerško	75 ± 23	Preddvor	49 ± 21	Vransko	100 ± 60
Juršinci	50 ± 20	Prevalje	100 ± 40	Vrhnika	139 ± 8
Kamnik	118 ± 23	Ptuj	69 ± 19	Vuzenica	118 ± 20
Kanal	134 ± 10	Puconci	50 ± 20	Zagorje ob Savi	80 ± 8
Kidričevo	50 ± 20	Race-Fram	50 ± 20	Zavrč	50 ± 20
Kobarid	50 ± 20	Radeče	75 ± 38	Zreče	100 ± 105
Kobilje	25 ± 13	Radenci	50 ± 40	Žalec	100 ± 31
Kočevje	227 ± 12	Radlje ob Dravi	100 ± 91	Železniki	123 ± 26
Komen	308 ± 18	Radovljica	143 ± 11	Žetale	50 ± 25
Komenda	100 ± 67	Ravne na Koroškem	100 ± 29	Žiri	50 ± 6
Koper	64 ± 8	Razkrižje	25 ± 13	Žirovnica	199 ± 15
Kostanjevica na Krki	165 ± 21	Rečica ob Savinji	108 ± 73	Žužemberk	204 ± 18
Kostel	69 ± 80	Renče-Vogrsko	155 ± 117		

Tabela 29: Posamezni deleži občin k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona.

Občina	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]	Občina	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]	Občina	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]
Ajdovščina	1,260	Kozje	0,059	Ribnica	1,391
Ankaran	0,035	Kranj	5,667	Ribnica na Pohorju	0,040
Apače	0,034	Kranjska Gora	0,152	Rogaška Slatina	0,385
Beltinci	0,157	Križevci	0,074	Rogašovci	0,061
Benedikt	0,052	Krško	1,020	Rogatec	0,092
Bistrica ob Sotli	0,026	Kungota	0,098	Ruse	0,292
Bled	0,343	Kuzma	0,034	Selnica ob Dravi	0,176
Bloke	0,146	Laško	0,405	Semič	0,354
Bohinj	0,264	Lenart	0,194	Sevnica	0,545
Borovnica	0,509	Lendava	0,108	Sezana	1,355
Bovec	0,021	Litija	0,551	Slovenj Gradec	0,840
Braslovče	0,335	Ljubljana	13,721	Slovenska Bistrica	0,819
Brda	0,055	Ljubno	0,047	Slovenske Konjice	0,482
Brezovica	0,078	Ljutomer	0,239	Sodražica	0,165
Brežice	1,256	Logatec	1,456	Solčava	0,015
Cankova	0,035	Log-Dragomer	0,057	Središče ob Dravi	0,038
Celje	2,273	Loška dolina	0,388	Starše	0,118
Cerklje na Gorenjskem	0,581	Loški Potok	0,250	Straža	0,208
Cerknica	1,788	Lovrenc na Pohorju	0,114	Sveta Ana	0,066
Cerkno	0,152	Luče	0,044	Sveta Trojica v Slovenskih goricah	0,041
Cerkvenjak	0,042	Lukovica	0,260	Sveti Andraž v Slov. goricah	0,023
Cirkulane	0,054	Majšperk	0,076	Sveti Jurij ob Ščavnici	0,054
Črenšovci	0,038	Makole	0,039	Sveti Jurij v Slovenskih goricah	0,040
Črna na Koroškem	0,174	Maribor	5,282	Sveti Tomaž	0,037
Črnomelj	1,097	Markovci	0,082	Šalovci	0,027
Destričnik	0,075	Medvode	0,740	Šempeter-Vrtojba	0,111
Divača	0,378	Mengeš	0,490	Šenčur	0,390
Dobje	0,019	Metlika	0,411	Šentilj	0,487
Dobrepolje	0,367	Mežica	0,140	Šentjernej	0,300
Dobrna	0,047	Miklavž na Dravskem polju	0,140	Šentjur	0,701
Dobrova-Polhov Gradec	0,202	Miren-Kostanjevica	0,248	Šentrupert	0,093

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Občina	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]	Občina	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]	Občina	Delež k celotni Slovenski letni dozi zaradi radona [%]
Dobrovnik	0,037	Mirna	0,097	Škocjan	0,065
Dol pri Ljubljani	0,192	Mirna Pec	0,449	Škofja Loka	1,224
Dolenjske Toplice	0,297	Mislinja	0,105	Škofljica	0,639
Domžale	1,741	Mokronog-Trebelno	0,244	Šmarje pri Jelšah	0,317
Dornava	0,059	Moravce	0,195	Šmarješke Toplice	0,071
Dravograd	0,385	Moravske Toplice	0,119	Šmartno ob Paki	0,104
Duplek	0,134	Mozirje	0,278	Šmartno pri Litiji	0,173
Gorenja vas-Poljane	0,269	Murska Sobota	0,888	Šoštanj	0,140
Gorišnica	0,082	Muta	0,145	store	0,192
Gorje	0,090	Naklo	0,231	Tabor	0,019
Gornja Radgona	0,199	Nazarje	0,142	Tišina	0,075
Gornji Grad	0,101	Nova Gorica	1,519	Tolmin	0,282
Gornji Petrovci	0,040	Novo mesto	3,350	Trbovlje	0,877
Grad	0,038	Odranci	0,039	Trebnje	0,916
Grosuplje	1,509	Oplotnica	0,119	Trnovska vas	0,026
Hajdina	0,079	Ormož	0,241	Trzin	0,297
Hoče-Slivnica	0,515	Osilnica	0,027	Tržič	0,650
Hodoš	0,007	Pesnica	0,228	Turnišče	0,064
Horjul	0,096	Piran	0,168	Velenje	1,519
Hrastnik	0,384	Pivka	0,512	Velika Polana	0,014
Hrpelje-Kozina	0,425	Podčetrtek	0,074	Velike Lasce	0,260
Idrija	1,112	Podlehnik	0,036	Veržej	0,028
Ig	0,914	Podvelka	0,090	Videm	0,106
Ilirska Bistrica	0,488	Poljčane	0,138	Vipava	0,181
Ivančna Gorica	1,091	Polzela	0,376	Vitanje	0,073
Izola	0,175	Postojna	1,015	Vodice	0,339
Jesenice	1,243	Prebold	0,233	Vojnik	0,380
Jezersko	0,020	Preddvor	0,074	Vransko	0,107
Juršinci	0,047	Prevalje	0,276	Vrhnika	0,999
Kamnik	1,439	Ptuj	0,751	Vuzenica	0,122
Kanal	0,280	Puconci	0,117	Zagorje ob Savi	0,531
Kidričevo	0,150	Race-Fram	0,157	Zavrč	0,028
Kobarid	0,082	Radeče	0,124	Zreče	0,307
Kobilje	0,005	Radenci	0,109	Žalec	0,936
Kočevje	1,479	Radlje ob Dravi	0,263	Železniki	0,348
Komen	0,436	Radovljica	1,156	Žetale	0,024
Komenda	0,302	Ravne na Koroškem	0,489	Žiri	0,028
Koper	1,508	Razkrižje	0,012	Žirovnica	0,347
Kostanjevica na Krki	0,169	Rečica ob Savinji	0,098	Žužemberk	0,373
Kostel	0,017	Renče-Vogrsko	0,278		

## 10.7 Letno naravno ozadje po občinah

Tabela 30: Deleži posameznih prispevkov in celotna vrednost letne doze naravnega ozadja za posamezne občine Slovenije. Pri določitvi doze zaradi radona in potomcev je predpostavljeno, da se oseba ves čas zadržuje v občini (biva in dela).

Občina	Zunanje okolje [%]	Gradbeni materiali [%]	Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom [%]	Kozmično sevanje [%]	Radon in potomci [%]	Letna doza naravno ozadje [mSv]
Ajdovščina	1	3	4	5	87	7,740
Ankaran	5	10	16	17	52	2,125
Apače	5	10	16	17	52	2,125
Beltinci	3	6	10	11	69	3,239
Benedikt	3	6	10	11	69	3,239
Bistrica ob Sotli	3	6	10	11	69	3,239
Bled	2	4	6	7	82	5,468
Bloke	1	2	3	3	91	11,796
Bohinj	2	3	5	6	84	6,359
Borovnica	1	2	2	3	92	13,445
Bovec	3	6	10	11	69	3,239
Braslovče	1	3	4	5	87	7,696
Brda	5	10	16	17	52	2,125
Brezovica	3	6	10	11	69	3,239
Brežice	2	3	5	5	85	6,582
Cankova	3	6	10	11	69	3,239
Celje	2	4	6	7	82	5,468
Cerklje na Gorenjskem	1	2	4	4	88	8,498
Cerknica	1	1	2	2	94	17,500
Cerkno	2	5	7	8	78	4,621
Cerkvenjak	3	6	10	11	69	3,239
Cirkulane	3	6	9	10	72	3,640
Črenšovci	5	10	16	17	52	2,125
Črna na Koroškem	2	3	5	5	86	7,072
Črnomelj	1	2	4	4	89	9,300
Destričnik	3	5	8	8	77	4,353
Divača	1	2	3	3	90	10,637
Dobje	3	6	10	11	69	3,239
Dobrepolje	1	2	3	3	91	11,484
Dobrna	3	6	10	11	69	3,239
Dobrova-Polhov Gradec	3	5	8	9	74	3,908
Dobrovnik	3	5	8	8	77	4,353
Dol pri Ljubljani	3	5	8	8	77	4,353
Dolenjske Toplice	1	2	3	3	90	10,459
Domžale	2	3	5	6	83	6,047
Dornava	3	6	10	11	69	3,239
Dravograd	2	4	6	6	82	5,690

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Občina	Zunanje okolje [%]	Gradbeni materiali [%]	Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom [%]	Kozmično sevanje [%]	Radon in potomci [%]	Letna doza naravno ozadje [mSv]
Duplek	3	6	10	11	69	3,239
Gorenja vas-Poljane	2	4	7	7	80	4,977
Gorišnica	3	6	10	11	69	3,239
Gorje	2	4	7	8	79	4,710
Gornja Radgona	3	6	10	11	69	3,239
Gornji Grad	2	4	6	7	82	5,468
Gornji Petrovci	3	6	10	11	69	3,239
Grad	3	6	10	11	69	3,239
Grosuplje	1	2	4	4	88	8,498
Hajdina	3	6	10	11	69	3,239
Hoče-Slivnica	2	4	6	7	82	5,468
Hodoš	3	6	10	11	69	3,239
Horjul	3	5	8	8	77	4,353
Hrastnik	2	4	6	6	82	5,690
Hrpelje-Kozina	1	2	3	4	90	9,969
Idrija	1	2	3	3	91	10,726
Ig	1	1	2	3	93	14,336
Ilirska Bistrica	2	4	7	7	80	5,022
Ivančna Gorica	1	3	4	5	87	7,785
Izola	5	10	16	17	52	2,125
Jesenice	2	3	5	5	86	7,117
Jezerško	3	5	8	8	77	4,353
Juršinci	3	6	10	11	69	3,239
Kamnik	2	3	5	6	84	6,270
Kanal	2	3	5	5	86	6,983
Kidričevo	3	6	10	11	69	3,239
Kobarid	3	6	10	11	69	3,239
Kobilje	5	10	16	17	52	2,125
Kočevje	1	2	3	3	91	11,127
Komen	1	1	2	2	93	14,737
Komenda	2	4	6	7	82	5,468
Koper	3	5	9	9	74	3,863
Kostanjevica na Krki	1	2	4	4	88	8,364
Kostel	3	5	8	9	75	4,086
Kozje	3	6	10	11	69	3,239
Kranj	1	2	3	3	91	11,217
Kranjska Gora	3	5	8	9	74	3,952
Križevci	3	6	10	11	69	3,239
Krško	2	4	6	7	80	5,111
Kungota	3	6	10	11	69	3,239
Kuzma	3	6	10	11	69	3,239
Laško	3	5	7	8	77	4,443
Lenart	3	6	10	11	69	3,239

Občina	Zunanje okolje [%]	Gradbeni materiali [%]	Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom [%]	Kozmično sevanje [%]	Radon in potomci [%]	Letna doza naravno ozadje [mSv]
Lendava	5	10	16	17	52	2,125
Litija	2	4	7	7	80	4,933
Ljubljana	2	4	6	7	80	5,156
Ljubno	4	7	11	12	65	2,883
Ljutomer	3	6	10	11	69	3,239
Logatec	1	2	3	3	91	11,529
Log-Dragomer	4	8	12	13	63	2,749
Loška dolina	1	2	3	3	92	12,464
Loški Potok	1	1	2	2	94	17,099
Lovrenc na Pohorju	2	4	6	7	82	5,468
Luče	3	5	8	8	77	4,353
Lukovica	2	4	6	6	83	5,824
Majšperk	3	6	10	11	69	3,239
Makole	3	6	10	11	69	3,239
Maribor	2	4	6	7	82	5,468
Markovci	3	6	10	11	69	3,239
Medvode	2	4	6	6	83	5,780
Mengeš	2	3	5	5	86	7,117
Metlika	2	3	5	6	84	6,181
Mežica	2	4	7	7	80	4,977
Miklavž na Dravskem polju	3	6	10	11	69	3,239
Miren-Kostanjevica	2	3	5	6	84	6,448
Mirna	2	4	7	7	80	4,933
Mirna Peč	1	1	2	2	94	17,768
Mislinja	3	6	9	10	73	3,685
Mokronog-Trebelno	1	2	3	4	89	9,568
Moravce	2	4	7	7	80	5,067
Moravske Toplice	3	6	10	11	69	3,239
Mozirje	1	3	4	5	87	7,919
Murska Sobota	2	4	6	7	81	5,334
Muta	2	4	6	7	82	5,468
Naklo	2	4	6	7	81	5,334
Nazarje	2	4	6	6	82	5,601
Nova Gorica	2	4	6	6	83	5,824
Novo mesto	1	2	3	4	89	9,434
Odranci	3	6	10	11	69	3,239
Oplotnica	3	5	8	8	77	4,353
Ormož	3	6	10	11	69	3,239
Osilnica	1	2	3	4	90	10,058
Pesnica	3	5	8	8	77	4,353
Piran	6	10	17	18	49	1,991
Pivka	1	2	3	4	90	9,969

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Občina	Zunanje okolje [%]	Gradbeni materiali [%]	Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom [%]	Kozmično sevanje [%]	Radon in potomci [%]	Letna doza naravno ozadje [mSv]
Podčetrtek	3	6	10	11	69	3,239
Podlehnik	3	6	10	11	69	3,239
Podvelka	2	4	6	7	82	5,468
Poljčane	3	5	8	8	77	4,353
Polzela	1	3	4	5	87	7,696
Postojna	2	3	4	5	86	7,339
Prebold	2	4	6	7	82	5,512
Preddvor	4	7	10	11	68	3,195
Prevalje	2	4	6	7	82	5,468
Ptuj	3	5	8	9	75	4,086
Puconci	3	6	10	11	69	3,239
Race-Fram	3	6	10	11	69	3,239
Radeče	3	5	8	8	77	4,353
Radenci	3	6	10	11	69	3,239
Radlje ob Dravi	2	4	6	7	82	5,468
Radovljica	2	3	4	5	86	7,384
Ravne na Koroškem	2	4	6	7	82	5,468
Razkrižje	5	10	16	17	52	2,125
Rečica ob Savinji	2	4	6	6	83	5,824
Renče-Vogrsko	1	3	4	5	87	7,919
Ribnica	1	1	2	2	94	16,119
Ribnica na Pohorju	2	4	6	7	81	5,289
Rogaška Slatina	3	5	8	8	77	4,353
Rogašovci	3	6	10	11	69	3,239
Rogatec	3	5	8	8	77	4,353
Ruse	2	4	6	7	82	5,468
Selnica ob Dravi	2	4	6	7	82	5,468
Semič	1	2	3	3	91	10,905
Sevnica	3	5	8	8	77	4,353
Sezana	1	2	3	3	91	10,994
Slovenj Gradec	2	3	5	6	83	6,002
Slovenska Bistrica	3	5	8	8	77	4,353
Slovenske Konjice	3	5	8	8	77	4,353
Sodražica	1	2	4	4	89	9,122
Solčava	3	5	8	9	75	4,041
Središče ob Dravi	3	6	10	11	69	3,239
Starše	3	5	8	8	77	4,353
Straža	2	3	5	5	86	7,027



Občina	Zunanje okolje [%]	Gradbeni materiali [%]	Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom [%]	Kozmično sevanje [%]	Radon in potomci [%]	Letna doza naravno ozadje [mSv]
Sveta Ana	3	5	8	8	77	4,353
Sveta Trojica v Slovenskih goricah	3	6	10	11	69	3,239
Sveti Andraž v Slov. goricah	3	6	10	11	69	3,239
Sveti Jurij ob Ščavnici	3	6	10	11	69	3,239
Sveti Jurij v Slovenskih goricah	3	6	10	11	69	3,239
Sveti Tomaž	3	6	10	11	69	3,239
Šalovci	3	6	10	11	69	3,239
Šempeter-Vrtojba	4	8	13	14	61	2,571
Šenčur	2	4	6	6	82	5,735
Šentilj	2	3	4	5	86	7,429
Šentjernej	2	4	6	7	82	5,468
Šentjur	2	4	7	7	80	4,977
Šentrupert	3	5	8	8	77	4,353
Škocjan	3	6	10	11	69	3,239
Škofja Loka	2	3	5	6	84	6,359
Škofljica	2	3	5	5	86	7,072
Šmarje pri Jelšah	3	5	8	8	77	4,353
Šmarješke Toplice	3	6	10	11	69	3,239
Šmartno ob Paki	2	5	7	8	78	4,621
Šmartno pri Litiji	3	5	8	8	77	4,353
Šoštanj	4	8	12	13	63	2,705
store	2	4	6	7	82	5,468
Tabor	5	9	14	16	56	2,303
Tišina	3	6	10	11	69	3,239
Tolmin	3	6	9	10	73	3,730
Trbovlje	2	3	5	5	86	7,027
Trebnje	1	3	4	4	88	8,320
Trnovska vas	3	6	10	11	69	3,239
Trzin	2	3	5	5	85	6,582
Tržič	2	4	6	6	83	5,824
Turnišče	3	6	10	11	69	3,239
Velenje	2	4	6	6	82	5,601
Velika Polana	5	10	16	17	52	2,125
Velike Lasce	1	3	4	5	87	7,651
Veržej	3	6	10	11	69	3,239
Videm	3	6	10	11	69	3,239
Vipava	3	5	8	8	77	4,353
Vitanje	2	4	7	8	79	4,755

## Letna doza v Sloveniji zaradi sevanja naravnega ozadja

Občina	Zunanje okolje [%]	Gradbeni materiali [%]	Vnos naravnih radionuklidov s hrano, vodo in zrakom [%]	Kozmično sevanje [%]	Radon in potomci [%]	Letna doza naravno ozadje [mSv]
Vodice	1	2	4	4	88	8,543
Vojnik	2	4	6	6	82	5,646
Vransko	2	4	6	7	82	5,468
Vrhnika	2	3	5	5	86	7,206
Vuzenica	2	3	5	6	84	6,270
Zagorje ob Savi	2	5	7	8	78	4,576
Zavrč	3	6	10	11	69	3,239
Zreče	2	4	6	7	82	5,468
Žalec	2	4	6	7	82	5,468
Železniki	2	3	5	6	84	6,493
Žetale	3	6	10	11	69	3,239
Žiri	3	6	10	11	69	3,239
Žirovnica	1	2	3	4	90	9,880
Žužemberk	1	2	3	4	90	10,102

## 11. DOZNI PRETVORNI FAKTORJI

Tabela 31: Dozni pretvorni faktorji za inhalirane izotope iz ICRP 119 [Sv/Bq].

	Dojenčki	1 leto	5 let	10 let	15 let	Odrasli
U-238	2,90E-05	2,50E-05	1,60E-05	1,00E-05	8,70E-06	8,00E-06
Ra-226	3,40E-05	2,90E-05	1,90E-05	1,20E-05	1,00E-05	9,50E-06
Pb-210	1,80E-05	1,80E-05	1,10E-05	7,20E-06	5,90E-06	5,60E-06
Ra-228	4,90E-05	4,80E-05	3,20E-05	2,00E-05	1,60E-05	1,60E-05
Th-228	1,60E-04	1,30E-04	8,20E-05	5,50E-05	4,70E-05	4,00E-05
K-40	2,40E-08	1,70E-08	7,50E-09	4,50E-09	2,50E-09	2,10E-09
Be-7	2,80E-10	2,40E-10	1,40E-10	9,60E-11	6,80E-11	5,50E-11
Na-22	9,70E-09	7,30E-09	3,80E-09	2,40E-09	1,50E-09	1,30E-09

Tabela 32: Dozni pretvorni faktorji za zaužite izotope iz ICRP 119 [Sv/Bq].

	Doječki	1 leto	5 let	10 let	15 let	Odrasli
U-238	3,40E-07	1,20E-07	8,00E-08	6,80E-08	6,70E-08	4,50E-08
Ra-226	4,70E-06	9,60E-07	6,20E-07	8,00E-07	1,50E-06	2,80E-07
Pb-210	8,40E-06	3,60E-06	2,20E-06	1,90E-06	1,90E-06	6,90E-07
Ra-228	3,00E-05	5,70E-06	3,40E-06	3,90E-06	5,30E-06	6,90E-07
Th-228	3,70E-06	3,70E-07	2,20E-07	1,40E-07	9,40E-08	7,20E-08
Th-230	4,10E-06	4,10E-07	3,10E-07	2,40E-07	2,20E-07	2,10E-07
K-40	6,20E-08	4,20E-08	2,10E-08	1,30E-08	7,60E-09	6,20E-09
Be-7	1,80E-10	1,30E-10	7,70E-11	5,30E-11	3,50E-11	2,80E-11

## 12. LITERATURA

- [1] D. Glavič-Cindro in B. Zorko, „Meritve radioaktivnosti v okolici Nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 2001,“ Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 2001.
- [2] U. Miklavžič, „Meritve radiaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 1989,“ Institut "Jožef Stefan", IJS DP-5767, Ljubljana, 1990.
- [3] Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 76/17, 26/19, 172/21 in 18/23 – ZDU-10).
- [4] Uredba o nacionalnem radonskem programu (Uradni list RS, št. 18/18, 86/18 in 152/20).
- [5] ICRP, „Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3,“ ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4), 2017.
- [6] „Bericht der Bundesregierung uber Umveltradioaktivita und Strahlenbelastung fur das Jahr 1987,“ Dracksache 11/6142, 1988.
- [7] U. Mikavžič, M. Žele in D. Glavič-Cindro, „Meritve radioaktivnosti v okolici nuklearne elektrarne Krško - Poročilo za leto 1995,“ Institut "Jožef Stefan", IJS-DP-7375, Ljubljana, 1996.
- [8] M. Humar, J. Skvarč, R. Ilić, M. Križman, Z. Jeran in R. Šajn, „Koncentracije radona v bivalnem okolju Slovenije,“ Institut "Jožef Stefan", IJS-DP-7164, Ljubljana, 1995.
- [9] ICRP, „Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters,“ ICRP Publication 50. Ann. ICRP 17 (1), 1987.
- [10] ICRP, „ICRP Publication 65, Protection Against Radon-222 at Home and at Work,“ Ann. ICRP 23 (2), 1993.
- [11] J. Miles, B. Green, P. Lomas in K. Cliff, „Radon Affected Areas: Cornwall and Devon,“ Documents of the NRPB, Vol. 1, No. 4; HMSO, London, 1990.
- [12] G. Cinelli, M. D. Cort in T. Tollefsen, European Atlas of Natural Radiation, Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2019.
- [13] Statistični urad Republike Slovenije, „SiStat,“ [Elektronski]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>. [Poskus dostopa 2. Avgust 2023].
- [14] F. Wissmann, V. Dangendorf in U. Schrewe, „Radiation exposure at ground level by secondary cosmic radiation,“ *Radiation Measurements*, Izv. 39, pp. 95-104, 2005.
- [15] T. Gaisser, R. Engel in E. Resconi, Cosmic Rays and Particle Physics, Cambridge University Press, 2016.

- [16] G. Cinelli, V. Gruber, L. D. Felice, P. Bossew, M. A. Hernandez-Ceballos, T. Tollefsen, S. Mundigl in M. D. Cort, „European annual cosmic-ray dose: estimation of population exposure,“ *Journal of Maps*, Izv. 13, pp. 812-821, 2017.
- [17] M. Giacomelli, G. Omahen in B. Zorko, „Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije v letu 2018,“ ZVD zavod za varnost pri delu d.o.o., Ljubljana, 2019.
- [18] M. Giacomelli, G. Omahen in B. Zorko, „Porovilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije v letu 2019,“ ZVD zavod za varnost pri delu d.o.o., Ljubljana, 2020.
- [19] M. Giacomelli, G. Omahen in B. Zorko, „Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije umetni radioaktivnosti v letu 2020,“ ZVD Zavod za varnost pri delu d.o.o., Ljubljana, 2021.
- [20] M. Giacomelli, G. Omahen in B. Zorko, „Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije umetni radioaktivnosti v letu 2021,“ ZVD Zavod za varnost pri delu d.o.o., Ljubljana, 2022.
- [21] M. Giacomelli, G. Omahen in B. Zorko, „Poročilo o izpostavljenosti prebivalcev Slovenije umetni radioaktivnosti v letu 2022,“ ZVD Zavod za varnosti pri delu d.o.o., Ljubljana, 2023.
- [22] ICRP, „Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60,“ ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41, 2012.
- [23] IAEA, „Assessment of doses to the public from ingested radionuclides,“ IAEA Safety Reports Series 14. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1999.
- [24] Inernational Atomic Energy Agency, „Exposure due to Radionuclides in Food Other than During a Nuclear or Radiological Emergency,“ Part 1: Technical Material, Safety Reports Series No. 114, IAEA, Vienna, 2023.
- [25] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, „Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I: Sources,“ UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2010.
- [26] Statistični urad Republike Slovenije, „Popis kmetijskih gospodarstev, Slovenija, 2020,“ 2021. [Elektronski]. Available: <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/9459>. [Poskus dostopa 2024].
- [27] J. Per Hedemann, Calculated shielding factors for selected European houses, Riso National Laboratory: Riso-M No. 2474, 1984.
- [28] R. Meckbach, P. Jacob in H. Paretzke, „Shielding of gamma radiation by typical european houses,“ *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Izv. 255, pp. 160-164, 1987.
- [29] H. Yoshida-Ohuchia, N. Matsudab in K. Saito, „Review of reduction factors by buildings for gamma radiation from radiocaesium deposited on the ground due to fallout,“ *Journal of Environmental Radioactivity*, Izv. 187, pp. 32-39, 2018.
- [30] M. Giacomelli, G. Omahen in B. Zorko, „Poročilo o obsevanosti prebivalcev Slovenije v letu 2023,“ ZVD zavod za varstvo pri delu d.o.o., Ljubljana, 2024.

- [31] International commission on radiation units and measurements, „ICRU Report 57: Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation,“ Library of Congress Cataloging in Publication Data, Bethesda, USA, 1998.
- [32] B. Zorko, „Radioaktivnost gradbenih materialov in gradbenih elementov v visoki gradnji v sloveniji,“ IJS delovno poročilo, 2008.
- [33] M. Podvratnik, P. Jovanovič in M. Giacomelli, „Študija identifikacije in primernosti gradbenega materiala za uporabo z vidika izpostavljenosti naravnim radionuklidom,“ ZVD, LMSAR-20210042, 2021.
- [34] M. Markkanen, „Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity,“ Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, STUK-B-STO 32, 1995.
- [35] Evropska komisija, Radiation Protection 112, Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Luxembourg: ISBN 92-828-8376-0, 1999.
- [36] National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, „NuDat 3.0, Nuclear structure and Decay Data,“ Brookhaven National Laboratory, [Elektronski]. Available: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/>. [Poskus dostopa 17 Avgust 2023].
- [37] W. W. Nazaroff in A. V. Nero, Radon and its decay products in indoor air, John Wiley & Sons, 1988.
- [38] World Health Organization, WHO Handbook on Indoor Radon, 2009.
- [39] ICRP, Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon, ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1), 2010.
- [40] Council Directive 2013/59, Euratom, OJ L13, 2014.
- [41] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, „Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I: Sources,“ UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, New York, 2000.
- [42] „Hazard quotient for radon concentration in Slovenia,“ [Elektronski]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hazard\\_quotient\\_for\\_radon\\_concentration\\_in\\_Slovenia.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hazard_quotient_for_radon_concentration_in_Slovenia.svg). [Poskus dostopa 21 Avgust 2023].
- [43] P. Jovanovič, „Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2018,“ LMSAR-238/2018-PJ, ZVD, 2018.
- [44] P. Jovanovič, „Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2019,“ LMSAR-91/2019-PJ, ZVD, 2019.
- [45] P. Jovanovič, „Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2020,“ LMSAR-72/2020-PJ, ZVD, 2020.
- [46] P. Jovanovič, „Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2021,“ LMSAR-80/2021-PJ, ZVD, 2021.

- [47] P. Jovanovič, „Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2022,“ LMSAR-20220005-B-PJ, ZVD, 2022.
- [48] M. Leban, „Vpliv okolja in bivalnih navad na raven radon v domovih,“ Unicerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju, diplomska naloga, Nova Gorica, 2013.
- [49] A. Likar, G. Omahen, M. Lipoglavšek in T. Vidmar, „A theoretical description of diffusion and migration of Cs-137 in soil,“ *Journal of Environmental Radioactivity*, Izv. 57, pp. 191-201, 2001.