



ZVD ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU d.d.  
Institute of Occupational Safety

Center za fizikalne meritve

Laboratorij za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov

Št. poročila: **LMSAR-20090042-PJ**

Datum: 12.11.2009

## Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2009

Naročnik / uporabnik (koda):

Ministrstvo za zdravje

Uprava RS za varstvo pred sevanji

Ajdovščina 4

1000 Ljubljana

Številka in datum pogodbe:

4301-7/2009, 26.6.2009

Datum meritev:

avgust – oktober 2009

Poslano:

3 x naročnik

1 x arhiv ZVD

Meritve opravil:

Peter Jovanovič, inž. fiz.

Poročilo odobril:

Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

Poročilo pregledal:

Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

*Poročilo vsebuje skupaj 53 strani in prilogo Poročilo LMSAR-20090042a-PJ in ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti*

Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana-Polje, Slovenija · T+386 (0)1 585 51 00 · F +386 (0)1 585 51 01 · E info@zvd.si · W www.zvd.si

Davčna št. 21282692 · ID št. za DDV: SI21282692 · Matična št.: 5055580 ·

Vpis družbe: Oktožno sodišče v Ljubljani, vložna št.: 10024700 - Osnovni kapital: 779.402,44 EUR



## Povzetek

*V devetindvajsetih različnih objektih je bilo opravljenih 64 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in ena meritev z oglenimi adsorberji. Izmerjene koncentracije radona so v petindvajsetih (od dvainštiridesetih) izbranih prostorih šol in vrtcev nižje od  $400 \text{ Bq/m}^3$ , v ostalih sedemnajstih pa višje od  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Izmerjene koncentracije radona v drugih javnih ustanovah so v desetih izbranih prostorih (od šestnajstih) nižje od  $1000 \text{ Bq/m}^3$ , v ostalih šestih pa višje od  $1000 \text{ Bq/m}^3$ .*

*Zaradi različne geološke strukture tal v Sloveniji in odvisnosti prepustnosti (permeabilnosti) tal od vremenskih pogojev predlagamo dodatne meritve koncentracije radona v razpokah v prostorih objektov s povišanimi koncentracijami radona (ob različnih vremenskih pogojih v izbranih objektih, zgrajenih na tleh z različno geološko sestavo).*

*Na podlagi rezultatov meritev in časa zadrževanja v prostorih objektov smo ocenili efektivne doze za zaposlene in otroke. V trinajstih ustanovah so efektivne doze nižje od  $1 \text{ mSv/leto}$ , v treh ustanovah so efektivne doze med  $1 - 2 \text{ mSv/leto}$ , v šestih ustanovah so efektivne doze med  $2 - 6 \text{ mSv/leto}$ , v sedmih ustanovah so efektivne doze za višje od  $6 \text{ mSv/leto}$ . Pri 45 % ustanov so ocenjene efektivne doze za otroke, prebivalce in zaposlene višje od  $2 \text{ mSv/leto}$ , pri 24 % pa višje od  $6 \text{ mSv/leto}$ .*

*Predlagamo, da se v šolah in vrtcih z izmerjenimi koncentracijami radona nad  $400 \text{ Bq/m}^3$  in v drugih objektih z izmerjenimi koncentracijami radona nad  $1000 \text{ Bq/m}^3$  ponovijo meritve z detektorji sledi za daljše časovno obdobje v zimskem času, kar bo osnova za realnejšo oceno efektivnih doz za zaposlene in odrasle ter možne ukrepe sanacije. Še posebej to velja za objekte z najvišjimi izmerjenimi koncentracijami radona in ocenjenimi efektivnimi dozami preko  $6 \text{ mSv}$  na leto.*

**Vsebina**

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. Uvod                                               | 4  |
| 2. Namen in cilji naloge                              | 5  |
| 3. Program meritev                                    | 5  |
| 4. Metode merjenja                                    | 8  |
| 4.1. Meritve koncentracije radona                     | 8  |
| 4.1.1. Pasivna metoda – detektorji sledi              | 8  |
| 4.1.2. Pasivna metoda – ogljeni adsorberji            | 9  |
| 4.1.3. Aktivna metoda                                 | 9  |
| 4.1.4. Radon v zemlji                                 | 10 |
| 4.2. Meritve koncentracije vezanih radonovih potomcev | 10 |
| 5. Rezultati meritev                                  | 11 |
| 5.1. Vrtci in šole                                    | 11 |
| 5.1.1. Podružnična šola in vrtec v Bučki              | 13 |
| 5.1.2. VVO Ivančna gorica, Vrtec Muljava              | 16 |
| 5.1.3. Podružnična šola Muljava                       | 19 |
| 5.1.4. Osnovna šola Stari trg ob Kolpi                | 20 |
| 5.1.5. Osnovna šola Vavta vas                         | 22 |
| 5.1.6. Osnovna šola Dobrnič                           | 23 |
| 5.1.7. Vrtec Sežana – Enota Jasli                     | 25 |
| 5.1.8. Osnovna šola Antona Šibelja – Stjenka Komen    | 27 |
| 5.1.9. Osnovna šola Prevalje                          | 30 |
| 5.1.10. Osnovna šola Prevole                          | 34 |
| 5.2. Druge javne ustanove                             | 36 |
| 5.2.1. Psihiatrična klinika Ljubljana                 | 38 |
| 5.2.2. Psihiatrična bolnišnica Idrija                 | 39 |
| 5.2.3. Cinkarna Celje                                 | 40 |
| 5.3. Stanovanjski objekti                             | 41 |
| 6. Ocena prejetih učinkovitih doz                     | 42 |
| 7. Zaključki                                          | 47 |
| 8. Reference                                          | 52 |

## 1. Uvod

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

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

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

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

V letih 2006 – 2009 je Uprava za varstvo pred sevanji (URSVS) razpisala projektne naloge za sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja, v katere so bile vključene meritve v vrtcih, šolah, drugih javnih ustanovah in podjetjih ter enem stanovanjskem objektu ([7], [8] in to poročilo).

## **2. Namen in cilji naloge**

V zadnjih petnajstih letih so se izvajale meritve koncentracije radona s pasivnimi metodami (Lucasove celice, detektorji sledi) v osnovnih šolah in vzgojno varstvenih zavodih ter v drugih javnih institucijah, kot so bolnišnice, zdravstveni domovi, občinske zgradbe, policijske postaje in carinarnice. V šolah, vrtcih in drugih objektih, kjer so bile izmerjene visoke koncentracije radona, so bile dodatno izvedene meritve koncentracije radona in potomcev z merilnimi instrumenti z namenom določitve časovnega poteka koncentracij radona in potomcev ter iskanja virov radona v objektih. Na podlagi opravljenih meritev so bile po potrebi izvedene sanacije objektov.

## **3. Program meritev**

V pričujočo nalogo so vključeni vsi objekti, ki jih je URSVS določila kot objekte, v katerih so potrebne prve oziroma ponovne meritve koncentracije radona in potomcev. Med izvajanjem naloge so zaradi dotrajanosti porušili Podružnično šolo Šentrupert. Namesto meritev, predvidenih na tej šoli, smo v skladu z dogovorom z URSVS izvedli dodatne meritve koncentracije radona in potomcev z merilnimi instrumenti v OŠ Prevalje in dve meritvi koncentracije radona z detektorji sledi v objektu Ministrstva za obrambo na Todražu.

Opravili smo dodatne meritve koncentracije radona z detektorji sledi v vrtcu v Mokronogu z več oddelki (ena dodatna meritev), v vrtcu v Šmarjeti, ki ima dve enoti (ena dodatna meritev) in v OŠ Kostanjevica na Krki (ena dodatna meritev). Dodatno smo opravili še dve meritvi koncentracije radona z detektorji sledi v Rudniku Mežica ob kolesarski poti. Meritve smo v letu 2009 izvajali v poletnem in zgodnjem jesenskem času.

Program meritev je prikazan v tabeli 1. V tabeli so navedene ustanove ter število predvidenih in opravljenih meritev koncentracije radona in potomcev v prostorih objektov navedenih ustanov. Izbranih je bilo dvaindvajset osnovnih šol in vzgojno varstvenih zavodov, dve bolnišnici, rudnik Mežica, Cinkarna Celje, dva objekta ministrstva za obrambo ter dve stanovanji.

V okviru projektne naloge sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja v letu 2008 smo opravili meritve koncentracije radona v stanovanjskem objektu na Tomšičevi 19 v Idriji [15]. Zaradi suma na zamenjavo lokacije detektorjev sledi (klet – kuhinja) smo ponovili meritve v obdobju od decembra 2008 do aprila 2009.

Opravili smo 64 meritev koncentracij radona z detektorji sledi, eno meritev koncentracije radona z oglenimi adsorberji, sedem meritev koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti z namenom določanja časovnega poteka koncentracije radona in potomcev ter devet meritev koncentracij radona z merilnimi instrumenti z namenom določitve virov izhajanja radona v prostore zgradb (radon v zemlji, špranje, razpoke, kanalizacijski in drugi jaški...). Opravili smo tudi pet meritev doze sevanja gama s TL dozimetri in eno meritev radioaktivnosti aerosolov zraka.

Tabela 1. Program meritev

| Objekt                           | Predvidene meritve |    |        |   |   | Opravljenе meritve    |                    |   |   |   |
|----------------------------------|--------------------|----|--------|---|---|-----------------------|--------------------|---|---|---|
|                                  | a                  | b  | c      | d | e | a                     | b                  | c | d | e |
| OŠ Brusnice                      | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| OŠ Bučka                         | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| Vrtec na OŠ Bučka                | 2                  | 1  |        |   |   | 2                     | 1                  |   |   |   |
| OŠ Dobrnič                       | 2                  |    |        |   |   | 2                     |                    |   |   |   |
| Vrtec na OŠ Dobrnič              | 1                  | 1  |        |   |   | 1                     | 1                  |   |   |   |
| OŠ Dragatuš                      | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| OŠ Komen                         | 3                  |    | 1      |   |   | 3                     |                    | 1 |   |   |
| Vrtec na OŠ Komen                | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| OŠ Kostanjevica na Krki          | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| Vrtec na OŠ Kostanjevica na Krki |                    |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| OŠ Muljava                       | 2                  |    | 1      |   |   | 2                     |                    | 1 |   |   |
| Vrtec na OŠ Muljava              | 2                  | 1  | 1      |   |   | 2                     | 1                  | 1 |   |   |
| OŠ Prevalje                      | 3                  | 1* | 1 + 1* |   |   | 3                     | 1                  | 2 |   |   |
| OŠ Prevole                       | 2                  |    |        |   |   | 2                     |                    |   |   |   |
| Vrtec na OŠ Prevole              | 2                  | 1  | 1      |   |   | 2                     | 1                  | 1 |   |   |
| OŠ Stari trg ob Kolpi            | 2                  |    |        |   |   | 2                     |                    |   |   |   |
| Vrtec Stari trg ob Kolpi         | 1                  | 1  |        |   |   | 1                     | 1                  |   |   |   |
| OŠ Stopiče                       | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| OŠ Šentrupert                    | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| OŠ Vavta vas                     | 2                  |    |        |   |   | 2                     |                    |   |   |   |
| vrtec Vavta vas                  | 2                  | 1  |        |   |   | 2                     | 1                  |   |   |   |
| OŠ Vinica                        | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| Petrov vrtec Šentpeter           | 1                  |    |        |   |   | 1                     | detektor izgubljen |   |   |   |
| Vrtec Črnomelj                   | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| vrtec Mokronog                   | 1                  |    |        |   |   | 2                     |                    |   |   |   |
| vrtec na OŠ Žužemberk            | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| vrtec Sežana - enota Jasli       | 1                  |    | 1      |   |   | 1                     |                    | 1 |   |   |
| vrtec Šmarjeta                   | 1                  |    |        |   |   | 2                     |                    |   |   |   |
| Podružnična šola Šentrupert      | 2                  | 1  | 1      |   |   | obnova šole - rušitev |                    |   |   |   |
| Cinkarna Celje                   | 1**                |    |        | 4 | 1 | 1**                   |                    |   | 4 | 1 |
| Idrija Tomšičeva 19              | 3                  |    |        | 1 |   | 6                     |                    |   | 1 |   |
| Min. za obrambo - FRS Ljubljana  | 1                  |    |        |   |   | 1                     |                    |   |   |   |
| Min. za obrambo - Todraž         | 1 + 2*             |    |        |   |   | 3                     |                    |   |   |   |
| Psiha Idrija                     | 1                  |    | 1      |   |   | 2                     |                    | 1 |   |   |
| Psihiatrična klinika Ljubljana   | 4                  |    | 1      |   |   | 4                     |                    | 1 |   |   |
| Rudnik Mežica                    | 3                  |    |        |   |   | 5                     |                    |   |   |   |
| Skupaj                           | 56                 | 7  | 9      | 5 | 1 | 64                    | 7                  | 9 | 5 | 1 |

Legenda:

a - osnovne meritve z detektorji sledi

b - kontinuirne meritve koncentracije radona in potomcev v obdobju nekaj dni

c - iskanje virov radona z merilnimi instrumenti

d - TLD

e - aerosoli

\*\* - osnovne meritve z oglenimi adsorberji

\* - namesto PŠ Šentrupert



## 4. Metode merjenja

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

### 4.1. Meritve koncentracije radona

#### 4.1.1. Pasivna metoda – detektorji sledi

Koncentracijo radona skozi daljše časovno obdobje smo določali z detektorji sledi, podjetja Gammadata Mätteknik AB, Švedska. Detektor sledi je plastična folija z dimenzijami 1.5 cm x 1 cm. Detektor je pritrjen na notranjo stran pokrova plastičnega okroglega ohišja, s premerom 5 cm in višino 3 cm. Na dnu ohišja je bar koda in številka detektorja (Slika 1). Radon, ki pride v t.i. radonsko komoro, v njej razpade, delci alfa, ki nastanejo pri razpadu, pa se zarijejo v folijo in v njej pustijo sledi. Število sledi na foliji je premo sorazmerno s koncentracijo radona v zraku.

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

#### 4.1.2. Pasivna metoda - ogleni adsorberji

Povprečno dvodnevno ali tridnevno koncentracijo radona določamo z oglenimi adsorberji. To so kovinske posodice, premera 9 cm in visoke 3 cm, napolnjene z aktivnim ogljem (Slika 2). Posodico odpremo in pustimo, da se radon adsorbira na aktivno oglje. Nato posodico zapremo. Radon, ki se je adsorbiral na aktivnem oglju, razpade v svoje kratkožive potomce

( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  in  $^{214}\text{Po}$ ). Po treh urah se vzpostavi radioaktivno ravnovesje med radonovimi potomci in radonom. Razpadna produkta radona,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , razpadata z izsevanjem kvantov gama, zato ju lahko določamo z detektorjem sevanja gama (visokoločljiva spektrometrija gama). Meritve koncentracije radona z oglenimi adsorberji smo izvedli v skladu s postopkom DP-LMSAR-3.01. Metoda je akreditirana po standardu SIST ISO/IEC 17025.

**Slika 1. Detektor sledi**



**Slika 2. Ogleni adsorber**



#### **4.1.3. Aktivna metoda**

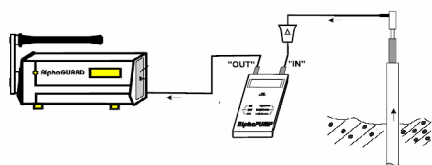
Časovni potek koncentracije radona za obdobje nekaj dni smo določali z merilnimi instrumenti Alphaguard (Genitron, Nemčija), RTM 2010 (Sarad, Nemčija), RAD 7 (Radonlab, ZDA) in System 30 (Scintrex, Kanada). Detektor sevanja alfa v instrumentu Alphaguard je cilindrična ionizacijska celica z volumnom 0.5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

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

#### 4.1.4. Radon v zemlji

Koncentracijo radona v zemlji smo merili z merilnim instrumentom instrumenti Alphaguard (Genitron, Nemčija). V zemljo smo zabili cev (notranji premer 1 cm) v globino 80 - 100 cm. Izhod cevi smo povezali s plastično cevko preko črpalke do merilnega instrumenta (Slika 3).

Slika 3. Merjenje koncentracije radona v zemlji



#### 4.2. Meritve koncentracije vezanih radonovih potomcev

Časovni potek koncentracije vezanih radonovih potomcev za obdobje nekaj dni smo določali z merilnim instrumentom WLM-30 (Working Level Monitor), System 30, firme Scintrex iz Kanade in Doseman Pro, Sarad, Nemčija. Črpalka s pretokom 1 liter/minuto črpa zrak skozi filter, v katerem se zadržijo radonovi potomci (vezani na aerosole). Nasproti filtra je polprevodniški detektor, ki zaznava alfa sevanje. Rezultat meritve je ravnovesna koncentracija vezanih radonovih potomcev EEC, ki se podaja v  $\text{Bq/m}^3$ .

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

## 5. Rezultati meritev

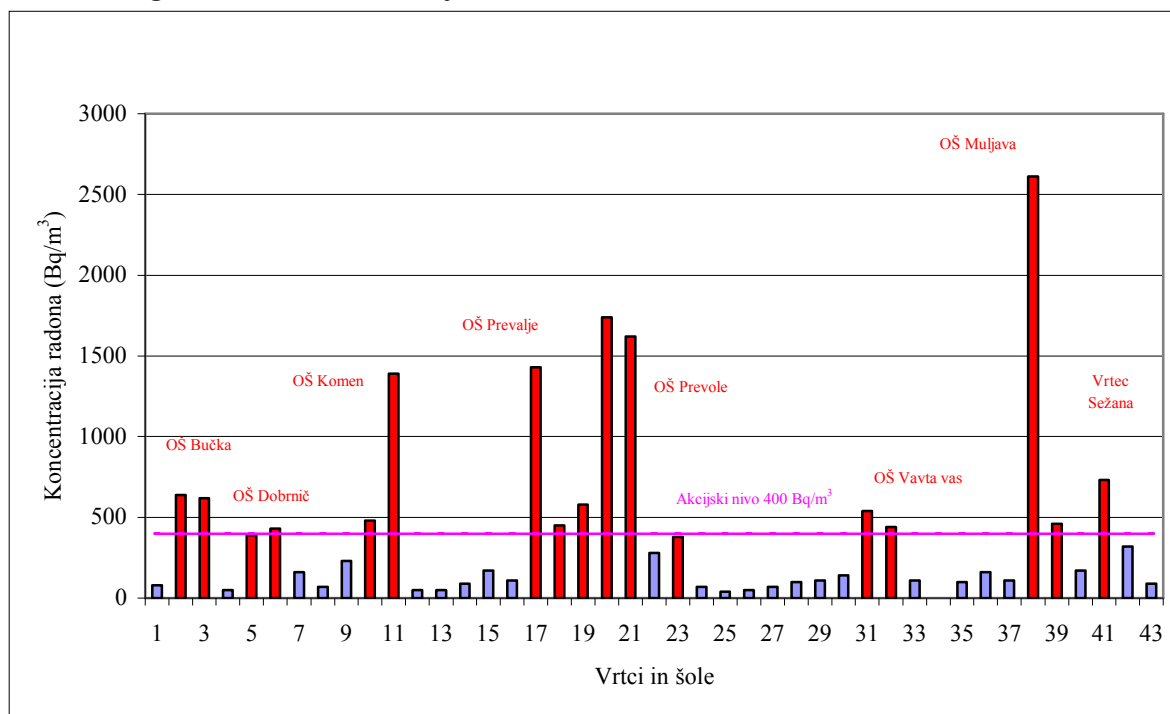
### 5.1. Vrtci in osnovne šole

Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v dvaindvajsetih vrtcih in osnovnih šolah. V osmih osnovnih šolah smo izvajali meritve v prostorih šole in igralnicah vrtcev. V šestih vrtcih in eni osnovni šoli smo izvajali dodatne meritve koncentracije radona in radonovih potomcev. Na treh osnovnih šolah in treh vrtcih smo izvajali meritve koncentracije radona z merilnimi instrumenti za določitev vira izhajanja radona v prostore preiskovanih objektov.

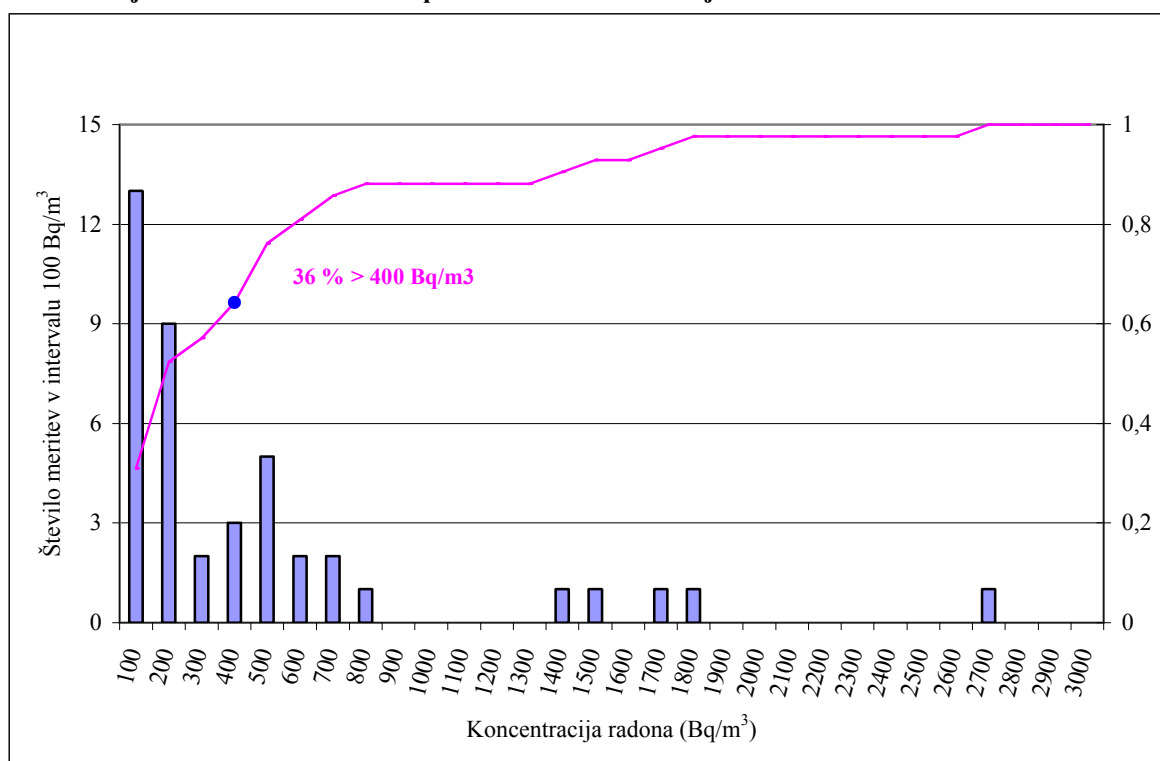
V osnovnih šolah in vrtcih smo skupno opravili triinštirideset meritev koncentracije radona z detektorji sledi, sedem meritev časovnega poteka koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti ter sedem meritev koncentracije radona za določitev vira izhajanja radona.

Rezultati meritev koncentracije radona z detektorji sledi v vrtcih in šolah so prikazani v tabeli 2 in na sliki 4. V sedemnajstih prostorih vrtcev in šol so bile izmerjene koncentracije radona, višje od  $400 \text{ Bq/m}^3$  (slika 4). Vse izmerjene koncentracije radona, ki skupaj z napako meritve presegajo  $400 \text{ Bq/m}^3$ , so obarvane rdeče. Na sliki 5 podajamo verjetnostno in kumulativno porazdelitev izmerjenih koncentracij radona v vrtcih in šolah. V petindvajsetih prostorih izbranih objektov so bile izmerjene vrednosti koncentracije radona nižje od  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Slika 4. Histogram meritev koncentracije radona v vrtcih in šolah



Slika 5. Verjetnostna in kumulativna porazdelitev koncentracij radona v vrtcih in osnovnih šolah



**Tabela 2. Koncentracija radona v vrtcih in osnovnih šolah (merjeno z detektorji sledi)**

| Zap. št. | Številka detektorja | Start     |     | Stop       |     | Lokacija                              | Objekt                     | Konc. radona Bq/m <sup>3</sup> |
|----------|---------------------|-----------|-----|------------|-----|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|          |                     | Datum     | Ura | Datum      | Ura |                                       |                            |                                |
| 1        | 411483-1            | 9.9.2009  | 8   | 9.10.2009  | 8   | igralnica Muce                        | OŠ Brusnice                | 80 ± 20                        |
| 2        | 163053-2            | 1.9.2009  | 10  | 7.10.2009  | 10  | igralnica Mehurčki                    | OŠ Bučka                   | 640 ± 80                       |
| 3        | 202765-4            | 1.9.2009  | 10  | 7.10.2009  | 10  | igralnica Gumbki                      | OŠ Bučka                   | 620 ± 80                       |
| 4        | 223973-9            | 1.9.2009  | 10  | 7.10.2009  | 10  | učilnica v 1. nadstropju              | OŠ Bučka                   | 50 ± 10                        |
| 5        | 411482-3            | 2.9.2009  | 13  | 2.10.2009  | 13  | igralnica vrtec                       | OŠ Dobrnič                 | 390 ± 50                       |
| 6        | 357614-7            | 2.9.2009  | 13  | 2.10.2009  | 13  | kabinet pritličje                     | OŠ Dobrnič                 | 430 ± 60                       |
| 7        | 145295-2            | 2.9.2009  | 13  | 2.10.2009  | 13  | učilnica v 1. nadstropju              | OŠ Dobrnič                 | 160 ± 30                       |
| 8        | 183235-1            | 28.8.2009 | 14  | 13.10.2009 | 11  | igralnica vrtec                       | OŠ Dragatuš                | 70 ± 20                        |
| 9        | 278418-9            | 1.9.2009  | 13  | 8.10.2009  | 11  | vrtec (prej tehnični pouk)            | OŠ Komen                   | 230 ± 30                       |
| 10       | 357310-2            | 1.9.2009  | 13  | 8.10.2009  | 11  | učilnica 4. razreda (sedaj teh. pouk) | OŠ Komen                   | 480 ± 60                       |
| 11       | 149395-6            | 1.9.2009  | 13  | 8.10.2009  | 11  | telovadnica                           | OŠ Komen                   | 1390 ± 170                     |
| 12       | 139548-2            | 1.9.2009  | 13  | 8.10.2009  | 11  | učilnica v 1. nadstropju, kem-bio     | OŠ Komen                   | 50 ± 10                        |
| 13       | 317586-6            | 1.9.2009  | 8   | 12.10.2009 | 10  | igralnica vrtec                       | OŠ Kostanjevica na Krki    | 50 ± 10                        |
| 14       | 371672-7            | 1.9.2009  | 9   | 12.10.2009 | 10  | učilnica                              | OŠ Kostanjevica na Krki    | 90 ± 20                        |
| 15       | 195984-0            | 2.9.2009  | 14  | 8.10.2009  | 8   | učilnica spodaj                       | OŠ Muljava                 | 170 ± 30                       |
| 16       | 411891-5            | 2.9.2009  | 14  | 8.10.2009  | 8   | učilnica zgoraj                       | OŠ Muljava                 | 110 ± 20                       |
| 17       | 311538-3            | 27.8.2009 | 8   | 8.10.2009  | 13  | učilnica 1 od knjižnice               | OŠ Prevalje                | 1430 ± 170                     |
| 18       | 194434-7            | 27.8.2009 | 8   | 8.10.2009  | 13  | učilnica 2 od knjižnice               | OŠ Prevalje                | 450 ± 60                       |
| 19       | 357453-0            | 27.8.2009 | 8   | 8.10.2009  | 13  | učilnica 3 od knjižnice               | OŠ Prevalje                | 580 ± 70                       |
| 20       | 135738-3            | 21.8.2009 | 8   | 9.10.2009  | 8   | igralnica Bibe                        | OŠ Prevole                 | 1740 ± 230                     |
| 21       | 357540-4            | 21.8.2009 | 8   | 9.10.2009  | 8   | igralnica Medvedki                    | OŠ Prevole                 | 1620 ± 220                     |
| 22       | 361909-5            | 21.8.2009 | 8   | 9.10.2009  | 8   | kuhinja - čajna                       | OŠ Prevole                 | 280 ± 40                       |
| 23       | 227372-0            | 21.8.2009 | 8   | 9.10.2009  | 8   | jedilnica                             | OŠ Prevole                 | 380 ± 50                       |
| 24       | 357209-6            | 31.8.2009 | 15  | 9.10.2009  | 11  | igralnica vrtec                       | OŠ Stari trg ob Kolpi      | 70 ± 20                        |
| 25       | 145490-9            | 31.8.2009 | 15  | 9.10.2009  | 11  | učilnica                              | OŠ Stari trg ob Kolpi      | 40 ± 10                        |
| 26       | 306802-0            | 31.8.2009 | 15  | 9.10.2009  | 11  | učilnica                              | OŠ Stari trg ob Kolpi      | 50 ± 10                        |
| 27       | 311552-4            | 4.9.2009  | 9   | 9.10.2009  | 9   | igralnica Muce                        | OŠ Stopiče                 | 70 ± 20                        |
| 28       | 268087-4            | 24.8.2009 | 10  | 9.10.2009  | 9   | igralnica vrtec                       | OŠ Šentrupert              | 100 ± 20                       |
| 29       | 356734-4            | 31.8.2009 | 13  | 12.10.2009 | 12  | učilnica 10                           | OŠ Vavta vas               | 110 ± 20                       |
| 30       | 357865-5            | 31.8.2009 | 13  | 12.10.2009 | 12  | učilnica 3                            | OŠ Vavta vas               | 140 ± 20                       |
| 31       | 357696-4            | 31.8.2009 | 9   | 12.10.2009 | 12  | igralnica Bibe                        | OŠ Vavta vas               | 540 ± 70                       |
| 32       | 208526-4            | 31.8.2009 | 9   | 12.10.2009 | 12  | igralnica Pikapolonice                | OŠ Vavta vas               | 440 ± 60                       |
| 33       | 183571-9            | 26.8.2009 | 12  | 12.10.2009 | 9   | igralnica Sončki                      | OŠ Viinica                 | 110 ± 20                       |
| 34       | 146459-3            | 21.8.2009 |     |            |     | igralnica v pritličju                 | Petrov vrtec Šentpeter     | izgubljen                      |
| 35       | 357450-6            | 24.8.2009 | 13  | 12.10.2009 | 13  | vrtec Črnomelj - enota Loka           | Vrtec Črnomelj             | 100 ± 20                       |
| 36       | 183141-1            | 27.8.2009 | 10  | 12.10.2009 | 11  | igralnica Črički                      | vrtec Mokronog             | 160 ± 20                       |
| 37       | 216403-6            | 27.8.2009 | 10  | 12.10.2009 | 11  | igralnica Mavrica                     | vrtec Mokronog             | 110 ± 20                       |
| 38       | 281284-0            | 7.9.2009  | 10  | 14.10.2009 | 10  | igralnica vrtec                       | vrtec Muljava              | 2610 ± 390                     |
| 39       | 267654-2            | 7.9.2009  | 10  | 14.10.2009 | 10  | igralnica vrete (prej garderoba)      | vrtec Muljava              | 460 ± 60                       |
| 40       | 164907-8            | 1.9.2009  | 9   | 9.10.2009  | 13  | igralnica vrtec na stari šoli         | vrtec na OŠ Žužemberk      | 170 ± 30                       |
| 41       | 295254-7            | 25.8.2009 | 10  | 8.10.2009  | 9   | igralnica vrtec                       | vrtec Sežana - enota Jasli | 730 ± 90                       |
| 42       | 198567-0            | 8.9.2009  | 12  | 9.10.2009  | 9   | igralnica vrtec                       | vrtec Šmarjeta             | 320 ± 50                       |
| 43       | 338268-6            | 9.9.2009  | 7   | 9.10.2009  | 9   | igralnica druga enota                 | vrtec Šmarjeta             | 90 ± 20                        |

\* v rdečem tekstu so lokacije, kjer je izmerjena vrednost skupaj z negotovostjo meritve skupaj s faktorjem zaupanja 1 višja od 400 Bq/m<sup>3</sup>

### **5.1.1. Podružnična šola in vrtec v Bučki**

Opravili smo dodatne meritve koncentracije radona in potomcev v vrtcu v podružnični šoli v Bučki (Slika 6). Meritve smo izvajali času od 1.9.2009 ob 12:31 do 7.9.2008 ob 12:31 v igralnici Mehurčki. Rezultati meritev so prikazani na sliki 7.

Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev je bila  $828 \pm 87 \text{ Bq/m}^3$ , ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila  $300 \pm 52 \text{ Bq/m}^3$ , povprečni faktor ravnovesja pa  $0.52 \pm 0.07$ . Najvišje vrednosti koncentracij radona in potomcev so bile izmerjene v nočnem času, preko  $2500 \text{ Bq/m}^3$ , kar je običajno glede na dnevni cikel radona. Iz slike 7 je lepo vidno, da koncentracija radona med tednom tudi v nočnem času ni presegla  $500 \text{ Bq/m}^3$ , kar pomeni, da so bila okna najbrž ves čas odprta. Ker je bilo zunaj toplo, se tudi zrak ni dosti menjal (faktor ravnovesja je bil vseskozi okoli 0.7), razen ob prepihu okoli 14. ure. V petek popoldan so okna zaprli in koncentracija radona je preko vikenda narasla do  $2600 \text{ Bq/m}^3$ . V prostor je stalno prihajal svež radon, zato je faktor ravnovesja padal in se ustavil okoli vrednosti 0.3. V ponedeljek zjutraj so prostor prezračili in koncentracija radona je padla pod  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

Koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi (Tabela 2), presegajo  $400 \text{ Bq/m}^3$  ( $640 \pm 80 \text{ Bq/m}^3$  v igralnici Mehurčki in  $620 \pm 80 \text{ Bq/m}^3$  v igralnici Gumbki) kar je razumljivo, saj so bili detektorji postavljeni v septembru in oktobru tako ponoči kot tudi med vikendi, ko so koncentracije radona višje kot podnevi med obratovanjem vrtca. Koncentracija radona v letu 2008, izmerjena z detektorji sledi v istem prostoru, je bila  $948 \pm 99 \text{ Bq/m}^3$  (takrat je bilo vreme bolj deževno in hladno).

Koncentracije radona, izmerjene z merilnimi instrumenti med vikendom, dajo slutiti, da so v tleh in ob stenah najbrž razpoke (čeprav na prvi pogled niso bile opazne), ki predstavljajo močan vir radona. V zimskem obdobju in v času inverzije bo v igralnici mnogo več radona kot poleti.

Predlagamo dodatne meritve iskanja virov radona.

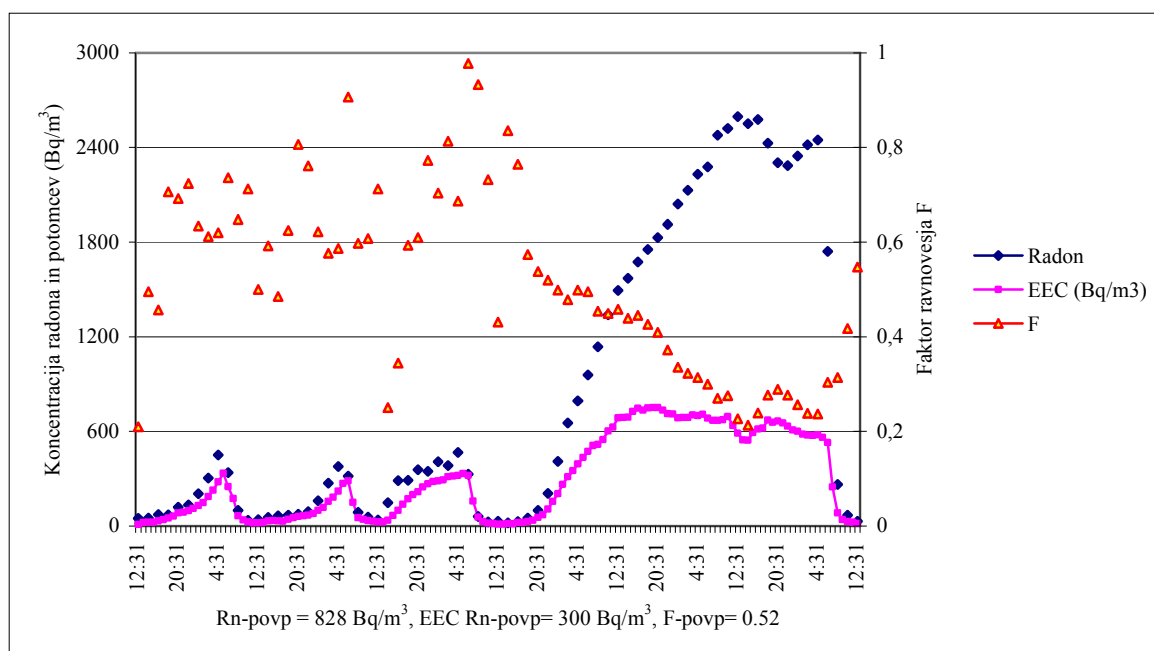
Slika 6. Osnovna šola Bučka



Slika 7. Koncentracija radona in radonovih potomcev

Lokacija: Vrtec Bučka, igralnica Mehurčki

Datum meritev: 1.9.2009 ob 12:31 do 7.9.2008 ob 12:31





### 5.1.2. VVO Ivančna Gorica, Vrtec Muljava

Opravili smo dodatne meritve koncentracije radona in potomcev v vrtcu Muljava. Meritve smo izvajali času od 8.9.2009 ob 13:23 – 14.9.2009 ob 9:23 v igralnici vrtca (Slika 8).

Slika 8. Vrtec Muljava



Rezultati meritev so prikazani na sliki 9. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v igralnici je bila  $1599 \pm 225 \text{ Bq/m}^3$ , ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila  $1246 \pm 271 \text{ Bq/m}^3$ , povprečni faktor ravnovesja pa  $0.64 \pm 0.08$ . Med izvajanjem meritev je bilo vreme sončno in stabilno, podnevi zelo toplo.

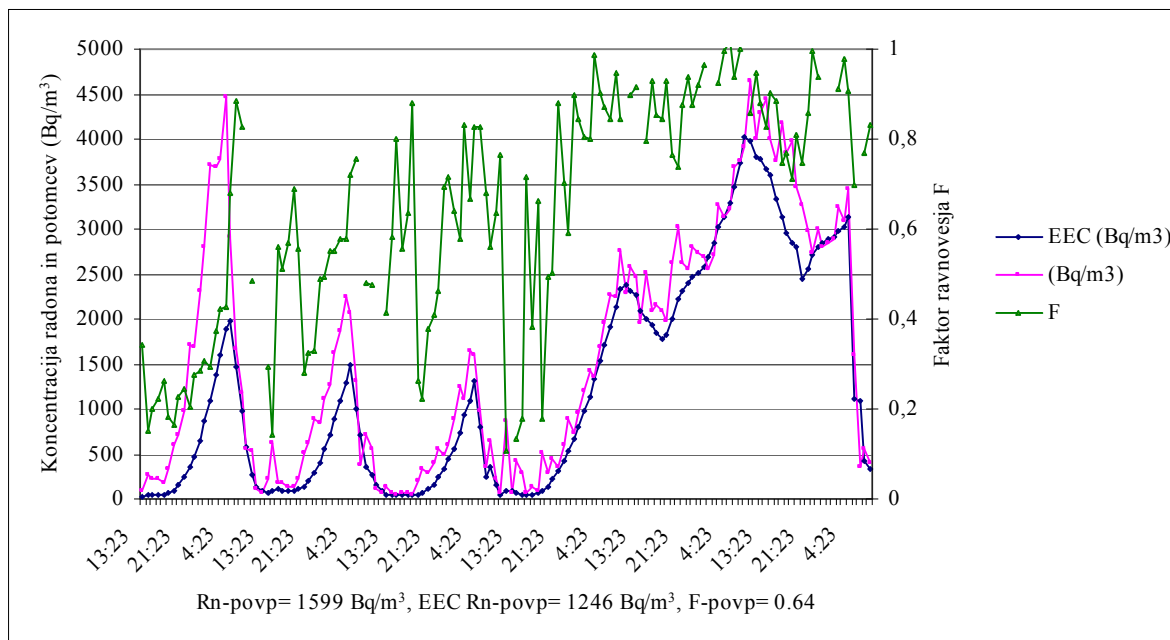
Najvišje vrednosti koncentracij radona in potomcev so bile izmerjene v nočnem času in preko vikenda, ko so bila okna zaprta. Koncentracija radona je v vsak dan po zaprtju oken strmo naraščala in se v jutranjih urah ob odprtju oken spet spustila pod  $100 \text{ Bq/m}^3$ . V petek po zaprtju vrtca je koncentracija radona spet naraščala in presegla vrednost  $4000 \text{ Bq/m}^3$ . Povprečna enomesečna koncentracija radona v igralnici vrtca, izmerjena z detektorji sledi, je bila  $2610 \pm 390 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 2).

Glede na meritve, opravljene v letu 2008, je slika nekoliko drugačna. V letu 2008 je bilo med meritvijo vreme nestabilno, deževno in hladno. Zaradi tega je zrak lažje prehajal iz tal skozi razpoke v temeljni plošči v toplejši notranji prostor. Povprečna koncentracija radona v igralnici, izmerjena z merilnimi instrumenti, je bila  $7788 \text{ Bq/m}^3$ , izmerjena z detektorji sledi, pa  $4626 \pm 831 \text{ Bq/m}^3$ , faktor ravnovesja se je gibal med 0.2 – 0.3.

**Slika 9. Koncentracija radona in radonovih potomcev**

Lokacija: Vrtec Muljava, igralnica

Datum meritev: 8.9.2009 ob 13:23 – 14.9.2009 ob 9:23



Z meritvama v letih 2008 in 2009 smo ujeli dva skrajna primera. Meritev v letu 2008 je bila opravljena v deževnem in hladnem vremenu. Toplejši zrak v notranjosti zgradbe je uhajal na prosto in ustvarjal podtlak glede na zrak pod temeljno ploščo, zaradi česar je bil olajšan dostop svežega radona v prostor. Ker je toplejši zrak iz notranjosti uhajal na prosto, je bil tudi nižji faktor ravnovesja.

Meritev v letu 2009 smo izvedli v poletnem toplen vremenu. V notranjosti zgradbe je bilo čez dan nekoliko hladneje, ponoči pa topleje (glede na zunanji zrak). Tlačna razlika med zrakom v prostoru in zrakom pod temeljno ploščo je bila podnevi manjša kot ponoči, zato je čez noč koncentracija radona v prostoru narasla.

Dne 14.9.2009 smo izmerili koncentracijo radona v zemlji na travniku ob vrtcu (Slika 10). Koncentracijo radona smo merili na globini 80 cm. Rezultat meritve je prikazan v tabeli 3.

**Slika 10. Merjenje koncentracije radona v zemlji****Tabela 3. Koncentracija radona v zemlji**

Lokacija: Vrtec Muljava, travnik ob vrtcu

Datum meritev: 14.9.2009 ob 12:00

| Zemljepisne koordinate:<br>N45 54 17.2; E14 48 07.0 | Merilni instrument | Koncentracija radona<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Zemlja – globina 80 cm                              | Alphaguard         | 76200 ± 3260                                 |

Izmerili smo tudi koncentracijo radona razpoki ob steni v kleti, ki sicer ne leži pod prostori vrtca, a je direktno povezana s tlemi (Tabela 4).

**Tabela 4. Koncentracija radona v kleti**

Lokacija: Vrtec Muljava, klet

Datum meritev: 14.9.2009 ob 11:00

| Lokacija meritve         | Merilni instrument | Koncentracija radona<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Razpoka ob steni v kleti | Alphaguard         | 46900 ± 2370                                 |

Iz rezultatov meritev koncentracije radona v zemlji in v razpoki v kleti lahko sklepamo, da so razpoke v tleh igralnice vrtca ob ustreznih vremenskih pogojih močan vir radona.

Prezračevanje prostorov je ustrezna rešitev v toplem poletnem obdobju, V mrzlem deževnem in zimskem obdobju pa je potrebno najti drugačno rešitev.

Znižanje koncentracije radona je možno z dvema ukrepoma. Prvi je sanacija temeljne plošče (izdelava nove) z izgradnjo cevnega sistema za odvajanje zraka in s tem tudi radona izpod temeljne plošče ob zunanji steni na prosto ali pa drugi - izgradnja prisilne ventilacije s stalnim nadtlakom v prostoru, kar bo onemogočilo dostop zraku izpod temeljne plošče v prostor vrtca.

### 5.1.3. Podružnična šola Muljava

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi smo izvajali v obdobju od 2.9.2009 do 8.10.2009 v dveh učilnicah, prva v pritličju in druga v 1. nadstropju (Tabela 2). Izmerjeni koncentraciji radona sta bili  $170 \pm 30 \text{ Bq/m}^3$  in  $120 \pm 10 \text{ Bq/m}^3$ , zapovrstjo. Zaradi visokih koncentracij radona v igralnici vrtca, ki se nahaja v isti zgradbi, smo izvedli meritve koncentracije radona v učilnici 3, 4 razred v pritličju, ki leži nad kletjo. Iskali smo možne vire radona. Po tleh je položen nov parket z obrobnimi letvami. Na tleh ni vidnih razpok. Našli smo le dve špranji, eno ob vhodnih vratih in drugo ob cevi centralne napeljave (Slika 11). V obeh smo izmerili koncentracijo radona (Tabela 5).

Slika 11. Merjenje koncentracije radona

Lokacija: Podružnična šola Muljava, špranja ob vhodu in centralni napeljavi



**Tabela 5. Koncentracija radona**

Lokacija: Podružnična šola Muljava, učilnica 3,4 razred v pritličju

Datum meritev: 14.9.2009 ob 10:00

| Lokacija meritve                    | Merilni instrument | Koncentracija radona<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Razpoka ob vhodnih vratih           | Alphaguard         | < 280                                        |
| Razpoka ob cevi centralne napeljave | RAD 7              | 1050 ± 458                                   |

Koncentracije radona v razpoki ob vratih je majhna. Nekoliko višja je koncentracija radona ob cevi centralne napeljave, a očitno je premajhna, da bi bil njen prispevek k koncentraciji radona v učilnici izdatnejši. Najbrž je razlog nižje koncentracije radona v učilnici klet, ki leži pod učilnico. Čeprav je klet močan vir radona (Tabela 4), okna ne tesnijo in radon, ki prihaja v klet skozi reže in špranje, gre po lažji poti (skozi okna) na prosto.

**5.1.4. Osnovna šola Stari trg ob Kolpi**

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi v Osnovni šoli Stari trg ob Kolpi smo izvajali že v letu 2008. Izmerjena koncentracija radona v igralnici vrtca je bila  $489 \pm 52$  Bq/m<sup>3</sup>. Zato smo v letu 2009 ponovili meritve. Detektorji sledi so bili izpostavljeni od 31.8.2009 do 9.10.2009 in sicer v dveh učilnicah in igralnici vrtca. Izmerjene koncentracije radona v merjenih prostorih niso presegle 100 Bq/m<sup>3</sup> (Tabela 2).

V času od 17.9.2009 ob 10:58 do 23.9.2009 ob 8:58 smo izvajali meritve koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti v igralnici vrtca. V času izvajanja meritev je bilo sončno in toplo. Eno okno je bilo med meritvijo odprto (Slika 13).

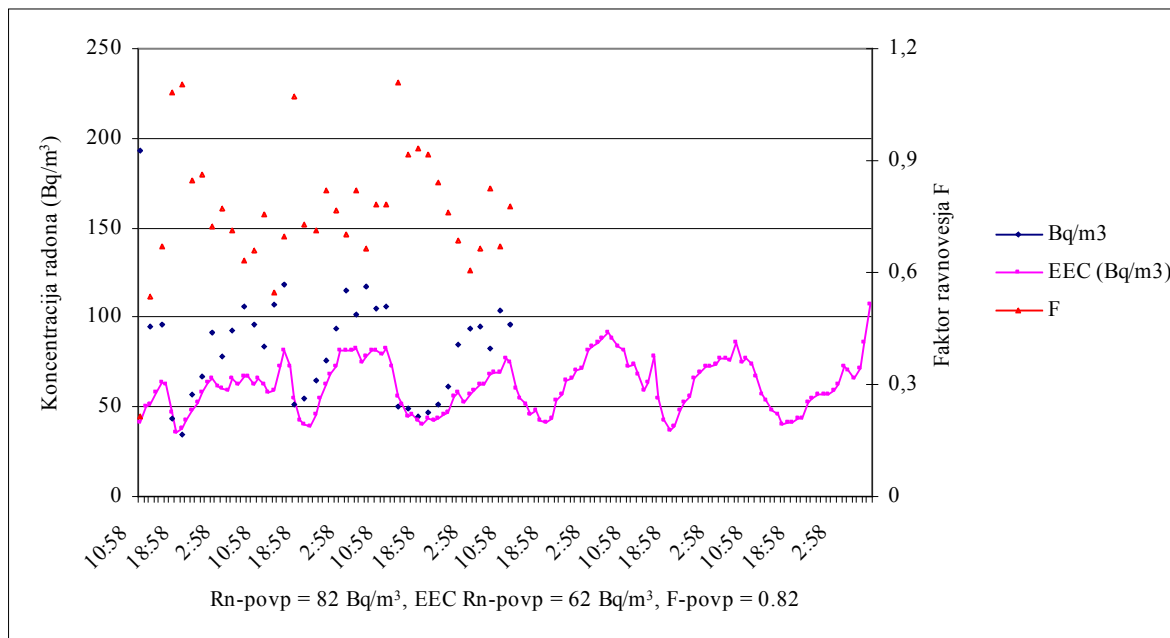
Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v igralnici je bila  $82 \pm 6$  Bq/m<sup>3</sup>, ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila  $62 \pm 8$  Bq/m<sup>3</sup>, povprečni faktor ravnovesja pa  $0.82 \pm 0.10$  (Slika 12). Iz slike je opaziti ritem dan – noč, vendar ni izrazit, kar je posledica slabše izmenjave zraka zaradi poletnih vremenskih pogojev.

Tlak v igralnici je obnovljen, razpok ni videti, tudi jaškov pod umivalnikom ni.

**Slika 12. Koncentracija radona in radonovih potomcev**

Lokacija: Osnovna šola Stari trg ob Kolpi, igralnica vrtca

Datum meritve: 17.9.2009 ob 10:58 do 23.9.2009 ob 8:58

**Slika 13. Osnovna šola Stari trg ob Kolpi – igralnica vrtca**

Glede na opravljene meritve v letu 2009 v igralnici nismo izmerili koncentracije radona nad 400 Bq/m<sup>3</sup>. Morda je glede na rezultate meritev v letu 2008 smiselno izvesti meritve koncentracije radona z detektorji sledi v zimskem obdobju časa.



### 5.1.5. Osnovna šola Vavta vas

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi v Osnovni šoli Vavta vas smo izvajali že v letu 2008. Izmerjena koncentracija radona v igralnici Bibe je bila  $846 \pm 89 \text{ Bq/m}^3$ , kar je več kot  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Zato smo v letu 2009 ponovili meritve. Detektorji sledi so bili izpostavljeni od 31.8.2009 do 12.10.2009 in sicer v dveh učilnicah osnovne šole in dveh igralnicah vrtca. Izmerjene koncentracije radona v prostorih osnovne šole so bile nizke, izmerjene koncentracije radona v igralnicah vrtca pa so bile  $540 \pm 70 \text{ Bq/m}^3$  v igralnici Bibe in  $440 \pm 60 \text{ Bq/m}^3$  v igralnici Pikapolonice (Tabela 2).

V času od 1.9.2009 ob 9:16 do 7.9.2009 ob 9:16 smo izvajali meritve koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti v igralnici Bibe. V času izvajanja meritev je bilo sončno in toplo (Slika 14).

**Slika 14. Meritve koncentracije radona in potomcev**

**Lokacija: OŠ Vavta vas, igralnica Bibe**



Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v igralnici Bibe je bila  $611 \pm 77 \text{ Bq/m}^3$ , ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila  $339 \pm 50 \text{ Bq/m}^3$ , povprečni faktor ravnovesja pa  $0.63 \pm 0.07$  (Slika 15). Iz slike je opaziti ritem dan – noč. Opazimo tudi, da je bila koncentracija radona med tednom nižja kot med vikendom, saj so bila v toplem vremenu okna odprta, med vikendom pa zaprta.

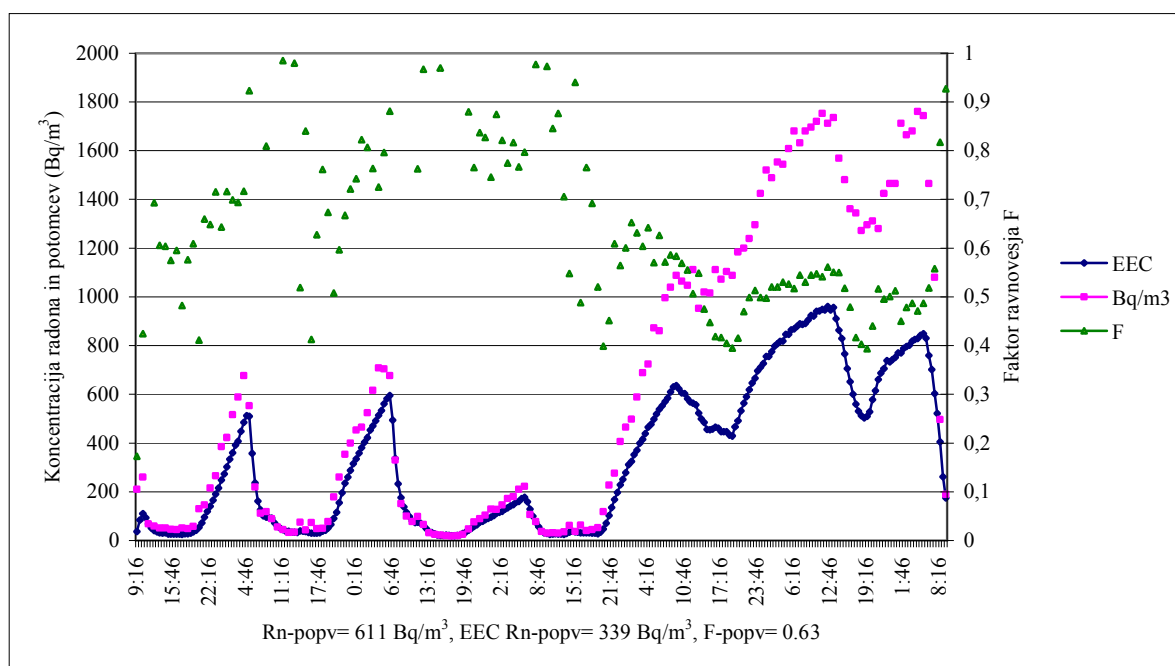
Povprečna koncentracija radona, izmerjena z merilnimi instrumenti v času obratovanja vrtca med 6:00 in 17:00, je bila  $93 \text{ Bq/m}^3$ . Povprečna koncentracija radona od petka popoldan do

ponedeljka zjutraj je bila  $1205 \text{ Bq/m}^3$ . V mrzlem obdobju in času zimskih inverzij so vrednosti lahko še višje. Predlagamo meritve iskanja virov radona v igralnici Bibe in meritve koncentracije radona z detektorji sledi v zimskem obdobju med oktobrom in marcem.

### Slika 15. Koncentracija radona in radonovih potomcev

Lokacija: Osnovna šola Vavta vas, igralnica Bibe

Datum meritve: 1.9.2009 ob 9:16 do 7.9.2009 ob 9:16



#### 5.1.6. Podružnična šola Dobrnič

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi v Podružnični šoli Dobrnič (Slika 16) smo izvajali že v letu 2008. Izmerjena koncentracija radona v igralnici vrtca je bila  $844 \text{ Bq/m}^3$ . Zato smo v letu 2009 ponovili meritve. Detektorji sledi so bili izpostavljeni od 2.9.2009 do 2.10.2009 in sicer v kabinetu v pritličju, v učilnici v prvem nadstropju in v igralnici vrtca. Izmerjene koncentracije radona v izbranih prostorih so bile  $430 \pm 60 \text{ Bq/m}^3$ ,  $160 \pm 30 \text{ Bq/m}^3$  in  $390 \pm 50 \text{ Bq/m}^3$ , zapovrstjo (Tabela 2).

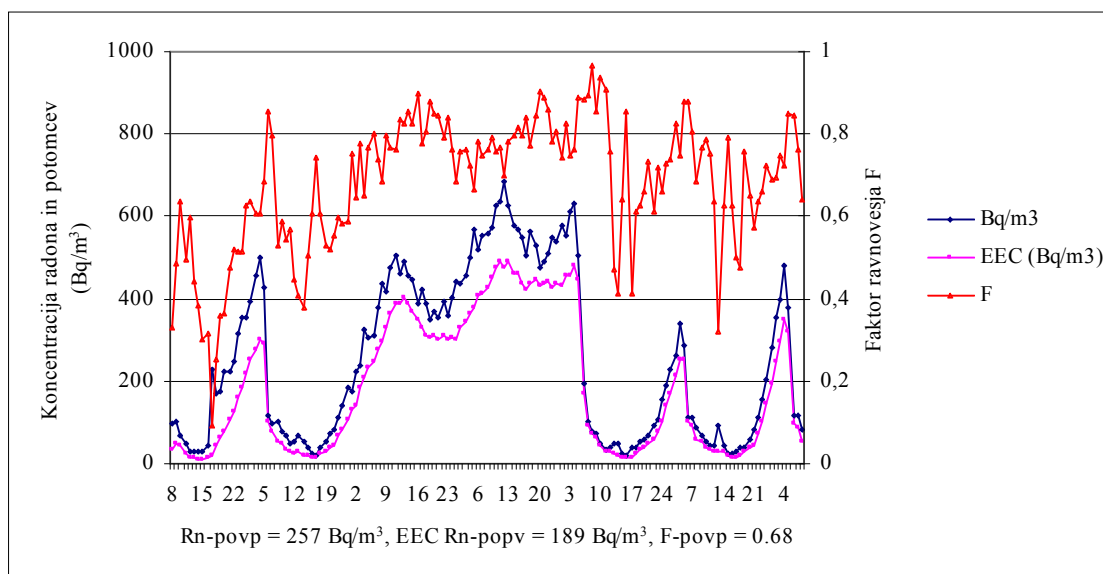
V času od 17.9.2009 ob 8:00 do 23.9.2009 ob 8:00 smo izvajali meritve koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti v igralnici vrtca. V času izvajanja meritev je bilo sončno in toplo.



**Slika 16. Podružnična šola Dobrnič****Slika 15. Koncentracija radona in potomcev**

Lokacija: Podružnična šola Dobrnič, igralnica vrtca

Datum meritve: 17.9.2009 ob 8:00 do 23.9.2009 ob 8:00



Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v igralnici vrtca je bila  $257 \pm 29$  Bq/m<sup>3</sup>, ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila  $189 \pm 32$  Bq/m<sup>3</sup>, povprečni faktor ravnovesja pa  $0.64 \pm 0.09$  (Slika 17). Iz slike je opaziti ritem dan – noč. Opazimo tudi, da je bila koncentracija radona med tednom nižja kot med vikendom, saj so bila v toplem vremenu okna odprta, med vikendom pa zaprta.

Glede na to, da so se gibale koncentracije radona, izmerjene v igralnici vrtca, z detektorji sledi, okoli  $400 \text{ Bq/m}^3$ , z merilnimi instrumenti pa  $257 \text{ Bq/m}^3$ , zaenkrat ne predlagamo dodatnih meritev. V pogovoru z ravnateljico šole smo izvedeli, da bodo na travniku poleg Podružnične šole Dobrnič začeli graditi novo šolo.

#### **5.1.7. Vrtec Sežana – enota Jasli**

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi v vrtcu v Sežani – enota Jasli smo izvajali že v letu 2008. Izmerjena koncentracija radona v igralnici 2 je bila  $860 \pm 89 \text{ Bq/m}^3$ . Zato smo v letu 2009 ponovili meritve. Detektor sledi je bil izpostavljen od 25.8.2009 do 8.10.2009 v igralnici 2. Izmerjena koncentracija radona v izbranem prostoru je bila  $730 \pm 90 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 2).

V igralnicah je po tleh parket, sanitarije imajo betonska tla, avla pa je tlakovana s plastično oblogo. Razpok v tleh in ob stenah ni videti.

V letu 2008 smo izvajali meritve koncentracije radona v kanalizacijskih jaških na hodniku in igralnicah. V pogovoru z vodjo vrtca smo izvedeli, da objekt še ni saniran in da potekajo aktivnosti za gradnjo novega vrtca v bližini obstoječega. Odtočne cevi v zgradbi so svinčene in dotrajane, najbrž močno razpokane ali uničene. To je možna razlaga za povišane koncentracije radona v igralnicah, saj prihaja radon v razpokane cevi in preko jaškov direktno v prostor.

V letu 2009 smo ponovili meritve v jaških (Slika 16) ter dodatno merili še radon v zemlji (Slika 17) na travniku pred vrtcem. Rezultati meritev koncentracije radona v odtočnih jaških so prikazane v tabeli 6, izmerjena koncentracija radona v zemlji pa v tabeli 7.

V letu 2009 smo izvajali meritve v zgodnjih jutranjih urah v oktobru, ko je bilo v igralnicah topleje kot zunaj, zato je radon zaradi ugodne tlačne razlike lažje vdiral v prostore vrtca. V letu 2008 smo izvajali meritve v septembru in ne v zgodnjih jutranjih urah. Zaradi toplejšega zraka zunaj je bila tlačna razlika manjša in radon je težje vdiral v prostore vrtca.

**Tabela 6. Koncentracija radona v odtočnih jaških****Lokacija: Vrtec Sežana – enota Jasli****Datum meritve: 24.9.2008 ob 9:30 in 8.10.2009 ob 8:00**

| Merilno mesto                              | Merilni instrument      | Koncentracija radona (2008)<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Koncentracija radona (2009)<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| avla, odtočni jašek pod umivalnikom        | RAD 7 / Alphaguard      | 662 ± 382                                           | 10300 ± 1280                                        |
| igralnica 2, odtočni jašek pod umivalnikom | Alphaguard / RAD 7      | 2260 ± 227                                          | 4520 ± 869                                          |
| igralnica 3, odtočni jašek pod umivalnikom | RAD 7 / Alphaguard      | 1305 ± 417                                          | 899 ± 672                                           |
| igralnica 4, odtočni jašek pod umivalnikom | Alphaguard / RAD 7      | 1160 ± 169                                          | 6870 ± 1050                                         |
| odtočni jašek v sanitarijah (oljni)        | Alphaguard / Alphaguard | 3050 ± 272                                          | 12900 ± 875                                         |
| Jašek v igralnici 1                        | Alphaguard              | /                                                   | 1580 ± 550                                          |

A tlačna razlika je bila še vedno dovolj negativna, da je radon vdiral v prostore. Izmerjene vrednosti koncentracij radona v odtočnih jaških jasno kažejo na možnost visokih koncentracij radona v prostorih vrtca, kar so pokazale tudi meritve z detektorji sledi.

**Slika 16. Merjenje koncentracije radona v jaških****Lokacija: Vrtec Sežana – enota Jasli**

**Tabela 7. Koncentracija radona v zemlji**

Lokacija: Vrtec Sežana – enota Jasli, travnik ob vrtcu

Datum meritev: 8.10.2009 ob 10:00

|                                                     |                    |                                              |
|-----------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Zemljepisne koordinate:<br>N45 42 21.0; E13 52 28.3 | Merilni instrument | Koncentracija radona<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
| Zemlja – globina 80 cm                              | Alphaguard         | 152000 ± 7000                                |

**Slika 17. Merjenje koncentracije radona v zemlji****Lokacija: Vrtec Sežana – enota Jasli**

Izmerjena koncentracija radona v zemlji kaže na to, da lahko predstavljajo razpoke in špranje v tleh ter slabo zatesnjeni kanalizacijski jaški in druge napeljave resen problem. Predlagamo sanacijo tal in dotrajanih kanalizacijskih napeljav v obstoječem vrtcu. Pri novogradnji bi bilo smiselno predvideti ustrezne rešitve še pred pričetkom gradnje.

#### **5.1.8. Osnovna šola Antona Šibelja - Stjenka Komen**

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi v Osnovni šoli v Komnu smo izvajali že v letih 2006 in 2008. Merili smo koncentracijo radona v učilnici tehnični pouk, učilnici 4. razreda in telovadnici. V vseh prostorih so bile izmerjene povišane koncentracije radona (Tabela 8). Zato smo v letu 2008 iskali vire radona v jaških in razpokah. V letu 2009 smo ponovili meritve koncentracije radona z detektorji sledi in iskanja virov. Dodatno smo merili tudi koncentracijo radona v zemlji.

**Tabela 8. Koncentracija radona, merjeno z detektorji sledi****Lokacija: Osnovna šola Antona Šibelja – Stjenka Komen**

| Lokacija / Datum meritve | Učilnica tehnični pouk (Bq/m <sup>3</sup> ) | Učilnica 4. razreda (Bq/m <sup>3</sup> ) | Telovadnica (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|
| 28.8. – 4.10.2006        | 652 ± 36                                    | 737 ± 40                                 | /                                |
| 17.9. – 20.10.2008       | 513 ± 56                                    | 795 ± 83                                 | 2033 ± 248                       |
| 1.9. – 8.10.2009         | 230 ± 30 *                                  | 480 ± 60 *                               | 1390 ± 170                       |

\* V letu 2009 je v učilnici tehnični pouk igralnica vrtca, v učilnici 4. razreda pa tehnični pouk

Detektorji sledi so bili v letu 2009 izpostavljeni od 1.9. – 8.10.2009 v učilnici tehnični pouk, ki je sedaj igralnica vrtca, v učilnici 4. razreda, kjer se sedaj izvaja tehnični pouk in v telovadnici. Tako kot v letu 2008, je bila tudi v letu 2009 najvišja izmerjena koncentracija radona v telovadnici.

Ker smo že v letu 2008 iskali vire radona v učilnicah in na hodniku, smo ponovile le meritev iskanja vira v glavnem kanalizacijskem jašku za monitorno vodo, ki se nahaja na hodniku pred učilnico glasbene vzgoje in je globok 1.5 m. Dno je peščeno (Slika 18). Dodatno smo izmerili koncentracijo radona v telovadnici šole. Izbrali smo dve odprtini v tleh, ki se uporabljata za postavitve nosilnih drogov za mrežo (Slika 18).

**Tabela 8. Koncentracija radona v jašku za monitorno vodo in v telovadnici****Lokacija: OŠ Antona Šibelja- Stjenka Komen****Datum meritve: 8.10.2009 ob 12:00**

| Merilno mesto                                                    | Merilni instrument | Koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| jašek za monitorno vodo na hodniku pred učilnico glasbene vzgoje | Alphaguard         | 87300 ± 380                               |
| Odprtina v tleh za nosilni drog v telovadnici                    | RAD 7              | 78900 ± 3590                              |
| Odprtina v tleh za nosilni drog v telovadnici                    | RAD 7              | 87700 ± 3810                              |

**Slika 18. Merjenje koncentracije radona v glavnem jašku za monitorno vodo in v telovadnici****Lokacija: OŠ Antona Šibelja - Stjenka Komen**

Zaradi visokih koncentracij radona v kanalizacijskem jašku za monitorno vodo in odprtinah v telovadnici smo izmerili tudi koncentracijo radona v zemlji na travniku za šolo (Slika19). Izmerjena koncentracija radona je bila  $226000 \pm 11000 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 9).

**Tabela 9. Koncentracija radona v zemlji****Lokacija: OŠ Antona Šibelja - Stjenka Komen, travnik za šolo****Datum meritve: 8.10.2009 ob 12:00**

|                                                     |                    |                                              |
|-----------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Zemljepisne koordinate:<br>N45 49 17.2; E13 45 01.0 | Merilni instrument | Koncentracija radona<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
| Zemlja – globina 80 cm                              | Alphaguard         | 226000 ± 11000                               |

**Slika 19. Koncentracija radona v zemlji****Lokacija: OŠ Antona Šibelja - Stjenka Komen, travnik za šolo**



Izmerjena koncentracija radona v zemlji je izredno visoka. Ker so jašek za monitorno vodo in odprtine v tleh v telovadnici direktno povezane z materialom pod temeljno ploščo šole, so izmerjene visoke koncentracije radona v telovadnici pričakovane. Razpokana tla in neustrezno zatesnjeni jaški in druge odprtine v tleh za različne napeljave predstavljajo ob ustreznih vremenskih pogojih (podtlak v prostoru glede na tlak pod temeljno ploščo) močan vir radona.

Glede na to, da so učenci v telovadnici kvečjemu nekaj ur tedensko, učilnica 4. razreda pa se uporablja za tehnični pouk, trenutno ne predlagamo nobenih ukrepov sanacije, razen občasnega prezračevanja, predlagamo pa meritve koncentracije radona z detektorji sledi v zimskem obdobju od novembra do marca.

#### **5.1.9. Osnovna šola Prevalje**

V učilnicah 2.b in 3.a razreda so bile v letu 2007 izmerjene povišane koncentracije radona [8]. Koncentracijo radona z detektorji sledi smo ponovno izvajali v letih 2008 in 2009 v učilnicah v pritličju šole, desno od knjižnice. V prvi učilnici ob knjižnici se izvaja podaljšano bivanje za učence 3. razreda. Ker se v učilnicah vsako leto menjajo razredi, smo učilnice označili kot prva, druga in tretja učilnica od knjižnice. Sicer so oznake na vratih OPB 3. razred, 2.b in 2.a, zapovrstjo Najvišjo koncentracijo radona v obdobju od 27.8. – 8.10.2009 smo izmerili v prvi učilnici,  $1430 \pm 170 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 2). V drugih dveh učilnicah sta bili izmerjeni koncentraciji radona  $450 \pm 60 \text{ Bq/m}^3$  in  $580 \pm 70 \text{ Bq/m}^3$ .

Razlog za povišane koncentracije radona je najbrž jašek za napeljavo, ki gre pod tlemi učilnic. Že pred leti je bila izvedena sanacija in sicer tako, da so skozi kurilnico prebili luknjo za dovod svežega zraka v jašek, nato pa jašek povezali z odvodno cevjo, premera 14 cm, cev pa napeljali ob steni stavbe do strehe. Na vrhu cevi je nameščen ventilator, ki črpa zrak iz jaška skozi cev na prosto. Ventilator se prižiga in ugaša avtomatsko z vnaprej nastavljenimi časovnimi intervali, med 9. - 13. uro zjutraj ter 15. - 20. uro popoldan.

V učilnicah je parket, ki je sicer razpokan, a ne preveč. Ob stenah so pritrjene lesene letve, zaradi česar se možnih razpok ne vidi. V vseh treh učilnicah je nad jaškom za napeljavo pokrov, ki pa ni ustrezno zatesnjen. V letu 2008 smo izvedli meritve iskanja virov radona v razpokah v prvi učilnici ob knjižnici. Pokrov jaška smo lahko odprli le v prvi učilnici. Meritve koncentracije radona v jašku ob vklopljeni in izklopljeni prisilni ventilaciji so pokazale, da je količina prečrpanega zraka s prisilno ventilacijo najbrž premajhna za znižanje koncentracije radona v učilnicah pod  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

V letu 2009 smo izvajali meritve koncentracije radona in potomcev v prvi učilnici in istočasno tudi v jašku v tej učilnici (Slika 20). Vreme je bilo sončno in toplo.

**Slika 20. Merjenje koncentracije radona v prvi učilnici in v jašku v učilnici**

**Lokacija: Osnovna šola Prevalje**



Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev je bila  $1223 \pm 117 \text{ Bq/m}^3$ , povprečna koncentracija radonovih potomcev je bila  $847 \pm 130 \text{ Bq/m}^3$ , povprečni faktor ravnovesja pa  $0.69 \pm 0.08$ . Opazen je ritem dan – noč s povišanimi koncentracijami radona v nočnem času in najnižjimi med tednom v času popoldanskega podaljšanega bivanja med 13. in 16. uro, ko so bila okna občasno ali ves čas odprta. Visoka koncentracija radona je bila izmerjena med vikendom, ko so bila okna zaprta (Slika 21). Visoka vrednost faktorja ravnovesja ves čas meritve kaže na to, da je v učilnico prihajal staran radon (najbrž iz jaška) in ne svež radon iz zemlje. Na sliki 21 je prikazan tudi časovni potek koncentracije radona v jašku. Povprečna koncentracija radona v jašku je bila  $5671 \pm 536 \text{ Bq/m}^3$  ( $1480 - 8896 \text{ Bq/m}^3$ ). Tudi v jašku so bile izmerjene višje koncentracije radona v nočnem času, vendar tudi

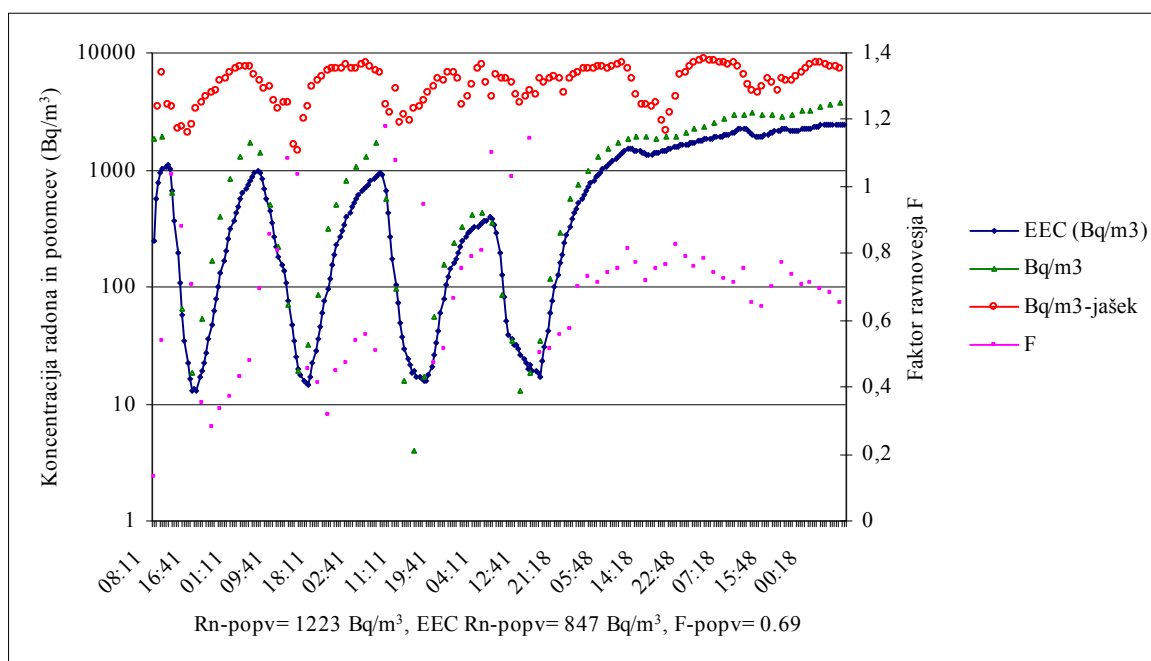


podnevi koncentracija radona ni padla pod  $1480 \text{ Bq/m}^3$ . Glede na to, da koncentracija radona v jutranjih urah ni padla pod  $400 \text{ Bq/m}^3$ , smo predvidevali, da prisilna ventilacija med meritvijo ni delovala. V pogovoru s hišnikom smo našo domnevo potrdili.

**Slika 21. Merjenje koncentracije radona v prvi učilnici in v jašku v učilnici**

**Lokacija:** Osnovna šola Prevalje

**Datum meritve:** 8.9.2009 ob 8:11 do 14.9.2009 ob 7:18



Izvedli smo meritve koncentracije radona v razpoki pod umivalnikom v prvi učilnici od knjižnice (Slika 22), ki je v letu 2008 ni bilo. Ker je spuščala cev za vodo, so razbili steno pod umivalnikom, zamenjali cev ter odprtino zaprli z jekleno ploščo. Izmerjena koncentracija radona v razpoki je bila  $40500 \pm 1950 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 10).

**Tabela 10. Koncentracija radona v razpoki pod umivalnikom v prvi učilnici**

**Lokacija:** Osnovna šola Prevalje

**Datum meritve:** 20.10.2009 ob 10:00

| Merilno mesto                           | Merilni instrument | Koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| razpoka pod umivalnikom v prvi učilnici | Alphaguard         | $40500 \pm 1950$                          |

**Slika 22. Merjenje koncentracije radona v razpoki pod umivalnikom v prvi učilnici****Lokacija: Osnovna šola Prevalje**

Izvedli smo tudi meritve koncentracije radona v zemlji na travnatem igrišču za šolo nasproti učilnic, v katerih smo merili koncentracijo radona z detektorji sledi in iskali vire radona. Meritve smo izvajali prvič v sončnem toplem vremenu in drugič v sončnem, hladnem vremenu (Tabela 11).

**Tabela 11. Koncentracija radona v zemlji****Lokacija: Osnovna šola Prevalje, travnato igrišče za šolo**

| Zemlja – globina 80 cm                                                                   | Merilni instrument | Koncentracija radona (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| Datum meritve: 8.9.2009 ob 10:00<br>Zemljepisne koordinate:<br>N46 32 50.1; E14 55 20.9  | Alphaguard         | 74400 ± 3520                              |
| Datum meritve: 14.9.2009 ob 10:00<br>Zemljepisne koordinate:<br>N46 32 50.0; E14 55 2.0  | Alphaguard         | 58500 ± 2450                              |
| Datum meritve: 20.10.2009 ob 9:00<br>Zemljepisne koordinate:<br>N46 32 50.6; E14 55 21.5 | Alphaguard         | 33900 ± 1650                              |

Meritev koncentracije radona v zemlji nismo izvajali vsakič na isti lokaciji pač pa na treh različnih lokacijah, ki so med seboj na razdalji okoli 10. Izmerjena koncentracija radona je bila najnižja v hladnem vremenu. Nekaj razlike gre na račun vremenskih pogojev, zemlja je

bila bolj hladna in vlažna, zato je bila prepustnost slabša, nekaj razlike pa gre tudi na račun izbrane lokacije meritve. A ne glede na to, zanimivo je, da je bila koncentracija radona, izmerjena v razpoki pod umivalnikom v prvi učilnici istega reda velikosti. To pomeni dvoje, prvič, da so koncentracije radona v jaških, špranjah in razpokah, ki ob ustreznih vremenskih pogojih dopuščajo vdiranje radona v učilnice, enakega velikostnega reda kot koncentracije radona v zemlji in drugič, da jašek za napeljavo v učilnicah ob knjižnici ni edini vir radona.

Predlagamo, da se v vseh treh učilnicah odstranijo kotne letve, preverijo razpoke ob stenah in jih po potrebi zatesnijo z ustreznimi silikonskimi kiti. Prav tako naj se preveri delovanje prisilne ventilacije. S hišnikom smo se dogovorili, da naj bo ventilacija vključena med 7. in 14. uro, dokler so otroci v šoli, nato pa naj bo izključena, ker v popoldanskem času v razredih v pritličju ni nobenih aktivnosti.

#### **5.1.10. Osnovna šola Prevole**

Koncentracijo radona z detektorji sledi v osnovni šoli Prevole smo izvajali že v letu 2008. Zaradi povišane koncentracije radona v igralnici Bibe smo v letu 2009 izvajali meritve v dveh igralnicah vrtca in dveh prostorih osnovne šole. Učilnice se nahajajo v prvem nadstropju, zato smo detektorje sledi postavili v jedilnico in kuhinjo v kletnih prostorih. Prostor vrtca se ne nahajajo nad kletnimi prostori, pač pa delno nad bunkerjem, ki je zaprt, delno pa na zemlji (Slika 23).

**Slika 23. Osnovna šola Prevole**



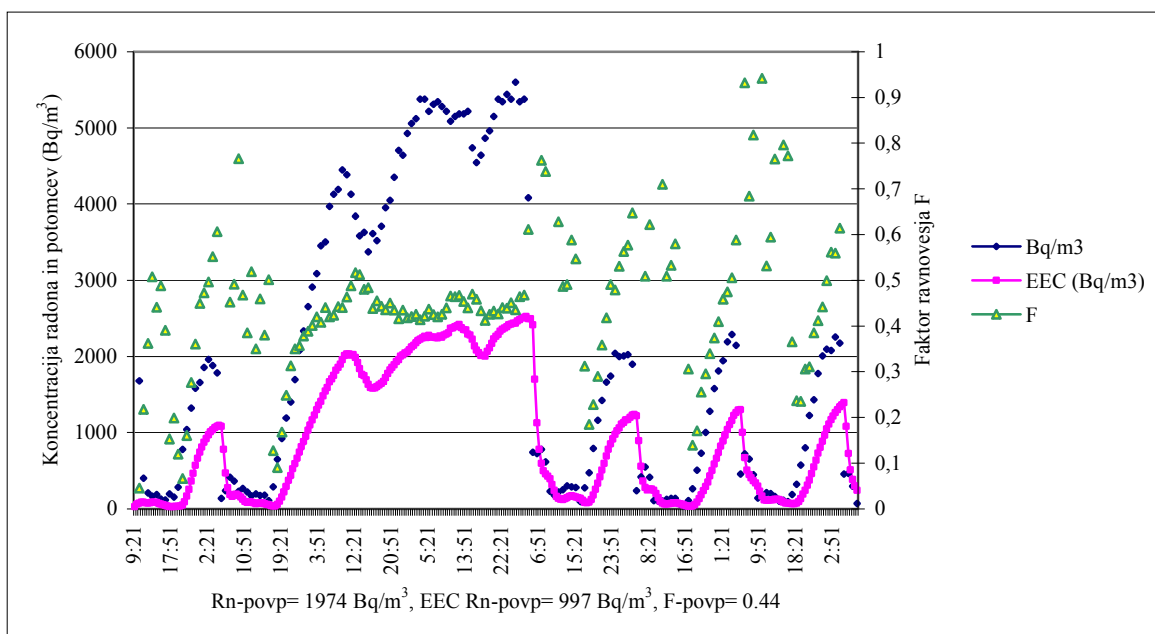
Izmerjeni koncentraciji radona v igralnicah vrtca sta bili  $1740 \pm 230 \text{ Bq/m}^3$  in  $1620 \pm 220 \text{ Bq/m}^3$ , v obeh kletnih prostorih pa niso presegale  $400 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 2).

V obdobju od 24.9.2009 do 1.10.2009 smo izvajali meritve koncentracije radona v igralnici Bibe. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev je bila  $1974 \pm 246 \text{ Bq/m}^3$ , povprečna koncentracija radonovih potomcev je bila  $997 \pm 138 \text{ Bq/m}^3$ , povprečni faktor ravnovesja pa  $0.44 \pm 0.05$ . Opazen je ritem dan – noč s povišanimi koncentracijami radona v nočnem času in najnižjimi med tednom, ko so bila okna občasno ali ves čas odprta. Visoka koncentracija radona je bila izmerjena med vikendom, ko so bila okna zaprta (Slika 24).

#### Slika 24. Merjenje koncentracije radona in radonovih potomcev

Lokacija: Osnovna šola Prevole

Datum meritve: 24.9.2009 ob 9:21 do 1.10.2009 ob 8:21



V igralnicah ni vidnih razpok, ni odtočnih jaškov pod umivalniki (vse je v steni), v straniščih tudi ni odtočnih jaškov (vsi v steni). Šola je bila leta 1995 obnovljena, ima nova okna in fasado, tla še niso obnovljena.

Izmerili smo koncentracijo radona v zemlji na travi nekaj metrov stran od igralnice vrtca (Slika 25). Izmerjena koncentracija radona je bila  $81700 \pm 3860 \text{ Bq/m}^3$ , kar je zelo visoka vrednost. Glede na to, da prostori vrtca niso podkleteni, so najverjetnejši razlog za visoke koncentracije radona v igralnicah razpoke v tleh.

**Slika 25. Merjenje koncentracije radona v igralnici Bibe in zemlji na travi ob šoli****Lokacija: Osnovna šola Prevole**

Predlagamo dodatne meritve iskanja virov radona v igralnicah in čimprejšnjo sanacijo talnih površin v igralnicah vrtca.

**5.2. Druge javne ustanove**

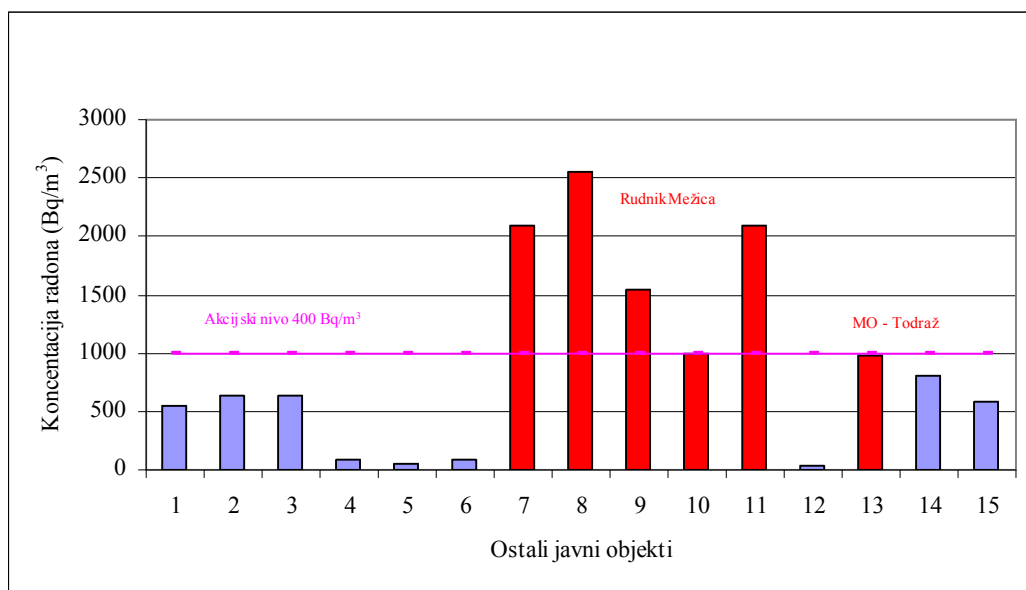
Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v petih javnih ustanovah. To so: Psihiatrična klinika Ljubljana, Psihiatrična bolnišnica Idrija, Ministrstvo za obrambo (vojašnica Franc Rozman – Stane in vojaške delavnice v Todražu), Cinkarna Celje in CPM – Gradbeni materiali (Rudnik Mežica). Skupaj smo opravili petnajst meritev koncentracije radona z detektorji sledi, eno meritev koncentracije radona z oglenimi adsorberji in dve meritvi koncentracije radona z merilnimi instrumenti z namenom iskanja virov radona v prostorih. Rezultati meritev koncentracije radona z detektorji sledi so prikazani v tabeli 12 in na sliki 26. Izmerjene koncentracije radona v zraku, ki skupaj z negotovostjo meritve presegajo  $1000 \text{ Bq/m}^3$ , so obarvane rdeče.

V Cinkarni Celje smo poleg meritve koncentracije radona z oglenimi adsorberji opravili še meritve doze zunanjega sevanja gama in določili specifične aktivnosti radionuklidov v aerosolih zraka.

**Tabela 12. Koncentracije radona v javnih ustanovah (merjeno z detektorji sledi)**

| Zap. št. | Številka detektorja | Start Datum | Start Ura | Stop Datum | Stop Ura | Lokacija                                       | Objekt                          | Konc. radona Bq/m <sup>3</sup> |
|----------|---------------------|-------------|-----------|------------|----------|------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1        | 311529-2            | 3.7.2009    | 10        | 7.10.2009  | 9        | lekarna pisarna                                | Psiha Idrija                    | 550 ± 70                       |
| 2        | 411489-8            | 3.7.2009    | 10        | 7.10.2009  | 9        | lekarna pult                                   | Psiha Idrija                    | 630 ± 80                       |
| 3        | 278416-3            | 25.8.2009   | 8         | 9.10.2009  | 10       | mizarska delavnica                             | Psihiatrična klinika Ljubljana  | 630 ± 80                       |
| 4        | 337243-0            | 25.8.2009   | 8         | 9.10.2009  | 10       | uprava - informatika, klet                     | Psihiatrična klinika Ljubljana  | 90 ± 20                        |
| 5        | 251289-5            | 25.8.2009   | 8         | 9.10.2009  | 10       | odd. E - oskrbnica klet                        | Psihiatrična klinika Ljubljana  | 60 ± 10                        |
| 6        | 363147-0            | 25.8.2009   | 8         | 9.10.2009  | 10       | odd. E - vzdrževalec                           | Psihiatrična klinika Ljubljana  | 90 ± 20                        |
| 7        | 335415-6            | 22.7.2009   | 12        | 6.10.2009  | 18       | jug-7. obzorje - tur. del jame                 | Rudnik Mežica                   | 2100 ± 380                     |
| 8        | 183054-6            | 22.7.2009   | 12        | 6.10.2009  | 18       | Glančnik rov 8. obzorje - tur. del jame        | Rudnik Mežica                   | 2550 ± 460                     |
| 9        | 139633-2            | 22.7.2009   | 12        | 6.10.2009  | 18       | Igrčevo 4. obzorje - kolesarski del jame       | Rudnik Mežica                   | 1540 ± 260                     |
| 10       | 278332-2            | 22.7.2009   | 12        | 6.10.2009  | 18       | Fridrihov rov 4. obzorje - kolesarski del jame | Rudnik Mežica                   | 990 ± 140                      |
| 11       | 355289-0            | 22.7.2009   | 12        | 6.10.2009  | 18       | Knap med 7. in 8. obzorjem - tur. del jame     | Rudnik Mežica                   | 2100 ± 380                     |
| 12       | 335448-7            | 26.8.2009   | 10        | 9.10.2009  | 10       | optična delavnica                              | Min. za obrambo - FRS Ljubljana | 30 ± 10                        |
| 13       | 195060-9            | 28.8.2009   | 10        | 13.10.2009 | 11       | popravilo pehotnega orožja                     | Min. za obrambo - Todraž        | 970 ± 120                      |
| 14       | 356971-2            | 28.8.2009   | 10        | 13.10.2009 | 11       | minometna delavnica                            | Min. za obrambo - Todraž        | 800 ± 100                      |
| 15       | 357912-5            | 28.8.2009   | 10        | 13.10.2009 | 11       | skladišče                                      | Min. za obrambo - Todraž        | 590 ± 80                       |
| 16       | 83*                 | 23.1.2009   | 9         | 26.1.2009  | 9        | skladišče ilmenita                             | Cinkarna Celje                  | 14 ± 2                         |

\* . Ogleni adsorber

**Slika 26. Histogram meritev koncentracije radona v javnih ustanovah (merjeno z detektorji sledi)**

V rudniku Mežica in v delavnici v Todražu so bile izmerjene koncentracije radona višje od 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Najvišja vrednost koncentracije radona je bila izmerjena v rudniku Mežica v turističnem delu jame in sicer 2550 Bq/m<sup>3</sup> ± 460 Bq/m<sup>3</sup>.



### 5.2.1. Psihiatrična klinika Ljubljana

Opravili smo štiri meritve koncentracije radona z detektorji sledi. Meritve smo izvajali času od 25.8. – 9.10.2009 (Tabela 12). Najvišja vrednost je bila izmerjena v mizarski delavnici in sicer  $630 \pm 80 \text{ Bq/m}^3$ . Koncentracijo radona z detektorji sledi smo izvajali že v letu 2008. Najvišja izmerjena koncentracija radona je bila  $810 \text{ Bq/m}^3$ .

Dodatno smo izvajali meritve koncentracije radona v razpokah in jaških v mizarski in strojni delavnici. Tla v prostorih so lesena, položena direktno na osnovni material, razpoke so vidne tako na tleh kot ob stenah. V mizarski delavnici je jašek, ki je slabo zatesnjen. V poletnem času so okna in vrata v delavnici večinoma odprta. Opravili smo tri meritve koncentracije radona. Rezultati meritev in primerjava z letom 2008 so prikazani v tabeli 13.

**Tabela 13. Koncentracija radona v razpokah in jaških**

**Lokacija: Psihiatrična klinika Ljubljana, mizarska in strojna delavnica**

**Datum meritve: 25.8.2009 ob 8:00**

| Merilno mesto                            | Merilni instrument | Koncentracija radona -2008<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Koncentracija radona -2009<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Razrez, razpoka ob steni za vrati        | RAD 7 / Alphaguard | $1050 \pm 458$                                     | $1336 \pm 274$                                     |
| Mizarska delavnica, razpoka ob steni     | RAD 7 / Alphaguard | $6170 \pm 1080$                                    | $16320 \pm 952$                                    |
| Mizarska delavnica, kanalizacijski jašek | RAD 7 / Alphaguard | $7470 \pm 534$                                     | $14272 \pm 964$                                    |

Izmerjene koncentracije radona v razpokah in jašku v mizarski delavnici so visoke in so v skladu z izmerjeno koncentracijo radona z detektorji sledi. Če bi bili vsi prostori večino časa zaprti, kar najbrž drži za zimsko obdobje, bi bile koncentracije radona precej višje kot v poletnem času.

**Slika 27. Koncentracije radona in potomcev v razpoki v steni in jašku v mizarski delavnici****Lokacija: Psihiatrična klinika Ljubljana**

Objekt je star in zahteva kompletno prenovo, zato bi bilo nesmotrno govoriti samo o sanaciji tal. Glede na povišane koncentracije radona predlagamo, da se mizarska in strojna delavnica v zimskem obdobju med delovnim časom večkrat prezračita.

**5.2.2. Psihiatrična bolnišnica Idrija**

Opravili smo dve meritvi koncentracije radona z detektorji sledi v Psihiatrični bolnišnici Idrija. Meritve smo izvajali času od 8.7.2009 do 7.10.2009 v prostorih lekarne, ki se nahaja v pritličju vhodnega trakta v bolnišnico. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 12. Izmerjene vrednosti koncentracije radona so se gibale okoli  $600 \text{ Bq/m}^3$  in so bile nižje kot v letu 2008, ko so se gibale okoli  $1000 \text{ Bq/m}^3$ .

V letu 2009 so izvedli sanacijo jaška. Jašek so zunaj zaprli, iz jaška napeljali cev in jo povezali z ventilatorjem na zunanji steni stavbe (Slika 28). Ventilator je vključen vsako drugo uro in črpa zrak celo uro.

Dne 6.7.2009 ob 8. uri zjutraj smo izvajali meritve koncentracije radona v izpuhu iz ventilatorja (slika 28, Tabela 14).



**Slika 28. Meritve koncentracije radona v izpuhi iz ventilatorja****Lokacija: Psihiatrična bolnišnica Idrija****Tabela 14. Koncentracija radona v izpuhu iz ventilatorja****Lokacija: Psihiatrična bolnišnica Idrija****Datum meritve: 6.7.2009 ob 8:00**

| Merilno mesto                          | Merilni instrument | Koncentracija radona – 2009 ventilacija izključena (Bq/m <sup>3</sup> ) | Koncentracija radona - 2009 ventilacija vključena (Bq/m <sup>3</sup> ) | Koncentracija radona – 2008 brez sanacije jaška (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Izpuh iz ventilatorja na zunanji steni | RAD 7              | 828 ± 414                                                               | < 50                                                                   | 944 ± 122                                                            |

Koncentracijo radona, izmerjena v letu 2009, je z izvedbo prisilnega prezračevanja jaška v prostorih lekarne in v jašku centralne napeljave nižja kot v letu 2008. Za preverjanje ustreznosti delovanja ventilacije bi bilo smotrno izvesti meritve koncentracije radona z detektorji sledi v zimskem času.

**5.2.3. Cinkarna Celje**

Opravili smo meritve koncentracije radona z oglenimi adsorberji. Meritve smo izvajali času od 23.1. – 26.1.2009 v skladišču ilmenita (Tabela 12). Izmerjena koncentracija radona je bila  $14 \pm 2$  Bq/m<sup>3</sup>. Vzorčili smo tudi zrak v prostoru, kjer čistijo platna. Specifične aktivnosti radionuklidov na zračnem filtru s prikazane v tabeli 15.

**Tabela 15. Specifične aktivnosti radionuklidov na filtru****Lokacija: Cinkarna Celje****Izotopska analiza sevalcev gama**

|                              |               |
|------------------------------|---------------|
| Oznaka vzorca                | RV0160109     |
| Datum vz.                    | 22.1.2009     |
| Datum mer.                   | 26.1.2009     |
| Kol. vzor. (m <sup>3</sup> ) | 357           |
| ( mBq / m <sup>3</sup> )     |               |
| U ( <sup>234</sup> Th ) <    | 3,4E-4        |
| <sup>226</sup> Ra            | 6,4E-5 ± 5E-5 |
| <sup>210</sup> Pb <          | 3,2E-4        |
| Th ( <sup>228</sup> Ra ) <   | 1,1E-4        |
| <sup>228</sup> Th            |               |
| <sup>40</sup> K <            | 6,0E-4        |

Merili smo hitrosti doze sevanja gama na več lokacijah v proizvodnji titanovega dioksida v Cinkarni Celje. Na podlagi izmerjenih hitrosti doz in časa zadrževanja pri izvajanju posameznih del smo ocenili letne efektivne doze za zaposlene. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 16.

**Tabela 16. Hitrosti doze sevanja gama in ocenjene letne efektivne doze**

| Opravo                          | Hitrost doze<br>(μSv/h) | Efektivna doza<br>(μSv/leto) |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Nalaganje ilmenita              | 0.24                    | 3                            |
| Proizvodna linija               | 0.35                    | 13                           |
| Menjava platen                  | 0.30                    | 18                           |
| Vzdrževalna dela (na deset let) | 0.25                    | 80 – 400                     |

**5.3. Stanovanjski objekti**

Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v dveh stanovanjih in v kleti v stanovanjskem bloku na Tomšičevi 19 v Idriji (Tabela 17) v obdobju od 3.12.2008 do 6.4.2009 in v obdobju od 3.7.2009 do 7.10.2009. Prvo meritev smo izvedli zaradi suma, da sta bila detektorja med meritvijo v letu 2008 v kleti in kuhinji zamenjana. Ponovne meritve

so pokazale, da sta bila detektorja res zamenjana. Najbrž je vzrok zamenjava številka na spremnem listu ob začetku izpostavitve detektorjev.

Pri obeh meritvah (Tabela 17) sta bili koncentraciji radona, izmerjeni v kleti, precej nižji od koncentracij radona, izmerjenih v kuhinji. Razloga za to nismo našli. Z merilnim instrumentom smo izmerili hitrost doze sevanja gama v stanovanju in v kleti. Hitrosti doze v stanovanju so se gibale med 110 in 130 nSv/h, v kleti pa okoli 100 nSv/h. V stanovanju Lapanja v kuhinji smo postavili TLD. Izmerjena doza  $H^*(10)$  v obdobju od 6.7. – 9.10.2009 je bila 0.336 mSv, oziroma 148 nSv/h.

**Tabela 17. Koncentracija radona v stanovanjih**

| Zap. št. | Številka detektorja | Start     |     | Stop      |     | Lokacija           | Objekt              | Konc. radona Bq/m <sup>3</sup> |
|----------|---------------------|-----------|-----|-----------|-----|--------------------|---------------------|--------------------------------|
|          |                     | Datum     | Ura | Datum     | Ura |                    |                     |                                |
| 1        | 337568-0            | 3.12.2008 | 12  | 6.4.2009  | 10  | Lapanja kuhinja    | Idrija Tomšičeva 19 | 8475 ± 678                     |
| 2        | 361944-2            | 3.12.2008 | 12  | 6.4.2009  | 10  | Lapanja klet       | Idrija Tomšičeva 19 | 1526 ± 275                     |
| 3        | 343595-5            | 3.12.2008 | 12  | 6.4.2009  | 10  | Mrak Metka kuhinja | Idrija Tomšičeva 19 | 8475 ± 678                     |
| 4        | 278088-0            | 3.7.2009  | 10  | 7.10.2009 | 9   | Lapanja klet       | Idrija Tomšičeva 19 | 320 ± 40                       |
| 5        | 143217-8            | 3.7.2009  | 10  | 7.10.2009 | 9   | Lapanja kuhinja    | Idrija Tomšičeva 19 | 2630 ± 480                     |
| 6        | 267680-7            | 3.7.2009  | 10  | 7.10.2009 | 9   | Mrak kuhinja       | Idrija Tomšičeva 19 | 1530 ± 280                     |

## 6. Ocena prejetih efektivnih doz

Efektivne doze zaradi inhalacije radona in radonovih potomcev smo ocenili na podlagi opravljenih meritev za vse objekte, ne glede na to ali je bila presežena vrednost koncentracije radona 400 Bq/m<sup>3</sup> za vrtce in šole ter 1000 Bq/m<sup>3</sup> za druga delovna mesta. Upoštevali smo metodologijo iz Uredbe UV2 [6]. Pri oceni smo privzeli, da so izmerjene koncentracije radona enake povprečnim letnim koncentracijam radona v objektu (čeprav so trajale samo en mesec in ne celo leto). V primeru večjega števila meritev v istem objektu smo ocenili efektivno dozo za vsak prostor posebej, saj se otroci v vrtcih in nižjih razredih osnovnih šol zadržujejo celo leto v istem prostoru.

Za zaposlene v bolnišnici, lekarni in vojaških delavnicah v Todražu smo upoštevali, da zaposleni opravijo na svojih delovnih mestih 2000 ur na leto. Za zaposlene v šolah smo upoštevali, da se zadržujejo v učilnicah po 6 ur dnevno deset mesecev na leto. Upoštevali smo, da se otroci zadržujejo v telovadnici 100 ur letno, učitelji telesne vzgoje pa največ 400 ur letno. Za zaposlene v vrtcih smo upoštevali, da se zadržujejo v igralnicah po 6 ur dnevno dvanajst mesecev na leto. Za otroke v vrtcih in šolah smo upoštevali isti čas zadrževanja v učilnicah kot za zaposlene. Za prebivalce v stanovanjskem bloku v Idriji smo privzeli, da se zadržujejo v stanovanju dvanajst ur dnevno na dan.

Za zaposlene v rudniku Mežica smo upoštevali dozni pretvorbeni faktor 10 mSv/WLM, faktor ravnovesja 0.6 (0.2 – 0.9) in da se zaposleni zadržujejo največ do 500 ur letno v rudniku kot vodniki po turističnem delu jame, po kolesarski poti in na vzdrževalnih delih.

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

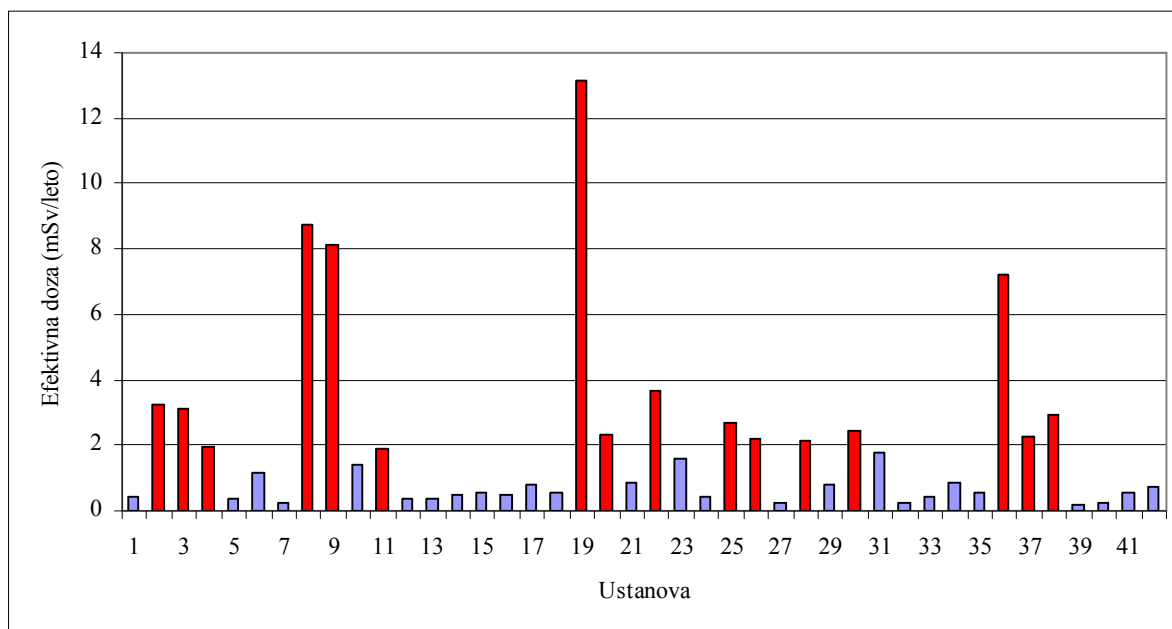
Ocenjene efektivne doze za zaposlene in otroke v vrtcih in šolah so prikazane v tabeli 18 in na sliki 29. Ocenjene efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah so prikazane v tabeli 19 in na sliki 30. Ocenjene efektivne doze za prebivalce so prikazane v tabeli 20. Z rdečo barvo so označene efektivne doze, višje od 2 mSv na leto. Po ICRP 65 [9] prispevajo povprečne letne koncentracije radona med 200 – 600 Bq/m<sup>3</sup> v bivalnem okolju (400 Bq/m<sup>3</sup> smo privzeli za vrtce in šole) in med 500 – 1500 Bq/m<sup>3</sup> v delovnem okolju (1000 Bq/m<sup>3</sup> smo privzeli za delovno okolje) efektivno dozo med 2 – 6 mSv/leto. Po Uredbi UV2 [6] povprečna celoletna koncentracija radona ob ravnovesnem faktorju 0.4 doprinese k letni efektivni dozi 6 mSv. To je mejna vrednost doze, pri kateri razvrščamo zaposlene, ki delajo z viri sevanj (tudi naravnimi), v skupino A ali B. Smatramo, da bi morali prebivalci in zaposleni v javnih ustanovah, kot so šole, vrtci in bolnišnice, prejeti nižje efektivne doze od 6 mSv/leto. Zato je smiselno, da posebej prikažemo bivalna in delovna okolja, kjer efektivne doze presegajo 2 mSv/leto, z namenom, da se v okviru zmožnosti izvedejo ukrepi sanacije za

zmanjšanje efektivne doze, kljub temu, da koncentracije radona ne presegajo 400 Bq/m<sup>3</sup> oziroma 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Tabela 18. Ocenjene letne efektivne doze za odrasle in otroke v vrtcih in šolah

| Št. | Objekt                     | Prostor                               | Bq/m <sup>3</sup> | ure odrasli | doza (mSv) | ure otroci | doza (mSv) |
|-----|----------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1   | OŠ Brusnice                | igralnica Muce                        | 80                | 1584        | 0,40       | 1584       | 0,40       |
| 2   | OŠ Bučka                   | igralnica Mehurčki                    | 640               | 1584        | 3,22       | 1584       | 3,22       |
| 3   | OŠ Bučka                   | igralnica Gumbki                      | 620               | 1584        | 3,12       | 1584       | 3,12       |
| 4   | OŠ Dobrnič                 | igralnica vrtec                       | 390               | 1584        | 1,96       | 1584       | 1,96       |
| 5   | OŠ Dragatuš                | igralnica vrtec                       | 70                | 1584        | 0,35       | 1584       | 0,35       |
| 6   | OŠ Komen                   | vrtec (prej tehnični pouk)            | 230               | 1584        | 1,16       | 1584       | 1,16       |
| 7   | OŠ Kostanjevica na Krki    | igralnica vrtec                       | 50                | 1584        | 0,25       | 1584       | 0,25       |
| 8   | OŠ Prevole                 | igralnica Bibe                        | 1740              | 1584        | 8,76       | 1584       | 8,76       |
| 9   | OŠ Prevole                 | igralnica Medvedki                    | 1620              | 1584        | 8,16       | 1584       | 8,16       |
| 10  | OŠ Prevole                 | kuhinja - čajna                       | 280               | 1584        | 1,41       | 1584       | 1,41       |
| 11  | OŠ Prevole                 | jedilnica                             | 380               | 1584        | 1,91       | 1584       | 1,91       |
| 12  | OŠ Stari trg ob Kolpi      | igralnica vrtec                       | 70                | 1584        | 0,35       | 1584       | 0,35       |
| 13  | OŠ Stopiče                 | igralnica Muce                        | 70                | 1584        | 0,35       | 1584       | 0,35       |
| 14  | OŠ Šentrupert              | igralnica vrtec                       | 100               | 1584        | 0,50       | 1584       | 0,50       |
| 15  | OŠ Viinica                 | igralnica Sončki                      | 110               | 1584        | 0,55       | 1584       | 0,55       |
| 16  | Vrtec Črnomelj             | vrtec Črnomelj - enota Loka           | 100               | 1584        | 0,50       | 1584       | 0,50       |
| 17  | vrtec Mokronog             | igralnica Črički                      | 160               | 1584        | 0,81       | 1584       | 0,81       |
| 18  | vrtec Mokronog             | igralnica Mavrica                     | 110               | 1584        | 0,55       | 1584       | 0,55       |
| 19  | vrtec Muljava              | igralnica vrete                       | 2610              | 1584        | 13,15      | 1584       | 13,15      |
| 20  | vrtec Muljava              | igralnica vrete (prej garderoba)      | 460               | 1584        | 2,32       | 1584       | 2,32       |
| 21  | vrtec na OŠ Žužemberk      | igralnica vrtec na stari šoli         | 170               | 1584        | 0,86       | 1584       | 0,86       |
| 22  | vrtec Sežana - enota Jasli | igralnica vrtec                       | 730               | 1584        | 3,68       | 1584       | 3,68       |
| 23  | vrtec Šmarjeta             | igralnica vrtec                       | 320               | 1584        | 1,61       | 1584       | 1,61       |
| 24  | vrtec Šmarjeta             | igralnica druga enota                 | 90                | 1584        | 0,45       | 1584       | 0,45       |
| 25  | vrtec Vavta vas            | igralnica vrtec                       | 540               | 1584        | 2,72       | 1584       | 2,72       |
| 26  | vrtec Vavta vas            | igralnica vrtec                       | 440               | 1584        | 2,22       | 1584       | 2,22       |
| 27  | OŠ Bučka                   | učilnica v pritličju                  | 50                | 1584        | 0,25       | 1584       | 0,25       |
| 28  | OŠ Dobrnič                 | kabinet pritličje                     | 430               | 1584        | 2,17       | 1584       | 2,17       |
| 29  | OŠ Dobrnič                 | učilnica v 1. nadstropju              | 160               | 1584        | 0,81       | 1584       | 0,81       |
| 30  | OŠ Komen                   | učilnica 4. razreda (sedaj teh. pouk) | 480               | 1584        | 2,42       | 1584       | 2,42       |
| 31  | OŠ Komen                   | telovadnica                           | 1390              | 400         | 1,77       | 100        | 0,44       |
| 32  | OŠ Komen                   | učilnica v 1. nadstropju, kem-bio     | 50                | 1584        | 0,25       | 1584       | 0,25       |
| 33  | OŠ Kostanjevica na Krki    | učilnica                              | 90                | 1584        | 0,45       | 1584       | 0,45       |
| 34  | OŠ Muljava                 | učilnica spodaj                       | 170               | 1584        | 0,86       | 1584       | 0,86       |
| 35  | OŠ Muljava                 | učilnica zgoraj                       | 110               | 1584        | 0,55       | 1584       | 0,55       |
| 36  | OŠ Prevalje                | učilnica 1 od knjižnice               | 1430              | 1584        | 7,20       | 1584       | 7,20       |
| 37  | OŠ Prevalje                | učilnica 2 od knjižnice               | 450               | 1584        | 2,27       | 1584       | 2,27       |
| 38  | OŠ Prevalje                | učilnica 3 od knjižnice               | 580               | 1584        | 2,92       | 1584       | 2,92       |
| 39  | OŠ Stari trg ob Kolpi      | učilnica                              | 40                | 1584        | 0,20       | 1584       | 0,20       |
| 40  | OŠ Stari trg ob Kolpi      | učilnica                              | 50                | 1584        | 0,25       | 1584       | 0,25       |
| 41  | OŠ Vavta vas               | učilnica 10                           | 110               | 1584        | 0,55       | 1584       | 0,55       |
| 42  | OŠ Vavta vas               | učilnica 3                            | 140               | 1584        | 0,71       | 1584       | 0,71       |

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

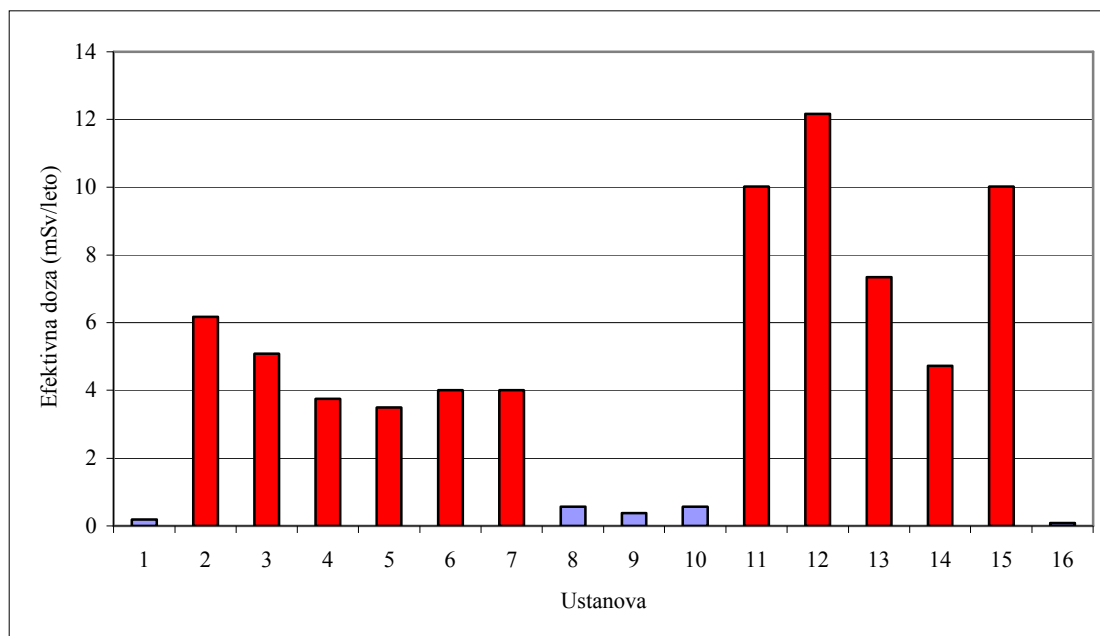
**Slika 29. Histogram efektivnih doz za zaposlene in otroke v vrtcih in šolah (mSv/leto)**

\* številke ustanov ustrezajo zaporednim številkam iz tabele 18

**Tabela 19. Ocenjene letne efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah**

| Št. | Objekt                          | Lokacija                                       | Bq/m <sup>3</sup> | ure odrasli | doza (mSv) |
|-----|---------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|-------------|------------|
| 1   | Min. za obrambo - FRS Ljubljana | optična delavnica                              | 30                | 2000        | 0,19       |
| 2   | Min. za obrambo - Todraž        | popravlilo pehotnega orožja                    | 970               | 2000        | 6,17       |
| 3   | Min. za obrambo - Todraž        | minometna delavnica                            | 800               | 2000        | 5,09       |
| 4   | Min. za obrambo - Todraž        | skladišče                                      | 590               | 2000        | 3,75       |
| 5   | Psiha Idrija                    | lekarna pisarna                                | 550               | 2000        | 3,50       |
| 6   | Psiha Idrija                    | lekarna pult                                   | 630               | 2000        | 4,01       |
| 7   | Psihiatrična klinika Ljubljana  | mizarska delavnica                             | 630               | 2000        | 4,01       |
| 8   | Psihiatrična klinika Ljubljana  | uprava - informatika, klet                     | 90                | 2000        | 0,57       |
| 9   | Psihiatrična klinika Ljubljana  | odd. E - oskrbnica klet                        | 60                | 2000        | 0,38       |
| 10  | Psihiatrična klinika Ljubljana  | odd. E - vzdrževalec                           | 90                | 2000        | 0,57       |
| 11  | Rudnik Mežica                   | jug-7. obzorje - tur. del jame                 | 2100              | 500         | 10,02      |
| 12  | Rudnik Mežica                   | Glančnik rov 8. obzorje - tur. del jame        | 2550              | 500         | 12,16      |
| 13  | Rudnik Mežica                   | Igrčevo 4. obzorje - kolesarski del jame       | 1540              | 500         | 7,34       |
| 14  | Rudnik Mežica                   | Fridrihov rov 4. obzorje - kolesarski del jame | 990               | 500         | 4,72       |
| 15  | Rudnik Mežica                   | Knap med 7. in 8. obzorjem - tur. del jame     | 2100              | 500         | 10,02      |
| 16  | Cinkarna Celje                  | skladišče ilmenita                             | 14                | 2000        | 0,09       |

\* rdeče so označeni prostori, kjer bi odrasli prejeli letne efektivne doze, višje od 2 mSv, če bi se v njih zadrževali celoten delovni čas

**Slika 30. Histogram efektivnih doz za zaposlene in drugih javnih ustanovah (mSv/leto)**

\* številke ustanov ustrezajo zaporednim številkam iz tabele 19

V tabeli 20 prikazane letne efektivne doze za prebivalce dveh stanovanj na Tomšičevi 19 v Idriji. Namenoma smo prikazali letne efektivne doze v poletnem in zimskem času ločeno, saj so v obeh primerih doze zelo visoke.

**Tabela 20. Ocenjene letne efektivne doze za prebivalce Tomšičeve 19, Idrija**

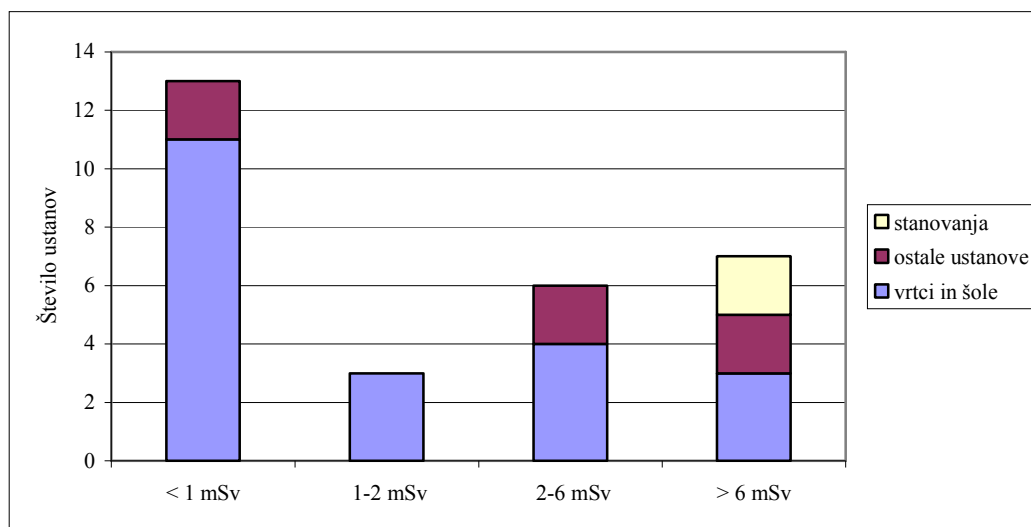
| Št. | Objekt              | Lokacija                    | Bq/m <sup>3</sup> | ure odrasli | doza (mSv) |
|-----|---------------------|-----------------------------|-------------------|-------------|------------|
| 1   | Idrija Tomšičeva 19 | Lapanja kuhinja - poleti    | 2630              | 4800        | 36,63      |
| 2   | Idrija Tomšičeva 19 | Lapanja kuhinja - pozimi    | 8475              | 4800        | 118,02     |
| 3   | Idrija Tomšičeva 19 | Mrak kuhinja - poleti       | 1530              | 4800        | 21,31      |
| 4   | Idrija Tomšičeva 19 | Mrak Metka kuhinja - pozimi | 8475              | 4800        | 118,02     |

\* rdeče so označeni prostori, kjer bi odrasli prejeli letne efektivne doze, višje od 2 mSv, če bi se v njih zadrževali 12 ur dnevno

Na sliki 31 so prikazane doze za zaposlene in otroke v vseh sedemindvajsetih ustanovah in obeh stanovanjih, v katerih smo izvajali meritve koncentracije radona z detektorji sledi, razporejene po razredih. V primeru več meritev v istem objektu smo upoštevali samo najvišjo ocenjeno letno efektivno dozo. V trinajstih ustanovah so efektivne doze nižje od 1 mSv/leto,

v treh ustanovah so efektivne doze med 1 – 2 mSv/leto, v šestih ustanovah so efektivne doze med 2 - 6 mSv/leto, v sedmih ustanovah so efektivne doze za višje od 6 mSv/leto.

**Slika 31. Efektivne doze po razredih**

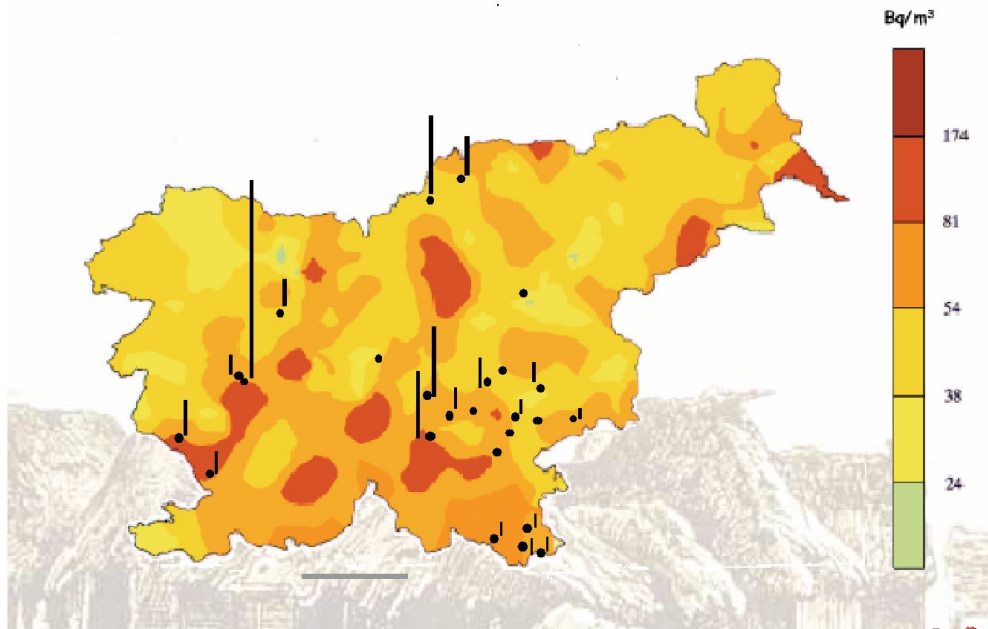


## 7. Zaključki

V devetindvajsetih različnih objektih je bilo opravljenih 64 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in ena meritev z oglenimi adsorberji. Izmerjene koncentracije radona so v petindvajsetih (od dvainštiridesetih) izbranih prostorih šol in vrtcev nižje od 400 Bq/m<sup>3</sup>, v sedemnajstih pa višje od 400 Bq/m<sup>3</sup>. Izmerjene koncentracije radona v drugih javnih ustanovah so v desetih izbranih prostorih (od šestnajstih) nižje od 1000 Bq/m<sup>3</sup>, v šestih pa višje od 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Slika 32 prikazuje lokacije meritev (črne točke) in najvišje izmerjene koncentracije radona v vrtcih, šolah in drugih javnih objektih (črni stolpci), ki so nanešene na radonsko karto Slovenije, izdelano na podlagi raziskovalne naloge [2]. Najvišje koncentracije radona v letu 2009 smo izmerili na istih lokacijah, ki so tudi nalogi [2] prepoznavne kot lokacije z večjimi koncentracijami radona.



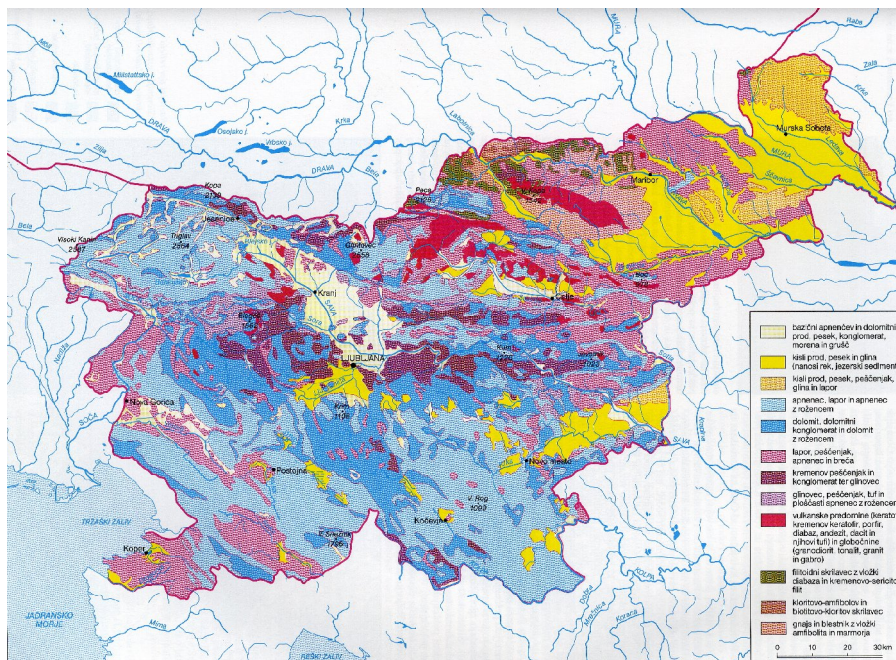
**Slika 32. Lokacije meritev in najvišje koncentracije radona v merjenih objektih (slika povzeta po [2])**

V nekaterih objektih, vključenih v to projektno nalogo, so se izvajale meritve koncentracije radona že drugič ali tretjič. Razlog za to so visoke vrednosti koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi ob prvi meritvi, ki so jim sledile ponovne meritve z detektorji sledi in z merilnimi instrumenti z namenom določitve časovnega poteka koncentracij radona. Če so bile tudi pri drugi meritvi izmerjene koncentracije radona visoke in je bilo ugotovljeno, da pomembno vplivajo na prejeto efektivno dozo zaposlenih ali otrok, so sledile tretje meritve z iskanjem virov dotekanja radona izpod temeljne plošče v prostore objektov (jaški, špranje...). Če je bila v objektu izvedena sanacija (obnova tal, jaškov in podobno), so se izvajale kontrolne meritve. Taka primera sta OŠ Prevalje in psihiatrična bolnišnica v Idriji.

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

Geološka sestava tal v Sloveniji je zelo različna. V alpskem svetu prevladujejo apnenci in dolomiti, v predalpskem svetu so rjava tla, na prepustnih silikatnih peščenih podlagah pa tudi podzoli. V osrednji Sloveniji in Dolenjski se na območjih apnenca in dolomita pojavljajo rjava tla. Na Primorskem se na karbonatnem flišu pojavljajo rjava tla. Nižine vzhodne Slovenije obsegajo nanose nekarbonskega proda (Slika 33).

**Slika 33. Geološka karta Slovenije**



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

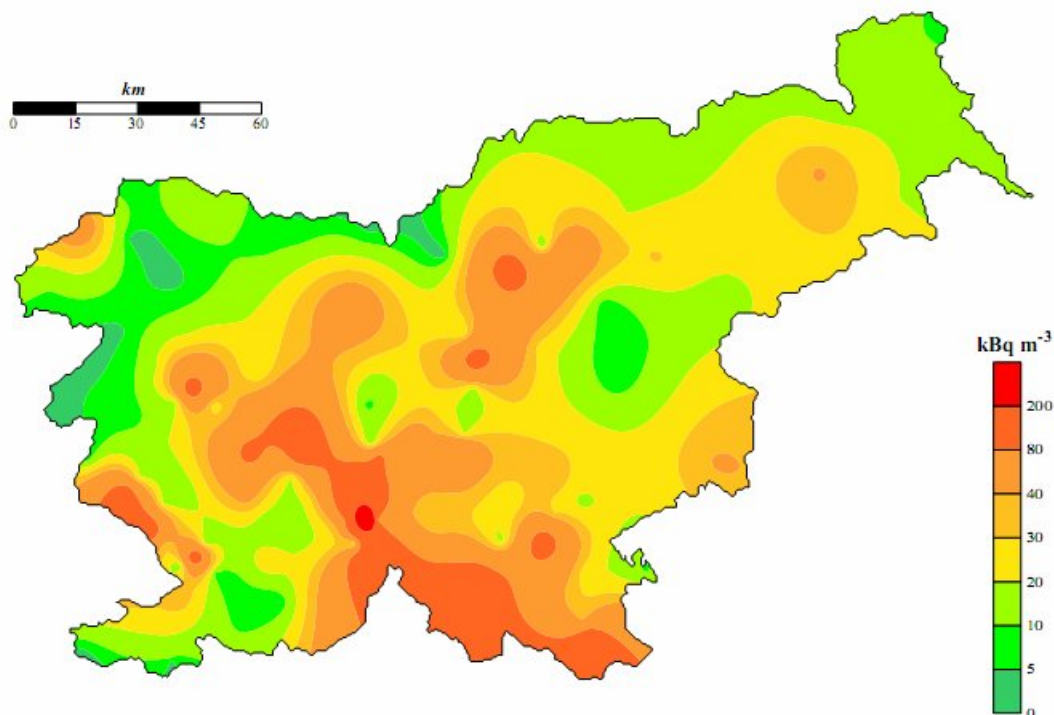
Radon v tleh prihaja v objekte skozi temeljno ploščo z difuzijo ali s konvekcijo. V primeru nerazpokane temeljne plošče pride v objekt z difuzijo 1 – 2 % radona iz tal. V primeru ene ali

več razpok na  $\text{m}^2$  tal lahko pride v objekt tudi do 25 % radona iz tal [12]. Podtlak v prostoru (nekaj Pa) glede na tlak pod temeljno ploščo kot tudi višja temperatura v prostoru glede na temperaturo v tleh povečujeta možnost vdiranja radona v prostor [11]. Poleti je v zgradbah hladneje kot zunaj, zato radon teže vdira v prostore. Proti večeru in ponoči je obratno, zato koncentracija radona v prostoru naraste. Pozimi v kurilni sezoni je temperatura v prostorih ves čas višja kot zunaj, zato radon lažje in močnejše vdira v objekte. Zato so pozimi koncentracije radona v prostorih višje kot poleti.

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

Slika 34 prikazuje koncentracijo radona v tleh v Sloveniji [13], izmerjeno z detektorji sledi v letih 2006 in 2007. Iz slike je razvidno, da so bile izmerjene najvišje koncentracije radona v dolomitnih in apnenčastih tleh.

**Slika 34. Radon v tleh – merjeno z detektorji sledi (slika povzeta po [13])**



Če primerjamo med sabo sliki 32 in 34, vidimo, da so najvišje koncentracije radona v objektih, ki ležijo na območjih, kjer so bile izmerjene najvišje koncentracije radona v tleh. To so območja, kjer so z meritvami za karto naravne radioaktivnosti Slovenije izmerili najvišje specifične aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  v tleh [14].

V nekaterih primerih, kot npr. vrtec Sežana so glavni vir radona jaški, po katerih prihaja radon v prostor. V OŠ Komen, vrtcu Muljava in vrtcu Prevole v merjenih učilnicah ni jaškov, torej so glavni vir radona razpoke v tleh. V OŠ Prevalje so vzrok visokih koncentracij radona tako jaški kot razpoke. V vseh zgoraj navedenih primerih smo izmerili izredno tudi visoke koncentracije radona v zemlji.

Meritve koncentracije radona smo izvajali v objektih, starih trideset let in več. V nekaterih objektih so obnovljena okna in fasada, tlaki pa običajno ne. Glede na to, da se bodo gradile nove šole oziroma vrtci v Šentrupertu nad Laškim, v Dobrniču, najbrž tudi v Sežani in še kje, bi bilo smotrno vnaprej predvideti rešitve za onemogočanje vdiranja radona v objekte (cevniki sistemi pod temeljno ploščo, ventilatorji...).

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

Predlagamo, da se v prostorih objektov z izmerjenimi povišanimi koncentracijami radona ponovijo meritve z detektorji sledi za daljše časovno obdobje (tri mesece v zimskem času), kar bo osnova za realnejšo oceno učinkovitih doz in možne ukrepe sanacije. Še posebej to velja za objekte z najvišjimi izmerjenimi koncentracijami radona in ocenjenimi učinkovitim dozami preko 6 mSv na leto.

## 8. Reference

1. An overview of radon surveys in Europe, Luxembourg, EC,
2. M. Humar, J. Škvarč, R. Ilič, M. Križman, Z. Jeran, R. Šajn: Koncentracije radona v bivalnem okolju Slovenije (zaključno poročilo)
3. ZVISJ-UPB2), Ur.list RS št. 102, 2004
4. Program sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja, Ur.list RS št. 17, 2006
5. Pravilnik o pogojih in metodologiji ocenjevanja doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Ur.list RS št. 115, 2003
6. Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.list RS št. 49, 2004
7. P. Jovanovič: Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja, LMSAR-20060047-PJ, ZVD, 2006
8. J. Vavpotič: IJS-DP-9648, IJS, 2007
9. ICRP 65: Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Pergamon, 1994
10. Joachim Kemski, Ralf Klingel: Das geogene Radon-Potential, v knjigi: Siehl. A.: Umweltradioaktivität, Ernst & Sohn, Bonn, 1996
11. W. W. Nazaroff, A. V. Nero: Radon and its decay products in indoor air, John Wiley & Sons, 1988
12. K. A. Landman: Diffusion of radon through cracks in a concrete slab, Health Physics, Vol. 43, No. 1, 1982
13. IJS-DP-9694-1: J. Vavpotič, Radonski potencial v tleh na območjih s povišanimi koncentracijami radona v zaprtih prostorih, IJS, 2007
14. M. Andjelov: Rezultati radiometričnih in geokemičnih meritev za karto naravne radioaktivnosti Slovenije, Geologija, 36, 1993
15. P. Jovanovič: Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja, LMSAR-20080030-PJ, ZVD, 2008