



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-20080030-PJ**

Datum: 14.11.2008

Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2008

Naročnik / uporabnik (koda):

Ministrstvo za zdravje

Uprava RS za varstvo pred sevanji

Ajdovščina 4

1000 Ljubljana

Številka in datum naročila:

4301-5/2008, 27.6.2008

Datum meritve:

avgust – oktober 2008

Poslano:

3 x naročnik

1 x arhiv ZVD

Meritve opravil:

Peter Jovanovič, inž. fiz.

Poročilo pregledal:

Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

Poročilo odobril:

Dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz.

Poročilo vsebuje skupaj 44 strani in prilogo Poročilo LMSAR-20080030a-PJ in ga je dovoljeno reproducirati samo v celoti

Chengdujska cesta 25, 1000 Ljubljana, 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 · TRANSAKCIJSKI RAČUN pri NLB d.d. št.: 02924-0013679128 · Vpis družbe:
Okrožno sodišče v Ljubljani, vložna št.: 10024700 · Osnovni kapital: 779.402,44 EUR · Predsednik Nadzornega sveta ZVD d.d.: Ljubo Peče, univ. dipl. prav.
Vpis ZVD d.d. v CCR Central Consultancy Register of DG1A, Brussels, pod št. SLO-23347

Povzetek

V devetinštiridesetih različnih objektih smo opravili 86 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in tri meritve z oglenimi adsorberji. Meritve smo izvedli v devetindvajsetih vrtcih in njihovih enotah, petih osnovnih in eni glasbeni šoli, eni telovadnici, dveh bolnišnicah, enem zdravstvenem domu, eni lekarni, treh policijskih postajah, štirih železniških postajah in v dveh stanovanjih. V petih objektih smo izvedli tudi meritve koncentracije radona in potomcev z merilnimi instrumenti za določanje časovnega poteka koncentracij. V desetih objektih smo izvedli meritve koncentracije radona v špranjah, razpokah ali jaških z namenom ugotovitve možnih virov radona v prostorih objektov.

Izmerjene koncentracije radona so v štiriinštiridesetih (od šestdesetih) izbranih prostorih šol in vrtcev nižje od 400 Bq/m^3 , v ostalih šestnajstih pa višje od 400 Bq/m^3 . Izmerjene koncentracije radona v drugih javnih ustanovah so v sedemnajstih izbranih prostorih (od petindvajsetih) nižje od 1000 Bq/m^3 , v ostalih osmih pa višje od 1000 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 dvajsetih ustanovah so efektivne doze nižje od 1 mSv/leto , v osmih ustanovah so efektivne doze med $1 - 2 \text{ mSv/leto}$, v trinajstih ustanovah so efektivne doze med $2 - 6 \text{ mSv/leto}$, v osmih ustanovah so efektivne doze za višje od 6 mSv/leto . Izjema je le Glasbena šola Ribnica, kjer je doza za otroke zaradi krajšega zadrževanja v učilnici nižja od doze za zaposlene in je nižja od 1 mSv/leto . Pri 43 % ustanov so ocenjene efektivne doze za otroke, prebivalce in zaposlene višje od 2 mSv/leto , pri 16 % pa višje od 6 mSv/leto .

Predlagamo, da se v šolah in vrtcih z izmerjenimi koncentracijami radona nad 400 Bq/m^3 in v drugih objektih z izmerjenimi koncentracijami radona nad 1000 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 mSv na leto.

Vsebina

1. Uvod	4
2. Namen in cilji naloge	5
3. Program meritev	6
4. Metode merjenja	7
4.1. Meritve koncentracije radona	7
4.1.1. Pasivna metoda – detektorji sledi	7
4.1.2. Pasivna metoda – ogljeni adsorberji	7
4.1.3. Aktivna metoda	8
4.2. Meritve koncentracije vezanih radonovih potomcev	8
5. Rezultati meritev	9
5.1. Vrtci in šole	9
5.1.1. Vrtec Idrija – enota Godovič	12
5.1.2. VVO Ivančna gorica, Vrtec Muljava	13
5.1.3. Vrtec Grič Vrhnika	14
5.1.4. Osnovna šola Ketteja in Murna Ljubljana	16
5.1.5. Glasbena šola Ribnica	18
5.1.6. Osnovna šola Idrija – Podružnična šola Godovič	19
5.1.7. Vrtec Sežana – Enota Jasli	21
5.1.8. Osnovna šola Antona Šibelja – Stjenka Komen	22
5.1.9. Osnovna šola Žužemberk, Podružnična šola Dvor	24
5.1.10. Osnovna šola Prevalje	25
5.2. Druge javne ustanove	27
5.2.1. Psihiatrična klinika Ljubljana	28
5.2.2. Psihiatrična bolnišnica Idrija	29
5.2.3. Zdravstveni dom Divača	31
5.2.4. Policijska postaja Sežana	33
5.3. Stanovanjski objekti	34
6. Ocena prejetih učinkovitih doz	34
7. Zaključki	39
8. Reference	44

1. Uvod

Izpostavljenost radonu je posledica vsebnosti naravnih radionuklidov v zemeljski skorji. Dolgoživi radionuklidi ^{238}U , ^{232}Th in ^{235}U so začetniki naravnih razpadnih nizov, in sicer uranovega, torijevega in aktinijevega. V vsakem od teh nizov se nahaja eden izmed radijevih izotopov ^{226}Ra , ^{224}Ra in ^{223}Ra . Direktni potomci teh izotopov so radioaktivni plini, radon, toron in aktinon, oziroma ^{222}Rn , ^{220}Rn in ^{219}Rn . Najpomembnejši od vseh je ^{222}Rn (radon), ki prispeva k sevalnim obremenitvam zaradi vdihovanja skoraj 90%, ^{220}Rn (toron) okoli 10%, ^{219}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 Bq/m^3 je bila aproksimativno določena srednja letna vrednost, ki znaša 54 Bq/m^3 [1,2].

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

V letih 2006 – 2008 je Uprava za varstvo pred sevanji (URSVS) razpisala projektne naloge za sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja zaradi naravnih virov sevanja, v katere so bile vključene meritve v vrtcih, šolah in drugih javnih ustanovah ter en stanovanjski objekt ([7], [8] in to poročilo).

2. Namen in cilji naloge

V zadnjih petnajstih letih so se izvajale meritve koncentracije radona in radonovih potomcev v večini osnovnih šol in vzgojno varstvenih zavodih ter v drugih javnih institucijah, kot so bolnišnice, zdravstveni domovi, občinske zgradbe, policijske postaje in carinarnice. V nekaterih šolah, vrtcih in drugih objektih so bile zaradi previsokih koncentracij radona in potomcev izvedene sanacije. V teh je bilo potrebno izvesti ponovne meritve za ugotovitev, ali je bila sanacija ustrezna oziroma ali so potrebni dodatni ukrepi.

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

3. Program meritev

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 pet osnovnih šol in ena glasbena šola, devetindvajset vzgojno varstvenih zavodov, dve bolnišnici, en zdravstveni dom, ena lekarna, tri policijske postaje, štiri železniške postaje ter dve stanovanji. Opravili smo 86 meritev koncentracij radona z detektorji sledi, tri meritve koncentracije radona z oglenim adsorberji, pet meritev koncentracij radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti z namenom določanja časovnega poteka koncentracije radona in potomcev ter deset meritev koncentracij radona z merilnimi instrumenti z namenom določitve virov izhajanja radona v prostore zgradb (špranje, razpoke, kanalizacijski in drugi jaški...).

Tabela 1. Program meritev

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

Legenda: * - namesto stanovanjskega bloka v Idriji

a - osnovne meritve z detektorji sledi (Vrtec Hrib Vrhnika z oglenimi adsorberji)

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

d - iskanje virov radona s kontinuirnimi instrumenti

4. Metode merjenja

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

4.1. Meritve koncentracije radona

4.1.1. Pasivna metoda – detektorji sledi

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

Podjetje Gamdata 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 - ogljeni adsorberji

Povprečno dvodnevno ali tridnevno koncentracijo radona določamo z ogljenimi adsorberji. To so kovinske posodice, premera 9 cm in visoke 3 cm, napolnjene z aktivnim ogljem. Posodico odpremo in pustimo, da se radon adsorbira na aktivno oglje. Nato posodico zapremo. Radon, ki se je adsorbiral na aktivnem oglju, razpade v svoje kratkožive potomce (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi in ^{214}Po). Po treh urah se vzpostavi radioaktivno ravnovesje med radonovimi potomci in radonom. Razpadna produkta radona, ^{214}Pb , ^{214}Bi , razpadata z izsevanjem kvantov gama,

zato ju lahko določamo z detektorjem sevanja gama (visokoločljiva spektrometrija gama). Meritve koncentracije radona z ogljenimi adsorberji smo izvedli v skladu s postopkom DP-LMSAR-3.01. Metoda je akreditirana po standardu SIST ISO/IEC 17025.

4.1.3. Aktivna metoda

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

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

4.2. Meritve koncentracije vezanih radonovih potomcev

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

Interval vzorčenja za merjenje koncentracije radonovih potomcev v zraku je 30 minut. Razmerje med koncentracijo radonovih potomcev in koncentracijo radona je faktor

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

5. Rezultati meritev

5.1. Vrtci in šole

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

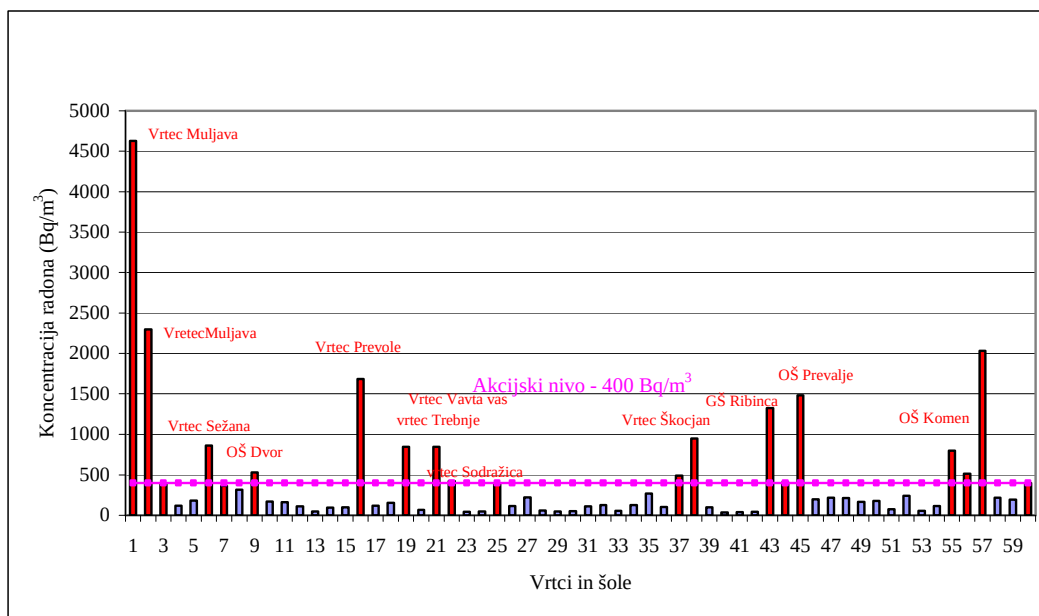
Rezultati meritev koncentracije radona z detektorji sledi v vrtcih in šolah so prikazani v tabeli 2 in na sliki 1. V petnajstih prostorih vrtcev in šol so bile izmerjene koncentracije radona, višje od 400 Bq/m^3 (slika 1). Vse izmerjene koncentracije radona, ki skupaj z napako meritve presegajo 400 Bq/m^3 , so obarvane rdeče. Na sliki 2 podajamo verjetnostno in kumulativno porazdelitev izmerjenih koncentracij radona v vrtcih in šolah. V petintridesetih objektih so bile izmerjene vrednosti nižje od 400 Bq/m^3 .

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

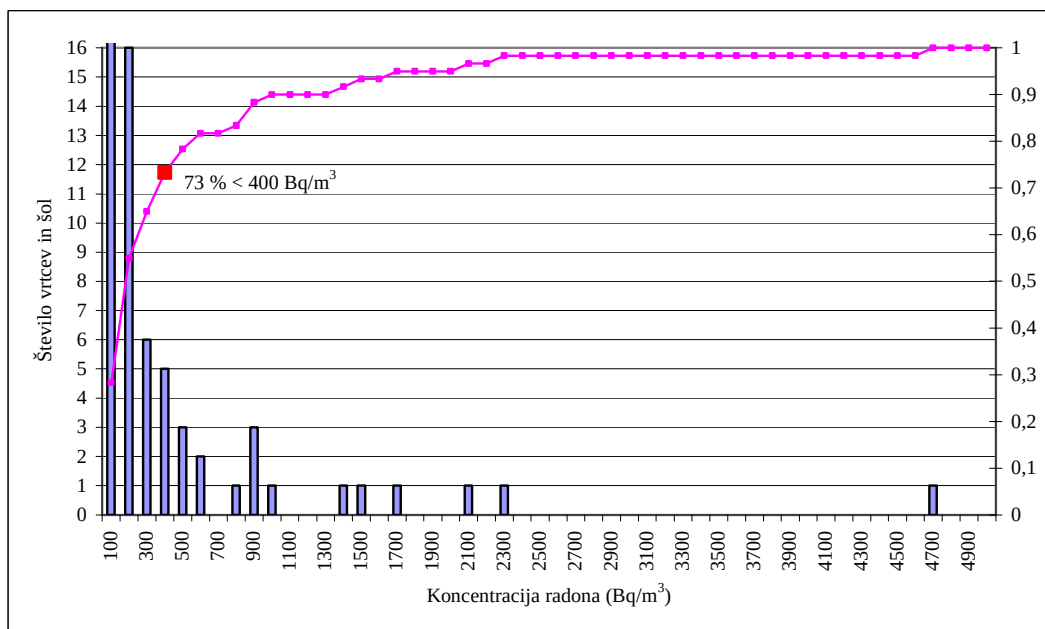
Zap. št.	Št. detektorja	Začetek meritve		Konec meritve		Ustanova	Prostor	Koncentracija radona	
		Datum	Ura	Datum	Ura			Bq/m3	
1	251244-0	18.9.2008	11	20.10.2008	11	VVO Muljava	igralnica	4626	± 831
2	133044-8	18.9.2008	11	20.10.2008	11	VVO Muljava	klet	2297	± 281
3	356907-6	26.8.2008	7	20.10.2008	12	Vrtec Pikapolonica Brezje	igralnica	385	± 42
4	268063-5	1.9.2008	14	17.10.2008	12	Vrtec Idrija enota Godovič	igralnica 2	119	± 15
5	356895-3	1.9.2008	14	17.10.2008	12	Vrtec Idrija enota Godovič	igralnica 1	181	± 22
6	357043-9	4.9.2008	13	17.10.2008	9	Vrtec Sežana-enota Jasli	igralnica	860	± 89
7	356876-3	22.9.2008	8	17.10.2008	8	Vrtec Sežana-enota Divača	igralnica	362	± 40
8	357073-6	4.9.2008	7	17.10.2008	8	Vrtec Sežana-enota Komen	igralnica	316	± 35
9	357015-7	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor - vrtec	igralnica - dojenčki	528	± 58
10	202535-1	15.10.2008	8	4.12.2008	8	Vrtec Črnomelj, Majer	igralnica	169	± 19
11	278619-2	15.10.2008	8	4.12.2008	10	Vrtec Črnomelj, Cardak	igralnica	160	± 19
12	357034-8	15.10.2008	10	4.12.2008	11	Vrtec Črnomelj, Novi vrtec	igralnica	106	± 14
13	357080-1	5.9.2008	8	23.10.2008	10	Vrtec Mokronog	srednja igralnica	46	± 7
14	306846-7	4.9.2008	11	20.10.2008	7	OŠ Mirna peč vrtec	igralnica Sme	92	± 12
15	357841-6	4.9.2008	12	20.10.2008	7	OŠ Mirna peč vrtec	igralnica Veverice	97	± 13
16	348945-7	4.9.2008	11	17.10.2008	8	vrtec Prevole	igralnica 1	1684	± 208
17	183487-8	20.10.2008	10	26.11.2008	9	vrtec Trebnje	igralnica 1 - Videk	118,2	± 13,9
18	356989-4	20.10.2008	10	26.11.2008	9	vrtec Trebnje	igralnica 5 - Ostržek	151,8	± 18,5
19	267964-5	20.10.2008	10	26.11.2008	9	vrtec Trebnje	vrtec Dobrnič	843,6	± 88,1
20	216138-8	20.10.2008	13	26.11.2008	10	vrtec Trebnje	igralnica Kekec	67,4	± 9,3
21	278438-7	15.9.2008	9	17.10.2008	8	vrtec Vavta vas	igralnica Ribe	846	± 89
22	357393-8	1.9.2008	9	17.10.2008	8	vrtec Vavta vas	igralnica Pikapolonice	420	± 45
23	357078-5	4.9.2008	9	17.10.2008	10	vrtec Mima	jasli - prtiličje	43	± 8
24	356939-9	1.9.2008	9	17.10.2008	10	vrtec Mima	III. Starostno obdobje	44	± 7
25	251344-8	4.9.2008	11	17.10.2008	9	vrtec Sodražica	igralnica Pikapolonice	396	± 43
26	250543-6	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	vrtec pri šoli	110	± 14
27	251431-3	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	muca copatarica	221	± 24
28	357857-2	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	igralnica 1 - čebelice	59	± 10
29	183162-7	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	Vrtec Orehovica	47	± 8
30	303659-7	10.9.2008	9	22.10.2008	11	vrtec Šentjernej	igralnica 6 - čebelica	50	± 8
31	278124-3	4.9.2008	11	17.10.2008	11	vrtec Metlika	igralnica Pikapolonice	109	± 14
32	357946-3	4.9.2008	11	17.10.2008	11	vrtec Metlika	igralnica Zajčki	127	± 16
33	290227-8	4.9.2008	11	17.10.2008	11	vrtec Metlika	igralnica Ježki	54	± 8
34	307036-4	5.9.2008	10	17.10.2008	9	vrtec Semič	igralnica s klimo	128	± 16
35	170904-7	5.9.2008	10	17.10.2008	9	vrtec Semič	igralnica stari del	268	± 30
36	307025-7	5.9.2008	12	17.10.2008	9	vrtec Semič	igralnica s klimo	100	± 12
37	216214-7	10.9.2008	13	17.10.2008	10	vrtec Stari trg ob Kolpi	igralnica	489	± 52
38	268015-5	10.9.2008	11	17.10.2008	13	vrtec Skočjan Bučka	vrtec Skočjan Bučka	948	± 99
39	183254-2	10.9.2008	8	17.10.2008	13	vrtec Skočjan	vrtec Skočjan	95	± 11
40	250585-7	8.9.2008	9	20.10.2008	9	vrtec Veliki gaber	igralnica	33	± 6
41	139509-4	8.9.2008	11	22.10.2008	11	Vrtec Idrija - enota Arkova	otroci 4-5 let	37	± 6
42	190640-3	8.9.2008	11	22.10.2008	11	Vrtec Idrija - enota Arkova	otroci 1-3 leta	43	± 6
43	357049-6	5.9.2008	12	22.10.2008	12	Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti	1325	± 151
44	356879-7	5.9.2008	7	17.10.2008	8	OŠ Prevalje	učilnica 2b	406	± 44
45	357853-1	5.9.2008	7	17.10.2008	8	OŠ Prevalje	učilnica 3a	1481	± 153
46	268050-2	3.9.2008	14	17.10.2008	12	OŠ Godovič	4 in 5 razred	198	± 23
47	190595-9	1.9.2008	14	17.10.2008	12	OŠ Godovič	1, 2 in 3 razred	217	± 24
48	356873-0	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor	telovadnica	211	± 23
49	356935-7	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor	učilnica 4. razred	163	± 19
50	356913-4	11.9.2008	7	20.10.2008	10	OŠ Dvor	jedilnica	175	± 21
51	173613-1	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 14	76	± 10
52	278584-8	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 10	239	± 26
53	357363-1	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 11	56	± 7
54	251303-4	2.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Ketteja in Murna	učilnica-13	116	± 14
55	357272-4	17.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Komen	učilnica 4. razred	795	± 83
56	307049-7	17.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Komen	tehnični pouk	513	± 56
57	306791-5	17.9.2008	8	20.10.2008	7	OŠ Komen	telovadnica	2033	± 248
58	12*	23.7.2008	10	25.7.2008	10	Vrtec Hrib Vrhnika	učilnica prtiličje levo	217,0	± 33,0
59	32*	23.7.2008	10	25.7.2008	10	Vrtec Hrib Vrhnika	sanitarje	193	± 30
60	183294-8	17.10.2008	10	24.11.2008	10	Občina Ribnica- Partizan	telovadnica	398,6	± 42,8

* . Meritev z oglenimi adsorberji

Slika 1. Histogram meritev koncentracije radona v vrtcih in šolah



Slika 2. Verjetnostna porazdelitev koncentracij radona v vrtcih in šolah



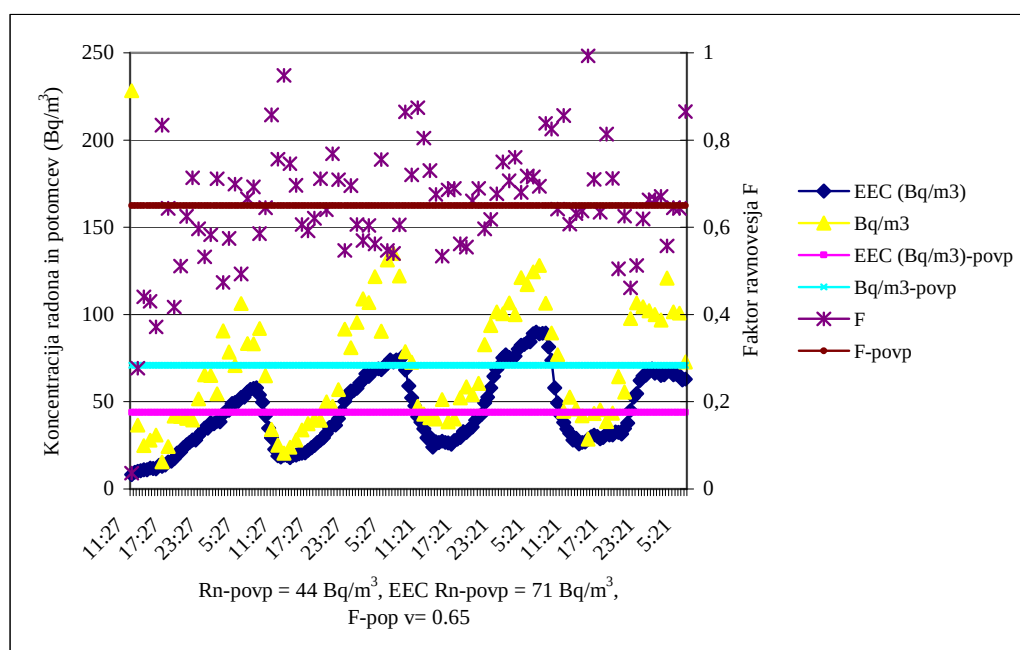
5.1.1. Vrtec Idrija – enota Godovič

Opravili smo dodatne meritve koncentracije radona in potomcev v vrtcu v Godoviču. Meritve smo izvajali časa od 8.9.ob 11:20 do 12.9.2008 ob 10:50 v igralnici za starejše otroke. Rezultati meritev so prikazani na sliki 3.

Slika 3. Koncentracija radona in radonovih potomcev

Lokacija: Vrtec Godovič, igralnica starejši otroci

Datum meritev: 8.9.2008 ob 11:20 – 12.9.2008 ob 10:50



Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev je bila 71 Bq/m³, ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila 44 Bq/m³, povprečni faktor ravnesja pa 0.65. Najvišje vrednosti koncentracij radona in potomcev so bile izmerjene v nočnem času, kar je običajno glede na dnevni cikel radona. Koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi (Tabela 2), so bile višje, kar je razumljivo, saj so bili detektorji postavljeni tudi v oktobru, ko so bila zaradi slabšega vremena in nižjih temperatur okna dalj časa zaprta kot v poletnem času. Vseeno pa vrednosti ne presegajo akcijskega nivoja 400 Bq/m³.

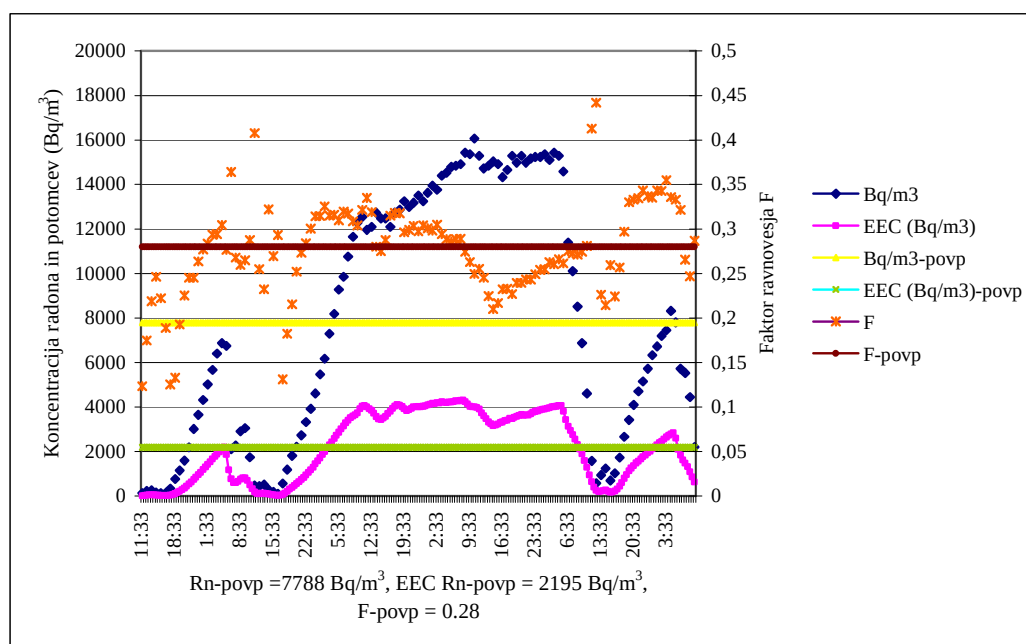
5.1.2. VVO Ivančna Gorica, Vrtec Muljava

Opravili smo dodatne meritve koncentracije radona in potomcev v vrtcu Muljavi. Meritve smo izvajali času od 8.9.2008 ob 11:00 – 23.9.2008 ob 10:00 v igralnici vrtca. Rezultati meritev so prikazani na sliki 4. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v igralnici je bila 7788 Bq/m^3 , ravnovesna koncentracija potomcev je bila 2195 Bq/m^3 , povprečni faktor ravnovesja pa 0.28.

Slika 4. Koncentracija radona in radonovih potomcev

Lokacija: Vrtec Muljava, igralnica

Datum meritev: 18.9.2008 ob 11:00 – 23.9.2008 ob 10:00



Najvišje vrednosti koncentracij radona in potomcev so bile izmerjene v nočnem času in preko vikenda, ko so bila okna zaprta. Koncentracija radona je v petek po zaprtju vrtca strmo naraščala in presegla vrednost do 16000 Bq/m^3 . Po odprtju vrtca je padla pod 1000 Bq/m^3 , vendar se je po zaprtju spet hitro dvignila preko 5000 Bq/m^3 .

Povprečna enomesečna koncentracija radona, izmerjena z detektorji sledi, je v igralnici presegla 4000 Bq/m^3 (Tabela 2), v kleti, ki se ne nahaja direktno pod igralnico, pa je bila dvakrat nižja. Temeljna plošča vrtca leži na zemlji, po tleh je položen hrastov parket z

obrobnimi letvami. Razpok v parketu ni videti, a očitno je temeljna plošča razpokana in radon nedvomno prehaja iz tal v prostor vrtca. O tem priča tudi faktor ravnovesja, ki je precej nizek, giba se med 20 – 30 %. Tudi prostor ni dobro tesnjen, saj faktor ravnovesja med vikendom ni narasel, kar pomeni, da je zrak uhajal skozi okna na prosto. Vir radona v igralnici vrtca ni klet, pač pa razpokana temeljna plošča.

Če upoštevamo samo aktivni čas vrtca med 7. uro zjutraj in 16. uro popoldan, je povprečna koncentracija radona v igralnici 2150 Bq/m^3 , povprečna koncentracija radonovih potomcev pa 590 Bq/m^3 . To je občutno preveč glede na Uredbo UV2 [6].

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. Vrtec Hrib, Vrhnika

Meritve koncentracije radona z detektorji sledi smo izvajali v objektu pri vrtcu Hrib na Vrhniki. To je star stanovanjski objekt, ki se je pred leti že uporabljal v namene varstva otrok. Izmerjena koncentracija radona v vrtcu je bila previsoka, zato so začasno prekinili varstvo otrok v tem objektu. Zaradi povečanega števila otrok in prostorske stiske so se na občini v Vrhniki odločili, da preverijo koncentracijo radona v vrtcu z namenom ponovnega odprtja vrtca. Ker so želeli vrtec usposobiti še pred pričetkom šole, smo se zaradi časovne stiske odločili za meritve koncentracije radona z oglenimi adsorberji.

Koncentracijo radona smo določali v pritličju, v sobi levo od glavnega vhoda, v sanitarijah ter v jašku na hodniku. Določili smo povprečno dvodnevno koncentracijo radona za obdobje od 23.7.2008 ob 11:00 – 25.7.2008 ob 11:00. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 3.

V sobi levo od glavnega vhoda smo določali tudi časovni potek koncentracije radona in potomcev. Meritve smo opravljali istočasno z oglenimi adsorberji. Na začetku meritve so bila

okna zaprta, naslednji dan pa so okna odprli. Zaradi izpada elektrike je merilni instrument za merjenje koncentracije radona delal le en dan, merilni instrument za merjenje koncentracije radonovih potomcev pa je zaradi baterijskega napajanja delal ves čas izvajanja meritev. Časovni potek koncentracije radona in potomcev je prikazan na sliki 5. Povprečna koncentracija radona v času meritve je bila 414 Bq/m^3 , povprečna koncentracija radonovih potomcev je bila 128 Bq/m^3 , povprečni faktor ravnovesja, F , pa je bil 0.56. Visok faktor ravnovesja pomeni, da prihaja v prostor staran radon izpod temeljne plošče. Vzrok za to pa so večje razpoke. Iz slike je lepo vidno, da je koncentracija radonovih potomcev po odprtju oken padla za dvakrat, kar pomeni, da se je tudi koncentracija radona zmanjšala za dvakrat. Koncentracije radona so bile torej podobne tistim, izmerjenim z detektorji sledi. Visoka koncentracija radona v jašku na hodniku samo potrjuje dejstvo, da se koncentracije radona v prostorih objekta ob zaprtih oknih kaj hitro lahko dvignejo krepko preko 400 Bq/m^3 , kar je posledica razpokane in dotrajane temeljne plošče.

Tabela 3. Koncentracija radona na merjenih lokacijah

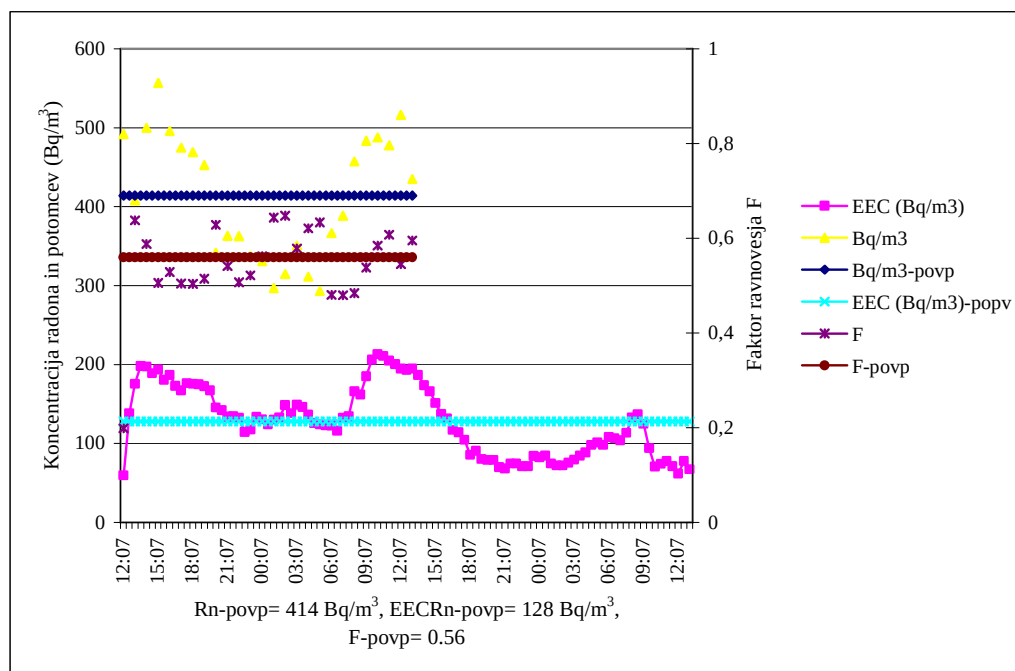
Lokacija meritve	<i>Datum in čas vzorčenja</i>	<i>Datum meritve na ZVD</i>	Številka detektorja	<i>Koncentracija Bq/m^3</i>
Soba v pritličju levo od glavnega vhoda	23.7.2008 ob 10:00 – 25.7.2008 ob 10:00	25.7.2008 ob 14:00	12	217 ± 33
Sanitarije v pritličju	23.7.2008 ob 10:00 – 25.7.2008 ob 10:00	25.7.2008 ob 14:00	32	193 ± 30
Jašek na hodniku v pritličju	23.7.2008 ob 10:00 – 25.7.2008 ob 10:00	25.7.2008 ob 14:00	18	1469 ± 152

- Koncentracije radona so preračunane na datum vzorčenja.
- Za koncentracije radona, višje od 500 Bq/m^3 , znaša razširjena merilna negotovost 11 %, za koncentracije radona, nižje od 500 Bq/m^3 , znaša razširjena merilna negotovost 16 %; oboje se nanaša na faktor razširjanja $k=1$.
- Aktivnosti navedene v poročilu se nanašajo le na izmerjeni vzorec (ogleni adsorber).

Slika 5. Koncentracija radona in radonovih potomcev

Lokacija: Vrtec Hrib, Vrhnika, soba v pritličju

Datum meritev: 23.7.2008 ob 11:00 – 25.7.2008 ob 11:00

**5.1.4. Osnovna šola Ketteja in Murna Ljubljana**

Meritve koncentracije radona in potomcev v Osnovni šoli Ketteja in Murna v Ljubljani v letu 2006 so pokazale povišane vrednosti v učilnici 14 v pritličju šole. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v učilnici je bila 596 Bq/m³, ravnovesna koncentracija radonovih potomcev je bila 418 Bq/m³, povprečni faktor ravnesja pa 0.66. Meritve so pokazale velik vpliv vremenskih pogojev na koncentracijo radona v učilnici zaradi očitno slabo tesnjenih ali razpokanih tal.

Zato se je URSVS odločila, da v letu 2008 ponovi meritve koncentracije radona na OŠ Ketteja in Murna. Določali smo koncentracijo radona z detektorji sledi v štirih učilnicah v pritličju šole in izvedli dodatne meritve koncentracije radona z merilnimi instrumenti z namenom iskanja virov radona. Koncentracije radona, izmerjene z detektorji sledi, so bile v vseh izbranih učilnicah nižje od 400 Bq/m³. V učilnici 10 je bila izmerjena koncentracija

radona $239 \text{ Bq/m}^3 \pm 26 \text{ Bq/m}^3$, v učilnici 11 je bila izmerjena koncentracija radona $56 \text{ Bq/m}^3 \pm 7 \text{ Bq/m}^3$, v učilnici 13 je bila izmerjena koncentracija radona $116 \text{ Bq/m}^3 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ in v učilnici 14 je bila izmerjena koncentracija radona $76 \text{ Bq/m}^3 \pm 10 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 2).

Glavna cev kanalizacije poteka v hodniku v pritličju šole. Vsi jaški so oljni in tesno zaprti, tudi vsi odtočni jaški pod umivalniki v sanitarijah so zatesnjeni s silikonsko maso in napolnjeni z vodo. Zato ni bilo možno izvesti meritev v jaških kanalizacije. Za iskanje virov radona smo izbrali učilnico 14. V učilnici 14 smo izvedli meritve koncentracije radona iz vidnih razpok in špranj ob stenah.

Slika 6. Merjenje koncentracije radona v špranji ob steni in pod umivalnikom

Lokacija: OŠ Ketteja in Murna, Ljubljana



Izbrali smo tri lokacije in sicer razpoko v steni pod umivalnikom, razpoko ob cevi radiatorja pod oknom na zunanji steni in razpoko ob steni s sanitarijami. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 4.

Tabela 4. Koncentracija radona v razpokah

Lokacija: OŠ Ketteja in Murna Ljubljana

Datum meritve: 17.10.2008 ob 8:00

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m^3)
razpoka v steni pod umivalnikom	Alphaguard	121 ± 45
razpoka ob cevi radiatorja	RAD 7	35 ± 25
razpoka ob steni s sanitarijami	RAD 7	34 ± 20

Izmerjene koncentracije radona so nizke in potrjujejo nizko izmerjeno koncentracijo radona z detektorji sledi v učilnici 14.

5.1.5. Glasbena šola Ribnica

Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v učilnici 2 v kleti šole. Meritve smo izvajali času od 5.9. – 22.10.2008. Izmerjena koncentracija radona v učilnici 2 je bila $1325 \text{ Bq/m}^3 \pm 151 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 2).

V šoli smo izvedli tudi meritve koncentracije radona z merilnimi instrumenti z namenom iskanja virov radona. Izbrali smo učilnico v kleti (Slika 7), kurilnico v kleti in sanitarije v pritličju.

Slika 7. Merjenje koncentracije radona v špranji ob steni

Lokacija: Glasbena šola Ribnica



Tla v učilnici so prekrita z linolejem, dobro tesnjena, razpok v tleh ni (spodaj parket). Ob stenah so lesene letve, ki dobro tesnijo. Pred učilnico je stopnišče in kurilnica. V kurilnici so po tleh položene ploščice, jaškov ni, razpok ni, zato meritev v kurilnici nismo mogli izvesti. Sanitarije so tlakovane s ploščicami, v odtočnih jaških je voda. Rezultati meritev koncentracije radona v razpokah v učilnici 2 v kleti in v jašku sanitarij v pritličju so prikazane v tabeli 5.

Tabela 5. Koncentracija radona v razpokah in jašku**Lokacija: Glasbena šola Ribnica****Datum meritve: 18.9.2008 ob 8:30**

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m ³)
razpoka v steni za vrati	Alphaguard	527 ± 89
razpoka ob steni v kotu	RAD 7	105 ± 35
odtočni jašek v sanitarijah	RAD 7	139 ± 45

Izmerjene koncentracije radona v razpokah dajo slutiti možnost visokih koncentracij radona v učilnici v kleti. Očitno so pod parketom v tleh razpoke, ki jih plastična talna obloga dobro tesni povsod, razen ob stenah ob lesenih letvah, ki v neugodnih vremenskih razmerah dopuščajo nemoten dostop radona izpod temeljne plošče v prostor. Samo odpiranje oken najbrž ne zadošča. Ustrezna rešitev je ponovna sanacija tal ali prisilna ventilacija z nadtlakom v učilnici.

5.1.6. Osnovna šola Idrija – Podružnična šola Godovič

V podružnični šoli v Godoviču smo opravili meritve koncentracije radona z detektorji sledi v obdobju od 3.9. – 17.10.2008 v dveh učilnicah, učilnici 1 – 3 razred in učilnici 4 – 5 razred. Povprečna koncentracija radona v prvi učilnici je bila $217 \text{ Bq/m}^3 \pm 24 \text{ Bq/m}^3$, v drugi učilnici pa $198 \text{ Bq/m}^3 \pm 23 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 2).

V šoli smo izvedli tudi meritve koncentracije radona z merilnimi instrumenti z namenom iskanja virov radona. Izbrali smo šest merilnih mest v pritličju šole in sicer kurilnico, sanitarije, kabinet (Slika 8), učilnico 1 – 3 razred (Slika 8), učilnico 4 – 5 razred in igralnico vrtca, ki se nahaja v šoli. Šola je nova, v tleh ni vidnih razpok, odtočni jaški in kanalizacijske cevi so povezane na centralno kanalizacijo, ki je napeljana ob šoli (10 m stran). Glavni jaški so oljni, odtočni jaški so zatesnjeni s silikonskim kitom, v nekaterih jaških ni vode. V učilnicah in prostorih vrtca ni odtočnih jaškov (samo v sanitarijah). V vseh prostorih je parket. Šola se nahaja na bregu, zato udari ob inverziji smrad iz glavne kanalizacije v prostore šole. Rezultati meritev koncentracije radona v razpokah in odtočnih jaških so prikazane v tabeli 6.

Tabela 6. Koncentracija radona v razpokah in jaških**Lokacija: OŠ Idrija - Podružnična šola Godovič****Datum meritve: 23.10.2008 ob 8:30**

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m ³)
kabinet, odtočni jašek (brez vode)	RAD 7	6660 ± 1040
kurilnica, razpoka v steni	Alphaguard	754 ± 153
učilnica 1 – 3 razred, razpoka v tleh	Alphaguard	367 ± 104
učilnica 4 – 5 razred, razpoka v tleh	RAD 7	523 ± 349
vrtec, igralnica 2, jašek v steni za centralno ogrevanje	RAD 7	314 ± 190
odtočni jašek v sanitarijah	Alphaguard	858 ± 148

Koncentracije radona, izmerjene v jaških in razpokah, so dokaj visoke. Razloga za to sta dva, prvi je deževno vreme z nizkim tlakom, kar dodatno pospeši izhajanje radona iz tal in odtočna jaška brez vode v kabinetu in sanitarijah. Najbolj je to vidno v jašku v kabinetu, ki je najbližji glavni kanalizacijski napeljavi, ki vodi mimo šole do bližnjih hiš.

Slika 8. Merjenje koncentracije radona v kabinetu (jašek) in v učilnici 1-3 razred (razpoka)**Lokacija: OŠ Idrija - Podružnična šola Godovič**

Za meritve smo naključno izbrali neugodne vremenske razmere, zaradi katerih so bili radonski viri močnejši kot v lepšem vremenu. Dokaz za to so koncentracije radona, merjene detektorji sledi v septembru in prvi polovici oktobra, ki se gibajo okoli 200 Bq/m³. Meritve koncentracije radona v jaških in razpokah navajajo na možne povišane koncentracije radona

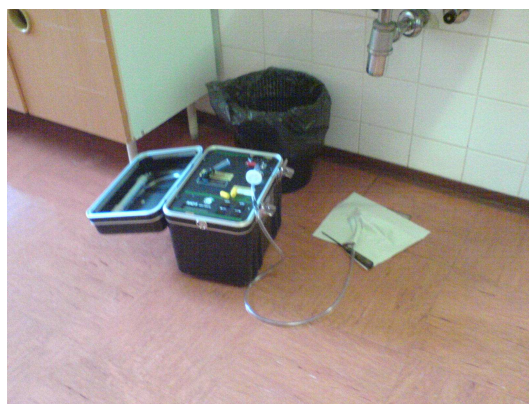
v prostorih šole v času jesenskih in zimskih toplotnih inverzij. Zaenkrat ni potrebe po sanaciji, razen stalnega vzdrževanja jaškov. Mogoče bi bilo smiselno izmeriti koncentracijo radona v dveh prostorih v zimskem obdobju med novembrom in marcem.

5.1.7. Vrtec Sežana – enota Jasli

V vrtcu v Sežani – enota Jasli smo opravili meritve koncentracije radona z detektorji sledi v obdobju od 4.9. – 17.10.2008 v igralnici 2. Povprečna koncentracija radona v igralnici 2 je bila $860 \text{ Bq/m}^3 \pm 89 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 2). Dodatno smo opravili še meritve koncentracije radona v jaških v prostorih vrtca. Izbrali smo šest lokacij in sicer vhodno avlo, sanitarije (Slika 9), igralnico 2, igralnico 3, igralnico 4 in glavni kanalizacijski jašek zunaj zgradbe.

Slika 9. Merjenje koncentracije radona v sanitarijah (odtočni jašek) in avli (odtočni jašek)

Lokacija: Vrtec Sežana – enota Jasli



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. Rezultati meritev koncentracije radona v odtočnih jaških so prikazane v tabeli 7.

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. Koncentracija radona v zunanjem jašku je nizka in glede na to, da je jašek popolnoma zaprt, ni v skladu z vrednostmi v odtočnih jaških vrtca. V pogovoru s hišnikom smo ugotovili, da so odtočne cevi v zgradbi 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. Ustrezna rešitev za znižanje koncentracije radona v vrtcu je sanacija kanalizacije.

Tabela 7. Koncentracija radona v odtočnih jaških

Lokacija: Vrtec Sežana – enota Jasli

Datum meritve: 24.9.2008 ob 9:30

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m ³)
avla, odtočni jašek pod umivalnikom	RAD 7	662 ± 382
igralnica 2, odtočni jašek pod umivalnikom	Alphaguard	2260 ± 227
igralnica 3, odtočni jašek pod umivalnikom	RAD 7	1305 ± 417
igralnica 4, odtočni jašek pod umivalnikom	Alphaguard	1160 ± 169
odtočni jašek v sanitarijah (oljni)	Alphaguard	3050 ± 272
glavni kanalizacijski jašek zunaj zgradbe	Alphaguard	432 ± 115

5.1.8. Osnovna šola Antona Šibelja- Stjenka Komen

Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v učilnici 4. razreda, učilnici za tehnični pouk in telovadnici. Meritve smo izvajali času od 17.9. – 20.10.2008. Učilnice se nahajajo v pritličju, temeljna plošča se nahaja na avtohtonem materialu. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v učilnici 4. razreda je bila v času izvajanja meritev 795 Bq/m³ ± 83 Bq/m³, v učilnici za tehnični pouk 513 Bq/m³ ± 56 Bq/m³ in v telovadnici 2033 Bq/m³ ± 248 Bq/m³ (Tabela 2).

Dodatno smo izvajali meritve koncentracije radona v razpokah v učilnici 4. razreda in učilnici za tehnični pouk ter v dveh kanalizacijskih jaških na hodniku v pritličju, prvi pred učilnico 4.razreda in drugi pred učilnico glasbene vzgoje (Slika 10). Oba jaška sta pokrita in dobro zatesnjena. Jašek pred učilnico glasbene vzgoje je glavni jašek za meteorno vodo in je globok 1.5 m. Dno je peščeno. V učilnicah je po tleh parket, hodnik pa je betonski. V učilnicah ni odtočnih jaškov. V tleh nismo opazili razpok. Rezultati meritev koncentracije radona v razpoka in jaških so prikazani v tabeli 8.

Tabela 8. Koncentracija radona v razpokah in jaških**Lokacija: OŠ Antona Šibelja- Stjenka Komen****Datum meritve: 24.9.2008 ob 12:30**

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m ³)
učilnica tehnični pouk, razpoka ob steni	RAD 7	349 ± 200
učilnica 4. razreda, razpoka ob steni	Alphaguard	359 ± 111
kanalizacijski jašek na hodniku pred učilnico 4. razreda	Alphaguard	27500 ± 1430
kanalizacijski jašek na hodniku pred učilnico tehnični pouk	Alphaguard	85800 ± 380

Izmerjene koncentracije radona v jaških so zelo visoke in kažejo na to, da koncentracije radona v tleh pod zgradbo dosega ali celo presegajo 100000 Bq/m³.

Slika 10. Merjenje koncentracije radona v glavnem jašku za monitorno vodo**Lokacija: OŠ Antona Šibelja- Stjenka Komen**

Razpokana tla v prostorih so močan vir radona. Dokaz je telovadnica, v kateri je bila izmerjena visoka koncentracija radona (2033 Bq/m³ ± 248 Bq/m³). Izmerjene koncentracije radona v razpokah učilnic niso tako visoke kot v jaških. Razlog je mogoče v tem, da nismo izbrali ustreznih razpok ali pa da so cela tla polna manjših razpok, skozi katere radon nemoteno prihaja v prostore učilnic. Najbrž je to razlog za povišane koncentracije radona v učilnicah (merjeno z detektorji sledi). Najustreznejši ukrep za znižanje koncentracije radona bi bila sanacija tal v učilnici 4.razreda in telovadnici s cevnim sistemom za odvajanje zraka izpod temeljne plošče.

5.1.9. Osnovna šola Žužemberk, Podružnična šola Dvor

Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v učilnici 4. razreda, jedilnici in telovadnici. Meritve smo izvajali času od 11.9. – 20.10.2008. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v učilnici 4 razreda je bila $163 \text{ Bq/m}^3 \pm 19 \text{ Bq/m}^3$, v jedilnici $175 \text{ Bq/m}^3 \pm 21 \text{ Bq/m}^3$ in v telovadnici $211 \text{ Bq/m}^3 \pm 23 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 2).

Izvedli smo dodatne meritve koncentracije radona v jaških v šoli. V avli šole in hodniku v pritličju sta napeljana glavni električni kanal in kanalizacija. Vsi jaški so oljni in dobro zatesnjeni. V učilnicah je po tleh položen parket, hodnik je betonski. Razpok ni videti. Izbrali smo dve lokaciji in sicer jašek električne napeljave v avli in jašek v sanitarijah vrtca, ki se nahaja v pritličju šole (Slika 11). Rezultati meritev koncentracije radona v obeh jaških so prikazane v tabeli 9.

Tabela 9. Koncentracija radona v jaških

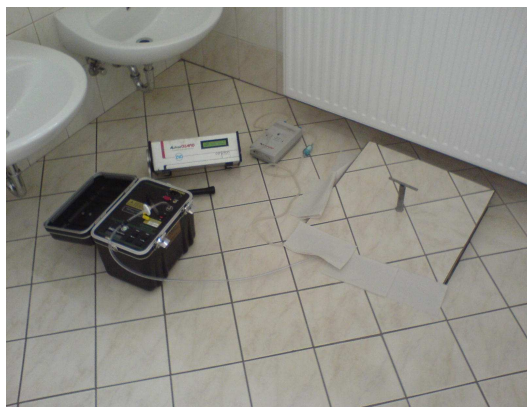
Lokacija: Osnovna šola Žužemberk, Podružnična šola Dvor

Datum meritve: 23.9.2008 ob 12:00

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m^3)
jašek električne napeljave v avli šole	Alphaguard	76600 ± 3430
odtočni jašek v sanitarijah vrtca, oddelek dojenčki	Alphaguard	2780 ± 726

Slika 11. Merjenje koncentracije radona v jašku električne napeljave in v sanitarijah

Lokacija: Osnovna šola Žužemberk, Podružnična Dvor



Izmerjene koncentracije radona v jaških so visoke in nakazujejo na možnost povišanih koncentracij radona v prostorih šole v primeru temperaturnih inverzij in slabega tesnenja jaškov. V pogovoru z ravnateljico šole smo izvedeli, da v primeru spremembe vremena iz kanalizacijskih jaškov smrdi. Zaenkrat ni potrebe po sanaciji, razen stalnega vzdrževanja jaškov. Mogoče bi bilo smiselno izmeriti koncentracijo radona v dveh učilnicah v pritličju v zimskem obdobju med novembrom in marcem.

5.1.10. Osnovna šola Prevalje

Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v učilnici 2.b razreda in učilnici 3.a razreda. Meritve smo izvajali času od 5.9. – 17.10.2008. Povprečna koncentracija radona v času izvajanja meritev v učilnici 2.b razreda je bila $406 \text{ Bq/m}^3 \pm 44 \text{ Bq/m}^3$, v učilnici 3.a razreda pa $1481 \text{ Bq/m}^3 \pm 153 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 2).

V učilnicah 2.b in 3.a razreda so bile v letu 2007 izmerjene povišane koncentracije radona [8]. Razlog za to je jašek za napeljavo, ki gre pod tlemi obeh učilnic. Izvedena je bila 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 4. in 8. uro zjutraj, 12. in 14. uro opoldan in še zvečer. Dostop do jaška je bil možen samo v učilnici 3.a razreda. Na tleh je parket, ki je sicer razpokan, a ne preveč. Ob stenah so pritrjene lesene letve, zaradi česar se možnih razpok ni videlo. Na tleh v kotu učilnice je pokrov jaška, ki pa ni ustrezno zatesnjen. V primeru, da prisilna ventilacija ni vključena, radon prihaja skozi jašek v učilnico.

Izvedli smo tudi meritve trenutnih koncentracij radona v jašku v učilnici 3.a razreda (Slika 12). Najprej smo izmerili koncentracijo radona v jašku brez prisilne ventilacije, nato pa s prisilno ventilacijo. Rezultati meritev koncentracije radona v jašku so prikazane v tabeli 10.

Slika 12. Merjenje koncentracije radona v jašku v učilnic 3.b razreda**Lokacija: Osnovna šola Prevalje****Tabela 10. Koncentracija radona v jašku****Lokacija: Osnovna šola Prevalje****Datum meritve: 29.9.2008 ob 10:30**

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m ³)
jašek v učilnici 3.b razreda brez prisilne ventilacije	Alphaguard	5000 ± 362
jašek v učilnici 3.b razreda s prisilno ventilacijo	Alphaguard	701 ± 390

Izmerjene koncentracije radona v jašku kažejo na to, da prisilna ventilacija deluje, saj se je koncentracija radona po vklopu ventilacije znižala. Moti dejstvo, da se koncentracija radona ni znižala pod 700 Bq/m³. Glede na to, da je bila z detektorji sledi v tej učilnici izmerjena dvakrat višja koncentracija radona, v učilnici 2.b razreda pa samo 400 Bq/m³, učilnica 2.b razreda pa je bližje odvodni cevi, smatramo, da je količina prečrpanega zraka s prisilno ventilacijo premajhna znižanje koncentracije radona v obeh učilnicah pod 400 Bq/m³. Vendar to še ne pomeni, da je koncentracija radona v času pouka presega 400 Bq/m³.

Predlagamo, da se opravijo daljše (vsaj desetdnevne) meritve časovnega poteka koncentracije radona in potomcev v učilnici 3.a razreda (v kolikor take meritve še niso bile izvedene) in koncentracije radona v jašku, da se določijo koncentracije radona v času med 8. in 14. uro. Na ta način bomo ugotovili ustreznost trenutnega načina delovanja prisilne ventilacije.

5.2. Druge javne ustanove

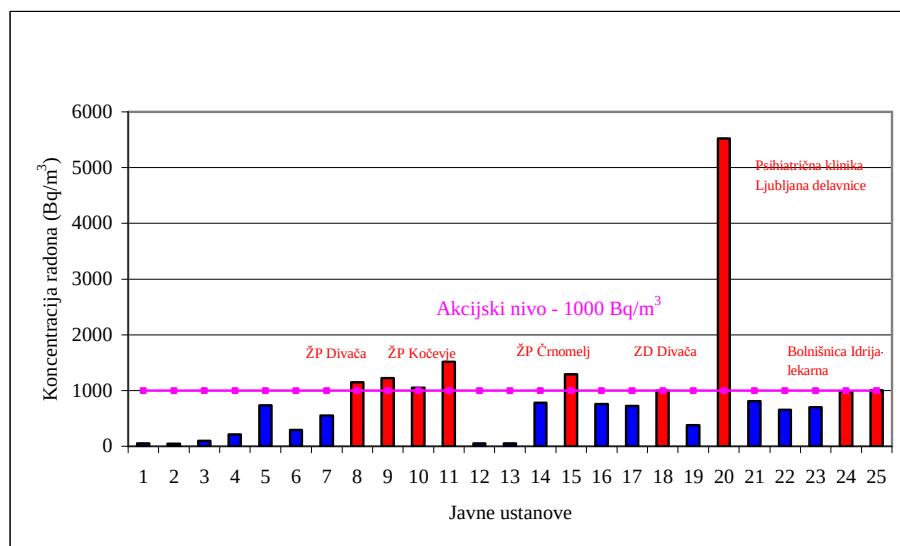
Koncentracijo radona z detektorji sledi smo določali v enajstih javnih ustanovah. To so: Psihiatrična klinika Ljubljana, Psihiatrična bolnišnica Idrija, Zdravstveni dom Divača, Lekarna Divača, Policijska postaja Kočevje, Policijska postaja Sežana, Policijska postaja Kozina, Železniška postaja Divača, Železniška postaja Kočevje, Železniška postaja Novo mesto in Železniška postaja Črnomelj. V štirih objektih smo izvajali še dodatne meritve koncentracije radona in radonovih potomcev. Skupaj smo opravili 25 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in 5 meritev koncentracije radona in radonovih potomcev z merilnimi instrumenti z namenom določanja časovnega poteka koncentracij radona in potomcev oziroma iskanja virov radona v prostorih. Rezultati meritev koncentracije radona z detektorji sledi so prikazani v tabeli 11 in na sliki 13. Verjetnostne porazdelitve ne podajamo zaradi premajhnega števila meritev. Vse izmerjene koncentracije radona, ki skupaj z napako meritve presegajo 1000 Bq/m^3 , so obarvane rdeče.

Tabela 11. Koncentracije radona v javnih ustanovah (merjeno z detektorji sledi)

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

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

Slika 13. Histogram meritev koncentracije radona v javnih ustanovah (merjeno z detektorji sledi)



5.2.1. Psihiatrična klinika Ljubljana

Opravili smo štiri meritve koncentracije radona z detektorji sledi v prostorih mizarske in strojne delavnice v Psihiatrični kliniki Ljubljana. Meritve smo izvajali času od 1.8. – 22.10.2008 (Tabela 11). Najvišja vrednost je bila izmerjena v arhivu mizarske delavnice, ki je večinoma zaprt, v ostalih prostorih v mizarski in strojni delavnici so okna ali vrata večkrat odprta, zato so izmerjene vrednosti nekoliko nižje.

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. Opravili smo šest meritev koncentracije radona. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 12.

Tabela 12. Koncentracija radona v razpokah in jaških**Lokacija: Psihiatrična klinika Ljubljana, mizarska in strojna delavnica****Datum meritve: 22.10.2008 ob 11:00**

Merilno mesto	Merilni instrument	Koncentracija radona (Bq/m ³)
Arhiv mizarske delavnice, razpoka pod vrati	RAD 7	5780 ± 973
Razrez, jašek pod umivalnikom	Alphaguard	4980 ± 365
Razrez, razpoka ob steni za vrati	RAD 7	1050 ± 458
Strojna delavnica, razpoka v tleh	RAD 7	1220 ± 488
Mizarska delavnica, razpoka ob steni	RAD 7	6170 ± 1010
Mizarska delavnica, odtočni jašek	Alphaguard	7470 ± 534

Slika 14. Koncentracije radona in potomcev v razpokah in jaških v mizarski delavnici**Lokacija: Psihiatrična klinika Ljubljana**

Izmerjene koncentracije radona v razpokah in jaških v mizarski in strojni delavnici so visoke in so v skladu z izmerjenimi koncentracijami radona z detektorji sledi. Če bi bili vsi prostori večino časa zaprti, kar najbrž drži za zimsko obdobje, bi bile koncentracije radona podobne kot v arhivu mizarske delavnice (cca 5000 Bq/m³). Objekt je star in zahteva kompletno prenovo, zato bi bilo nesmotrno govoriti samo o sanaciji tal. Glede na to, da je arhiv večino časa zaprt, predlagamo, da se mizarska in strojna delavnica med delovnim časom večkrat prezračita.

5.2.2. Psihiatrična bolnišnica Idrija

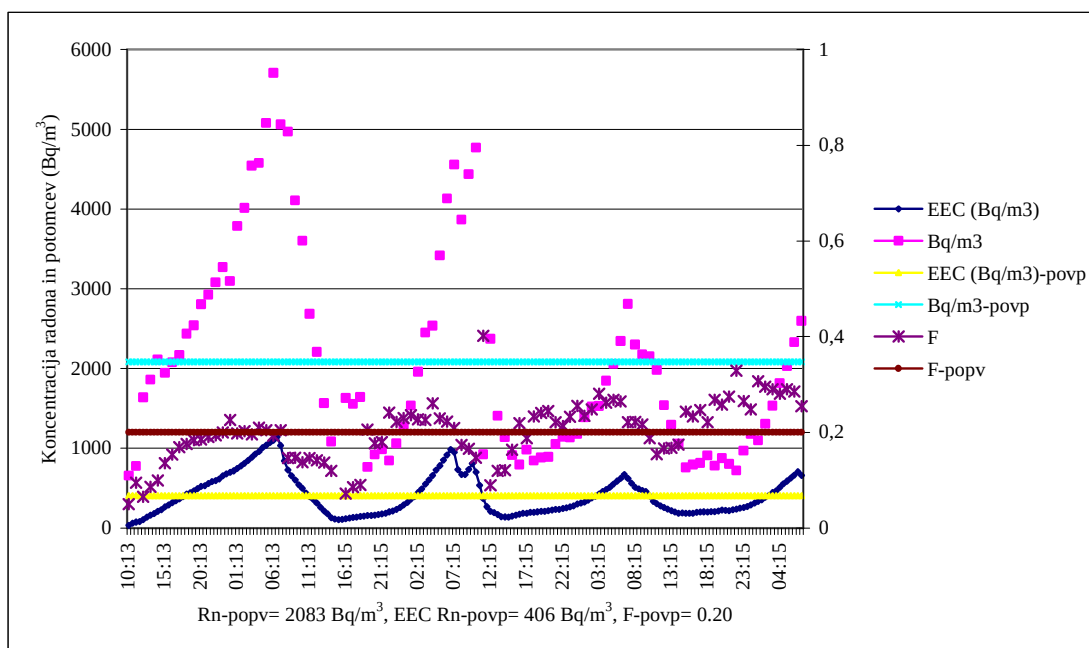
Opravili smo dve meritvi koncentracije radona z detektorji sledi v Psihiatrični bolnišnici Idrija. Meritve smo izvajali času od 8.9. – 17.10.2008 v prostorih lekarne, ki se nahaja v pritličju vhodnega trakta v bolnišnico. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 11. Izmerjene vrednosti koncentracije radona so se gibale okoli 1000 Bq/m^3 .

V prostorih lekarne v tleh in ob stenah nismo našli nobenih razpok in jaškov, zato smo izvedli kontinuirne meritve koncentracije radona in potomcev v pisarni lekarne, ki se nahaja nad jaškom. Določili smo časovni potek koncentracije radona in potomcev v času od 8.9.2008 do 12.9.2008 (Slika 15). Povprečna koncentracija radona je bila 2083 Bq/m^3 , povprečna koncentracija radonovih potomcev 406 Bq/m^3 , povprečni faktor ravnovesja 0.20. Najvišje koncentracije radona v nočnem času so presegale 5000 Bq/m^3 .

Slika 15. Koncentracija radona in potomcev

Lokacija: Psihiatrična bolnišnica Idrija, pisarna lekarne

Datum meritev: 8.9.2008 ob 10:13 – 12.9.2008 ob 7:15



Tudi med delovnim časom so bile koncentracije radona višje od 1000 Bq/m^3 . Najnižje vrednosti bile izmerjene v večernih urah, med 18. in 20.uro. Očitno so bila takrat med čiščenjem prostorov odprta okna.

Izvajali smo tudi meritve koncentracije radona v jašku centralnega ogrevanja. Jašek se nahaja pod temeljno ploščo zgradbe pod prostori lekarne in se nadaljuje do strojnice centralnega ogrevanja. Presek jaška je le dobrega pol m^2 . Koncentracijo radona v jašku smo določali z merilnim instrumentom Alphaguard, dne 8.9.2008 ob 9:00 uri zunaj zgradbe, kjer se jašek začne. Zrak smo zajemali približno 1 m v notranjosti jaška. Izmerjena koncentracija je znašala $944 \pm 122 \text{ Bq/m}^3$. Glede na to, da smo izvedli meritve na začetku jaška, kjer se zrak v jašku meša z zunanjim zrakom, je izmerjena koncentracija radona visoka, kar pomeni, da je globlje v jašku koncentracija radona še višja. Razlog za visoke koncentracije radona v prostorih lekarne so nedvomno posledica razpok v temeljni plošči pod tlemi lekarne. Koncentracijo radona v prostorih lekarne bi lahko znižali s prisilnim prezračevanjem jaška za centralno napeljavo.

5.2.3. Zdravstveni dom Divača

Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v Zdravstvenem domu Divača. Meritve smo izvajali času od 15.7. – 20.10.2008 v treh prostorih zdravstvenega doma in v lekarni, ki se nahaja v isti stavbi. Izmerjene koncentracije radona v sprejemnici in zobni ordinaciji so bile $755 \text{ Bq/m}^3 \pm 92 \text{ Bq/m}^3$ in $722 \text{ Bq/m}^3 \pm 88 \text{ Bq/m}^3$, v sobi patronažne sestre $1001 \text{ Bq/m}^3 \pm 141 \text{ Bq/m}^3$ in v lekarni $377 \text{ Bq/m}^3 \pm 39 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 11).

Koncentracije radona v odtočnih jaških nismo merili, ker so bili zapolnjeni z vodo. Vsi jaški so povezani v enotno kanalizacijsko cev, ki vodi pod temeljno ploščo pod stropom v kleti skozi okno v zunanjo kanalizacijo. Okno je vedno delno odprto.

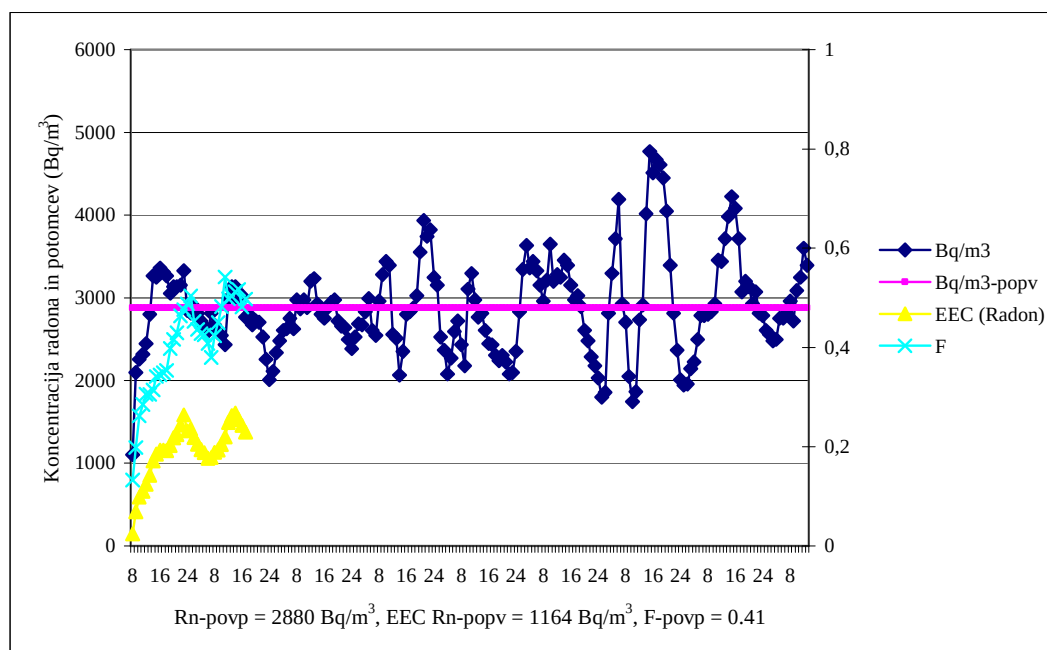
Določali smo koncentracijo radona v kleti, ki se nahaja na sredini objekta, a pod nobenim prostorom zdravstvenega doma. Koncentracijo radona se je gibala med $2000 - 5000 \text{ Bq/m}^3$, povprečna koncentracija je bila 2880 Bq/m^3 (Slika 16). Najvišje vrednosti so izmerjene v

zgodnjih jutranjih in večernih urah in sledijo dnevnemu ciklusu nihanja temperature in zračnega tlaka. V kleti ni jaškov, v betonskih tleh ni nobenih vidnih razpok. Prvih štiriindvajset ur smo merili tudi koncentracije radonovih potomcev, faktor ravnovesja je bil 0.4. To pomeni, da v prostor prihaja zrak s staranim radonom. Možno je, da prihaja skozi stene (čeprav razpok ni videti) ali pa ob kanalizacijski cevi direktno iz glavne kanalizacije skozi okno v klet. Glede na to, da povprečne koncentracije radona v delovnih prostorih zdravstvenega doma ne presegajo 1000 Bq/m^3 , ukrepi sanacije niso nujno potrebni, sicer pa predlagamo prisilno prezračevanje z nadtlakom v prostorih.

Slika 16. Koncentracija radona in potomcev

Lokacija: Zdravstveni dom Divača, klet

Datum meritev: 15.7.2008 ob 8:00 – 23.7.2008 ob 13:00



5.2.4. Policijska postaja Sežana

Opravili smo meritve koncentracije radona z detektorji sledi v prostorih Policijske postaje Sežana. Meritve smo izvajali času od 15.7. – 29.10.2008 v dveh prostorih policijske postaje, v sobi dežurnega in v administraciji. Izmerjeni vrednosti koncentraciji radona v prostorih sta bili $101 \text{ Bq/m}^3 \pm 11 \text{ Bq/m}^3$ in $220 \text{ Bq/m}^3 \pm 24 \text{ Bq/m}^3$, zapovrstjo (Tabela 11).

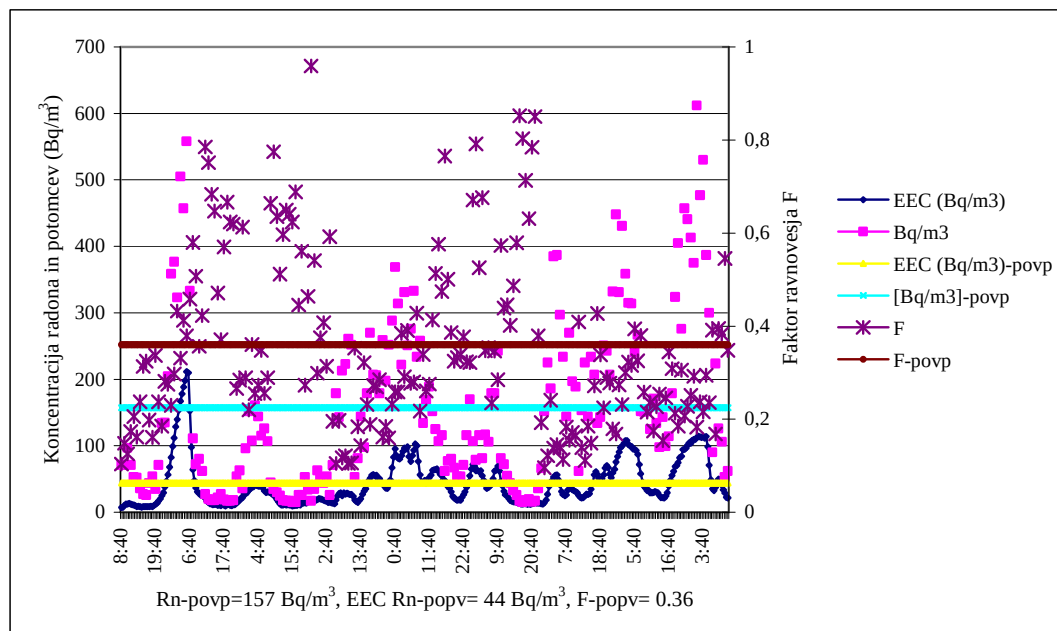
V sobi administracije smo določali tudi časovni potek koncentracije radona in radonovih potomcev. Meritve smo izvajali v času od 15.7. – 23.7.2008. Povprečna koncentracija radona V času izvajanja meritev je bila 157 Bq/m^3 , povprečna koncentracija radonovih potomcev je bila 44 Bq/m^3 in povprečni faktor ravnovesja 0.36 (Slika 17).

Koncentracija radona, merjena z merilnimi instrumenti, se dobro ujema s koncentracijo radona, ki smo jo določali z detektorji sledi skozi daljše časovno obdobje.

Slika 17. Koncentracija radona in potomcev

Lokacija: Policijska postaja Sežana, administracija

Datum meritev: 15.7.2008 ob 8:37 – 23.7.2008 ob 12:37



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 13) v obdobju od 8.9.2008 do 22.10.2008. V kleti je bila izmerjena koncentracija radona $6628 \text{ Bq/m}^3 \pm 1192 \text{ Bq/m}^3$, v stanovanju v pritličju $420 \text{ Bq/m}^3 \pm 46 \text{ Bq/m}^3$, v stanovanju v 1. nadstropju pa je bilo izmerjena koncentracija radona $126 \text{ Bq/m}^3 \pm 15 \text{ Bq/m}^3$. Izmerjena koncentracija radona v kleti je zelo visoka, a očitno ni direktne povezave s stanovanjem nad kletjo (ni razpok), zato tudi koncentracija radona v stanovanju ni mnogo višja od 400 Bq/m^3 .

Tabela 13. Koncentracija radona v stanovanjih

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

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^3 za vrtce in šole ter 1000 Bq/m^3 za druga delovna mesta. Upoštevali smo metodologijo iz Uredbe UV2 [6]. Pri oceni smo uporabili izmerjene koncentracije radona, kot da so enake povprečnim letnim koncentracijam radona v objektu (čeprav so trajale samo en mesec in ne celo leto). V primeru večjega števila meritev v istem objektu smo upoštevali samo najvišje izmerjene vrednosti koncentracije radona.

Za število delovnih ur za zaposlene v bolnišnici, zdravstvenem domu, policiji, železnici in lekarni smo upoštevali 2000 ur na leto. Za zaposlene v šolah smo upoštevali, da se zadržujejo v učilnicah po 6 ur dnevno deset mesecev na leto. Za zaposlene v vrtcih smo upoštevali, da se zadržujejo v igralnicah po 6 ur dnevno dvanajst mesecev na leto. Za otroke v vrtcih in šolah smo upoštevali isti čas zadrževanja v učilnicah kot za zaposlene. Za otroke v glasbeni šoli v

Ribnici smo upoštevali, da se v učilnicah zadržujejo do 150 ur na leto. Za prebivalce v stanovanjskem bloku v Idriji smo privzeli, da se zadržujejo v stanovanju dve tretjini časa na leto.

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

Ocenjene efektivne doze za zaposlene in otroke v vrtcih, šolah in za stanovanjske objekte so prikazane v tabeli 14 in na sliki 18. Ocenjene efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah so prikazane v tabeli 15 in na sliki 19. Z rdečo barvo so označene efektivne doze, višje od 2 mSv na leto. Po ICRP 65 [9] prispevajo povprečne letne koncentracije radona med 200 – 600 Bq/m³ v bivalnem okolju (400 Bq/m³ smo privzeli za vrtce in šole) in med 500 – 1500 Bq/m³ v delovnem okolju (1000 Bq/m³ smo privzeli za delovno okolje) efektivno dozo med 2 – 6 mSv/leto. Po Uredbi UV2 [6] povprečna celoletna koncentracija radona ob ravnovesnem faktorju 0.4 doprinese k letni efektivni dozi 6 mSv. To je mejna vrednost doze, pri kateri razvrščamo zaposlene, ki delajo z viri sevanj (tudi naravnimi), v skupino A ali B. Smatramo, da bi morali prebivalci in zaposleni v javnih ustanovah, kot so šole, vrtci in bolnišnice, prejeti nižje efektivne doze od 6 mSv/leto. Zato je smiselno, da posebej prikažemo bivalna in delovna okolja, kjer efektivne doze presegajo 2 mSv/leto, z namenom, da se v okviru zmožnosti izvedejo ukrepi sanacije za zmanjšanje efektivne doze, kljub temu, da koncentracije radona ne presegajo 400 Bq/m³ oziroma 1000 Bq/m³.

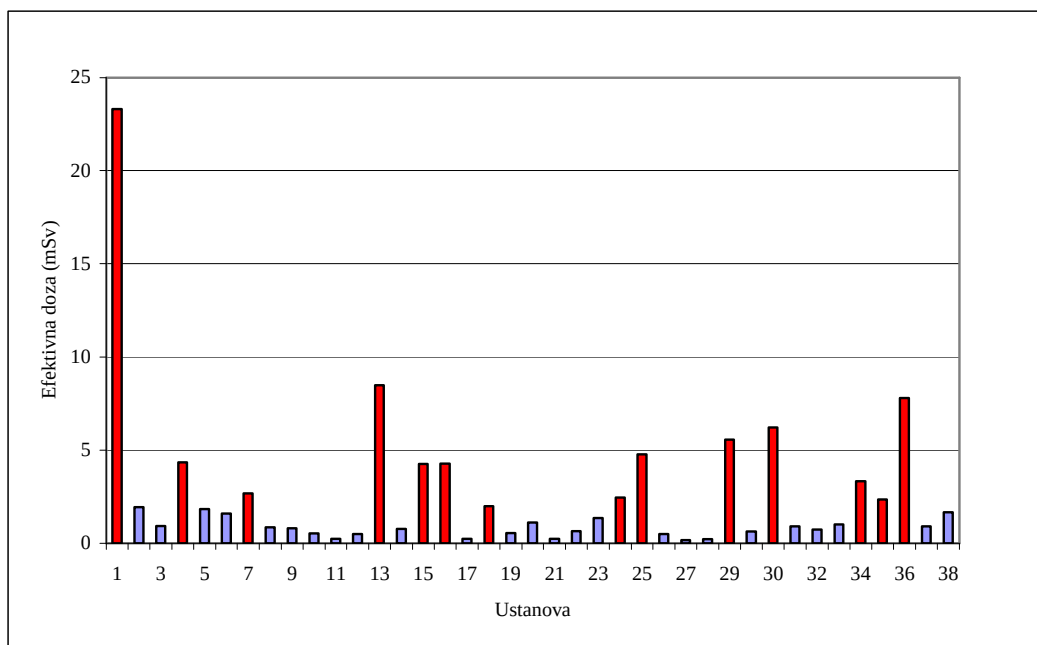
Iz tabele 14 je razvidno, da v dvanajstih ustanovah od šestintridesetih (rezultati za enaintrideset) efektivne doze za zaposlene, otroke ali prebivalce presegajo 2 mSv/leto, v štirih ustanovah pa presegajo 6 mSv/leto.

V drugih javnih ustanovah, kar v devetih ustanovah od enajstih, efektivne doze za zaposlene presegajo 2 mSv/leto, v štirih pa 6 mSv/leto (Tabela 15).

Tabela 14. Ocenjene efektivne doze za odrasle in otroke v vrtcih, šolah in stanovanjih

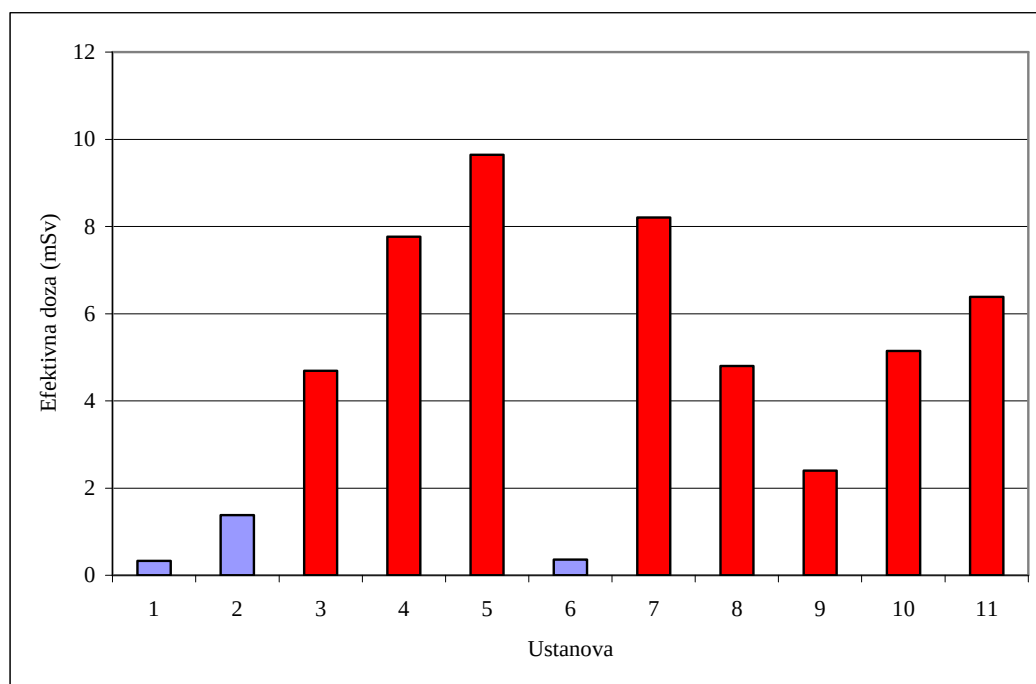
Zap št.	Ustanova	Prostor	[Bq/m³]	Odrasli / otroci	
				Ure (h)	Ef. doza (mSv)
1	VVO Muljava	igralnica	4626	1584	23,30
2	Vrtec Pikpolonica Brezje	igralnica	385	1584	1,94
3	Vrtec Idrija enota Godovič	igralnica 1	181	1584	0,91
4	Vrtec Sežana-enota Jasli	igralnica	860	1584	4,33
5	Vrtec Sežana-enota Divača	igralnica	362	1584	1,82
6	Vrtec Sežana-enota Komen	igralnica	316	1584	1,59
7	OŠ Dvor - vrtec	igralnica - dojenčki	528	1584	2,66
8	Vrtec Črnomelj, Majer	igralnica	169	1584	0,85
9	Vrtec Črnomelj, Čardak	igralnica	160	1584	0,80
10	Vrtec Črnomelj, Novi vrtec	igralnica	106	1584	0,53
11	Vrtec Mokronog	srednja igralnica	46	1584	0,23
12	OŠ Mima peč - vrtec	igralnica Veverice	97	1584	0,49
13	vrtec Prevole	igralnica 1	1684	1584	8,48
14	vrtec Trebnje	igralnica 5 - Ostržek	152	1584	0,76
15	vrtec Trebnje, vrtec Dobrnič	igralnica	844	1584	4,25
16	vrtec Vavta vas	igralnica Ribe	846	1584	4,26
17	vrtec Mirna	III. Starostno obdobje	44	1584	0,22
18	vrtec Sodražica	igralnica Pikapolonice	396	1584	2,00
19	vrtec Šentjernej	vrtec pri šoli	110	1584	0,55
20	vrtec Šentjernej	muca copatarica	221	1584	1,11
21	vrtec Šentjernej	Vrtec Orehovica	47	1584	0,23
22	vrtec Metlika	igralnica Zajčki	127	1584	0,64
23	vrtec Semič	igralnica stari del	268	1584	1,35
24	vrtec Stari trg ob Kolpi	igralnica	489	1584	2,46
25	vrtec Škocjan Bučka	vrtec Škocjan Bučka	948	1584	4,78
26	vrtec Škocjan	vrtec Škocjan	95	1584	0,48
27	vrtec Veliki gabar	igralnica	33	1584	0,16
28	Vrtec Idrija - enota Arkova	otroci 1-3 leta	43	1584	0,21
29	Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti - učitelji	1325	1320	5,56
	Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti - otroci	1325	150	0,63
30	OŠ Prevalje	učilnica 3a	1481	1320	6,21
31	OŠ Godovič	1, 2 in 3 razred	217	1320	0,91
32	OŠ Dvor	jedilnica	175	1320	0,73
33	OŠ Ketteja in Murna	učilnica 10	239	1320	1,00
34	OŠ Komen	učilnica 4. razred	795	1320	3,34
35	Idrija Tomšičeva 19, Simon Pavšič	soba 1.nadstropje	126	5840	2,34
36	Idrija Tomšičeva 19, Lapanja	kuhinja, pritličje	420	5840	7,80
37	Vrtec Hrib Vrhnika	učilnica pritličje levo	217	1320	0,91
38	Občina Ribnica- Partizan	telovadnica	399	1320	1,67

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

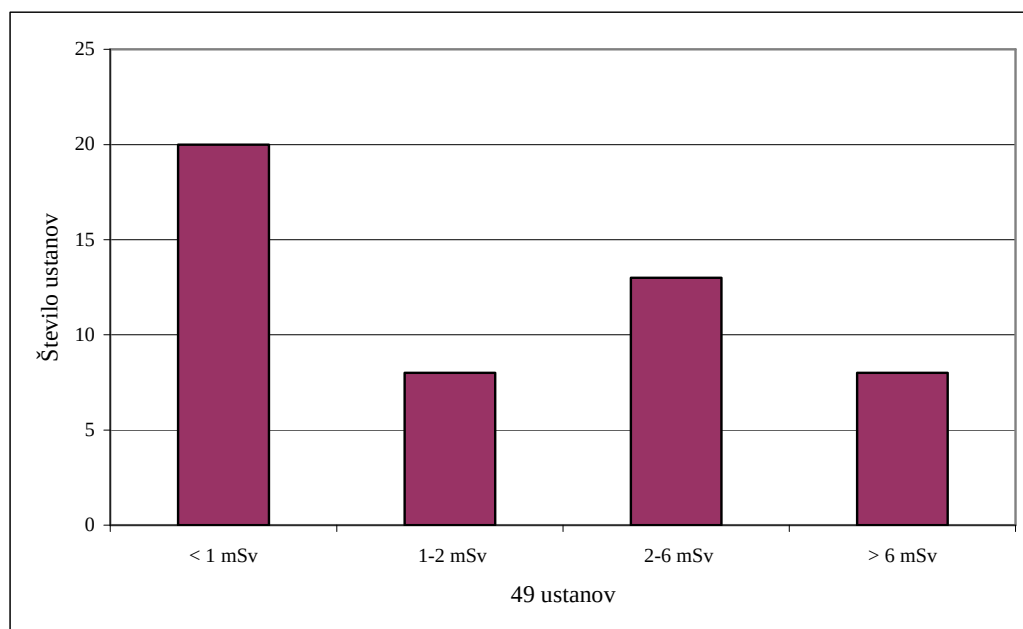
Slika 18. Histogram efektivnih doz za zaposlene in otroke v vrtcih, šolah in stanovanjih (mSv/leto)**Tabela 15. Ocenjene efektivne doze za zaposlene v drugih javnih ustanovah**

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

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

Slika 19. Histogram efektivnih doz za zaposlene in drugih javnih ustanovah (mSv/leto)

Na sliki 20 so prikazane doze za zaposlene in otroke v vseh devetinštiridesetih ustanovah, razporejene po razredih. V dvajsetih ustanovah so efektivne doze nižje od 1 mSv/leto, v osmih ustanovah so efektivne doze med 1 – 2 mSv/leto, v trinajstih ustanovah so efektivne doze med 2- 6 mSv/leto, v osmih ustanovah so efektivne doze za višje od 6 mSv/leto. Izjema je le Glasbena šola Ribnica, kjer je doza za otroke zaradi krajšega zadrževanja v učilnici nižja od 1 mSv/leto.

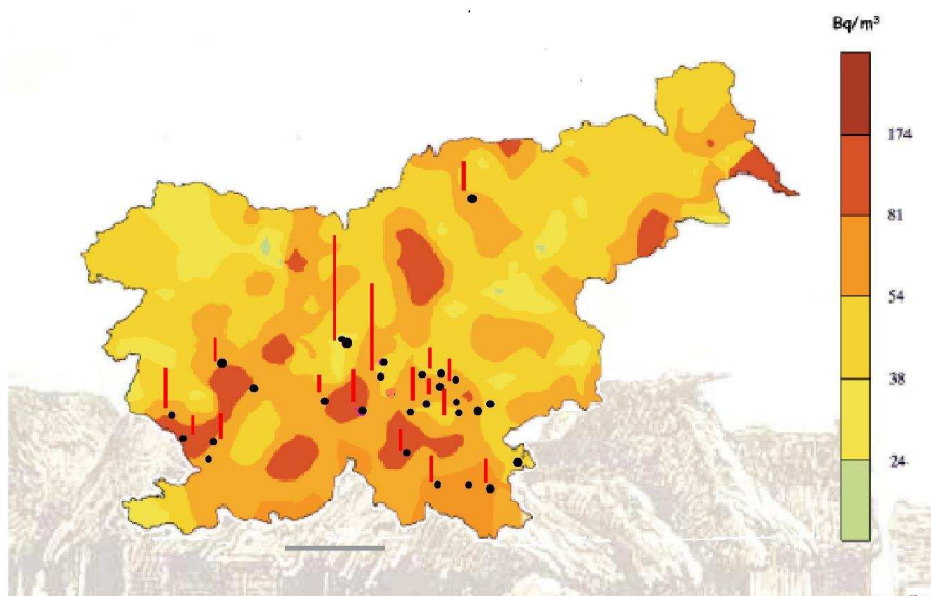
Slika 20. Efektivne doze po razredih

7. Zaključki

V devetinštiridesetih različnih objektih je bilo opravljenih 86 meritev koncentracije radona z detektorji sledi in tri meritve z oglenimi adsorberji. Izmerjene koncentracije radona so v štiriinštiridesetih (od šestdesetih) izbranih prostorih šol in vrtcev nižje od 400 Bq/m^3 , v ostalih šestnajstih pa višje od 400 Bq/m^3 . Izmerjene koncentracije radona v drugih javnih ustanovah so v sedemnajstih izbranih prostorih (od petindvajsetih) nižje od 1000 Bq/m^3 , v ostalih osmih pa višje od 1000 Bq/m^3 .

Slika 21 prikazuje lokacije meritev (črne točke) in najvišje izmerjene koncentracije radona v vrtcih, šolah in drugih javnih objektih (rdeči stolpci), ki so nanešene na radonsko karto Slovenije, izdelano na podlagi raziskovalne naloge [2]. Najvišje koncentracije radona so bile izmerjene na istih področjih, kot v nalogi [2]. V bodoče bi bilo smiselno poiskati še korelacijo s koncentracijo radona v tleh.

Slika 21. 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. Tak primer je OŠ Prevalje.

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

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

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

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

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

V nekaterih primerih, kot npr. OŠ Dvor pri Žužemberku in vrtec Sežana so glavni vir radona jaški, po katerih prihaja radon v prostor. V OŠ Komen v merjenih učilnicah ni jaškov, torej so glavni vir radona razpoke v tleh. Visoke koncentracije radona v jaških na hodniku niso

direktni vzrok radona v učilnicah, kažejo pa na to, da lahko pride v prostor veliko radona, če so tla razpokana, kot je to očitno v učilnici 4. razreda in telovadnici.

Predlagamo dodatne meritve koncentracije radona v razpokah ali jaških ob različnih vremenskih pogojih v izbranih objektih s povišanimi koncentracijami radona, zgrajenih na tleh z različno geološko sestavo in istočasno tudi meritve koncentracije radona v tleh ob objektih.

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

Predlagamo, da se v prostorih objektov z izmerjenimi povišanimi koncentracijami radona (Tabela 16) ponovijo meritve z detektorji sledi za daljše časovno obdobje (tri mesece v zimskem času), kar bo osnova za realnejšo oceno efektivnih doz in možne ukrepe sanacije. Še posebej to velja za objekte z najvišjimi izmerjenimi koncentracijami radona in ocenjenimi efektivnimi dozami preko 6 mSv na leto.

Tabela 16. Predlagani objekti za ponovne meritve koncentracije radona

Ustanova	Prostor	Koncentracija radona Bq/m ³
Psihiatrična klinika Ljubljana	mizarska delavnica - arhiv	5523,4 ± 993,3
VVO Muljava	igralnica	4626,3 ± 830,7
VVO Muljava	klet	2296,9 ± 281,3
OŠ Komen	telovadnica	2032,9 ± 247,8
vrtec Prevole	igralnica 1	1684,2 ± 208,0
Železniška postaja Kočevje	jedilni prostor	1516,4 ± 243,6
OŠ Prevalje	učilnica 3a	1480,7 ± 152,6
Glasbena šola Ribnica	učilnica v kleti	1325,4 ± 150,7
Železniška postaja Črnomelj	prometni urad	1291,0 ± 206,7
Železniška postaja Kočevje	prometni urad	1054,5 ± 108,9
Bolnišnica Idrija	lekarna prodajni pult	1004,3 ± 104,8
ZD Divača	patronaža	1001,3 ± 141,0
Bolnišnica Idrija	lekarna soba	982,9 ± 102,7
vrtec Škocjan Bučka	vrtec Škocjan Bučka	948,3 ± 98,9
Vrtec Sežana - enota Jasli	igralnica	859,9 ± 89,5
vrtec Vavta vas	igralnica Ribe	846,2 ± 88,7
OŠ Komen	učilnica 4. razred	795,2 ± 83,4
OŠ Žužemberk - Podružnica Dvor	vrtec igralnica - dojenčki	528,2 ± 57,5
OŠ Komen	učilnica tehnični pouk	513,3 ± 55,6
vrtec Stari trg ob Kolpi	igralnica	489,3 ± 52,0
vrtec Vavta vas	igralnica Pikapolonice	419,8 ± 45,3
OŠ Prevalje	učilnica 2b	406,3 ± 43,6
vrtec Sodražica	igralnica Pikapolonice	396,1 ± 42,7
Vrtec Pikapolonica Brezje	igralnica	385,1 ± 41,5
Vrtec Sežana - enota Divača	igralnica	361,7 ± 40,0

8. Reference

1. An overview of radon surveys in Europe, Luxembourg, EC, 2005
2. M. Humar, J. Škvarč, R. Ilič, M. Križman, Z. Jeran, R. Šajn: Koncentracije radona v bivalnem okolju Slovenije (zaključno poročilo)
3. ZVISJ-UPB2), Ur.list RS št. 102, 2004
4. Program sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja, Ur.list RS št. 17, 2006
5. Pravilnik o pogojih in metodologiji ocenjevanja doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Ur.list RS št. 115, 2003
6. Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, Ur.list RS št. 49, 2004
7. P. Jovanovič: Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja, LMSAR-20060047-PJ, ZVD, 2006
8. J. Vavpotič: IJS-DP-9648, IJS, 2007
9. ICRP 65: Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Pergamon, 1994
10. Joachim Kemske, 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