

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

**VLOGA FAKTORJA RAVNOTEŽJA IN DELEŽA
NEVEZANIH RADONOVIH RAZPADNIH PRODUKTOV
PRI IZRAČUNU EFEKTIVNE DOZE**

DIPLOMSKO DELO

Polona SMRKOLJ

Mentorica: prof. dr. Janja Vaupotič

Nova Gorica, 2010

ZAHVALA

Rada bi se iskreno zahvalila svoji mentorici prof. dr. Janji Vaupotič za strokovno vodenje in svetovanje ter vso pomoč pri nastajanju diplomskega dela. Prav tako zahvala prof. dr. Ivanu Kobalu za njegove komentarje in konstruktivne pripombe ter Asti Gregorič, univ. dipl. inž. geol. za pregled geološkega dela. Zahvaljujem se tudi vsem, ki so sodelovali in mi omogočili, da pri njih izvedem svoje meritve, še posebej družini Volpe.

Iskrena hvala tudi mojemu fantu Marku, ki me je vedno podpiral in mi stal ob strani ter sinku Jaki, ki je v času pisanja diplomske naloge pridno in pod varstvom deda Ota, nane Ingrid ter ostalih, preživel čas. Prav tako velika zahvala mojim družinama Smrko in Prkič, ki sta mi pomagali v vseh pogledih.

POVZETEK

V diplomskem delu sem na nekaj izbranih mestih v zraku bivalnega in delovnega okolja izmerila koncentracije radona ter radonovih kratkoživih razpadnih produktov, stopnjo radioaktivnega ravnotežja z radonom in njihov delež v nevezani obliki, ki ima ključno vlogo v dozimetriji. Na osnovi teh podatkov sem izračunala učinkovite doze na tri različne načine, in sicer tako, da sem kot vhodne podatke uporabila: (i) izmerjene koncentracije radona ter ravnotežni faktor in dozni pretvorbeni faktor iz literature, katerega vrednost je izpeljana na osnovi epidemioloških izsledkov, (ii) izmerjene koncentracije radona in ravnotežnega faktorja ter dozni pretvorbeni faktor iz literature in (iii) izmerjene koncentracije radona, ravnotežnega faktorja in deleža radonovih nevezanih razpadnih produktov, iz katerega sem z uporabo dozimetričnega modela izračunala dozne pretvorbene faktorje – tako da nisem vzela nobenega podatka iz literature. To mi je omogočilo, da sem primerjala učinkovite doze, ki sem jih dobila z uporabo epidemiološkega doznega pretvorbenega faktorja (prva dva načina), z dozami, ki sem jih dobila z doznimi pretvorbenimi faktorji, dobljenimi z dozimetričnim modelom (zadnji način). Doze po zadnjem načinu so bile znatno višje od prvih dveh. Ta razkorak med obema pristopoma izračuna doz je že dolgo poznan in zaenkrat še nerazjasnjen. Moji rezultati in njihova interpretacija v diplomski to problematiko dodatno pojasnjujejo.

Ključne besede: radon, ravnotežni faktor, delež nevezanih radonovih razpadnih produktov, dozni pretvorbeni faktor, učinkovita doza.

SUMMARY

In my graduation thesis, I have selected several living and working places, at which the following parameters were monitored in air: concentrations of radon and its short-lived decay products, equilibrium factor between radon and its products, and the unattached fraction of the products. I calculated the effective doses on three different approaches by taking into account my measured parameters and parameters taken from the literature: (i) the measured values of radon concentration, while equilibrium factors and dose conversion factor were taken from the literature (as deduced from the epidemiological studies), (ii) the measured values of both radon concentration and equilibrium factor, while the dose conversion factor was taken from the literature, and (iii) the measured values of radon concentration, the equilibrium factor and the unattached fraction of radon decay products were used for the calculation, applying the dosimetric models, the dose conversion factors – thus no datum was taken from the literature. Thus, I was able to compare the effective doses based on the epidemiological consideration (first two scenarios) and the doses calculated applying dosimetric models (the third scenario). The latter are significantly higher than the former ones. This disagreement has been known in the scientific community for decades but not well understood and solved yet. My results and their interpretation in the thesis provide more light and understanding on this subject.

Key words: radon, equilibrium factor, the unattached fraction of radon decay products, dose conversion factor, effective dose.

KAZALO VSEBINE

| | |
|---|-----------|
| ZAHVALA..... | III |
| POVZETEK..... | V |
| SUMMARY..... | V |
| KAZALO VSEBINE..... | VII |
| KAZALO SLIK..... | IV |
| KAZALO TABEL..... | VI |
| 1 UVOD..... | 1 |
| 1.1 Opis problema..... | 1 |
| 1.2 Cilji diplomskega dela..... | 2 |
| 2 TEORETIČNE OSNOVE..... | 3 |
| 2.1 Osnove radioaktivnosti..... | 3 |
| 2.2 Definicija doz..... | 4 |
| 2.3 Radon in njegovi razpadni produkti..... | 4 |
| 2.3.1 Fizikalno–kemijske značilnosti radona..... | 4 |
| 2.3.2 Radonovi razpadni produkti in njihova vezava na aerosole..... | 6 |
| 2.3.3 Potencialna α –energija radonovih razpadnih produktov..... | 6 |
| 2.3.4 Delež nevezanih radonovih razpadnih produktov..... | 7 |
| 2.3.5 Faktor radioaktivnega ravnotežja..... | 7 |
| 2.4 Radon v okolju..... | 8 |
| 2.5 Radon v bivalnih in delovnih prostorih..... | 8 |
| 2.5.1 Mehanizmi, ki vplivajo na vstop radona v bivalne in delovne prostore..... | 9 |
| 2.5.2 Koncentracije radona v bivalnih in delovnih prostorih..... | 10 |
| 2.6 Učinki radona in njegovih razpadnih produktov..... | 10 |
| 2.7 Dozimetrija radona in njegovih razpadnih produktov..... | 11 |
| 2.7.1 Dozni pretvorbeni faktor..... | 11 |
| 2.7.2 Izračun doz..... | 13 |
| 2.8 Pravni red..... | 14 |
| 3 EKSPERIMENTALNI DEL..... | 15 |
| 3.1 Merilne tehnike..... | 15 |
| 3.1.1 Alfa scintilacijska tehnika..... | 15 |
| 3.1.2 Merilnik EQF 3020–2..... | 17 |
| 3.1.3 Shematična ponazoritev rezultatov različnih merilnih tehnik..... | 17 |
| 3.2 Merilna mesta in potek meritev..... | 18 |
| 3.2.1 Geologija preiskovanega področja in okolice..... | 19 |
| 3.2.1.1 Žalec, Šempeter, Šešče in Petrovče..... | 19 |
| 3.2.1.2 Šentjur..... | 21 |
| 3.2.1.3 Velenje..... | 22 |
| 3.2.2 Opis in potek meritev z alfa scintilacijskimi celicami..... | 22 |
| 3.2.3 Opis in potek meritev z merilnikom EQF 3020–2..... | 26 |
| 3.2.3.1 Zgradba v Petrovčah (Pe–01)..... | 27 |
| 3.2.3.2 Zgradba v Žalcu (Ža–06)..... | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | REZULTATI IN RAZPRAVA..... | 31 |
| 4.1 | <i>Trenutne koncentracije radona in ефективne doze na osnovi meritev s scintilacijskimi celicami.....</i> | 31 |
| 4.2 | <i>Koncentracije radona in radonovih razpadnih produktov v domovih in delovnih prostorih na osnovi kontinuiranih meritev.....</i> | 38 |
| 4.2.1 | <i>Bivalno okolje: zgradba Pe-01BD, kuhinja</i> | 38 |
| 4.2.2 | <i>Delovno okolje: zgradba Pe-01BD, pisarna.....</i> | 40 |
| 4.2.3 | <i>Delovno okolje: zgradba Ža-06BD, trgovina.....</i> | 42 |
| 4.3 | <i>Efektivne doze na osnovi kontinuiranih meritev.....</i> | 44 |
| 4.3.1 | <i>Bivalno okolje: zgradba Pe-01BD, kuhinja</i> | 45 |
| 4.3.2 | <i>Delovno okolje: zgradba Pe-01BD, pisarna.....</i> | 47 |
| 4.3.3 | <i>Delovno okolje: zgradba Ža-06BD, trgovina.....</i> | 50 |
| 4.4 | <i>Primerjava F, f_{un} in DCF v različnih okoljih ter ефективne doze na osnovi njihovih vrednosti.....</i> | 53 |
| 5 | ZAKLJUČKI..... | 57 |
| 6 | VIRI..... | 60 |

PRILOGE

Priloga A: Merjeni parametri v kuhinji v obdobju od 16. novembra do 4. decembra 2008

Priloga B: Merjeni parametri v pisarni v obdobju od 19. novembra do 13. decembra 2008

Priloga C: Merjeni parametri v trgovini v obdobju od 22. oktobra do 12. novembra 2008

KAZALO SLIK

| | |
|--|----|
| Slika 1: Razpadni nizi: a) torijev, b) uranov in c) aktinijev (povzeto po Valković, 2000)..... | 5 |
| Slika 2: Delež obsevanosti iz posameznih virov sevanj (Koželj in sod., 2006).. | 11 |
| Slika 3: Alfa scintilacijski števec PRM 145 (AMES, 2000)..... | 16 |
| Slika 4: Merilnik EQF 3020–2 (SARAD, 2009)..... | 17 |
| Slika 5: Prikaz različnih tehnik merjenja R_n in R_{nDP} . Te se delijo na kontinuirane, povprečne in trenutne meritve. Čas merjenja je 2 dni, meritev pa je označena vsaki 2 uri s t_1, t_2, t_3 itd..... | 18 |
| Slika 6: Izrez iz osnovne geološke karte. Prikaz merilnih mest, v Žalcu, Šempetru, Petrovčah in Šeščah, s puščico, kratico merilnega mesta in številko (Buser, 1977)..... | 20 |
| Slika 7: Izrez osnovne geološke karte. Prikaz merilnega mesta Šentjurja in njegove okolice (Buser, 1977)..... | 21 |
| Slika 8: Izrez osnovne geološke karte. Prikaz merilnega mesta Velenja in njegove okolice (Mioč in Žnidarčič, 1972)..... | 22 |
| Slika 9: Zemljevid merilnih mest, razdeljen na tri glavna območja (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps)..... | 23 |
| Slika 10: Zemljevid območja 1, označenega s kratico mesta ali kraja in številko merilnega mesta Žalec, Šempeter, Petrovče in Šešče (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps)..... | 24 |
| Slika 11: Zemljevid območja 2, označenega s kratico mesta in številko merilnega mesta Šentjur (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps). | 24 |
| Slika 12: Zemljevid območja 3, označenega s kratico mesta in številko merilnega mesta Velenje (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps). | 25 |
| Slika 13: Shematski prikaz kuhinje v Petrovčah in prikaz mesta, kjer je inštrument EQF 3020–2 stal. | 28 |
| Slika 14: Shematski prikaz pisarne v Petrovčah in prikaz mesta, kjer je inštrument EQF 3020–2 stal. | 29 |
| Slika 15: Shematski prikaz trgovine v Žalcu in prikaz mesta, kjer je inštrument EQF 3020–2 stal. | 30 |
| Slika 16: Časovna odvisnost merjenih parametrov v kuhinji v obdobju od 16. novembra do 4. decembra 2008: a) koncentracija radona (C_{Rn}) in koncentracija radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), b) ravnotežni faktor (F) in delež nevezanih $RnDP$ (f_{un}), c) temperatura (T) in relativna vlažnost zraka (RH). | 39 |
| Slika 17: Časovna odvisnost merjenih parametrov v pisarni v obdobju od 19. novembra do 13. decembra 2008: a) koncentracija radona (C_{Rn}) in koncentracija radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), b) ravnotežni faktor (F) in delež nevezanih $RnDP$ (f_{un}), c) temperatura (T) in relativna vlažnost zraka (RH). | 41 |
| Slika 18: Časovna odvisnost merjenih parametrov v trgovini v obdobju od 22. oktobra do 12. novembra 2008: a) koncentracija radona (C_{Rn}) in koncentracija radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), b) ravnotežni faktor (F) in delež nevezanih $RnDP$ (f_{un}), c) temperatura (T) in relativna vlažnost zraka (RH). | 43 |

| | |
|--|-----------|
| <i>Slika 19: Celodnevna in bivalna efektivna doza v μSv, izračunana po načinih 1, 2 in 3 za obdobje od 16. novembra do 4. decembra 2008, v kuhinji.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Slika 20: Celodnevna in bivalna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1,2 in 3 za posamezne dneve od ponedeljka, 24. novembra, do nedelje, 30. novembra 2008, v kuhinji.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Slika 21: Celodnevna in bivalna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za tedensko obdobje od ponedeljka, 24. novembra, do nedelje, 30. novembra 2008, v kuhinji.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Slika 22: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv, izračunana po načinih 1, 2 in 3 za obdobje od 19. novembra do 13. decembra 2008, v pisarni.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Slika 23: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za posamezne dneve od ponedeljka, 8. decembra, do petka, 12. decembra 2008, v pisarni.....</i> | <i>49</i> |
| <i>Slika 24: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za tedensko obdobje od ponedeljka, 8. decembra, do petka, 12. decembra 2008, v pisarni.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Slika 25: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv, izračunana po načinih 1, 2 in 3 za obdobje od 3. do 8. novembra 2008, v trgovini.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Slika 26: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za posamezne dneve od ponedeljka, 3. novembra, do sobote, 8. novembra 2008, v trgovini.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Slika 27: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za tedensko obdobje od ponedeljka, 3. novembra, do sobote 8., novembra 2008, v trgovini.....</i> | <i>53</i> |

KAZALO TABEL

| | |
|---|----|
| <i>Tabela 1: Obdobje in plasti pod zgradbo merilnih mest v Žalcu, Šempetru, Petrovčah in Šeščah.</i> | 20 |
| <i>Tabela 2: Obdobje in plasti pod zgradbo merilnega mesta v Šentjurju.</i> | 21 |
| <i>Tabela 3: Obdobje in plasti pod zgradbo dveh merilnih mest v Velenju.</i> | 22 |
| <i>Tabela 4: Kratek opis merilnih mest: označena so s kodo merilnega mesta, sledi vrsta zgradbe, nadstropje meritve ('K' klet, 'P' pritličje in 'I' prvo nadstropje) in gradbeni materiali.</i> | 26 |
| <i>Tabela 5: Koncentracije radona C_{Rn} in efektivne doze E v 14 zgradbah: C_{Rn} MAX je najvišja in C_{Rn} AV povprečna koncentracija radona v zgradbi (označena z *), C_{Rn} PR je koncentracija radona po prostorih, sledi povprečna efektivna doza (označena z *), efektivna doza po posameznih prostorih ter vsota posameznih efektivnih doz (označena z Σ): za točno definicijo glej besedilo...</i> 33 | 33 |
| <i>Tabela 6: Primerjava povprečij trenutnih koncentracij radona ($Bq\ m^{-3}$) v 7 zgradbah po nadstropjih: v kleti, pritličju in v I. nadstropju</i> | 36 |
| <i>Tabela 7: Primerjava povprečnih efektivnih doz E ($mSv\ a^{-1}$) in povprečnih koncentracij radona C_{Rn} ($Bq\ m^{-3}$) po posameznih prostorih</i> | 37 |
| <i>Tabela 8: Efektivne doze stanovalcev 14 zgradb izračunane na osnovi povprečne koncentracije radona v celotni zgradbi (E_{zg}) in vsote prispevkov doz po posameznih prostorih (E_{pr}) v $mSv\ a^{-1}$</i> | 54 |
| <i>Tabela 9: Celodnevne ter bivalne/delovne vrednosti ravnotežnega faktorja v kuhinji, pisarni in trgovini.</i> | 55 |
| <i>Tabela 10: Celodnevne ter bivalne/delovne vrednosti deleža nevezane frakcije RnDP v kuhinji, pisarni in trgovini</i> | 55 |
| <i>Tabela 11: Primerjava izračunanega doznega pretvorbenega faktorja DCF ($mSv\ WLM^{-1}$) med kuhinjo, pisarno in trgovino z DCF-jem po ICRP-65, v bivalnem/delovnem času glede na celodnevna</i> | 56 |
| <i>Tabela 12: Odstopanje celodnevni in bivalni/delovni doz, izračunanih po načinih 1, 2 in 3, od načina 3 za bivalno/delovno dozo</i> | 56 |

1 UVOD

Radioaktivni žlahtni plin radon je brez barve, vonja in okusa. Odkrili so ga okoli leta 1900. Šele po 2. svetovni vojni, v obdobju razcveta rudarjenja urana, so ugotovili njegove škodljive učinke na človekovo zdravje, kar je sprožilo večje zavedanje o njem. S tem se je začelo obdobje podrobnejših raziskav radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov (EPA, 2009).

V naravi so trije izotopi radona (^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn), ki nastajajo v zemeljski skorji z α -preobrazbo radija v naravnih radioaktivnih nizih urana, torija in aktinija. Ker ima ^{222}Rn najdaljši razpolovni čas v primerjavi z ^{220}Rn in ^{219}Rn , je njegova koncentracija v okolju običajno znatno višja od koncentracije ^{220}Rn , medtem ko je koncentracija ^{219}Rn zanemarljiva (Nero, 1988). Tako posvečajo raziskovalne in zdravstvene institucije glavno skrb izotopu ^{222}Rn . V svojih znanstvenih in strokovnih razpravah ga preprosto imenujejo radon (Rn), medtem ko izotop ^{220}Rn imenujejo toron (Th). Tudi moje diplomsko delo obravnava izotop ^{222}Rn , ki ga navajamo kot radon.

Kot rezultat α -preobrazbe ^{222}Rn nastajajo nano aerosoli radonovih kratkoživih razpadnih produktov: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi in ^{214}Po . Ti so ob nastanku pozitivno nabiti kovinski ioni, ki se sčasoma rekombinirajo in v zraku tvorijo gruče velikosti do 10 nm, imenujemo jih nevezani radonovi razpadni produkti. Kasneje se deloma (odvisno od koncentracije aerosolov in vlažnosti zraka) vežejo na aerosole ter so prisotni v zraku kot radioaktivni aerosoli velikosti od 200 do 600 nm (vezani radonovi razpadni produkti) (Porstendörfer in sod., 2000; Porstendörfer, 1993; Portendörfer, 1996). Zaradi gibanja in mešanja zraka ter usedanja aerosolov se praktično nikoli ne vzpostavi radioaktivno ravnotežje med radonovimi kratkoživimi razpadnimi produkti in radonom. Stopnjo ravnotežja podajamo z ravnotežnim faktorjem.

1.1 Opis problema

Znanstvena skupnost po vsem svetu se zaveda problemov in negativnih vplivov na zdravje ljudi, ki jih povzročajo radon ter njegovi razpadni produkti. Ti se pri dihanju usedajo v pljučih, kjer se energija, ki se sprošča pri njihovih α -preobrazbah, absorbira v tkivu, ga poškoduje in poveča verjetnost za razvoj raka (Bell, 2007). Potrjeno je, da radon in njegovi razpadni produkti prispevajo več kot polovico k efektivni dozi, ki jo človek prejme od vseh naravnih virov ionizirajočih sevanj (UNSCEAR, 2000). Da bi izračunali, kolikšen je vpliv njihovega sevanja na posameznika, stalno izpopolnjujejo inštrumente za merjenje radona in njegovih razpadnih produktov v bivalnem in delovnem okolju ter razvijajo metode za izračun doz. Te z uporabo fizikalno-fizioloških modelov ovrednotijo dozni pretvorbeni faktor. To je količina, ki pove, kakšno dozo prejmemo, če vdihamo določeno aktivnost radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov oziroma če določen čas dihamo zrak z določeno koncentracijo teh radionuklidov. Tak izračun doz imenujemo dozimetrični pristop (Brichall in James, 1994).

Vzporedno s tem pa potekajo obsežne raziskave, katerih namen je ovrednotiti dozne pretvorbene faktorje na osnovi epidemioloških spoznanj. Vrednosti doznih pretvorbene faktorjev, dobljenih z dozimetričnim pristopom, so nekajkrat višje od onih, ki jih napoveduje epidemiologija. Tega razkoraka med obema pristopoma sicer še ne znajo pojasniti, domnevajo pa, da je ključ do pravilnega odgovora v vlogi, ki jo imajo v dozimetriji radona nevezani radonovi razpadni produkti (Brichall in Marsh, 2005; Stather, 2004).

1.2 Cilji diplomskega dela

Cilj diplomskega dela je bil prispevati dodatno znanje k razumevanju razlike v efektivnih dozah, ki jih dobimo, če jih izračunamo z uporabo doznih pretvorbene faktorjev (DCF), kot jih priporočajo mednarodne institucije na osnovi epidemioloških izsledkov (DCF_E) ali doznih pretvorbene faktorjev (DCF_D), ki jih izračunamo iz izmerjenih koncentracij nevezanih radonovih razpadnih produktov.

V ta namen sem na 14 mestih z različno namembnostjo (bivalni ali delovni prostor) izmerila s scintilacijskimi celicami trenutne koncentracije radona v zraku. Na podlagi dobljenih rezultatov sem nato med njimi izbrala tri mesta (1 bivalno in 2 delovna), na katerih sem z merilnikom EQF 3020–2 opravila celostne meritve: koncentracije R_n (C_{R_n}) in radonovih razpadnih produktov (C_{R_nDP}), ravnotežnega faktorja (F) in deleža (f_{un}) nevezanih radonovih razpadnih produktov ter temperature in relativne zračne vlažnosti.

Efektivne doze sem računala na tri načine, in sicer tako, da sem uporabila naslednje vhodne podatke:

1. izmerjene vrednosti C_{R_n} ter F in DCF_E vrednosti iz literature,
2. izmerjene vrednosti C_{R_n} in F oziroma C_{R_nDP} ter DCF_E vrednosti iz literature,
3. izmerjene vrednosti C_{R_n} in F oziroma C_{R_nDP} ter DCF_D vrednosti, izračunane iz izmerjenih vrednosti f_{un} .

Rezultati diplomskega dela so pokazali, da se efektivne doze, ki sem jih izračunala iz izmerjenih vrednosti parametrov, razlikujejo od efektivnih doz, ki sem jih izračunala z uporabo parametrov iz literature. Ugotovila sem tudi, da se efektivne doze med sabo razlikujejo glede na namembnost prostora, zato moramo biti pri računanju doz previdni in posploševanje rezultatov ni mogoče.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Osnove radioaktivnosti

Radioaktivnost je spontan proces, pri katerem nestabilno atomsko jedro sprosti presežek svoje energije v obliki sevanja delcev ali fotonov. Če jedro odda delce, se pri tem preobrazi v jedro drugega elementa, če seva fotone γ , ostane jedro istega elementa le nižje energije (ali stabilno) (Vaupotič in Kobal, 2008a). Pri preobrazbi α se sproščajo helijeva jedra – delci α , pri preobrazbi β pa se sproščajo bodisi delci β^- (negatroni e^-) ali delci β^+ (pozitroni e^+). Ker so jedra, ki nastanejo pri preobrazbah α in β pogosto vzbujena, sevajo fotone γ in s tem prehajajo v manj vzbujeno ali stabilno stanje.

Pri radioaktivni preobrazbi se število jeder N s časom t zmanjšuje tako kot se pri kemijski reakciji prvega reda zmanjšuje koncentracija nekega reaktanta. Zakon te preobrazbe matematično zapišemo z naslednjo diferencialno enačbo:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N \quad (1)$$

v kateri je λ konstanta radioaktivne preobrazbe z enoto s^{-1} in A aktivnost z enoto Bq (becquerel), pri čemer 1 Bq ustreza 1 preobrazbi v sekundi. Koncentracijo aktivnosti nekega elementa v nekem mediju podajamo v enotah bodisi $Bq\ m^{-3}$ ali $Bq\ kg^{-1}$.

Rešitev enačbe (1) je eksponentna funkcija:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

oziroma:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Tako lahko za poljuben čas izračunamo bodisi število jeder N bodisi aktivnost A nekega radionuklida, če poznamo njuni vrednosti N_0 oziroma A_0 v nekem začetnem času $t = 0$. Čas, ko se začetna aktivnost zmanjša na polovico (preobrazi polovica radioaktivnih jeder), imenujemo razpolovni čas $t_{1/2}$, torej:

$$\frac{A_0}{2} = A_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (4)$$

Po logaritmiranju enačbe (4) sledi:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (5)$$

2.2 Definicija doz

Absorbirana doza D je definirana kot povprečna absorbirana energija (dE), ki jo ionizirajoče sevanje odda snovi na enoto mase snovi dm :

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (6)$$

Njena enota je 1 Gy (gray), pri čemer je $1 \text{ Gy} \equiv 1 \text{ J kg}^{-1}$.

Enakovredna doza H , za tkivo T je definirana kot zmnožek w_R sevalnega utežnega faktorja za sevanje R in povprečne absorbirane doze $D_{T,R}$, ki jo je prejelo to tkivo. Ker pri enakovredni dozi upoštevamo biološko učinkovitost sevanja, lahko vrednosti H za različna tkiva seštejemo (7).

$$H_T = \sum w_R \cdot D_{T,R} \quad (7)$$

Sevalni utežni faktor w_R je za sevanje alfa 20, za sevanje beta in gama pa 1. Enota enakovredne doze je 1 Sv (sievert). Pri sevanju alfa 1 Gy absorbirane doze pomeni 20 Sv enakovredne doze ter pri sevanju beta in gama 1 Gy pomeni 1 Sv ($1 \text{ Sv} \equiv 1 \text{ J kg}^{-1}$).

Ker so različna tkiva različno občutljiva na sevanje, so vpeljali efektivno dozo.

Efektivna doza E je vsota doz H_T , pomnoženih z utežnim faktorjem za to tkivo w_T :

$$E = \sum w_T \cdot H_T = \sum w_T \cdot \sum w_R \cdot D_{T,R} \quad (8)$$

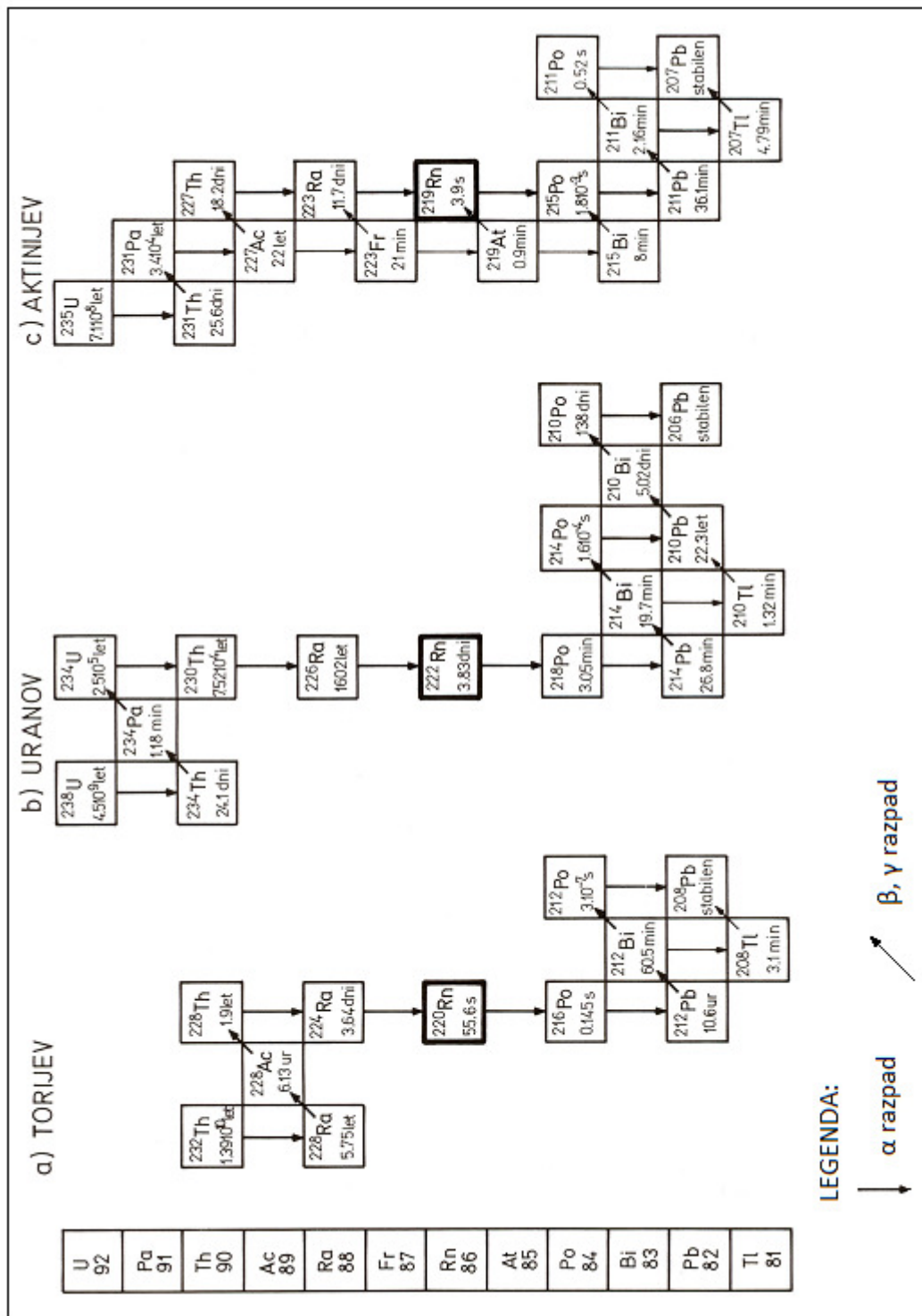
Utežni faktor za tkivo meri relativni prispevek tkiva T k celotnemu učinku, ki ga povzroči enakomerno obsevanje celotnega telesa. Enota za efektivno dozo je 1 Sv.

Kot primer naj navedem, da so pri dihanju radona in njegovih razpadnih produktov v glavnem izpostavljena pljuča, v katerih se razpadni produkti posedajo in zato pri izračunu efektivne doze upoštevamo le utežni faktor za pljuča, ki je 0,12 (UNSCEAR, 2000).

2.3 Radon in njegovi razpadni produkti

2.3.1 Fizikalno–kemijske značilnosti radona

Izmed več kot dvajset poznanih radonovih izotopov nastajajo v naravi samo trije, in sicer iz radija v vseh treh radioaktivnih nizih (slika 1): izotop ^{222}Rn iz ^{226}Ra v nizu ^{238}U (uranov niz), izotop ^{220}Rn iz ^{224}Ra v nizu ^{232}Th (torijev niz) in izotop ^{219}Rn iz ^{223}Ra v nizu ^{235}U (aktinijev niz). ^{222}Rn ima najdaljši razpolovni čas (3,82 dneva) v primerjavi z ^{220}Rn (55,6 s) in ^{219}Rn (3,9 s) (slika 1), zato je koncentracija radona v okolju običajno znatno višja od koncentracije ^{220}Rn , medtem ko je koncentracija ^{219}Rn zanemarljiva (Nero, 1988).



Slika 1: Razpadni nizi: a) torijev, b) uranov in c) aktinijev (povzeto po Valkovič, 2000).

2.3.2 Radonovi razpadni produkti in njihova vezava na aerosole

Kot rezultat α -preobrazbe Rn nastajajo nano aerosoli radonovih kratkoživih razpadnih produktov (RnDP) (slika 1): ^{218}Po (α , $t_{1/2} = 3.05$ min), ^{214}Pb (β/γ , $t_{1/2} = 26.8$ min), ^{214}Bi (β/γ , $t_{1/2} = 19.7$ min) in ^{214}Po (α , $t_{1/2} = 164$ ns). Ti so ob nastanku pozitivno nabiti kovinski ioni, ki se sčasoma rekombinirajo in v zraku tvorijo gruče (bodisi sami med sabo bodisi z molekulami vode, kisika in dušika) velikosti do 10 nm. Imenujemo jih nevezani RnDP. Kasneje se deloma (odvisno od koncentracije aerosolov in vlažnosti zraka) vežejo na aerosole ter so prisotni v zraku kot radioaktivni aerosoli velikosti od 200 do 600 nm (vezani RnDP). Vloga aerosolov je zato za tvorbo vezanih in nevezanih RnDP velikega pomena (Porstendörfer in sod., 2000; Porstendörfer, 1993). Kot primer naj omenimo kuhanje in kajenje, ki poleg mnogih drugih virov zaznavno prispevata h koncentraciji aerosolov v bivalnem in delovnem okolju ter vplivata na njihovo velikostno porazdelitev. Hitrost vezave RnDP na aerosole in odlaganje radioaktivnih aerosolov na površino (tla, stene in predmete) ter delež vezanih (in s tem nevezanih) RnDP so odvisni od koncentracije in velikostne porazdelitve aerosolov, temperature in vlažnosti zraka, dejavnosti v prostoru ter hitrosti prezračevanja.

2.3.3 Potencialna α -energija radonovih razpadnih produktov

Tako kot izražamo koncentracijo aktivnosti radona v Bq m^{-3} , bi lahko izražali tudi koncentracije aktivnosti posameznih radonovih razpadnih produktov v enaki enoti. Ker pa povzroča poškodbo tkiva absorpcija energije, ki se sprošča pri radioaktivnih preobrazbah radonovih razpadnih produktov, ki so se deponirali na stenah dihalnih poti, je za dozimetrijo bolj koristen podatek o koncentraciji njihove potencialne α -energije razpada kot njihova koncentracija v Bq m^{-3} . Poleg tega pa nam le zelo redki novi merilniki omogočajo določanje posameznih koncentracij ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi in ^{214}Po , medtem ko je direktno merjenje potencialne α -energije poznano že desetletja. Tu nas zanima samo α -energija, ker je znatno večja od energij β in γ in se absorbira na krajši poti, kar povzroči tudi večje poškodbe tkiva. Koncentracija potencialne α -energije (E_{RnDP} v MeV m^{-3}) radonovih kratkoživih razpadnih produktov je podana preko njihovih koncentracij z enačbo (Nero, 1988):

$$E_{\text{RnDP}}^{\text{x}} = 3690 \cdot C_{218\text{Po}}^{\text{x}} + 17830 \cdot C_{214\text{Pb}}^{\text{x}} + 13120 \cdot C_{214\text{Bi}}^{\text{x}} \quad (9)$$

v kateri oznaka C predstavlja koncentracijo (v Bq m^{-3}) posameznega radionuklida. Z zgornjim indeksom pa označujemo njihovo vezano ($x=\text{att}$) oziroma nevezano ($x=\text{un}$) obliko; torej imamo:

$$E_{\text{RnDP}}^{\text{att}} = 3690 \cdot C_{218\text{Po}}^{\text{att}} + 17830 \cdot C_{214\text{Pb}}^{\text{att}} + 13120 \cdot C_{214\text{Bi}}^{\text{att}} \quad (10)$$

in

$$E_{\text{RnDP}}^{\text{un}} = 3690 \cdot C_{218\text{Po}}^{\text{un}} + 17830 \cdot C_{214\text{Pb}}^{\text{un}} + 13120 \cdot C_{214\text{Bi}}^{\text{un}} \quad (11)$$

Celotna potencialna α -energija E_{RnDP} je torej enaka (Knutson, 1988):

$$E_{\text{RnDP}} = E_{\text{RnDP}}^{\text{att}} + E_{\text{RnDP}}^{\text{un}} \quad (12)$$

Zaradi tradicije in vpliva ameriških avtorjev uporabljamo tudi staro enoto WL (working level). 1 WL je enakovreden $1,28 \cdot 10^8 \text{ MeV m}^{-3}$, oziroma $2,08 \cdot 10^{-2} \text{ J m}^{-3}$; to je potencialna α -energija, ki bi jo imeli radonovi kratkoživi razpadni produkti, če bi bili v sekundarnem ravnotežju z radonom koncentracije 3700 Bq m^{-3} (Robkin, 1987). To enoto uporabljam tudi v tem diplomskem delu.

2.3.4 Delež nevezanih radonovih razpadnih produktov

Preko potencialne energije je definiran tudi delež (f_{un}) nevezanih radonovih razpadnih produktov (Nero, 1988; Knutson, 1988):

$$f_{\text{un}} = \frac{E_{\text{RnDP}}^{\text{un}}}{E_{\text{RnDP}}^{\text{un}} + E_{\text{RnDP}}^{\text{att}}} \quad (13)$$

2.3.5 Faktor radioaktivnega ravnotežja

V idealnih razmerah (mirnem in čistem zraku v prostoru brez vsakršnih površin) bi se v približno treh urah vzpostavilo radioaktivno ravnotežje (Vaupotič in Kobal, 2008a) med radonom in njegovimi kratkoživimi razpadnimi produkti. Takrat bi bile koncentracije aktivnosti vseh radionuklidov enake (Nero, 1988; Knutson, 1988; Vaupotič in Kobal, 2006a). Zaradi gibanja zraka in vezave radonovih razpadnih produktov na aerosole ter njihove depozicije na površino sten in predmetov, ravnotežje v realnem okolju ni nikoli doseženo, tako ne v zaprtem prostoru in ne zunaj. Zato je koncentracija aktivnosti razpadnih produktov, ki jo podajamo kot ravnotežno enakovredno koncentracijo ($C_{\text{RnDP}}^{\text{eq}}$), vedno manjša od koncentracije radona (C_{Rn}) in je podana s spodnjo enačbo (Nero, 1988):

$$C_{\text{RnDP}}^{\text{eq}} = 0,106 \cdot C_{218\text{Po}} + 0,513 \cdot C_{214\text{Pb}} + 0,381 \cdot C_{214\text{Bi}} \quad (14)$$

Stopnjo radioaktivnega ravnotežja podajamo s tako imenovanim ravnotežnim faktorjem, ki je podan z izrazom:

$$F = \frac{C_{\text{RnDP}}^{\text{eq}}}{C_{\text{Rn}}} \quad (15)$$

Vrednost F je v različnih okoljih lahko zelo različna. Meritve v Evropi, Združenih državah Amerike, Kanadi in na Japonskem so pokazale, da je v zunanjem zraku F med 0,50 in 0,70 (UNSCEAR, 2000). V bivalnem okolju so njegove vrednosti med 0,40 in 0,50 (oziroma 40 do 50%) (Vaupotič in Kobal, 2006a), v delovnem okolju pa med 20 do 80% (IAEA, 2003).

Meritve radona so veliko bolj enostavne kot meritve radonovih razpadnih produktov, zato so podatkovne baze o koncentracijah radona veliko bolj obsežne kot o koncentracijah razpadnih produktov. Če poznamo vrednost F , bodisi da smo jo izmerili ali jo vzeli iz literature, lahko iz koncentracije radona z uporabo enačbe (15) izračunamo ravnotežno enakovredno koncentracijo radonovih razpadnih produktov. Iz te neposredno izračunamo energijo α , ki jo rabimo za izračun doze.

2.4 Radon v okolju

Na koncentracijo radona v bivalnem in delovnem okolju vplivajo parametri, ki jih lahko razdelimo v dve skupini. V prvi so naravni dejavniki, kot so geološka sestava in struktura tal ter klimatske in mikroklimatske razmere. V drugo skupino pa uvrščamo tiste dejavnike, na katere vplivajo človekova dejavnost, gradbeni materiali, kakovost gradnje ter bivalne navade ljudi.

Večina radona nastaja v kamninah in zemlji, vendar so še številni drugi viri, kot so: oceani, podtalnica, zemeljski plin, geotermalne tekočine in zgorevanje fosilnih goriv (UNSCEAR, 2000). Poleg tega, da poznamo izvor radona, je pri njegovem izhajanju na prosto, pomemben tudi njegov transport na površje. Ta je odvisen od geofizikalnih in geokemijskih lastnosti kamnin (poroznost, propustnost, vsebnosti vlage, porazdelitve velikosti zrn) ter od samega transportnega mehanizma (difuzija, konvekcija). Vse skupaj pa pomembno vpliva na spremembo ravni koncentracije radona v notranjem in zunanjem zraku ter na njegovo časovno nihanje (Nazaroff in sod., 1988).

Koncentracije radona v zunanjem zraku so relativno nizke, ker se zrak, bogat z radonom, hitro razredči, ko pride v ozračje. Nad kopnim so povprečne vrednosti okrog 10 Bq m^{-3} , v priobalnih predelih pa še nižje (UNSCEAR, 2000). Koncentracije radona v zunanjem zraku so odvisne od vremenskih pogojev in so od nekaj Bq m^{-3} pa do nekaj 10 Bq m^{-3} , s svetovno povprečno vrednostjo 7 Bq m^{-3} . V Sloveniji je dolgoletno povprečje koncentracij radona v zunanjem zraku 15 Bq m^{-3} (Križman in Mljač, 1994).

2.5 Radon v bivalnih in delovnih prostorih

Koncentracije radona v zraku bivalnih in delovnih prostorov so odvisne od geološke sestave tal (vsebnosti urana v kamninah in zemljini), geološke strukture tal (prepustnosti in poroznosti tal), potresne aktivnosti in hidrometeorološki parametrov (temperature zemlje in zraka, vlage, zračnega tlaka ter padavin) (UNSCEAR, 2000; Vaupotič, 1995).

Raziskave v Sloveniji so pokazale (Popit in Vaupotič, 2002), da so najvišje koncentracije v notranjem zraku (nad 1000 Bq m^{-3}) v zgradbah, ki stojijo na apnencu, ki je bil v vseh primerih kraški apnenec. Koncentracije radona med 600 in 1000 Bq m^{-3} so bile na glacialnih sedimentih, laporju in različnih klastičnih sedimentnih kamninah (peščenjak, glinavec, konglomerat, skrilavec, breča). Koncentracije radona med 400 in 600 Bq m^{-3} , pa so bile na kremenovem peščenjaku, flišu (lapor, peščenjak, breča, konglomerat, apnenec, skrilavec) in glinavcu.

Raven koncentracije radona v zraku zgradbe, kakor tudi njena časovna nihanja so lahko zaznavno odvisna od načina graditve objekta (tehnika gradnje temeljev, gradbeni materiali, hidro in termo izolacija). Vendar je ta prispevek običajno majhen (Stranden, 1988; UNSCEAR, 2000).

Uporaba vode v gospodinjstvu, pri kateri se radon sprošča v zrak, prav tako prispeva h koncentraciji radona v zraku. Tudi ta prispevek je običajno zanemarljiv (Vaupotič, 1995).

Tudi prispevek zaradi zemeljskega plina je zanemarljiv (UNSCEAR, 2000).

Izmenjava zraka med notranjim in zunanjim okoljem v zgradbi poteka skozi različna mesta: skozi odprta vrata in okna ter preko mehaničnega prezračevanja (UNSCEAR, 2000). Radon prehaja v zgradbo tudi skozi različna netesna mesta v zgradbi, kot so: razpoke v trdnih tleh, v stenah ter v podkletenih prostorih; slabo tesnjena okna; odprtine okoli odtokov, pip, sifonov; skozi luknje in votline znotraj zidov; skozi reže in odprtine v dvignjenih nadstropjih (Blythe, 1999). Betonirana tla in stene v kleti upočasnijo pronicanje radona skozi tla v zgradbo.

V splošnem so koncentracije radona najvišje proti jutru in najnižje popoldne ter najvišje pozimi in najnižje poleti. Koncentracije radona v jesenskih in spomladanskih mesecih pa so si zaradi naših klimatskih pogojev običajno podobne. V zimskih in poletnih mesecih lahko opazimo razliko v koncentraciji tudi za približno 50 % (Vaupotič in Kobal, 2006b).

2.5.1 Mehanizmi, ki vplivajo na vstop radona v bivalne in delovne prostore

Samo majhnemu deležu atomov radona, ki ga imenujemo emanacijski koeficient, uspe zaradi odzivne energije α -preobrazbe radija priti z mesta nastanka v zrnu kamnine v prostor med zrni, od koder potuje dalje z difuzijo in advekcijo ter izhaja na površje. Zaradi radioaktivne preobrazbe se število atomov radona sčasoma manjša in zato v okolje dospe le radon, ki nastane nekaj metrov pod površjem. Radon, ki nastane globlje, mu struktura tal in nosilni plini omogočajo hitro potovanje na daljše razdalje (UNSCEAR, 2000; Nazaroff in sod., 1988).

Z difuzijo se radonovi atomi razvrščajo po pornih fluidih (voda ali zrak) zaradi gradienta koncentracije in ta vrsta transporta poteka v manj prepustnih tleh na krajše razdalje. Pri advekciji potuje radon s fluidi pod vplivom gradienta tlaka na daljše razdalje. Med talno ploščo zgradbe in tlemi se zaradi razlik v temperaturah med zunanjim in notranjim zrakom ustvari podtlak. Toplejši zrak v zgradbi, glede na okoliško zemljinu in zunanji zrak, ustvari vlek talnega in atmosferskega zraka v notranjost zgradbe. Povzročitelji tega so gretje, veter ali pa aktivno prezračevanje prostorov (ventilacija), kjer prav tako prihaja do vleke okoliškega zraka v zgradbo (Nazaroff in sod., 1988).

V manjši meri prispeva k zvišanju koncentracije radona v bivalnih in delovnih prostorih tudi veter. Zgradba deluje kot ovira in veter, ki piha ob bok zgradbe, tu poveča zračni tlak, ki pritiska zrak v tla. To povzroči dovolj močan potisk talnega zraka, bogatega z radonom, iz tal v zgradbo oziroma v kletne prostore (Nazaroff in sod., 1988; UNSCEAR, 2000).

2.5.2 Koncentracije radona v bivalnih in delovnih prostorih

Mnoge države so v okviru nacionalnih programov izvedle ali še izvajajo obširne sistematične meritve koncentracij radona v delovnih in bivalnih okoljih. Povprečne koncentracije radona v bivalnih in delovnih okoljih se od države do države razlikujejo. Na splošno so koncentracije v bivalnih in delovnih okoljih v primerjavi s koncentracijami v zunanjem okolju, ki so v bližini teh zgradb, 2 do 10 krat višje. Svetovna aritmetična srednja letna koncentracija radona v notranjem zraku je 40 Bq m^{-3} (UNSCEAR, 2000).

Meritve v Sloveniji v letih 1990 do 1994 v vrtcih in šolah so dale naslednje rezultate. Aritmetična srednja vrednost za 730 vrtcev je 133 Bq m^{-3} in za 888 šol 168 Bq m^{-3} (Vaupotič in sod., 1994). V 15 javnih zgradbah (pošte, zdravstveni domovi, policijske postaje ipd.) po Sloveniji so bile izmerjene koncentracije radona v območju od 98 do 2680 Bq m^{-3} , v 10 domovih pa v območju od 12 do 374 Bq m^{-3} (Vaupotič, 2010). V 8 vinskih kletih v geološko različnih delih Slovenije so bile koncentracije radona med 26 in 1045 Bq m^{-3} (Vaupotič, 2008b).

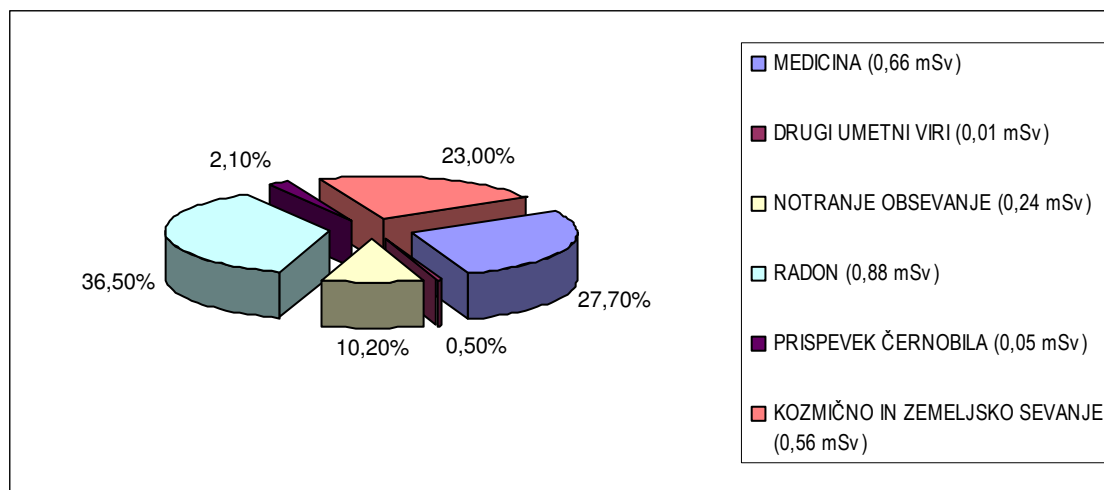
Raziskava, ki sta jo Vaupotič in Kobal (2001) opravila v petih slovenskih toplicah je pokazala, da so koncentracije radona v zraku sledeče: Čatež (od 73 do 179 Bq m^{-3}), Podčetrtek (od 37 do 117 Bq m^{-3}), Moravci (od 25 do 57 Bq m^{-3}), Rogaška Slatina (od 15 do 279 Bq m^{-3}) in Radenci (od 24 do 168 Bq m^{-3}). Prav tako je bila na geološko različnih delih Slovenije opravljena raziskava v desetih vodnih zajetjih, kjer so bile koncentracije radona v zraku od 40 do 2600 Bq m^{-3} (Vaupotič, 2002).

Poročilo UNSCEAR (2006) navaja za Slovenijo povprečno srednjo vrednost koncentracije radona v zraku za bivalno okolje 87 Bq m^{-3} ter geometrično srednjo vrednost 60 Bq m^{-3} .

2.6 Učinki radona in njegovih razpadnih produktov

Radon vdihnemo in izdihnemo skupaj z zrakom in je kot tak zanemarljivo škodljiv, saj se zaradi sorazmerno dolge razpolovne dobe v pljučih preobrazi le manjše število radonovih jeder. Tako je prispevek k celotni dozi zaradi dihanja radona zelo majhen. Škodljivi pa so njegovi kratkoživi razpadni produkti - kovinski aerosoli. Ti z dihanjem vstopijo v naše dihalne poti. Večino jih izdihamo, del pa se jih usede na stene. Energija, ki se sprošča pri njihovih radioaktivnih preobrazbah, se absorbira v bližnjem tkivu in poškoduje pljučne celice. Najbolj nevarna sta ^{218}Po in ^{214}Po , ki sta sevalca α , in sicer z energijama 6,00 in 7,69 MeV (Nero, 1988; Kranrod in sod., 2009; ICRP, 1994a; James, 1988). Seveda tudi iz vsakega jedra ^{214}Pb in ^{214}Bi nastane jedro ^{214}Po , kar pomeni, da moramo tudi njima pripisati energijo 7,69 MeV. Energija, ki jo RnDP ob razpadu prenesejo na okoliško tkivo, poveča tveganje za nastanek pljučnega, kožnega in ledvičnega raka ter rakavih obolenj pri otrocih (Bell, 2007).

Pomembno je, da se zavedamo škodljivosti sevanja radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov v bivalnem in delovnem okolju, kjer preživimo največ časa. Skupaj ti radionuklidi prispevajo več kot polovico (1,15 mSv) k celotni letni efektivni dozi (2,40 mSv), ki jo v povprečju človek prejme zaradi izpostavljenosti vsem naravnim virom ionizirajočega sevanja (UNSCEAR, 2000). S slike 2 je razvidno, da je ta delež pri nas 36,50 %, kar je na leto 0,88 mSv (Koželj in sod., 2006).



Slika 2: Delež obsevanosti iz posameznih virov sevanj (Koželj in sod., 2006).

2.7 Dozimetrija radona in njegovih razpadnih produktov

Doze, ki jo prejme pljučno tkivo ter ostali deli telesa pri izpostavitvi radonu in RnDP ne moremo izmeriti. Niti ne moremo izmeriti aktivnosti, ki jo z dihanjem zraka z določeno koncentracijo radona in njegovih produktov vnesemo v telo. Lahko jo samo izračunamo z uporabo matematičnih modelov, ki slonijo na poznavanju fizikalnih (pretok zraka in aerosolov skozi cevi, depozicija aerosolov, radioaktivna preobrazba, pot delcev in njihova absorpcija v tkivu, difuzija radionuklidov v tkivu) in fizioloških (obnova celic, gibanje cilij, fagocitiranje) procesov v pljučih. Za izračun doz potrebujemo dozne pretvorbene faktorje (DCF), ki nam vdihano aktivnost ali vdihano energijo α pretvorijo v dozo. Vdihano aktivnost podajamo v enotah $Bq\ m^{-3}\ h$, vdihano energijo α pa v enotah WLM (working level month: izpostavljenost koncentraciji WL en mesec, 170 ur). Tako imajo dozni pretvorbene faktorji bodisi enoto mSv $(Bq\ m^{-3}\ h)^{-1}$ ali mSv WLM⁻¹.

2.7.1 Dozni pretvorbene faktor

Dozne pretvorbene faktorje dobimo z epidemiološkimi raziskavami (DCF_E), ali pa jih izračunamo z uporabo dozimetričnih modelov (DCF_D).

Epidemiološki pristop temelji na raziskavah radona in njegovih razpadnih produktov v rudnikih uranove, kositrne in železove rude. Raziskovali so, kako vpliva izpostavljenost različnim koncentracijam radona v zraku, od nekaj WLM pa do več 1000 WLM, na več kot 68.000 rudarjih (Stather, 2004). Pri tem so koncentracijo celotne potencialne energije α izražali v enotah WLM, pri čemer je 1 WLM (working level month) energija, ki jo vnesemo v telo (pljuča) če 1 mesec (170 delovnih ur) dihamo zrak, v katerem je koncentracija radonovih razpadnih produktov enaka 1 WL ($1,28 \cdot 10^8 \text{ MeV m}^{-3}$) (Nero, 1988). Poleg tega so opravili ogromno raziskav tudi na ljudeh, ki so preživeli bombni napad v Hirošimi na Japonskem ter na živalih v glavnem v ZDA in v Franciji (Stather, 2004). Da bi ovrednotili izpostavljenost radonu in njegovim razpadnim produktom v bivalnem okolju, so morali te izsledke ekstrapolirati na nižje koncentracije.

Na osnovi rezultatov vseh, do sedaj opravljenih, epidemioloških raziskav Mednarodna komisija za zaščito pred sevanji (ICRP 65 – International Commission for Radiological Protection) priporoča vrednosti doznih pretvorbenih faktorjev DCF_E za izračun doz, in sicer 5 mSv WLM^{-1} za delovno okolje in 4 mSv WLM^{-1} za bivalno okolje (ICRP, 1994a). Prav tako tudi priporoča, da v primeru, ko imamo na razpolago koncentracijo radona in ne koncentracije radonovih razpadnih produktov, vzamemo za ravnotežni faktor F vrednost 0,40 in s tem pretvorimo koncentracijo radona v energijo α , potrebno za izračun doze.

Poleg ICRP so še nekatere druge organizacije, ki dajejo priporočila za dozne pretvorbene faktorje DCF_E . Te so: NAS (National Academy of Science), NRC (National Research Council), IAEA (International Atomic Energy Agency), WHO (World Health Organization), ILO (International Labour Organization) in UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Po teh priporočilih sprejmejo posamezne države svoje priporočene vrednosti.

Dozimetričen pristop sta razvila Brichall in James (1994) in pri tem uporabila novi model pljuč iz publikacije ICRP–66 (1994b), ki obravnava pljuča kot sistem cevi, skozi katere se pretaka zrak skupaj z aerosoli. Na voljo je nekaj matematičnih modelov, s katerimi izračunamo posedanje ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi in ^{214}Po v različnih vejah pljuč, v odvisnosti od koncentracije ter velikostne porazdelitve aerosolov in od hitrosti dihanja. Z upoštevanjem difuzije teh radionuklidov v tkivu, čiščenje zaradi gibanja cilij in fagocitiranja, dosega delcev α v tkivu in njihove energije izračunamo dozne pretvorbene faktorje za vsak radionuklid, in sicer v odvisnosti od njihove velikostne porazdelitve. Pokazalo se je (Marsh in Brichall, 2000; Brichall in James, 1994), da k doznemu pretvorbenemu faktorju največ prispevajo nevezani radionuklidi, in sicer velja med slednjimi empirična zveza (Marsh in Brichall, 2000):

$$DCF_D = 11,35 + 0,43 \cdot f_{un} \quad (16)$$

Z upoštevanjem sevalnega utežnega faktorja $w_R = 20$ za delce α ter utežnega faktorja tkiva $w_T = 0,12$ za pljuča, je izračunani DCF_D med 8 in 33 mSv WLM^{-1} , s srednjo vrednostjo okoli 15 mSv WLM^{-1} , kot najboljšo oceno za bivalno okolje.

Poleg tega je Porstendörfer (1996) izpeljal za velikost nevezanih razpadnih produktov velikosti 0,8 nm naslednji empirični enačbi za izračun DCF_D , in sicer posebej za dihanje skozi usta (DCF_{Dm}) in dihanje skozi nos (DCF_{Dn}):

$$DCF_{Dm} = 101 \cdot f_{un} + 6,7 \cdot (1 - f_{un}) \text{ za usta,} \quad (17)$$

$$DCF_{Dn} = 23 \cdot f_{un} + 6,2 \cdot (1 - f_{un}) \text{ za nos}$$

DCF_{Dm} uporabljamo za težko fizično delo, DCF_{Dn} pa za vse ostale aktivnosti, tudi za počitek in spanje. Porstendörferjevo enačbo uporabljam tudi v tej diplomski nalogi za izračun DCF_{Dn} iz izmerjenih vrednosti f_{un} .

2.7.2 Izračun doz

Da bi prikazala kakšne so razlike med efektivnimi dozami, ki jih dobimo na osnovi merjenj z različnimi tehnikami in metodami, sem efektivno dozo (E) računala na tri različne načine. Ob poznavanju časa izpostavljenosti (t) ter izmerjenih podatkov sem pri vseh treh načinih uporabljala vedno isto enačbo (Nero, 1988; Vaupotič in sod., 2007):

$$E = \frac{C_{Rn}}{3700} \cdot F \cdot \frac{t}{170} \cdot DCF \quad (18)$$

Tu je C_{Rn} povprečna koncentracija radona ($Bq\ m^{-3}$) v času t (h), ko dihamo zrak s to koncentracijo; F je ravnotežni faktor, za katerega sem vzela vrednost 0,40, kot jo priporoča ICRP, oziroma vrednost, ki sem jo izmerila; DCF je dozni pretvorbeni faktor, ki sem ga kot DCF_E povzela po ICRP-65 (ICRP, 1994a), in sicer vrednost $4\ mSv\ WLM^{-1}$ za domove in $5\ mSv\ WLM^{-1}$ za delovne prostore, ali pa sem ga izračunala kot DCF_{Dn} po Porstendörferjevi formuli (17) (Porstendörfer, 1996), na osnovi meritev f_{un} ; 170 je število ur izpostavljenosti na delovni mesec; 3700 nam služi za pretvorbo enot WLM v J .

Koncentracijo radona sem vedno dobila s kontinuiranimi meritvami z merilnikom EQF 3020–2, medtem ko sem za druge parametre uporabila tri različne vire, in sicer:

- način: izmerjen C_{Rn} ($Bq\ m^{-3}$)
 priporočen $F = 0,40$ (ICRP-65)
 priporočen $DCF = DCF_E = 5\ mSv\ WLM^{-1}$ ali $4\ mSv\ WLM^{-1}$

$$E = \frac{C_{Rn}}{3700} \cdot 0,4 \cdot \frac{t}{170} \cdot 5 \text{ ali } E = \frac{C_{Rn}}{3700} \cdot 0,4 \cdot \frac{t}{170} \cdot 4$$

S tem načinom dobimo najbolj grobo oceno doze, saj imamo izmerjeno le C_{Rn} , vrednosti F in DCF pa sem povzela po ICRP-65 (ICRP, 1994a).

2. način: izmerjen C_{Rn} (Bq m⁻³)
 izmerjen F
 priporočen $DCF = DCF_E = 5 \text{ mSv WLM}^{-1}$ ali 4 mSv WLM^{-1}

$$E = \frac{C_{Rn}}{3700} \cdot F \cdot \frac{t}{170} \cdot 5 \text{ ali } E = \frac{C_{Rn}}{3700} \cdot F \cdot \frac{t}{170} \cdot 4$$

Ta doza je bliže realni vrednosti, saj ni izmerjen samo C_{Rn} , temveč tudi F .

3. način: izmerjen C_{Rn} (Bq m⁻³)
 izmerjen F
 izmerjen f_{un}
 izračunan $DCF = DCF_{Dn}$ (po formuli 18)

$$E = \frac{C_{Rn}}{3700} \cdot F \cdot \frac{t}{170} \cdot DCF_{Dn}$$

To je najbolj realna ocena doze, kjer so izmerjene vse količine.

Na podlagi teh treh načinov sem izračunala efektivne doze, upoštevajoč različne izmerjene oziroma priporočene vrednosti parametrov. Tako bom ocenila prednosti, ki nam jih nudijo uporabljeni merilniki v naši želji, da bi bile efektivne doze, ki jih izračunamo iz izmerjenih podatkov, čim bliže vrednostim, ki jih dejansko prejmejo osebe v nekem prostoru.

2.8 Pravni red

Pri nas področje radona obravnavata dva predpisa, ki so ju sprejeli na osnovi priporočil mednarodnih organizacij za varstvo pred sevanji (UNSCEAR, 2000; ICRP, 1994a; BSS, 2000) in opravljenih raziskav radona v bivalnem in delovnem okolju v Sloveniji (*Ur.l. RS, št. 49/2004; Ur.l. RS, št. 115/2003*):

- *Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih, ki določa da koncentracija radona naj ne bo višja od 400 Bq m⁻³ (Ur.l. RS, št. 49/2004).*
- *Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Ur.l. RS, št. 115/2003).*

Mejna efektivna doza zaradi izpostavljenosti radonovim in toronovim razpadnim produktom je 6 mSv na leto za posameznike iz prebivalstva in delavce, ki med svojim delom niso izpostavljeni še drugim virom ionizirajočega sevanja (*Ur.l. RS, št. 115/2003*).

3 EKSPERIMENTALNI DEL

Meritve sem izvajala od septembra do decembra 2008, ko pričakujemo, da so koncentracije radona višje. Raziskavo sem zasnovala tako, da sem najprej izmerila trenutne koncentracije radona s scintilacijskimi celicami na 14 merilnih mestih. Kasneje sem na treh izbranih prostorih nadaljevala s kontinuiranimi meritvami: koncentracije Rn in RnDP, F , f_{un} , temperature ter relativne vlažnosti zraka. Te meritve so mi omogočili kontinuirani merilniki EQF 3020–2.

3.1 Merilne tehnike

Trenutne koncentracije radona sem merila z alfa-scintilacijskimi celicami, časovni potek koncentracij radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov, ravnotežnega faktorja in deleža nevezanih produktov ter temperature in relativne vlažnosti zraka pa z merilniki EQF 3020–2.

3.1.1 Alfa scintilacijska tehnika

Alfa scintilacijske celice, imenovane tudi Lucasove celice, ki jih uporabljajo že več kot štiri desetletja, so bile ena prvih metod za merjenje radona. Z njimi merimo trenutno koncentracijo celokupne aktivnosti alfa ^{222}Rn .

Celice so iz različnih materialov, so različnih oblik in velikosti. Pri svojem delu sem uporabljala celice, izdelane na Inštitutu Jožef Stefan, katerih prostornina je 700 cm^3 in premer ploskve 7,5 cm. Celice so v obliki valja iz bakrene pločevine, debeline 5 mm, ki je na notranji strani celice prevlečena s scintilatorjem cinkovim sulfidom, aktiviranim s srebrom. Vzorec zraka zajamemo v celico tako, da ga z ročno ali električno črpalko, priključeno na eno od cevk na vrhu celice, preprihmo skozi celico; pri tem je prostornina preprihanega vzorca vsaj petkratni mnogokratnik prostornine celice. Celico z vzorcem zapremo in aktivnost izmerimo po treh urah, ko se vzpostavi v njej radioaktivno ravnotežje. Delci alfa, ki nastanejo pri α -preobrazbah radona, ^{218}Po in ^{214}Po , ob trku s scintilatorjem izsevajo svetlobo z valovno dolžino okoli 600 nm. Spodnji del valja je zaprt s pleksi-steklom, ki služi za optični stik s fotopomnoževalko, ki svetlobne signale pretvori v električne, ki jih preštejemo v scintilacijskem števcu PRM 145 (slika 3) (AMES, 2000).



Slika 3: Alfa scintilacijski števec PRM 145 (AMES, 2000).

Po končanih meritvah sem celice očistila s prepihanjem zunanega zraka skozi celice z ročno tlačilko. Celice lahko prepihamo tudi z dušikom, kar je učinkovitejše, saj vsebuje dušik zelo nizke koncentracije radona. Pred vnovično uporabo sem celicam izmerila ozadje (30 min), saj ima vsaka celica določen delež aktivnosti tudi po čiščenju in ta lahko vpliva na naslednjo meritev (Vaupotič in sod., 1992).

Scintilacijski števec po končanih meritvah na zaslonu izpiše rezultate v sunkih na minuto (imp min^{-1}) ali Bq m^{-3} . Iz števila sunkov, prešteti na števcu, sem izračunala koncentracijo radona po naslednji enačbi:

$$C_{\text{Rn}} = \frac{\frac{n_s}{t_s} - \frac{n_b}{t_b}}{60 \cdot b \cdot e^{-\lambda \cdot t}} \quad (19)$$

v kateri je C_{Rn} koncentracija radona v vzorcu zraka (Bq m^{-3}), n_s in n_b sta število sunkov pri merjenju vzorca (s) in ozadja (b), t_s in t_b pa časa (v minutah) merjenja vzorca oziroma ozadja. Občutljivost (izkoristek) alfa scintilacijske celice je označen z b in podan v enotah $\text{s}^{-1} \text{Bq m}^{-3}$. Čas, ki ga opravimo med polnjenjem vzorca v scintilacijsko celico in meritvijo aktivnosti upoštevamo s triurno zakasnitvijo, označimo s t (h). $t_{1/2}$ je razpolovni čas radona in je enak 91,68 h oziroma 3,82 dneva. Spodnja meja zaznavnosti (LLD) je bila okrog 15Bq m^{-3} .

3.1.2 Merilnik EQF 3020–2

Merilnik EQF 3020–2 (Sarad, 2009) (slika 4) vsaki 2 uri po 6 minut črpa zrak pri pretoku $2,4 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ preko filtra za odstranjevanje grobih prašnih delcev in preko kovinske mrežice, ki ločuje aerosole manjše od 50 nm (nevezani RnDP), od večjih (vezani RnDP). Merilnik ima dva polprevodniška detektorja, ki analizirata vsako frakcijo posebej. Sunke šteje v treh zaporednih in različno dolgih intervalih, ki skupno trajajo 110 minut ter po metodi Markova (Markov,1962) izračuna in poda posebej koncentracije za ^{218}Po , ^{214}Pb in ^{214}Bi v nevezani in posebej v vezani obliki. Poleg tega izračuna in poda ravnotežni faktor med radonom in njegovimi kratkoživimi produkti ter koncentracijo potencialne α -energije razpadov, in sicer poleg skupne tudi posebej za vezano in nevezano obliko produktov. Meri tudi temperaturo in relativno vlažnost zraka.

Izmerjeni podatki se shranijo v pomnilniku merilnika, iz katerega sem jih občasno prenesla na osebni računalnik za kasnejšo obdelavo. Za obdelavo podatkov sem uporabljala program Excel.

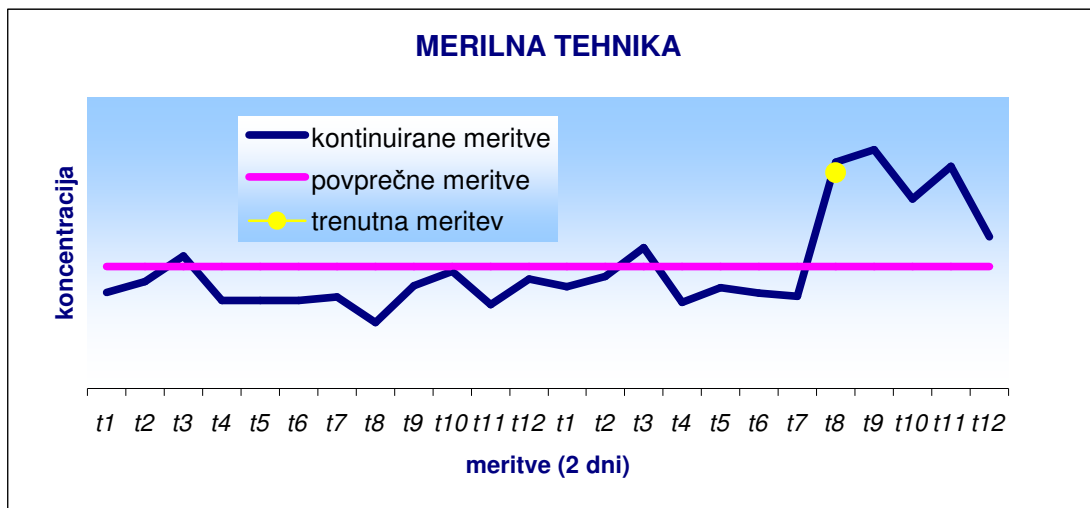
Iz izmerjenih podatkov sem izračunala povprečne vrednosti merjenih parametrov za celotno 3-tedensko obdobje meritev ter za določena časovna obdobja (dnevna povprečja, povprečja za delovni čas). Iz podatkov o nevezanih in vezanih RnDP sem izračunala f_{un} .



Slika 4: Merilnik EQF 3020–2 (SARAD, 2009).

3.1.3 Shematična ponazoritev rezultatov različnih merilnih tehnik

Zaradi lažjega razumevanja in boljše predstave uporabljenih merilnih tehnik, jih ponazarjam na sliki 5. Trenutno meritev koncentracije radona, katero prikazuje rumena pika na sliki 5, lahko izmerimo s scintilacijskimi celicami. Kontinuirane meritve predstavlja modra črta. Te lahko izmerimo s kontinuiranim merilnikom EQF 3020–2 ali z ionizacijskim merilnikom AlphaGUARD. Rožnato črto predstavljajo povprečne meritve, ki jih lahko izmerimo z detektorjem jedrskih sledi.



Slika 5: Prikaz različnih tehnik merjenja R_n in R_nDP . Te se delijo na kontinuirane, povprečne in trenutne meritve. Čas merjenja je 2 dni, meritev pa je označena vsaki 2 uri s t_1, t_2, t_3 itd.

3.2 Merilna mesta in potek meritev

Meritve so si sledile v naslednjem vrstnem redu:

1. Prve meritve sem izvajala z alfa scintilacijskimi celicami, s katerimi sem dobila trenutno koncentracijo radona (C_{Rn}). Koncentracijo sem izmerila v 11 bivalnih zgradbah (hiše, bloki), od katerih imata dve zgradbi vsaka delovni prostor ter 3 delovnih zgradbah:
 - Žalec (pet stanovanjskih hiš, poslovna zgradba ter stanovanjska hiša s poslovnim prostorom),
 - Petrovče (stanovanjska hiša s poslovnim prostorom),
 - Šentjur (poslovna zgradba),
 - Velenje (stanovanjski blok, poslovna zgradba),
 - Šešče (dve stanovanjski hiši),
 - Šempeter (stanovanjska hiša).

Ta področja sem izbrala glede na geologijo tal in tip naselja. Zanimalo me je, kakšna je razlika v koncentraciji na različnih geoloških podlagah ter razlika v koncentracijah, merjenih v mestu ali na podeželju. S scintilacijsko tehniko sem si pomagala do rezultatov, ki so mi služili pri nadaljevanju in izbiri mest merjenih s kontinuiranim merilnikom.

2. Izbrala sem takšna merilna mesta, kjer je bila koncentracija najvišja. Vzrok temu je vidnejši potek sprememb v nihanju koncentracije radona in RnDP. Izmed vseh izmerjenih prostorov na 14 mestih sem izbrala: 1 bivalni prostor (kuhinjo) ter 2 delovna prostora (trgovino in pisarno):
 - Žalec (trgovina),
 - Petrovče (pisarna in kuhinja).
3. V teh treh prostorih sem merila vsakodnevne spremembe koncentracije radona (C_{Rn}) in ostalih parametrov: ravnotežni faktor (F), koncentracijo radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), nevezano frakcijo kratkoživih radonovih razpadnih produktov (f_{un}), relativno vlažnost (RH) in temperaturo zraka (T). Meritve sem izvajala s kontinuiranimi merilniki Sarad EQF 3020–2.
4. Rezultate pridobljene z merilniki Sarad EQF 3020–2 sem uporabila pri nadaljnem raziskovanju in izračunu učinkovitih doz. Pri tem so mi celodnevne koncentracije ponazarjale meritev z detektorjem jedrskih sledi (merilna tehnika, ki je najbolj pogosto v rabi), iz kontinuiranih potekov dnevni koncentracij pa sem lahko izračunala koncentracije samo v času prisotnosti ljudi v bivalnih in delovnih prostorih. Primerjala sem celodnevne koncentracije in koncentracije v času prisotnosti (radona in ostalih parametrov), v nadaljevanju pa tudi učinkovite doze, kar je bil ključni del moje raziskave.

3.2.1 Geologija preiskovanega področja in okolice

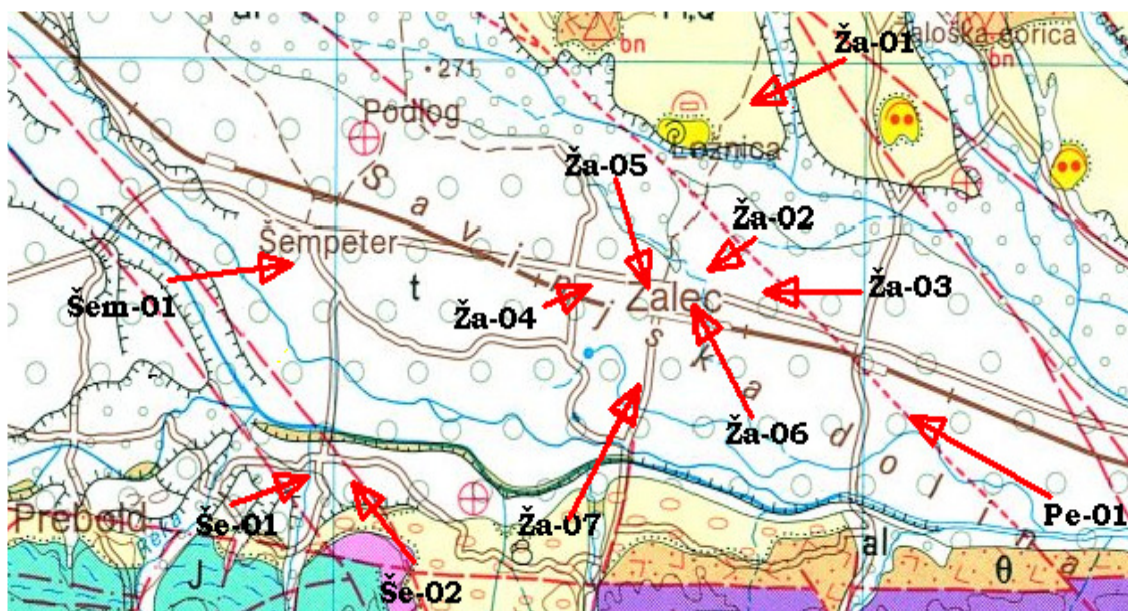
Vzorčenje je potekalo na več mestih: v Žalcu, Velenju, Šentjurju, Šempetru, Petrovčah in v Šeščah. Vsako merilno mesto je na izrezanem delu geološke karte prikazano tudi s puščico, kratico mesta in zaporedno številko. Glede na litološko sestavo, sem izbrala merilna mesta na različnih področjih. Na sliki 5 so Žalec, Šempeter, Petrovče in Šešče, na sliki 6 je Šentjur in na sliki 7 Velenje.

3.2.1.1 Žalec, Šempeter, Šešče in Petrovče

Območje Šempetra, Šešč, Žalca ter Petrovč sestavljajo sedimenti iz obdobja plio-pleistocena in pleistocena (slika 6).

Plio-pleistocenski sedimenti se nahajajo na večjem prostoru ob severnem in zahodnem obrobju Celjske kotline. Na podlagi litološke sestave jih po starosti ločimo v spodnji in zgornji del. Spodnji del plio-pleistocena se nahaja v Savinjski dolini južno od Gomilkega in zahodno od Zabukovice. Ti sedimenti predstavljajo stare nanose rek in potokov ter leže danes v višjih delih teras. Plio-pleistocenske naplavine sestavlja debelozrnat prod izključno kisljeh kamenin karbonskega in permskega peščenjaka, keratofirja in diabaza ter rožencev iz triasnih skladov. Zgornji del plio-pleistocena pa se nahaja na severnem in vzhodnem obrobju Savinjske doline. Ti sedimenti predstavljajo v glavnem glino, med katerimi se na različnih globinah pojavljajo tanjši vložki pretežno kisljega proda. Glina je siva in rjavkasta ter precej mastna (Buser, 1977).

Pleistocenski sedimenti se nahajajo na večji površini Savinjske doline. Vrhni del pleistocena predstavljajo rečni sedimenti, ki so pretežno iz karbonatnega proda in peska. Mlada reka Savinja je v svoj prodnati zasip vrezala pet terasnih nivojev, ki niso nikjer konglomerirani. Aluvialni nanos prinašajo vsi ostali potoki in rečice razen Savinje. Večji del nanosa je iz mehkejših kamenin, ki so pretežno peščene in zaglinjene. Debelejše glineno-peščene aluvialne nanose pa dobimo ob Ložnici (Buser, 1977).



Slika 6: Izrez iz osnovne geološke karte. Prikaz merilnih mest, v Žalcu, Šempetru, Petrovčah in Šeščah, s puščico, kratico merilnega mesta in številko (Buser, 1977).

V tabeli 1 sem za vsako merilno mesto v Žalcu, Šempetru, Petrovčah in Šeščah, ki je označeno s puščico in kodo na sliki 6, podala obdobje in plasti pod zgradbo.

Tabela 1: Obdobje in plasti pod zgradbo merilnih mest v Žalcu, Šempetru, Petrovčah in Šeščah.

| koda merilnega mesta | obdobje in plasti pod zgradbo |
|----------------------|---|
| Ža-01 | plio-pleistocen: glina, prod |
| Ža-02 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Ža-03 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Ža-04 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Ža-05 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Ža-06 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Ža-07 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Pe-01 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Šem-01 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |
| Še-01 | pleistocen: aluvij, pretežno glineno-peščeni, rečni sedimenti v terasah |
| Še-02 | pleistocen: rečni sedimenti v terasah |

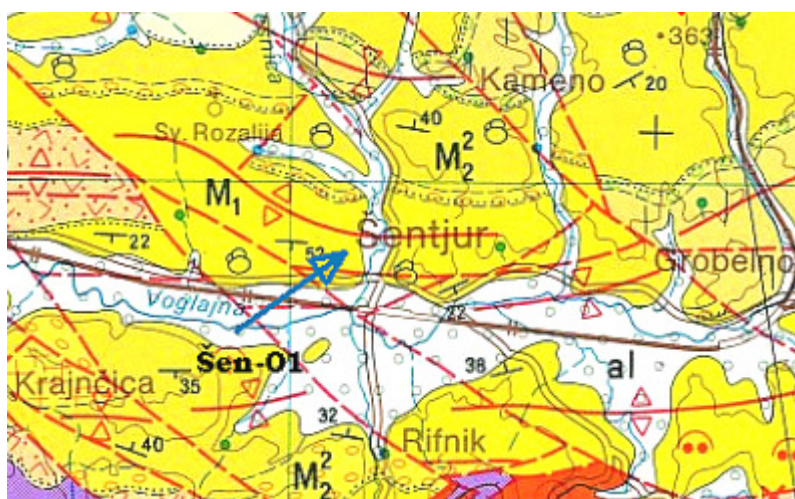
3.2.1.2 Šentjur

Območje Šentjurja sestavljajo sedimenti iz obdobj miocena in pleistocena (slika 7). V miocenu ločimo spodnji del miocena, tortonijsko, sarmatijsko in meotinijsko stopnjo.

Spodnjemiocenske plasti se nahajajo med Šentjurjem ter južno od Šentjurja in so v obliki govških plasti. Te plasti so odložene transgresivno na oligocenskih ali starejših skladih in se v spodnjem delu začenjajo z več metrov debelim horizontom debelozrnatega apnenčevega peščenjaka z odlomki in kopicami litotamnij ter zrnji kremenca. Mnogokrat leži pod tem peščenjakom konglomerat ali nesprijet prod iz prodnikov kremenca, keratofirja in roženca (Buser, 1977).

Tortonijske plasti se nahajajo med Šentjurjem in okolico. Odložene so transgresivno na govških skladih ali starejših plasteh (karbonskih in permskih) in jih pokrivajo že prej nastale pokrovne strukture, ki so nastale z gubanjem in narivanjem. Pod tortonijskimi skladi na govških plasteh se nahajajo v njihovem spodnjem delu bazalni konglomerati, sestavljeni pretežno iz prodnikov kremenca, roženca in keratofirja. Nad konglomeratom sledi nekaj metrov do več deset metrov debel horizont kalkarenita s pogosto primesjo kremenca (odlomki litotamnij in drugi grebenski organizmi) (Buser, 1977).

V okolici Šentjurja se nahajajo tudi sedimenti iz pleistocena, kjer najdemo debelejšše glineno-peščene aluvialne nanose ob reki Voglajni (Buser, 1977).



Slika 7: Izrez osnovne geološke karte. Prikaz merilnega mesta Šentjurja in njegove okolice (Buser, 1977).

V tabeli 2 sem za merilno mesto v Šentjurju, ki je označen s puščico in kodo na sliki 7, podala obdobje in plasti pod zgradbo.

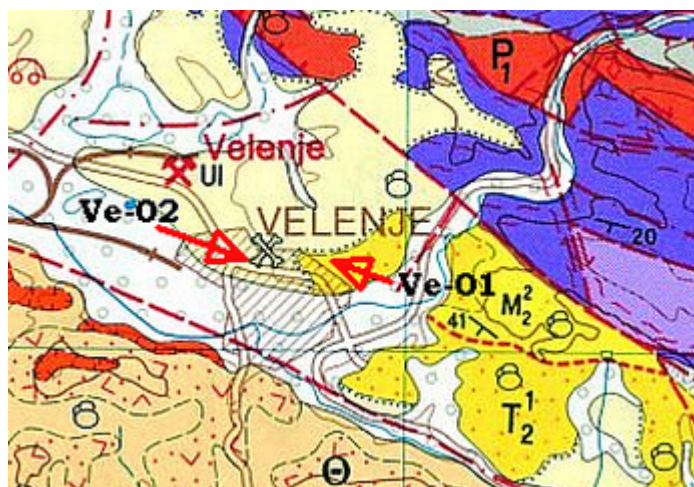
Tabela 2: Obdobje in plasti pod zgradbo merilnega mesta v Šentjurju.

| koda merilnega mesta | obdobje in plasti pod zgradbo |
|----------------------|--|
| Šen-01 | miocen: pesek, lapor, litotamnijiški apnenec |

3.2.1.3 Velenje

Na območju Velenja se pojavljajo na površini predvsem pliokvartarni sedimenti, fluvialnega značaja, ki so sestavljeni iz glinastega proda ter peščene gline (slika 8).

Prodniki so iz metamornih, magmatskih ter karbonatnih kamnin in predstavljajo kamnine v okolici. Med prodniki je glinasto-peščen material, ki se količinsko zelo spreminja. Pod pliokvartarnimi sedimenti ležijo v velenjskem bazenu pliocenske plasti (s premogovnim slojem) in ponekod tudi tortonske plasti (litotamijski peščen apnenec in lapor v okolici Velenja). Prav tako se na območju Velenja pojavlja aluvialni nanos, ki je naplavljen v dolini reke Pake. Sestavljen je iz zelo heterogenega materiala: debelozrnati, srednjezrnati in drobnozrnati prodniki, pesek in peščena glina (Mioč in Žnidaršič, 1972).



Slika 8: Izrez osnovne geološke karte. Prikaz merilnega mesta Velenja in njegove okolice (Mioč in Žnidaršič, 1972).

V tabeli 3 sem za merilni mesti v Velenju, ki sta označeni s puščico in kodo na sliki 8, podala obdobje in plasti pod zgradbo.

Tabela 3: Obdobje in plasti pod zgradbo dveh merilnih mest v Velenju.

| koda merilnega mesta | obdobje in plasti pod zgradbo |
|----------------------|---|
| Ve-01 | srednji trias: anizijski apnenec in dolomit |
| Ve-02 | plio-pleistocen: glina, prod |

3.2.2 Opis in potek meritev z alfa scintilacijskimi celicami

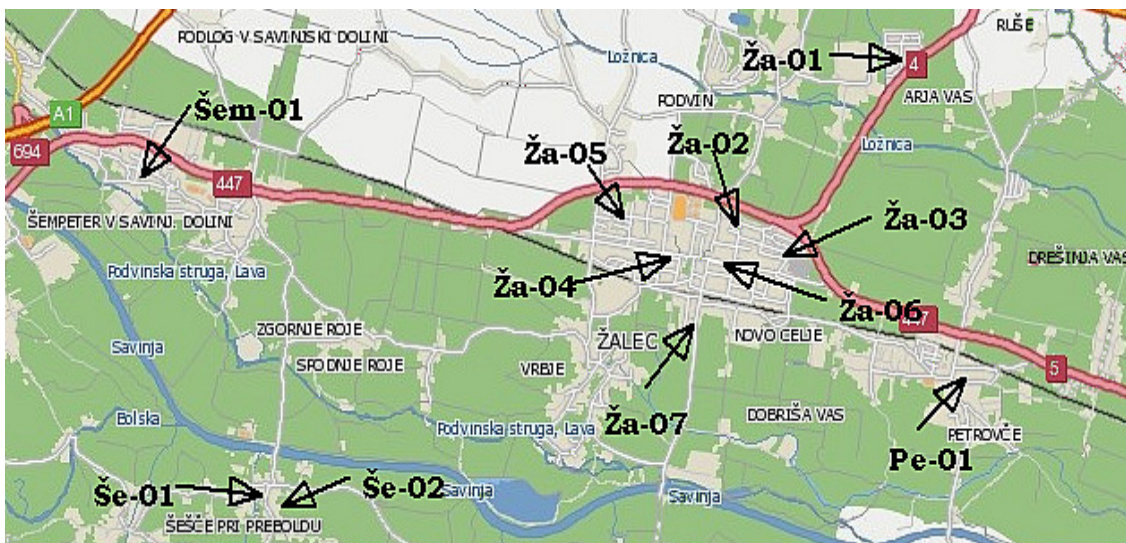
Merilna mesta sem glede na geološko zgradbo tal razdelila na tri območja (slika 9). Kasneje bom vsako območje prikazala s podrobnejšim zemljevidom (slike 10, 11 in 12), na katerem je vsako merilno mesto označeno s kratico mesta ali kraja (npr. Žalec je z Ža) in s številko (01, 02 in tako dalje), saj je bilo v tem mestu ali kraju več merilnih mest. Poleg tega je koda merilnega mesta označena tudi s kraticami, pri čemer pomeni 'D' delovno, 'B' bivalno in 'BD' bivalno-delovno okolje.



Slika 9: Zemljevid merilnih mest, razdeljen na tri glavna območja (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps).

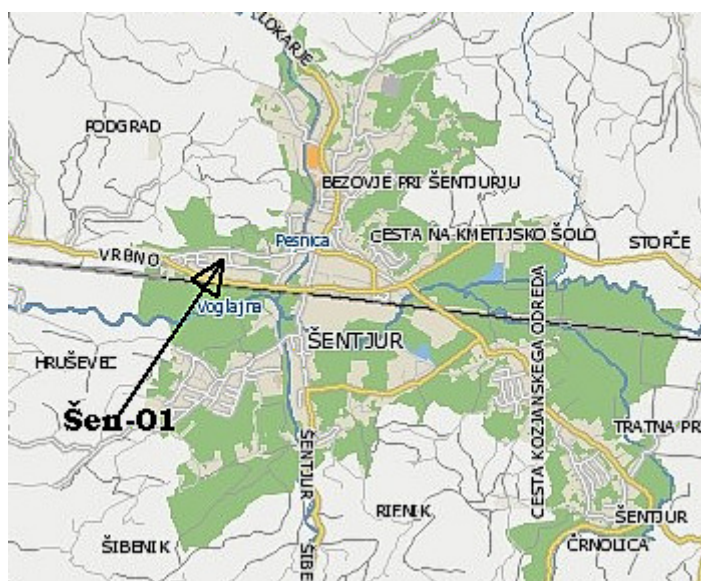
Kratek opis vsake zgradbe, kjer sem izvedla meritve:

- Ža–01D (slika 10): poslovna zgradba v Arnovskem gozdu pri Žalcu: grajena montažno, kar pomeni jeklena konstrukcija, panelne in betonske plošče. Zgradba je mlajše gradnje, zgrajena leta 2006.
- Ža–02B (slika 10): bivalna hiša v mestu Žalec: grajena pretežno iz modularne opeke in betona, stara okoli 50 let.
- Ža–03B (slika 10): bivalna hiša v mestu Žalec: grajena pretežno iz modularne opeke in betona, iz leta 1990.
- Ža–04B (slika 10): bivalna hiša v mestu Žalec: grajena pretežno iz modularne opeke, betona in kamna, iz leta 1958.
- Ža–05B (slika 10): bivalna hiša v mestu Žalec: grajena pretežno iz modularne opeke in betona, iz leta 1990.
- Ža–06BD (slika 10): hiša, v kateri so v zgornjem delu bivalni prostori, spodaj pa so delovni prostori (trgovina, kopirnica): grajena pretežno iz kamna, malte, lesa, peska in nekaj malega opeke ter betona. Stara je okoli 200 let.
- Ža–07B (slika 10): bivalna hiša na obrobju mesta Žalec: pritličje je grajeno iz kamna in betona, nadstropji iz betona, modularne opeke in lesa, iz leta 1939.
- Šem–01B (slika 10): bivalna hiša v kraju Šempeter: grajena pretežno iz modularne opeke in betona, iz leta 1969.
- Pe–01BD (slika 10): bivalna hiša, v kateri je poslovni prostor v kraju Petrovče: podoben način gradnje kot Ža–06BD, iz leta 1845.
- Še–01B (slika 10): bivalna hiša v kraju Šešče: ima temelje in klet iz kamna, vse ostalo je grajeno iz modularne opeke, betona in lesa. Hiša je stara več kot 100 let.
- Še–02B (slika 10): bivalna hiša v kraju Šešče: grajena iz betona in modularne opeke, stara okoli 50 let.



Slika 10: Zemljevid območja 1, označenega s kratico mesta ali kraja in številko merilnega mesta Žalec, Šempeter, Petrovče in Šešče (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps).

- Šen-01D (slika 11): poslovna zgradba v Šentjurju: podoben način gradnje kot Ža-01D ter mlajša gradnja iz leta 1992.



Slika 11: Zemljevid območja 2, označenega s kratico mesta in številko merilnega mesta Šentjur (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps).

- Ve-01B (slika 12): stanovanjski blok v mestu Velenje: grajen iz modularne opeke, EF (elektrofiltrski pepel) opeke, betona, ter železne konstrukcije, iz leta 1963.
- Ve-02D (slika 12): poslovna zgradba na obrobju mesta Velenja: grajena iz modularne opeke, betona ter železne konstrukcije, je mlajša gradnja iz leta 1999.



Slika 12: Zemljevid območja 3, označenega s kratico mesta in številko merilnega mesta Velenje (http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps).

V tabeli 4 so kratki opisi zgradb, v katerih sem izvedla meritve: vrsta zgradbe, nadstropje ter gradbeni materiali.

Tabela 4: Kratak opis merilnih mest: označena so s kodo merilnega mesta, sledi vrsta zgradbe, nadstropje meritve ('K' klet, 'P' pritličje in 'I' prvo nadstropje) in gradbeni materiali.

| koda merilnega mesta | vrsta zgradbe | nadstropje meritve | gradbeni materiali |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Ve-01B | stanovanjski blok | I | opeka, beton, EF opeka |
| Ve-02D | poslovna zgradba | P | opeka, beton |
| Ža-01D | poslovna zgradba | P | montažna gradnja |
| Ža-02B | stanovanjska hiša | P | opeka, beton |
| Ža-03B | stanovanjska hiša | I + P | opeka, beton |
| Ža-04B | stanovanjska hiša | P | opeka, beton, kamen |
| Ža-05B | stanovanjska hiša | P | opeka, beton |
| Ža-06BD | stanovanjska hiša + poslovni prostor | I + P | kamen, opeka, les, malta |
| Ža-07B | stanovanjska hiša | I + P | opeka, beton, les, kamen |
| Pe-01BD | stanovanjska hiša + poslovni prostor | I + P | kamen, malta, les |
| Šen-01D | poslovna zgradba | I + P | montažna gradnja |
| Šem-01B | stanovanjska hiša | I + P + K | opeka, beton |
| Še-01B | stanovanjska hiša | I + P + K | kamen, opeka, beton, les |
| Še-02B | stanovanjska hiša | P + K | opeka, beton |

Meritve sem pričela 29. septembra na merilnem mestu Ža-03B, ko je bilo vreme že bolj jesensko, in s tem nižje temperature ter končala 16. oktobra. V vseh stavbah, v katerih sem uporabljala scintilacijske celice, sem odvzela vzorec zraka v skoraj vseh prostorih v zgradbi. Besedo 'skoraj' omenjam zato, ker sem se osredotočila na prostore v pritličju ter v podkletenih delih zgradbe, kjer pričakujemo višje koncentracije radona. Prav tako sem merila v neprezračenih prostorih.

3.2.3 Opis in potek meritev z merilnikom EQF 3020-2

Na podlagi rezultatov pridobljenih s scintilacijskimi celicami sem izbrala tri prostore, v katerih je bila izmerjena koncentracija radona najvišja. V teh sem nato v obdobju od 22. oktobra do 13. decembra izvedla meritve z dvema merilnikoma EQF 3020-2. To sta bila prostora:

- kuhinja in pisarna, ki sta v isti zgradbi (Pe-01BD) v Petrovčah (slika 10) ter
- trgovina (Ža-06BD) v Žalcu (slika 10).

Prvi merilnik sem za tri tedne (od 22. oktobra do 12. novembra) postavila v trgovino s srebrom v Žalcu (Ža–06BD). 16. novembra sem namestila inštrument v kuhinjo v Petrovčah (Pe–01BD), kjer je meril do 5. decembra. Nato sem ga 19. novembra prenesla v pisarno, kjer je prav tako meril dobre tri tedne, do 13. decembra. S tem dnem sem zaključila.

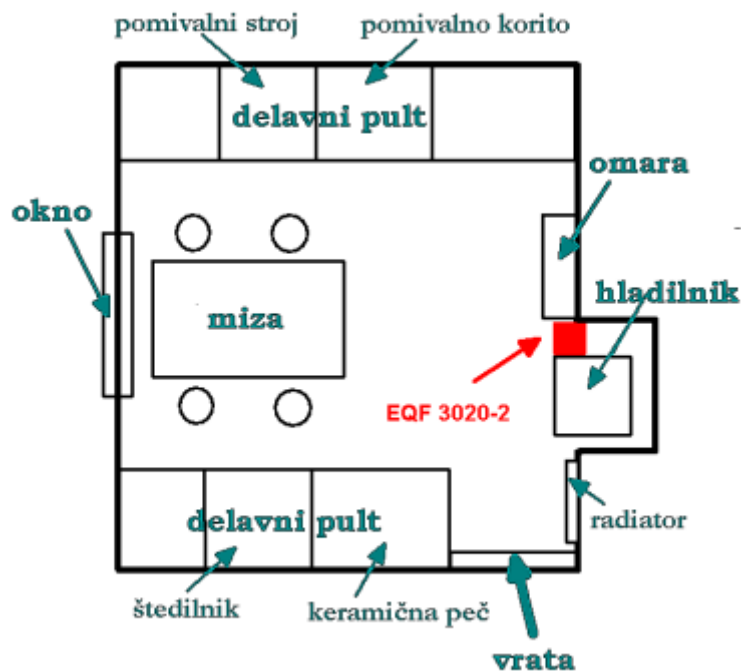
3.2.3.1 Zgradba v Petrovčah (Pe–01)

Hiša v Petrovčah (slika 10), v kateri živi štiričlanska družina, je nepodkletena in zgrajena leta 1845. Del hiše je pritličen, drugi del pa ima prvo nadstropje. Meritve sem izvedla v pritličnem delu, zato sem v nadaljevanju besedila tudi ta del hiše bolj podrobno opisala. Stene v hiši so zidane iz kamna in malte, tla so lesena, pod njimi pa so položeni tramovi ter savski kamni. Pritlični del hiše je bolj ozek a precej dolg (razmak: 12,0 m × 6,0 m). Lesena vhodna vrata (1,4 m × 2,0 m) vodijo v predprostor, ki povezuje na levi pisarno ter na desni kuhinjo in hodnik. Hodnik vodi do ostalih delov hiše, kjer so v pritličju še kopalnica, dve otroški sobi, spalnica in dnevna soba. V I. nadstropju pa so prazni in neuporabljeni prostori. Hiša je pozimi ogrevana na olje, tako da so v vsaki sobi nameščeni radiatorji. V hiši ni klime ali kakšne druge naprave za prezračevanje. To stanovalci opravijo z odpiranjem oken in vrat.

Bivalno okolje (kuhinja)

Kuhinja (razmak: 4,3 m × 3,3 m × 2,4 m) obsega 14,9 m². Razporeditev v kuhinji je sledeča. Levo od lesenih vrat (1,1 m × 1,9 m), ki so vedno na strežaj odprta, je delovni pult (1,4 m × 0,6 m). Pod njim je keramična peč, ki ni nikoli v uporabi, štedilnik s pečico in napa nad njim. Štedilnik in napa sta v vsakodnevni uporabi. Lesen okvir okna (1,4 m × 1,7 m) z zavesami, je na levi strani vrat. Pod oknom stoji lesena jedilna miza (1,2 m × 0,8 m) s štirimi lesenimi stoli. Nasproti kuhinjskih vrat je še en delovni pult, dolg 3,3 m, kjer sta pomivalno korito in pomivalni stroj. Pod delovnim pultom so leseni kuhinjski elementi (omarice in predalniki). Omarice so pritrjene tudi na steno nad pultom. Stena nasproti okna ima nišo (0,7 m × 0,9 m × 1,9 m), v kateri je hladilnik (0,6 m × 0,6 m × 0,9 m) in nekaj polic. Levo od hladilnika je na tej steni še lesena omara ter radiator desno od njega. Po kuhinji je položen topli pod.

Merilni inštrument EQF 3020–2 sem postavila v majhen prostor zraven hladilnika (slika 13). Če gledamo proti oknu, je merilnik stal desno od hladilnika na tleh, kjer je bilo največ prostora in ni oviral dogajanja v kuhinji. Prav tako ga nisem smela postaviti preblizu oken ali vrat, saj bi zračenje, odpiranje vrat in oken, povzročilo upad koncentracij radona. Merilnik je bil ves čas merjenja na istem mestu, oddaljen od vrat približno 2,0 m in od okna 3,5 m.

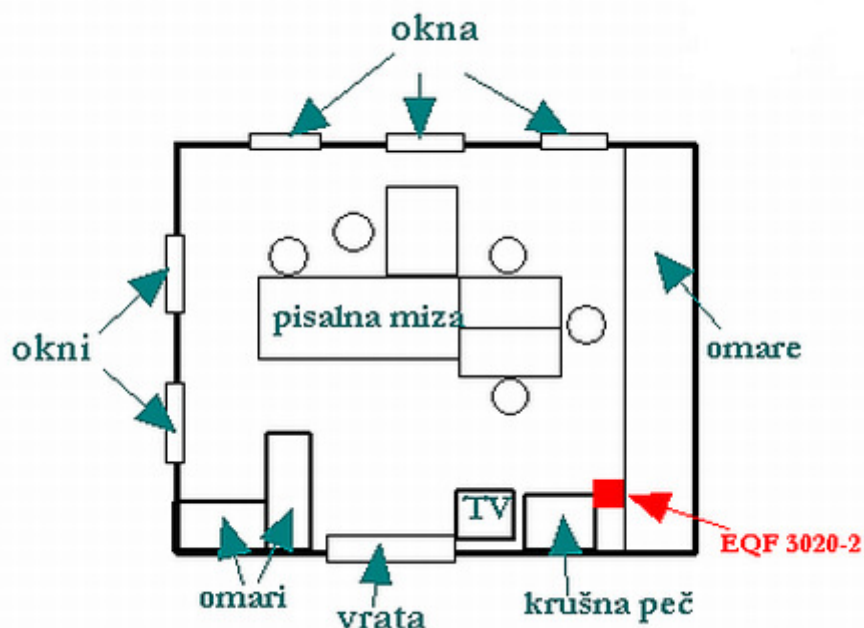


Slika 13: Shematski prikaz kuhinje v Petrovčah in prikaz mesta, kjer je inštrument EQF 3020–2 stal.

Delovno okolje (pisarna)

Pisarna (4,1 m × 5,2 m × 3,2 m) leži levo od vhodnih vrat iste hiše v Petrovčah (slika 10), ki sem jo že opisala. Ima pet majhnih lesenih oken z zavesami, ki so identična in enako velika (0,7 m × 1,0 m). Na tleh pisarne je preproga. Levo od vrat stojita leseni omari visoki 2,0 m. Stena, prav tako levo od vrat, ima dve okni, pod njima pa je po celotni dolžini stene pritrjen nizek radiator. Stena nasproti vrat ima tri okna in prav tako nizek radiator po celotni dolžini stene. Na steni desno od vrat so lesene omare ter omare s steklenimi vrati, ki segajo od začetka do konca stene.

Pisalna miza se nahaja v levi zgornji polovici sobe. Inštrument sem postavila na tla desno od vrat med omare in krušno peč, ki ni v uporabi (slika 14). Ves čas merjenja je bil inštrument na istem mestu. Oddaljenost od vrat do inštrumenta je bila približno 1,5 m in od oken 3,5 m.



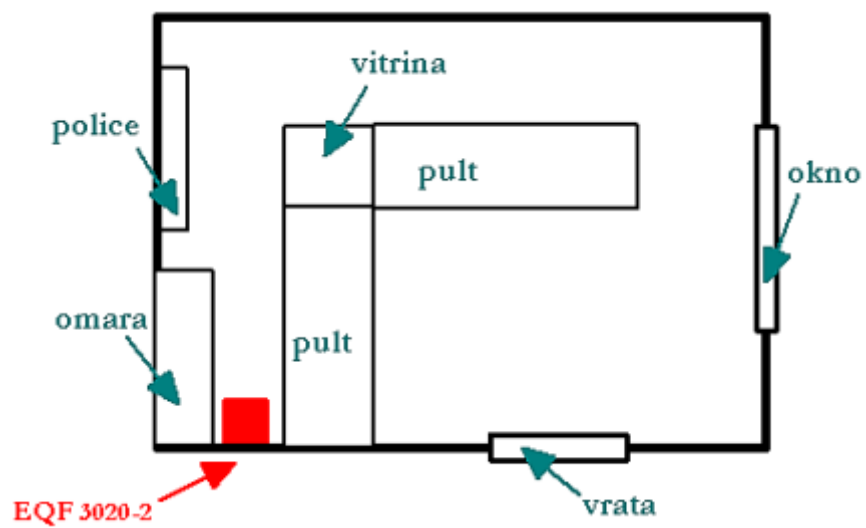
Slika 14: Shematski prikaz pisarne v Petrovčah in prikaz mesta, kjer je inštrument EQF 3020–2 stal.

3.2.3.2 Zgradba v Žalcu (Ža–06)

Trgovina s srebrom je v hiši starega mestnega jedra v Žalcu (slika 10). Hiša je vrstna, enonadstropna, stara okoli 200 let. Stene hiše so grajene iz kamna in malte, tla pa iz lesa, slame, malte in peska. V pritličju se nahajajo poslovni prostori, trgovina ter grafična delavnica. V prvem nadstropju pa so bivalni prostori. Vhodna vrata hiše so iz masivnega lesa in vodijo na hodnik. Na levi strani hodnika so vrata do grafične delavnice. Desno so lesena vrata (1,4 m × 1,8 m), kjer se nahaja trgovina. Naravnost so vrata, ki vodijo v zgornje prostore. Hiša je delno podkletena.

Delovno okolje (trgovina)

Trgovina je velika 4,4 m × 3,4 m × 2,5 m. Po tleh so položene ploščice. Desno od vrat je leseno okno (1,6 m × 1,3 m) in služi kot izložba za nakit. Lesen pult v obliki črke L ima vgrajeno vitrino za nakit. Za pultom so levo od vrat še omara ter police. Merilec radona je bil ves čas na istem mestu, postavljen med omaro in pultom ter oddaljen od vrat približno 1,2 m. Postavila sem ga na varno mesto na tleh, saj je tam najmanj motil dogajanje v trgovini (slika 15).



Slika 15: Shematski prikaz trgovine v Žalcu in prikaz mesta, kjer je inštrument EQF 3020–2 stal.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Trenutne koncentracije radona in efektivne doze na osnovi meritev s scintilacijskimi celicami

Trenutne koncentracije radona, ki sem jih dobila v bivalnih in delovnih prostorih (glej slike 10, 11, in 12) s scintilacijskimi celicami, podajam v tabeli 5. V prvem stolpcu navajam za vsako od 14 zgradb v prvi vrstici kodo zgradbe, nato v naslednjih vrsticah sledijo prostori v katerih sem izvedla meritve. V drugem stolpcu so nadstropja (označena s kraticami) v katerih se nahajajo prostori, kjer sem izvedla meritve. V tretjem stolpcu je navedeno število vseh merjenih prostorov v zgradbi. V četrtem stolpcu so najvišje izmerjene trenutne koncentracije v zgradbi ' $C_{Rn} MAX$ ' (v $Bq m^{-3}$), v petem povprečne koncentracije radona ' $C_{Rn} AV$ ' v zgradbi ter trenutne koncentracije radona po prostorih ' $C_{Rn} PR$ '. Koncentracije, označene z zvezdico (*), so povprečje vseh prostorov v zgradbi. V šestem stolpcu je ocena deleža časa, v katerem se oseba zadržuje v posameznem prostoru, v sedmem pa so letne efektivne doze ' E ' ($mSv a^{-1}$). Efektivne doze podajam najprej na osnovi povprečne koncentracije radona v zgradbi (' $C_{Rn} AV$ ') in so označene z zvezdico (*). Pod dozami označenimi z zvezdico, so doze, ki so podane po posameznih prostorih in so izračunane na osnovi ' $C_{Rn} PR$ ' glede na delež časa prisotnosti, na koncu pa je njihova vsota (Σ).

Ker sem v zgradbah iskala morebitne povišane koncentracije radona, sem izmerila koncentracijo radona tudi v tistih prostorih, ki zaradi kratkega časa zadrževanja stanovalcev za oceno doz niso pomembni, so pa lahko pokazatelj stanja radona (kot na primer: garaže, kleti, stranišča, kopalnice). V tabeli 5 v glavnem podajam le koncentracije radona za bivalne in delovne prostore, kjer stanovalci preživijo največ časa (spalnice, dnevni prostori, kuhinje). Ostali prostori so vključeni le v primerih, ko se tam stanovalci zadržujejo znaten del časa (delavnice, pisarne). V povprečju sem v posamezni zgradbi izmerila radon v 5 prostorih.

V večini zgradb so bile trenutne koncentracije radona nizke in so le redko presegle 50 $Bq m^{-3}$. Najvišje koncentracije sem izmerila v zgradbah v Velenju, Žalcu in Petrovčah (tabela 5 in priloge A, B in C) s kodami Ve-01B, Ža-03B, Ža-06BD in Pe-01BD, in sicer:

- Zgradba s kodo Ve-01B ima najvišjo koncentracijo 229 $Bq m^{-3}$ v kleti. Vzrok je gradbeni material (elektrofiltrski pepel) (glej tabelo 4), slabša kakovost gradnje, starost zgradbe ter geološka podlaga, ki je pretežno iz apnenca in dolomita (glej sliko 8 in tabelo 3).
- V zgradbi Ža-03B, ki je novogradnja, je bila najvišja izmerjena koncentracija radona (597 $Bq m^{-3}$), v stranišču, ki je v pritličju. Hiša ni podkletena, zato ima pritličje neposreden stik s podlago. Odtok iz stranišča vodi v zemljo, sama geološka podlaga (glej sliko 6 in tabelo 1), ki je pretežno iz rečnih sedimentov (karbonski prod in pesek), pa je dobro prepustna za radon. V preostalih prostorih hiše so bile koncentracije nižje, v območju od 7 do 90 $Bq m^{-3}$.

- Zgradba Ža-06BD je stara okrog 200 let, grajena pretežno iz kamna in opeke (glej tabelo 4) ter stoji na tleh, ki so prepustnejša za radon zaradi enakega razloga kot zgradba Ža-03B (glej sliko 6 in tabelo 1). Koncentracije radona so bile v vseh prostorih povišane, v območju od 210 do 360 Bq m⁻³.
- Podobna zgradba je Pe-01BD, ki je stara več kot 160 let, grajena iz kamna in malte (tabela 4) in leži na prepustni podlagi (isti vzrok kot pri Ža-06BD in Ža-03B) (glej sliko 6 in tabelo 1). Koncentracije radona so bile v območju od 90 do 310 Bq m⁻³.

Za nadaljnje meritve s kontinuiranimi merilniki sem izbrala zgradbi s kodama Pe-01BD (kuhinja in pisarna) in Ža-06BD (trgovina), ki sta imeli najvišje trenutne koncentracije radona.

Tabela 5: Koncentracije radona C_{Rn} in efektivne doze E v 14 zgradbah: C_{Rn} MAX je najvišja in C_{Rn} AV povprečna koncentracija radona v zgradbi (označena z *), C_{Rn} PR je koncentracija radona po prostorih, sledi povprečna efektivna doza (označena z *), efektivna doza po posameznih prostorih ter vsota posameznih efektivnih doz (označena z Σ): za točno definicijo glej besedilo.

| koda prostor | nadstropja- zgradba nadstropje- prostor | število merjenih prostorov | C_{Rn} MAX zgradbe (Bq m ⁻³) | C_{Rn} AV zgradbe * C_{Rn} PR prostorov (Bq m ⁻³) | delež časa | E (mSv a ⁻¹) |
|----------------------|--|----------------------------------|--|---|---------------|-------------------------------|
| Ve-01B | I | 6 | 229 | 79* | 1 | 0,82* |
| spalnica | I | | | 53 | 0,46 | 0,25 |
| kuhinja | I | | | 75 | 0,20 | 0,16 |
| kopalnica | I | | | 52 | 0,04 | 0,02 |
| dnevna soba | I | | | 57 | 0,30 | 0,18 |
| | | | | | | Σ 0,61 |
| Ve-02D | P | 3 | 127 | 76* | 1 | 0,30* |
| trgovina | P | | | 81 | 0,33 | 0,11 |
| delavnica | P | | | 19 | 0,33 | 0,03 |
| pisarna | P | | | 127 | 0,33 | 0,17 |
| | | | | | | Σ 0,30 |
| Ža-01D | P | 4 | 63 | 27* | 1 | 0,11* |
| jedilnica | P | | | 7 | 0,33 | 0,01 |
| stranišče | P | | | 20 | 0,01 | 0,001 |
| delavnica | P | | | 16 | 0,33 | 0,02 |
| sprejemna pisarna | P | | | 63 | 0,33 | 0,08 |
| | | | | | | Σ 0,11 |
| Ža-02B | P | 3 | 90 | 49* | 1 | 0,51* |
| kuhinja | P | | | 90 | 0,30 | 0,28 |
| spalnica | P | | | 4 | 0,66 | 0,03 |
| kopalnica | P | | | 53 | 0,04 | 0,02 |
| | | | | | | Σ 0,33 |
| Ža-03B | I, P | 10 | 597 | 87* | 1 | 0,90* |
| kuhinja | P | | | 91 | 0,25 | 0,24 |
| dnevna soba | P | | | 37 | 0,24 | 0,09 |
| spalnica | I | | | 27 | 0,45 | 0,13 |
| kopalnica | I | | | 7 | 0,04 | 0,003 |
| stranišče | P | | | 597 | 0,01 | 0,06 |
| garaža | P | | | 15 | 0,01 | 0,002 |
| | | | | | | Σ 0,52 |

"se nadaljuje"

Tabela 5: Koncentracije radona C_{Rn} in efektivne doze E v 14 zgradbah: C_{Rn} MAX je najvišja in C_{Rn} AV povprečna koncentracija radona v zgradbi (označena z *), C_{Rn} PR je koncentracija radona po prostorih, sledi povprečna efektivna doza (označena z *), efektivna doza po posameznih prostorih ter vsota posameznih efektivnih doz (označena z Σ): za točno definicijo glej besedilo–"nadaljevanje".

| koda prostor | nadstropja- zgradba nadstropje- prostor | število merjenih prostorov | C_{Rn} MAX zgradbe (Bq m ⁻³) | C_{Rn} AV zgradbe * C_{Rn} PR prostorov (Bq m ⁻³) | delež časa | E (mSv a ⁻¹) |
|---|--|----------------------------------|--|---|---------------|-------------------------------|
| Ža-04B kuhinja dnevna soba | P | 2 | 15 | 15* | 1 | 0,16* |
| | P | | | 15 | 0,50 | 0,08 |
| | P | | | 15 | 0,50 | 0,08 |
| | | | | | | Σ 0,16 |
| Ža-05B kuhinja, dnevna soba stranišče | P | 2 | 44 | 43* | 1 | 0,45* |
| | P | | | 42 | 0,99 | 0,43 |
| | P | | | 44 | 0,01 | 0,005 |
| | | | | | | Σ 0,43 |
| Ža-06BD trgovina kuhinja, dnevna soba spalnica | I, P | 4 | 357 | 288* | 1 | 3,73* |
| | P | | | 247 | 0,33 | 0,32 |
| | P | | | 357 | 0,33 | 1,22 |
| | I | | | 210 | 0,33 | 0,72 |
| | | | | | | Σ 2,26 |
| Ža-07B dnevna soba, spalnica kuhinja | I, P | 4 | 15 | 15* | 1 | 0,16* |
| | I | | | 15 | 0,60 | 0,09 |
| | I | | | 15 | 0,40 | 0,06 |
| | | | | | | Σ 0,16 |
| Pe-01BD dnevna soba pisarna kopalnica kuhinja spalnica | P | 6 | 310 | 173* | 1 | 2,24* |
| | P | | | 100 | 0,16 | 0,17 |
| | P | | | 310 | 0,30 | 0,37 |
| | P | | | 172 | 0,04 | 0,07 |
| | P | | | 250 | 0,20 | 0,52 |
| | P | | | 92 | 0,30 | 0,29 |
| | | | | | | Σ 1,41 |
| Šen-01D trgovina jedilnica pisarna1 pisarna2 | I, P | 4 | 69 | 39* | 1 | 0,15* |
| | P | | | 33 | 0,25 | 0,03 |
| | P | | | 34 | 0,25 | 0,03 |
| | I | | | 69 | 0,25 | 0,07 |
| | I | | | 19 | 0,25 | 0,02 |
| | | | | | | Σ 0,15 |

"se nadaljuje"

Tabela 5: Koncentracije radona C_{Rn} in efektivne doze E v 14 zgradbah: C_{Rn} MAX je najvišja in C_{Rn} AV povprečna koncentracija radona v zgradbi (označena z *), C_{Rn} PR je koncentracija radona po prostorih, sledi povprečna efektivna doza (označena z *), efektivna doza po posameznih prostorih ter vsota posameznih efektivnih doz (označena z Σ): za točno definicijo glej besedilo–"nadaljevanje".

| koda | nadstropja- zgradba | število merjenih prostorov | C_{Rn} MAX zgradbe (Bq m ⁻³) | C_{Rn} AV zgradbe * C_{Rn} PR prostorov (Bq m ⁻³) | delež časa | E (mSv a ⁻¹) |
|----------------|------------------------|----------------------------------|--|---|---------------|-------------------------------|
| prostor | nadstropje- prostor | | | | | |
| Šem-01B | I, P, K | 6 | 39 | 17* | 1 | 0,18* |
| kuhinja | P | | | 6 | 0,30 | 0,02 |
| kopalnica | I | | | 7 | 0,08 | 0,006 |
| dnevna soba | I | | | 15 | 0,42 | 0,07 |
| hodnik | I, P, K | | | 39 | 0,20 | 0,08 |
| | | | | | | Σ 0,17 |
| Še-01B | I P, K | 8 | 76 | 37* | 1 | 0,38* |
| spalnica | I | | | 48 | 0,40 | 0,20 |
| dnevna soba | P | | | 76 | 0,30 | 0,24 |
| kuhinja | P | | | 15 | 0,20 | 0,03 |
| soba 3 | I | | | 15 | 0,10 | 0,02 |
| | | | | | | Σ 0,47 |
| Še-02B | P, K | 4 | 55 | 38* | 1 | 0,39* |
| kopalnica | K | | | 41 | 0,04 | 0,02 |
| spalnica | K | | | 22 | 0,60 | 0,13 |
| dnevna soba | P | | | 32 | 0,36 | 0,12 |
| | | | | | | Σ 0,27 |

Na osnovi trenutnih koncentracij radona C_{Rn} PR po posameznih prostorih (stolpec 5, tabela 5), sem po enačbi (18) izračunala letne efektivne doze E (mSv a⁻¹), ki jih na domovih in v delovnih prostorih prejmejo stanovalci. Kot vhodne podatke sem uporabila C_{Rn} PR in jih pomnožila s korekcijskim faktorjem 0,62, ki podaja razmerje med trenutno in povprečno koncentracijo radona in je eksperimentalno določen (Vaupotič in Kobal, 2006b).

Z uporabo uteži iz stolpca 6 sem izračunala deleže efektivnih doz po posameznih prostorih, jih seštela in tako dobila letne efektivne doze. Pri bivalnih prostorih sem lahko po pogovoru s stanovalci deleže zadrževanja v posameznih prostorih določila bolj natančno kot pri delovnih prostorih, kjer sem upoštevala enake deleže. V delovnih prostorih sem se osredotočila na celotno delovno skupino in ne na posameznika.

Po isti metodi sem izračunala tudi doze označene v 7 stolpcu tabele 5 z zvezdico (*), le da sem tu izhajala iz povprečne koncentracije radona v celotni zgradbi (C_{Rn} AV).

Letne efektivne doze, izračunane kot vsota doz po posameznih prostorih (označene z Σ), so bile v območju od 0,16 do 0,61 mSv za domove, od 0,11 do 0,30 mSv za delovne prostore ter od 1,41 do 2,26 mSv za zgradbe, ki se uporabljajo sočasno kot bivalni in delovni prostori (zgradbi Ža-06BD in Pe-01BD).

Izračunane letne efektivne doze za domove (7 stolpec tabele 5) so nižje od svetovnega povprečja 1,15 mSv (UNSCEAR, 2000), nekoliko pa tudi od slovenskega povprečja 0,88 mSv (Koželj in sod., 2006). Zgradbi Ža-06BD in Pe-01BD imata nekoliko višji koncentraciji radona, zato sta tudi efektivni dozi višji. Prav tako pa ti dozi zajemata bivalne in delovne prostore, zato je tudi skupni čas zadrževanja v prostorih daljši. Kot kažejo rezultati, stanovalci 14 zgradb ne dobijo previsokih efektivnih doz zaradi radona (Ur.l. RS, št. 49/2004).

Efektivne doze označene z zvezdico (*), ki sem jih izračunala na osnovi povprečja vseh trenutnih koncentracij radona v zgradbi (tabela 5), so za približno 30 % višje od bolj natančno izračunanih doz z deleži po posameznih prostorih, ki so v tabeli označene kot vsota (Σ). Razlike so seveda bolj očitne pri višjih koncentracijah radona. Če imamo možnost, je zato vsekakor priporočljivo, da zgradbe s povišanimi koncentracijami radona bolj natančno raziščemo in poskušamo oceniti doze na čim manj predpostavkah.

V 7 zgradbah sem primerjala povprečje trenutnih koncentracij radona po nadstropjih. Kot vidimo v tabeli 6, se koncentracije radona z naraščanjem nadstropja zmeraj ne znižujejo, kot bi pričakovali, ampak so ponekod celo nekoliko višje. V zgradbi Šen-01D je bila koncentracija v pritličju nižja kot v I. nadstropju, v zgradbi Še-01B pa v pritličju za 8 Bq m⁻³ višja kot v kleti. V zgradbi Ža-07B sta bili povprečni koncentraciji v pritličju in I. nadstropju enaki. Drugod pa je koncentracija radona višja v spodnjih delih zgradb in se z naraščanjem nadstropij znižuje.

Tabela 6: Primerjava povprečij trenutnih koncentracij radona (Bq m⁻³) v 7 zgradbah po nadstropjih: v kleti, pritličju in v I. nadstropju.

| koda zgradbe | C _{Rn} (Bq m ⁻³) | | |
|--------------|---------------------------------------|-----------|---------------|
| | klet | pritličje | I. nadstropje |
| Ža-03B | / | 132 | 21 |
| Ža-06BD | / | 314 | 210 |
| Ža-07B | / | 15 | 15 |
| Šen-01D | / | 34 | 44 |
| Šem-01B | 24 | 23 | 20 |
| Še-01B | 31 | 39 | 36 |
| Še-02B | 39 | 32 | / |

Nadalje sem primerjala med sabo vse kletne, pritlične in nadstropne prostore (tabela 5). Ugotovila sem, da se koncentracije radona v kletnih prostorih gibljejo med 7 in 230 Bq m⁻³, s povprečjem 60 Bq m⁻³ in so v povprečju za okoli 30 % nižje kot v pritličnih prostorih (od 7 do 600 Bq m⁻³), s povprečjem 90 Bq m⁻³. Drugače je v etažnih prostorih, s povprečjem 40 Bq m⁻³, kjer koncentracije radona padejo in so za manj kot 60 % nižje od tistih v pritličnih prostorih. Koncentracije v I. nadstropju se gibljejo med 7 in 210 Bq m⁻³. V povprečju se koncentracija radona z naraščajočimi nadstropji znižuje, vendar pa so tudi izjeme.

Zanimalo me je tudi, v katerih prostorih prejmejo stanovalci največje efektivne doze, zato sem iz podatkov v tabeli 5 izračunala povprečje efektivnih doz za vse spalnice, dnevne sobe, kuhinje in delovne prostore (tabela 7). Najvišje povprečne letne efektivne doze prejmejo stanovalci zgradb v kuhinji, 0,30 mSv, sledi dnevna soba, 0,27 mSv, spalnica, 0,23 mSv, ter delovni prostor, 0,10 mSv. Letna povprečna doza za kopalnice in stranišča je le 0,02 mSv, kljub nekaterim višjim koncentracijam (na primer Ža-03B s koncentracijo radona 597 Bq m⁻³ v stranišču). Čeprav so bile v nekaterih prostorih višje koncentracije radona, v njih doze niso vedno najvišje, saj je pomemben tudi delež časa, ko se zadržujemo v tem prostoru.

Tabela 7: Primerjava povprečnih efektivnih doz E (mSv a⁻¹) in povprečnih koncentracij radona C_{Rn} (Bq m⁻³) po posameznih prostorih.

| prostor | E (mSv a ¹) | C_{Rn} (Bq m ⁻³) | prostor |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| kuhinja | 0,30 | 321 | stranišče |
| dnevna soba | 0,27 | 96 | kuhinja |
| spalnica | 0,23 | 80 | delovni prostor |
| delovni prostor | 0,10 | 75 | dnevna soba |
| stranišče | 0,02 | 59 | spalnica |
| kopalnica | 0,02 | 55 | kopalnica |

Na osnovi rezultatov trenutnih koncentracij radona v tabeli 5 sem izbrala zgradbe za nadaljnje kontinuirane meritve radona in radonovih razpadnih produktov, ki jih predstavljam v nadaljevanju.

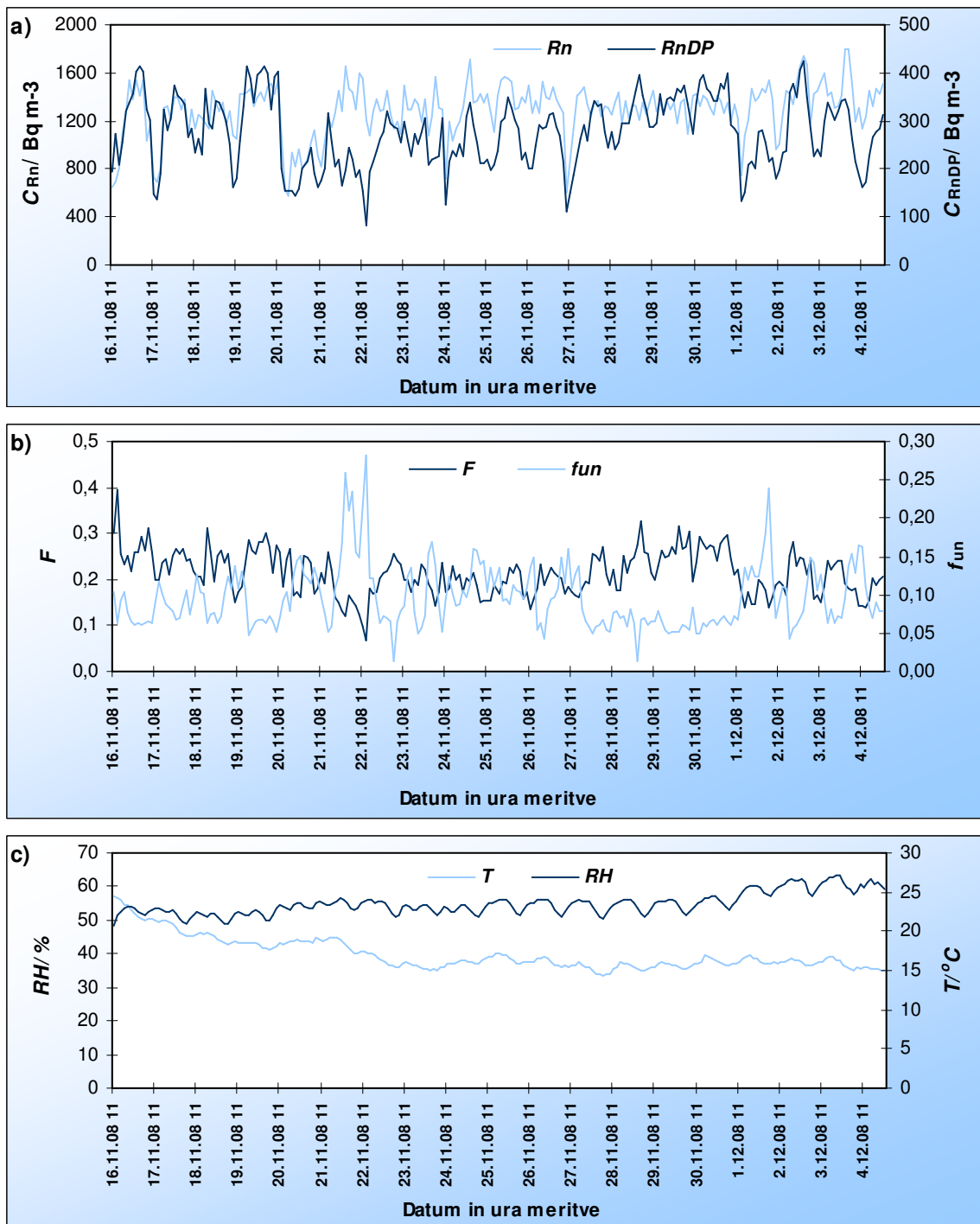
4.2 Koncentracije radona in radonovih razpadnih produktov v domovih in delovnih prostorih na osnovi kontinuiranih meritev

4.2.1 Bivalno okolje: zgradba Pe-01BD, kuhinja

Kuhinja je prostor, kjer poteka veliko različnih dejavnosti (kuhanje, pečenje, odpiranje oken in vrat), kar kaže tudi širok razpon izmerjenih vrednosti. Slika 16a prikazuje nihanja v koncentracijah radona in radonovih razpadnih produktov. Koncentracije radona se gibljejo od 580 do 1800 Bq m⁻³, radonovih razpadnih produktov pa od 80 do 430 Bq m⁻³ (priloga A). Povprečna koncentracija radona v celotnem obdobju meritve je 1290 Bq m⁻³, radonovih razpadnih produktov pa 270 Bq m⁻³. Koncentracije začnejo naraščati zvečer in dosežejo najvišje vrednosti zgodaj zjutraj, nato zopet padajo in dosežejo najnižje vrednosti ob različnih urah dneva, kar je odvisno od dejavnosti v prostoru.

Opazno je rahlo naraščanje koncentracije radona čez celotno obdobje meritve (slika 16a), kar si razlagamo s preходом iz jesenskega v zimsko obdobje. Temperatura v kuhinji se giblje v območju od 20 °C do 27 °C (slika 16c, priloga A). Relativna vlažnost zraka pa se je proti koncu meritvenega obdobja znižala s 57 % na 34 %. Na vlažnost zraka v kuhinji vplivajo poleg vlage v zunanjem zraku tudi dejavnosti v kuhinji, saj vrednosti na sliki 16c precej nihajo. Povprečna relativna vlažnost je 40 %. Povprečna temperatura je 23,5 °C, nekoliko višja podnevi kot ponoči.

Povprečna vrednost ravnotežnega faktorja F je 0,21 z najvišjo vrednostjo do 0,40, kar sta nizki vrednosti za jesensko-zimsko obdobje (slika 16b). Kuhinja je v glavnem dobro prezračena in so koncentracije radona mnogo višje od koncentracij radonovih razpadnih produktov (priloga A). Pri kuhanju se ustvari veliko število aerosolov, na katere se vežejo RnDP, kar vpliva na to, da je delež nevezanih razpadnih produktov f_{un} nižji. Kot kaže slika 16b, povišanje F znižuje f_{un} in obratno.



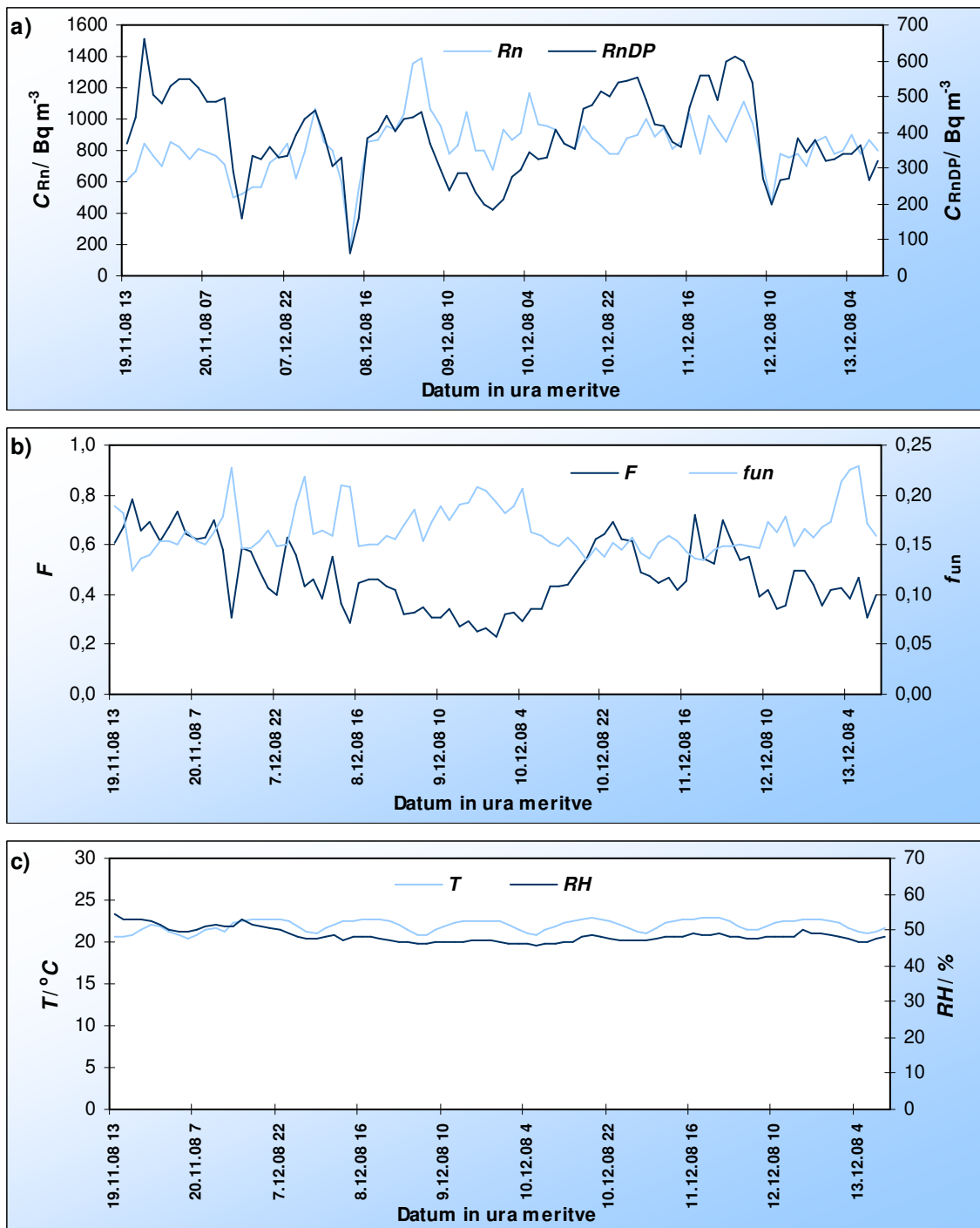
Slika 16: Časovna odvisnost merjenih parametrov v kuhinji v obdobju od 16. novembra do 4. decembra 2008: a) koncentracija radona (C_{Rn}) in koncentracija radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), b) ravnotežni faktor (F) in delež nevezanih RnDP (f_{un}), c) temperatura (T) in relativna vlažnost zraka (RH).

4.2.2 Delovno okolje: zgradba Pe-01BD, pisarna

Koncentracije radona se gibljejo od 180 do 1400 Bq m⁻³ (slika 17a) s povprečno vrednostjo 830 Bq m⁻³, radonovih razpadnih produktov pa od 70 do 660 Bq m⁻³, s povprečno koncentracijo 390 Bq m⁻³. Pisarna je delovno okolje, zaposleni tam preživijo v povprečju 8 do 9 ur na dan. V delovnem času je prezračevanje bolj intenzivno (odpiranja oken in vrat), gibanje v prostoru pa povzroči večje mešanje zraka in s tem manjše posedanje radonovih razpadnih produktov. S slike 17a je razvidno, da koncentracije obeh parametrov začnejo zjutraj upadati in proti večeru zopet naraščati. V času odsotnosti zaposlenih v pisarni ni prezračevanja in je tudi zrak bolj miren. Povprečna koncentracija radona je bila v času od 8. do 12. decembra v pisarni v času ne-delovnika (920 Bq m⁻³) višja za 140 Bq m⁻³ oziroma za okoli 15 % od koncentracije v času delovnika (780 Bq m⁻³) (priloga B).

Povprečna vrednost ravnotežnega faktorja v pisarni je bila 0,48 in je večkrat dosegla vrednosti okoli 0,70 (slika 17b). V delovnem času je povprečna vrednost F 0,44, v ne-delovnem času pa naraste na 0,49. Območje deleža nevezanih radonovih razpadnih produktov je od 0,12 do 0,23 s povprečno vrednostjo 0,17. V delovnem času je povprečna vrednost f_{un} 0,17, v ne-delovnem času pa 0,16 (priloga B). Delež aerosolov je verjetno nižji kot v primeru kuhinje, zato je tudi f_{un} višja.

Temperatura v prostoru enakomerno niha od 20°C do 23°C, s povprečno vrednostjo 22°C (slika 17c). Proti jutru temperatura pade (manj intenzivno ogrevanje in jutranje zračenje) in čez dan zopet naraste. Relativna vlažnost zraka se enakomerno spreminja od 46 % do 55 %, brez večjih odstopanj.

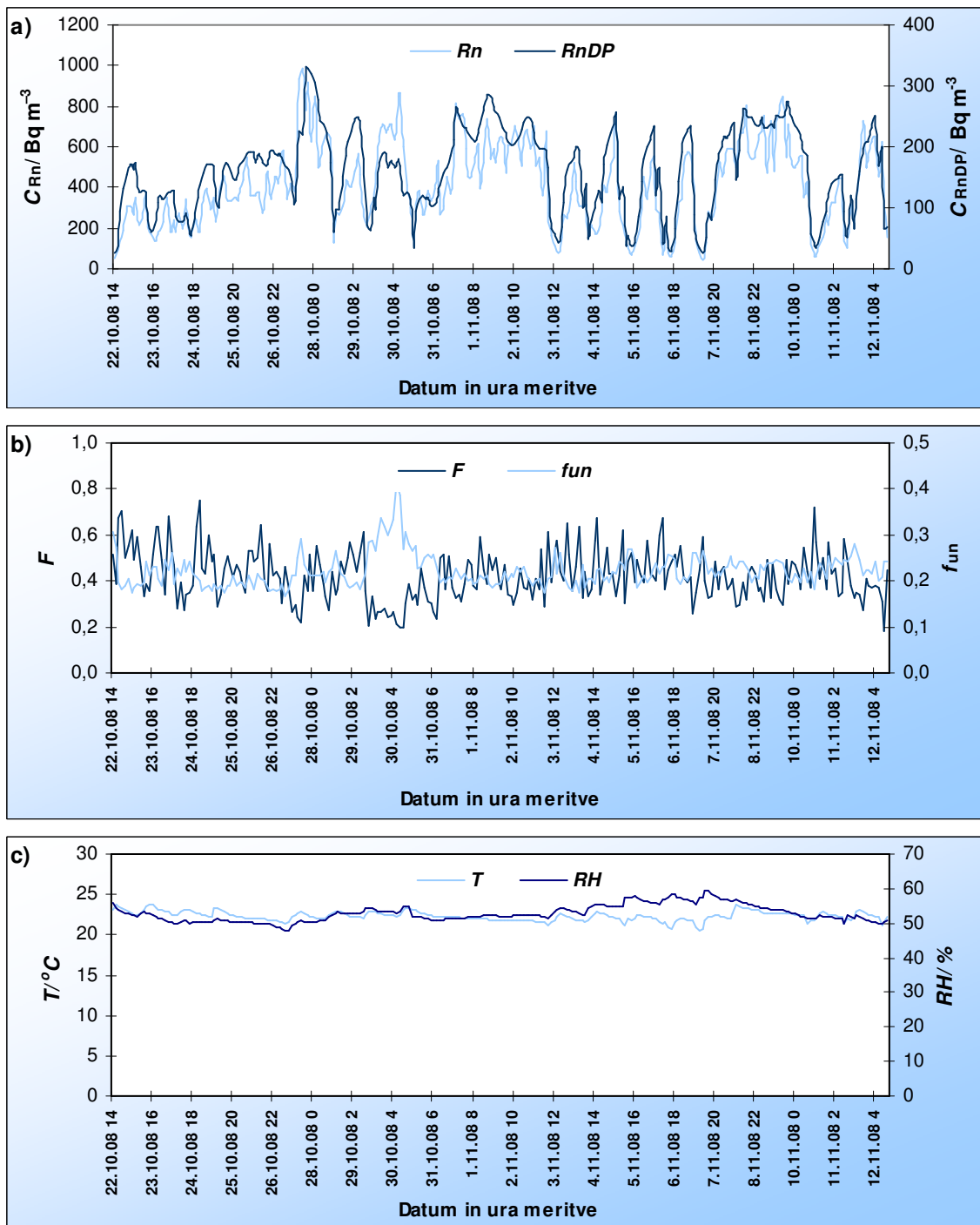


Slika 17: Časovna odvisnost merjenih parametrov v pisarni v obdobju od 19. novembra do 13. decembra 2008: a) koncentracija radona (C_{Rn}) in koncentracija radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), b) ravnotežni faktor (F) in delež nevezanih RnDP (f_{un}), c) temperatura (T) in relativna vlažnost zraka (RH).

4.2.3 Delovno okolje: zgradba Ža-06BD, trgovina

Trgovina je prostor z zelo dinamičnim prezračevanjem, saj prihajanje ter odhajanje strank povzroči pogosto odpiranje in zapiranje vrat, kar se odraža tudi v koncentraciji merjenih parametrov. Koncentracije radona in njegovih razpadnih produktov so v trgovini zelo razgibane (slika 18a). Koncentracija radona se giblje od 40 do 980 Bq m⁻³ s povprečjem 410 Bq m⁻³, radonovih razpadnih produktov pa od 30 do 330 Bq m⁻³ s povprečjem 160 Bq m⁻³ (priloga C). Na sliki 18a so vidni konci tednov, ko je trgovina zaprta, saj je takrat koncentracija radona znatno višja.

Vrednosti F nihajo od 0,18 do 0,75 s povprečjem 0,42 (slika 18b). Nihanje je zelo izrazito in močno, saj aktivnosti, ki so se dogajale v trgovini vplivajo na rast in upad vrednosti F . Od 29. do 30. oktobra je vrednost F zelo padla ter skokovito narasla koncentracija nevezanih razpadnih produktov. Ta čas je bila trgovina nekaj dni zaprta, zato se je zrak umiril, RnDP so se posedli, v prostoru ni bilo zračenja in drugih aktivnosti. Vrednosti f_{un} so čez celotno obdobje nihale od 0,17 do 0,41, povprečna vrednost je bila 0,22. V času od 29. do 30. oktobra pa so narasle od 0,18 do 0,41, kar je približno za 50 % višje od povprečne vrednosti. T v trgovini je od 21 °C do 24 °C. RH se giblje od 48 % do 60 % (slika 18c).



Slika 18: Časovna odvisnost merjenih parametrov v trgovini v obdobju od 22. oktobra do 12. novembra 2008: a) koncentracija radona (C_{Rn}) in koncentracija radonovih razpadnih produktov (C_{RnDP}), b) ravnotežni faktor (F) in delež nevezanih RnDP (f_{un}), c) temperatura (T) in relativna vlažnost zraka (RH).

4.3 Efektivne doze na osnovi kontinuiranih meritev

Kot sem razložila v poglavju 2.7.2, sem efektivne doze računala na tri različne načine po enačbi (18) (Nero, 1988). Pri vseh treh načinih sem računala efektivno dozo na osnovi podatkov o celodnevni povprečni C_{Rn} , ki se nanaša na 24-urno (dnevno) povprečje ter na osnovi podatkov o povprečni delovni (za delovno okolje) ali povprečni bivalni (za bivalno okolje) C_{Rn} , kateri se nanašata le na čas, ki ga zaposleni/stanovalci preživijo v treh prostorih (kuhinja, pisarna, trgovina), vključenih v preiskavo.

S tremi načini izračuna efektivne doze sem želela ugotoviti, ali med njimi sploh obstajajo razlike, oziroma kako velike so te razlike. Predvsem sem želela ugotoviti in kritično oceniti, če je prvi način izračuna efektivne doze, ki ga v praksi najbolj pogosto uporabljamo, dovolj natančen in zagotavlja dovolj kakovosten temelj za nadaljnje ocene tveganja. In nenazadnje, zanimala me je tudi primerjava ter morebitne razlike v treh načinih izračuna efektivne doze v bivalnem in delovnem okolju. To razliko sem dobila na osnovi celodnevnih povprečnih C_{Rn} ter na osnovi delovnih ali bivalnih povprečnih C_{Rn} , samo takrat, ko so ljudje tam.

Za množične preiskave radona tudi v bodoče ne bodo možne kontinuirane meritve, ki nam dajo vse potrebne parametre za izračun efektivne doze po tretjem načinu v času, ki ga ljudje preživijo v prostoru, saj so takšni merilniki predragi. Večino preiskav bomo še naprej izvajali s preprostimi in cenovno ugodnejšimi tehnikami, kot so scintilacijske celice in detektorji jedrskih sledi (glej sliko 5), na osnovi katerih lahko ocenimo le celodnevno koncentracijo radona. Vendar pa bi bilo koristno, vsaj v primerih visokih koncentracij radona, razmisliti o uporabi komplementarne merilne opreme.

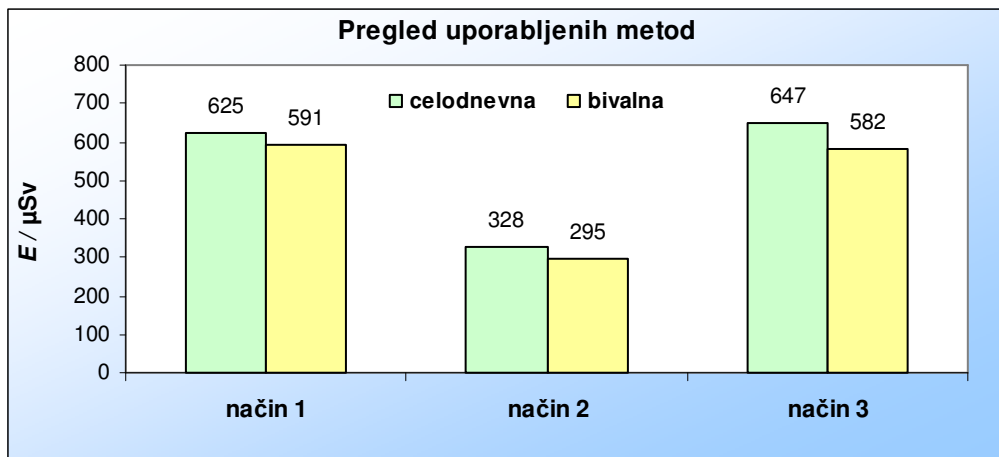
V nadaljevanju sta pri vsakem od treh načinov izračuna efektivne doze podana dva stolpca, ki kažeta efektivno dozo na osnovi povprečne celodnevne ter povprečne bivalne ali delovne koncentracije radona, odvisno od okolja. Efektivno dozo na osnovi povprečne celodnevne koncentracije radona bi človek prejel, če bi se v prostoru zadrževal 24 ur na dan. To dozo ponazarja meritve z detektorjem jedrskih sledi, ki nam daje povprečno koncentracijo radona za neko obdobje (teden, mesec, leto). Bivalna ali delovna efektivna doza je izračunana na osnovi koncentracije radona samo za čas, ki ga stanovalec/zaposleni preživi v tem prostoru. V vsakem od treh merilnih mest so zato stanovalci/zaposleni sami ocenili čas, ki ga preživijo v tem prostoru. Ta izračun je mogoč le na osnovi kontinuirane meritve, ki nam omogoča določitev koncentracije radona samo v času prisotnosti ter je najbolj pravilen.

4.3.1 Bivalno okolje: zgradba Pe-01BD, kuhinja

Slika 19 podaja efektivne doze, izračunane na vse tri zgoraj omenjene načine, v kuhinji zgradbe Pe-01BD za obdobje od 16. novembra do 4. decembra. Osnova izračunov so koncentracije parametrov, prikazane na sliki 16.

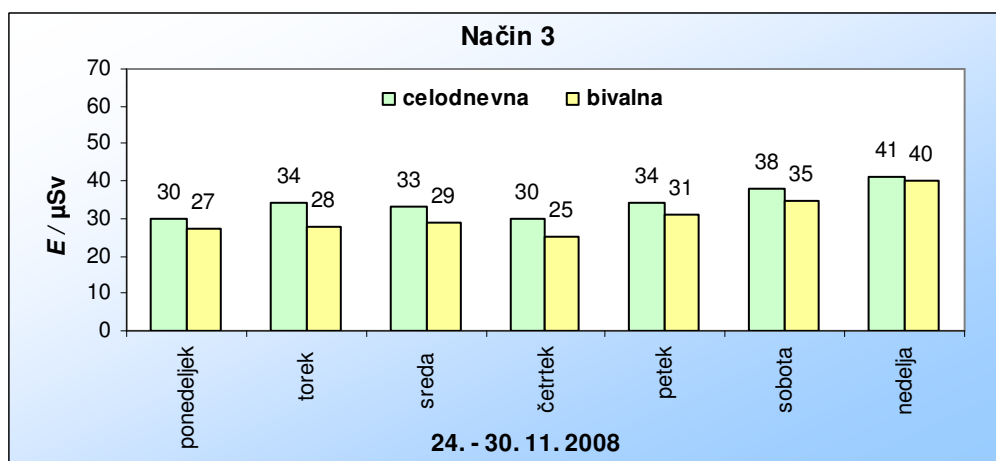
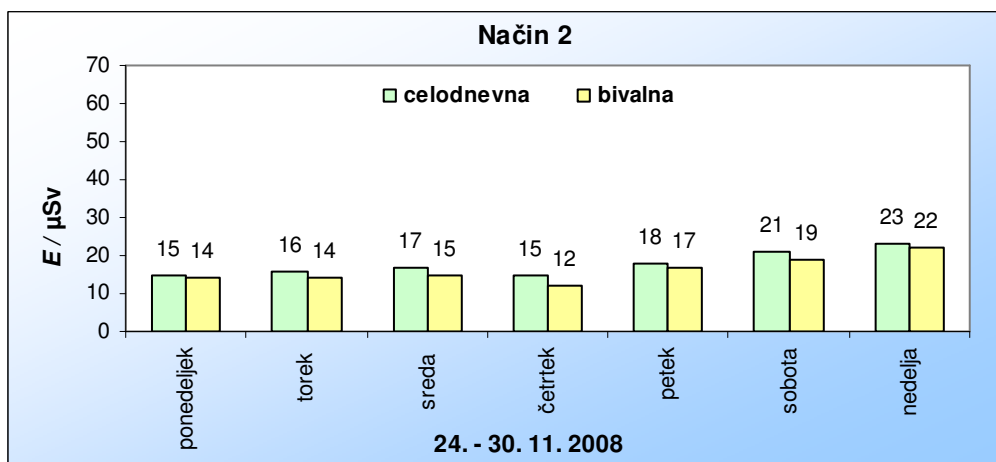
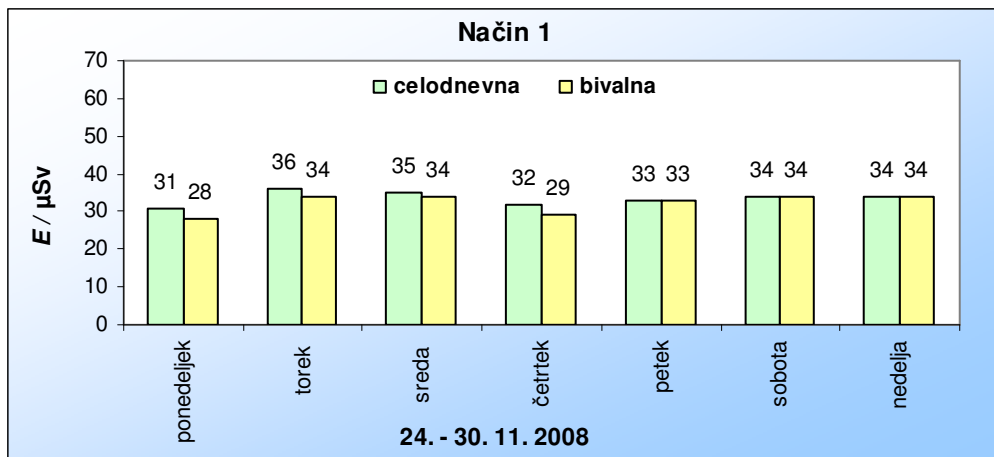
Vidimo, da so si efektivne doze po načinu 1 in 3 precej podobne, okrog 580 do 650 μSv . V tem primeru je način 1 dobra osnova za izračun efektivne doze. Močno odstopanje vidimo pri načinu 2, kjer sta obe dozi nižji skoraj za faktor 2 od tistih po načinu 1 in 3. Razlog je v nizkem ravnotežnem faktorju, 0,21, kar je skoraj za faktor 2 manj, kot podaja literatura (0,40) (ICRP, 1994a). Čeprav je tudi pri načinu 3 upoštevan isti izmerjeni F , je tu zaradi višjega f_{un} (0,10) veliko višji tudi dozni pretvorbeni faktor. Ta je 7,9 mSv WLM^{-1} , in ne 4 mSv WLM^{-1} , kot ga za bivalno okolje podaja literatura (ICRP, 1994a).

V vseh treh primerih se celodnevna in bivalna doza razlikujeta. Ker je slednja odraz časa, ki ga oseba zares preživi v kuhinji, je vedno nižja od celodnevne; v povprečju za okoli 10 %, sicer pa pri načinu 1 za 5 %, pri načinih 2 in 3 pa za 10 %.



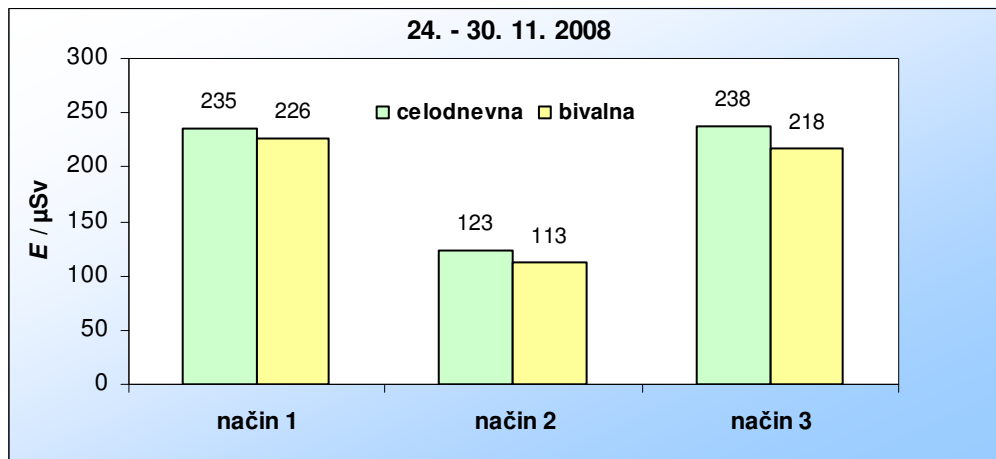
Slika 19: Celodnevna in bivalna efektivna doza v μSv , izračunana po načinih 1, 2 in 3 za obdobje od 16. novembra do 4. decembra 2008, v kuhinji.

Bolj natančno so vsi trije načini izračuna efektivnih doz ponazorjeni po dnevih od 24. do 30. novembra (slika 20). Po posameznih dnevih se celodnevna in bivalna doza med sabo komaj kaj razlikujeta. Bivalna je skoraj vedno nekoliko nižja, a so razlike neznatne. Torej lahko dozo po posameznih dnevih računamo na osnovi celodnevne koncentracije in bolj natančen izračun z uporabo koncentracije samo v času bivanja v tem primeru ni potreben.



Slika 20: Celodnevna in bivalna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za posamezne dneve od ponedeljka, 24. novembra, do nedelje, 30. novembra 2008, v kuhinji.

Nekoliko večje odstopanje med bivalno in celodnevno dozo je vidno pri tedenskih prikazih (slika 21), kjer pridejo dnevne razlike (slika 20) še bolj do izraza, a še vedno je razlika med bivalno in celodnevno dozo sprejemljiva. Podobno kot je bilo prikazano že na sliki 19, se način 1 in 3 zelo dobro ujemata in se tedenska doza giblje okrog 230 μSv . Večje odstopanje je pri načinu 2, ki daje, kot rečeno, za faktor 2 nižjo dozo.



Slika 21: Celodnevna in bivalna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za tedensko obdobje od ponedeljka, 24. novembra, do nedelje, 30. novembra 2008, v kuhinji.

Kontinuirane meritve, kot osnova za bolj natančen izračun doze po načinu 3, v tem primeru niso potrebne, saj dobimo z načinom 1 dovolj zanesljivo oceno efektivne doze. Za meritve nam tako zadostuje že detektor jedrskih sledi, ki daje povprečno celodnevno koncentracijo radona.

4.3.2 Delovno okolje: zgradba Pe-01BD, pisarna

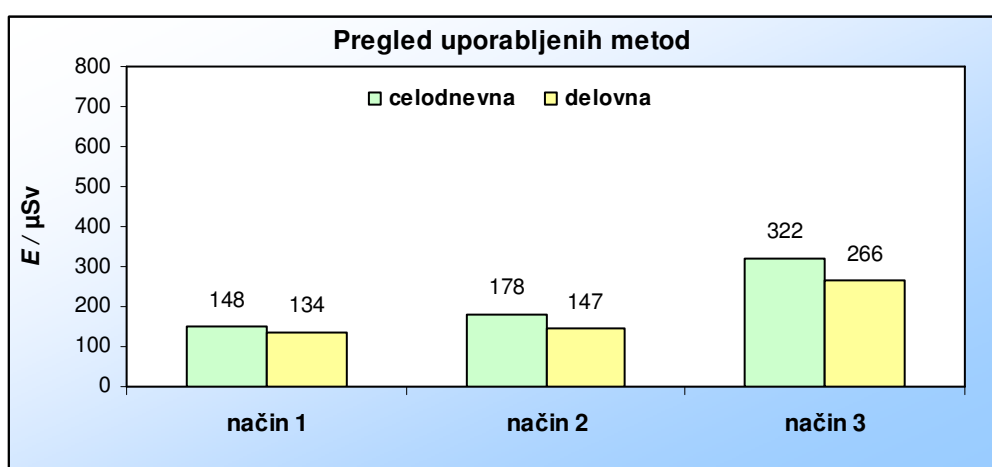
Slika 22 prikazuje efektivne doze, izračunane na tri načine na osnovi celodnevne in delovne koncentracije radona, v pisarni zgradbe Pe-01BD od 19. novembra do 13. decembra 2008. Osnova izračunov so koncentracije parametrov prikazanih na sliki 17.

To je delovno okolje, kjer je režim prezračevanja povsem drugačen kot v bivalnem okolju in zato prinaša tudi drugačne rezultate kot za bivalno okolje na sliki 19. Pri načinu 1 in 2, ki temeljita na doznem pretvorbenem faktorju za delovno okolje iz literature (5 mSv WLM^{-1}) (ICRP, 1994a) in sta si po izračunih doz precej podobna, se dozi med seboj razlikujeta le za okrog 10 %. Način 3 se od njiju razlikuje skoraj za faktor 2. V tem primeru sem *DCF* računala po formuli (17) in dobila 9 mSv WLM^{-1} . To je znatno več kot pri svojih izračunih upošteva ICRP-65 (ICRP, 1994a). Prav tako se razlikuje ravnotežni faktor *F*, ki je 0,48 in je nekoliko višji od priporočene vrednosti 0,40. Delovna doza je od celodnevne pri vseh treh načinih nižja v povprečju za več kot 10 %.

Delovno okolje je prostor, kjer se ljudje zadržujejo le določen čas dneva. V tem času je ponavadi prezračevanje in gibanje po prostoru bolj intenzivno, kar prispeva k višji koncentraciji aerosolov ter povečani vezavi RnDP na aerosole. Pretežni del časa je zrak v delovnem okolju bolj miren in z manjšo koncentracijo aerosolov, zato je tudi delež f_{un} takrat višji (slika 17). Ker se pisarna nahaja v stanovanjski hiši, ki je hkrati dom in delovno okolje lastnika zgradbe, se verjetno tudi nekoliko razlikuje od tipičnega delovnega okolja. Izmerila sem f_{un} okoli 0,17.

Rezultati, ki sem jih dobila pri vseh treh načinih izračuna efektivne doze kažejo, da sta dozi pri načinu 1 in 2 znatno nižji kot pri načinu 3 (najbolj realen način). To ni dobro, saj bi v primeru izračuna doze na osnovi detektorja jedrskih sledi (način 1) delovno dozo podcenili, oziroma bi zaposlenemu pripisali prenizko dozo. Mnogo manj zaskrbljujoča bi bila obratna situacija, če bi bila doza po načinu 1 višja od doze po načinu 3. V tem primeru bi osebi sicer res pripisali višjo dozo od delovne, a bi bili na tako imenovani 'varni strani', kar je v dozimetriji bolj sprejemljivo kot zgornji primer.

Način 1, v katerem upoštevam F iz literature, to je 0,40 (ICRP, 1994a), daje najnižjo dozo. Način 2, na osnovi izmerjenega F (0,49) daje dozo, ki je višja od tiste z načinom 1 za okrog 10 %, vendar še vedno znatno prenizka. Z načinom 1 in 2 bi delovno dozo podcenili za faktor okoli 2. Efektivne doze na osnovi delovne in celodnevne koncentracije se razlikujejo pri načinu 1 za 10 %, pri načinu 2 in 3 pa za okoli 20 % (slika 22).



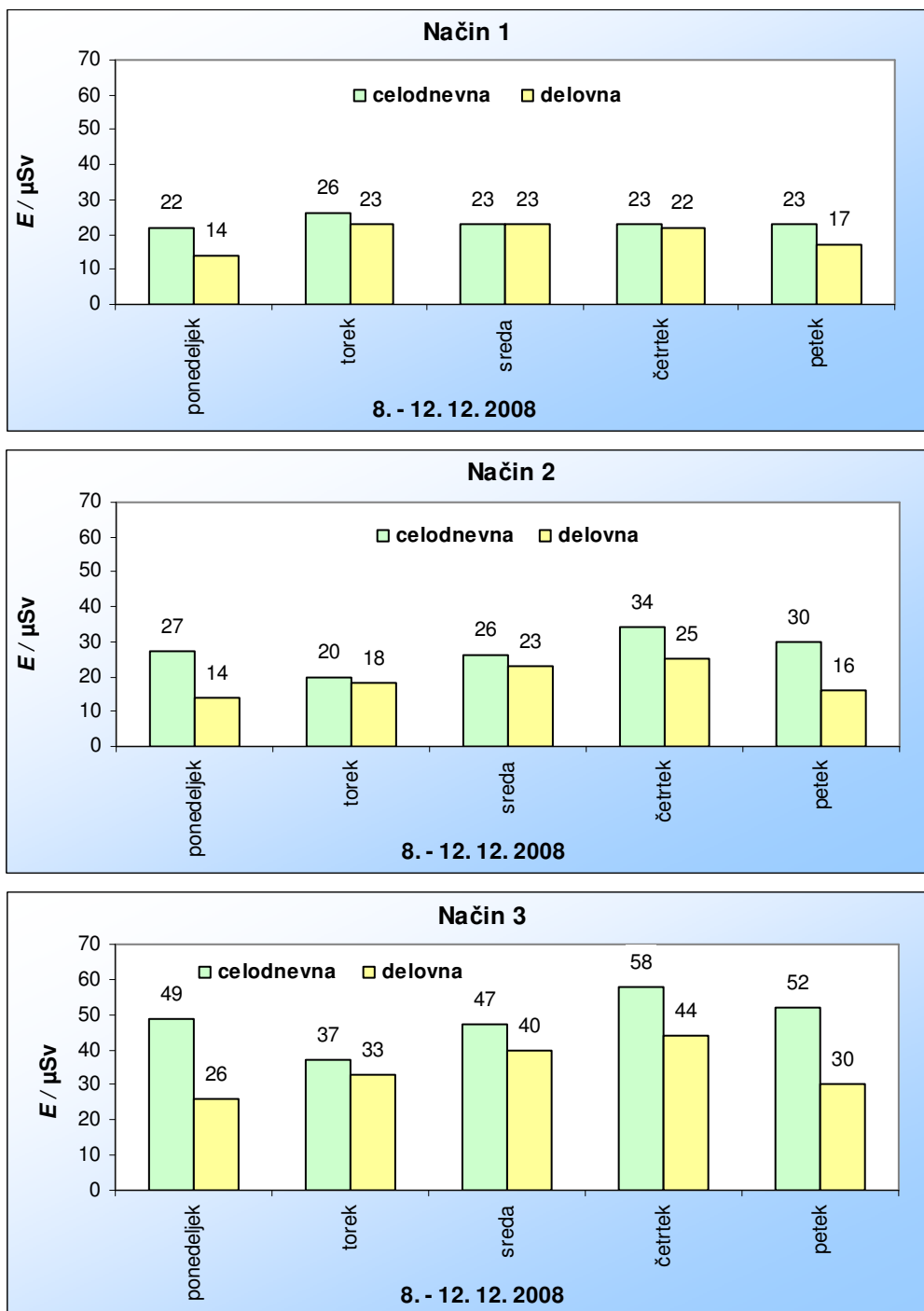
Slika 22: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv , izračunana po načinih 1, 2 in 3 za obdobje od 19. novembra do 13. decembra 2008, v pisarni.

Če primerjam kuhinjo (slika 19) in pisarno (slika 22), ne morem podati končnega zaključka, ki bi veljal za vsa merilna mesta, kaže pa na razliko med bivalnim in delovnim okoljem. Na sliki 19 vidimo dobro ujemanje doz po načinu 1 in 3, v nasprotju pa sta dozi (slika 22) na osnovi načina 1 in 3 najbolj različni. Zato moramo biti pazljivi, saj detektor jedrskih sledi v tem primeru za delovno okolje ni najboljša izbira. Izkazalo se je, da je dobro, če poznamo vsaj F , saj lahko tako izračunamo dozo po načinu 2, ki je že nekoliko boljši približek. Kot vidimo na sliki 16, je bil F nekajkrat višji od 0,70, kar je občutno višja vrednost od priporočene 0,40 (ICRP, 1994a).

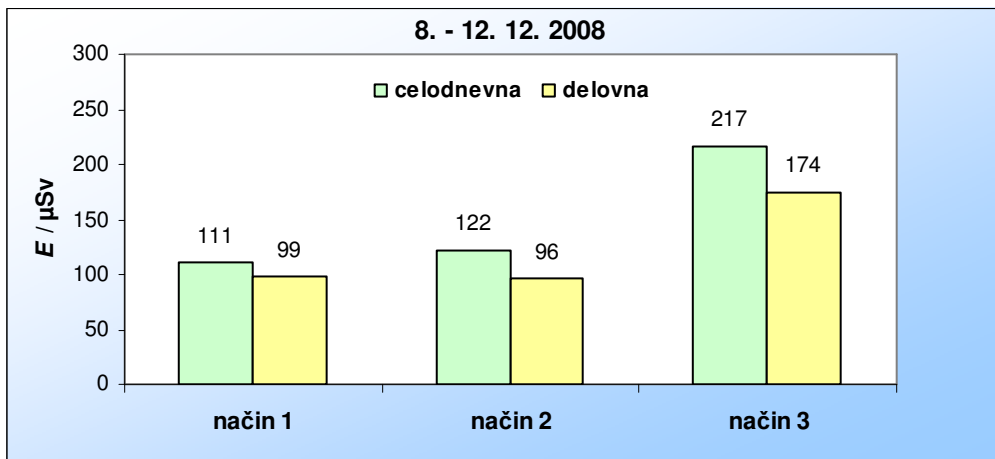
Ker so koncentracije merjenih parametrov (slika 17) višje v času ne-delovnika kot v času delovnika, je za takšno okolje najboljša izbira kontinuirani merilnik. Ta nam poleg C_{Rn} samo za delovni čas, podaja tudi F in f_{un} .

V pisarni (delovno okolje) na sliki 23 vidimo po dnevih večje razlike med celodnevno in delovno efektivno dozo kot med celodnevno in bivalno v primeru kuhinje (slika 20), kar se seveda odraža tudi na tedenskih dozah (slika 24). Največje odstopanje med celodnevno in delovno dozo je pri načinu 3. V povprečju je delovna dnevna doza za okrog 30 % nižja od celodnevne. Najmanjše odstopanje je zopet pri načinu 1. Tu se tritedenska delovna doza razlikuje od celodnevne v povprečju za okoli 15 %, tedenska pa za 10 %.

Pisarno bi težko uvrstili med tipična delovna okolja, saj zaposleni, ki delajo v pisarni, v isti hiši tudi prebivajo. Razlike so med celodnevno in delovno efektivno dozo nižje kot v značilnem delovnem okolju, kjer je doza na osnovi celodnevne koncentracije običajno znatno višja od tiste na osnovi delovne koncentracije.



Slika 23: Celodnevna in delovna efektivna doza v µSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za posamezne dneve od ponedeljka, 8. decembra, do petka, 12. decembra 2008, v pisarni.



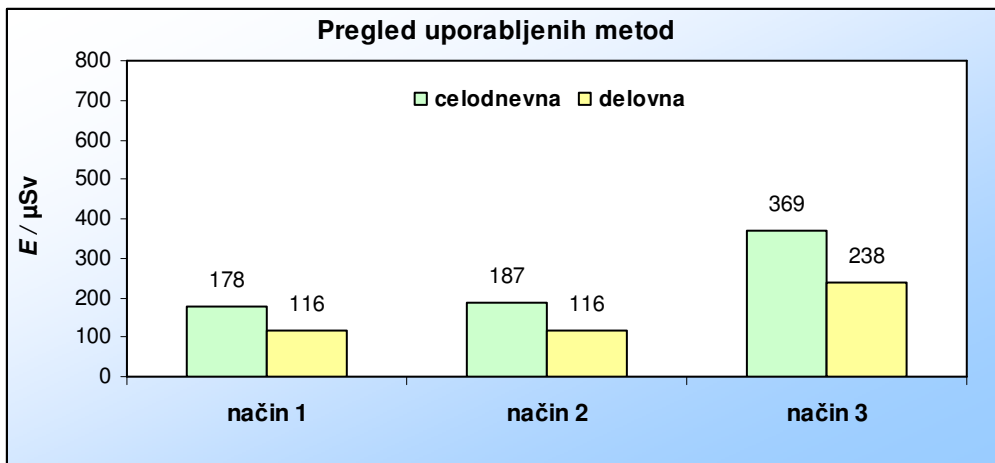
Slika 24: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za tedensko obdobje od ponedeljka, 8. decembra, do petka, 12. decembra 2008, v pisarni.

4.3.3 Delovno okolje: zgradba Ža-06BD, trgovina

Slika 25 prikazuje efektivne doze izračunane na tri načine na osnovi celodnevne in delovne koncentracije radona v trgovini zgradbe Ža-06BD od 22. oktobra do 12. novembra 2008. Osnova izračunov so koncentracije parametrov prikazanih na sliki 18.

Enako kot pri pisarni (slika 22), tudi tukaj (slika 25) efektivna doza na osnovi načina 1 najbolj odstopa od najboljšega približka pri načinu 3. Razlika med načinom 1 in 2 pa je zelo majhna. Ta dva načina v povprečju odstopata od načina 3 za faktor 2. Razlika med delovno in celodnevno dozo pri vseh treh načinih je manj kot 40 %.

Trgovina je podobno kot pisarna delovno okolje, zato moramo biti pri oceni doze bolj previdni. Tudi v trgovini nam daje način 1 znatno prenizko oceno doze od načina 3, ki je kot rečeno najbolj pravilen, in sicer za faktor okrog 2. Če bi za oceno efektivne doze uporabili le način 1, bi dozo podcenili. Koncentracije radona so v delovnem času pričakovano nižje od celodnevni, a sta F , še posebej pa f_{un} občutno višja kot ju priporoča uradna dozimetrija (ICRP, 1994a) in to pri načinu 3, kjer sami izračunamo DCF , odločilno vpliva na dozo. Ravnotežni faktor F (celodnevni) je v obdobju od 22. oktobra do 12. novembra 2008 0,42, od 3. do 8. novembra 2008 pa 0,45 (priloga C). Izračunani DCF je $9,9 \text{ mSv WLM}^{-1}$, kar je praktično za faktor 2 več od vrednosti 5 mSv WLM^{-1} , ki jo priporoča uradna dozimetrija (ICRP, 1994a).



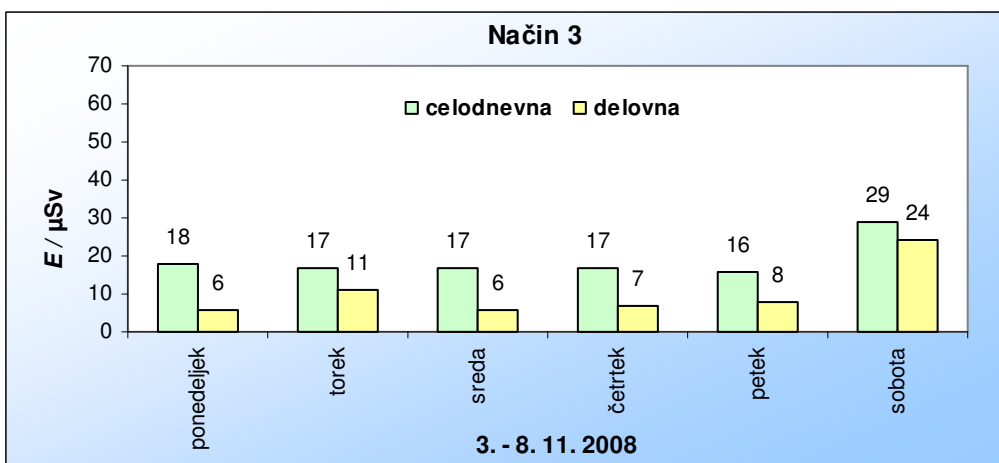
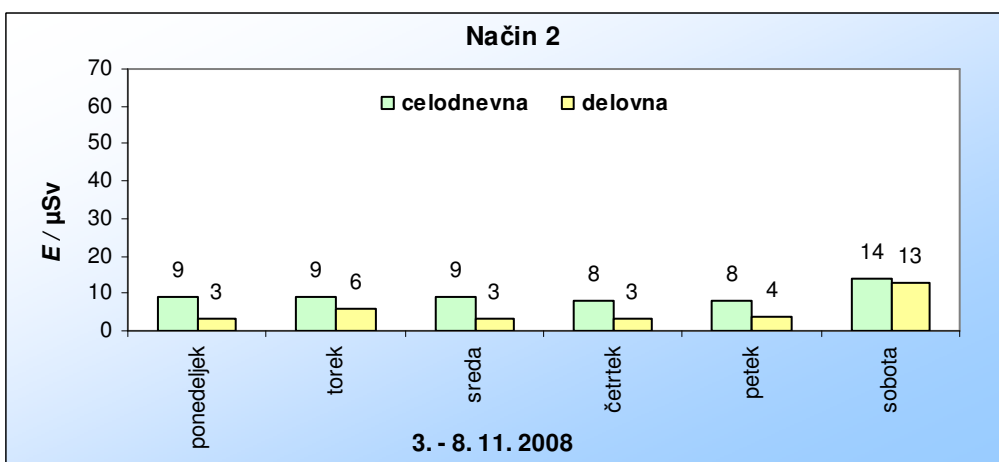
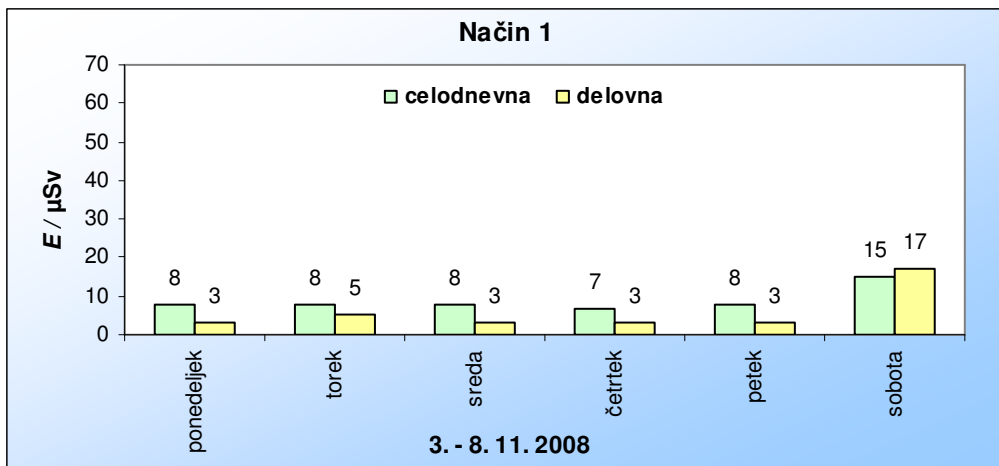
Slika 25: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv , izračunana po načinih 1, 2 in 3 za obdobje od 3. do 8. novembra 2008, v trgovini.

Ker je trgovina odprta krajši čas tudi ob sobotah (od 9 do 12 h), podajam na sliki 26 efektivno dozo tudi za soboto. Vidimo, da se krajši obratovalni čas odraža tudi na dozi, ki je v soboto višja kot pri ostalih dnevih v tednu, kar je vidno pri vseh treh načinih izračuna (slika 26). Seveda je največja razlika med delovno in celodnevno koncentracijo pri načinu 3, ki nam omogoča najbolj natančno oceno vseh vhodnih parametrov za izračun doze.

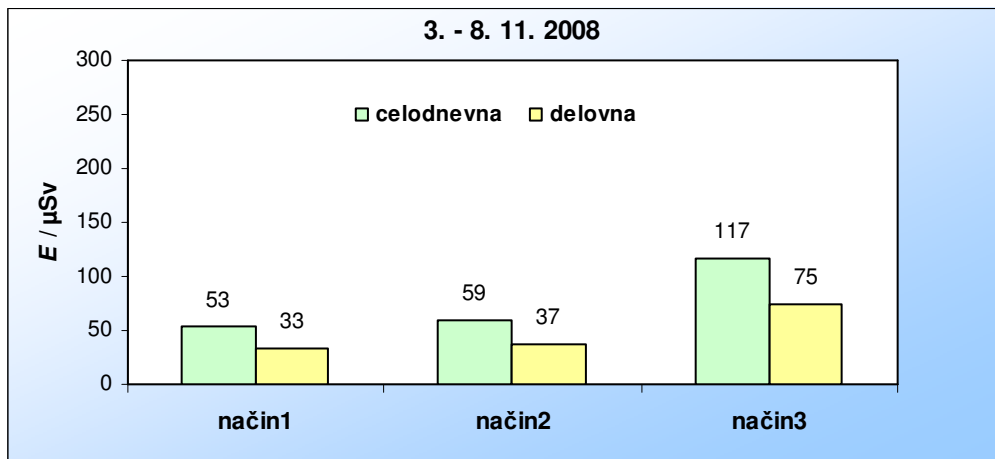
Trgovina je bolj tipično delovno okolje kot pisarna v zgradbi Pe-01BD, kjer zaposleni v isti hiši tudi bivajo. To je najbolj vidno v večji razliki med delovno in celodnevno dozo. V pisarni je razlika med njima v povprečju manj kot 30 % (slika 23), v trgovini pa kar okrog 50 % (slika 26).

Dnevne efektivne doze na sliki 26 so nizke in med njimi ni večjih razlik z izjemo sobote, ko trgovina posluje s krajšim delovnim časom in dobimo tudi najmanjšo razliko med delovno in celodnevno dozo. Kot vidimo, nam način 1 in 2 efektivno dozo podcenita, zato moramo biti v tem primeru pri izračunu doze previdni. Najboljša izbira je seveda način 3, priporočljive pa so kontinuirane meritve vseh parametrov potrebnih za čim bolj pravilen izračun efektivne doze.

Tudi tedenske efektivne doze na sliki 27 kažejo razliko med načinoma 1 in 2 v primerjavi z načinom 3, celodnevne doze pa so od delovnih višje za faktor okrog 1,6.



Slika 26: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za posamezne dneve od ponedeljka, 3. novembra, do sobote, 8. novembra 2008, v trgovini.



Slika 27: Celodnevna in delovna efektivna doza v μSv izračunana po načinih 1, 2 in 3 za tedensko obdobje od ponedeljka, 3. novembra, do sobote 8., novembra 2008, v trgovini.

4.4 Primerjava F, f_{un} in DCF v različnih okoljih ter efektivne doze na osnovi njihovih vrednosti

Za boljšo primerjavo efektivnih doz, ki sem jih izračunala za stanovalce 14 zgradb na osnovi trenutnih koncentracij radona izmerjenih s scintilacijskimi celicami (tabela 5) na dva različna načina, podajam njihove vrednosti v tabeli 8. V prvem stolpcu je koda zgradbe, ki ji sledita v naslednjih dveh stolpcih efektivna doza iz povprečne koncentracije radona v celotni zgradbi (E_{zg}) in efektivna doza kot vsota prispevkov doz po posameznih prostorih (E_{pr}).

Tabela 8: Efektivne doze stanovalcev 14 zgradb izračunane na osnovi povprečne koncentracije radona v celotni zgradbi (E_{zg}) in vsote prispevkov doz po posameznih prostorih (E_{pr}) v $mSv a^{-1}$.

| koda | E_{zg} ($mSv a^{-1}$) (povprečna C_{Rn} zgradbe) | E_{pr} ($mSv a^{-1}$) (vsota C_{Rn} po prostorih) |
|---------|--|---|
| Ve-01B | 0,82 | 0,61 |
| Ve-02D | 0,30 | 0,30 |
| Ža-01D | 0,11 | 0,11 |
| Ža-02B | 0,51 | 0,33 |
| Ža-03B | 0,90 | 0,52 |
| Ža-04B | 0,16 | 0,16 |
| Ža-05B | 0,45 | 0,43 |
| Ža-06BD | 3,73 | 2,26 |
| Ža-07B | 0,16 | 0,16 |
| Pe-01BD | 2,24 | 1,41 |
| Šen-01D | 0,15 | 0,15 |
| Šem-01B | 0,18 | 0,17 |
| Še-01B | 0,38 | 0,47 |
| Še-02B | 0,39 | 0,27 |

Kot vidimo v tabeli 8, je E_{zg} v 8 zgradbah višja od E_{pr} , v 5 je enaka in v eni zgradbi nekoliko nižja (Še-01B). Razlog je v večjih deležih časa, ki sem jih pripisala spalnici in dnevni sobi (tabela 5), ki imata tudi višje koncentracije radona kot ostala dva prostora (kuhinja, delavni prostor). V splošnem so E_{zg} višje od E_{pr} za približno 30 %. Po pričakovanju imamo večje neskladje doz v zgradbah, kjer so večje razlike v koncentracijah radona med prostori in so deleži časa, ki ga oseba preživi v določenem prostoru, nesorazmerni (na primer pri Ža-06BD in Pe-01BD). Bolj pravilen je izračun doze po posameznih prostorih zgradbe in podan kot vsota deležev doz, vendar je takšna ocena bolj zamudna, zato se je v praksi običajno ne poslužujemo. Če primerjamo obe dozi v bivalnem okolju, je E_{zg} v povprečju za 30 % višja od E_{pr} , v delovnem okolju sta dozi enaki, v bivalno-delovnem okolju pa je E_{zg} v povprečju za 40 % višja od E_{pr} .

Meritve v 14 zgradbah sem izvedla z alfa scintilacijskimi celicami in dobila le C_{Rn} . To pomeni, da sem doze lahko računala le po načinu 1 in pri tem uporabila za F in DCF vrednosti iz literature (ICRP, 1994a) na osnovi epidemioloških izsledkov.

Kot rečeno, sem v nadaljevanju raziskave izbrala tri zgradbe, v katerih sem izvedla v zraku kontinuirne meritve vseh parametrov potrebnih za izračun doze: C_{Rn} , F in f_{un} (s pomočjo f_{un} izračunamo DCF). Prostori so bili: kuhinja, pisarna in trgovina.

Ravnotežne faktorje za delovni ali bivalni ter za celodnevni čas podajam za vse tri prostore v tabeli 9. Vrednosti so najnižje v kuhinji, kar kaže na intenzivno prezračevanje prostora. V pisarni in trgovini so ravnotežni faktorji nekoliko višji od vrednosti 0,40, ki jo kot najboljšo izbiro predlaga literatura (ICRP, 1994a), in sicer so do 0,48. Vidimo, da so ravnotežni faktorji v bivalnem/delovnem času v vseh prostorih nižji od celodnevnih, razlika je od 5 do 8 %. Podobne vrednosti ravnotežnih faktorjev sem zasledila tudi v nekaterih drugih raziskavah (Clouvas in sod., 2003; Ramola in sod., 2002; Vaupotič, 2007).

Tabela 9: Celodnevne ter bivalne/delovne vrednosti ravnotežnega faktorja v kuhinji, pisarni in trgovini.

| čas | F | | |
|-----------------|---------|---------|----------|
| | kuhinja | pisarna | trgovina |
| bivalni/delovni | 0,20 | 0,44 | 0,40 |
| celodnevni | 0,21 | 0,48 | 0,42 |

Naslednji parameter je delež nevezane frakcije radonovih razpadnih produktov, ki sem ga potrebovala za izračun *DCF*, njegove vrednosti podajam v tabeli 10. Nižji f_{un} v zraku je značilen za okolja s povišano vsebnostjo aerosolov. Ker se pri kuhanju v zrak sproščajo aerosoli, kuhinja zagotovo sodi med takšna okolja. Pravzaprav sem pričakovala še nižje vrednosti od izmerjenih (Reineking in sod., 1985). Obratno pa je visok f_{un} značilen pri nizki vsebnosti aerosolov v zraku, kot je to v Postojnski jami (Vaupotič, 2008a). Vendar so me tako visoke vrednosti f_{un} v trgovini presenetile.

Tabela 10: Celodnevne ter bivalne/delovne vrednosti deleža nevezane frakcije *RnDP* v kuhinji, pisarni in trgovini.

| čas | f_{un} | | |
|-----------------|----------|---------|----------|
| | kuhinja | pisarna | trgovina |
| bivalni/delovni | 0,10 | 0,17 | 0,24 |
| celodnevni | 0,10 | 0,17 | 0,22 |

Iz izmerjenih f_{un} sem po enačbi (17) (Porstendörfer, 1996) izračunala dozne pretvorbene faktorje. V tabeli 11 podajam njihove vrednosti, kot tudi vrednosti, ki jih priporoča ICRP-65 in so 4 mSv WLM^{-1} za bivalno ter 5 mSv WLM^{-1} za delovno okolje (ICRP, 1994a). Izračunani *DCF* so višji od priporočenih za faktor okrog 2, tako v kuhinji (bivalno okolje), kot tudi v pisarni in trgovini (delovno okolje). Višji dozni pretvorbene faktorji od uradno priznanih vodijo do izračuna prenizkih doz. Prenizko izračunane doze pa lahko vodijo k nezaželenim posledicam za zdravje ljudi, saj so njihove dejanske doze višje od izračunanih.

Tabela 11: Primerjava izračunanega doznega pretvorbenega faktorja DCF ($mSv WLM^{-1}$) med kuhinjo, pisarno in trgovino z DCF-jem po ICRP-65, v bivalnem/delovnem času glede na celodnevna.

| čas | DCF ($mSv WLM^{-1}$) | | |
|-----------------|------------------------|---------|----------|
| | kuhinja | pisarna | trgovina |
| bivalni/delovni | 7,9 | 9,1 | 10,2 |
| celodnevni | 7,9 | 9,1 | 9,9 |
| ICRP-65 | 4 | 5 | 5 |

Doze sem izračunala na tri načine po enačbi (18) (Nero, 1988). Prva dva sta bila na epidemiološki osnovi po ICRP-65 (ICRP, 1994a), zadnji, najbolj natančen, pa na dozimetrični osnovi. Izhajala sem iz dveh različnih povprečnih C_{Rn} , in sicer celodnevne (na osnovi 24-urne dnevne koncentracije) ter bivalne/delovne (na osnovi koncentracije v času prisotnosti).

V tabeli 12 sem povzela odstopanja med dozami glede na uporabljene načine izračuna, ki sem jih predstavila na slikah 19, 22 in 25. Podajam jih kot delež odstopanja od načina 3 za bivalni/delovni čas, ki je najbolj natančen.

Tabela 12: Odstopanje celodnevni in bivalni/delovni doz, izračunanih po načinih 1, 2 in 3, od načina 3 za bivalno/delovno dozo.

| pregled uporabljenih metod | doza | kuhinja (bivalno okolje) delež | pisarna (delovno okolje) delež | trgovina (delovno okolje) delež |
|----------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| način 1 | celodnevna | 1,07 | 0,56 | 0,75 |
| | bivalna/delovna | 1,02 | 0,50 | 0,49 |
| način 2 | celodnevna | 0,56 | 0,67 | 0,79 |
| | bivalna/delovna | 0,51 | 0,55 | 0,49 |
| način 3 | celodnevna | 1,11 | 1,22 | 1,55 |
| | bivalna/delovna | 1 | 1 | 1 |

Vidimo (tabela 12), da so doze izračunane po načinu 1 in 2, glede na način 3 s koncentracijo radona v bivalnem/delovnem času v glavnem nižje od realnega izračuna doz (način 3). To je slabo, saj bi ljudem s tem načinom izračuna lahko pripisali nižje doze od dejanskih in bi bili ljudje tako izpostavljeni večjemu zdravstvenemu tveganju. Izjema je doza izračunana po načinu 1 v kuhinji, kjer dajeta oba izračuna podobno dozo, vzrok pa je majhna razlika med izmerjenimi vrednostmi in tistimi, ki sem jih privzela iz literature. Rezultati kažejo, da nam merilni tehniki, kot sta scintilacijska celica ali detektor jedrskih sledi, ne dajeta dovolj dobre osnove za izračun doze. Celodnevna doza pri načinu 3 je seveda precenjena, bolj v okoljih, kjer so večje razlike med celodnevno in bivalno/delovno (v času prisotnosti) koncentracijo radona in njegovih razpadnih produktov.

5 ZAKLJUČKI

V dozimetriji radona že vrsto let obstaja razkorak med epidemiološkim in dozimetričnim pristopom izračuna doze. Tej tematiki je namenjeno tudi to diplomsko delo, v katerem sem izračunala doze na tri različne načine, pri katerih sta prva dva temeljila na epidemiološkem, tretji pa na dozimetričnem pristopu. Izmed štirinajst naključno izbranih zgradb v moji raziskavi, sem izbrala tri z najvišjimi trenutnimi koncentracijami radona, od katerih je prva bivalno okolje (kuhinja), drugi dve (pisarna in trgovina) pa delovni okolje. V teh prostorih sem tri tedne kontinuirano merila koncentracije radona, radonovih kratkoživih razpadnih produktov in njihovo radioaktivno ravnotežje z radonom ter njihov delež v nevezani obliki, ki ima ključno vlogo v dozimetriji. Na osnovi dobljenih podatkov sem izračunala učinkovite doze na tri različne načine, in sicer tako, da sem kot vhodne podatke uporabila: (način 1) izmerjene koncentracije radona ter ravnotežni faktor in dozni pretvorbeni faktor iz literature (katerega vrednost je izpeljana na osnovi epidemioloških izsledkov), (način 2) izmerjene koncentracije radona in ravnotežnega faktorja ter dozni pretvorbeni faktor iz literature in (način 3) izmerjene koncentracije radona, ravnotežnega faktorja in deleža radonovih nevezanih razpadnih produktov, iz katerega sem z uporabo dozimetričnega modela izračunala dozne pretvorbene faktorje. V vseh primerih sem računala učinkovito dozo na osnovi podatkov o celodnevni in bivalno/delovni (koncentraciji med časom zadrževanja v prostorih) koncentraciji.

Predvsem me je zanimalo, kako dobro je ujemanje učinkoviten doz, izračunanih na osnovi manj zahtevnih in cenovno bolj ugodnih meritev (način 1 in 2), v primerjavi z zelo natančnim izračunom, ki ga dobimo s kontinuiranimi meritvami (način 3).

Moje ugotovitve lahko strnem v naslednje zaključke:

- V štirinajstih naključno izbranih zgradbah vpliva na koncentracijo radona bolj izrazito kakovost gradnje kot geološka podlaga.
- Meritve trenutnih koncentracij radona so priporočljive predvsem za hiter pregled večjega števila zgradb. Ko iščemo najbolj ogrožena mesta, jih je najbolje izvajati v prostorih, ki pred meritvijo niso bili prezračeni vsaj nekaj ur, da dobimo najvišje koncentracije. Če izvajamo meritve v delno prezračeni ali prezračeni prostorih, dobimo sicer realne razmere, v katerih so stanovalci v času meritve, a rezultate težko vrednotimo, saj ne vemo, do kakšne mere je prostor prezračen. Te meritve nam tudi ne omogočajo spremljanja nihanj v koncentracijah radona, ki so posledica meteoroloških dejavnikov in prezračevanja, oziroma bi bilo to zelo zamudno.
- Ker sem v štirinajstih naključno izbranih zgradbah izmerila le trenutne koncentracije radona, sem lahko ocenila učinkovite doze le po načinu 1. Ko sem izhajala iz povprečne koncentracije radona za celotno zgradbo, sem dobila za približno 30 % višje doze od bolj realnih, izračunanih na osnovi vsote deležev po posameznih prostorih. Pri nizkih koncentracijah radona je razlika v dozi zanemarljiva, če pa so koncentracije povišane, je vsekakor priporočljivo, da meritve izvedemo temeljito, vključimo vse prostore, merimo v različnih letnih časih in poskušamo oceniti doze na čim manj predpostavkah.

- Kontinuirane meritve v treh izbranih zgradbah so pokazale, da se lahko merjeni parametri v bivalnem in delovnem okolju zelo razlikujejo. Ker delovnih prostorov preko noči in med dela prostimi dnevi v glavnem ne prezračujemo, koncentracije radona takrat naraščajo, zviša se ravnotežni faktor in zniža delež nevezanih radonovih razpadnih produktov. Če primerjamo vrednosti teh parametrov v realnem času, ko so prisotni ljudje, glede na celoten čas, lahko dobimo znatne razlike.
- Koncentracije radona so bile v kuhinji v območju od 580 do 1800 Bq m⁻³, v pisarni od 180 do 1390 Bq m⁻³ in v trgovini od 44 do 980 Bq m⁻³. V vseh prostorih so začele običajno naraščati zvečer in dosegle najvišje vrednosti zgodaj zjutraj, nato pričele padati in so dosegle najnižje vrednosti ob različnih urah dneva, kar je odvisno od dejavnosti v prostoru. V pisarni in trgovini so bile v delovnem času znatno nižje glede na preostali čas.
- Vrednosti ravnotežnega faktorja so bile v območju od 0,20 do 0,48. Najnižji so bili v kuhinji, kar kaže na intenzivno prezračevanje prostora, v pisarni in trgovini pa so nekoliko presegle vrednost, ki jo kot najboljšo izbiro predlaga literatura. Ravnotežni faktorji so bili v bivalno/delovnem času v vseh treh prostorih nižji od celodnevnih, razlika je bila od 5 do 8 %.
- Povprečni celodnevni deleži nevezanih radonovih razpadnih produktov se niso razlikovali od tistih v času prisotnosti v kuhinji (0,10) in v pisarni (0,17). Razlika je bila v trgovini, kjer je bil v času obratovanja ta delež 0,24, celodnevni pa 0,22. Nižji delež nevezane frakcije radonovih razpadnih produktov v zraku je značilen za okolja s povišano vsebnostjo aerosolov. Ker se pri kuhanju v zrak sproščajo aerosoli, kuhinja zagotovo sodi med takšna okolja. Pričakovala sem pravzaprav še nižje vrednosti od izmerjenih. Obratno pa je visok delež nevezane frakcije značilen za nizko vsebnost aerosolov v zraku. Presenetili so nas nenavadno visoki deleži nevezane frakcije v trgovini, saj je to prostor, kjer bi zaradi pogostega odpiranja vrat in s tem intenzivnega prezračevanja in mešanja zraka, pričakovali višjo vsebnost aerosolov. Očitno pa se aerosoli posedajo na številne steklene odlagalne površine v trgovini.
- Dozni pretvorbeni faktorji, ki sem jih izračunala na osnovi deleža nevezanih radonovih razpadnih produktov, so bili v vseh treh prostorih višji od tistih, ki jih priporoča literatura (4 mSv WLM⁻¹ za bivalno okolje in 5 mSv WLM⁻¹ za delovno okolje). Izračunani dozni pretvorbeni faktorji so v območju od 7,9 do 10,2 mSv WLM⁻¹ in so tako višji za faktor okrog 2, tako v kuhinji (bivalno okolje) kot tudi v pisarni in trgovini (delovno okolje).
- Doze, ki sem jih izračunala po načinu 1 in 2, so glede na način 3 s koncentracijo radona v času prisotnosti, v glavnem podcenjene. V tem primeru bi ljudem s tem načinom izračuna lahko pripisali nižje doze od dejanskih in bi bili tako izpostavljeni povečanemu tveganju za nastanek raka na pljučih. Izjema je doza, izračunana po načinu 1 v kuhinji, kjer dajeta oba izračuna podoben rezultat, vzrok pa je majhna razlika med izmerjenimi vrednostmi in tistimi, ki sem jih privzela iz literature.

- Rezultati kontinuiranih meritev kažejo, da nam merilni tehniki, kot sta scintilacijska celica (trenutna koncentracija) ali detektor jedrskih sledi (povprečna koncentracija), dajeta doze, ki se lahko znatno razlikujejo od tistih, ki jih ljudje dejansko dobijo.
- V bodoče bi bilo potrebno v tovrstne raziskave vključiti več značilnih delovnih prostorov, kontinuirane meritve izvajati preko daljšega časa in dodatno izmeriti tudi koncentracije ter velikostne porazdelitve aerosolov.

6 VIRI

- AMES (Avtomatski merilni sistem za okolje). 2000. PRM 145 Prenosni merilnik radona. Ljubljana
<http://www.ames.si/slo/produkti/Doc/PRM%20145%20slo.pdf> (23. junij 2009)
- Bell F.G. 2007. Basic environmental and engineering geology. Cattiness, Whittles Publishing Limited: 342 str.
- Birchall A. in James A.J. 1994. Uncertainty analysis of the effective dose per unit exposure from radon progeny and implication for ICRP risk-weighting factors. *Radiation Protection Dosimetry*, 53: 133–140
- Brichall A., Marsh J. W. 2005. Radon Dosimetry and its Implication for Risk. *Int. Congress Ser.*, 1276: 81–84
- Blythe A. 1999. Radon in buildings. V: Bassett. W. H. 1999. *Clay's handbook of Environmental Health*. Taylor & Francis Group LLC, London: 827–850
- BSS (Basic Safety Standards). 2000. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. International atomic energy agency, Vienna: 1–329
- Buser S. 1977. Osnovna geološka karta. Geološki zavod Ljubljana, 1977
- Clouvas A., Xanthos S., Antonopoulos-Domis M. 2003. Long term measurements of radon equilibrium factor in Greek dwellings. *Radiation Protection Dosimetry*, 103: 269–272
- EPA. 2009. Health Risks.
<http://www.epa.gov/radon/healthrisks.html> (22. december 2009)
- IAEA (International Atomic Energy Agency). Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines. IAEA 2003. Safety Reports Series 33: Vienna, 1–73
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). Protection Against Radon–222 at Home and at Work. ICRP 1994a. Publication 65, Pergamon Press: Oxford, 1–44
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). Human Respiratory TRACK model for Radiological Protection. ICRP 1994b. Publication 66, Pergamon Press: Oxford, 1–482
- James A.C. 1988. Lung Dosimetry. V: Nazaroff W.W., Nero A.V., Jr. 1988. Radon and its Decay Products in Indoor Air. John Wiley and Sons, New York: 259–309
- Knutson E.O. 1988. Modeling Indoor Concentrations of Radon's Decay Products. V: Nazaroff W.W., Nero A.V., Jr. 1988. Radon and its Decay Products in Indoor Air. John Wiley and Sons, New York: 161–202
- Koželj M., Erman R., Istenič R., Radež Č. M. 2006. Delo z viri sevanj. 1. izdaja. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost: 1–96

- Kranrod C., Tokonami S., Ishikawa T., Sorimachi A., Janik M., Shingaki R., Furukawa M., Canyotha S., Chankow N. 2009. *Applied Radiation and Isotopes*, 67: 1127–1132
- Križman M. in Mljač L. 1994. Koncentracije radon v bivalnem okolju Slovenije, Metodologija ocenjevanja prejetih doz. IJS DP–7074/94
- Markov K.R. 1962. A rapid method to estimate radiation hazards related to radon decay products in air. *Atomnaya Energiya*, 12: 315–322
- Marsh J.W. in Brichall A. 2000. Sensitivity analysis of the weighted equivalent lung dose per unit exposure from radon progeny. *Radiation Protection Dosimetry*, 87, 3: 167–178
- Mioč P. in Žnidaršič M. 1972. Osnovna geološka karta. Geološki zavod Ljubljana.
- Nazaroff W.W. 1988. Appendix: Measurement Techniques. V: Nazaroff W.W., Nero A.V., Jr. 1988. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. John Wiley and Sons, New York: 491–504
- Nazaroff W.W., Moed B.A., Sextro G.R. 1988. Soil as a Source of Indoor Radon Generation, Migration, and Entry. V: Nazaroff W.W., Nero A.V., Jr. 1988. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. John Wiley and Sons, New York: 57–112
- Nero A.V., Jr. 1988. Radon and its Decay Products in Indoor Air: An Overview. V: Nazaroff W.W., Nero A.V., Jr. 1988. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. John Wiley and Sons, New York: 1–53
- Popit A. in Vaupotič J. 2002. The influence of geology on elevated radon concentrations in Slovenian schools and kindergartens. *Geologija*, 45, 2: 499–504
- Porstendörfer J. 1993. Properties and behavior of radon and thoron and their decay products in the air. Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment, CEC (Commission of the European Communities), Report EUR 14411 En, 69–150
- Porstendörfer J. 1996. Radon: Measurement related to Dose. *Environmental International*, 22, 1: S563–S583
- Porstendörfer J., Zock C., Reineking A. 2000. Aerosol size distribution of the radon progeny in outdoor air. *Journal of Environmental Radioactivity*, 51: 37–48
- Ramola R.C., Negi M.S., Choubey V.M. 2002. Measurements of the equilibrium factor »F« between radon and its progeny and thoron and its progeny in the indoor atmosphere using nuclear track detectors. *Indoor and Built Environment*, 12: 351–355
- Reineking A., Becker K.H., Porstendörfer J. 1985. Measurements of the unattached fraction of radon daughters in homes. *Science of the Total Environment*, 45: 261–270
- Robkin M. A. 1987. Terminology for describing radon concentration and exposures. V: Bodansky D., Robkin M. A. and Stadler D. R. 1987. *Indoor radon and its hazards*. University of Washington Press, Seattle and London

SARAD. 2009. EQF 3020 (Radon and Radon progeny monitor). http://www.sarad.de/ENG/EN_Radon_Aerosols/EN_Eqf3020/en_eqf3020.htm (23. junij 2009)

Stather J.W. 2004. Dosimetric and epidemiological approaches to assessing radon doses—can the differences be reconciled? *Radiation Protection Dosimetry*, 112, 4: 487–492

Stranden E. 1988. Building Materials as a source of Indoor Radon. V: Nazaroff W.W., Nero A.V., Jr. 1988. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. John Wiley and Sons, New York: 113–130

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation), Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000. Report to the General assembly, with Scientific Annexes, Vol. 1, 2000

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation), Sources to Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces. 2006. Report to the General assembly, with Scientific Annexes, Vol. 2

Ur. l. RS. Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji. Ur.l. RS, št. 115/2003 z dne 24.11.2003

Ur. l. RS. Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih. Ur.l. RS, št. 49/2004 z dne 30.4.2004

Valković V. 2000. *Radioactivity in the environment*. Amsterdam. Elsevier: 681 str.

Vaupotič J. 1995. Koncentracija radona in njegovih razpadnih produktov v bivalnem okolju ter modelni izračun doz. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za kemijo in kemijsko tehnologijo

Vaupotič J. 2002. Radon exposure at drinking water supply plants in Slovenia. *Health Physics*, 83, 6: 901–906

Vaupotič J. 2007. Nano-size radon short-lived progeny aerosols in Slovenian kindergartens in wintertime. *Chemosphere*, 69: 856–863

Vaupotič J. 2008a. Nanosize radon short-lived decay products in the air of the Postojna Cave. *Science of the Total Environment*, 393, 1: 27–38

Vaupotič J. 2008b. Comparison of various methods of estimating radon dose at underground workplaces in wineries. *Radiation and Environmental Biophysics*, 4, 47: 527–534

Vaupotič J. 2010. Slovenian approach in managing exposure to radon at workplaces, *Nukleonika*, (v tisku)

Vaupotič J. in Kobal I. 2001. Radon exposure in Slovenian Spas. *Radiation Protection Dosimetry*, 97, 3: 265–270

Vaupotič J. in Kobal I. 2008a. Radioaktivnost in zaščita pred sevanji: šolsko leto 2007/2008. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Univerzitetni študijski program Okolje, 1. el optični disk (CD-ROM)

Vaupotič J., Kobal I. 2008b. Radioaktivnost in zaščita pred sevanji: šolsko leto 2007/2008. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Univerzitetni študijski program Okolje, 1. el optični disk (CD-ROM)

Vaupotič J., Ančik M., Škofljnec M., Kobal I. 1992. Alpha Scintillation Cell for Direct Measurement of Indoor Radon. *Journal of Environmental Science and Health, A 27, 6*: 1535–1540

Vaupotič J. in Kobal I. 2006a. Radon Doses in Slovenian Schools Based on Alpha Spectroscopy. *Acta Chimica Slovenica*, 53: 8–12

Vaupotič J. in Kobal I. 2006b. Radon Survey and Exposure Assessment in Hospitals. *Radiation Protection Dosimetry*, 121: 158–167

Vaupotič J., Šikovec M., Kobal I. 2000. Systematic indoor radon and gamma-ray measurements in Slovenian schools. *Health Physics*, 78, 559–562

Vaupotič J., Žvab P., Smrekar N., Gregorič A., Dujmovič P., Kobal I. 2007. Sistematično pregledovanje delovnega in bivalnega okolja 2007. Delovno poročilo. Ljubljana, IJS-DP-9648: 57 str.

Vaupotič J., Križman M., Planinič J., Adamič K., Stegnar P., Kobal I., Pezdič J. 1994. Systematic indoor radon and gama measurements in kindergartens and play schools in Slovenia. *Health Physics*, 66, 5: 550–556

Zemljevidi

http://zemljevid.najdi.si/index_maps.jsp?&tab=maps (15. november 2009)

PRILOGE

Priloga A: Merjeni parametri v kuhinji v obdobju od 16. novembra do 4. decembra 2008

Priloga B: Merjeni parametri v pisarni v obdobju od 19. novembra do 13. decembra 2008

Priloga C: Merjeni parametri v trgovini v obdobju od 22. oktobra do 12. novembra 2008

Priloga A

Merjeni parametri v kuhinji v obdobju od 16. novembra do 4. decembra 2008

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | Min | Max | am | min | Max | am |
| 16.11. – 4.12.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 581 | 1800 | 1294 | 81 | 426 | 276 | 0,07 | 0,40 | 0,20 | 0,01 | 0,28 | 0,10 | 20,8 | 27,2 | 23,5 | 33,7 | 57,2 | 39,9 |
| prisotni | 581 | 1602 | 1222 | 81 | 412 | 246 | 0,07 | 0,40 | 0,20 | 0,04 | 0,28 | 0,10 | 20,8 | 27,0 | 23,6 | 34,2 | 57,2 | 40,2 |
| odsotni | 807 | 1800 | 1363 | 143 | 426 | 306 | 0,12 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,26 | 0,09 | 20,9 | 27,2 | 23,4 | 33,7 | 54,4 | 39,5 |
| 17.11. – 23.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 581 | 1660 | 1237 | 81 | 414 | 268 | 0,07 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,28 | 0,10 | 20,9 | 24,2 | 22,7 | 35,5 | 51,0 | 43,1 |
| prisotni | 581 | 1596 | 1177 | 81 | 412 | 243 | 0,07 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,28 | 0,10 | 21,6 | 24,1 | 22,8 | 35,9 | 50,4 | 43,3 |
| odsotni | 807 | 1660 | 1296 | 143 | 414 | 293 | 0,12 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,26 | 0,10 | 20,9 | 24,2 | 22,6 | 35,5 | 51,0 | 42,9 |
| 24.11. – 30.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 605 | 1714 | 1319 | 112 | 396 | 283 | 0,13 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,17 | 0,09 | 21,6 | 24,4 | 23,2 | 33,7 | 40,3 | 37,0 |
| prisotni | 605 | 1496 | 1272 | 112 | 395 | 255 | 0,13 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,16 | 0,09 | 22,2 | 24,3 | 23,4 | 34,2 | 40,3 | 37,2 |
| odsotni | 1082 | 1714 | 1365 | 208 | 396 | 310 | 0,14 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,17 | 0,09 | 21,6 | 24,4 | 23,1 | 33,7 | 39,8 | 36,7 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| 17.11. – 23.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ponedeljek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 692 | 1544 | 1183 | 138 | 414 | 300 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,06 | 0,12 | 0,08 | 22,0 | 22,9 | 22,5 | 47,7 | 51,0 | 49,8 |
| prisotni | 692 | 1315 | 961 | 138 | 325 | 238 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,06 | 0,12 | 0,09 | 22,4 | 22,9 | 22,7 | 49,6 | 50,4 | 50,0 |
| odsotni | 1214 | 1544 | 1404 | 279 | 414 | 363 | 0,21 | 0,30 | 0,30 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 22,0 | 22,7 | 22,4 | 47,7 | 51,0 | 49,6 |
| torek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1084 | 1458 | 1266 | 232 | 369 | 299 | 0,19 | 0,30 | 0,20 | 0,06 | 0,13 | 0,09 | 21,0 | 22,4 | 21,9 | 44,2 | 46,5 | 45,6 |
| prisotni | 1084 | 1298 | 1198 | 232 | 369 | 274 | 0,19 | 0,30 | 0,20 | 0,06 | 0,13 | 0,09 | 21,6 | 22,4 | 22,0 | 45,2 | 46,1 | 45,7 |
| odsotni | 1136 | 1458 | 1335 | 283 | 354 | 325 | 0,19 | 0,30 | 0,20 | 0,06 | 0,10 | 0,08 | 21,0 | 22,2 | 21,7 | 44,2 | 46,5 | 45,4 |
| sreda | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1054 | 1462 | 1306 | 161 | 412 | 306 | 0,15 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 20,9 | 22,8 | 22,0 | 42,5 | 43,7 | 43,2 |
| prisotni | 1054 | 1438 | 1283 | 161 | 412 | 267 | 0,15 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,14 | 0,11 | 21,6 | 22,4 | 22,1 | 43,0 | 43,7 | 43,3 |
| odsotni | 1160 | 1462 | 1329 | 299 | 395 | 346 | 0,24 | 0,30 | 0,30 | 0,07 | 0,12 | 0,08 | 20,9 | 22,8 | 21,8 | 42,5 | 43,5 | 43,1 |
| četrtek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 581 | 1543 | 1150 | 143 | 412 | 275 | 0,16 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,15 | 0,09 | 21,4 | 23,7 | 22,7 | 41,3 | 44,3 | 42,8 |
| prisotni | 581 | 1543 | 1130 | 154 | 401 | 271 | 0,19 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,10 | 0,08 | 22,1 | 23,3 | 22,9 | 41,6 | 43,8 | 42,8 |
| odsotni | 826 | 1484 | 1170 | 143 | 412 | 278 | 0,16 | 0,30 | 0,20 | 0,06 | 0,15 | 0,10 | 21,4 | 23,7 | 22,6 | 41,3 | 44,3 | 42,8 |
| petek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 807 | 1452 | 1079 | 163 | 317 | 213 | 0,13 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,17 | 0,11 | 22,9 | 24,2 | 23,5 | 43,3 | 44,9 | 44,1 |
| prisotni | 817 | 1218 | 1040 | 163 | 317 | 217 | 0,17 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,13 | 0,09 | 23,3 | 23,8 | 23,5 | 43,6 | 44,9 | 44,4 |
| odsotni | 807 | 1452 | 1117 | 166 | 243 | 209 | 0,13 | 0,30 | 0,20 | 0,07 | 0,17 | 0,12 | 22,9 | 24,2 | 23,5 | 43,3 | 44,8 | 43,9 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|----------------------------|--------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| sobota | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1085 | 1660 | 1379 | 81 | 277 | 206 | 0,07 | 0,20 | 0,20 | 0,06 | 0,28 | 0,16 | 22,7 | 24,1 | 23,6 | 37,6 | 42,0 | 39,9 |
| prisotni | 1085 | 1596 | 1337 | 81 | 216 | 171 | 0,07 | 0,20 | 0,10 | 0,12 | 0,28 | 0,17 | 22,9 | 24,1 | 23,7 | 39,5 | 40,6 | 40,2 |
| odsotni | 1286 | 1660 | 1422 | 198 | 277 | 241 | 0,12 | 0,20 | 0,20 | 0,06 | 0,26 | 0,15 | 22,7 | 23,9 | 23,4 | 37,6 | 42,0 | 39,6 |
| nedelja | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1092 | 1497 | 1293 | 226 | 319 | 278 | 0,17 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,14 | 0,07 | 21,8 | 23,4 | 22,8 | 35,5 | 37,8 | 36,4 |
| prisotni | 1092 | 1497 | 1291 | 226 | 298 | 266 | 0,17 | 0,20 | 0,20 | 0,07 | 0,14 | 0,09 | 22,1 | 23,4 | 22,9 | 35,9 | 37,8 | 36,8 |
| odsotni | 1130 | 1458 | 1294 | 253 | 319 | 290 | 0,19 | 0,30 | 0,20 | 0,01 | 0,07 | 0,05 | 21,8 | 23,3 | 22,8 | 35,5 | 36,8 | 36,0 |
| 24.11. – 30.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ponedeljek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 726 | 1569 | 1216 | 125 | 309 | 231 | 0,14 | 0,20 | 0,20 | 0,05 | 0,17 | 0,11 | 22,1 | 23,4 | 22,8 | 35,1 | 38,2 | 36,7 |
| prisotni | 726 | 1305 | 1116 | 125 | 306 | 223 | 0,17 | 0,20 | 0,20 | 0,05 | 0,12 | 0,09 | 22,4 | 23,1 | 22,7 | 35,8 | 37,6 | 36,9 |
| odsotni | 1082 | 1569 | 1316 | 208 | 309 | 239 | 0,14 | 0,20 | 0,20 | 0,09 | 0,17 | 0,13 | 22,1 | 23,4 | 22,9 | 35,1 | 38,2 | 36,6 |
| torek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1111 | 1714 | 1426 | 197 | 350 | 260 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,09 | 0,16 | 0,12 | 21,9 | 24,1 | 23,2 | 37,2 | 40,3 | 38,7 |
| prisotni | 1111 | 1431 | 1332 | 197 | 237 | 214 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,14 | 0,13 | 22,5 | 24,1 | 23,5 | 38,0 | 40,3 | 39,1 |
| odsotni | 1357 | 1714 | 1519 | 257 | 350 | 307 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,09 | 0,16 | 0,12 | 21,9 | 24,1 | 23,0 | 37,2 | 39,8 | 38,3 |
| sreda | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1261 | 1529 | 1380 | 202 | 327 | 266 | 0,13 | 0,20 | 0,20 | 0,04 | 0,15 | 0,10 | 22,0 | 24,1 | 23,4 | 36,9 | 38,9 | 37,9 |
| prisotni | 1261 | 1496 | 1355 | 202 | 292 | 233 | 0,13 | 0,20 | 0,20 | 0,06 | 0,15 | 0,10 | 22,8 | 24,1 | 23,6 | 37,5 | 38,8 | 38,0 |
| odsotni | 1292 | 1529 | 1405 | 283 | 327 | 299 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,04 | 0,11 | 0,09 | 22,0 | 24,1 | 23,2 | 36,9 | 38,9 | 37,9 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|----------------|--------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| četrtek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 605 | 1483 | 1248 | 112 | 317 | 241 | 0,16 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,16 | 0,10 | 21,9 | 24,0 | 23,2 | 35,0 | 37,4 | 36,3 |
| prisotni | 605 | 1443 | 1122 | 112 | 262 | 192 | 0,16 | 0,20 | 0,20 | 0,08 | 0,16 | 0,12 | 22,6 | 24,0 | 23,5 | 36,1 | 37,4 | 36,6 |
| odsotni | 1241 | 1483 | 1374 | 260 | 317 | 290 | 0,19 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,15 | 0,09 | 21,9 | 23,9 | 23,0 | 35,0 | 36,8 | 36,0 |
| petek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1180 | 1446 | 1314 | 240 | 342 | 293 | 0,18 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 21,6 | 24,1 | 23,1 | 33,7 | 37,6 | 35,5 |
| prisotni | 1180 | 1446 | 1311 | 240 | 296 | 265 | 0,18 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 22,2 | 24,0 | 23,3 | 34,2 | 37,6 | 35,8 |
| odsotni | 1223 | 1373 | 1316 | 293 | 342 | 321 | 0,21 | 0,30 | 0,20 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 21,6 | 24,1 | 22,9 | 33,7 | 37,0 | 35,2 |
| sobota | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1205 | 1451 | 1320 | 288 | 396 | 334 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,01 | 0,08 | 0,06 | 21,9 | 24,0 | 23,3 | 35,0 | 37,7 | 36,3 |
| prisotni | 1253 | 1451 | 1327 | 288 | 355 | 310 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 22,2 | 23,9 | 23,4 | 35,3 | 37,7 | 36,6 |
| odsotni | 1205 | 1362 | 1314 | 343 | 396 | 358 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,01 | 0,07 | 0,05 | 21,9 | 24,0 | 23,2 | 35,0 | 37,0 | 36,0 |
| nedelja | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 1097 | 1423 | 1327 | 274 | 395 | 353 | 0,19 | 0,30 | 0,30 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 22,1 | 24,4 | 23,5 | 35,5 | 39,6 | 37,3 |
| prisotni | 1097 | 1423 | 1341 | 274 | 395 | 349 | 0,19 | 0,30 | 0,30 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 22,4 | 24,3 | 23,6 | 35,8 | 39,6 | 37,7 |
| odsotni | 1173 | 1410 | 1314 | 341 | 374 | 357 | 0,24 | 0,30 | 0,30 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 22,1 | 24,4 | 23,5 | 35,5 | 38,8 | 37,0 |

Priloga B

Merjeni parametri v pisarni v obdobju od 19. novembra do 13. decembra 2008

| Obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| 19.11. – 13.12.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 180 | 1394 | 833 | 66 | 663 | 391 | 0,23 | 0,79 | 0,48 | 0,12 | 0,23 | 0,17 | 20,4 | 23,0 | 22,0 | 45,7 | 54,5 | 48,5 |
| odprto | 180 | 1045 | 750 | 66 | 494 | 324 | 0,27 | 0,70 | 0,44 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 20,6 | 22,7 | 21,9 | 46,4 | 54,5 | 48,4 |
| zaprto | 518 | 1394 | 868 | 160 | 663 | 419 | 0,23 | 0,79 | 0,49 | 0,12 | 0,23 | 0,16 | 20,4 | 23,0 | 22,0 | 45,7 | 52,9 | 48,5 |
| 8.12. – 12.12.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 180 | 1394 | 872 | 66 | 612 | 385 | 0,23 | 0,72 | 0,44 | 0,13 | 0,22 | 0,16 | 20,8 | 23,0 | 22,1 | 45,7 | 50,1 | 47,6 |
| odprto | 180 | 1045 | 776 | 66 | 421 | 301 | 0,27 | 0,55 | 0,39 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 21,4 | 22,7 | 22,1 | 46,4 | 48,6 | 47,4 |
| zaprto | 625 | 1394 | 921 | 183 | 612 | 426 | 0,23 | 0,72 | 0,47 | 0,13 | 0,22 | 0,16 | 20,8 | 23,0 | 22,1 | 45,7 | 50,1 | 47,7 |
| 8.12. – 12.12.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ponedeljek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 625 | 1066 | 868 | 384 | 464 | 416 | 0,44 | 0,63 | 0,49 | 0,15 | 0,22 | 0,17 | 21,0 | 22,7 | 22,1 | 47,3 | 49,1 | 48,0 |
| odprto | 180 | 797 | 534 | 66 | 332 | 216 | 0,29 | 0,55 | 0,40 | 0,16 | 0,21 | 0,19 | 21,6 | 22,6 | 22,2 | 47,3 | 48,6 | 48,0 |
| zaprto | 625 | 1066 | 868 | 384 | 464 | 416 | 0,44 | 0,63 | 0,49 | 0,15 | 0,22 | 0,17 | 21,0 | 22,7 | 22,1 | 47,3 | 49,1 | 48,0 |
| torek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 680 | 1394 | 1008 | 183 | 458 | 317 | 0,23 | 0,42 | 0,31 | 0,15 | 0,21 | 0,18 | 20,8 | 22,6 | 21,9 | 46,0 | 47,1 | 46,8 |
| odprto | 781 | 1045 | 905 | 239 | 295 | 277 | 0,27 | 0,34 | 0,31 | 0,17 | 0,19 | 0,18 | 21,4 | 22,4 | 22,0 | 46,5 | 46,9 | 46,7 |
| zaprto | 680 | 1394 | 1008 | 183 | 458 | 317 | 0,23 | 0,42 | 0,31 | 0,15 | 0,21 | 0,18 | 20,8 | 22,6 | 21,9 | 46,0 | 47,1 | 46,8 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|----------------|--------------------------------|------|-----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| sreda | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 778 | 1170 | 919 | 279 | 516 | 401 | 0,29 | 0,65 | 0,45 | 0,13 | 0,21 | 0,16 | 20,9 | 22,9 | 22,1 | 45,7 | 48,6 | 47,1 |
| odprto | 808 | 955 | 887 | 330 | 407 | 365 | 0,34 | 0,44 | 0,41 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 21,5 | 22,5 | 22,0 | 46,4 | 46,9 | 46,6 |
| zaprto | 778 | 1170 | 919 | 279 | 516 | 401 | 0,29 | 0,65 | 0,45 | 0,13 | 0,21 | 0,16 | 20,9 | 22,9 | 22,1 | 45,7 | 48,6 | 27,1 |
| četrtek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 776 | 1028 | 914 | 469 | 558 | 526 | 0,46 | 0,72 | 0,58 | 0,13 | 0,16 | 0,14 | 21,1 | 23,0 | 22,2 | 47,0 | 49,0 | 48,0 |
| odprto | 808 | 944 | 876 | 361 | 421 | 394 | 0,42 | 0,47 | 0,45 | 0,14 | 0,16 | 0,15 | 21,7 | 22,7 | 22,3 | 47,7 | 48,0 | 27,9 |
| zaprto | 78 | 1028 | 914 | 469 | 558 | 526 | 0,46 | 0,72 | 0,58 | 0,13 | 0,16 | 0,14 | 21,1 | 23,0 | 22,2 | 47,0 | 49,0 | 48,0 |
| petek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 695 | 1111 | 895 | 319 | 612 | 472 | 0,36 | 0,70 | 0,52 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 21,4 | 22,7 | 22,2 | 47,8 | 50,1 | 48,6 |
| odprto | 469 | 783 | 676 | 197 | 273 | 252 | 0,34 | 0,42 | 0,38 | 0,15 | 0,18 | 0,17 | 21,8 | 22,5 | 22,2 | 47,9 | 48,2 | 48,1 |
| zaprto | 695 | 1111 | 895 | 319 | 612 | 472 | 0,36 | 0,70 | 0,52 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 21,4 | 22,7 | 22,2 | 47,8 | 50,1 | 48,6 |

Priloga C

Merjeni parametri v trgovini v obdobju od 22. oktobra do 12. novembra 2008

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| 22.10. – 12.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 44 | 983 | 411 | 25 | 330 | 162 | 0,18 | 0,75 | 0,40 | 0,17 | 0,41 | 0,22 | 20,5 | 23,8 | 22,3 | 48,0 | 59,4 | 52,9 |
| odprto | 31 | 983 | 269 | 25 | 262 | 91 | 0,18 | 0,86 | 0,40 | 0,17 | 0,31 | 0,24 | 20,5 | 23,8 | 22,5 | 49,4 | 59,4 | 53,8 |
| zaprto | 125 | 914 | 458 | 48 | 330 | 186 | 0,19 | 0,75 | 0,40 | 0,17 | 0,41 | 0,22 | 20,9 | 23,6 | 22,3 | 48,0 | 58,4 | 52,6 |
| 22.10. – 25.10.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 47 | 463 | 259 | 25 | 173 | 120 | 0,27 | 0,75 | 0,50 | 0,17 | 0,31 | 0,21 | 22,3 | 23,7 | 22,9 | 49,8 | 55,9 | 51,5 |
| odprto | 47 | 463 | 249 | 25 | 173 | 93 | 0,27 | 0,52 | 0,40 | 0,17 | 0,31 | 0,22 | 22,6 | 23,7 | 23,2 | 50,0 | 55,9 | 52,1 |
| zaprto | 141 | 396 | 264 | 76 | 173 | 134 | 0,28 | 0,75 | 0,50 | 0,17 | 0,26 | 0,20 | 22,3 | 23,6 | 22,7 | 49,8 | 53,7 | 51,2 |
| 27.10. – 30.10.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 109 | 983 | 510 | 35 | 330 | 175 | 0,19 | 0,61 | 0,40 | 0,17 | 0,41 | 0,24 | 21,4 | 23,4 | 22,5 | 48,0 | 55,1 | 52,0 |
| odprto | 109 | 983 | 420 | 35 | 227 | 115 | 0,20 | 0,44 | 0,30 | 0,21 | 0,31 | 0,26 | 22,2 | 23,4 | 22,8 | 49,4 | 55,1 | 52,8 |
| zaprto | 262 | 914 | 555 | 95 | 330 | 205 | 0,19 | 0,61 | 0,40 | 0,17 | 0,41 | 0,24 | 21,4 | 23,0 | 22,3 | 48,0 | 53,5 | 51,7 |
| 3.11. – 8.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 31 | 810 | 344 | 26 | 262 | 146 | 0,26 | 0,86 | 0,50 | 0,17 | 0,27 | 0,22 | 20,5 | 23,8 | 22,1 | 51,2 | 59,4 | 55,7 |
| odprto | 31 | 810 | 214 | 26 | 262 | 84 | 0,29 | 0,86 | 0,50 | 0,19 | 0,27 | 0,24 | 20,5 | 23,8 | 22,0 | 52,6 | 59,4 | 56,4 |
| zaprto | 125 | 760 | 409 | 48 | 254 | 176 | 0,26 | 0,65 | 0,40 | 0,17 | 0,26 | 0,21 | 20,9 | 23,3 | 22,1 | 51,2 | 58,4 | 55,3 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|----------------------------|--------------------------------|-----|-----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| 22.10. – 25.10.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sreda | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 47 | 312 | 157 | 25 | 155 | 89 | 0,40 | 0,70 | 0,60 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 53,0 | 55,9 | 54,1 | 23,0 | 23,7 | 23,3 |
| odprto | 47 | 95 | 71 | 25 | 37 | 31 | 0,40 | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 23,0 | 23,7 | 23,4 | 54,6 | 55,9 | 55,3 |
| zaprto | 141 | 312 | 213 | 94 | 155 | 127 | 0,50 | 0,70 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 23,0 | 23,6 | 23,3 | 53,0 | 53,7 | 53,3 |
| četrtek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 141 | 376 | 242 | 51 | 173 | 121 | 0,34 | 0,64 | 0,50 | 0,17 | 0,24 | 0,20 | 22,4 | 23,7 | 23,1 | 51,2 | 53,5 | 52,4 |
| odprto | 141 | 376 | 224 | 61 | 127 | 85 | 0,30 | 0,50 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 23,1 | 23,7 | 23,5 | 52,5 | 53,5 | 53,0 |
| zaprto | 172 | 354 | 251 | 110 | 173 | 139 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 22,4 | 23,4 | 22,8 | 51,2 | 52,8 | 52,1 |
| petek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 154 | 354 | 231 | 53 | 138 | 99 | 0,27 | 0,75 | 0,50 | 0,19 | 0,26 | 0,22 | 22,4 | 23,2 | 22,8 | 49,8 | 50,9 | 50,4 |
| odprto | 154 | 339 | 231 | 53 | 92 | 75 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 22,8 | 23,2 | 23,0 | 50,0 | 50,9 | 50,5 |
| zaprto | 182 | 354 | 231 | 76 | 138 | 110 | 0,30 | 0,80 | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 22,4 | 22,9 | 22,7 | 29,8 | 50,9 | 50,3 |
| sobota | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 232 | 463 | 347 | 100 | 173 | 154 | 0,29 | 0,59 | 0,50 | 0,17 | 0,21 | 0,19 | 22,3 | 23,4 | 22,7 | 50,2 | 51,5 | 50,6 |
| odprto | 334 | 463 | 381 | 100 | 173 | 151 | 0,30 | 0,50 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 22,6 | 23,4 | 23,0 | 50,7 | 51,5 | 51,0 |
| zaprto | 232 | 396 | 330 | 119 | 172 | 156 | 0,40 | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 22,3 | 23,3 | 22,5 | 50,2 | 51,0 | 50,4 |
| 27.10. – 30.10.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ponedeljek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 355 | 983 | 603 | 105 | 330 | 209 | 0,22 | 0,51 | 0,40 | 0,17 | 0,29 | 0,21 | 21,4 | 22,8 | 22,1 | 48,0 | 50,9 | 49,5 |
| odprto | 381 | 983 | 672 | 105 | 227 | 166 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 49,4 | 50,9 | 50,2 | 22,2 | 22,8 | 22,5 |
| zaprto | 355 | 914 | 569 | 155 | 330 | 231 | 0,30 | 0,50 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 48,0 | 50,6 | 49,2 | 21,4 | 22,6 | 21,9 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|------------------------------|--------------------------------|-----|-----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| torek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 139 | 851 | 471 | 62 | 305 | 188 | 0,27 | 0,55 | 0,40 | 0,19 | 0,26 | 0,22 | 22,0 | 22,9 | 22,4 | 50,6 | 53,4 | 51,9 |
| odprto | 139 | 646 | 332 | 62 | 175 | 108 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 52,0 | 53,4 | 52,7 | 22,5 | 22,9 | 22,7 |
| zaprto | 311 | 851 | 540 | 150 | 305 | 229 | 0,30 | 0,60 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 50,6 | 53,1 | 51,6 | 22,0 | 22,8 | 22,3 |
| sreda | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 203 | 714 | 459 | 64 | 249 | 170 | 0,20 | 0,61 | 0,40 | 0,18 | 0,34 | 0,25 | 22,1 | 22,9 | 22,5 | 52,7 | 54,5 | 53,5 |
| odprto | 203 | 422 | 320 | 64 | 116 | 88 | 0,20 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 53,8 | 54,5 | 54,2 | 22,5 | 22,9 | 22,8 |
| zaprto | 291 | 714 | 529 | 172 | 249 | 211 | 0,30 | 0,60 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 52,7 | 53,5 | 53,1 | 22,1 | 22,7 | 22,4 |
| četrtek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 109 | 867 | 508 | 35 | 180 | 132 | 0,19 | 0,46 | 0,30 | 0,23 | 0,41 | 0,30 | 22,3 | 23,4 | 22,8 | 51,7 | 55,1 | 53,2 |
| odprto | 109 | 600 | 355 | 35 | 125 | 99 | 0,20 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 52,1 | 55,1 | 54,2 | 23,1 | 23,4 | 23,3 |
| zaprto | 262 | 867 | 584 | 94 | 180 | 148 | 0,20 | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,40 | 0,30 | 51,7 | 53,4 | 52,8 | 22,3 | 23,0 | 22,6 |
| 3.11. – 8.11.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ponedeljek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 76 | 681 | 310 | 44 | 206 | 137 | 0,29 | 0,65 | 0,50 | 0,17 | 0,27 | 0,21 | 21,2 | 22,6 | 21,9 | 51,2 | 54,6 | 53,0 |
| odprto | 61 | 156 | 100 | 44 | 68 | 59 | 0,40 | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 52,6 | 54,6 | 53,7 | 21,5 | 22,6 | 22,1 |
| zaprto | 135 | 681 | 385 | 107 | 206 | 176 | 0,30 | 0,70 | 0,50 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 51,2 | 54,3 | 52,7 | 21,2 | 22,5 | 21,8 |
| torek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 154 | 523 | 309 | 51 | 203 | 138 | 0,33 | 0,67 | 0,50 | 0,17 | 0,23 | 0,20 | 21,5 | 22,8 | 22,2 | 52,5 | 55,6 | 54,2 |
| odprto | 154 | 218 | 183 | 51 | 127 | 89 | 0,30 | 0,70 | 0,50 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 54,3 | 55,6 | 55,0 | 21,7 | 22,8 | 22,4 |
| zaprto | 305 | 523 | 372 | 100 | 203 | 163 | 0,30 | 0,60 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 52,5 | 55,6 | 53,8 | 21,5 | 22,7 | 22,1 |

| obdobje | C_{Rn} Bq m ⁻³ | | | C_{RnDP} Bq m ⁻³ | | | F | | | f_{un} | | | T °C | | | RH % | | |
|----------------|--------------------------------|-----|-----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am | min | max | am |
| sreda | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 71 | 759 | 308 | 37 | 254 | 129 | 0,30 | 0,62 | 0,40 | 0,19 | 0,27 | 0,23 | 21,2 | 22,4 | 22,0 | 54,7 | 57,8 | 56,3 |
| odprto | 71 | 132 | 106 | 37 | 53 | 43 | 0,30 | 0,50 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 57,2 | 57,8 | 57,5 | 21,2 | 22,1 | 21,8 |
| zaprto | 174 | 759 | 409 | 85 | 254 | 171 | 0,30 | 0,60 | 0,40 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 54,7 | 57,5 | 55,7 | 21,4 | 22,4 | 22,2 |
| četrtek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 62 | 546 | 265 | 30 | 231 | 127 | 0,37 | 0,68 | 0,50 | 0,19 | 0,26 | 0,23 | 20,7 | 22,2 | 21,7 | 55,4 | 58,3 | 56,9 |
| odprto | 62 | 233 | 109 | 30 | 86 | 48 | 0,40 | 0,70 | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 57,1 | 58,3 | 57,4 | 20,7 | 21,6 | 21,2 |
| zaprto | 125 | 546 | 343 | 65 | 231 | 166 | 0,40 | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 55,4 | 58,3 | 56,6 | 21,5 | 22,2 | 21,9 |
| petek | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 44 | 577 | 310 | 26 | 233 | 119 | 0,26 | 0,59 | 0,40 | 0,20 | 0,27 | 0,23 | 20,5 | 22,4 | 21,7 | 55,4 | 59,4 | 57,4 |
| odprto | 31 | 286 | 130 | 26 | 92 | 51 | 0,30 | 0,90 | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 57,2 | 59,4 | 58,3 | 20,5 | 22,3 | 21,3 |
| zaprto | 137 | 577 | 399 | 48 | 233 | 153 | 0,30 | 0,50 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 55,4 | 58,4 | 56,9 | 20,9 | 22,4 | 22,0 |
| sobota | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| celodnevno | 456 | 810 | 583 | 145 | 262 | 225 | 0,29 | 0,46 | 0,40 | 0,20 | 0,26 | 0,23 | 22,0 | 23,8 | 22,9 | 55,0 | 57,1 | 56,2 |
| odprto | 499 | 810 | 658 | 145 | 262 | 214 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 55,8 | 56,9 | 56,3 | 23,3 | 23,8 | 23,5 |
| zaprto | 456 | 595 | 545 | 200 | 250 | 230 | 0,40 | 0,50 | 0,40 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 55,0 | 57,1 | 56,2 | 22,0 | 23,3 | 22,6 |