

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

Marko ZUPANČIČ

**VPLIV GEOLOŠKIH IN KLIMATSKIH DEJAVNIKOV NA
KONCENTRACIJO RADONA V ZRAKU**

DIPLOMSKO DELO

Mentorica: Janja Vaupotič

Nova Gorica, 2007

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici doc. dr. Janji Vaupotič za vso pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela in prof. dr. Ivanu Kobalu za strokovne pripombe.

Zahvaljujem se tudi Petri Dujmovič za pomoč pri delu z merilnikom Alphaguard in podatki, Petri Žvab za geološke karte in nasvete v zvezi z geologijo in Petri Škrinjar za pomoč pri geološkem opisu lokacij.

Posebej se zahvaljujem tudi mojim domačim in Marti.

POVZETEK

V diplomskem delu sem poskušal ugotoviti vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona v zunanjem zraku. Na štirih geološko in klimatsko raznolikih lokacijah (Ljubljana, Vojsko, Lokev pri Sežani, Kočevje) sem z dvema merilnikoma Alphaguard istočasno izvedel kontinuirane meritve v hiši in zunaj. Meritve so trajale od 10 do 14 dni. Pri analizi podatkov sem upošteval tudi časovni potek temperature, zračnega tlaka, relativne zračne vlažnosti in padavin. Najvišja trenutna koncentracija radona v zunanjem zraku 151 Bq m^{-3} je bila v Lokvi, najnižja 2 Bq m^{-3} pa v Ljubljani. Aritmetične srednje vrednosti in njihovi standardni odmiki so bili: Ljubljana: $15 \pm 10 \text{ Bq m}^{-3}$, Lokev: $17 \pm 17 \text{ Bq m}^{-3}$, Vojsko: $23 \pm 14 \text{ Bq m}^{-3}$ in Kočevje: $32 \pm 30 \text{ Bq m}^{-3}$. V Ljubljani glinena podlaga radonu otežuje prehajanje v ozračje. Čeprav dolomit v okolici Vojskega predstavlja vir radona, trenutne koncentracije niso presegle 100 Bq m^{-3} . V Lokvi je vzrok radona kraški apnenec, ki je zelo porozen in radonu omogoča relativno prosto gibanje tudi na daljše razdalje. Povišana koncentracija radona v Kočevju pa je najverjetneje povezana z bližino opuščenega premogovnika.

Ključne besede: radon, zunanji zrak, kontinuirane meritve, geologija

SUMMARY

In my graduation thesis I have studied the influence of geology and meteorology on the outdoor air radon concentration. Radon concentrations were measured continuously at four geologically and meteorologically different locations (Ljubljana, Vojsko, Lokev near Sežana and Kočevje), using two portable Alphaguard radon monitors. At each location, one monitor was placed inside and the other in front of a house. Temperature, air pressure, relative air humidity and rainfall data were also recorded. The highest instantaneous outdoor radon concentration of 151 Bq m^{-3} was observed at Lokev and the lowest of 2 Bq m^{-3} in Ljubljana. The following arithmetic means and arithmetic standard deviations were obtained: Ljubljana: $15 \pm 10 \text{ Bq m}^{-3}$, Lokev: $17 \pm 17 \text{ Bq m}^{-3}$, Vojsko: $23 \pm 14 \text{ Bq m}^{-3}$ and Kočevje: $32 \pm 30 \text{ Bq m}^{-3}$. Due to clay sediments in the Ljubljana region, radon migration from the ground to the atmosphere is hindered. Although the dolomite ground, the basis of the Vojsko region, is a well-known radon source, the instantaneous outdoor radon concentration did not exceed 100 Bq m^{-3} . The high radon concentrations observed in the Lokev region can be explained by the high porosity of karstic limestone, which enables radon to move long distances. The elevated outdoor radon concentrations at Kočevje are probably related to the abandoned coal mine nearby.

Key words: radon, outdoor air, continuous measurements, geology

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	I
POVZETEK - SUMMARY	II
KAZALO VSEBINE	III
1 UVOD	1
1.1 Cilji diplomskega dela	1
2 TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1 Osnove radioaktivnosti in definicija enot	3
2.2 Fizikalno - kemijske lastnosti radona in njegovih razpadnih produktov	4
2.3 Radon v naravi	5
2.3.1 Izvor radona	6
2.3.2 Emanacijski koeficient	6
2.3.3 Pedološki dejavniki, ki vplivajo na mobilnost radona.....	7
2.3.4 Transportni mehanizmi	10
2.3.5 Klimatski dejavniki, ki vplivajo na mobilnost radona in njegovo koncentracijo v zunanjem zraku	10
2.4 Radon v bivalnem okolju	12
2.4.1 Glavni mehanizmi, ki kontrolirajo vstop radona v bivalni prostor	13
2.5 Opis obravnavanih območij	14
2.5.1 Geološki opis.....	15
2.5.1.1 Ljubljana	15
2.5.1.2 Vojsko	16
2.5.1.3 Lokev	17
2.5.1.4 Kočevje	18
2.5.2 Podnebje.....	19
3 EKSPERIMENTALNI DEL	22
3.1 Merilna tehnika	22
3.1.1 Opis merilnika Alphaguard	22
3.2 Meritve	24
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	25
4.1 Rezultati meritev v zunanjem zraku in bivalnih prostorih	25
4.1.1 Ljubljana	25
4.1.2 Vojsko	29
4.1.3 Lokev	32
4.1.4 Kočevje	36
4.2 Primerjava koncentracij radona med lokacijami	40
5 ZAKLJUČKI	43
6 VIRI	45
PRILOGE	

1 UVOD

Radon je radioaktiven žlahtni plin, ki nastaja v zemeljski skorji iz radija, v razpadni verigi urana (^{238}U), aktinija (^{235}U) ali torija (^{232}Th). V omenjenih razpadnih nizih je edino radon plin, medtem ko so vsi ostali razpadni produkti kovine. Razpolovni čas radona je odvisen od tega v katerem razpadnem nizu je nastal. Izmed vseh izotopov ima najdaljši razpolovni čas ^{222}Rn (3,82 dni). Ta lastnost (inerten plin, relativno dolg razpolovni čas) mu omogoča relativno prosto gibanje tudi na daljše razdalje, saj kemijsko ne reagira z elementi iz okolice. Kljub temu je njegovo gibanje omejeno z geološkimi in pedološkimi lastnostmi tal ter klimatskim režimom določenega območja. Eden od dejavnikov, na katerega niti geologija niti klima nimata vpliva in ostaja enak ne glede na to, kje se radon nahaja, pa je njegov razpolovni čas (Nero Jr., 1988).

Zaradi lastnosti, ki jih radon ima, so ga začeli uporabljati kot indikator nahajališč uranove rude (Nero Jr., 1988), saj je radon potomec urana in je njegova koncentracija v talnem zraku v bližini nahajališč uranove rude večja kot drugje. Poleg tega se uporablja tudi kot indikator potresne aktivnosti (Nero Jr., 1988) in aktivnosti prelomov (Hočevnar, 2005) ter kot sledilo pri študijah gibanja zračnih mas nad kopnim in nad oceani (Nero Jr., 1988).

Poleg radonovih uporabnih lastnosti na omenjenih področjih, so pomembni tudi njegovi škodljivi vplivi na živa bitja. Radonovi izotopi in njihovi razpadni produkti, s sevanjem alfa (α), beta (β) ali gama (γ), poškodujejo občutljivo tkivo dihalnega sistema in tako povečajo tveganje za nastanek pljučnega raka (Nero Jr., 1988). Ravno zato je zanimanje za radon dobilo večje razsežnosti v sredini prejšnjega stoletja, ko je postalo jasno, da predstavlja veliko grožnjo za zdravje delavcev v rudnikih urana. Ker je radon plin, ga pri dihanju vdihamo in izdihamo. Nevarni so njegovi kratkoživi razpadni produkti, ki nastanejo iz njega z α -radioaktivnim razpadom (Nero Jr., 1988). Zdaj je znano, da niso samo rudarji v rudnikih urana izpostavljeni radonu in njegovim razpadnim produktom, ampak lahko pričakujemo to nevarnost tudi v drugih rudnikih in sploh na vseh podzemnih deloviščih, kot so kraške jame, vodna zajetja ali delavnice v kletnih prostorih. Znano je tudi, da k obsevni dozi vsakega posameznika, ki jo prejme od vseh naravnih virov sevanja, prispevajo radon in njegovi kratkoživi razpadni produkti okrog 50 % (UNSCEAR 2000).

Čeprav je po eni strani število študij radona v delovnem in bivalnem okolju v svetovnem merilu zelo veliko, je bilo zanimanje za radon v zunanjem zraku majhno. To je razumljivo, saj so v zunanjem zraku na splošno koncentracije radona znatno nižje od onih v zaprtih prostorih. Koncentracija radona je izražena v Bq m^{-3} (1 Bq je 1 razpad na sekundo) in je v talnem zraku (na globini do 1 m) od nekaj 10 kBq m^{-3} do nekaj 100 kBq m^{-3} (redko tudi do 1 MBq m^{-3}), a v zunanjem zraku 1 m nad tlemi le redko doseže nekaj 100 Bq m^{-3} in je v svetovnem povprečju 10 Bq m^{-3} (UNSCEAR 2000). V Sloveniji je bila izmerjena povprečna koncentracija radona v zunanjem zraku 11,8 Bq m^{-3} (Kobal in sod., 2005).

1.1 Cilji diplomskega dela

Moje diplomsko delo je osredotočeno na koncentracijo radona v zunanjem zraku ter na dejavnike (geološke in klimatske), ki pri tem sodelujejo. Na štirih geološko in klimatsko različnih lokacijah v Sloveniji (Ljubljana, Vojsko, Lokev pri Sežani, Kočevje) smo merili koncentracije radona v zunanjem zraku in istočasno tudi v bivalnih prostorih. Lokacije

smo izbrali na osnovi enoletnih meritev povprečnih koncentracij radona v zunanjem zraku in v bivalnih prostorih, in sicer Ljubljano kot referenčno lokacijo z nizko koncentracijo radona ter Vojsko, Lokev in Kočevje s povišano koncentracijo radona tako v zunanjem zraku kot tudi v prostorih (Kobal in sod., 2005). Za istočasno merjenje koncentracije radona zunaj in v hiši smo se odločili zato, ker se vplivi določenih izmerjenih parametrov (npr. padavine) lepo odražajo na koncentraciji radona v zaprtih prostorih.

Pri naši raziskavi smo uporabili aktivno tehniko merjenja radona, in sicer merilnike Alphaguard proizvajalca Genitron Instruments. Poleg radona instrument meri še temperaturo zraka, relativno vlažnost zraka in zračni tlak. Za analizo podatkov in njihovo grafično predstavitev smo uporabili različne statistične postopke ter programsko opremo.

Ovrednotili smo vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona, predvsem pa na njihov časovni potek v času meritve. Rezultati raziskave bodo prispevali k boljšemu poznavanju celotnega inventarja radona v Sloveniji in s tem tudi posredno k boljšemu razumevanju transporta radona v okolju.

2 TEORETIČNE OSNOVE

V nadaljevanju sledi opis radioaktivnih razpadov ter radonovih izotopov in njihovih razpadnih nizov. Temu bo sledil opis prehoda radona iz trdnega dela zemljine (zrno) v prostor med zrni (poro) ter transportnih mehanizmov, ki vplivajo na transport radona z mesta nastanka v atmosfero oziroma do bivalnih prostorov. Poleg tega je za poznavanje radona potrebno poznati tudi geološke, pedološke in klimatske dejavnike, saj ravno oni najbolj vplivajo na koncentracije radona, tako na prostem kot tudi v bivalnih prostorih.

2.1 Osnove radioaktivnosti in definicija enot

Radioaktivni razpad je proces, pri katerem nestabilno jedro atoma odda presežek energije z izsevanjem delcev ali elektromagnetnih valov. Pri prehodu v stabilnejše stanje, jedra oddajajo energijo na tri načine, in sicer: alfa (α), beta (β) ali gama (γ) razpad. Pri tem nastanejo tri vrste sevanja: sevanje α , sevanje β ali sevanje γ .

Delec α je helijevo jedro z vrstnim številom 2 in masnim številom 4. Ravno za toliko se zmanjšata vrstno in masno število v starševskem atomu in ima zato novo nastali atom vrstno število manjše za 2 in masno za 4. Simbolično to zapišemo kot:



A predstavlja masno število, Z pa vrstno. α je helijevo jedro.

Pri razpadu β poznamo dve vrsti beta delcev. Delec beta minus (β^-) je elektron, delec beta plus (β^+) pa pozitron. Pri nobenem od teh razpadov se masno število ne spremeni, medtem ko se vrstno število pri razpadu β^- poveča za 1, pri β^+ zmanjša za 1. V prvem primeru se izseva β^- , v drugem pa β^+ . Simbolično to zapišemo kot:



Sevanje γ je tok fotonov, ki nastanejo pri razpadu γ . Torej pri razpadu γ starševski atom ne razpade, temveč se mu le zmanjša energija (Grabec, 2003).

Energijo sevanja je izražena z enoto eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ VAs}$).

En razpad na sekundo je aktivnost 1 Bq (Becquerel). Stara enota Ci (Curie) je merilo za aktivnost, ki jo ima 1 gram čistega ${}^{226}\text{Ra}$, torej 1 gram radija ima aktivnost 1 Ci ali $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Radioaktivni razpad opišemo z naslednjo diferencialno enačbo:

$$dN/dt = -\lambda \times N \quad (4)$$

Količnik dN/dt imenujemo aktivnost radioaktivne snovi in predstavlja število razpadov nestabilnih jeder v eni sekundi. Enota je Bq. Rešitev te diferencialne enačbe je:

$$N = N_0 \times e^{-\lambda \times t} \quad (5)$$

N_0 je število jeder v času $t = 0$, N pa število jeder po preteku časa t . λ je konstanta radioaktivnega razpada in je različna za različne kemijske elemente.

Aktivnost vira A po preteku določenega časa t lahko glede na prvotno aktivnost vira A_0 izračunamo po enačbi:

$$A = A_0 \times e^{-\lambda \times t} \quad (6)$$

A_0 je aktivnost vira ob času $t = 0$, A pa predstavlja aktivnost po preteku časa t .

Ker so radioaktivni razpadi naključni dogodki, za posamezen atom ne moremo napovedati, kdaj bo razpadel, lahko pa podamo razpolovni čas (enačba 7), ki predstavlja čas v katerem se bo aktivnost vzorca zmanjšala za polovico. Zračni tlak in temperatura ne vplivata na razpolovno dobo (Kemija, 2004; Černilogar-Radež, 2006).

$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (7)$$

$t_{1/2}$ je razpolovni čas.

2.2 Fizikalno - kemijske lastnosti radona in njegovih razpadnih produktov

Radon je radioaktivni žlahtni plin s kemijskim simbolom Rn in atomskim številom 86. Vrelišče radona je pri $-61,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (211,35 K), tališče pa pri $-71 \text{ }^\circ\text{C}$ (202,15 K). Pri normalnih pogojih ($T = 273,15 \text{ K}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$) je radon brez barve in okusa in ima specifično gostoto $9,73 \text{ g dm}^{-3}$ (Kemija, 2004). V naravi radon nastaja neposredno iz radija, kot vmesni člen v razpadni verigi urana ^{238}U (uranov razpadni niz), urana ^{235}U (aktinijev razpadni niz) in torija ^{232}Th (torijev razpadni niz) (Vaupotič, 1995).

V uranovem razpadnem nizu, nastaja ^{222}Rn neposredno iz ^{226}Ra . Zaradi relativno dolgega razpolovnega časa, ki je 3,82 dni, je z zdravstvenega vidika ^{222}Rn najbolj pomemben radonov izotop. Ta čas je dovolj dolg, da lahko velik del ^{222}Rn , ki nastane v zemeljski skorji, doseže atmosfero. Ker ^{222}Rn prispeva največji delež radona v okolju, ga, če ni drugače poudarjeno, enostavno imenujemo radon. Radon razpade naprej v štiri kratkožive razpadne produkte, od tega sta ^{218}Po in ^{214}Po sevalca α , ^{214}Pb in ^{214}Bi pa sevalca $\beta - \gamma$ (priloga A; a).

V aktinijevem razpadnem nizu nastane ^{219}Rn (imenovan tudi aktinon) neposredno iz ^{223}Ra . Zaradi kratkega razpolovnega časa, ki je 3,96 sekunde in zaradi majhne vsebnosti ^{235}U v naravi, le redko naletimo nanj. Razpade na dva sevalca α , ^{215}Po in ^{211}Po (priloga A; b).

V torijevem razpadnem nizu nastane ^{220}Rn (imenovan tudi toron) neposredno iz ^{224}Ra in ima razpolovni čas 55,60 sekund. Njegov delež v zraku je bistveno manjši kot delež radona. Toron razpade na dva sevalca α (^{216}Po , ^{212}Po) in dva sevalca $\beta - \gamma$ (^{212}Pb in ^{212}Bi) (priloga A; c).

V čistem in mirnem zraku se približno po treh urah vzpostavi radioaktivno ravnotežje med radonom in njegovimi razpadnimi produkti (^{218}Po , ^{214}Pb in ^{214}Bi), kar pomeni, da so aktivnosti vseh enake. Torej iz 1 Bq prvotno prisotnega radona dobimo tudi po 1 Bq vsakega od njegovih razpadnih produktov. V realnih pogojih (vlažen zrak, prašni delci, prepih) se radioaktivno ravnotežje nikoli ne doseže, saj se radonovi kratkoživi potomci

hitro po nastanku vežejo na aerosole ali odložijo na površinah predmetov, ki so v prostoru, tako da jih le manjši del ostane v zraku v prosti obliki.

Stopnjo ravnotežja zato merimo z ravnotežnim faktorjem F , z vrednostjo med 0 in 1. Na vrednost F vplivajo klimatski in mikroklimatski dejavniki, zato je v različnih razmerah zelo različna, nekje v mejah od 0,2 do 1. Če nimamo izmerjene vrednosti, splošno za zunanji zrak privzamemo vrednost 0,60 (UNSCEAR 2000).

Ravnotežni faktor F je definiran tako, da s koncentracijo potencialne alfa energije (PAEC), ki jo pridobimo z merjenjem koncentracije radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov v zraku, omogoča ocenjevanje izpostavljenosti sevanju. F je definiran kot:

$$F = EEC / C_{Rn} \quad (8)$$

EEC (ravnotežna enakovredna koncentracija) je koncentracija, ki bi jo imel radon, če bi bil v ravnotežju s svojimi kratkoživimi razpadnimi produkti. C_{Rn} predstavlja dejansko koncentracijo radona. EEC za radon je podana z naslednjo enačbo in ima enoto $Bq\ m^{-3}$:

$$EEC = 0.105 * C_{Po-218} + 0.515 * C_{Pb-214} + 0.380 * C_{Bi-214} \quad (9)$$

C (^{218}Po), C (^{214}Pb) in C (^{214}Bi) predstavljajo izmerjeno koncentracijo posameznih razpadnih produktov, ki so naštetih v oklepajih.

Vpeljana je bila tudi enota WL (working level), ki predstavlja takšno koncentracijo radonovih kratkoživih razpadnih produktov, da je njihova skupna energija alfa v enem litru enaka $1,3 \times 10^5$ MeV.

2.3 Radon v naravi

Koncentracija radona v zunanjem zraku ali bivalnih prostorih je odvisna od mnogih dejavnikov, ki se ločijo na tiste, ki vplivajo na nastajanje radona v tleh, ter na tiste, ki vplivajo na mobilnost radona (Nazaroff in sod., 1988). Med najpomembnejše spadajo predvsem vsebnost in razporeditev urana in radija v zemljini, njena poroznost, prepustnosti za pline ter stopnja vlažnosti. Te lastnosti so pogojene z matično kamnino, ledeniški nanosi ali prinesenimi sedimenti, iz katerih je zemljina nastala, poleg tega imajo pomembno vlogo tudi klimatski dejavniki ter starosti oziroma zrelosti zemljine (Gundersen in sod., 1992).

V naslednjih poglavjih bomo opisali najpomembnejše dejavnike v procesu nastajanja in transporta radona. Pogoj za nastanek radona je vsebnost radija v matični kamnini in zemljini na določenem območju. Naslednji korak je prehod (emanacija) radona z mesta nastanka v kamnini v pore med zrnji kamnine in naprej v atmosfero. Lastnosti zemljine in klimatske razmere bomo opisali posebej, vendar je o njih težko govoriti ločeno, saj vplivajo drug na drugega.

2.3.1 Izvor radona

Radon nastaja v razpadni verigi urana ali torija. Uran je prisoten praktično v vseh kamninah. V večini kamnin je prisoten le v sledovih od 1 do 3 ppm (število delcev na milijon). Nekatere vrste kamnin pa imajo znatno večjo vsebnost urana, in sicer tudi do 100 ppm. Splošno velja, da je vsebnost urana v zemljini približno enaka kot v matični kamnini, iz katere se je zemljina razvila (Nazaroff in sod., 1988; Otton, 1993).

Vsebnost urana v kamninah je povezana z nastankom kamnin ali s sestavo magme, iz katere so kamnine nastale. Povišane vrednosti urana najdemo v:

- kisljih magmatskih kamninah, kot so granit in pegmatit
- metamorfnih kamninah granitne sestave, skrilavcih, felzičnih vulkanoklastičnih in piroklastičnih kamninah, sienitih in karbonatih
- sedimentnih kamninah, kot so organogeni glinavci, glavkonitni peščenjaki, nekateri rečni peščenjaki in glacialni sedimenti, fosforiti in drugi sedimenti s fosfati
- v nekaterih karbonatih, boksitih in premogih (Gundersen in sod., 1992).

Najpogostejši vir urana in radija so težki minerali, kot so cirkon, titanit in monzonit, železovo-oksidge prevleke na zrnih kamnine in zemljine ter na organskem materialu v zemljini in sedimentih. Manj pogosti minerali z večjimi vsebnostmi urana in radija so fosfatni in karbonatni kompleksi ter minerali urana. Uran in radij v zemljini se najpogosteje nahajata na površini glinenih delcev s kovinskimi oksidi, še posebej železovim oksidom, kalcijevih karbonatih in organski snovi (Gundersen in sod., 1992).

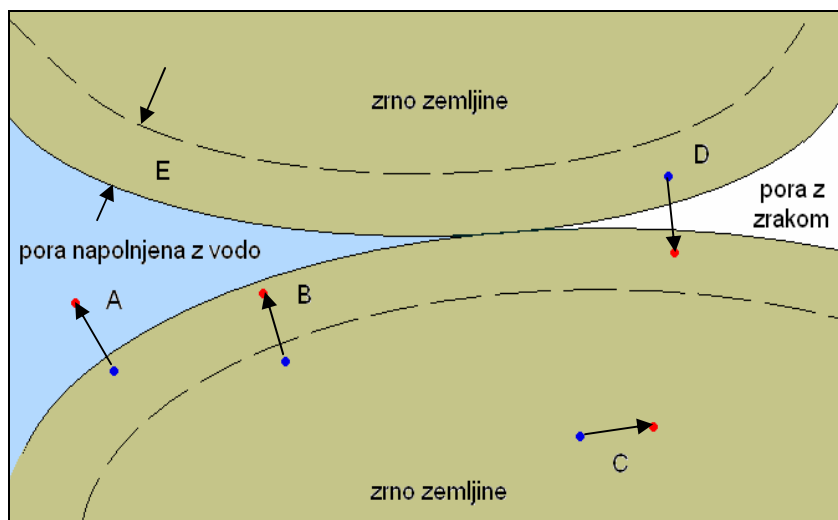
2.3.2 Emanacijski koeficient

Samo določenemu manjšemu številu atomov radona uspe zapustiti zrna zemljine ali matične kamnine, kjer so nastali, in prodreti v pore. Ta količina je znana kot emanacijski koeficient ali drugače, emanacijska količina ali emanacijska moč (Nazaroff in sod., 1988).

Ob razpadu radija, prejme ^{222}Rn (radon) 86 keV, ^{220}Rn (toron) pa 103 keV kinetične energije (Nazaroff in sod., 1988). Dolžina premika je odvisna od gostote in sestave medija po katerem se novo nastali atom premika. Območje premika za radon je 0,02 – 0,07 μm za večino mineralov, ter 0,1 μm za vodo in 63 μm za zrak. Območje premika za toron v zraku pa je 83 μm (Nazaroff in sod., 1988).

Nazaroff in sod. (1988) pravijo, da je emanacijski faktor sestavljen iz treh komponent, in sicer komponente neposrednega in posrednega preskoka ter difuzijske komponente. Te komponente se pojavijo na mestih kjer se končajo poti novonastalih radonovih atomov. Komponento neposrednega preskoka tvorijo radonovi atomi, ki so končali svoj preskok v porah, napolnjenih z vodo ali zrakom (slika 2.1; A). Radonovi atomi, ki zapustijo zrno, kjer so nastali in prodrejo v sosednje zrno zemljine, so naredili posredni preskok. Za doseg pore morajo ti atomi potovati nazaj po kanalčku, ki so ga ustvarili na svoji poti v zrno. Ti atomi tvorijo posredno komponento emanacijskega faktorja (slika 2.1; D). Radonovi atomi, ki končajo svoj premik v zrno kjer so ga začeli, in

difundirajo v poro s pomočjo molekularne difuzije pa predstavljajo difuzijsko komponento (slika 2.1; B).



Slika 2.1: Shematski prikaz možnih radonovih poti v zrnih in med zrnih zemljine. Dve zrnih zemljine sta v stiku. Na eni strani je pora napolnjena z vodo na drugi pa z zrakom. Atomi radija so označeni z modrimi točkami, atomi radona pa z rdečimi (Nazaroff in sod., 1988).

Črtkana črta na robu zrn (slika 2.1; E) označuje razdaljo, s katere lahko novo nastali radonov atom, z energijo ki jo prejme ob razpadu radija, doseže poro (Nazaroff in sod., 1988). Obstaja tudi delež atomov, ki nikoli ne dosežejo pore, zato ker so preveč oddaljeni od površine zrn (slika 2.1; C). Samo atomi radija, ki so na površju zrn zemljine, ob predpostavki da se odrinejo v pravo smer, imajo potencialno možnost, da bodo njihovi razpadni produkti, radon ali toron, dosegli poro. Tako po razpadu radija v kamnini ali zemljini, le del radona doseže pore.

2.3.3 Pedološki dejavniki, ki vplivajo na mobilnost radona

Geološka podlaga in hidrometeorološki režim določenega območja, sta glavna dejavnika, ki vplivata na razvoj tal. Tla so trifazni sistem, ki ga sestavljajo trdni, tekoči in plinasti delci. Delež vode in zraka, ki je po svoji sestavi podoben atmosferskemu zraku, se v tleh spreminja in je odvisen od trenutnih hidrometeoroloških okoliščin. Trdni del zemljine, ki ga sestavljajo različno velika mineralna zrna in organski material, pa ni odvisen od trenutnih okoliščin, pač pa se spreminja v daljšem časovnem obdobju, ki je lahko dolgo od 10 do več 1000 let (Stritar, 1991).

Velikost mineralnih delcev definira fizikalne, kemijske in biološke lastnosti tal, saj vpliva na zračnost, prepustnost za vodo in pline ter na sposobnost za zadrževanje vode. Razpon premera delcev, ki sestavljajo tla, je lahko od velikosti skale (1 m ali več) do velikosti mikroskopsko majhnih glinenih delcev (< 0,002 mm). Delci s premerom > 2 mm, imajo zelo majhen vpliv na oblikovanje talnih agregatov. Tekstura tal je relativno razmerje med delci različnih velikostnih skupin v tleh in se nanaša na mineralne delce s premerom < 2 mm in sicer, na pesek, melj in glino (tabela 2.1) (Suhadolc in sod., 2005).

Tabela 2.1: Razdelitev mineralnih delcev po velikosti (Suhadolc in sod., 2005)

delci	premer delcev (mm)	podrobnejša delitev	premer delcev (mm)
pesek	2,00 – 0,05	grobi pesek	2,0 – 0,2
		fini pesek	0,2 – 0,05
melj	0,05 – 0,002	grobi melj	0,05 – 0,02
		fini melj	0,02 – 0,002
glina	< 0,002		

Za posamezne procese v tleh je pomembna specifična površina tal, to je skupna površina delcev tal v 1 cm^3 (Brilly in Šraj, 2005).

Pesek ima majhno specifično površino (fini pesek $0,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). V tleh povečuje zračnost in prepustnost za vodo. Ima zanemarljivo kationsko izmenjevalno kapaciteto in tudi sposobnost zadrževanja vode je majhna. Melj ima nekoliko večjo specifično površino ($1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), zato že lahko v manjši meri sodeluje pri fizikalno kemijskih procesih. Kapilarni dvig vode je možen, vendar je majhen. Glina ima veliko specifično površino ($10 - 1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, običajno okoli $800 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), zaradi česar ima veliko kationsko izmenjevalno kapaciteto in s tem sposobnost zadrževanja vode in drugih snovi. Ker so glineni delci izredno majhni, se lahko tesno prilegajo in tvorijo zelo številne majhne pore. V glinenih tleh je gibanje vode in zraka upočasnjeno. Kapilarni dvig vode je močan. Če prevladuje mineral montmorillonit, tla močno nabrekajo, v suhem stanju pa so trda in razpokana (Suhadolc in sod., 2005).

Glinena tla imajo veliko zadrževalno kapaciteto za vodo, vendar majhno prepustnost tako za zrak kot za vodo. Peščena tla imajo, obratno od glinenih, majhno zadrževalno kapaciteto za vodo, ampak veliko prepustnost za zrak in vodo (Stritar, 1991).

Struktura tal se izraža v načinu razporeditve, povezovanja in zlepljanja talnih delcev (peščenih, meljastih, glinastih in organske snovi). Če so delci povezani med seboj do take stopnje, da nastanejo enote z jasno ločenimi mejami, govorimo o strukturnih agregatih. V procesu oblikovanja strukturnih agregatov ločimo tri stanja, in sicer brezstrukturno, koherentno in agregatno stanje (Suhadolc in sod., 2005).

Med trdnimi talnimi delci so v splošnem prazni prostorčki oziroma talne pore, različnih oblik in velikosti. V tabeli 2.2 so podane poroznosti glavnih teksturnih razredov. Velikost in obliko por oblikuje predvsem tekstura oziroma zrnavost tal in struktura (Brilley in Šraj, 2005). V talnih porah se lahko zadržujeta voda, zrak ali oboje. Poroznost je kvantitativno določena z razmerjem med skupnim volumnom por in celotnim volumnom danega neporušenega talnega vzorca. Po velikosti delimo talne pora na:

- makropore ali kapilarne pore ($>10 \mu\text{m}$), ki so v peščenih in grobo strukturiranih tleh ter v obliki razpok in kanalov, ki jih povzročata delovanje talne favne, rastlinskih korenin in vremenskih razmer; take pore so ponavadi zapolnjene s talnim zrakom, voda iz njih hitro odteče pod vplivom gravitacijske sile
- mikropore ali kapilarne pore ($<10 \mu\text{m}$) so v dobro strukturiranih tleh z majhnimi osnovnimi delci; v kapilarnih porah se voda zadržuje pod vplivom kapilarnih sil, ki jo zaradi njene površinske napetosti vežejo na stene talnih por z večjo silo kot

je gravitacijska sila pod vplivom katere bi ta voda odtekla v globlje plasti tal (Suhadolc in sod., 2005).

Razmerje med vodo in zrakom v tleh v veliki meri vpliva na transport radona na površje zemlje. To razmerje je odvisno od velikosti in oblike por ter od njihove medsebojne povezanosti in od količine vode, ki je na voljo (padavine, bližina podtalnice). Velikost in oblika por vplivata na sposobnost tal za zadrževanje vode (retencijska kapaciteta tal). Poroznost tal je odvisna od teksture, strukture in deleža organske snovi v tleh. Posebno vlogo pri teksturi imajo glinasti delci, ker pri večji vsebnosti vode v tleh nabreknejo in s tem spremenijo velikost in obliko talnih por. Od strukturnih lastnosti na spremembo poroznosti tal najbolj vpliva obstojnost strukturnih agregatov, če je le-ta majhna, strukturni agregati ob povečani vsebnosti vode v tleh razpadejo in sistem talnih por se spremeni. Organska snov zaradi svoje strukture ponavadi poveča poroznost tal (Suhadolc in sod., 2005).

Tabela 2.2: Poroznost tal glavnih teksturnih razredov (Suhadolc in sod., 2005)

	poroznost
peščena tla	35 – 55 %
ilovnata tla	30 – 55 %
glinasta tla	35 – 70 %
šotna tla	80 %

Voda je v tleh v različnih oblikah, in sicer, kot prosta voda, ki odteka v nižje plasti pod vplivom gravitacije, podtalnica, kapilarno vezana voda, adsorbirana voda, kristalna voda in vodna para v talnem zraku (Suhadolc in sod., 2005).

Za razlago emanacije in transportnih mehanizmov radona so najbolj pomembne naslednje oblike vode v tleh (Nazarrof in sod., 1988):

- gravitacijska voda je voda, ki se pod vplivom težnosti giblje v nižje plasti tal; ko se odcedi, se na mineralnih delcih zadrži le adsorpcijska voda (Stritar, 1990)
- kapilarna voda polni kapilare; zadržujejo jo kohezijske in adhezijske sile; gibanje kapilarne vode poteka v vse smeri iz mesta manjšega kapilarnega potenciala na mesto večjega, dokler se ne vzpostavi ravnovesje (Stritar, 1990)
- higroskopska voda predstavlja enega ali več slojev molekul vode na površini zrn zemljine; količina higroskopsko vezane vode je odvisna od vrste mineralov glin, količine glin in humusa (Stritar, 1990).

Največja prepustnost je tako v peščenih tleh, najmanjša pa v glinenih. Količina gravitacijske vode v tleh tudi najbolj variira, saj je neposredno odvisna od količine padavin.

Tako higroskopska kot kapilarna voda tvorita tanek sloj vode na delcih zemljine. Ta sloj vode absorbira del odzivne energije radonovih atomov, ki zapuščajo zrno zemljine. Ker se jim je energija zmanjšala, niso več sposobni prodreti v sosednje zrno in tako ostanejo v pori, s tem se poveča emanacija (Nazarrof in sod., 1988; Schumann in sod., 1992). Poleg tega higroskopsko vezana voda ne vpliva bistveno na zmanjševanje

pretoka zraka v zemljini, saj predstavlja le tanek film na površini zrn, medtem ko ostajajo pore prazne (Nazaroff in sod., 1988).

2.3.4 Transportni mehanizmi

Glavna lastnost, ki razlikuje radon od ostalih razpadnih produktov v razpadnem nizu urana ali torija, je to, da je radon radioaktiven plin, medtem ko so ostali razpadni produkti v omenjenih razpadnih nizih kovine. Ta lastnost omogoča radonu relativno prosto gibanje, še posebej potem, ko je že dosegel poro v tleh.

Transport radona v tleh je omogočen z molekularno difuzijo ali pa s pretokom zraka ali tekočine (konvekcija) v pori, ki ga ustvari sprememba zračnega tlaka na površju zemlje (Nero Jr., 1988). Poleg zračnega tlaka vplivajo na pretok zraka iz tal v atmosfero in obratno tudi temperaturne razlike med zrakom v tleh in atmosferi, gibanje vetra nad tlemi ter pronicanje padavinske vode, ki izpodriva zrak iz tal. Do izmenjave plinov med tlemi in atmosfero prihaja tudi zaradi razlike v parcialnem tlaku kisika (O_2) in ogljikovega dioksida (CO_2). Praviloma je parcialni tlak O_2 v ozračju večji kot v talnem zraku, kar povzroča prodiranje O_2 iz ozračja v tla in obratno, CO_2 iz zemlje v ozračje. CO_2 tako lahko služi kot transportni medij za radon. Praviloma je izmenjavanje zraka večja v peščenih tleh kot v glinenih (Stritar, 1991). Od geološke strukture, podtalnih vodnih tokov in klimatskih pogojev je odvisno ali bo prevladoval difuzijski ali konveksijski transportni mehanizem (Abumurad in Al-Tamimi, 2001).

Poroznost zemljine, prepustnost in difuzijski koeficient so glavni dejavniki, ki vplivajo na pretok oziroma ekshalacijo radona (Chauhan in Chakarvarti, 2002). Prepustnost je sposobnost poroznega materiala, da prepušča tekočino ali plin, ko obstaja gradient tlaka. Prepustnost je odvisna od makroskopskih lastnosti zemljine (velikost, oblika, število in orientacija por), torej od poroznosti ter od vlažnosti zemljine. Zemljine z večjimi delci imajo večjo prepustnost, ker so pore med večjimi zrni večje in se zato med njimi in tekočo vodo ustvari manjša sila trenja. Ker se prepustnost v običajnih vrstah zemljin razlikuje tudi za faktor 10, v zemljinah z večjo prepustnostjo ($> 10^{-7} \text{ cm}^2$) prevladuje proces konvekcije, medtem ko pri zemljinah z majhno prepustnostjo ($< 10^{-7} \text{ cm}^2$) prevladuje proces difuzije (Nazaroff in sod., 1988; Schumann in sod., 1992).

2.3.5 Klimatski dejavniki, ki vplivajo na mobilnost radona in njegovo koncentracijo v zunanjem zraku

Zaradi klimatskih dejavnikov in njihovih sprememb, se koncentracija radona v zunanjem zraku spreminja dnevno in sezonsko (Singh in sod., 2005). Med vremenske dejavnike, ki vplivajo na koncentracije radona v zunanjem zraku spadajo, predvsem temperatura, zračni tlak, padavine vseh oblik ter veter. Ti dejavniki ne vplivajo samo na koncentracijo radona v zunanjem zraku, ko je ta že dosegel površje zemlje, temveč tudi na njegov transport z mesta nastanka na površje ter na samo emanacijo. Vlaga in temperatura igrata pomembno vlogo na vseh korakih prehoda radona z mesta nastanka do zunanjega zraka.

Vlaga in padavine

Delež radona, ki naredi direkten preskok iz zrna v poro, se poveča, ko je v porah prisotna vlaga, saj sloj molekul vode prevzame del odzivne energije, ki jo prejme radon od radija ob njegovem razpadu in zato ne prodre v sosednje zrno. Vlaga tudi ovira adsorpcijo radona na notranjih površinah por. Če obstaja gradient vlažnosti v materialu, lahko pride do aktivnega transporta radona na molekulah vode (Stranden in sod., 1984).

Po drugi strani pa prisotnost vode zmanjšuje izhajanje radona iz tal oziroma zemljine. Če so pore napolnjene z vodo, mora radon difundirati skozi vodo, kar je veliko počasnejše, saj je radonov difuzijski koeficient za vodo samo približno $10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, medtem ko je za zrak približno $10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (Stranden in sod., 1984). V suhih tleh lahko radonov atom v svoji življenjski dobi z difuzijo prepotuje 1 do 2 m, medtem ko v nasičenih tleh le 1 do 2 cm (Schumann in sod., 1992).

Različni materiali ob povečevanju vlažnosti različno vplivajo na izhajanje radona. Dodajanje vode, oziroma povečevanje vlažnosti materiala, bolj vpliva na povečevanje izhajanja radona, kot pa na zmanjševanje difuzije, vse do stopnje vlažnosti, kjer imajo pore še vedno nekaj zraka. Ko so pore popolnoma zapolnjene z vodo, pa pride do močnega zmanjšanja difuzije, kar ima za posledico zmanjšanje izhajanja radona (Stranden in sod. 1984). Singh in Virk (1995) sta s poskusi pokazala, da dodajanje vode suhemu vzorcu zemljine, ne vpliva bistveno na zmanjševanje koncentracije radona vse do točke nasičenosti vzorca, ko se izhajanje radona izrazito zmanjša.

Nazaroff in sod. (1988) pravi, da povečevanje vlažnosti zemljine vpliva na zmanjšanje prepustnosti glinenih ali ilovnatih tal bolj kot na prepustnost peščenih. V ilovnatih tleh so pore veliko manjše kot pri peščenih tleh, zato se v ilovnatih tleh prej zaprejo, poleg tega pa tvorijo glinena tla agregate, ki blokirajo pretok plinov ali tekočine skozi njih in s tem zmanjšajo prepustnost.

Če je poroznost zemljine velika, je potrebno več vode, da se zapolnijo vse pore. Maksimalno izhajanje radona se tako pojavi pri višji stopnji vlažnosti. Glinena tla imajo večjo količino higroskopske in kapilarne vode in tudi pore so manjše kot pri peščenih, kar pomeni da glinena tla držijo več vode kot peščena. Torej ob enaki količini padavin so glinena tla bolj vlažna kot peščena.

Voda vpliva na tvorbo pokrivnega sloja na površju zemlje. To so zgodi ob močnih padavinah, ko se pore v zgornjem sloju tal napolnijo z vodo. Podobno so zgodi tudi v času, ko je zgornja plast tal zmrznjena. Zato je radonu onemogočeno izhajanje v ozračje in se akumulira pod pokrivnim slojem. Pokrivni sloj predstavlja prepreko med tlemi in atmosfero, zaradi tega se zmanjšajo tudi vplivi klimatskih dejavnikov (sprememba zračnega tlaka, temperature in vetra) (Schumann in sod., 1992).

Ne glede na to, kakšna je povezava oziroma korelacija med relativno zračno vlago in koncentracijo radona v zraku, gre pri tej zvezi predvsem za neposredni vpliv temperature na naraščanje vertikalnega mešanja zraka, kar ima za posledico disperzijo radona v ozračje. Pozitivna korelacija med relativno zračno vlago in koncentracijo radona pa se pojavi zato, ker se zrak segreje in s tem se zmanjša relativna zračna vlažnost (Singh in sod., 2005).

Temperatura

Sahota in sod. (2005) in Singh in sod. (2005) so opazili tipični dnevni in tudi sezonski vzorec poteka koncentracije radona v zraku. Minimalna koncentracija v pritalnem zraku se opazi pozno popoldne, temu pa sledi maksimum v zgodnjih jutranjih urah naslednjega dne. Do tega pojava pride zaradi sprememb temperature zraka pri tleh zaradi sončnega sevanja. Ko sonce zaide, se začnejo tla ohlajati in posledično tudi plast zraka, ki je v stiku s tlemi. To pripelje do stabiliziranja atmosfere, zato se radon akumulira v plasti zraka pri tleh. Zjutraj, ko je temperatura tal in pritalnega zraka najnižja, je lokalna stabilnost največja. Podnevi, ko se zaradi segrevanja tal segreva tudi pritalni zrak, pa se le-ta začne vertikalno premikati in mešati z zgornjimi plastmi zraka. Posledica tega je, da se koncentracija radona v pritalnem zraku zmanjšuje. Ta vzorec se tipično ponavlja v sončnih dneh, ko je nebo jasno podnevi in ponoči in ko ni vetrovno. V raziskavi v Milanu je pihanje vetra s hitrostjo najmanj $1,5 \text{ m s}^{-1}$ povzročilo, da do akumulacije radona ni prišlo. Krajša vetrovna obdobja ravno tako vplivajo na akumulacijo radona, saj prihaja do motenj, ali pa se proces akumuliranja začne pozneje, kot bi se sicer. To je odvisno od tega, v katerem delu dneva se pojavi veter (Sesana in sod., 2003).

Sezonski dnevni in nočni vzorci se kljub podobnosti razlikujejo. Zimski se razlikuje od poletnega, in sicer v manjši razliki med maksimalno in minimalno koncentracijo. Minimalne koncentracije pozimi so veliko večje kot poleti. Nočna akumulacija je pozimi zaradi dolge noči daljša, še posebej v območjih z inverzijo. Koncentracija radona se malo spreminja, ko je oblačno ali deževno, ko je malo sonca, ali ko je vetrovno, saj vsi ti dejavniki vplivajo na akumuliranje oziroma redčenje radona v zraku (Sesana in sod., 2003).

Povečevanje temperature zvišuje izhajanje radona iz zemljine. Adsorpcija (Van der Wallsova adsorbpcija) plinov na trdnih delcih je temperaturno odvisna. Povečanje temperature materiala (zemljine) znatno zmanjša adsorpcijo plinov (Stranden in sod., 1984).

Zračni tlak

Spremembe zračnega tlaka se odražajo na koncentraciji radona v talnem zraku, posledično pa tudi na koncentraciji radona v zunanjem zraku. Zniževanje zračnega tlaka vleče pline, in z njimi tudi radon, iz zemlje. Ta proces lahko poveča koncentracije radona v pritalnem zraku. Visok ali naraščajoči zračni tlak pa deluje ravno obratno, saj potiska pritalni zrak skupaj z radonom globlje v zemljo. Pihanje vetra čez neravno površino (oviro), lahko deluje kot lokalno znižanje zračnega tlaka za oviro, kar ima za posledico vlečenje radona iz zemlje (Schumann in sod., 1992).

2.4 Radon v bivalnem okolju

Dejavniki, ki vplivajo na koncentracijo radona v bivalnih prostorih in na njeno spreminjanje, se delijo na naravne ter na tiste, ki so povezani z dejavnostjo človeka. Med naravne dejavnike spadajo geološka sestava in struktura tal ter klimatski režim območja (Vaupotič, 1995). Za povišane koncentracije radona v bivalnih prostorih, je najbolj odgovorna lokalna geologija določene regije (prepustnost in tip kamnine) in kemična sestava kamnin in zemljine (vsebnost urana) (Vaupotič in sod., 1994).

V Sloveniji je bila opravljena raziskava o vplivu geološke podlage na koncentracijo radona v bivalnih prostorih (Popit in Vaupotič, 2002). Izkazalo se je, da je povišane koncentracije radona pričakovati na mezozojskih in zgornje paleozojskih kamninah, med katerimi so bile najvišje koncentracije izmerjene na krednih apnencih. Tako so bile koncentracije radona:

- pod 200 Bq m^{-3} na glinastih sedimentih (glina, peščena glina, glineni prod), klastitih (glinavec, skrilavec, peščenjak, konglomerat) in metamorfni kamninah (biotit-muskovit, gnajs)
- med 200 in 600 Bq m^{-3} na holocenskih naplavinah (karbonatni prod, glineni prod, pesek, glina), glacialnih sedimentih (karbonatni prod, pesek, konglomerat) in na dolomitu (triasni dolomit, zgornje permski dolomit)
- nad 800 Bq m^{-3} samo na apnencu (jurski, kredni, paleocenski, eocenski in miocenski); v vseh teh primerih je bil to kraški apnenec in se povišane koncentracije radona lahko pripiše visoki prepustnosti kraških kamnin.

Kakovost gradnje bivalnih prostorov in bivalne navade ljudi so dejavnik, ki so povezani z dejavnostjo človeka. Med te najpogosteje štejemo:

- gradbene materiale, ki imajo povišano koncentracijo urana ali radija ter gradnjo hiš na neprimerni podlagi (elektrofiltrski pepel in žindra, rudniška jalovina) (Vaupotič, 1995)
- voda v gospodinjstvu, iz katere se radon sprošča v zrak, vendar ta vir ne predstavlja večje nevarnosti, saj je faktor prehoda radona iz vode v zrak le 10^{-4} , če je koncentracija radona v vodi 10 kBq m^{-3} , bi to v zraku predstavljalo le 1 Bq m^{-3} ; v površinskih vodah so srednje koncentracije radona okrog 1 kBq m^{-3} , v podtalnici pa okrog 10 kBq m^{-3} ; v Sloveniji so te vrednosti nekoliko nižje in sicer nekaj kBq m^{-3} (Vaupotič, 1995)
- radon v zemeljskem plinu, ki se pri gorenju sprošča v zrak; v Sloveniji so na območju Ljubljane izmerili koncentracijo radona 60 Bq m^{-3} , kar pa pomeni le majhen prispevek k celotni koncentraciji radona v bivalnih prostorih (Vaupotič, 1995).

Poleg naštetih dejavnikov igrajo pomembno vlogo tudi prezračevalni režim (Sahota in sod., 2005) in kvaliteta gradnje bivalnih prostorov (tesnjenje), pa tudi velikost in oblika zgradbe.

2.4.1 Glavni mehanizmi, ki kontrolirajo vstop radona v bivalni prostor

Glavni mehanizem, ki žene radona v hišo, je zmanjšan tlak v hiši glede na okoliško zemljino in zunanji zrak. Podtlak nastaja zaradi razlike v temperaturi. Ker je toplejši zrak v hiši redkejši kot atmosferski, prihaja do vdiranja talnega in atmosferskega zraka v hišo. Podobno se dogaja tudi pri gorenju v peči, kjer je še bolj izražen efekt dimnika, ali pa pri aktivnem prezračevanju prostorov (ventilacija), ko tudi prihaja do vleke okoliškega zraka, tako iz zemljine kot iz atmosfere, v hišo. Razpoke v talni plošči in stiki med stenami in temelji, ter ostali stiki v zgradbi, pogosto predstavljajo vstopne točke.

Stavbe, ki so podkletene, imajo ponavadi več vstopnih točk kot tiste, ki kleti nimajo (Gundersen in sod., 1992).

V manjši meri tudi veter prispeva svoj delež k zviševanju koncentracije radona v bivalnih prostorih. Pred oviro (zgradbo) nastaja zaradi vetra povečan zračni tlak, ki vtiska atmosferski zrak v tla, kar na drugi strani povečuje vdiranje talnega zraka, bogatega z radonom, v kletne prostore. Na drugi strani ovire (zgradbe), pa nastaja podtlak, ki lahko povzroči vlečenje (črpanje) zraka iz hiše in posledično prihaja do vlečenja talnega zraka iz okoliške zemljine v kletne prostore. Ta vpliv je odvisen od vstopnih točk na sami zgradbi in prepustnosti okoliške zemljine (UNSCEAR 2000; Nazaroff in sod., 1988; EPA, 2006).

Tudi pokrivni sloj, ki nastane ob padavinah, povzroča povišane koncentracije radona v bivalnih prostorih. Zaradi močnih padavin ali zmrznjenega zgornjega sloja tal prihaja do tega, da je radonu onemogočeno izhajanje v atmosfero, zato se akumulira v talnih porah. Poleg prepreke, ki jo ob pojavu pokrivnega sloja predstavlja voda, prihaja tudi do vdiranja vode v talne pore, kar povzroči potiskanje talnega zraka v globlje plasti tal. Talni zrak se zato širi horizontalno pod pokrovnim slojem. Če so deli zgradb, ki ne tesnijo, v stiku s tlemi, prihaja do vdiranja radona v notranjost zgradbe. Podoben pojav se lahko zgodi tudi v primeru večjih asfaltiranih površin okoli zgradbe, ki stoji na prepustnih tleh. Radon se akumulira v talnih porah in potuje horizontalno pod površino. Ko pride v stik z zgradbo, lahko v primeru slabega tesnjenja vstopi v notranjost (EPA, 2006).

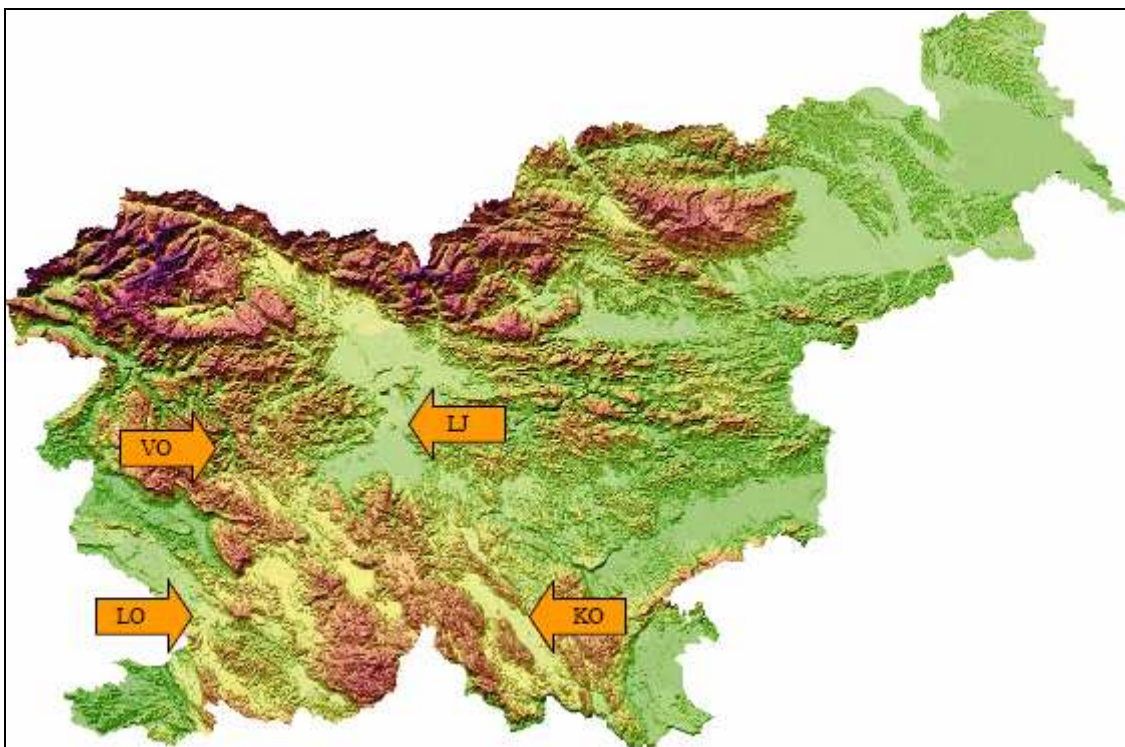
2.5 Opis obravnavanih območij

Glavni vpliv na koncentracijo in transport radona imajo geološki, pedološki in klimatski dejavniki (Gundersen in sod., 1992). Geologija in pedologija določenega območja ostajata bolj ali manj konstantni skozi daljše časovno obdobje, medtem ko se klimatski dejavniki spreminjajo dnevno in sezonsko. Za ovrednotenje rezultatov meritev je potrebno poznati tudi lokalno geologijo in klimo. Zato smo k podrobnemu opisu geoloških značilnosti raziskovanih območij, dodali tudi pregled najosnovnejših klimatskih podatkov (povprečna letna količina padavin, povprečna letna temperatura), ki služijo bolj za splošno predstavo o raziskovanem območju kot pa za pomoč pri analizi zbranih podatkov. Klimatski dejavniki, ki so pomembni za analizo rezultatov so se sproti zbirali na vsakem merilnem mestu.

Meritve smo izvedli na lokacijah, ki so označene na sliki 2.2. Ker je geologija obravnavanih območij, ki bo podrobneje opisana v nadaljevanju, najbolj pomemben dejavnik, smo na tem mestu prikazali, le osnovne geografske podatke (tabela 2.3) za vse obravnavane lokacije.

Tabela 2.3: Podatki o legi obravnavanih lokacij (ARSO, d)

	zemljepisna širina	zemljepisna dolžina	nadmorska višina
Ljubljana	46°01'56"	14°29'07"	299 m
Vojsko	46°01'36"	13°54'58"	1067 m
Lokev	45°39'51"	13°55'21"	449 m
Kočevje	45°38'42"	14°52'27"	467 m



Opomba: Lokacije so označene z okrajšavami (Ljubljana - LJ, Vojsko - VO, Lokev - LO, Kočevje - KO)

Slika 2.2: Digitalni model Slovenije z označenimi lokacijami, na katerih smo izvedli meritve (ARSO, a)

2.5.1 Geološki opis

Do sedaj so bile opisane glavne litološke enote v Sloveniji, kjer je pričakovati povišane vrednosti radona (poglavje 2.4), v nadaljevanju pa sledi geološki opis lokacij, ki so bile vključene v našo raziskavo. Pri vsaki lokaciji je za širše območje prikazan tudi izrez osnovne geološke karte, s puščico pa je označeno merilno mesto.

2.5.1.1 Ljubljana

Na sliki 2.3 je prikazan izrez osnovne geološke karte za merilno mesto Ljubljana. Kvartarne naplavine Ljubljanske kotline delimo na pleistocenske in holocenske. Pretežni del naplavin pripada pleistocenskim. Na površini so vidne le v rečnih terasah, saj so drugod prekrite s pretežno holocensko naplavino. Pleistocenske savske naplavine sestavlja na vrhu prodni zasip, pod njim pa ležijo starejši pleistocenski konglomerati. Teraso so zgrajene iz proda, v katerem so beli in sivi triasni apnenčevi in dolomitni prodniki, prodniki peščenjakov, skrilaških glinavcev, laporjev, kremenovega keratofirja in njegovega tufa. Prod je delno sprjet v konglomerat (Majč, 2006).

Na Barju predstavljajo pleistocenske plasti v glavnem gline, med katerimi se na različnih globinah pojavljajo lečasti vložki peska, proda in mivke. Glina je siva, zelenkasta do rjavkasta in precej mastna. Barjanski teren, ki ga pokrivajo predvsem gline, bočno prehajajo proti severu v teren, ki ga sestavljajo prodne plasti, ki jih je nanese Sava. Prodne plasti se proti jugu bočno zajedajo v glinene plasti. Najbolj južna

točka, do katere še sega savski prod v barjansko ravnino, je pri Dolgem mostu na Viču (Majč, 2006).



Slika 2.3: Izrez geološke karte merilnega mesta Ljubljana (Grad in Ferjančič, 1968)

K holocenu prištevamo nanose rek in potokov, na Braju pa polžarico in šoto. Nanosi ob večjih potokih sestojijo pretežno iz proda, peska in gline. Ljubljanica nanaša na območje Barja večinoma le rjavo sivo glino, kar predstavlja po svojem izvoru kraški tip vode. Največ debelozrnatega materiala prinaša na Barje Iška (Majč, 2006).

Matično podlago Barja sestavljata na južnem, zahodnem in osrednjem delu zgornjetriasni dolomit in permokarbonski skrilaški glinavec in peščenjak. Kamninska podlaga je na vzhodnem delu Barja globlje pogreznjena kot na zahodnem. Južno od Ljubljane je kamninska osnova v globini več kot 150 m (Majč, 2006).

2.5.1.2 Vojsko

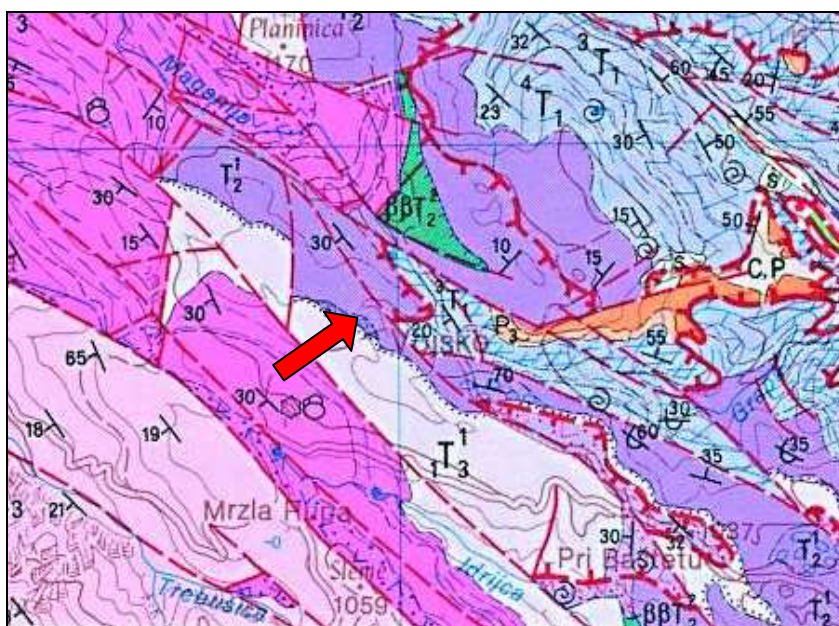
Slika 2.4 prikazuje osnovne geološke enote območja Vojskega. Najstarejše kamnine na Vojskarski planoti so zgornje permski skladoviti dolomiti. Med plastmi dolomita se pojavljajo pole črnega skrilaškega glinavca, ki ponekod vsebuje mnogo muskovita. Še posebno pogoste plasti glinavca se pojavljajo med najnižjimi plastmi dolomita. Nad dolomitom sledi okoli 20 m temno sivoga, nekoliko lapornatega in bituminoznega biomikritnega apnenca. Tudi med plastmi apnenca so redke pole skrilaškega glinavca. Debelina obravnavanih dolomitov in apnencev je okoli 80 m (Buser, 1985).

Anizijsko stopnjo na Vojskarski planoti predstavljajo svetlosivi skladoviti dolomiti, ki so marsikje laminirani oziroma stromatolitni z izsušitvenimi porami in korozijskimi votlinami, zapolnjenimi s kalcitom. Skladoviti dolomit lahko bočno prehaja v skoraj beli masivni dolomit, ki je značilno debelozrnat. Jugovzhodno od Vojskega so v masivnem dolomitu številni, po več deset metrov debeli vložki dolomitnega konglomerata. Debelina anizijskega dolomita je od 100 m do 350 m (Buser, 1985).

Ladinijske plasti na večjem delu Vojskarske planote niso bile odložene, deloma se pojavljajo le severno in jugovzhodno od Vojskega v obliki piroklastičnih kamnin (tuf, diabaz, keratofir) (Buser, 1985).

Cordevolska stopnja na Vojskarski planoti je razvita v obliki dolomitov, ki na večjem delu območja nalegajo s hiatusom (prekinitev) neposredno na anizijski dolomit. Te kamnine sestavlja značilno debelozrnati in porozni svetlo sivi do beli masivni dolomit. V vrhnjem delu postane dolomit ponekod temnejše barve in deloma skladovit ter postopoma preide v srednjekarnijski julski dolomit (Buser, 1985).

Masivni cordevolski dolomit navzgor postopoma preide v julski temno siv skladoviti dolomit, ki je spodaj še debelozrnat, navzgor pa preide v dolomikrit. V nižjem delu dolomita dobimo ponekod tanjše vložke skrilavega glinavca in rastlinske zoglenele ostanke. Debelina obravnavanega dolomita je od 25 m do 100 m (Buser, 1985).



Slika 2.4: Izrez geološke karte merilnega mesta Vojsko (Buser, 1985).

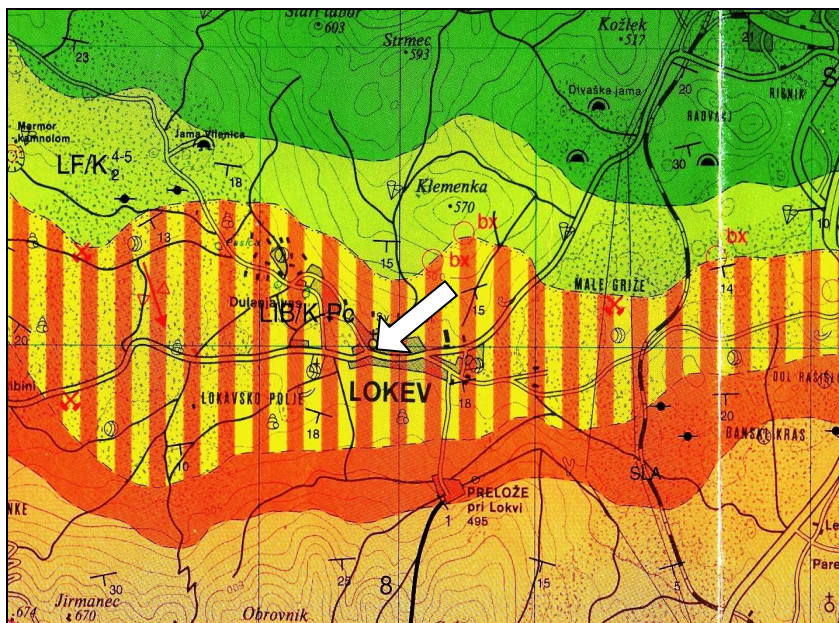
Glavna smer prelomov na območju Vojskarske planote je dinarska (SZ - JV). Med Vojskim in Kočevšami poteka v triasnih plasteh Vojskarski prelom, ki na daljšem odseku loči spodnjetriasne sklade in anizijski dolomit (Buser, 1985).

2.5.1.3 Lokev

Geološko sestavo širšega območja Lokve sestavljajo štiri zgornje kredne in paleocenske formacije (slika 2.5). Obdobje med zgornjim turonijem in spodnjim santonijem predstavlja Sežanska formacija. Razvita je v obliki plastovitega apnenca z redkimi rudistnimi biostromami in izsušitvenimi porami, lokalno pa se v spodnjem delu pojavlja onkoidni apnenec (Žvab, 2006).

Lipiška formacija zgornje santonijske in campanijske starosti predstavlja na Krasu ekonomsko najpomembnejše karbonatne kamnine in je razvita v obliki plastnatega apnenca z redkimi rudistnimi biostromami in biohermami. Severno od Divaškega

preloma se znotraj Lipiške fromacije v obliki vložkov in paketov pojavlja ploščasti in laminirani apnenec z roženci oziroma tomajski apnenec (Žvab, 2006).



Slika 2.5: Izrez geološke karte merilnega mesta Lokve pri Sežani (Jurkovšek in sod., 1996)

Z diskordanco (prekinittev) so nad Lipiško formacijo odložene plasti Liburnijske formacije maastrichtijske do paleocenske starosti. Slednja tvori kamninsko podlago tudi na naši raziskovani lokaciji v Lokvi. Horizontalno in vertikalno se menjavajo plasti morskega, brakičnega in sladkovodnega sedimentacijskega okolja. Liburnijsko formacijo delimo na tri člene. Spodnji del formacije so tako imenovane vremske plasti, ki jih sestavljajo plastnati bituminozni apnenci (bogati z organsko snovjo), redkeje lapornati apnenci in vložki premoga. Kozinske plasti predstavljajo temni, rahlo lapornati in ponekod silificirani apnenci. V zgornji del formacije pa sodijo miliolidni oziroma Slivski apnenci, kateri vsebujejo številne miliolide, korale, alge in druge fosile (Žvab, 2006).

Zadnjo litostratigrafsko enoto v okolici Lokve predstavlja alveolinsko-numulitni apnenec eocenske starosti, ki se je večinoma odlagal na dobro prezračenem plitvem šelfu. Lokalno se med njimi pojavlja tudi apnenec z roženci ter apnenec z litotamnijami, koralami in hidrozoji (Žvab, 2006).

2.5.1.4 Kočevje

Geološka karta Kočevja je prikazana na sliki 2.6. Severovzhodno od Kočevja proti Šalki vasi so sprijeti miocenski nanosi. Spodnji litološki člen predstavlja bazalni konglomerat, nad njim pa leži apnenčasta breča, katere skupna debelina je približno 100 m. Vezivo v konglomeratih in brečah je drobnopeščeno, mestoma s povečano vsebnostjo železa. Neposredno na debelozrnatih sedimentih ležijo plasti premoga, skrilavca, konglomerata, peščenjaka, laporja in gline. Te plasti, skupaj z debelozrnatimi členi ležijo diskordantno na santonijskem apnencu (Savig in Dozet, 1983).

Jezerski sediment na Kočevskem polju predstavlja rdeča boksitna ilovica, nad njo leži rumena ilovica, rumenkasto siva ilovica ter aluvialne nanosi na vrhu. V vseh teh litoloških členih je prisoten tudi kremen, roženec, železov boksit in peščenjak. S palinološko analizo je bilo dokazano, da te plasti pripadajo obdobju pleistocena in delno holocena. Južno od Kočevja so na območju reke Rinže aluvialni nanosi. Debelina se giblje od 0.5 do največ 4 metrov. Nanose tvorijo različni prodniki, peski, glina ter humusno-glinden material (Savig in Dozet, 1983).



Slika 2.6: Izrez geološke karte merilnega mesta Kočevje (Savig in Dozet, 1983)

V okolici Kočevja je tudi nekaj nahajališč mineralnih surovin. Tukaj so začeli z izkopavanjem premoga že leta 1803. Leta 1953 so odkrili tudi nekoliko povečano radioaktivnost premoga. Nekaj je tudi železove rude, ki je delno nastala v kvartarni ilovici, del rude pa je nastal v rdečih železovo oksidnih prodnikih kvartarne ilovice (Savig in Dozet, 1983).

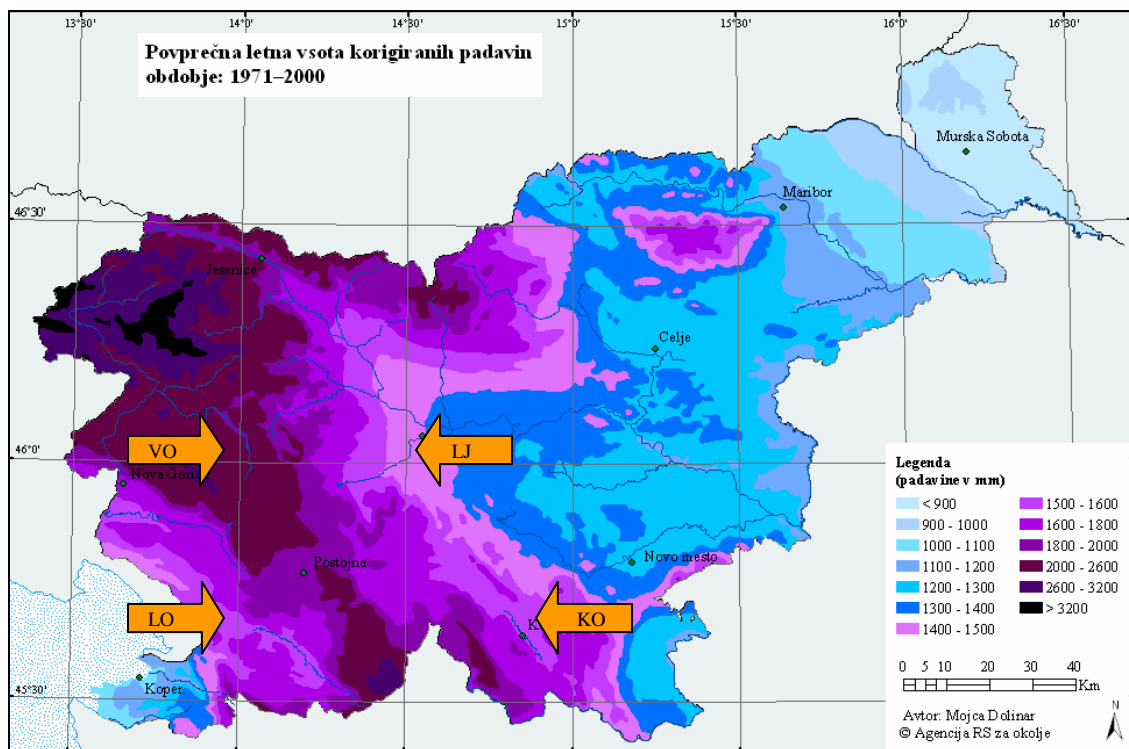
2.5.2 Podnebje

V Sloveniji so trije prevladujoči tipi klime, vendar se na posameznih delih njihovi vplivi prepletajo. Tako je v vzhodni Sloveniji klima zmerno kontinentalna oziroma subpanonska, v osrednji Sloveniji v nižjih legah je subalpska, v hribovitem svetu pa gorska, zahodno od Alpsko Dinarske gorske pregrade pa je klima sredozemska. Podnebna raznolikost Slovenije se kaže v razlikah med vrednostmi vremenskih spremenljivk ter v njihovi dnevni in sezonski spremenljivosti (Podnebne razmere ..., 2006).

Prostorska porazdelitev padavin v Sloveniji je močno povezana z razgibanim reliefom. Zaradi orografskega učinka se višina padavin povečuje z oddaljevanjem od morja proti notranjosti Slovenije in doseže maksimum na Dinarsko-Alpski pregradi. Za Dinarsko pregrado proti severovzhodu se z oddaljenostjo od morja in orografske pregrade višina padavin zelo hitro zmanjšuje. Ob obali se letna višina padavin giblje med 1100 mm in

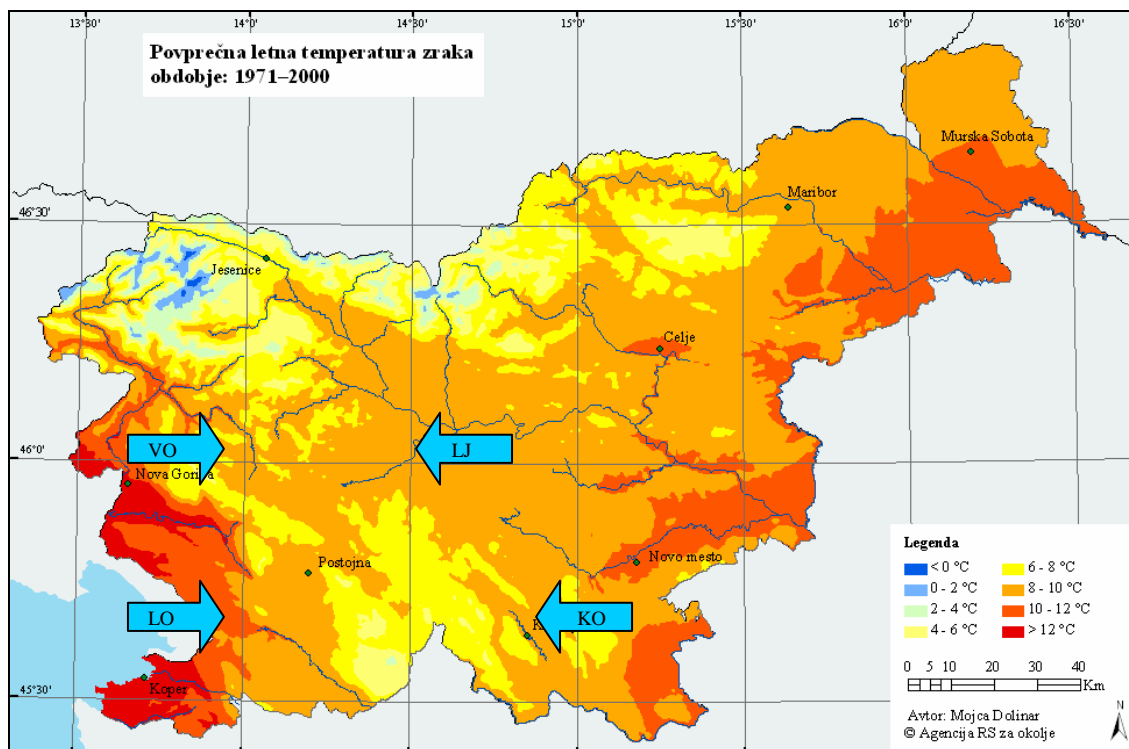
1200 mm. Na skrajnem severovzhodu države, kjer se že čuti močan vpliv celinskega podnebja, pa letna višina padavin ne preseže 900 mm (Podnebne razmere ..., 2006).

Dežmeri ob vetru in sneženju izmerijo sistematično premalo, zato se dobljene vrednosti korigira. Na sliki 2.7 je prikazana korigirana višina padavin za Slovenijo (Podnebne razmere ..., 2006).



Slika 2.7: Povprečna letna vsota korigiranih padavin za obdobje 1971 – 2000 (ARSO, b)

Prostorska porazdelitev povprečne letne temperature sledi reliefu Slovenije. Najtopleje je na obali, v Vipavski dolini in v Brdih, kjer povprečna letna temperatura preseže 12°C (slika 2.8). Od 10 do 12 °C je tudi v ostali Primorski regiji in v nižinah vzhodne Slovenije, medtem ko je v nižjih predelih osrednje Slovenije povprečna letna temperatura med 8 in 10 °C (slika 2.8). Najhladneje je v gorah, kjer na najvišjih vrhovih povprečna letna temperatura ne preseže 0 °C (Podnebne razmere ..., 2006).



Slika 2.8: Povprečna letna temperatura zraka za obdobje 1971 – 2000 (ARSO, c)

Podatki o padavinah in temperaturi kažejo na to, da ležijo naša merilna mesta (Ljubljana, Vojsko, Lokev in Kočevo) na klimatsko različnih delih države. Največ padavin pade v Vojskem (2456 mm), sledijo pa Kočevo (1523 mm), ter Lokev (meteorološka postaja Godnje, 1420 mm) in Ljubljana (1393 mm), ki imata približno enako količino padavin. Povprečna temperatura je najvišja v Lokvi (Godnje, 10,5 °C), sledi Ljubljana (9,8 °C), Kočevo (8,3 °C), Vojsko pa ima najnižjo temperaturo (6,2 °C). Ti podatki so povprečja obdobja od 1961 do 1990 (ARSO, d).

3 EKSPERIMENTALNI DEL

Meritve so potekale na štirih geološko in klimatsko različnih lokacijah in sicer v Ljubljani, Vojskem, Lokvi pri Sežani ter v Kočevju. Na vsaki od teh lokacij smo od 10 do 14 dni kontinuirano merili koncentracijo radona istočasno z dvema enakima merilnikoma Alphaguard (Genitron Instruments, Nemčija). En merilnik je bil postavljen zunaj, drugi pa v pritličju hiše. Zunanji merilnik je bil na vsaki od teh lokacij postavljen nekje pri steni hiše, približno 25 cm od tal in zaščiteno pred padavinami. Po zaključku meritve smo podatke prenesli na osebni računalnik, kjer smo jih naprej obdelovali.

3.1 Merilna tehnika

Meritve radona ali njegovih razpadnih produktov temeljijo na detekciji sevanj α , β ali γ žarkov, ki nastajajo pri radioaktivnih razpadih. Večina metod temelji na detekciji α sevanja, katerega izvor je lahko neposredni razpad radona ali pa razpad njegovih kratkoživih razpadnih produktov, ki so med seboj v znanem ravnotežju. Merilne tehnike se med seboj razlikujejo tudi glede na čas trajanja meritve:

- trenutne meritve se izvajajo po principu enkratnega odvzema vzorca
- kontinuirane meritve pa, glede na vrsto detektorja, merijo koncentracije različno dolgo.

Tehnike merjenja radona se delijo na pasivne in aktivne:

- pasivne tehnike predstavljajo naprave oziroma detektorje, ki za svoje delovanje ne potrebujejo električnega napajanja, vendar potrebujejo nadaljnjo obdelavo v laboratoriju; slabost teh tehnik je tudi v tem, da ne odražajo spreminjanje koncentracije radona med samim merjenjem, ampak je njihov končni rezultat podan kot povprečna vrednost za določeno merilno obdobje
- aktivne tehnike predstavljajo elektronske naprave, ki sočasno poleg radona merijo tudi določene druge parametre in predvsem odražajo spreminjanje koncentracije radona med samim potekom meritve.

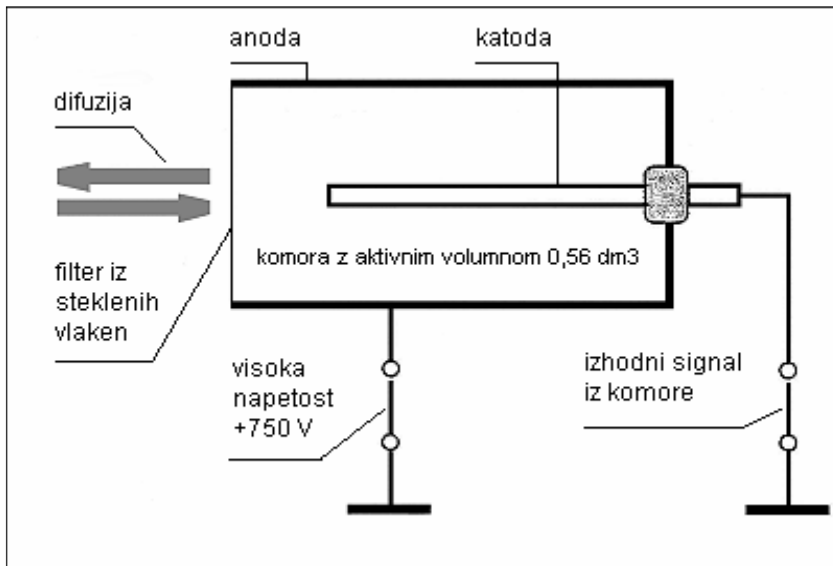
3.1.1 Opis merilnika Alphaguard

Alphaguard (slika 3.1) je prenosni merilni sistem za kontinuirano merjenje radona. Uporaben je za merjenje v zunanjem ali notranjem zraku, v industriji, domovih in za raziskave vseh vrst. Poleg merjenja radona, omogoča tudi merjenje in beleženje določenih parametrov, kot so, temperatura, zračni tlak. Merilno območje za radon ima od $2 - 2.000.000 \text{ Bq m}^{-3}$. Priključen na vir električne energije, interna baterija zadostuje le za 10 dni, lahko meri tudi po več mesecev brez upravljanja. Kapaciteta spomina omogoča, pri 60 minutnem intervalu, shranjevanje podatkov do 6 mesecev. Poleg osnovnega merilca koncentracije radona obstajajo tudi dodatki za merjenje radona v vodi in talnem zraku.



Slika 3.1: Merilnik Alphaguard na eni izmed lokacij

Radon detektor temelji na pulzni ionizacijski komori (slika 3.2). Pri difuzijski meritvi prehaja zrak, ki ga analiziramo skozi filter iz steklenih vlaken v ionizacijsko komoro. Samo ^{222}Rn , ki je plin lahko prehaja skozi ta filter, medtem ko je radonovim razpadnim produktom, prehod onemogočen. Filter deluje tudi kot zaščita ionizacijske komore pred kontaminacijo in prahom.



Slika 3.2: Shema ionizacijske komore (Genitron Instruments, User Manual, 1998)

Ionizacijska komora je cilindrične oblike z aktivnim volumnom 0.56 dm^3 . Notranja površina komore je kovinska, na sredini pa je vzdolž komore nameščena elektroda. Med to elektrodo in površino komore je električno polje visoke napetosti. Pri razpadu radona nastane α delec, ki povzroči ionizacijo zraka. Nabiti delci potujejo proti elektrodi,

tok ki ga merimo, pa je sorazmeren množini α delcev. Merilni signali so poslani v elektronsko mrežo za nadaljnjo digitalno obdelavo.

Dostop do zabeleženih podatkov oziroma internega spomina je omogočen z osebnim računalnikom preko COM vhoda. Programska oprema nudi uporabniku prijazen grafični vmesnik, preko katerega je možna nadaljnja obdelava podatkov. Osnovno upravljanje in nastavljanje merilnega instrumenta se izvaja preko štirih gumbov in LCD prikazovalnika na ohišju merilnika, bolj zahtevne nastavitve pa se izvajajo preko osebnega računalnika (Genitron Instruments, User Manual, 1998).

3.2 Meritve

Cilj mojega diplomskega dela je bil raziskati in ovrednotiti vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona v zunanjem zraku. Meritve so potekale na štirih geološko in klimatsko različnih lokacijah v aprilu in maju 2007. Na vsakem merilnem mestu so se istočasno, tako zunaj kot v hiši, zbirali podatki o koncentraciji radona, temperaturi, zračnem tlaku in relativni zračni vlažnosti. Podatke o padavinah na posameznih lokacijah smo si priskrbeli za najbližje meteorološke postaje od Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO).

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Naš primarni cilj je bil proučevanje vpliva geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona v zunanjem zraku. Kljub temu smo se odločili, za meritev koncentracije radona tudi v bivalnih prostorih. Hoteli smo pridobiti podatke o koncentracijah radona v zunanjem zraku in jih primerjati z vzporedno pridobljenimi podatki o koncentraciji radona v bivalnih prostorih pri vsakodnevnih aktivnostih. Z analizo tako dobljenih podatkov smo skušali ovrednotiti vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na obnašanje koncentracije radona v zunanjem zraku.

Pri analiziranju dobljenih podatkov o koncentraciji radona v bivalnih prostorih prihaja do večjih negotovosti, saj v vseh hišah, v katerih smo merili radon, živijo ljudje, ki imajo različne življenjske navade. V naši raziskavi nismo pridobivali podatkov o gradbenih materialih, niti ne o načinu ogrevanja, kuhanja in tudi ne prezračevanja, zanimali so nas le vplivi geoloških in klimatskih dejavnikov.

4.1 Rezultati meritev v zunanjem zraku in bivalnih prostorih

Kot že opisano v prejšnjem poglavju, so potekale meritve v Ljubljani, Vojskem, Lokvi pri Sežani ter v Kočevju. Na vsaki lokaciji smo z dvema enakima merilnikoma istočasno merili koncentracijo radona zunaj in v hiši. Ker na samih lokacijah nismo merili količine padavin, smo ustrezne podatke pridobili za najbližje meteorološke postaje, ki so del državne meteorološke mreže pod okriljem ARSO. Podatki o padavinah se na vseh meteoroloških postajah zbirajo ob osmih zjutraj. Dobljena višina predstavlja padavine za zadnjih 24 ur. Ker ni na voljo podatkov o časovnem pojavljanju padavin, so grafi izdelani tako, da prikazujejo padavine od 8 ure zjutraj včeraj do 8 ure zjutraj danes, kar uradno predstavlja današnjo količino padavin.

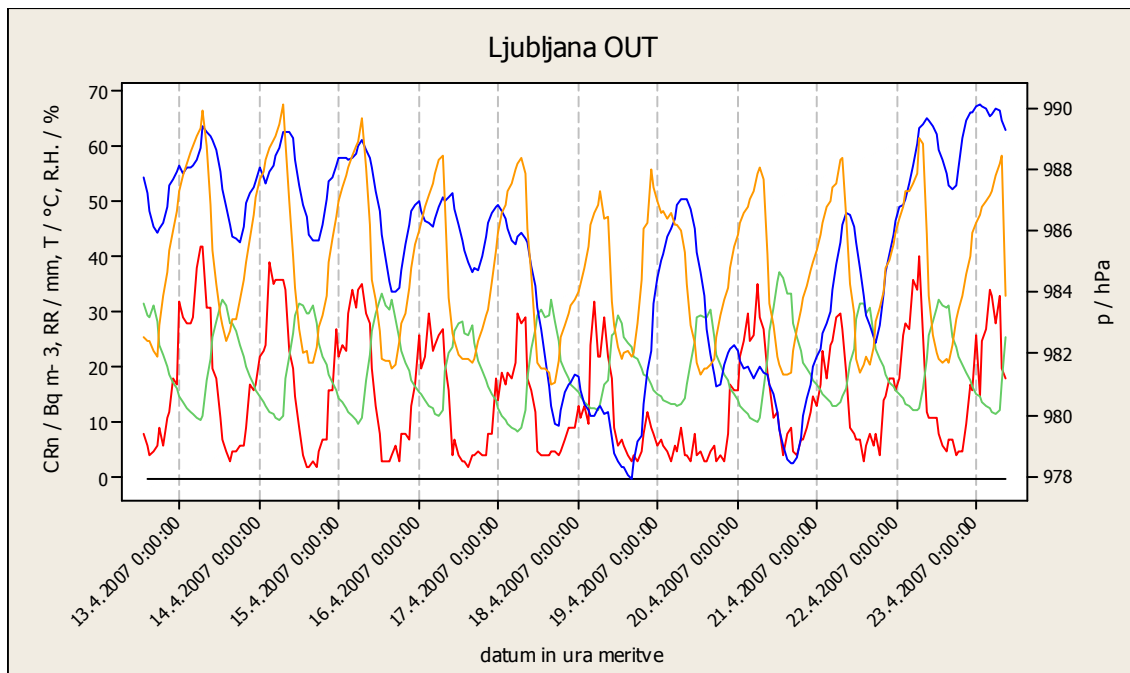
Vsi grafi so izdelani v programu MINITAB®, ki ni dostopen v slovenskem jeziku. Zaradi tega prihaja pri prenosu grafov v druge programe do neustreznega kopiranja, tako da smo namesto črke č uporabljali črko c. Zaradi večje preglednosti smo ponekod uporabili okrajšane oznake krajev (Ljubljana – LJ, Vojsko – VO, Lokev – LO, Kočevje – KO) in izraz IN za meritev v hiši ter OUT za meritve zunaj. Poleg tega smo na slikah in v tabelah okrajšali tudi naslednje spremenljivke: koncentracija radona – C_{Rn} , temperatura – T , relativna zračna vlažnost – R.H., zračni tlak – p , padavine – RR.

4.1.1 Ljubljana

Merilno mesto v hiši je bilo v delovni sobi v pritličju nepodkletene hiše. Merilnik je stal na nizki omarici, približno 50 cm od tal. Zunanji merilnik je bil postavljen tik ob hiši, približno 15 cm od tal, na prisojni strani hiše v zatišnem vrtu. Tla okoli hiše so kamnito-betonska.

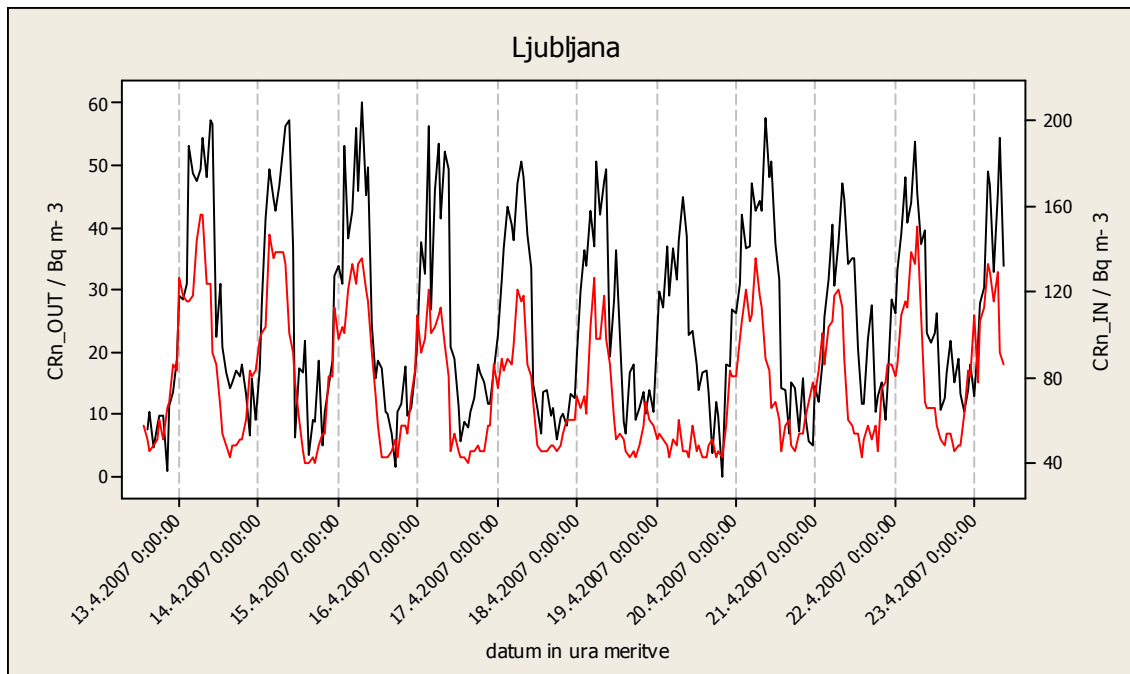
Ves čas merjenja v Ljubljani, ki je trajalo 10 dni, ni bilo nobenih padavin. Koncentracija radona v zunanjem zraku je imela tipičen dnevni cikel, in sicer je bila največja zjutraj in najnižja v najtoplejšem delu dneva (slika 4.1), kar je posledica vertikalnega mešanja zraka zaradi segrevanja nižjih slojev zraka in konvekcijskega dviganja kot je bilo opisano v poglavju 2.3.5. Opazi se tudi, da se je koncentracija radona v zunanjem zraku začela zviševati šele pozno zvečer ali celo proti jutru. To se je najverjetneje dogajalo zato, ker smo merili na južni strani hiše v zatišnem vrtu, ki se je čez dan

močno segrel (do 37°C), in se zve čer počasi ohlajal. Zato je vertikalno mešanje zraka potekalo pozno v noč.



Legenda: — C_{Rn} , — RR, — T, — R.H., — p

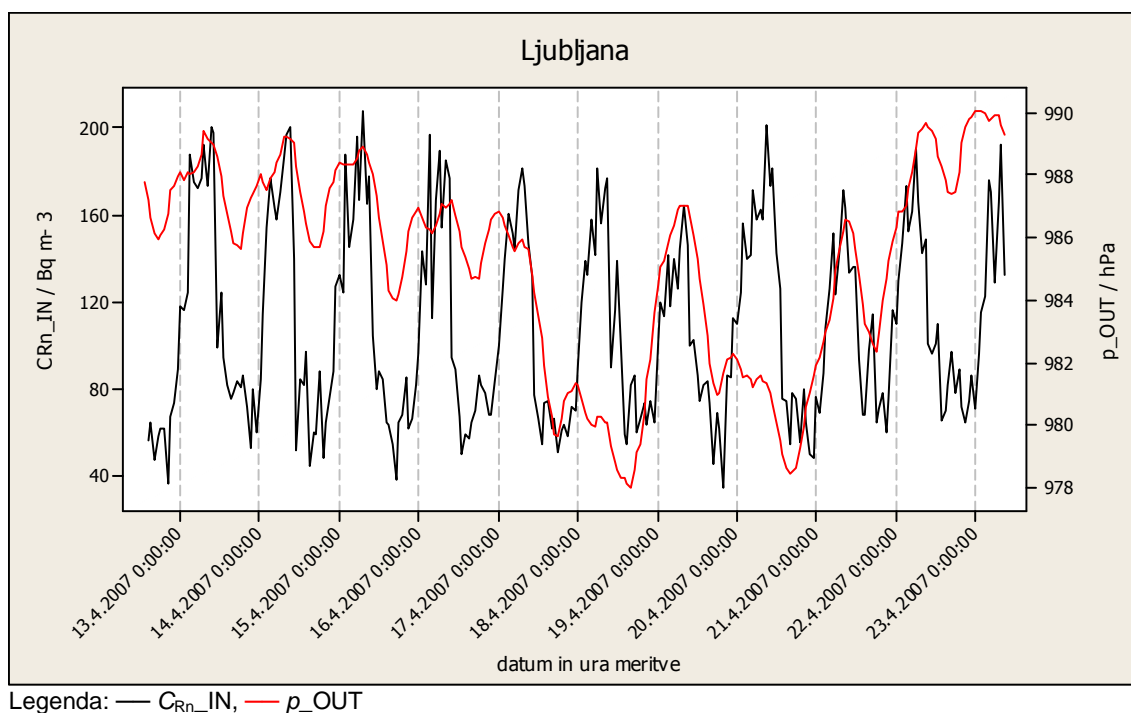
Slika 4.1: Časovni potek merjenih parametrov na merilnem mestu v Ljubljani zunaj



Legenda: — C_{Rn_OUT} , — C_{Rn_IN}

Slika 4.2: Časovni potek koncentracije radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Ljubljani

Koncentracija radona v hiši sledi koncentraciji radona zunaj (slika 4.2). Na dan 19. aprila smo opazili nekoliko nižjo koncentracijo radona v hiši v poznih večernih urah, čemur sledi zvišanje koncentracije radona v jutranjih urah naslednjega dne, ravno na dan znižanega zračnega tlaka. Koncentracija radona v zunanjem zraku istega dne (19. april) je ostala nizka (slika 4.2). Sicer v hiši ni opaziti večjih sprememb nihanja koncentracije radona, ki bi bile eksplicitno povezane s spremembami zračnega tlaka okoli 19. aprila (slika 4.3).



Slika 4.3: Časovni potek zračnega tlaka zunaj in koncentracije radona v hiši na merilnem mestu v Ljubljani

Dnevni cikli zračnega tlaka so bolj ali manj enakomerni, v razponu od 978 do 990 hPa. Do naglega znižanja tlaka je prišlo le 18. in 20. aprila, medtem ko se je vmes, 19. aprila, tlak ponovno nekoliko povišal, vendar je ravno na ta dan ostala koncentracija radona v zunanjem zraku znižana (slika 4.1). To bi mogoče lahko pripisali naglemu povišanju zračnega tlaka, ki je sledil dnevu z nizkim tlakom, kar je povzročilo potiskanje atmosferskega zraka v tla in preprečilo izhajanje radona v ozračje. Sicer ni opaziti povečanih koncentracij radona v dnevih nižjega zračnega tlaka (slika 4.1).

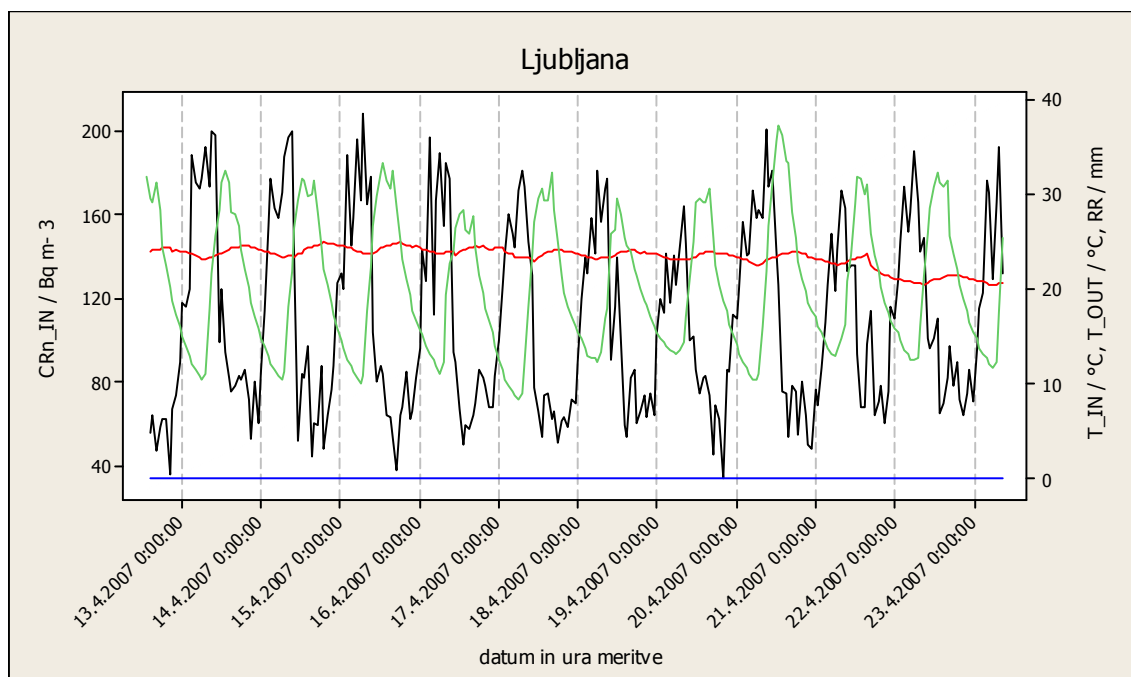
V tabeli 4.1 so prikazane korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši. Vse korelacije so značilne na stopnji 0,01. Korelacija med koncentracijo radona zunaj in zunanjo temperaturo je negativna ($r = -0,722$, $p < 0,001$). Torej z višanjem zunanje temperature se znižuje koncentracija radona v zunanjem zraku. Korelacija med koncentracijo radona zunaj in zračnim tlakom zunaj obstaja, vendar je slaba ($r = 0,420$, $p < 0,001$). Med koncentracijo radona zunaj in relativno zračno vlažnostjo zunaj obstaja pozitivna korelacija ($r = 0,851$, $p < 0,001$). Ravno tako obstaja med zunanjo temperaturo in relativno zračno vlažnostjo zunaj, močna, sicer negativna korelacija ($r = -0,894$, $p < 0,001$) (priloga B, Ljubljana). Pozitivna korelacija med koncentracijo radona in relativno zračno vlažnostjo obstaja zato ker, ko se zrak segreva se poveča vertikalno mešanje zraka, tako da se koncentracija radona pri tleh znižuje, istočasno pa se s segrevanjem zraka zmanjšuje

tudi relativna zračna vlažnost. Med koncentracijo radona zunaj in v hiši je pozitivna korelacija ($r = 0,710$, $p < 0,001$). Korelacija med koncentracijo radona v hiši in zračnim tlakom je slaba ($r = 0,345$, $p < 0,001$). Ker temperatura v hiši niha manj kot zunaj, je razumljivo da je tudi korelacija med temperaturama in koncentracijo radona v hiši različna ($r = -0,434$ za temperaturo v hiši, $r = -0,580$ za zunanjo temperaturo, p je v obeh primerih $< 0,001$).

Tabela 4.1: Korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Ljubljani

LJUBLJANA		C_{Rn} v hiši	C_{Rn} zunaj
C_{Rn} zunaj	r	0,710**	
	p	0,000	
	N	260	
T v hiši	r	-0,434**	
	p	0,000	
	N	260	
T zunaj	r	-0,580**	-0,722**
	p	0,000	0,000
	N	260	261
p zunaj	r	0,345**	0,420**
	p	0,000	0,000
	N	260	261
R.H. zunaj	r	0,687**	0,851**
	p	0,000	0,000
	N	260	261

Opomba: ** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko



Legenda: — C_{Rn_IN} , — T_IN , — T_OUT , — RR

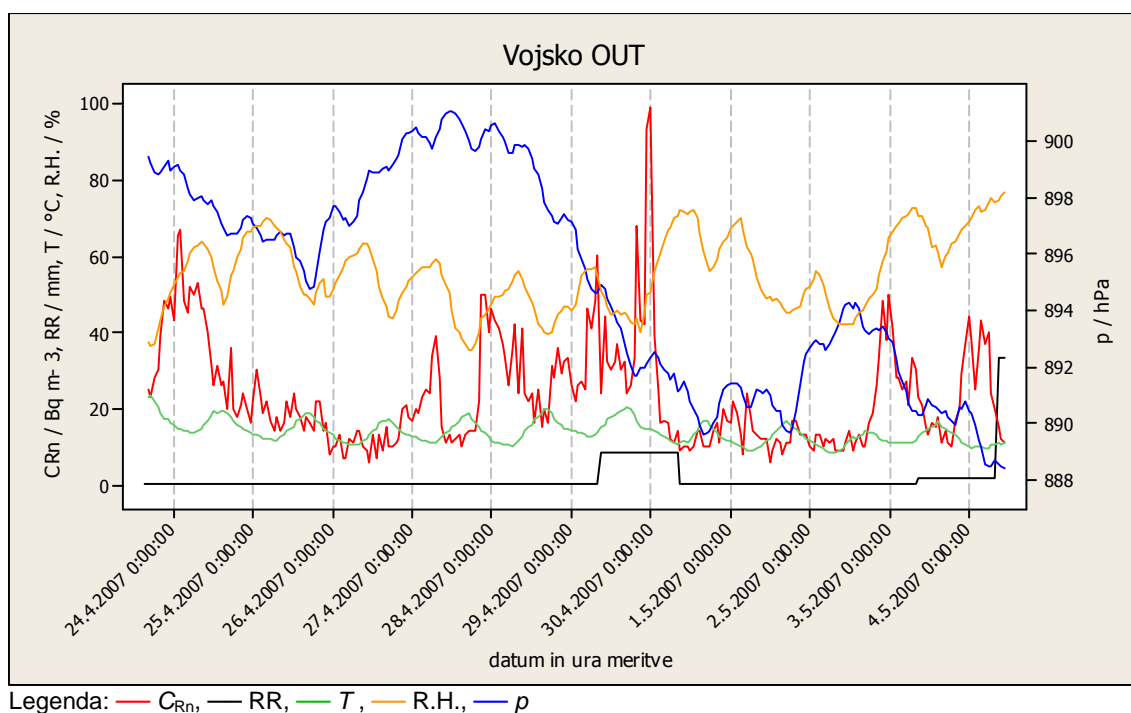
Slika 4.4: Časovni potek padavin, koncentracije radona v hiši ter temperature zunaj in v hiši na merilnem mestu v Ljubljani

V večernih urah 19. aprila je koncentracija radona v hiši dosegla minimum, temu pa je sledila povišana koncentracija radona naslednjega dne zjutraj. Istega dne (20. aprila) je zunanja temperatura v popoldanskih urah dosegla maksimalno vrednost (37 °C). Visoka temperatura je posledica jasnega sončnega dne, ki je sledil jasni noči s stabilno atmosfero. Stabilna atmosfera pa je najverjetneje tudi vzrok za povišane koncentracije radona v hiši v jutranjih urah dne 20. aprila (slika 4.4).

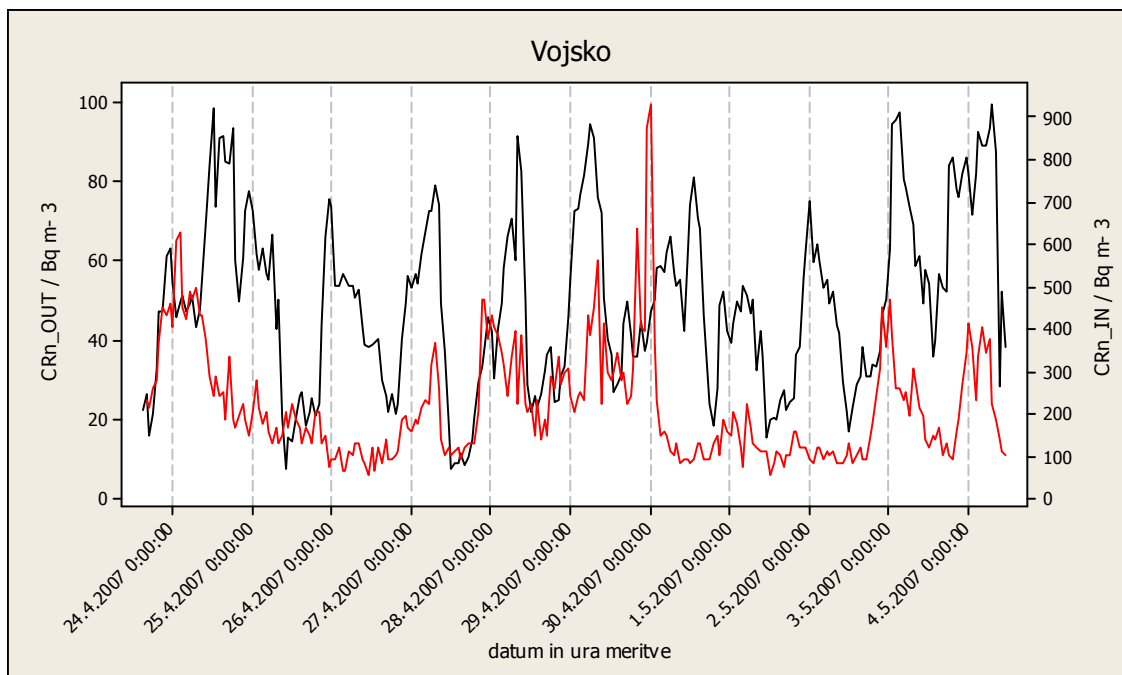
4.1.2 Vojsko

Merilno mesto v hiši je bilo v omarici na stopnišču, približno 130 cm od tal. Zunanji merilnik je bil postavljen tik ob hiši, približno 25 cm od tal. Podlaga je bila naravna. Ker hiša stoji na pobočju, je za hišo tam kjer je stal merilnik, nekakšna kotanja. To je zahodni del hiše, ki je soncu najbolj izpostavljen popoldan.

Padavine v Vojskem so se pojavile petkrat. Prvi pojav padavin 25. aprila (0,2 mm) in sočasno znižanje zračnega tlaka je vplivalo na zmanjšanje koncentracije radona v zunanjem zraku (slika 4.5). Zračni tlak se je gibal v razponu od 888 do 901 hPa. Koncentracija radona je ostala znižana za naslednja dva dneva. S stabilizacijo atmosfere, torej s povišanjem zračnega tlaka, je tudi koncentracija radona zavzela svoj približni dnevno-nočni cikel, torej višja koncentracija radona zjutraj in nižja v najtoplejšem delu dneva. Temperatura je tipično nihala, skozi celotno obdobje merjenja. Zračni tlak se je ponovno začel zniževati 28. aprila in se je zniževal vse do 30. aprila. V tem obdobju se opazijo poviševanja koncentracije radona, ki ima še vedno dnevno-nočni cikel, vendar ne tako izrazitega (slika 4.5).

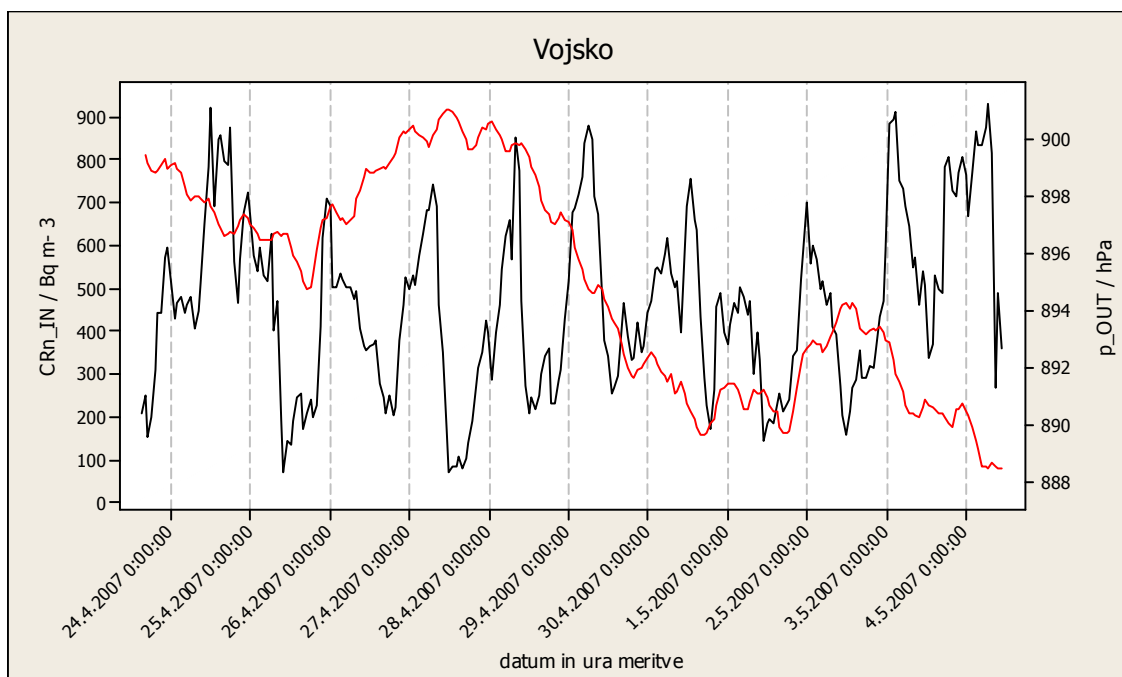


Slika 4.5: Časovni potek merjenih parametrov na merilnem mestu v Vojskem zunaj



Legenda: — C_{Rn_OUT} , — C_{Rn_IN}

Slika 4.6: Časovni potek koncentracije radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Vojskem



Legenda: — C_{Rn_IN} , — p_OUT

Slika 4.7: Časovni potek zračnega tlaka zunaj in koncentracije radona v hiši na merilnem mestu v Vojskem

Dnevni cikli radona v hiši so jasno izraženi, vendar koncentracija radona v hiši slabo sledi koncentraciji radona zunaj (slika 4.6). Koncentracija radona zunaj je dosegla največjo vrednost (99 Bq m^{-3}) v noči na 30. april, vendar se je v nekaj urah izrazito

znižala (slika 4.5). V tem času je padlo tudi 8,7 mm padavin. Domnevamo, da so ravno padavine vplivale na znižanje koncentracije radona v zunanem zraku. Ob padavinah se pojavi tako imenovan pokrivni sloj, saj voda prekrije površino in prodre v razpoke in pore, tako da je izhajanje radona iz tal onemogočeno, ali pa vsaj zmanjšano. Mokra zemljina in nestabilna atmosfera sta vplivala na ohranjanje nizke koncentracije radona v naslednjih treh dneh. Pozneje se je zračni tlak malo zvišal in potek koncentracije radona je zavzel pričakovani dnevno-nočni cikel. Manjše padavine 3. in 4. maja (0,3 in 1,6 mm) niso znatno vplivale na koncentracijo radon. Relativna zračna vlažnost sledi padavinam in ohranjala svojo obratno sorazmernost s temperaturo zraka.

V tabeli 4.2 so prikazane korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši. Korelacije med posameznimi faktorji na tem merilnem mestu so slabe. Najbolj izstopa korelacija med relativno zračno vlago zunaj in koncentracijo radona v hiši, ki je pozitivna ($r = 0,589$, $p < 0,001$), sledi pa negativna korelacija ($r = -0,405$, $p < 0,001$) med zunanjo temperaturo in koncentracijo radona v hiši. Obe korelaciji sta značilni na stopnji 0,01. Razumljivo je, da ko se zvišuje temperatura, se znižuje relativna zračna vlažnost, istočasno pa se povečuje tudi vertikalno premikanje zračnih mas, kar ima tudi za posledico zniževanje koncentracije radona v pritalnem zraku zunaj. V tem primeru je, po našem mnenju prišlo do korelacije med koncentracijo radona v hiši in zunanjo temperaturo zato, ker so lastniki ob višjih zunanjih temperaturah bolj prezračevali. Enako stopnjo značilnosti (0,01) ima tudi korelacija med koncentracijo radona zunaj in v hiši, ki je sicer pozitivna vendar slaba ($r = 0,273$, $p < 0,001$), in korelacija med koncentracijo radona v hiši in zračnim tlakom ($r = -0,170$, $p < 0,001$). Kot kaže korelacijski faktor med zunanjim zračnim tlakom in koncentracijo radona v hiši, ni direktne povezave med tema dvema parametroma (slika 4.7). Tudi korelacija med koncentracijo radona zunaj in zunanjim zračnim tlakom je slaba ($r = 0,202$, $p < 0,001$), s stopnjo značilnosti 0,01. Korelacija med koncentracijo radona v hiši in temperaturo v hiši ne obstaja. Zelo slaba korelacija je tudi med koncentracijo radona zunaj in zunanjo temperaturo.

Tabela 4.2: Korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Vojskem

VOJSKO		C_{Rn} v hiši	C_{Rn} zunaj
C_{Rn} zunaj	r	0,273**	
	p	0,000	
	N	260	
T v hiši	r	0,035	
	p	0,573	
	N	261	
T zunaj	r	-0,405**	0,134*
	p	0,000	0,031
	N	260	260
p zunaj	r	-0,170**	0,202**
	p	0,006	0,001
	N	260	260
R.H. zunaj	r	0,589**	0,028
	p	0,000	0,659
	N	260	260

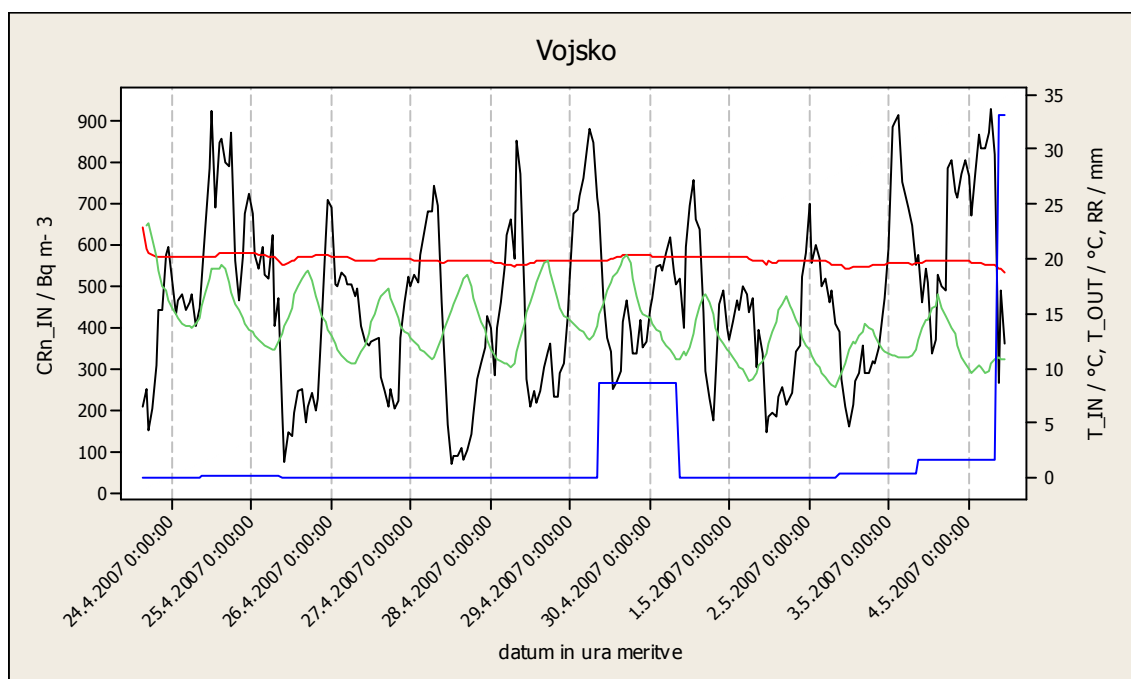
Opomba: * Korelacija je značilna na stopnji 0,05 obojestransko

** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko

Padavine 30. aprila niso povzročile močnega pokrivnega sloja, ki bi bil viden kot povišana koncentracija radona v hiši, opazi pa se nižje koncentracije radona v naslednjih treh dneh. To bi bila lahko posledica namočenih tal, saj se emanacijski faktor in tudi ekshalacija radona spremeni ob povečani vlažnosti zemljine. Če so tla nasičena z vodo, se zmanjša emanacija in tudi difuzija, kar ima za posledico manjšo ekshalacijo radona na površje.

Temperatura v hiši je bila dokaj konstantna, sicer pa sledi dnevnemu ciklu zunanje temperature. Padavine in znižanje zračnega tlaka 30. aprila se odražajo kot znižanje koncentracije radona v hiši (slika 4.8).

Lahko bi rekli, da je zaradi dežja 30. aprila prišlo do zmanjšane emanacije radona in njegovega izhajanja iz zemljine. Tako zunaj kot v hiši je prišlo do znižanja koncentracije radona. Ker je bil potek koncentracije radona v hiši ciklični, bi pričakovali podobno sliko tudi zunaj. Do tega najverjetneje ni prišlo zaradi padavin.



Legenda: — CRn_IN, — T_IN, — T_OUT, — RR

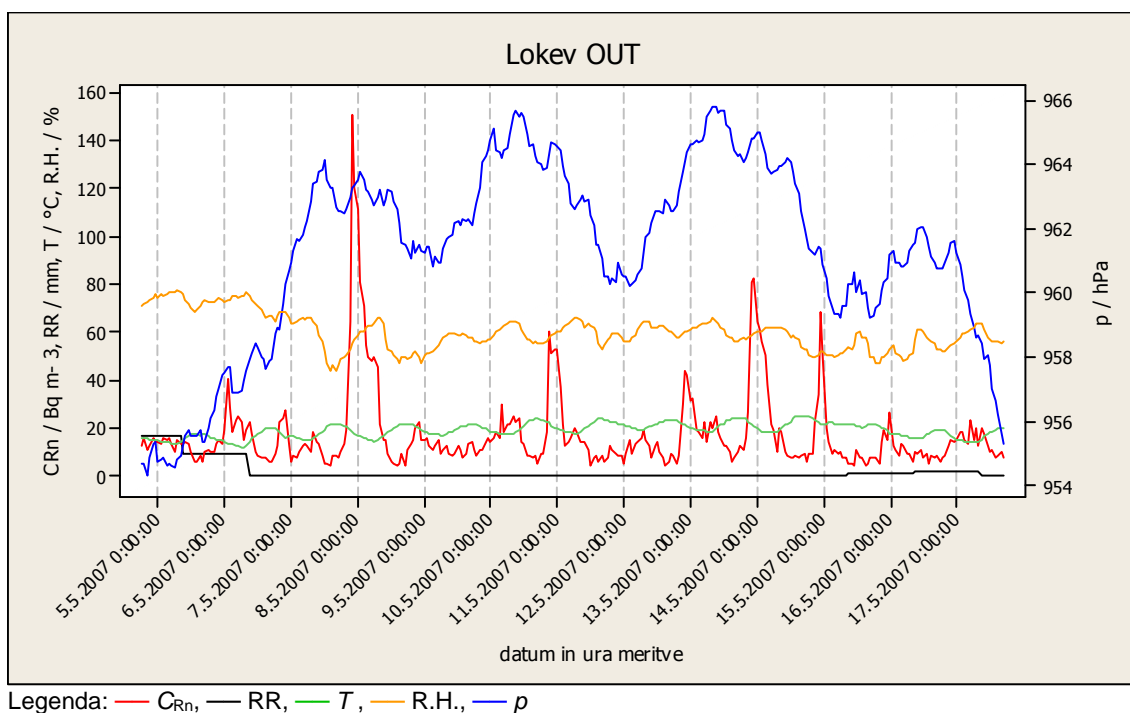
Slika 4.8: Časovni potek padavin, koncentracije radona v hiši ter temperature zunaj in v hiši na merilnem mestu v Vojskem

4.1.3 Lokev

Merilno mesto v hiši je bilo v delovni sobi v pritličju nepodkletene hiše, približno 40 cm od tal. Zunanji merilnik je stal v pokriti lopi (dimenzij 3 m x 3 m) s tremi zidanimi stenami. Od sprednje strani, ki je odprta, je bil merilnik pomaknjen v notranjost približno za 1 m. Stal je približno 25 cm od tal in ravno toliko oddaljen od stene. Podlaga je bila kamnito-betonska.

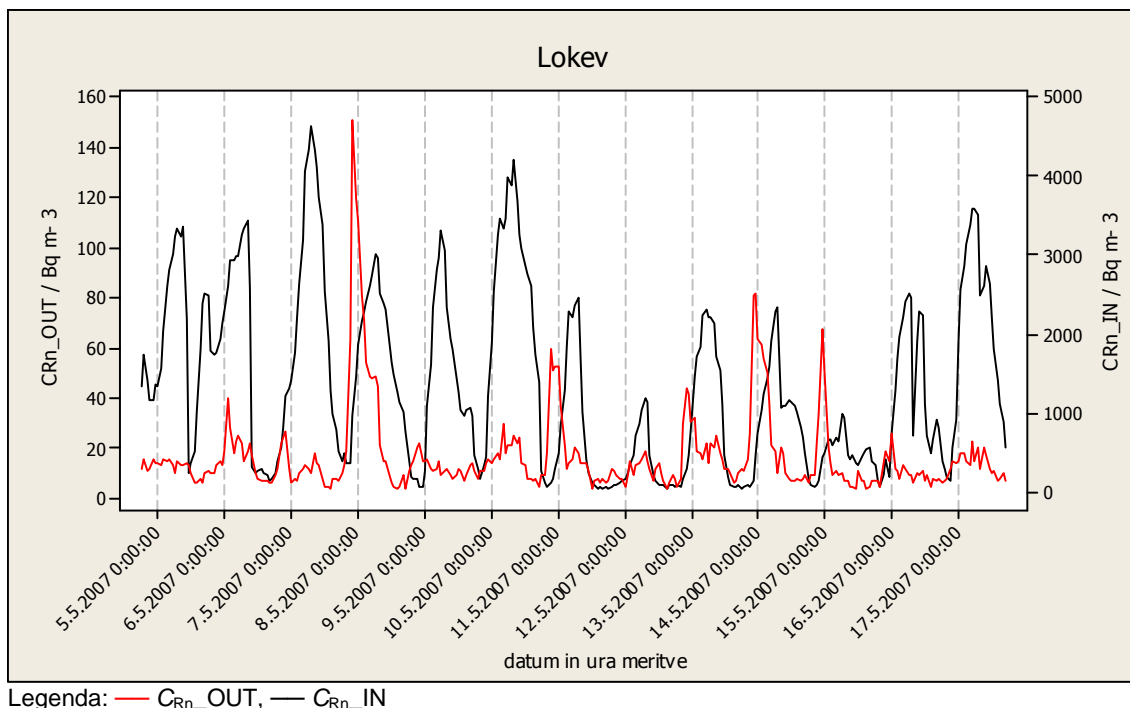
Padavine v Lokvi so bile prva in zadnja dva dneva merjenja. Prvi dan je tako padlo 16,5 mm, drugi dan pa 9 mm padavin. Deževno vreme na začetku je spremljal nizek zračni tlak, ki je v naslednjih dneh narasel in se ponovno začel spuščati. Takšni intervali

sprememb zračnega tlaka so se ciklično ponavljali približno vsake tri dni (slika 4.9). Razpon sprememb zračnega tlaka je bil od 978 do 990 hPa. Prvo veliko povišanje koncentracije radona zunaj (147 Bq m⁻³, to je tudi maksimum s te lokacije) je nastalo približno tri dni po najnižjem zračnem tlaku in padavinah. Naslednja povišanja koncentracij radona so tudi sledila znižanju zračnega tlaka, ampak v približno dvodnevni zamiki. Padavine na koncu merilnega obdobja, ki jih je bilo le 1,1 in 1,8 mm, niso bistveno vplivale na zunanjo koncentracijo radona, vplivale pa so na temperaturo (slika 4.9).

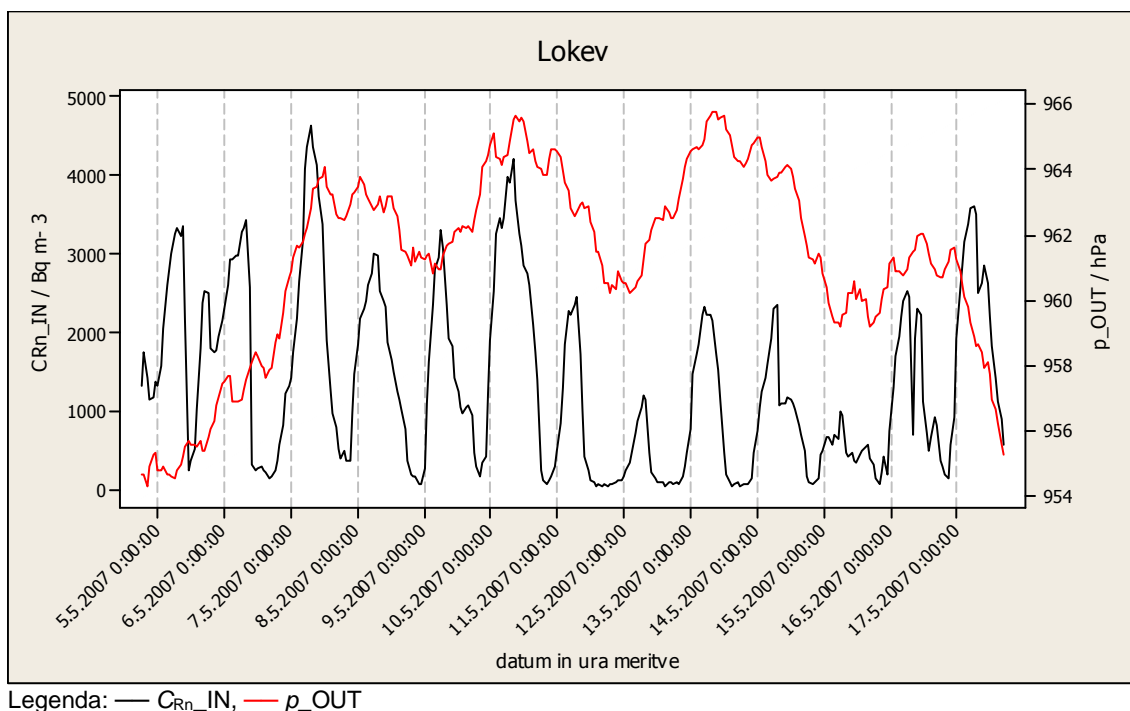


Slika 4.9: Časovni potek merjenih parametrov na merilnem mestu v Lokvi zunaj

V hiši je dnevni cikel koncentracije radona dobro izražen, zunaj pa ne (slika 4.10). Koncentracija radona v hiši je na splošno zelo visoka, vendar se pojavljajo povišanja približno en dan prej kot zunaj (slika 4.10) oziroma prvo večje povišanje je bilo dva dneva po najnižjem zračnem tlaku in večjih padavinah, naslednje povišanje pa je sledilo znižanju zračnega tlaka že naslednjo noč (slika 4.11). Na začetku meritve je deževalo in tudi zunanja temperatura je bila nizka. Nižja temperatura se je nadaljevala še nekaj dni, kar se tudi jasno vidi na koncentraciji radona v hiši, ki je zelo povezana s prezračevanjem. Ko se je zunanja temperatura začela dvigovati, kar se bolje opazi 10. maja, se je tudi koncentracija radona v hiši zmanjšala (slika 4.12).



Slika 4.10: Časovni potek koncentracije radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Lokvi



Slika 4.11: Časovni potek zračnega tlaka zunaj in koncentracije radona v hiši na merilnem mestu v Lokvi

V tabeli 4.3 so prikazane korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši. Vse korelacije, razen med koncentracijo radona v hiši in zračnim tlakom, so značilne na stopnji 0,01. Poleg močne korelacije med

koncentracijo radona v hiši in zunanjo temperaturo ($r = -0,732$, $p < 0,001$), tudi korelacija med temperaturo v hiši in koncentracijo radona v hiši ($p = -0,514$, $r = 0,001$) kaže na to, da gre pri tej soodvisnosti dejansko za vpliv prezračevanja na zniževanje koncentracije radona v hiši (slika 4.12). Topleje kot je bilo zunaj, več se je prezračevalo in zato se je koncentracija radona zniževala. Korelacija med koncentracijo radona zunaj in zračnim tlakom je slaba ($r = 0,227$, $p < 0,001$), ravno tako med koncentracijo radona zunaj in zunanjo temperaturo ($r = -0,389$, $p < 0,001$). Korelacija med koncentracijo radona zunaj in v hiši je slaba ($r = 0,318$, $p < 0,001$). Če obstaja korelacija med temperaturo in koncentracijo radona (na tej lokaciji obstaja), obstaja tudi korelacija med relativno zračno vlažnostjo zunaj in koncentracijo radona. Do te soodvisnosti pride zato, ker sta koncentracija radona in relativna zračna vlažnost temperaturno odvisni.

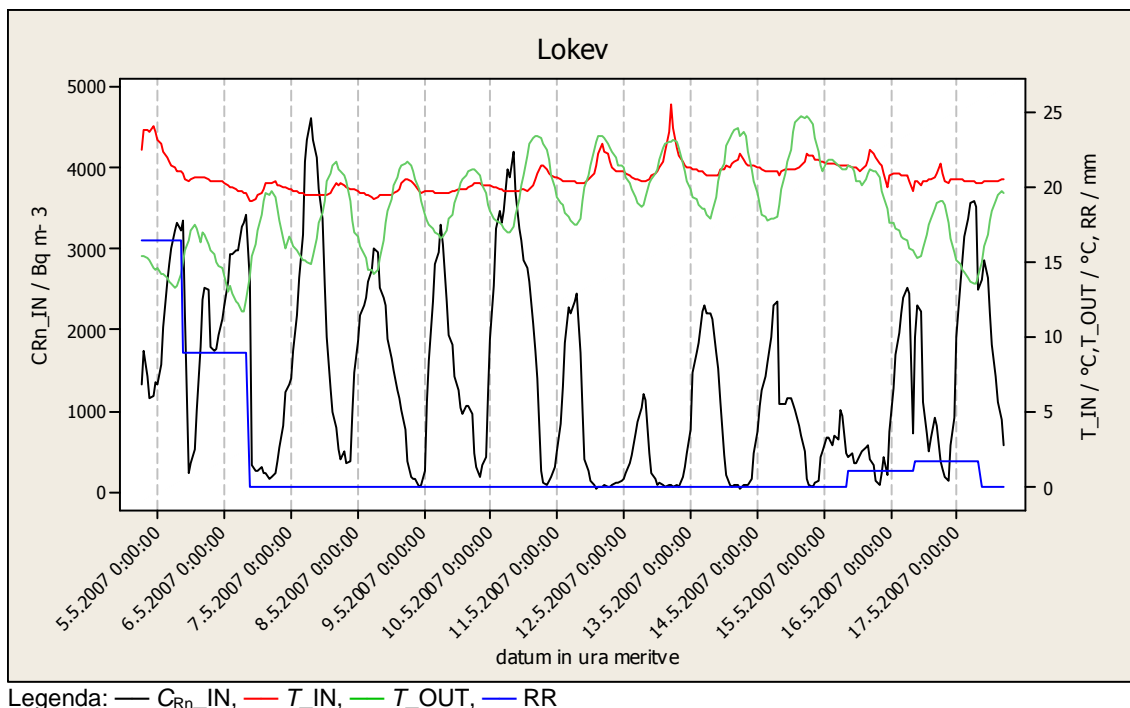
Tabela 4.3: Korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Lokvi

LOKEV		C_{Rn} v hiši	C_{Rn} zunaj
C_{Rn} zunaj	r	0,318**	
	p	0,000	
	N	312	
T v hiši	r	-0,514**	
	p	0,000	
	N	312	
T zunaj	r	-0,732**	-0,389**
	p	0,000	0,000
	N	312	312
p zunaj	r	-0,015	0,227**
	p	0,798	0,000
	N	312	312
R.H. zunaj	r	0,405**	0,314**
	p	0,000	0,000
	N	312	312

Opomba: ** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojstransko

Proti koncu meritve 15. in 16. maja se je vreme ponovno spremenilo in je padlo celo nekaj dežja (1,1 in 1,8 mm). Temperatura zunaj se je ponovno znižala, kar ima za posledico manj prezračevanja, ki privede do višjih koncentracij radona v hiši. Ko je zunanja temperatura visoka, je v hiši nižja koncentracija radona. To velja tako za dnevni cikel, kot tudi za obdobje toplejših dni med 10. in 14. majem (slika 4.12).

Na tej lokaciji gre sicer za zelo visoke koncentracije radona v hiši, vendar so jasno izraženi dnevni cikli. Višja zunanja temperatura prispeva k zniževanju koncentracije radona v hiši. V zunanjem zraku se pojavljajo zelo visoke koncentracije radona (slika 4.12), ki so najverjetneje povezane s stabilnostjo atmosfere v določenem obdobju meritve in v manjši meri tudi od mikrolokacije merilnega mesta (lopa).



Slika 4.12: Časovni potek padavin, koncentracije radona v hiši ter temperature zunaj in v hiši na merilnem mestu v Lokvi

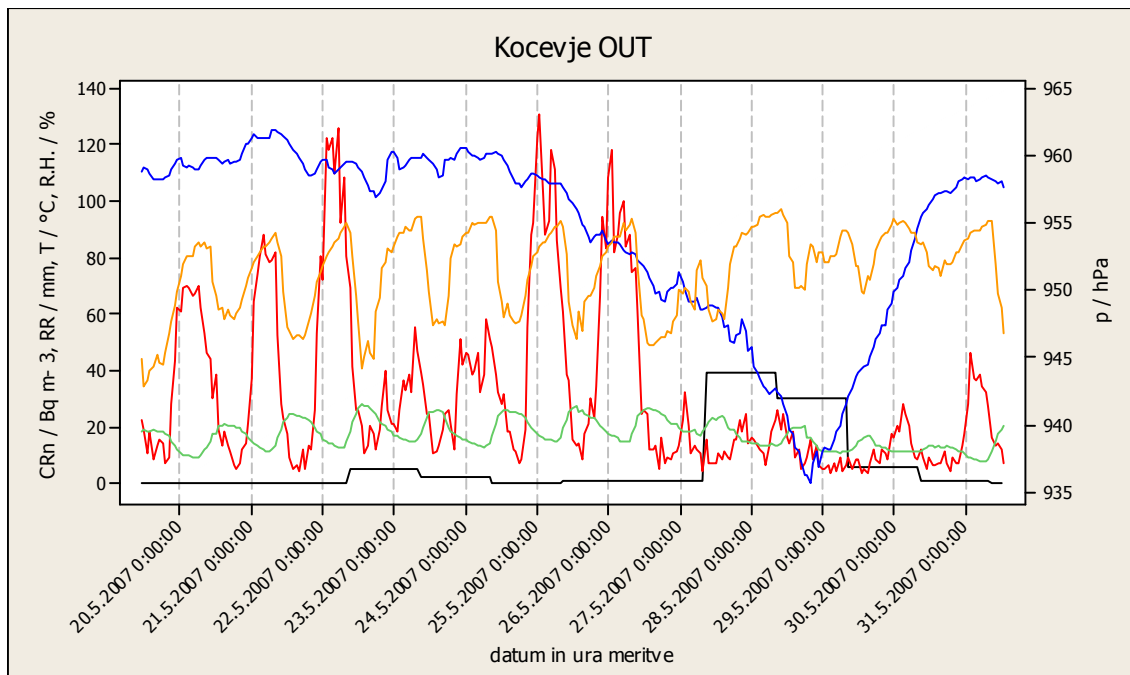
4.1.4 Kočevje

Merilnik je stal na tleh v dnevni sobi nepodkletene pritlične hiše. Zunanji merilnik pa je bil postavljen ob steni na južni strani hiše v zatišju hišnega vogala, približno 30 cm od tal. Podlaga je bila kamnito-betonska.

V času meritve v Kočevju je bilo 7 deževnih dni. Na sliki 4.13 padavine z dne 26. maja niso vidne, ker jih je bilo le 0,3 mm. Naslednjega dne (27. maja) pa jih je bilo 0,8 mm. Najbolj obilne so bile 28. maja in sicer 38,9 mm naslednji dan pa nekoliko manj (30,1 mm). Zniževanje tlaka, ki se je začelo 21. maja, je povzročilo rahlo spremembo vremena in tako je 23. aprila padlo 4,6 mm, naslednji dan (24. aprila) pa 2 mm. Tlak je ostal naslednja dva dneva bolj ali manj stabilen, potem se je začel zniževati in dosegel minimum 28. maja. Razpon nihanja zračnega tlaka je bil od 935 do 961 hPa. To je bil tudi razlog za velike količine dežja 23. in 24. maja. Po tem času pa se je zračni tlak ponovno začel zviševati (slika 4.13). Zunanja temperatura ima tipični dnevni cikel. Po močnem deževju se opazi večjo ohladitev (slika 4.13).

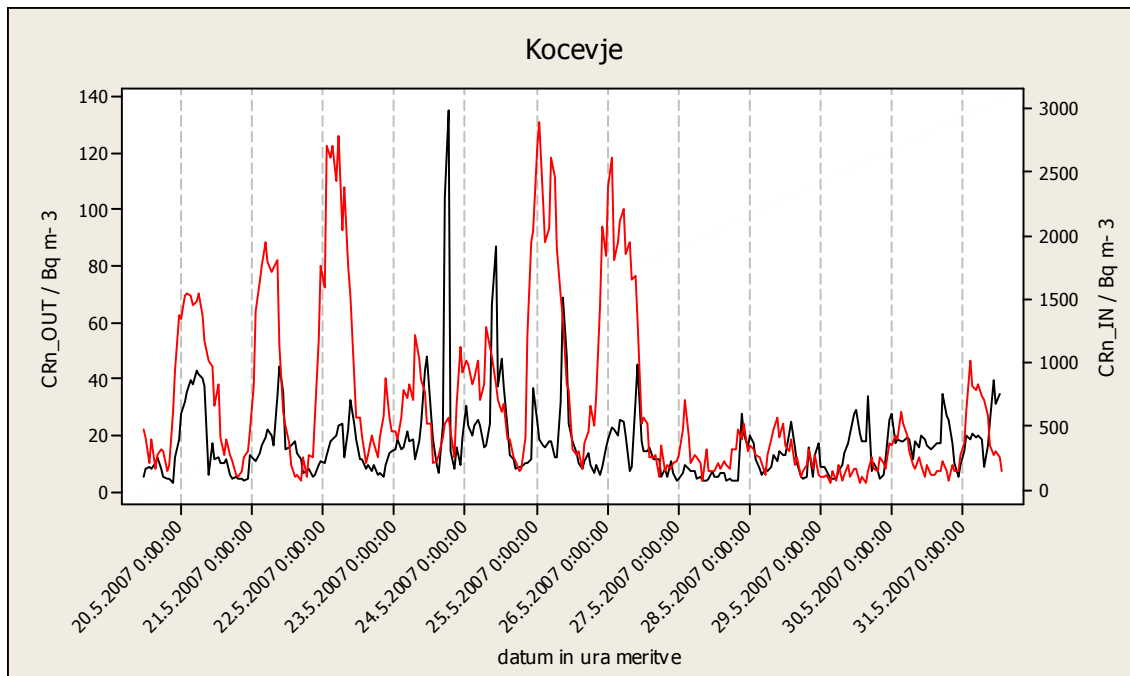
Koncentracija radona v hiši slabo sledi koncentraciji radona zunaj (slika 4.14). Dnevni cikli so v zunanjem zraku dobro vidni, predvsem v času bolj stabilnega vremena. Zniževanje tlaka in padavine 28. in 29. maja, so močno vplivale na radonov dnevni cikel, poleg tega je prišlo do znižanja koncentracija radona tako zunaj kot v hiši (slika 4.15). Najvišja koncentracija radona v hiši je bila točno na dan 23. maja, ko je padlo tudi nekaj dežja (slika 4.16). Težko verjetno je, da je bil vpliv pokrivnega sloja tako izrazit, možno pa je, da so lastniki manj prezračevali. Dež, ki je padel 23. in 24. maja, je vplival na znižanje koncentracije radona v zunanjem zraku, vendar se je koncentracija ponovno začela zviševati in je dosegla maksimum (131 Bq m^{-3}) v noči na 25. maj. Koncentracija radona zunaj je bila naslednjo noč tudi visoka, potem pa se je zaradi

dežja začela zniževati in dosegla zelo nizko vrednost približno v obdobju najnižjega tlaka (slika 4.13).



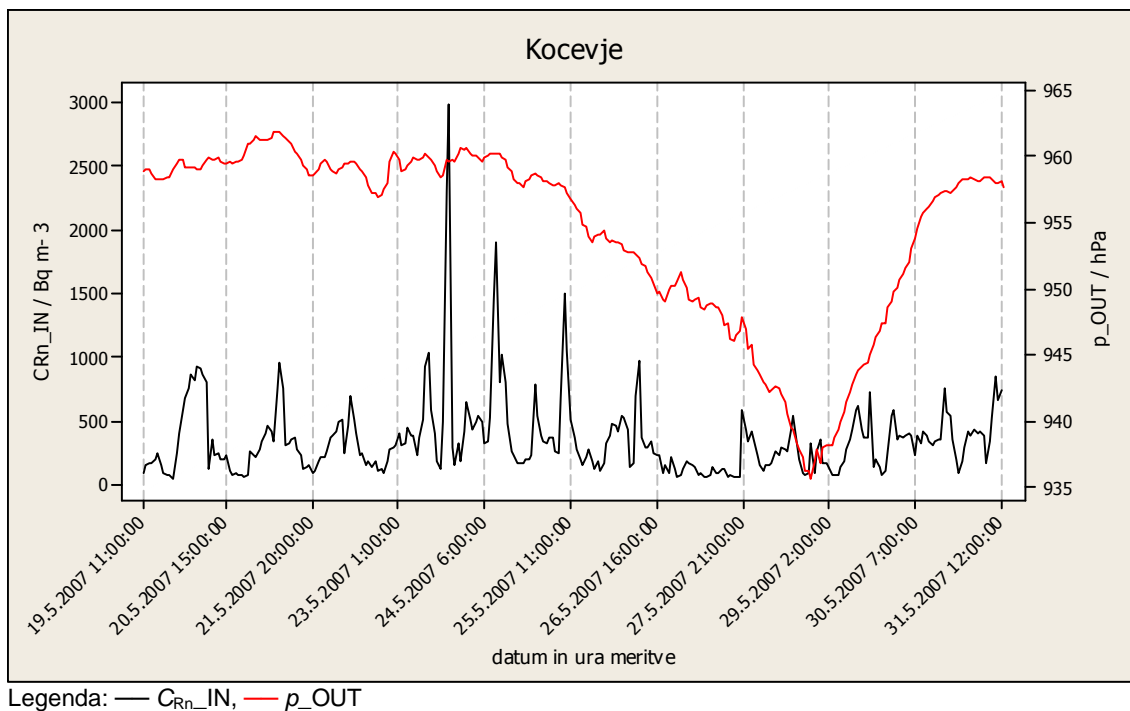
Legenda: C_{Rn} , RR, T, R.H., p

Slika 4.13: Časovni potek merjenih parametrov na merilnem mestu v Kočevju zunaj

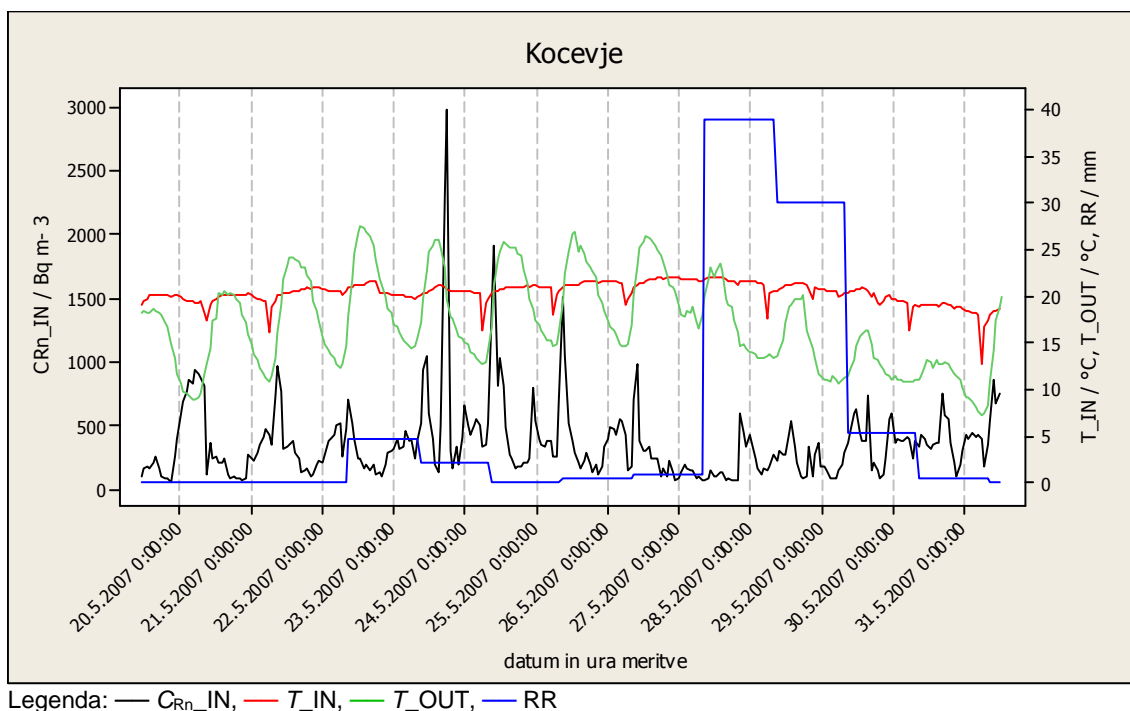


Legenda: C_{Rn_OUT} , C_{Rn_IN}

Slika 4.14: Časovni potek koncentracije radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Kočevju



Slika 4.15: Časovni potek zračnega tlaka zunaj in koncentracije radona v hiši na merilnem mestu v Kočevju



Slika 4.16: Časovni potek padavin, koncentracije radona v hiši ter temperature zunaj in v hiši na merilnem mestu v Kočevju

V tabeli 4.4 so prikazane korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši. Vse korelacije so značilne na stopnji 0,01, razen korelacija med koncentracijo radona zunaj in zunanjo temperaturo ($r = -0,143$, p

= 0,015), ki je značilna na stopnji 0,05. Na splošno so korelacije na tem merilnem mestu slabe. Najbolj izstopa korelacija med koncentracijo radona zunaj in v hiši ($r = 0,456$, $p < 0,001$). Podobna korelacija ($r = 0,485$, $p < 0,001$) je tudi med zračnim tlakom in zunanjo koncentracijo radona. Med zunanjo temperaturo in koncentracijo radona v hiši je slaba korelacija ($r = -0,259$, $p < 0,001$), podobna je tudi med koncentracijo radona v hiši in temperaturo v hiši ($r = -0,278$, $p < 0,001$).

Tabela 4.4: Korelacije med koncentracijo radona in parametri, ki vplivajo na koncentracijo radona zunaj in v hiši na merilnem mestu v Kočevju

KOČEVJE		C_{Rn} v hiši	C_{Rn} zunaj
C_{Rn} zunaj	r	0,456**	
	p	0,000	
	N	290	
T v hiši	r	-0,278**	
	p	0,000	
	N	290	
T zunaj	r	-0,259**	-0,143*
	p	0,000	0,015
	N	290	291
p zunaj	r	0,319**	0,485**
	p	0,000	0,000
	N	290	291
R.H. zunaj	r	0,374**	0,407**
	p	0,000	0,000
	N	290	291

Opomba: * Korelacija je značilna na stopnji 0,05 obojestransko

** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko

Zunanja temperatura ima značilen cikel in je bila nekaj dni pred dežjem tudi dokaj visoka, po dežju pa se je ohladilo. Te ohlavitve nimajo neposrednega vpliva na koncentracijo radona v hiši, torej je prezračevanje ostalo podobno. Ker se zrak v hiši ohladi nekoliko pozneje kot zunanji, se lahko na sliki 4.16 vidi temperaturni minimum za notranji zrak malo zamaknjen. To je lahko posledica jutranjega prezračevanja. Takoj za tem opazimo povišano koncentracijo radona v hiši, kar daje občutek da zunanja koncentracija radona pripomore k višji koncentraciji radona v hiši. To je sicer možno, vendar ne v takšni meri, saj je koncentracija radona zunaj nekaj 10 medtem ko je v hiši nekaj 100 ali tudi 1000 Bq m⁻³. Zanimivo je, da je ravno v obdobju višjih zunanjih temperatur (22. – 26. maja) tudi povišana koncentracija radona v hiši in tudi zunaj. Verjetno je bila atmosfera, kljub nekaj dežja, dokaj stabilna, kar je pripomoglo k nočni akumulaciji radona v nižjih plasteh zraka. Pomislimo lahko, da koncentracija radona v zunanjem zraku povzroča zvišanje koncentracije radona v hiši v jutranjih urah, ko se začne prezračevanje (slika 4.16).

Iz dnevne sobe, kjer je stal merilnik, je vhod na zimski vrt. Morda je bil zimski vrt ponoči zaprt ali pa delno odprt. V njem se je vso noč akumuliral radon. Zjutraj so pač odprli vrata na zimski vrt, vrat iz zimskega vrta na vrt pa ne, tako da je poleg hladnejšega zraka iz zimskega vrta prišel v hišo tudi radon, ki povzroči povišanje koncentracije v hiši (slika 4.16). Pri tem zimskem vrtu je zanimivo to, da ni vplival na višje koncentracije v hiši v obdobju močnejših padavin, saj je gotovo prišlo do tvorbe pokrivnega sloja na zemljini. Morda ga v času padavin niso odpirali v hišo, morda pa so bila vrata iz zimskega vrta na vrt zaprta in radon ni prišel v zimski vrt skozenj, niti skozi tla. To je

malo verjetno, saj zunanja koncentracije ni bila tako visoka. Poleg tega najverjetneje tla v zimskem vrtu niso nepropustna (keramične ploščice). Ostane samo možnost, da v času padavin in hladnejših temperatur niso odpirali vrat med vrtom in hišo.

Iz slik je razvidno, da se koncentracija radona v zunanjem zraku ob padavinah zniža, ne glede na količino padavin. Poleg tega se jasno vidi, da je v času višjih temperatur tudi koncentracija radona v hiši v jutranjih urah višja kot ostale dneve. Obilne padavine na koncu merilnega obdobja iz že opisanih razlogov vplivajo na zmanjšanje koncentracije radona tako zunaj kot v hiši. Lahko rečemo, da je na tej lokaciji pojav pokrivnega sloja vplival predvsem na koncentracijo radona zunaj, posredno pa tudi na koncentracijo radona v hiši.

4.2 Primerjava koncentracij radona med lokacijami

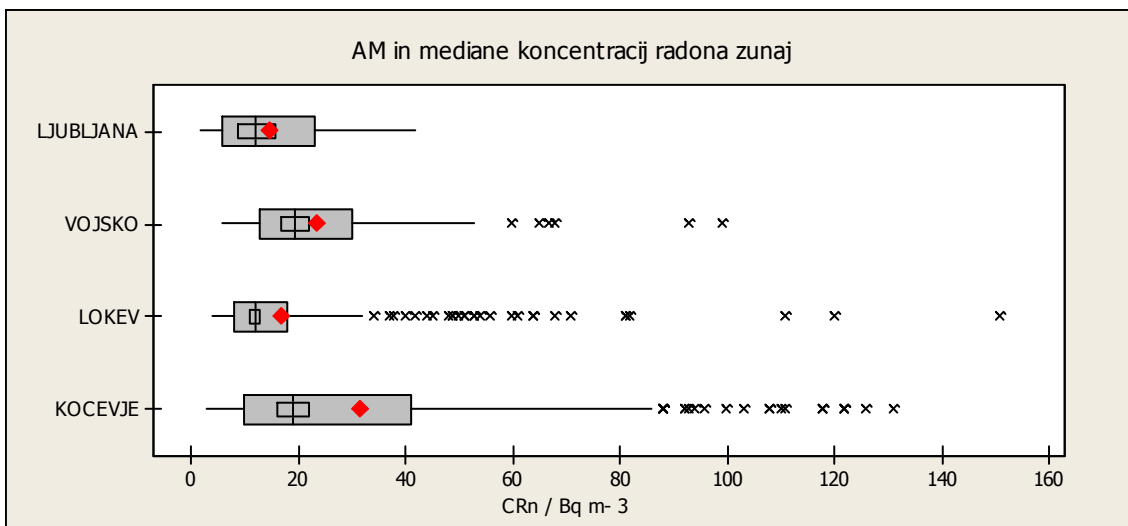
Kot je opisano v poglavju o meritvah, smo v naši raziskavi uporabili aktivno kontinuirano merilno tehniko. Na vsaki lokaciji smo merili od 10 do 14 dni. Meritve so potekale v aprilu in maju 2007. Pridobljeni podatki so poleg koncentracije radona vsebovali tudi podatke o poteku temperature, zračnega tlaka in relativne zračne vlažnosti. V poglavju 4.1 smo analizirali in prikazali vse izmerjene parametre. V tabeli 4.5, pa so povzeti rezultati koncentracij radona po posameznih lokacijah.

Tabela 4.5: Prikaz statistike za koncentracijo radona po lokacijah

		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>mediana</i>	<i>AM ± ASD</i>	<i>GM x/÷ GSD</i>
Ljubljana	v hiši	34	208	96,5	109 ± 45	100 x/÷ 1,5
	zunaj	2	42	12	15 ± 10	11 x/÷ 2,2
Vojsko	v hiši	70	928	462	463 ± 205	412 x/÷ 1,7
	zunaj	6	99	19,5	23 ± 14	20 x/÷ 1,7
Lokev	v hiši	47	4640	1100	1382 ± 1145	809 x/÷ 3,4
	zunaj	4	151	12	17 ± 17	13 x/÷ 1,9
Kočevje	v hiši	54	2976	290	356 ± 317	207 x/÷ 2,1
	zunaj	3	131	19	32 ± 30	21 x/÷ 2,5

Opomba: AM = aritmetična srednja vrednost, ASD = standardna deviacija, GM = geometrična srednja vrednost, GSD = geometrična standardna deviacija

Najvišja koncentracija radona v zunanjem zraku je bila v Lokvi, 151 Bq m⁻³, z AM 17 ± 17 Bq m⁻³ in GM 13 x/÷ 1,9 Bq m⁻³. Najnižja koncentracija radona je bila v Ljubljani, 2 Bq m⁻³ z AM 15 ± 10 Bq m⁻³ in GM 11 x/÷ 2,2 Bq m⁻³. Mediane in AM, za zunanji zrak za vse lokacije, so grafično prikazane na sliki 4.17.

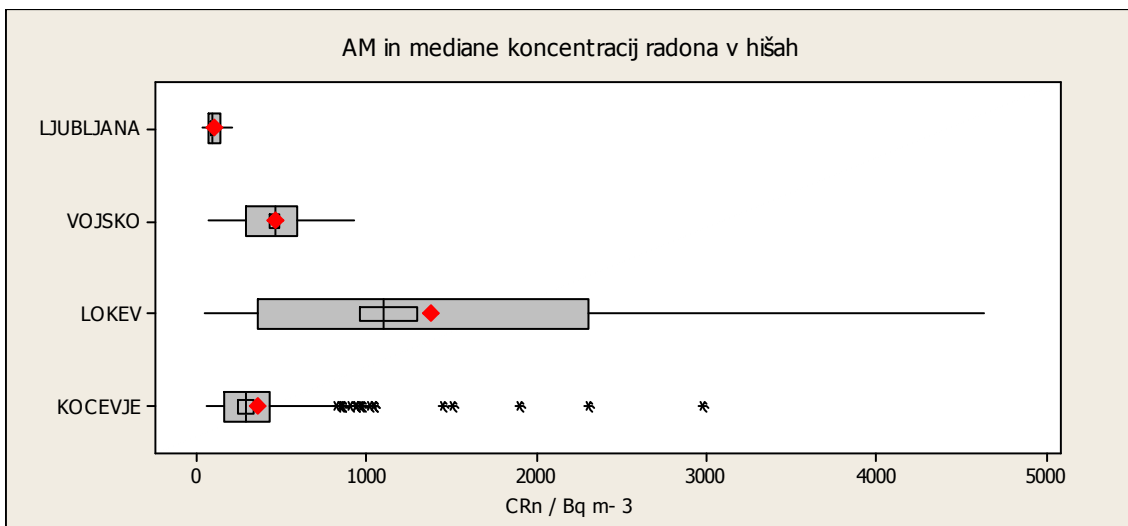


Opomba: Rdeči znaki predstavljajo AM. Manjši kvadrat, ki je položen preko mediane, predstavlja 95% interval zaupanja za mediano.

Slika 4.17: AM in mediane koncentracij radona zunaj

V zunanjem zraku najbolj izstopa koncentracija radona v Kočevju z AM $32 \pm 30 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $21 \times / \div 2,5 \text{ Bq m}^{-3}$), sledi Vojsko s $23 \pm 14 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $20 \times / \div 1,7 \text{ Bq m}^{-3}$), Lokev s $17 \pm 17 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $13 \times / \div 1,9 \text{ Bq m}^{-3}$) in Ljubljana s $15 \pm 10 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $11 \times / \div 2,2 \text{ Bq m}^{-3}$).

Najvišja koncentracija radona v hiši je bila 4640 Bq m^{-3} , in sicer v Lokvi, z AM $1382 \pm 1145 \text{ Bq m}^{-3}$ in GM $809 \times / \div 3,4 \text{ Bq m}^{-3}$. Najnižja koncentracija radona v hiši je bila 34 Bq m^{-3} v Ljubljani, z AM $109 \pm 45 \text{ Bq m}^{-3}$ in GM $100 \times / \div 1,5 \text{ Bq m}^{-3}$. Mediane in AM, za zunanji zrak za vse lokacije, so grafično prikazane na sliki 4.18.



Opomba: Rdeči znaki predstavljajo AM. Manjši kvadrat, ki je položen preko mediane, predstavlja 95% interval zaupanja za mediano.

Slika 4.18: AM in mediane koncentracij radona v hišah

V hiši najbolj izstopa koncentracija radona v Lokvi z AM $1382 \pm 1145 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $809 \times/\div 3,4 \text{ Bq m}^{-3}$), sledi Vojsko z AM $463 \pm 205 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $412 \times/\div 1,7 \text{ Bq m}^{-3}$), Kočevje z AM $356 \pm 317 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $207 \times/\div 2,1 \text{ Bq m}^{-3}$) in Ljubljana z AM $109 \pm 45 \text{ Bq m}^{-3}$ (GM $100 \times/\div 1,5 \text{ Bq m}^{-3}$).

Tako zunaj kot v hiši je bila maksimalna koncentracija radona izmerjena v Lokvi, vendar je kljub temu AM koncentracije radona zunaj podobna vrednosti v Ljubljani. Enako velja tudi za GM. V Ljubljani sta bili izmerjeni minimalni koncentraciji radona (zunaj, v hiši).

5 ZAKLJUČKI

Rezultati naših meritev so pokazali nekoliko višje vrednost radona v zunanjem zraku na lokaciji Kočevje, sledi Vojsko, medtem ko sta koncentraciji radona v Ljubljani in Lokvi nekoliko nižji. Koncentracija radona v hiši pa je bila občutno višja v Lokvi, sledita Vojsko in Kočevje, v Ljubljani pa je najnižja.

V Ljubljani so bile najnižje koncentracije radona tako zunaj kot v hiši. Ker je bilo vreme skozi vse merilno obdobje v Ljubljani stabilno, razen manjše spremembe zračnega tlak, je bilo opaziti značilne dnevne cikle koncentracije radona, tako v hiši kot zunaj. V obdobju spremembe zračnega tlaka je sicer zunaj prišlo do zmanjšanja koncentracije radona, vendar teh sprememb ne moremo povezati s spremembami merjenih klimatskih parametrov.

Podlago na Ljubljanskem barju predstavljajo predvsem plasti gline, med katerimi se na različnih globinah pojavljajo lečasti vložki peska, proda in mivke. Glina predstavlja nepropustno plast, skozi katero radon težko prehaja na površino zato so koncentracije v Ljubljani razumljivo nizke.

Na merilnem mestu v Vojskem so bile povišane koncentracije radona. Korelacije med posameznimi parametri so slabe. Lahko bi rekli, da je zaradi dežja prišlo do zmanjšane emanacije in ekshalacije radona. Tako zunaj kot v hiši je prišlo do znižanja koncentracije radona. Ker je bil potek koncentracije radona v hiši ciklični, bi lahko pričakovali podobno sliko tudi zunaj.

Masivni dolomit in masivni apnenec sestavljata večino podlage na Vojskarski planoti. Kot je znano, so ravno triasni in zgornje permski dolomiti vzrok, za povišanje koncentracije radona v bivalnih prostorih (Popit in Vaupotič, 2002). Povišane koncentracije radona na tej lokaciji lahko pripišemo geološki podlagi.

Koncentracija radona v zunanjem zraku v Lokvi je primerljiva vrednosti v Ljubljani, po drugi strani pa je bila ravno v Lokvi izmerjena najvišja koncentracija radona v hiši. Dnevni cikel koncentracije radona je jasno viden. Opazimo močno korelacijo med zunanjo temperaturo in koncentracijo radona v hiši.

Geološka podlaga v Lokvi je kraški apnenec. Ravno na tej podlagi so bile izmerjene najvišje koncentracije radona (Popit in Vaupotič, 2002). Visoka koncentracija radona v hiši in visoka trenutna koncentracija radona zunaj potrjujeta, da je kras območje kjer lahko pričakujemo visoke koncentracije radona.

Na lokaciji Kočevje je iz grafov razvidno, da se koncentracija radona v zunanjem zraku ob padavinah zniža, ne glede na višino padavin. Tako koncentracija radona zunaj kot v hiši odražata dnevni cikel, vendar je zunanji bolj očiten.

Na tem merilnem mestu smo opazili neučinkovit način prezračevanja, saj je prihajalo do poviševanja koncentracije radona v hiši. Vzrok za to je bil zimski vrt, ki je bil vir svežega zraka v jutranjih urah. S hladnim zrakom je v hišo vstopal tudi radon, ki se je v zimskem vrtu akumuliral vso noč. Lahko rečemo, da na tej lokaciji pojav pokrivnega sloja vpliva predvsem na koncentracijo radona zunaj, posredno pa tudi na koncentracijo radona v hiši.

Mineralna nahajališča, ki na Kočevskem niso redka, lahko prispevajo k lokalnemu povišanju koncentracije radona. Tudi lokacija, kjer smo izvajali meritve, je v bližini rudniškega jezera, kjer so nekoč kopali premog, v katerem so odkrili povišano vsebnost urana. To je po našem mnenju vzrok za povišano koncentracijo radona na obravnavani lokaciji.

Iz naših podatkov lahko zaključimo, da sta lokaciji Lokev in Kočevje na območju s povišano koncentracijo radona v tleh. Tudi koncentracija v Vojskem je visoka, vendar trenutna koncentracija zunaj ni presegla 100 Bq m^{-3} , v hiši pa ne 1000 Bq m^{-3} . Vzroke za povišane koncentracije radona bi v Lokvi pripisali kraškemu terenu, v Kočevju pa bližini rudnika. Koncentracije radona v Ljubljani so nizke. To merilno mesto je dejansko šolski primer. Zanimivo bi bilo videti, kaj bi se zgodilo ob padavinah.

Kot pomemben sklep naj še poudarimo, da bi bilo podobne meritve v prihodnje potrebno izvajati skozi daljše časovno obdobje, saj je tako lažje analizirati vplive klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona. V daljšem časovnem obdobju se naniza več sprememb vremena, ki jih lahko med seboj primerjamo. Izkazalo se je tudi, da istočasno merjenje radona (zunaj, v hiši) omogoča boljše proučevanje parametrov, ki vplivajo na transport in na koncentracijo radona zunaj in znotraj. Smotno bi bilo tudi istočasno kontinuirano meriti koncentracijo radona v talnem zraku.

6 VIRI

- Abumurad K. M., Al-Tamimi M. Emanation power of radon and its concentration in soil and rocks. Radiation Measurements 34 (2001) 423 - 426
- ARSO (Agencija republike Slovenije za okolje):
 - ARSO, a:
<http://kremen.arso.gov.si/NVatlas/ewmap.asp>
 - ARSO, b:
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/karte/Karta_povprecne_korigirane_p_adavine_KS.gif
 - ARSO, c:
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/karte/Karta_povprecna_letna_TEMP_KS.gif
 - ARSO, d: (19. avg. 2007)
http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/podneb_30_tabele.html (19. avg. 2007)
- Brilley M., Šraj M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. 1. izdaja. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana: 309 str.
- Buser S. Osnovna geološka karta. 1: 100000. List Tolmin in Videm. L 33 – 63, L 33 – 64. Geološki zavod Ljubljana. 1985.
- Chauhan R.P., Chakarvarti S. K. Radon diffusion through soil and fly ash: effect of compaction (Short communication). Radiation Measurements 35 (2002) 143 - 146
- Choubey V. M., Bist K. S., Saini N. K., Ramola R. C. Relation between soil-gas radon variation and different lithotectonic units, Garhwal Himalaya, India. Applied Radiation and Isotopes 51 (1999) 587 - 592
- Černilogar-Radež M. (ur). 2006. Delo z viri sevanj. 1. izdaja. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost: 96 str.
- EPA slide show. 2006. Doug Kladder. Radon information center.
<http://www.radon.com/index.html> (16. avg. 2007)
- Genitron Instrumensts GmbH. Germany. 1998. User Manual. Portable Radon Monitor "AlphaGUARD". 38 str.
- Grabec I. 2003. Predavanja iz fizike. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 525 str.
- Grad K., Ferjančič L. Osnovna geološka karta. 1:100000. List Kranj. L 33 – 65. Geološki zavod Ljubljana. 1968.

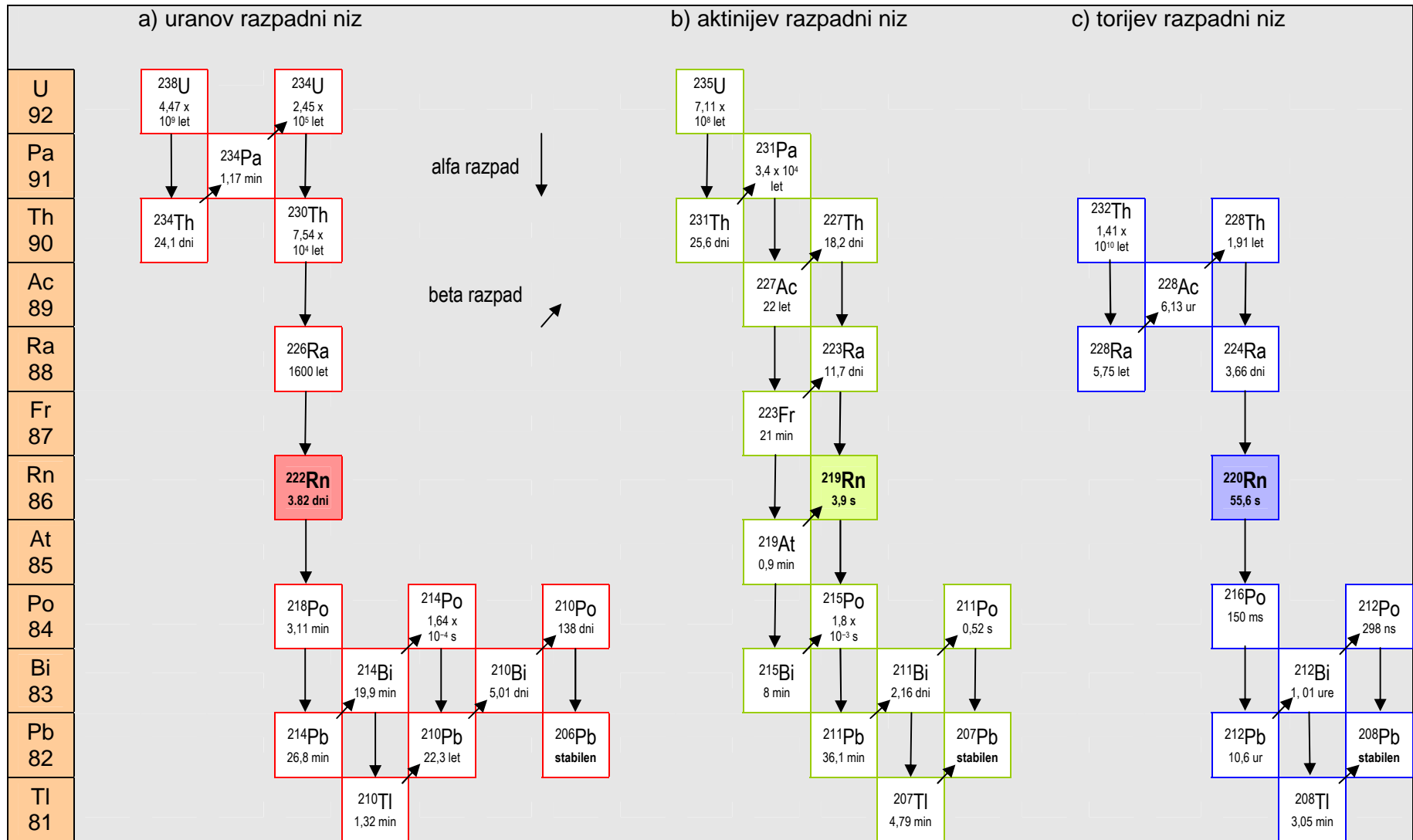
- Gundersen L.C.S., Shumman R.R., Otton J.K., Dubiel R.F., Owen D.E., Dickinson K.A. Geology of radon in the United States. V: Geologic Controls of Radon. Gates A.E., Gundersen L.C.S. (ur). Geological Society of America, Inc. Special paper 271: 1 -16
- Hočevar M. 2005. Porazdelitev radona v tleh na labotskem prelomu pri homcu. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno tehniška fakulteta, oddelek za geologijo. 65 str.
- Jurkovšek B., Toman M., Ogorelec B., Šribar L., Drobne K., Poljak M., Šribar L. 1996. Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote, Kredne in paleogenske karbonatne kamnine. 1:50000. Geodetski zavod Slovenije. Delo tiskarna, Ljubljana
- Kobal I., Vaupotič., Dujmovič P., Kotnik J., Gobec S., Zorko B. 2005. Radon na prostem v Sloveniji. Institut Jožef Stefan, Ljubljana. IJS-DP 9270
- Kemija. Zbirka: Tematski leksikon. 2004. 3. izdaja. Tržič, Učila International: 442 str.
- Majč M. 2006. Opredelitev splošnih pogojev temeljenja zgradb na območju Ljubljane na osnovi analize podatkov vrtin. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno tehniška fakulteta, oddelek za geologijo. 59 str.
- Nazaroff W.W., Moed B.A., Sextro R.G. 1988. Soil as a Source of Indoor Radon: Generation, Migration, and Entry. V: Radon and its decay products in indoor air. Nazaroff W.W., Nero A.V. (ur). John Wiley and Sons: 57 – 112
- Nero A.V. 1988. Radon and Its Decay Products In Indoor Air: An Overview. V: Radon and its decay products in indoor air. Nazaroff W.W., Nero A.V. (ur). John Wiley and Sons: 1 - 53
- Otton J.K., Gundersen L.C.S., Schumann R.R. 1993. The Geology of Radon. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey
<http://energy.cr.usgs.gov/radon/georadon.html> (16. junij 2007)
- Podnebne razmere v Sloveniji (Obdobje 1971 - 2000). Pdf. Agencija republike Slovenije za okolje. Ljubljana, nov. 2006: 27 str. (spremenjeno 19. avg. 2007)
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebjepodnebne_razmere_Slo71_00.pdf
(19. avg. 2007)
- Popit A., Vaupotič J. Indoor radon concentrations in relation to geology in Slovenia. Environmental Geology 42 (2002) 330 - 337
- Sahota H. S., Randhawa K. S., Singh Manmohan, Singh Kulwant. Temperature variation of indoor and outdoor radon progeny. Atmospheric Environment 39 (2005) 2991 - 2994
- Savig D., Dozet S. Osnovna geološka karta. 1 : 100000. List Delnice. L 33 – 90. Geološki zavod Ljubljana, 1983.

- Schumann R. R., Owen D. E., Asher-Bolinder S. 1992. Effects of weather and soil characteristics on temporal variations in soil-gas radon concentrations. V: Geologic Controls of Radon. Gates A.E., Gundersen L.C.S. (ur). Geological Society of America, Inc. Special paper 271: 65 - 72
- Sesana L., Caprioli E., Marcazzan G. M. Long period study of outdoor radon concentration in Milan and correlation between its temporal variations and dispersion properties of atmosphere. Journal of Environmental Radioactivity 65 (2003) 147 - 160
- Singh B., Virk H. S. Effect of soil and sand moisture content on radon diffusion using plastic track etched detector. Radiation Measurements. Vol. 26, No.1. (1995) 49 – 50
- Singh Kulwant, Singh Manmohan, Singh Surinder, Sahota H. S., Papp Z. Variation of radon (^{222}Rn) progeny concentrations in outdoor air as a function of time, temperature and relative humidity. Radiation Measurements 39 (2005) 213 – 217
- Stranden E., Kolstad A. K., Lind B. The influence of moisture and temperature on radon exhalation. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 7, No. 1-4 (1984) p. 55 – 58
- Stritar Albin. 1991. Pedologija (kompendij). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Agronomski oddelek. 126 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2005. Priročnik za vaje iz pedologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo. Center za pedologijo in varstvo okolja.
<http://209.85.135.104/search?q=cache:0CDhdNNHDFgJ:www.drustvo-zoo.si/strani/file.asp%3FID%3D1048+pedologija+slovenije&hl=sl&ct=clnk&cd=10&gl=si&client=firefox-a> (16. avg. 2007)
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. 2000. Vol. 1.
- Vaupotič J., Križman M., Planinić J., Pezdič J., Adamič K., Stegnar P., Kobal I. Systematic indoor radon and gamma measurements in kindergartens and play schools in Slovenia. Health Physics. Vol. 66, No. 5 (1994) 550 – 556
- Vaupotič J. 1995. Koncentracija radona in njegovih razpadnih produktov v bivalnem okolju ter modelni izračuni doz. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, oddelek za kemijo kemijsko tehnologijo. 123 str.
- Žvab P. 2005. Radon na krasu: vzroki za povišane koncentracije radona na izbranem primeru. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovna tehniška fakulteta, oddelek za geologijo. 59 str.

PRILOGE

Priloga A

Uranov, aktinijev in torijev razpadni niz



Uranov, aktinijev in torijev razpadni niz (Vaupotič, 1995)

Priloga B

Tabele korelacijskih faktorjev med vsemi parametri za lokacije:

Ljubljana

Vojsko

Lokev

Kočevje

Neparametrične korelacije: LJUBLJANA

Spearman's rho		C _{Rn_IN}	C _{Rn_OUT}	T_IN	T_OUT	p_IN	p_OUT	R.H._IN	R.H._OUT
C _{Rn_IN}	r	1,000							
	p	.							
	N	260							
C _{Rn_OUT}	r	0,710**	1,000						
	p	0,000	.						
	N	260	261						
T_IN	r	-0,434**	-0,367**	1,000					
	p	0,000	0,000	.					
	N	260	260	260					
T_OUT	r	-0,580**	-0,722**	0,256**	1,000				
	p	0,000	0,000	0,000	.				
	N	260	261	260	261				
p_IN	r	0,337**	0,383**	-0,174**	-0,174**	1,000			
	p	0,000	0,000	0,005	0,005	.			
	N	260	260	260	260	260			
p_OUT	r	0,345**	0,420**	-0,156*	-0,245**	0,988**	1,000		
	p	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	.		
	N	260	261	260	261	260	261		
R.H._IN	r	0,262**	0,306**	-0,325**	0,019	0,655**	0,647**	1,000	
	p	0,000	0,000	0,000	0,760	0,000	0,000	.	
	N	260	260	260	260	260	260	260	
R.H._OUT	r	0,687**	0,851**	-0,299**	-0,894**	0,375**	0,440**	0,258**	1,000
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	.
	N	260	261	260	261	260	261	260	261
** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko									
* Korelacija je značilna na stopnji 0,05 obojestransko									

Neparametrične korelacije: VOJSKO

Spearman's rho		C _{Rn_IN}	C _{Rn_OUT}	T_IN	T_OUT	p_IN	p_OUT	R.H._IN	R.H._OUT
C _{Rn_IN}	r	1,000							
	p	.							
	N	261							
C _{Rn_OUT}	r	0,273**	1,000						
	p	0,000	.						
	N	260	260						
T_IN	r	0,035	0,049	1,000					
	p	0,573	0,429	.					
	N	261	260	261					
T_OUT	r	-0,405**	0,134*	0,438**	1,000				
	p	0,000	0,031	0,000	.				
	N	260	260	260	260				
p_IN	r	-0,178**	0,199**	0,082	0,264**	1,000			
	p	0,004	0,001	0,189	0,000	.			
	N	261	260	261	260	261			
p_OUT	r	-0,170**	0,202**	0,080	0,262**	1,000**	1,000		
	p	0,006	0,001	0,197	0,000	0,000	.		
	N	260	260	260	260	260	260		
R.H._IN	r	0,301**	0,086	0,531**	0,185**	-0,280**	-0,272**	1,000	
	p	0,000	0,169	0,000	0,003	0,000	0,000	.	
	N	261	260	261	260	261	260	261	
R.H._OUT	r	0,589**	0,028	-0,001	-0,523**	-0,429**	-0,427**	0,591**	1,000
	p	0,000	0,659	0,989	0,000	0,000	0,000	0,000	.
	N	260	260	260	260	260	260	260	260
** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko									
* Korelacija je značilna na stopnji 0,05 obojestransko									

Neparametrične korelacije: LOKEV

Spearman's rho		C _{Rn_IN}	C _{Rn_OUT}	T_IN	T_OUT	p_IN	p_OUT	R.H._IN	R.H._OUT
C _{Rn_IN}	r	1,000							
	p	.							
	N	312							
C _{Rn_OUT}	r	0,318**	1,000						
	p	0,000	.						
	N	312	312						
T_IN	r	-0,514**	-0,164**	1,000					
	p	0,000	0,004	.					
	N	312	312	312					
T_OUT	r	-0,732**	-0,389**	0,466**	1,000				
	p	0,000	0,000	0,000	.				
	N	312	312	312	312				
p_IN	r	-0,004	0,232**	-0,128*	0,375**	1,000			
	p	0,942	0,000	0,023	0,000	.			
	N	312	312	312	312	312			
p_OUT	r	-0,015	0,227**	-0,111*	0,386**	0,999**	1,000		
	p	0,798	0,000	0,050	0,000	0,000	.		
	N	312	312	312	312	312	312		
R.H._IN	r	-0,363**	0,033	0,400**	0,490**	0,371**	0,377**	1,000	
	p	0,000	0,563	0,000	0,000	0,000	0,000	.	
	N	312	312	312	312	312	312	312	
R.H._OUT	r	0,405**	0,314**	-0,123*	-0,573**	-0,181**	-0,185**	0,121*	1,000
	p	0,000	0,000	0,030	0,000	0,001	0,001	0,032	.
	N	312	312	312	312	312	312	312	312
** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko									
* Korelacija je značilna na stopnji 0,05 obojestransko									

Neparametrične korelacije: KOČEVJE

Spearman's rho		C _{Rn_IN}	C _{Rn_OUT}	T_IN	T_OUT	p_IN	p_OUT	R.H._IN	R.H._OUT
C _{Rn_IN}	r	1,000							
	p	.							
	N	290							
C _{Rn_OUT}	r	0,456**	1,000						
	p	0,000	.						
	N	290	291						
T_IN	r	-0,278**	-0,118*	1,000					
	p	0,000	0,045	.					
	N	290	290	290					
T_OUT	r	-0,259**	-0,143*	0,654**	1,000				
	p	0,000	0,015	0,000	.				
	N	290	291	290	291				
p_IN	r	0,321**	0,489**	-0,428**	0,049	1,000			
	p	0,000	0,000	0,000	0,405	.			
	N	290	290	290	290	290			
p_OUT	r	0,319**	0,485**	-0,410**	0,066	0,998**	1,000		
	p	0,000	0,000	0,000	0,260	0,000	.		
	N	290	291	290	291	290	291		
R.H._IN	r	-0,006	0,311**	0,540**	0,557**	0,004	0,005	1,000	
	p	0,919	0,000	0,000	0,000	0,949	0,932	.	
	N	290	290	290	290	290	290	290	
R.H._OUT	r	0,374**	0,407**	-0,360**	-0,709**	-0,044	-0,061	0,063	1,000
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,458	0,296	0,285	.
	N	290	291	290	291	290	291	290	291
** Korelacija je značilna na stopnji 0,01 obojestransko									
* Korelacija je značilna na stopnji 0,05 obojestransko									