

# Mjerenje koncentracije radona na području Sjeverozapadne Hrvatske

---

**Trojko, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:418312>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering -  
Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**TOMISLAV TROJKO**

**MJERENJE KONCENTRACIJE RADONA NA PODRUČJU  
SJEVEROZAPADNE HRVATSKE**

**DIPLOMSKI RAD**

**VARAŽDIN, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**DIPLOMSKI RAD**

**MJERENJE KONCENTRACIJE RADONA NA PODRUČJU  
SJEVEROZAPADNE HRVATSKE**

**KANDIDAT:  
TOMISLAV TROJKO**

**MENTOR:**  
Izv.prof. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

**KOMENTOR:**  
Izv.prof. NIKOLA SAKAČ  
**NEPOSREDNI VODITELJ:**  
Dr.sc. DAVOR STANKO

**VARAŽDIN, 2019.**



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: TOMISLAV TROJKO  
Matični broj: 213 - 2017./2018.  
Smjer: GEOINŽENJERSTVO OKOLIŠA

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

MJERENJE KONCENTRACIJE RADONA NA PODRUČJU  
SJEVEROZAPADNE HRVATSKE

Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Opći dio  
3. Eksperimentalni dio  
4. Rezultati i rasprava  
5. Zaključak  
6. Literatura

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 30.05.2019.

Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:

  
Izv.prof.dr.sc. Anita Ptiček Siročić

Drugi mentor/komentor:

  
Izv.prof.dr.sc. Nikola Sakač

Predsjednik Odbora za nastavu:

  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović



Neposredni voditelj:

  
Dr.sc. Davor Stanko

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

**Mjerenje koncentracije radona na području sjeverozapadne Hrvatske**

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod **mentorstvom izv.prof.dr.sc. Anite Ptiček Siročić i komentora izv.prof.dr.sc. Nikole Sakača**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 5. 9. 2019.

TOMISLAV TROJKO

(Ime i prezime)

T. Trojko

(Vlastoručni potpis)

## SAŽETAK

Radon je prirodni radioaktivni plin bez boje i mirisa koji se nalazi u Zemljinoj kori te je glavni prirodni izvor radijacije na Zemlji. Koncentracija radona je na otvorenom uglavnom vrlo niska. Međutim, unutar zatvorenog prostora može biti vrlo visoka. To može ugroziti zdravlje ljudi te u najgorim slučajevima i uzrokovati karcinom. Stijene i tlo prirodno sadrže radon te je to glavni izvor radona koji onda iz tla ulazi u zatvorene prostore. Glavni izvor radona u kućama je tlo neposredno ispod kuće, dok su ostali izvori građevinski materijal, podzemne vode i zemni plin. Radon se nakuplja uglavnom u nižim i najmanje ventiliranim prostorijama građevine, kao što je podrum, pa su tako ovdje izvedena mjerenja u podrumima i višim katovima da se istraži razlika. Mjereno je na području sjeverozapadne Hrvatske te su rezultati zadovoljavajući jer koncentracije nisu više od graničnih vrijednosti. Na svakoj lokaciji je izmjerena viša koncentracija radona u podrumu nego na nekom od katova. Samo kod jedne prostorije na jednoj lokaciji je primijećena relativno visoka koncentracija radona, a radi se očekivano, o podrumu koji je slabo izoliran i provjetravan. U takvim slučajevima preporuča se napraviti ponovno mjerenje uz pojačano svakodnevno prozračivanje prostorija. Ako su ponovljene vrijednosti ponovno visoke, tada treba razmisliti o ugradnji sustava pasivne i/ili aktivne ventilacije zraka.

**Ključne riječi:** Radon, zrak, zračenje, koncentracija, sjeverozapadna Hrvatska

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO.....	2
2.1. Radioaktivnost i zračenje .....	2
2.2. Fizikalno – kemijske karakteristike radona .....	5
2.3. Izvori radona u okolišu .....	8
2.4. Pregled istraživanja radona u Republici Hrvatskoj.....	12
2.5. Zakonske regulative o dozvoljenim koncentracijama radona u kućama .....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	18
3.1. Opis lokacija .....	18
3.2. Mjerenje koncentracije radona.....	19
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	21
4.1. Određivanje koncentracije radona .....	21
4.1.1. LOKACIJA 1. – Donje Ladanje .....	21
4.1.2. LOKACIJA 2. – Cargovec.....	25
4.1.3. LOKACIJA 3. – Beletinec 1.....	28
4.1.4. LOKACIJA 4 – Beletinec 2.....	29
4.1.5. LOKACIJA 5. – Goričan .....	30
4.1.6. LOKACIJA 6. – Čakovec 1 .....	33
4.1.7. LOKACIJA 7. – Čakovec 2 .....	34
4.1.8. LOKACIJA 8. – Nedelišće.....	35
4.1.9. LOKACIJA 9. – Ivanec 1 .....	37
4.1.10. LOKACIJA 10. – Ivanec 2 .....	38
4.1.11. LOKACIJA 11. – Varaždin 1 .....	40
4.1.12. LOKACIJA 12. – Vinica.....	41
4.1.13. LOKACIJA 13. - Mursko Središće.....	42
4.1.14. LOKACIJA 14. – Štrigova .....	43
4.1.15. LOKACIJA 15. – Varaždin 2 (Geotehnički fakultet) .....	43
4.2. Usporedba rezultata s prijašnjim istraživanjima .....	48
5. ZAKLJUČAK .....	51
6. LITERATURA.....	52
POPIS SLIKA .....	54
POPIS TABLICA.....	56

## 1. UVOD

Radon (simbol Rn) je radioaktivni kemijski element iz skupine plemenitih plinova, atomskog broja 86, a poznata su tri prirodna izotopa: aktinon  $^{219}\text{Rn}$ , toron  $^{220}\text{Rn}$  i radon  $^{222}\text{Rn}$ . Radon je bezbojan plin bez okusa i mirisa [1], a poznat je kao glavni doprinositelj prirodnom zračenju na Zemlji dok mapiranje različitih radonskih pojava predstavlja važan zadatak u znanstvenom i regulatornom kontekstu [2]. Za detekciju i mjerenje radona potrebni su posebni uređaji. Radon nastaje radioaktivnim raspadom radija koji se nalazi u tlu i stijenama i nalazimo ga posvuda u zemljinoj kori. Uz to, lako prelazi iz tla u zrak. Koncentracija radona u zraku na otvorenom je niska (između 5 i 15 Bq/m<sup>3</sup>) i općenito ne predstavlja zdravstveni problem, ali može biti visoka unutar zatvorenog prostora (od deset do više tisuća Bq/m<sup>3</sup>). Disanjem, radioaktivni elementi ulaze u dišni sustav gdje radioaktivnim raspadom mogu oštetiti DNA i potencijalno uzrokovati karcinom pluća [3]. Stijene i tlo prirodno sadrže određene koncentracije radona te radon izbija iz zemlje. Međutim, razina zračenja u zraku na otvorenom prostoru znatno varira ovisno o mjestu. Iako na otvorenom postoji određena koncentracija radona u zraku, ljudi su najviše izloženi radonu u zatvorenim prostorijama. Radon se najviše koncentrira u zraku u zgradama koje se sastoje od zatvorenih prostorija. Kada radon uđe iz tla u prostoriju ili, u manjoj mjeri, iz samog građevinskog materijala, on teško izlazi van [4]. Na koncentraciju radona u stambenim objektima utječu: geološki sastav i struktura tla, klimatski parametri, broj i veličina mikropukotina koje su u neposrednom kontaktu s tlom te životne navike ljudi (npr. učestalost provjetravanja prostorija). Zbog ovako velikog broja različitih parametara koji utječu na koncentraciju radona u stambenim objektima, praktično je nemoguće izraditi zadovoljavajući model koji će predvidjeti koncentraciju radona u zatvorenom objektu. Stoga je neposredno mjerenje bitno za kvalitetnu procjenu rizika od radona [3]. S obzirom na aspekt radonskih učinaka na zdravlje, identificiranje područja s povišenim razinama radona ključni je korak u praćenju radona i sprječavanju negativnih učinaka na stanovništvo i okoliš [2]. Cilj ovog rada je bio izmjeriti koncentracije radona u zatvorenim prostorima na različitim lokacijama u sjeverozapadnoj Hrvatskoj te objasniti utjecaj radona na ljudsko zdravlje.



## 2. OPĆI DIO

### 2.1. Radioaktivnost i zračenje

Radioaktivnost je naziv za svojstvo nekih vrsta atomskih jezgri koje se spontano mijenjaju ili dijele i pri tome odašilju (emitiraju) čestice i prodorne elektromagnetske valove. Vrste jezgri koje su radioaktivne (nestabilne) nazivaju se radionuklidima, a emitirane čestice i elektromagnetski valovi nazivaju se radioaktivnim zračenjem. Takve spontane promjene nestabilnih jezgri tradicionalno se nazivaju radioaktivnim raspadima [5]. Zračenje je prijenos energije kroz prostor pomoću čestica (čestično ili korpuskularno zračenje) ili fotona (elektromagnetno zračenje) [6].

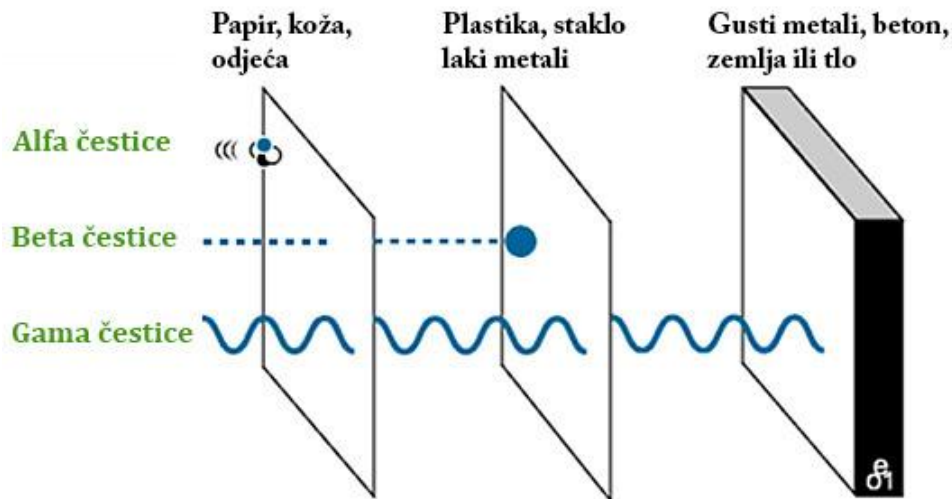
Francuski znanstvenik Henri Becquerel je 1896. godine u svojem laboratoriju u Parizu otkrio da uranijeve soli ostavljaju trag na fotografskim pločama. On je provodio eksperiment kod kojeg je računao da će sunčeva svjetlost potaknuti fosforescenciju u uranijevim solima. Međutim, kako tih dana u Parizu nije bilo dovoljno sunčanog razdoblja, Becquerel je pripremljene fotografske ploče s uranijevim solima spremio na tamno mjesto. Na svoje iznenađenje, nekoliko dana kasnije je primijetio da je na fotografskim pločama ostao trag, unatoč tome što uranijeve soli nisu bile osvjetljene sunčevom svjetlosti. Zaključio je da uranijeve soli samostalno proizvode zračenje, koje je kasnije nazvano radioaktivnošću [7].

Nedugo poslije toga, Maria Curie, kemičarka poljskog porijekla, nastavila je istraživanje i smislila pojam „radioaktivnost“. 1898. godine, ona i njen muž Pierre, otkrili su da se uranij, zračeći, pretvara u druge elemente. Jedan od tih elemenata su nazvali polonij, a drugi radij [4].

Radioaktivnost može izazvati zdravstvene probleme te kod visokih doza uzrokuje velika oštećenja, a manje doze mogu uzrokovati rak ili genetske deformacije. Javnost najveću pažnju pridaje umjetnim izvorima radijacije, dok su zapravo prirodni izvori najvažniji izvori radijacije. Nuklearne elektrane samo malim dijelom doprinose radijaciji koja dolazi od ljudskih aktivnosti, dok primjerice, korištenje rendgenskih zraka u medicini daje puno veće doze. I neke druge aktivnosti, kao što je sagorijevanje ugljena, let avionom i posebno život u

kućama s dobrom izolacijom i slabim provjetravanjem, znatno doprinose izloženosti prirodnoj radijaciji [4].

Rani istraživači otkrili su da magnetsko polje dijeli zračenje radioaktivnog materijala kao što je radij na tri dijela. Jedan dio se odbija kao pozitivno nabijene čestice, koje se nazivaju alfa čestice te se ispostavilo da su to jezgre atoma helija. Drugi dio zračenja se odbija kao negativno nabijene čestice, nazvane beta čestice, a to su elektroni. Ostatak zračenja, na koje ne utječe magnetsko polje, sastoji se od gama zraka. Danas se zna da su to elektromagnetski valovi čije su frekvencije više od frekvencija x-zraka. Gama zraku emitira jezgra koja iz nekog razloga ima više energije od svoje normalne količine. Sastav jezgre ne mijenja se u gama raspadu, za razliku od slučajeva alfa i beta raspada. Gama zrake su najprodornije od tri vrste zračenja, dok su alfa čestice najmanje, kao što je prikazano na slici 1. Alfa čestice iz radioaktivnih materijala zaustavljaju se komadom kartona, beta čestice prodiru u karton, ali se zaustavljaju aluminijskim limom, a čak i debela ploča olova ne može zaustaviti sve gama zrake [7].



**Slika 1.** Prodornost zračenja [5]

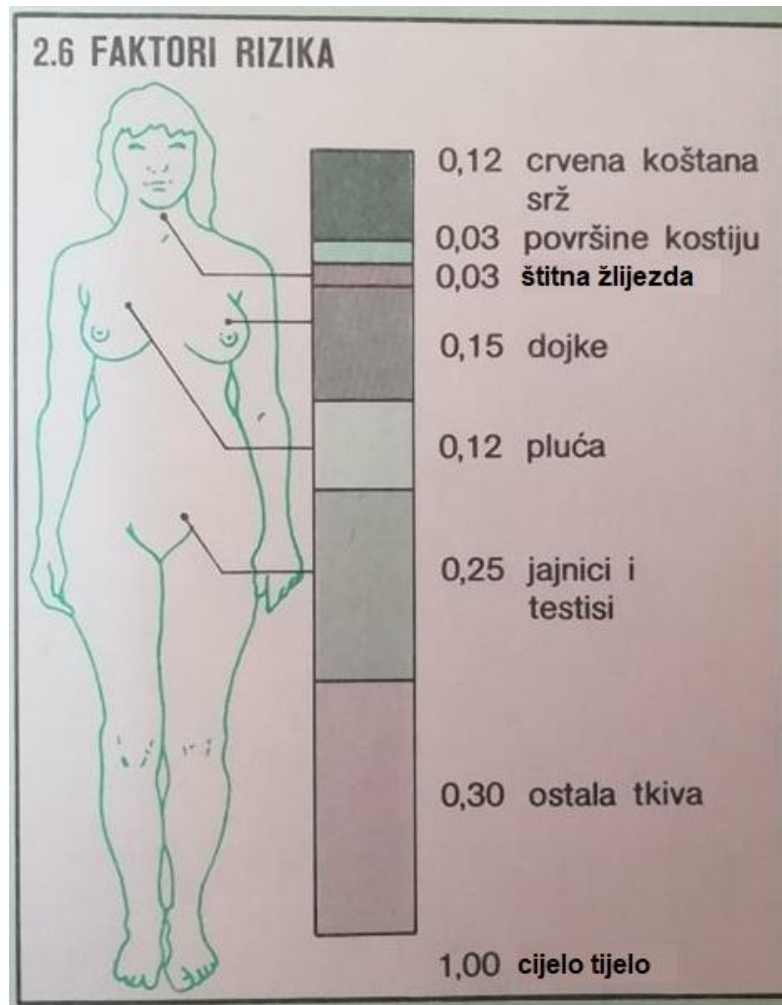
Energija radijacije izaziva oštećenja, a količina energije uskladištene u živom tkivu naziva se dozom radijacije. Postoji nekoliko jedinica kojima se može izraziti radijacija.

*Bekerelel (Bq)* je posebni naziv za jedinicu aktivnosti. Jedan bekerel odgovara jednom raspadu radionuklida u jednoj sekundi.

*Grej (GY)* je posebni naziv za jedinicu apsorbirane doze. To je količina energije unijete putem ionizirajućeg zračenja u jedinicu mase neke materije, kao što je tkivo. Jedan grej odgovara jednom džulu po kilogramu.

*Sivert (Sv)* je posebni naziv za jedinicu ekvivalente doze. To je apsorbirana doza uvećana za faktor koji odgovara moći radijacije da izazove oštećenja. Jedan sivert također odgovara jednom džulu po kilogramu.

Potrebno je više mjernih jedinica jer jednom nije moguće sve iskazati. Primjerice, određena doza alfa zračenja nanosi mnogo više oštećenja nego ista količina beta ili gama zračenja pa je potrebno odrediti koliku moć ima koja doza zračenja da izazove oštećenja. Zato je doza uvećana odgovarajućim težinskim faktorima poznata pod nazivom ekvivalentna doza, a mjeri se jedinicom sivert. Isto tako, neki dijelovi tijela čovjeka su osjetljiviji od drugih. Određena ekvivalentna doza će sa većom vjerojatnošću izazvati rak pluća nego npr. rak žlijezde štitnjače. Naročito su ugroženi reproduktivni organi zbog opasnosti od genetskog oštećenja. Zbog toga su različiti dijelovi tijela različito rangirani po osjetljivosti, slika 2. Kada se i to uzme u obzir, ekvivalentna doza postaje efektivna ekvivalentna doza koja se također izražava u sivertima [4].



**Slika 2.** Faktori rizika u različitim dijelovima tijela [4]

## 2.2. Fizikalno – kemijske karakteristike radona

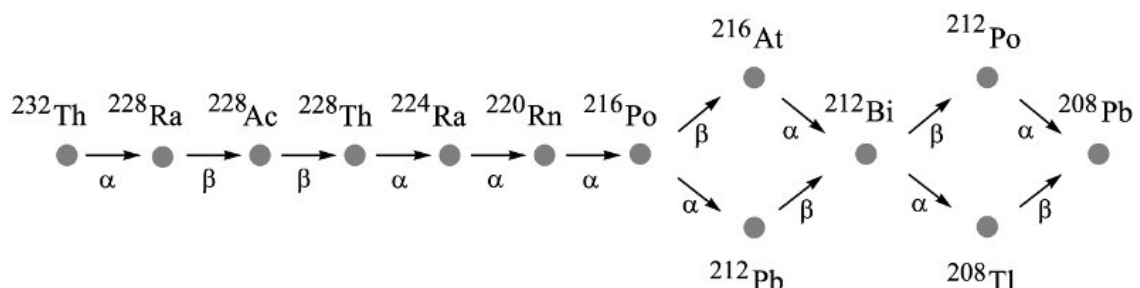
Radon je najvažniji od svih prirodnih izvora radijacije i nema stabilnih izotopa, a svi se razlikuju u vremenu poluraspada. Od 34 poznata izotopa radona, samo tri potječu od raspada primordijalnih radionuklida, a dva su prisutna u okolišu u značajnim koncentracijama. Najčešći izotop, poznat kao radon, je radon-222 (Rn-222), koji je član uranijevog niza (U-238) te se raspada s poluživotom od 3,82 dana. Druga dva izotopa su radon-220 (Rn-220), poznatiji kao toron, s poluživotom od 55,6 s i radon-219 (Rn-219), poznatim kao aktinon, s poluživotom od 3,96 s. Kao bezbojni plin bez okusa i bez mirisa, radon je teško otkriti čak i u visokim koncentracijama [2].

Radioaktivni nizovi su skupine prirodnih radionuklida koji nastaju jedni od drugih. Početni je radionuklid onaj s najduljim vremenom poluraspada, a konačni su radionuklidi stabilni. Na Zemlji prirodno postoje samo produkti triju nizova: uranijeva, aktinijeva i torijeva, dok su se svi članovi neptunijeva niza zbog kratkoga vremena poluraspada već odavno raspali. Prirodna radioaktivnost potječe od približno 60 prirodnih radionuklida koji se nalaze u tlu, zraku i vodi [8]. Radioaktivni raspadni nizovi su prikazani u tablici 1.

**Tablica 1.** Radioaktivni raspadni nizovi [8]

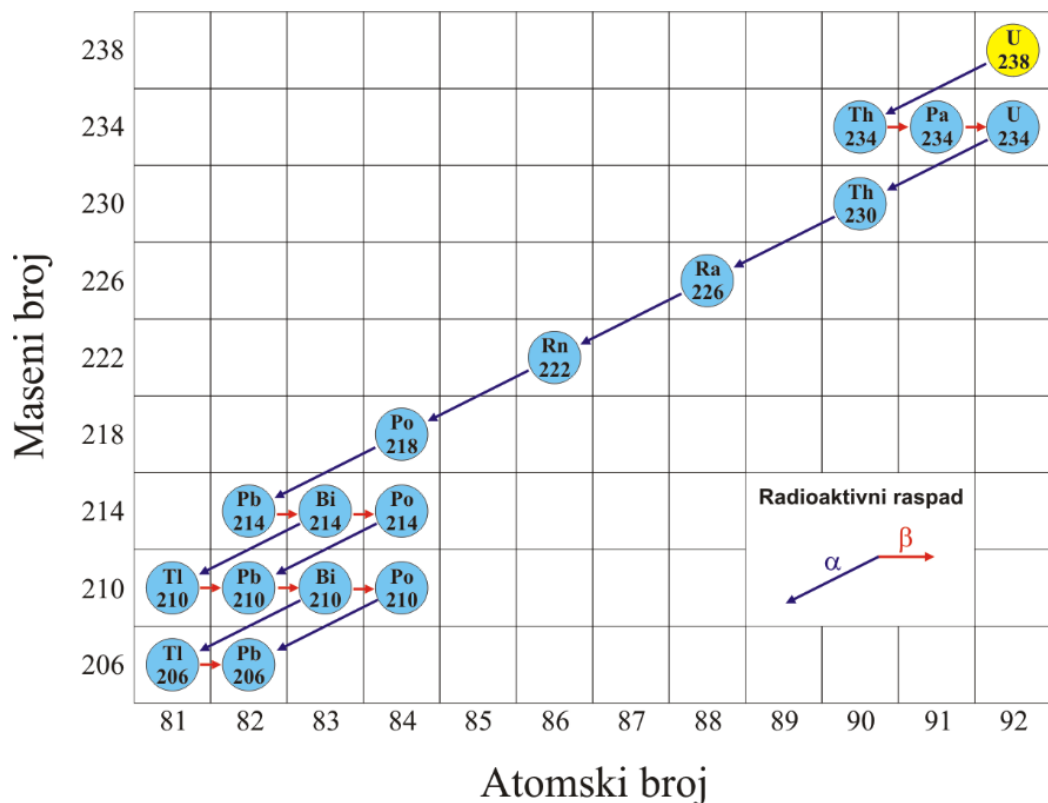
Niz	k	Radionuklid s najduljim vremenom poluraspada	Vrijeme poluraspada početnog radionuklida	Konačan nuklid
Torijev	0	$^{232}\text{Th}$	$1,41 \cdot 10^{10}$	$^{208}\text{Pb}$
Neptunijev	1	$^{237}\text{Np}$	$2,14 \cdot 10^6$	$^{209}\text{Bi}$
Uranijev	2	$^{238}\text{U}$	$4,47 \cdot 10^9$	$^{206}\text{Pb}$
Aktinijev	3	$^{235}\text{U}$	$7,04 \cdot 10^8$	$^{207}\text{Pb}$

Torijev niz je radioaktivni niz elemenata od U-232 do Pb-208. Uz uranov i aktinijev niz, glavni je izvor prirodne Zemljine radioaktivnosti. Raspadi se događaju emisijama alfa-čestica, odnosno emisijom beta-čestica, pri čemu se maseni broj elementa mijenja za 4, a završavaju stabilnim izotopom olova [9]. Torijev raspadni niz je prikazan na slici 3, a uključuje oblik radona Rn-220. U mineralima i stijenama niske propusnosti, očekuje se ravnoteža radionuklida torijevog niza. Međutim, u tlu, prirodnoj vodi, prirodnom plinu, nafti i atmosferi različiti kemijski i fizički odnosi članova niza mogu biti uzročnici neravnoteže [10].



**Slika 3.** Torijev raspadni niz [8]

Uranijev niz je prikazan na slici 4 te uključuje oblik radona Rn-222. Rn-222 ima dvadeset puta jače djelovanje nego Rn-220. Zapravo najveći dio doza radijacije potječe od radionuklida koji nastaju raspadanjem radona, a ne od samog plina radona [4]. Produkti raspada urana imaju različita kemijska svojstva i poluživote dovoljno duge da dopuštaju značajno odvajanje (raspadanje) njegovih članova. Stupanj tog odvajanja članova uranovog niza ne ovisi samo od relativne vremenske skale radioaktivnih raspada, nego i od geoloških, meteoroloških, kemijskih i bioloških procesa. Konačni stabilni izotopi ujedno su i najteže stabilne jezgre u prirodi, odnosno svaki teži nestabilni izotop morat će završiti u obliku nekog od stabilnih izotopa [11].



**Slika 4.** Uranijev raspadni niz [12]

Aktinijev niz ili u nekim izvorima uran – aktinijev niz je radioaktivni niz koji započinje nestabilnim izotopom urana U-235, uključuje 13 radionuklida, a završava stabilnim izotopom olova Pb-207. Čini prirodni radioaktivni raspad

izotopa urana U-235 tijekom kojega nastaje izotop aktinija Ac-227, emiter alfa-čestica [13].

### **2.3. Izvori radona u okolišu**

Postoje dva izvora radioaktivnog zračenja koji mogu djelovati direktno ili indirektno na čovjeka i okoliš: prirodni izvori zračenja i umjetni izvori. Prirodna radioaktivnost je pojava raspadanja jezgara atoma koja postoje u prirodi, bez vanjskih utjecaja.

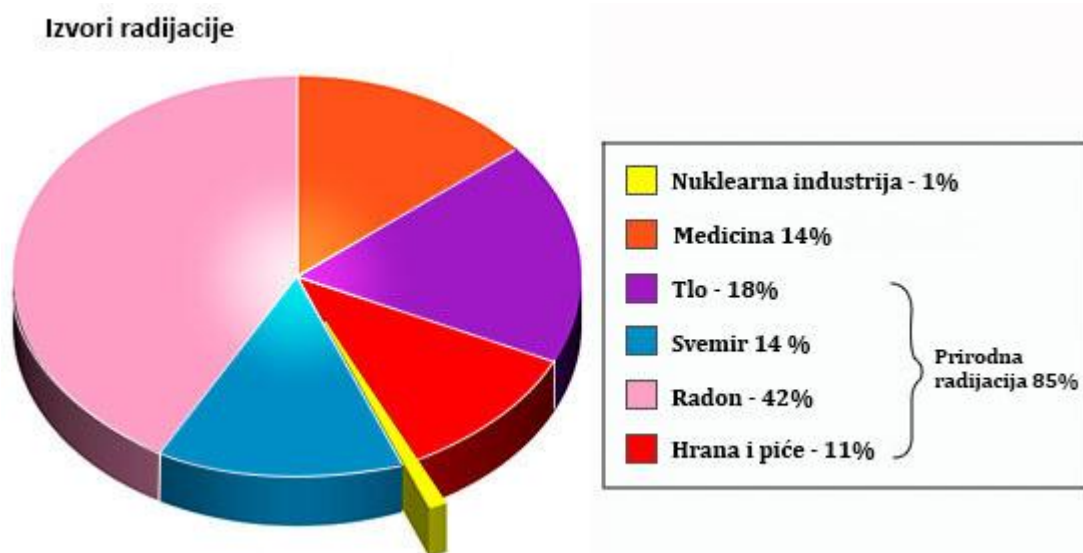
U prirodne izvore zračenja pripadaju:

- zemaljski
- svemirski ili kozmički
- radioaktivni elementi u našem organizmu
- materijali za gradnju
- prirodno zračenje radioaktivnih materijala
- termalni izvori
- radon

Umjetni izvori su:

- primjena zračenja u medicini
- radiobiologija
- nuklearna medicina
- radioterapija
- pokusne nuklearne eksplozije (probe, testiranje nuklearnog oružja)
- nuklearne elektrane/reaktori, akceleratori
- nuklearne nesreće

Kozmičko zračenje dolazi iz svemira i uključuje protone, elektrone, gama zrake i X - zrake. Primarni radioaktivni elementi u prirodi su uran, torij, kalij i njihovi radioaktivni derivati. Međutim, većina prirodnog zračenja potječe od plina radona, koji je produkt raspada urana i torija [10]. Izvor i količine radona prisutne u okolišu su prirodne, ali pod utjecajem antropogenih aktivnosti. U stijenama i tlu radon se obično zaključava unutar mineralne matrice, ali se oslobađa u međuprostor između zrna kada se radij raspada [2]. Daleko najveći dio radijacije koju stanovništvo prima dolazi i prirodnih izvora kao što je prikazano na slici 5, tj. oko 85 % dolazi iz prirodnih izvora te je izlaganje najvećem dijelu ove radijacije neizbježno. Na slici 5 također je vidljivo da najveći dio prirodne radijacije dolazi od radona [4].



**Slika 5.** Izvori radijacije na Zemlji [5]

Radon nastaje radioaktivnim raspadom radija i nalazi se posvuda u zemljinoj kori. Koncentracija nastalog radona u stijenama i tlu ovisi o koncentraciji uranija i radija u njima. Većinom radon ostaje čvrsto zarobljen unutar kristalne rešetke minerala u kojem je nastao, sve do svog raspada [3].

Glavni izvori radona u kućama su: tlo neposredno ispod kuće (85 – 90 %), građevinski materijal (5–10 %), podzemne vode (oko 5 %) i zemni plin (manje od 1 %) [3]. Najjednostavniji građevinski materijali kao što su drvo, cigla i beton



ispuštaju relativno malo radona. Granit i plovuđac su u mnogo većoj mjeri radioaktivni te se u određenim dijelovima svijeta često koriste u gradnji [4].

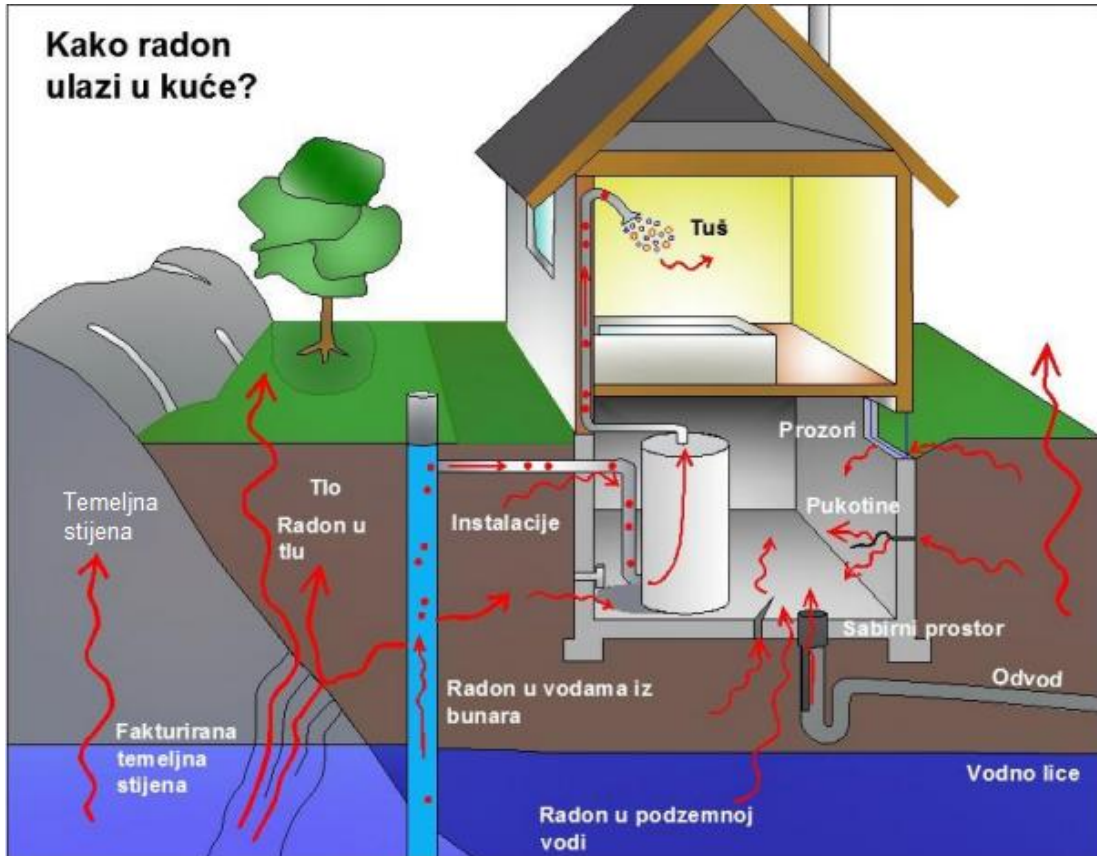
95 % izloženosti radonu dolazi iz zraka u zatvorenom prostoru; oko 1 % je iz izvora pitke vode. Najveći dio ovog izlaganja pitkoj vodi od 1 % dolazi od udisanja radonskog plina koji se oslobađa iz aktivnosti tekuće vode, kao što su kupanje, tuširanje i čišćenje. Samo 0,1 % izloženosti potječe od gutanja pitke vode onečišćene radonskim plinom. Iako učinci unesenog radona nisu u potpunosti shvaćeni, proračuni upućuju na to da je velika većina doze zračenja od takve izloženosti u želucu [14]. Neobično je što pijenje vode koja sadrži radon nije glavni problem, čak ni tamo gdje su te razine visoke. Uz to, kada se voda kuha, ona gubi najveći dio radona. Najveći rizik od udisanja radijacije koju emitira voda bogata radonom je u kupaonici jer se koristi veća količina vode [4]. Ukoliko prostorija sadrži visoke koncentracije radona, najčešći razlog je tlo ispod kuće. Ovdje je od velike važnosti vrsta tla ispod građevine. Ukoliko se radi o tlu visoke propusnosti (pjeskovito tlo), radon se lako može kretati i time uzrokovati visoku koncentraciju radona unutar zatvorenih prostorija [15].

Radon može prodrijeti u zatvorenu prostoriju na razne načine, uključujući:

- zemljane podove
- pukotine u betonu i temeljnim zidovima
- odvode
- otvore oko odzračnih cijevi i vodova
- slavine, osobito one pod tušem
- spojevima na građevini

Načini na koje radon ulazi u kuću ilustrirani su na slici 6. Radon se nakuplja uglavnom u nižim i najmanje ventiliranim prostorijama građevine, kao što je podrum [16]. Koncentracije radona na višim katovima zgrada su zato u najvećem broju slučajeva, niže nego u prizemlju. Istraživanje provedeno u Norveškoj je pokazalo da drvene kuće imaju veće koncentracije radona nego one od cigle, iako drvo ne emitira taj plin. Razlog je bio taj što drvene kuće

obično imaju manje katova pa su i prostorije bliže tlu, koje je glavni izvor radona [4].



**Slika 6.** Načini ulaska radona u kuću [16]

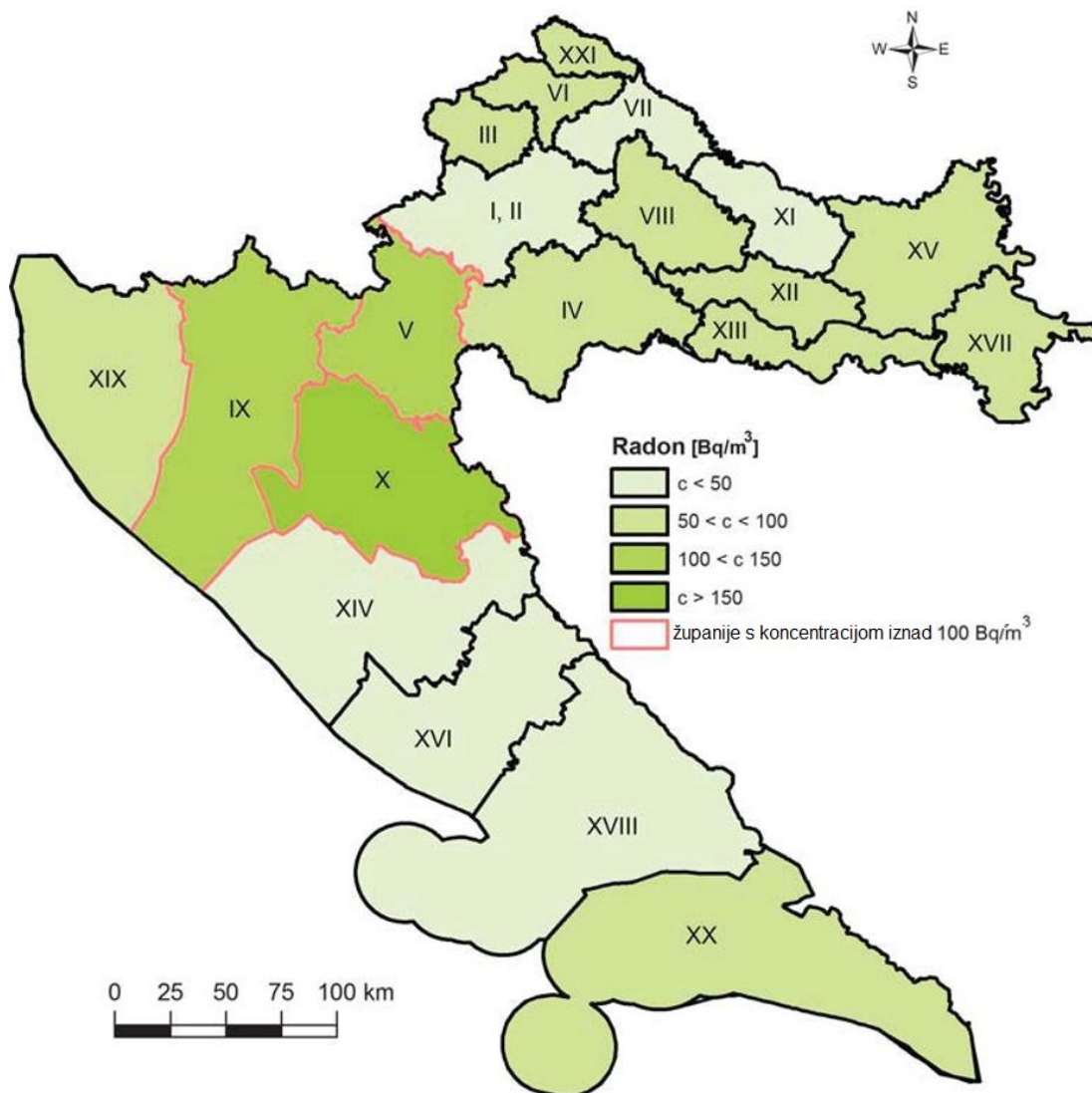
U različitim geološkim scenarijima transport i redistribucija plinova u tragovima (npr. radon, helij) često je određena plinovima nosačima (ugljičkov dioksid, metan) koji se čak mogu smatrati kontrolnim čimbenikom u transportu plinova u tragovima [17]. Koncentracije radona u tlu odgovorne su za difuziju u atmosferu, što je uvjetovano svojstvima tla, osobito vlažnosti tla i gradijenta tlaka. Koncentracija radona nekoliko metara ispod površine tla daje informacije za određivanje stope udisanja radona u atmosferi. Postoje tri glavna faktora koji utječu na razine radona u zatvorenom prostoru: sadržaj urana i radija u tlu/stijeni, uvjeti okoliša koji utječu na transport radona iz tla te meteorološki parametri koji utječu na ispuštanje radona iz tla u atmosferu [2].

## 2.4. Pregled istraživanja radona u Republici Hrvatskoj

Koncentracija aktivnosti radona je broj radioaktivnih raspada atoma radona u jedinici vremena i obujma i iskazuje se u bekerelima po kubnom metru ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ), a skraćeno se koristi naziv koncentracija radona. Prosječna vrijednost koncentracije radona u kućama u Republici Hrvatskoj iznosi oko  $70 \text{ Bq}/\text{m}^3$  [3]. Prema Direktivi EU za utvrđivanje osnovnih sigurnosnih standarda za zaštitu od opasnosti koje mogu nastati uslijed izlaganja ionizirajućem zračenju se smatra da su vrijednosti koncentracije radona u kućama manje od  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$  društveno prihvatljive (toliko maksimalno može iznositi referentna vrijednost u zemljama EU) odnosno da je individualni rizik od incidencije karcinoma zanemariv. Rizik raste s porastom radonske koncentracije i vremenom ozračenja. [19]

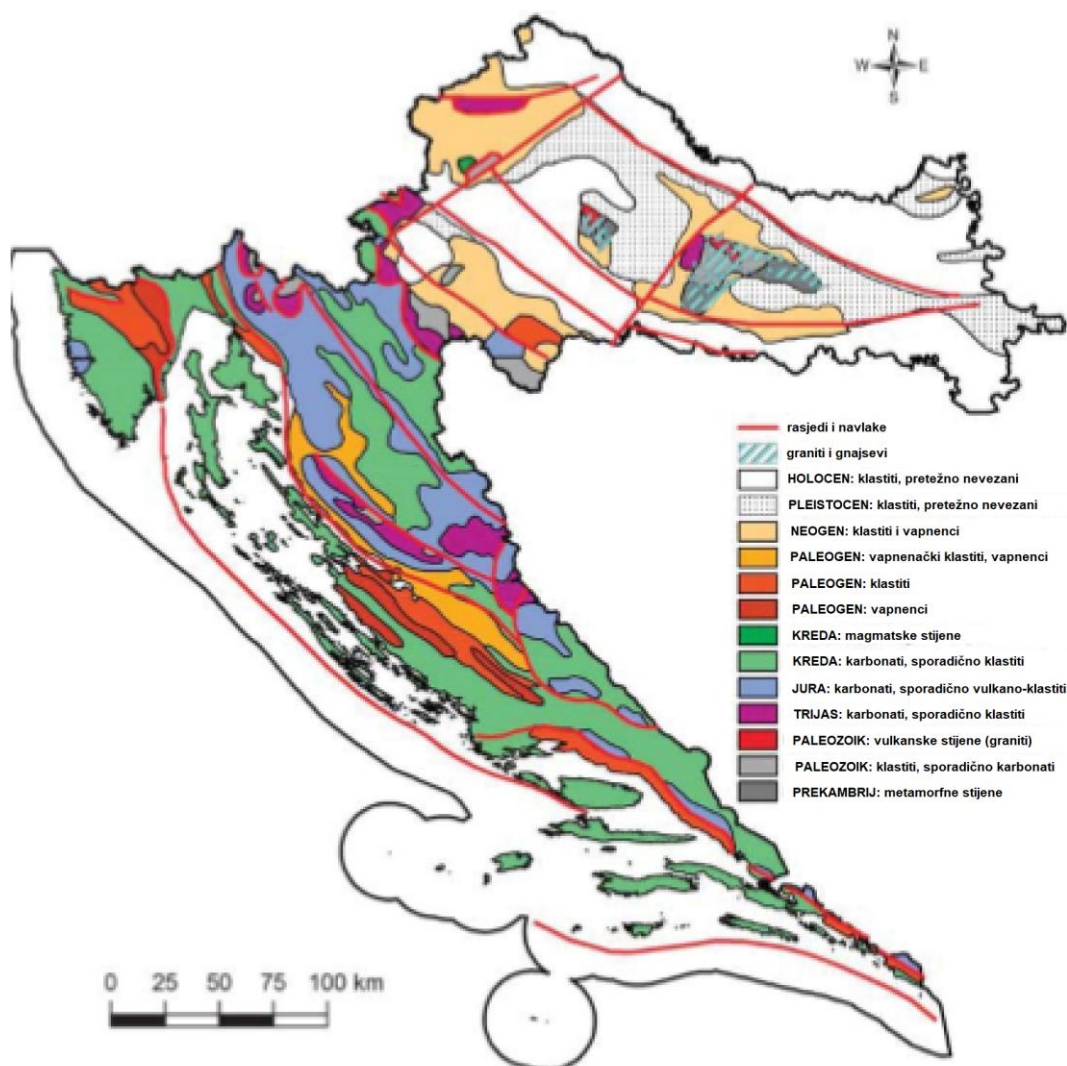
Istraživanje koncentracija radona za područje Republike Hrvatske iz 2006. utvrdilo je nacionalne referentne vrijednosti. Također je utvrđeno da je na području Ličko-senjske županije dva ili tri puta veća razina radona od nacionalnog prosjeka. Pronađena je pozitivna korelacija između vrijednosti radona u zatvorenom prostoru i vrijednosti radona u tlu. Najčešće se mjerenja provode u kućama i javnim zgradama (vrtićima i školama) u razdoblju od nekoliko mjeseci, fokusirajući se na prikupljanje podataka o unutarnjim razinama radona, razinama radona u tlu i informacijama o svojstvima zgrada. Rezultati pokazuju da su koncentracije radona pod velikim utjecajem fizikalnih uvjeta poput vjetra i tlaka [14]. Hrvatski državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS) odgovoran je za kontinuirano praćenje ionizirajućeg zračenja u okolišu. Rezultati mjerenja koncentracije radona u javnim i stambenim prostorima za 2012. i 2013. dostupni su online u obliku karte na <http://radon.dzrns.hr/>. Svrha ovih istraživanja bila je utvrditi postojeće stanje koje će se koristiti kao osnova za pripremu nacionalnog plana djelovanja u skladu s člankom 103. Direktive 2013/59 / EURATOM [2].

Na karti prikazanoj na slici 7 prikazane su županije RH i njihove prosječne koncentracije radona u zatvorenom prostoru dobivene na temelju dva skupa podataka. Županije s prosječnom koncentracijom radona u zatvorenom prostoru iznad  $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$  ovdje su istaknute crvenom linijom [2].



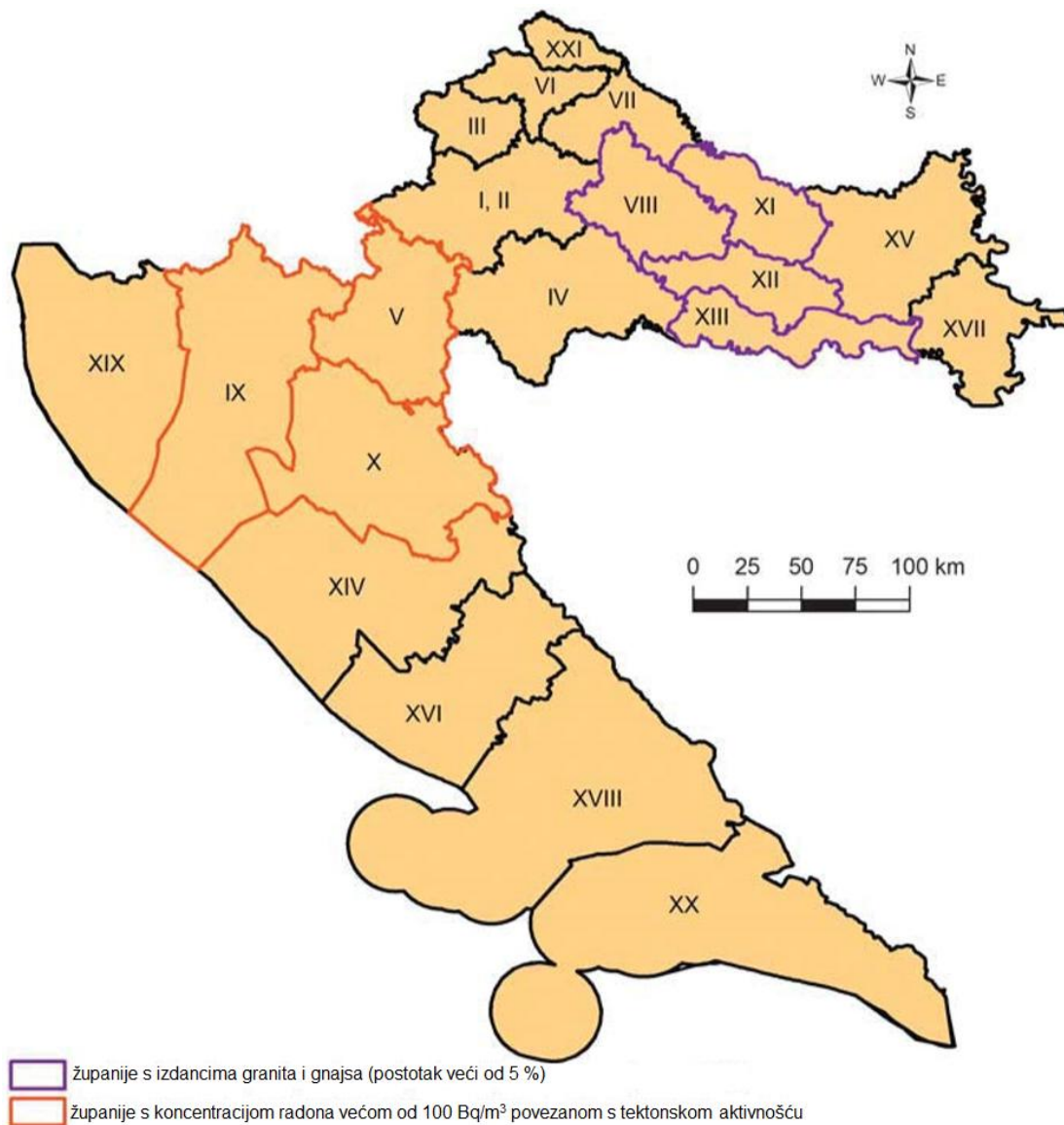
**Slika 7.** Prosječne koncentracije radona u zatvorenim prostorijama u RH po županijama [2]

Na slici 8 prikazana je geološka karta Hrvatske koja pokazuje geološku građu područja RH. To je bitno za koncentracije radona u zraku jer je tlo najveći prirodni izvor radona, a različita tla i stijene emitiraju različite emisije radona.



**Slika 8.** Geološka karta RH [2]

Karta prikazana na slici 9 objedinjuje dvije prethodne karte, a istaknute su dvije skupine županija. Identificirana radonska područja s potencijalom za daljnja istraživanja karakteriziraju povišene vrijednosti radona s obzirom na nedavnu tektonsku aktivnost na području Kvarnera i litološke temeljne karakteristike (graniti i gnajsi) na području slavonskih planina [2]. Županije u kojima je potrebno provesti daljnja istraživanja koncentracije radona su Bjelovarsko-bilogorska, Virovitičko-podavska, Požeško-slavonska, Brodsko-posavska, Karlovačka, Primorsko-goranska i Ličko-senjska županija.



**Slika 9.** Županije s potencijalom za daljnja istraživanja koncentracija radona [2]

## 2.5. Zakonske regulative o dozvoljenim koncentracijama radona u kućama

Direktiva EU iz 2013. godine (2013/59/Euratom) naglašava potrebu praćenja koncentracije radona u kućama i radnim mjestima te preporuča nacionalnim regulatornim tijelima u zemljama EU da propisane referentne vrijednosti ne bi smjele prijeći vrijednost od  $300 \text{ Bq/m}^3$ , kako za kuće tako i za radna mjesta [14]. Ako su vrijednosti iznad dozvoljenih vrijednosti, predlaže se napraviti ponovno mjerenje (uz pojačano svakodnevno prozračivanje prostorija). Ako su ponovljene vrijednosti ponovno više od preporučenih, tada bi trebalo razmisliti o implementaciji sustava pasivne i/ili aktivne ventilacije zraka [3].

Radon i njegovi kratkoživući potomci (radioaktivni elementi nastali raspadom radona) disanjem se unose u respiratorni sustav. U plućima, ti se elementi radioaktivno raspadaju i emitiraju zračenje (ponajviše u obliku alfa čestica). Alfa čestice ioniziraju plućno tkivo, pri čemu se ono lokalno oštećuje (sve do razine DNA) te takva oštećenja mogu uzrokovati nastanak raka pluća. Provedena su brojna istraživanja u mnogim zemljama koja su pokazala da dugotrajna izloženost višim vrijednostima radona povećava rizik od nastanka raka pluća [3]. Velike organizacije i međunarodne zdravstvene agencije prepoznaju radon kao kancerogen. On emitira zračenje koje može uzrokovati rak pluća kod dugog izlaganja. Radon je, nakon pušenja, drugi vodeći uzročnik raka pluća te je vodeći uzrok raka kod nepušača. Primjerice, u gradu Québecu u Kanadi, 10 do 16 % smrtnih slučajeva od raka pluća pripisuje se radonu. Rizik raka pluća povezan s radonom povećava se sa sljedećim činjenicama:

- što je osoba više izložena visokim razinama radona, to je veći rizik od raka
- rizik od raka povećava se za osobu koja je izložena radonu duže vrijeme (nekoliko desetljeća)
- pušači izloženi radonu izloženi su većem riziku od raka pluća u odnosu na nepušače [16]

Radon se kao plemeniti plin brzo izdahne nakon udisanja, međutim, potomci radona kombiniraju se s drugim molekulama u zraku i s česticama prašine, aerosola ili dima i lako se talože u dišnim putevima pluća. Dok se tamo nalazi, potomci emitiraju ionizirajuće zračenje u obliku alfa čestica, koje mogu oštetiti

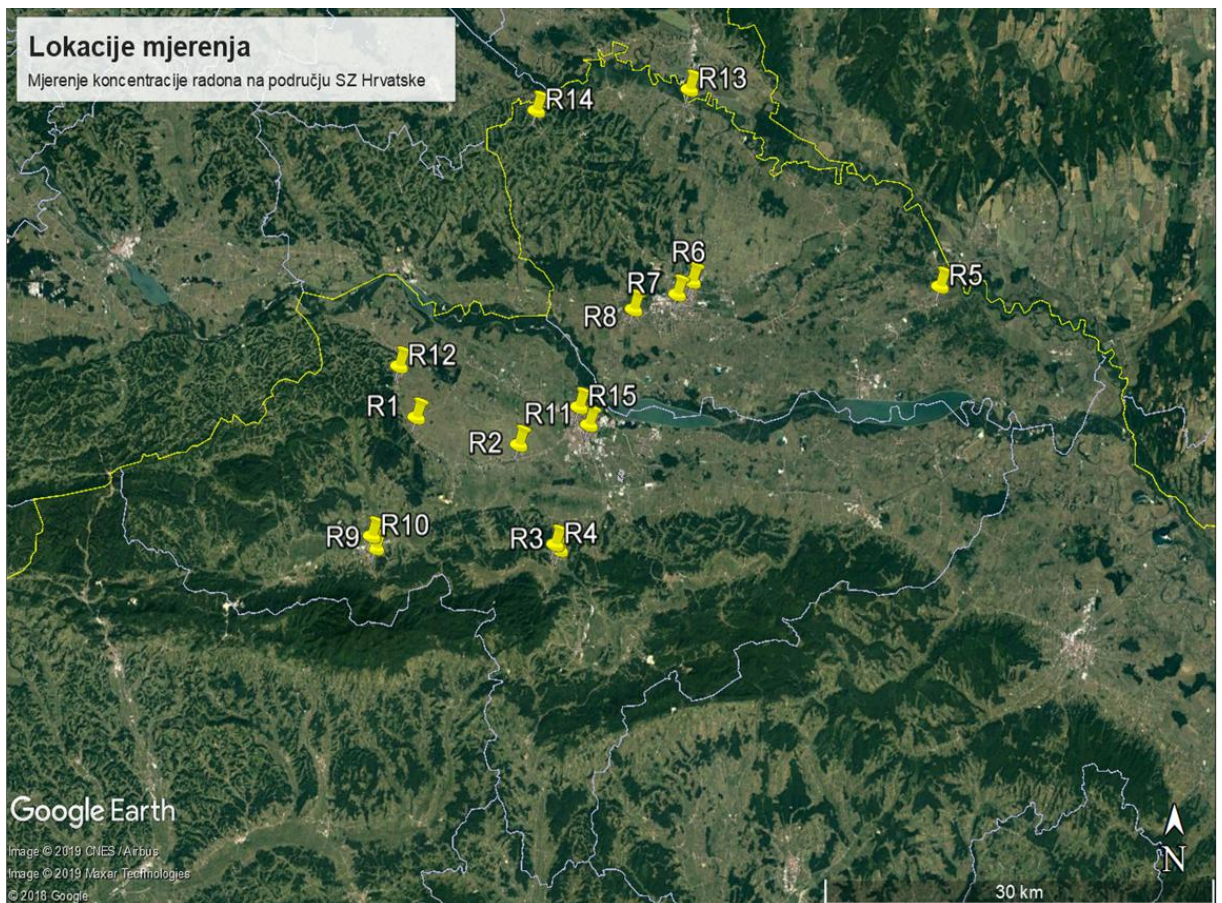
stanice dišnog sustava. Brojni eksperimenti su potvrdili da ionizirajuće zračenje koje pogađa epitelne stanice bronhija može uzrokovati rak. Međutim, još uvijek nije jasno jesu li djeca osjetljivija u odnosu na odrasle na izloženost radonu. Studije o leukemiji u djetinjstvu (najčešći oblik raka u djetinjstvu) nisu pronašle jasne dokaze o riziku povezanom s koncentracijama radona u kućama [18].



### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Opis lokacija

Mjerenje koncentracije radona provedeno je na 15 lokacija na području Međimurske i Varaždinske županije (sjeverozapadna Hrvatska), slika 10.



**Slika 10.** Karta lokacija mjerenja

Popis lokacija prema brojevima:

1. Donje Ladanje (Varaždinska županija)
2. Cargovec (Varaždinska županija)
3. Beletinec 1 (Varaždinska županija)
4. Beletinec 2 (Varaždinska županija)
5. Goričan (Međimurska županija)

6. Čakovec 1 (Međimurska županija)
7. Čakovec 2 (Međimurska županija)
8. Nedelišće (Međimurska županija)
9. Ivanec 1 (Varaždinska županija)
10. Ivanec 2 (Varaždinska županija)
11. Varaždin 1 (Varaždinska županija)
12. Vinica (Varaždinska županija)
13. Mursko Središće (Međimurska županija)
14. Štrigova (Međimurska županija)
15. Varaždin 2 (Varaždinska županija)

### **3.2. Mjerenje koncentracije radona**

Mjerenja koncentracije radona provedena su pomoću instrumenta za mjerenje koncentracije radona u zraku Airthings Corentium Pro, slika 11. Corentium Pro sadrži četiri visoko precizne radonske komore koje rade paralelno radi maksimalne pouzdanosti, točnosti i brzine. Corentium Pro uzorkuje zrak u zatvorenom prostoru kroz pasivnu difuzijsku komoru, koristeći alfa spektrometriju za precizno izračunavanje koncentracije radona. Radon se detektira silicijskim fotodiodama za brojanje i mjerenje energije alfa čestica koje proizlaze iz raspadajućeg lanca radona. Instrument je kalibriran za referentne instrumente u akreditiranim laboratorijima i ima AARST-NRPP certifikat (certifikat Američkog udruženja znanstvenika i tehnologa koji proučavaju radon). Godišnje umjeravanje instrumenta obično traje manje od tjedan dana, a uređaj posjeduje i dodatne senzore za mjerenje tlaka, temperature te vlažnosti zraka [20].



Slika 11. Uređaj Corentium Pro [20]

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Mjerenja na pojedinim lokacijama provedena su uglavnom u razdobljima od po četiri dana te su na većini lokacija provedena dva mjerenja (jedno u podrumskim prostorijama, a drugo na katu). Kod nekih lokacija provedeno je samo jedno mjerenje (podrum, prizemlje, kat).

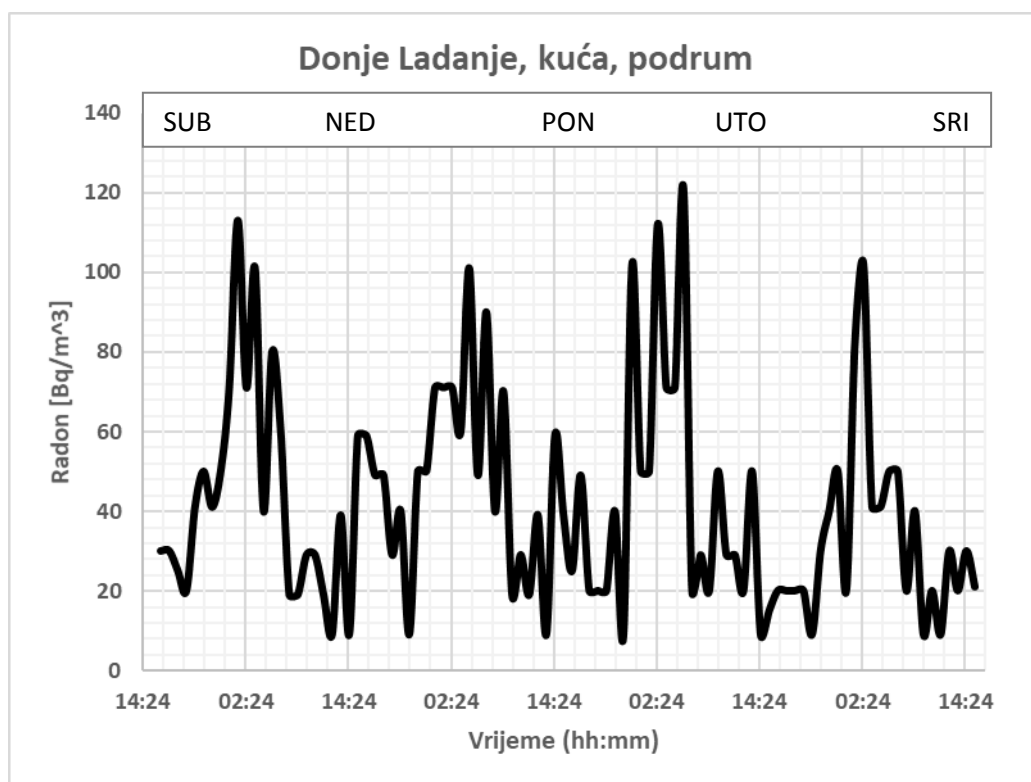
### 4.1. Određivanje koncentracije radona

#### 4.1.1. LOKACIJA 1. – Donje Ladanje

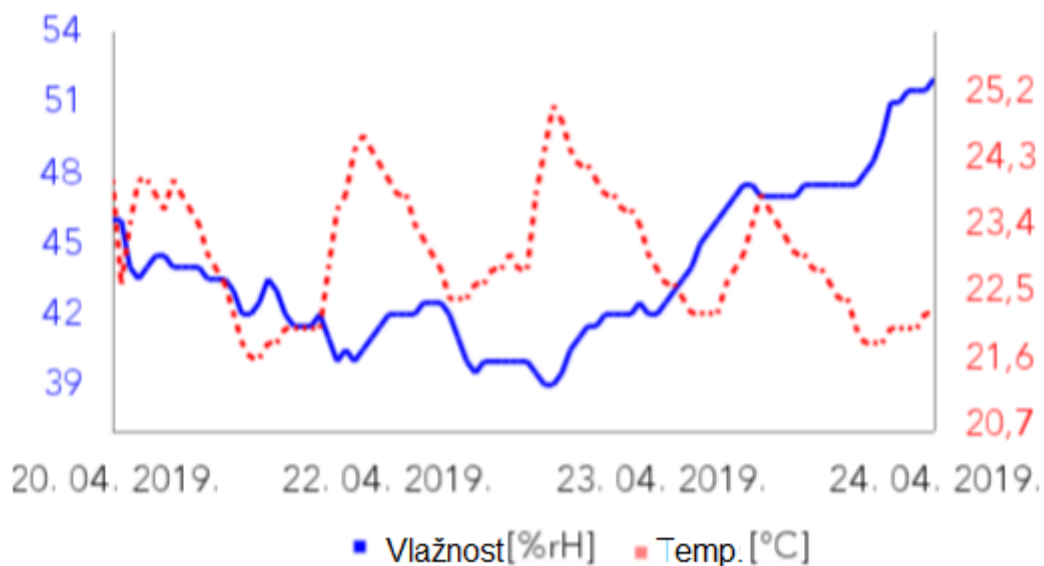
a) OBITELJSKA KUĆA, PODRUM: mjerenje je započelo u popodnevnim satima u 16:31, trajalo je 96 sati u razdoblju 20.4.2019.– 24.4.2019. Uređaj za mjerenje koncentracije radona postavljen je u podrum uz pretpostavku da su u podrumu prisutne najveće koncentracije radona zbog direktnog dodira s temeljnim tlom. Bitno je spomenuti da je podrum velike površine s velikim garažnim vratima čije otvaranje/zatvaranje može značajno utjecati na razinu koncentracije radona. Izmjerene vrijednosti koncentracije radona prikazane su na slici 12, dok su u tablici 2 navedene minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz rezultata je vidljivo da u podrumu na ovoj lokaciji nema značajnijih razlika u koncentraciji radona tijekom vikenda i radnih dana. S druge strane, uočene su značajne razlike u vrijednostima koncentracije radona tijekom pojedinih dana i noći - najviše koncentracije radona zabilježene su u noćnim satima. Može se pretpostaviti da je glavni uzrok tome što se tijekom dana ulazi i izlazi u garažu i podrum što omogućava prirodnu cirkulaciju zraka te se time prirodno smanjuje koncentracija radona u prostoriji.

**Tablica 2.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka (lokacija 1a)

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	9	121	42
Temperatura [°C]	21,6	25	23
Vlažnost [%]	39	52	44
Tlak [kPa]	98,9	100,62	99,53



Slika 12. Koncentracije radona u zraku na lokaciji 1a)

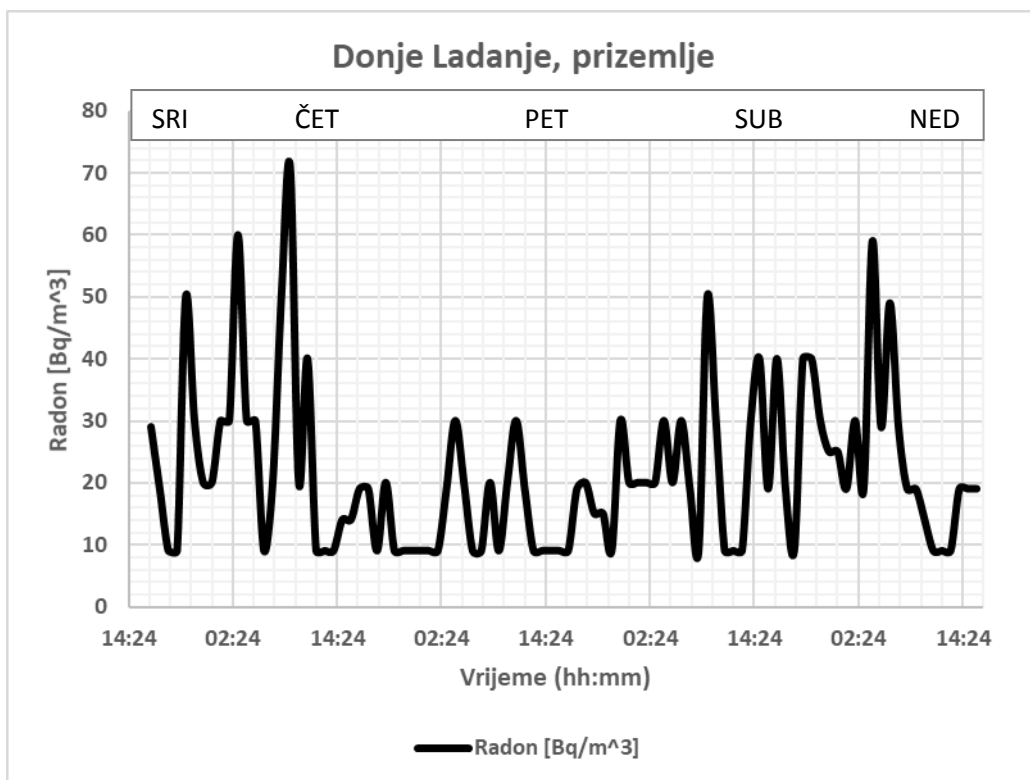


Slika 13. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 1a)

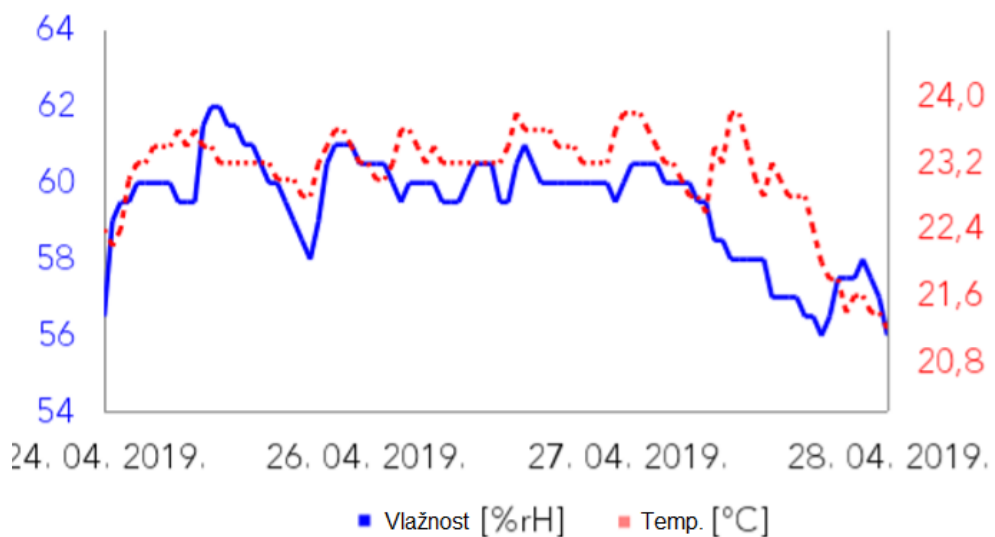
b) OBITELJSKA KUĆA, PRIZEMLJE: mjerenje je provedeno na istoj lokaciji, u obiteljskoj kući u Donjem Ladanju, u razdoblju 24.4.2019.–28.4.2019. Mjerenje je provedeno u prizemlju, u dnevnoj sobi. U tablici 3 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. U podrumu (tablica 2) prosječna vrijednost za 96 sati mjerenja je  $44 \text{ Bq/m}^3$  dok je u prizemlju ta vrijednost  $22 \text{ Bq/m}^3$  (tablica 3). Također, bitno je naglasiti da je maksimalna izmjerena vrijednost u podrumu  $121 \text{ Bq/m}^3$ , dok je u prizemlju  $71 \text{ Bq/m}^3$ . Usporedimo li vrijednosti temperature i tlaka, nema značajnijih razlika. Vrijednosti vlažnosti zraka veća su u prizemlju što je i očekivano zbog izoliranosti i zatvorenosti podrumskog prostora. Na slici 14 prikazane su vrijednosti koncentracija radona u dnevnoj sobi na lokaciji 1b) tijekom 96 sati. U ovom prostoru nema značajnijih promjena koncentracija radona s izmjenama dana i noći što je najvjerojatnije zbog jače prozračenosti prizemlja u odnosu na podrum. Na slikama 15 i 16 prikazane su vrijednosti promjena temperature, vlažnosti i promjene tlaka u prizemlju. Za pretpostaviti je da je do promjene koncentracije radona došlo zbog promjena temperature, vlažnosti i tlaka zraka u prostoriji.

**Tablica 3.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 1b)

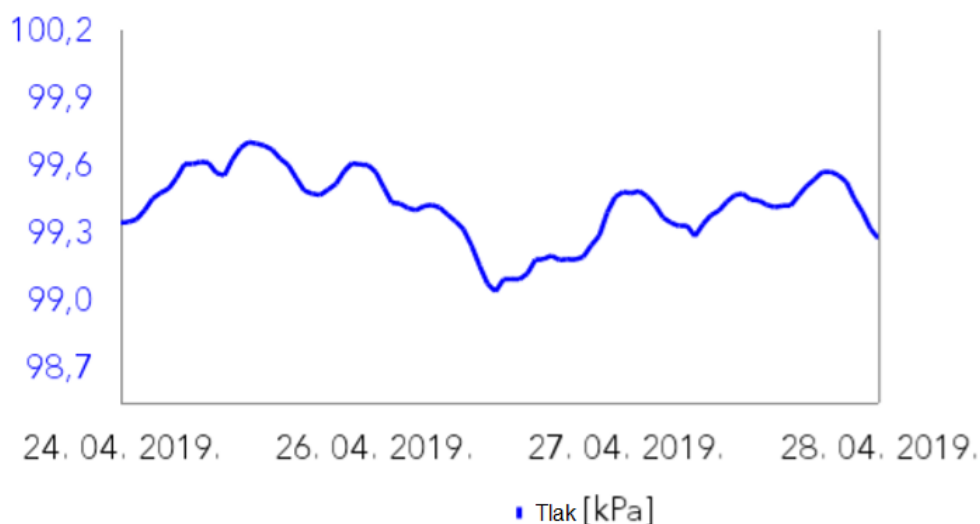
PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [ $\text{Bq/m}^3$ ]	9	71	22
Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]	21,2	23,8	23,1
Vlažnost [%]	56	62	59
Tlak [kPa]	99,0	99,71	99,43



**Slika 14.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 1b)



**Slika 15.** Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 1b)



**Slika 16.** Tlak zraka na lokaciji 1b)

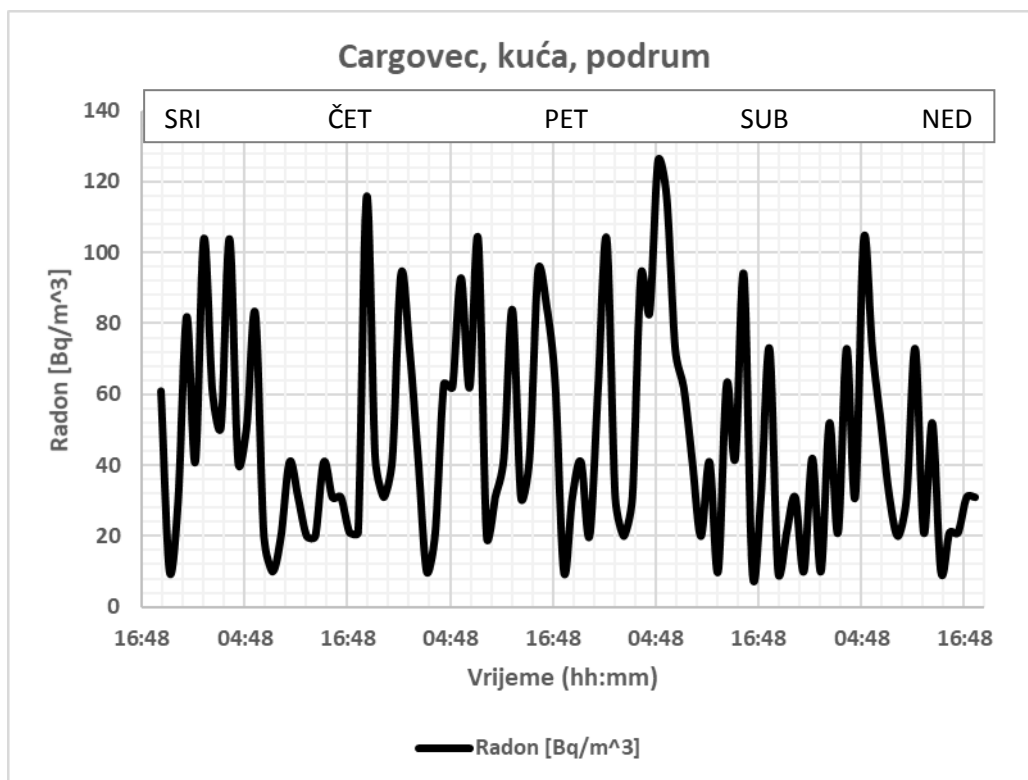
#### 4.1.2. LOKACIJA 2. – Cargovec

a) OBITELJSKA KUĆA, PODRUM: mjerenje je započelo u poslijepodnevni satima u obiteljskoj kući u podrumu, u razdoblju 3.4.2019.–7.4.2019. U tablici 4 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i tlaka. Na slici 17 prikazane su vrijednosti koncentracije radona izmjerene tijekom navedenog razdoblja. Može se uočiti da su koncentracije radona više u noćnim satima, dok su niže koncentracije radona izmjerene u jutarnjim satima. Nadalje, koncentracije radona značajno se mijenjaju po satima. Prostor je relativno zatvoren te veliki utjecaj na promjene koncentracije radona ima otvaranje/zatvaranje vrata.

**Tablica 4.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 2a)

PODATAK	MIN. VRIJEDNOST	MAKS. VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	10	126	48
Temperatura [°C]	14	18	15,8
Vlažnost [%]	45	65	61
Tlak [kPa]	98,2	98,94	98,63



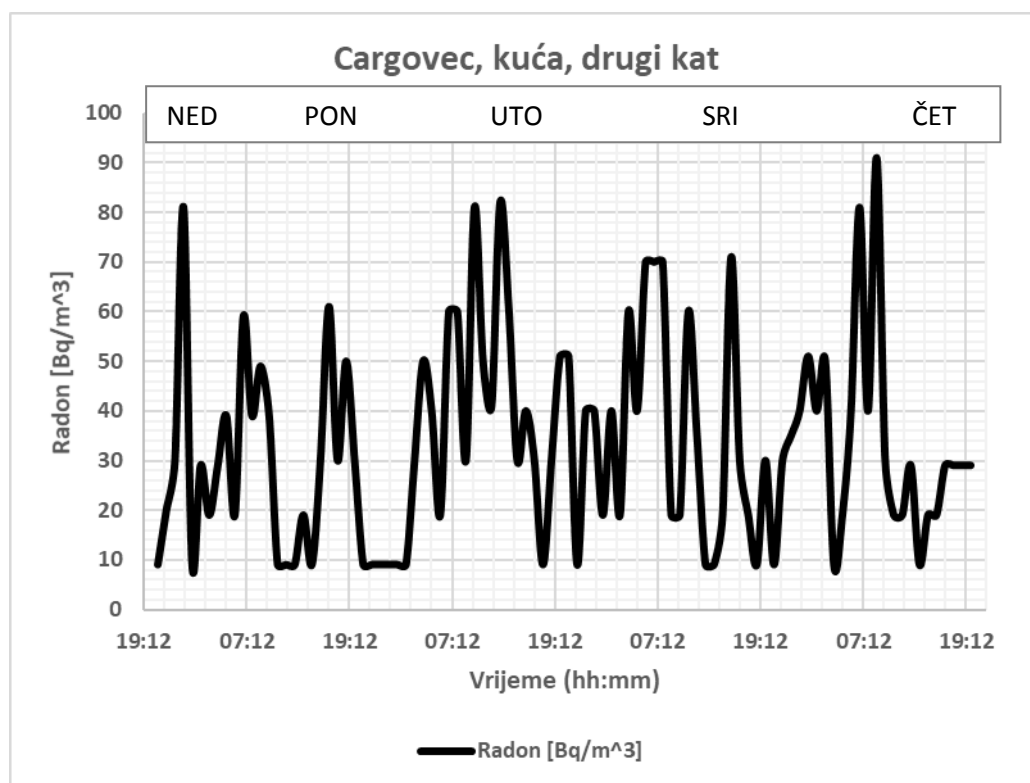


**Slika 17.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 2a)

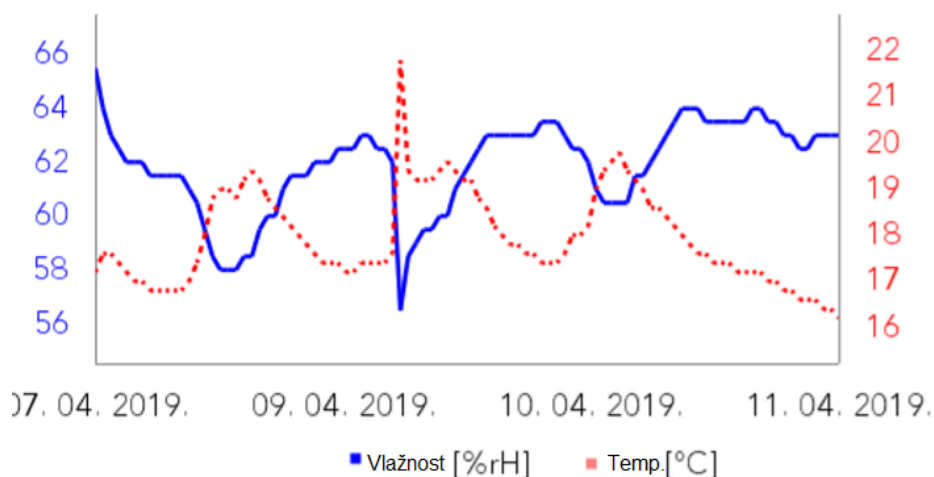
b) OBITELJSKA KUĆA, 2. KAT: mjerenje je provedeno u obiteljskoj kući u Cargovcu u hodniku, na 2. katu kuće u razdoblju 7.4.2019.–11.4.2019. U tablici 5 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz tablica 4 i 5 je vidljivo da je prosjek vrijednosti koncentracija radona i na ovoj lokaciji veći u podrumu nego na katovima iznad (podrum  $48 \text{ Bq/m}^3$ , dok je na 2. katu  $34 \text{ Bq/m}^3$ ). Isto tako, maksimalna izmjerena vrijednost veća je u podrumu ( $126 \text{ Bq/m}^3$ ) nego na hodniku na 2. katu ( $91 \text{ Bq/m}^3$ ). Podrum je vezan uz temeljno tlo koje je glavni izvor radona. Vrijednosti koncentracije radona na 2. katu prikazane su na slici 18. Kod ovog mjerenja nisu vidljive značajnije razlike u koncentracijama radona tijekom dana i noći iako vrijednosti koncentracije radona neprestano rastu i padaju. Razlog tome može biti što je mjerenje izvedeno u hodniku te prostor nije zatvoren, a okružen je i drugim prostorijama u kojima neprestano otvaranje/zatvaranje vrata utječe na koncentraciju radona. Na slici 19 vidljivo je da su vrijednosti temperature i vlažnosti zraka u ovoj prostoriji približno obrnuto proporcionalne što može utjecati na promjenu koncentracije radona.

**Tablica 5.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 2b)

PODATAK	MIN. VRIJEDNOST	MAKS. VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	9	91	34
Temperatura [°C]	16,4	21,8	18
Vlažnost [%]	57	66	62
Tlak [kPa]	98,4	99,38	98,76



**Slika 18.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 2b)



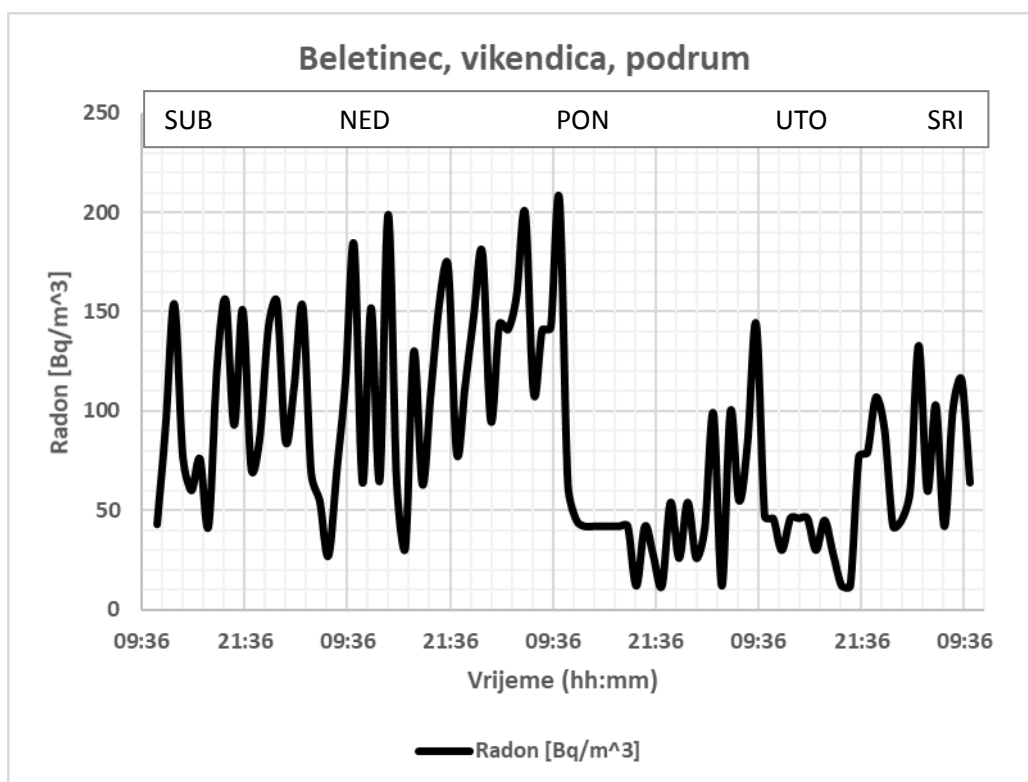
**Slika 19.** Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 2b)

#### 4.1.3. LOKACIJA 3. – Beletinec 1

VIKENDICA, PODRUM: mjerenje je provedeno u podrumu vikendice u razdoblju 8.12.2018.-12.12.2018. U tablici 6 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Prosječna vrijednost koncentracije radona je nešto viša na ovoj lokaciji u odnosu na druge lokacije. Razlog je vjerojatno drugačija geološka građa terena (klastiti s vulkanitima) u odnosu na druge lokacije. Također, mjerenja su provedena u prostoriji koja se ne koristi svakodnevno; rjeđe se otvaraju vrata i prozori te nema cirkulacije zraka, što uzrokuje povećanu koncentraciju radona. Slika 20 prikazuje izmjerene vrijednosti radona po danima. Mjerenje je započelo u subotu te je vidljivo da su koncentracije u početku mjerenja više nego u preostale dane.

**Tablica 6.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 3

PODATAK	MIN. VRIJEDNOST	MAKS. VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	12	207	84
Temperatura [°C]	21,4	25,4	23,6
Vlažnost [%]	32	47	39
Tlak [kPa]	98,4	101,06	99,69



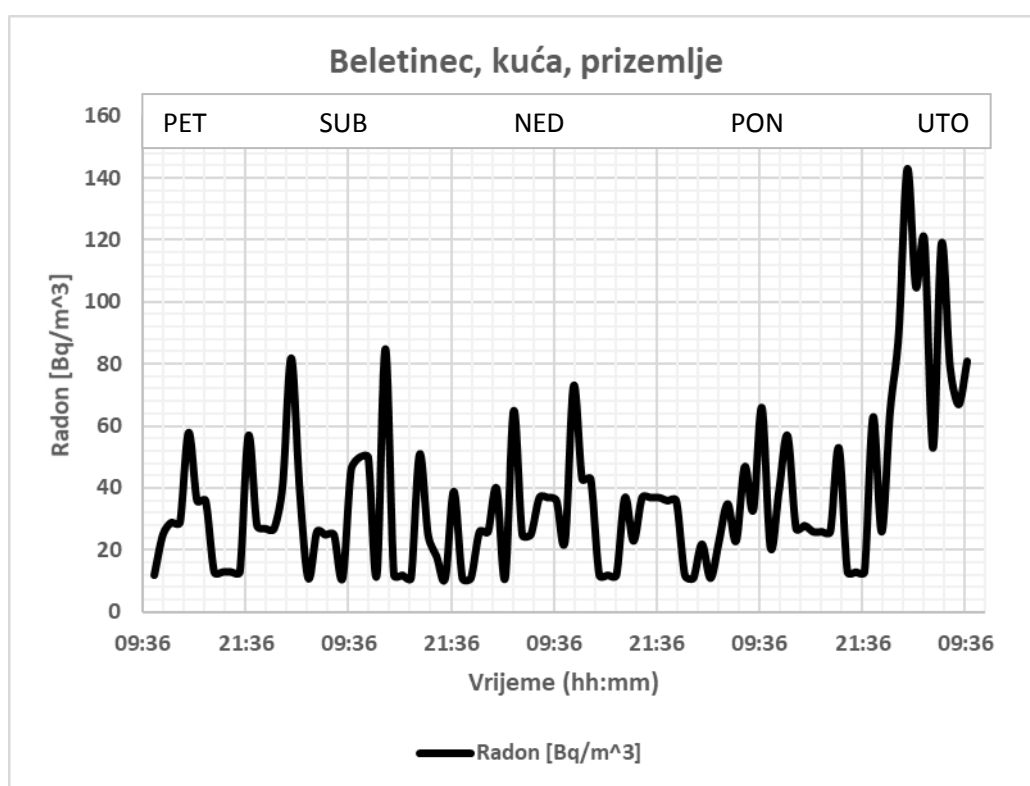
**Slika 20.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 3

#### 4.1.4. LOKACIJA 4 – Beletinec 2

OBITELJSKA KUĆA, PRIZEMLJE: Lokacija 4 nalazi se u istom naselju (Beletinec) kao i lokacija 3. Mjerenje je provedeno u obiteljskoj kući u podrumu, u razdoblju 21.09.2018.–25.09.2018. U tablici 7 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz tablice je vidljivo da je prosjek vrijednosti koncentracije radona znatno manji na lokaciji 4 nego na lokaciji 3 iako se radi o istom naselju i istoj geološkoj građi temeljnog tla. Od velikog je značaja i namjena građevine pa je tako koncentracija radona niža u obiteljskoj kući gdje se češće otvaraju prozori i vrata, nego u vikendici, koja je uglavnom zatvorena.

**Tablica 7.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 4

DATA	MIN	MAX	AVG
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	11	143	37
Temperatura [°C]	22	29	25,6
Vlažnost [%]	39	62	54
Tlak [kPa]	98,9	101,4	100,05



**Slika 21.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 4

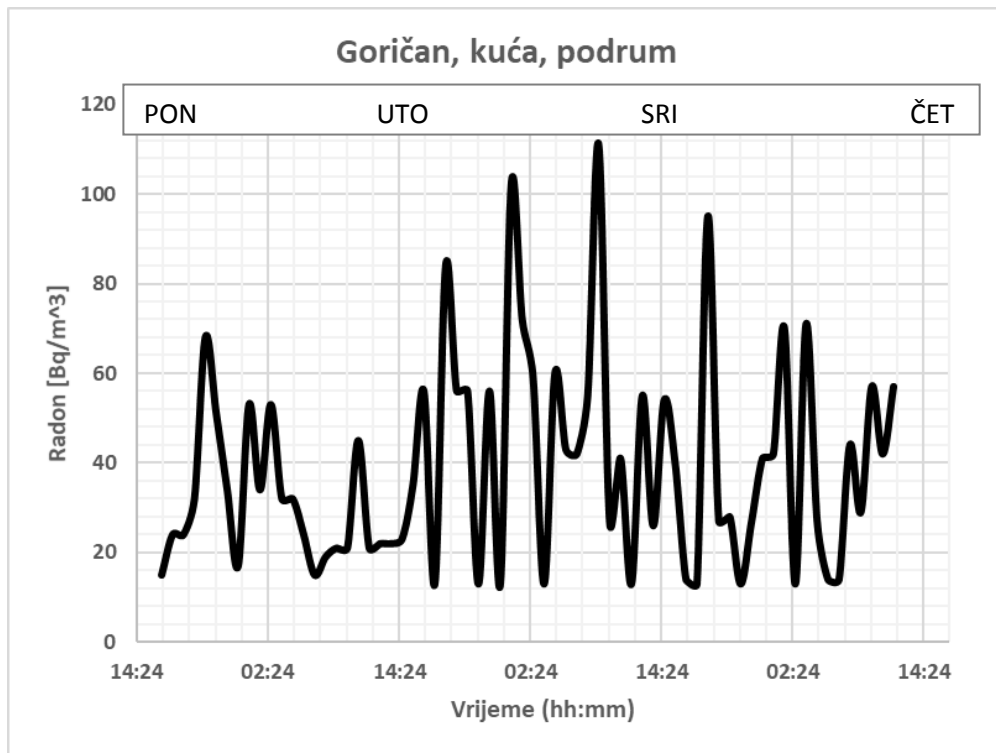
#### 4.1.5. LOKACIJA 5. – Goričan

a) OBITELJSKA KUĆA, PODRUM: Lokacija se nalazi u mjestu Goričan u Međimurskoj županiji, a mjereno je provedeno u obiteljskoj kući u podrumu, u razdoblju od 30.7.2018.–2.8.2018. U tablici 8 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti

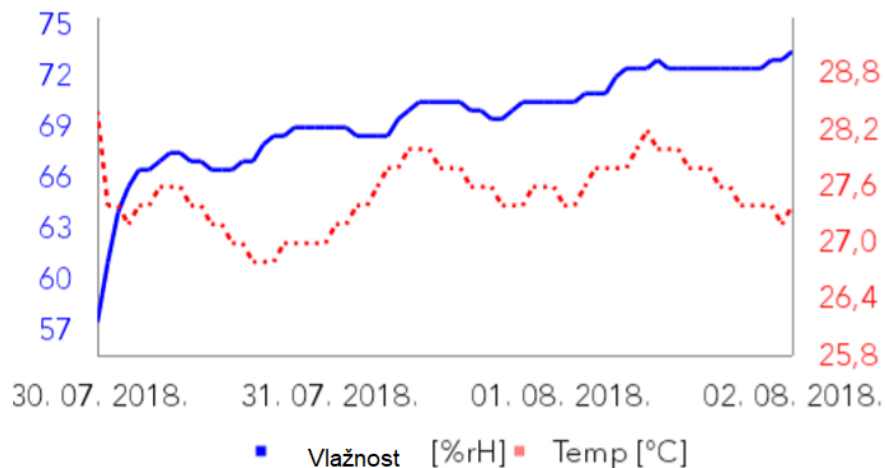
i atmosferskog tlaka. Na slici 23 prikazane su vrijednosti temperature i vlažnosti zraka u podrumu.

**Tablica 8.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 5a)

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	13	111	39
Temperatura [°C]	26,8	28,4	27,5
Vlažnost [%]	58	74	70
Tlak [kPa]	99,8	100,36	100,03



**Slika 22.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 5a)

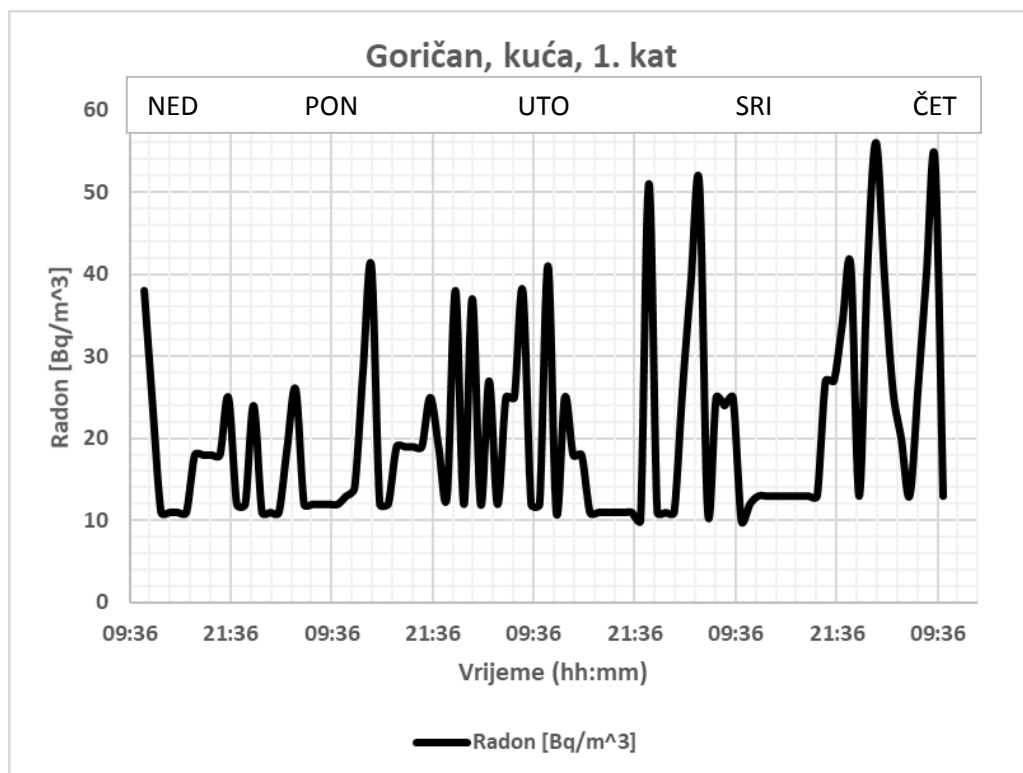


**Slika 23.** Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 5a)

b) OBITELJSKA KUĆA, 1. KAT: mjerenje je provedeno u obiteljskoj kući na 1. katu u razdoblju 5.8.2018.–9.8.2018. U tablici 9. prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz tablica 8 i 9 je vidljivo da je prosječna vrijednost koncentracije radona relativno niska u usporedbi s ostalim lokacijama. Prosječna vrijednost koncentracije radona na 1. katu kuće manja je nego u podrumu što je i očekivano. Većina radona dolazi iz temeljnog tla ispod kuće pa su i vrijednosti koncentracije radona najviše u podrumu kada je u pitanju ista građevina. Na slici 24 prikazane su vrijednosti koncentracija radona. Vidljivo je da je koncentracija radona nešto niža u nedjelju nego tijekom radnih dana. Uzrok tome je cjelodnevni boravak ukućana u tim prostorijama pa ima i više provjetravanja, dok se za vrijeme radnih dana ne boravi u toj prostoriji u tolikoj mjeri.

**Tablica 9.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 5b)

PODATAK	MIN. VRIJEDNOST	MAKS. VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	10	56	20
Temperatura [°C]	27,6	30,2	28,8
Vlažnost [%]	58	75	63
Tlak [kPa]	99,9	100,34	100,09



**Slika 24.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 5b)

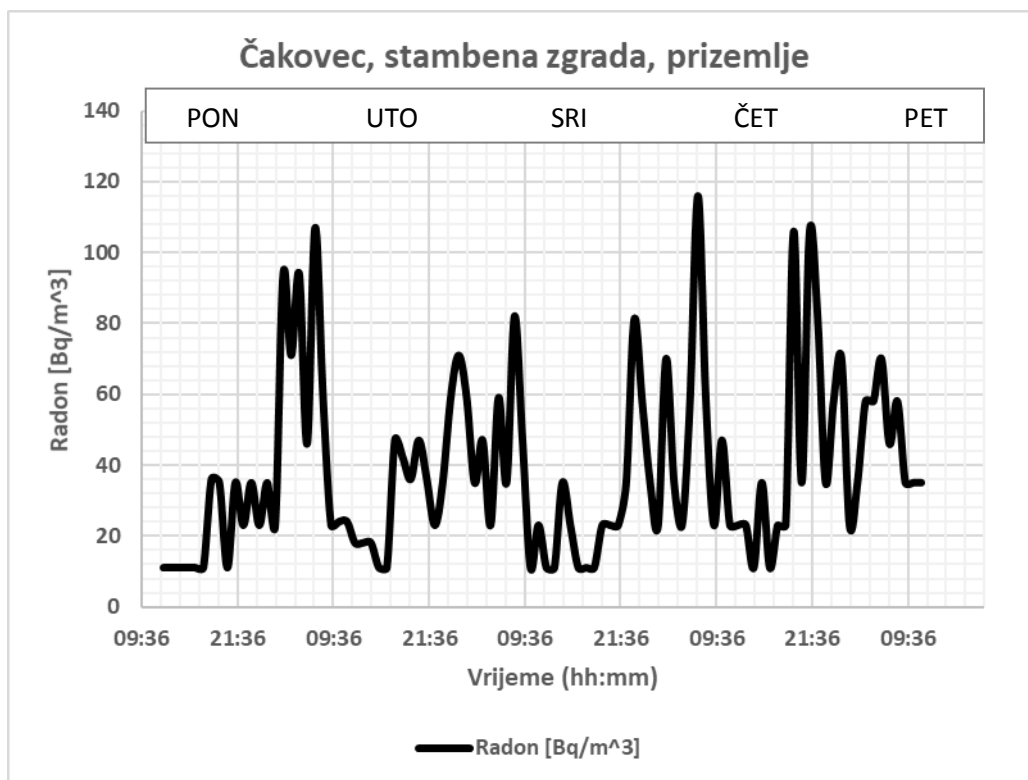
#### 4.1.6. LOKACIJA 6. – Čakovec 1

STAMBENA ZGRADA, PRIZEMLJE: Lokacija mjerenja je soba u prizemlju u stambenoj zgradi u Čakovcu. Mjerenje je provedeno u razdoblju 27.5.2019.–31.5.2019. U tablici 10 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz tablice se vidi da je prosječna vrijednost koncentracije radona slična vrijednostima dobivenim na prethodnim lokacijama. Mjerenje je izvedeno tijekom radnih dana (ponedjeljak–petak) te se mogu uočiti izmjene nižih i viših koncentracija radona tijekom dana i noći.

**Tablica 10.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 6

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	11	198	39
Temperatura [°C]	13,8	26,8	23,2
Vlažnost [%]	44	89	55
Tlak [kPa]	98,3	100,6	99,36





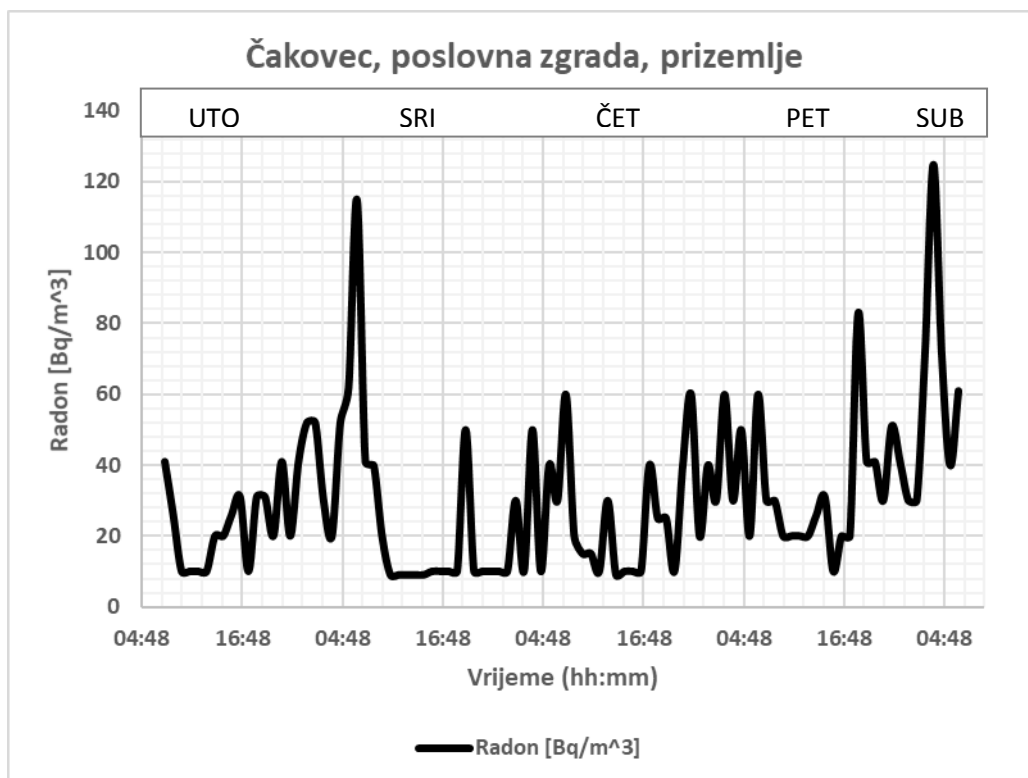
**Slika 25.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 6

#### 4.1.7. LOKACIJA 7. – Čakovec 2

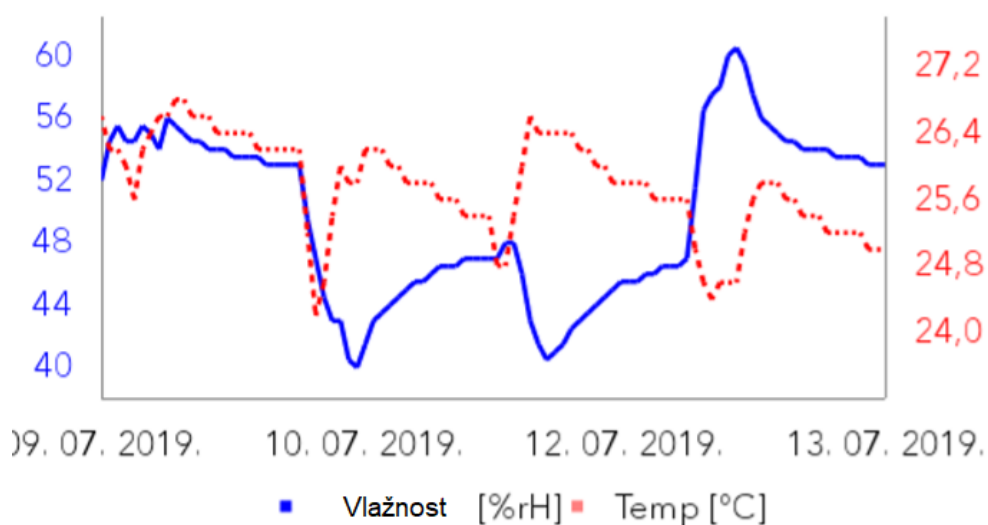
POSLOVNA ZGRADA, PRIZEMLJE: mjerenje je izvedeno u poslovnoj zgradi u centru Čakovca, u prizemlju, u razdoblju 9.7.2019.–13.7.2019. Vrijednosti koncentracije radona relativno su niske. I na ovoj lokaciji, koncentracije radona nešto su više u ranim jutarnjim satima, međutim vidljive su i varijacije koncentracije radona (slika 26) na što vjerojatno utječe promjena temperature i vlažnosti (slika 27).

**Tablica 11.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 7

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	9	125	30
Temperatura [°C]	24,2	26,8	25,8
Vlažnost [%]	40	61	50
Tlak [kPa]	99,2	99,82	99,53



**Slika 26.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 7



**Slika 27.** Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 7

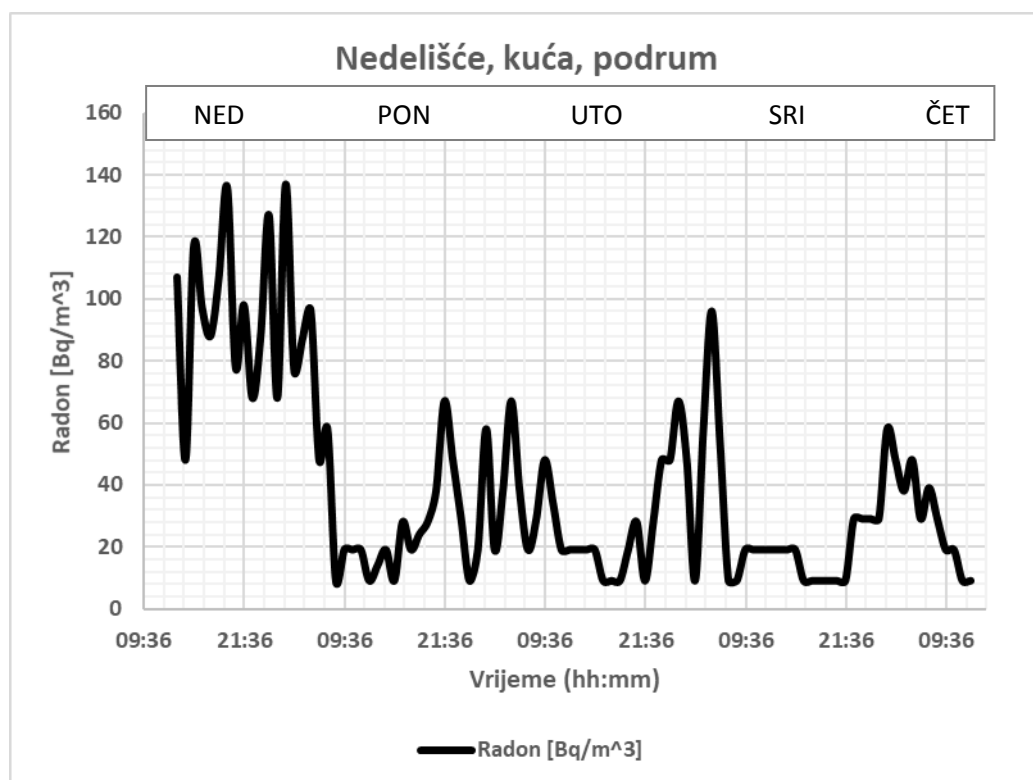
#### 4.1.8. LOKACIJA 8. – Nedelišće

OBITELJSKA KUĆA, PODRUM: mjerenje je provedeno u obiteljskoj kući u Nedelišću, u podrumu, u razdoblju 14.7.2019.–18.7.2019. U tablici 12 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona,

temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Također, kao i kod drugih lokacija vidljivo je da su koncentracije tijekom noći više nego tijekom dana, slika 28 (rjeđe se ulazi u podrum). Mjerenje je započelo u nedjelju te se mogu uočiti povišene koncentracije radona u odnosu na ostatak mjerenja (ponedjeljak–četvrtak).

**Tablica 12.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 8

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ]	9	137	40
Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]	24,8	26,6	25,6
Vlažnost [%]	46	59	51
Tlak [kPa]	99,2	99,59	99,38



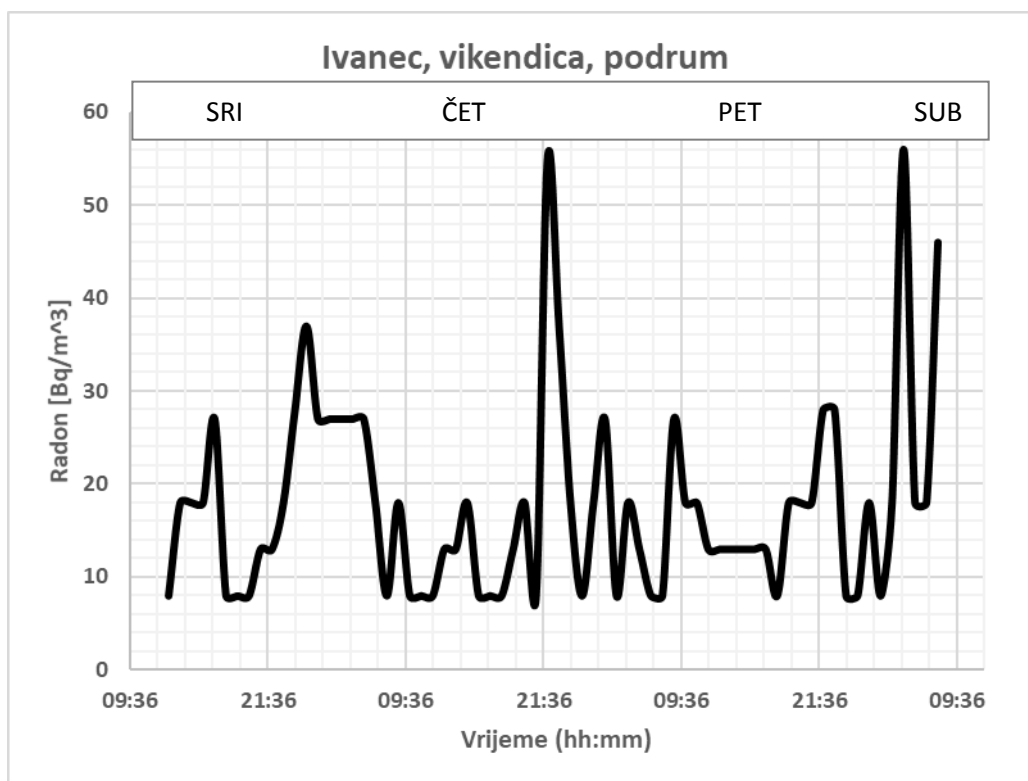
**Slika 28.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 8

#### 4.1.9. LOKACIJA 9. – Ivanec 1

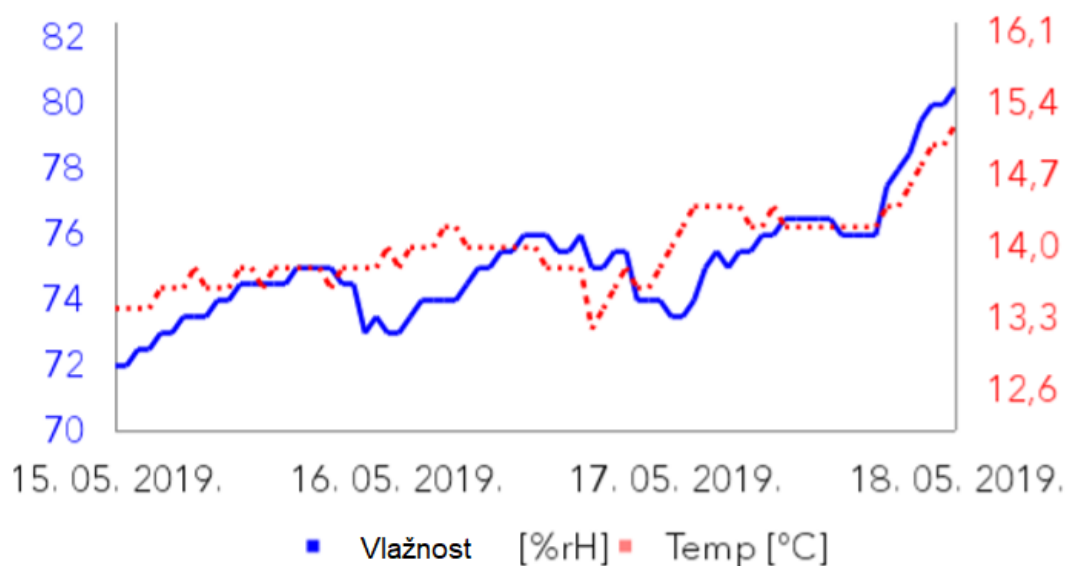
VIKENDICA, PODRUM: mjerenje je provedeno u vikendici u Ivancu, u razdoblju 15.5.2019.–18.5.2019. Uređaj je postavljen u podrumu te je mjerenje počelo u srijedu, a završilo u subotu. Iz tablice 13 je vidljivo da je prosječna vrijednost koncentracije radona izrazito niska, unatoč tome što je mjerenje izvedeno u podrumu. Koncentracije radona uglavnom su niže u odnosu na ostale lokacije, međutim, uočene su nešto više vrijednosti koncentracije tijekom noćnih sati (slika 29) uz značajne promjene vlažnosti, temperature i tlaka (slike 30 i 31).

**Tablica 13.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 9

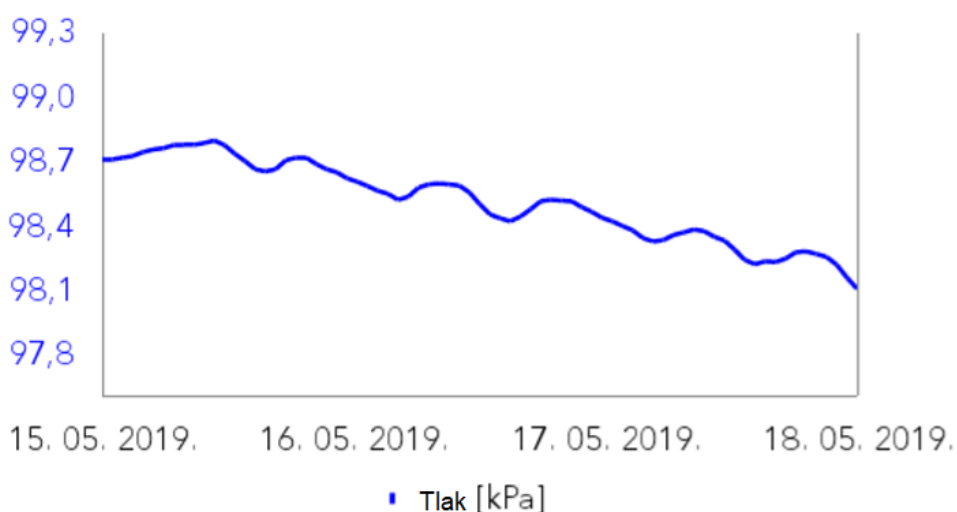
PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	8	56	18
Temperatura [°C]	13,2	15,2	14
Vlažnost [%]	72	81	75
Tlak [kPa]	98,1	98,8	98,52



**Slika 29.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 9



**Slika 30.** Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 9



**Slika 31.** Tlak zraka na lokaciji 9

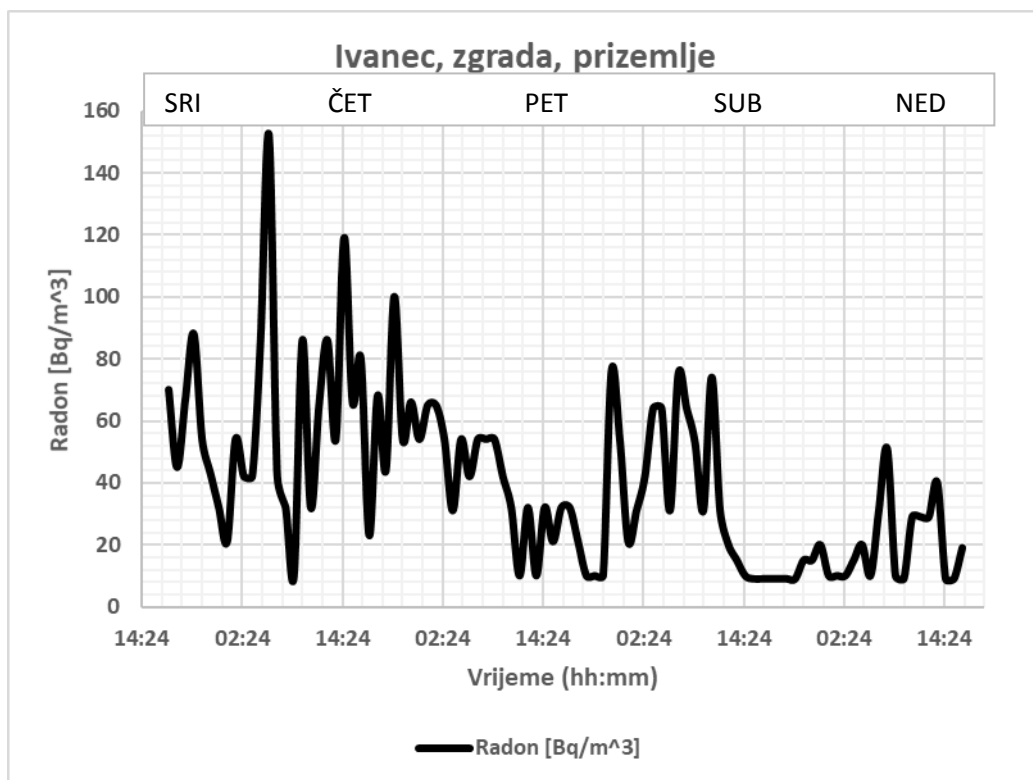
#### 4.1.10. LOKACIJA 10. – Ivanec 2

STAMBENA ZGRADA, PRIZEMLJE: Mjerenje je provedeno u Ivancu u stambenoj zgradi u prizemlju, u razdoblju 30.3.2019.–3.4.2019. U tablici 14 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz slike 32 vidljivo je da su

vrijednosti koncentracije radona tijekom vikenda (subota, nedjelja) različite u usporedbi s radnim danima (ponedjeljak, utorak, srijeda).

**Tablica 14.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 10

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	9	152	40
Temperatura [°C]	18,4	29,6	23,3
Vlažnost [%]	32	53	43
Tlak [kPa]	98,8	101,37	100,23



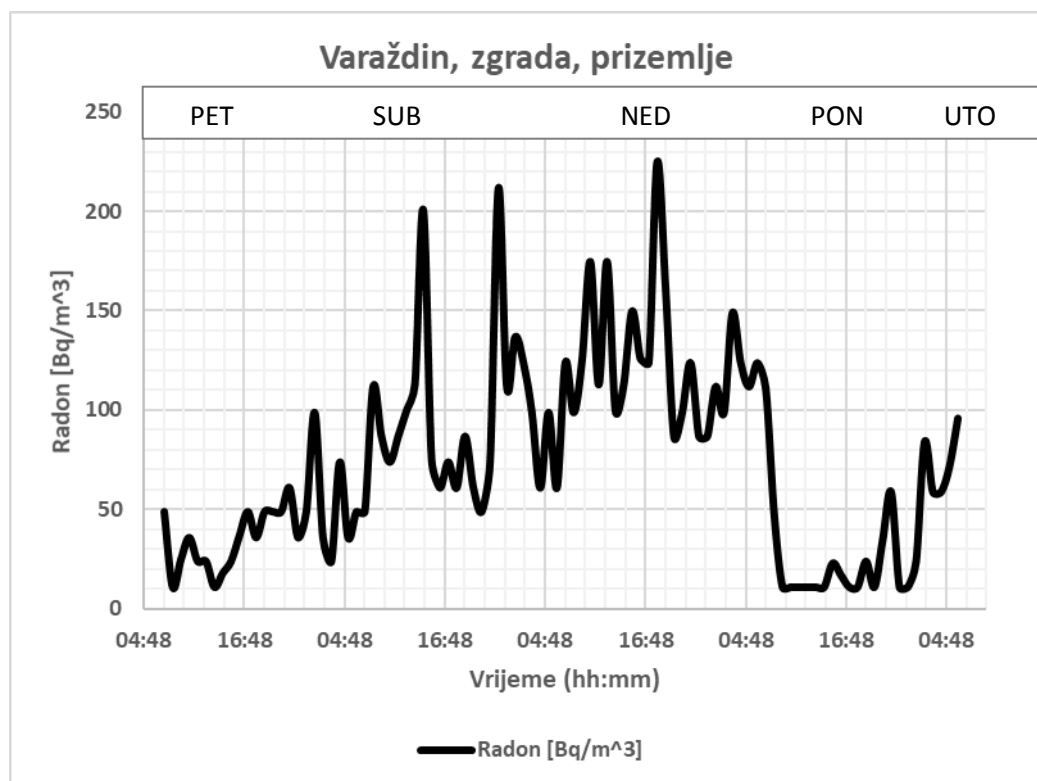
**Slika 32.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 10

#### 4.1.11. LOKACIJA 11. – Varaždin 1

STAMBENA ZGRADA, PRIZEMLJE: mjerenje je provedeno u stambenoj zgradi u Varaždinu u prizemlju, u razdoblju 5.7.2019.–9.7.2019. Iz tablice 15 može se vidjeti da je prosjek vrijednosti koncentracije radona na ovoj lokaciji relativno visok u usporedbi s mjerenjima provedenim na ostalim lokacijama. Iz slike 33 jasno se vidi da su koncentracije radona više tijekom vikenda nego radnim danima.

**Tablica 15.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 11

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	11	225	74
Temperatura [°C]	13,8	33	27,4
Vlažnost [%]	37	89	53
Tlak [kPa]	98,3	100,62	99,67



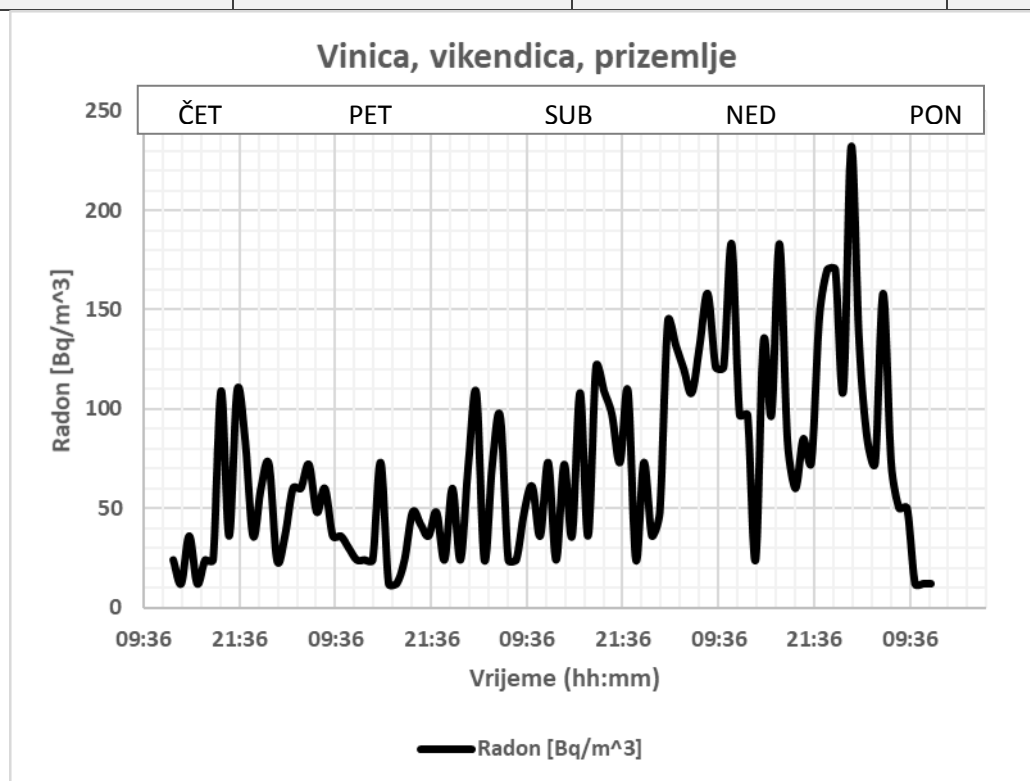
**Slika 33.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 11

#### 4.1.12. LOKACIJA 12. – Vinica

VIKENDICA, PRIZEMLJE: mjerenje je provedeno u vikendici u mjestu Vinica u razdoblju 30.5.2019.–3.6.2019. Iz tablice 16 vidljiva je relativno visoka prosječna vrijednost koncentracija radona na toj lokaciji. Koncentracije radona u noćnim satima nešto su više u odnosu na dan, kao i tijekom izmjene vikend-radni dani (slika 34). Maksimalna vrijednost koncentracije radona zabilježena je u noći s nedjelje na ponedjeljak (232 Bq/m<sup>3</sup>) dok ta koncentracija naglo pada u ponedjeljak ujutro (12 Bq/m<sup>3</sup>). Razlog tome je provjetravanje prostorije u ponedjeljak u jutarnjim satima i ulaska veće količine svježeg zraka što je utjecalo na smanjenje koncentracija radona.

**Tablica 16.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 12

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	12	232	71
Temperatura [°C]	13,8	26,8	23,6
Vlažnost [%]	44	89	53
Tlak [kPa]	98,3	100,6	99,53



**Slika 34.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 12

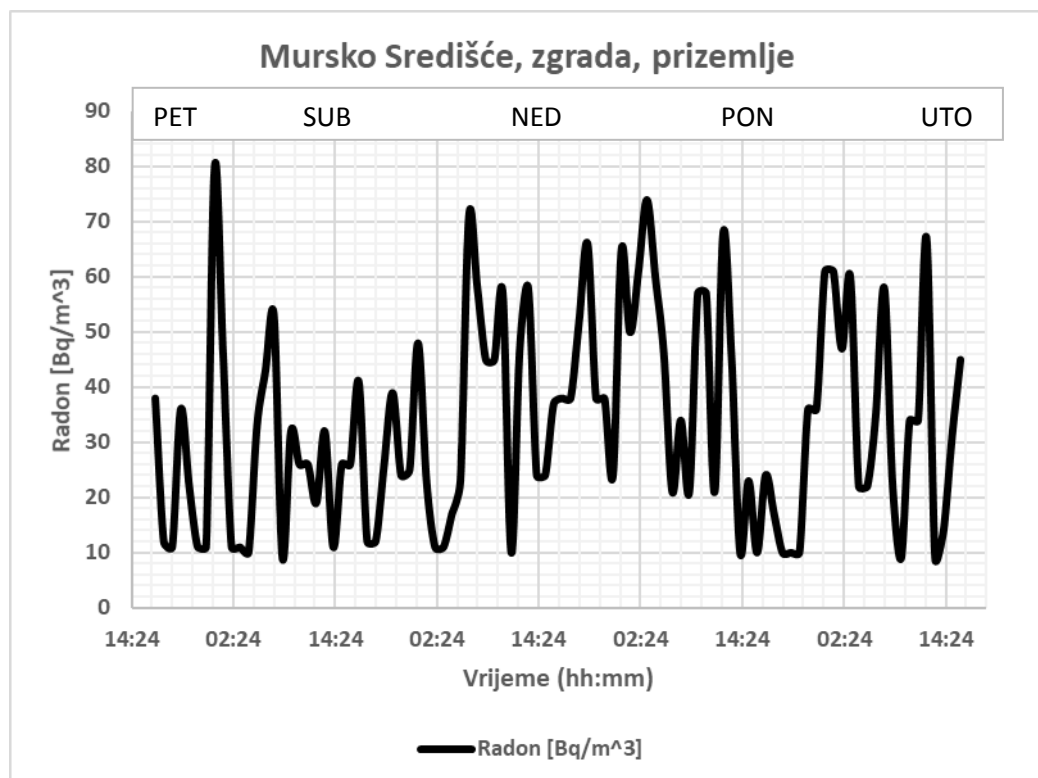


#### 4.1.13. LOKACIJA 13. - Mursko Središće

POSLOVNA ZGRADA, PRIZEMLJE: mjerenje je provedeno u prizemlju poslovne zgrade u Murskom Središću, u razdoblju 15.2.2019.–19.2.2019. U tablici 17 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Na slici 35 vidljivo je da vrijednosti koncentracije radona znatno variraju s obzirom da se radi o prostoru koji se često provjetrava.

**Tablica 17.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 13

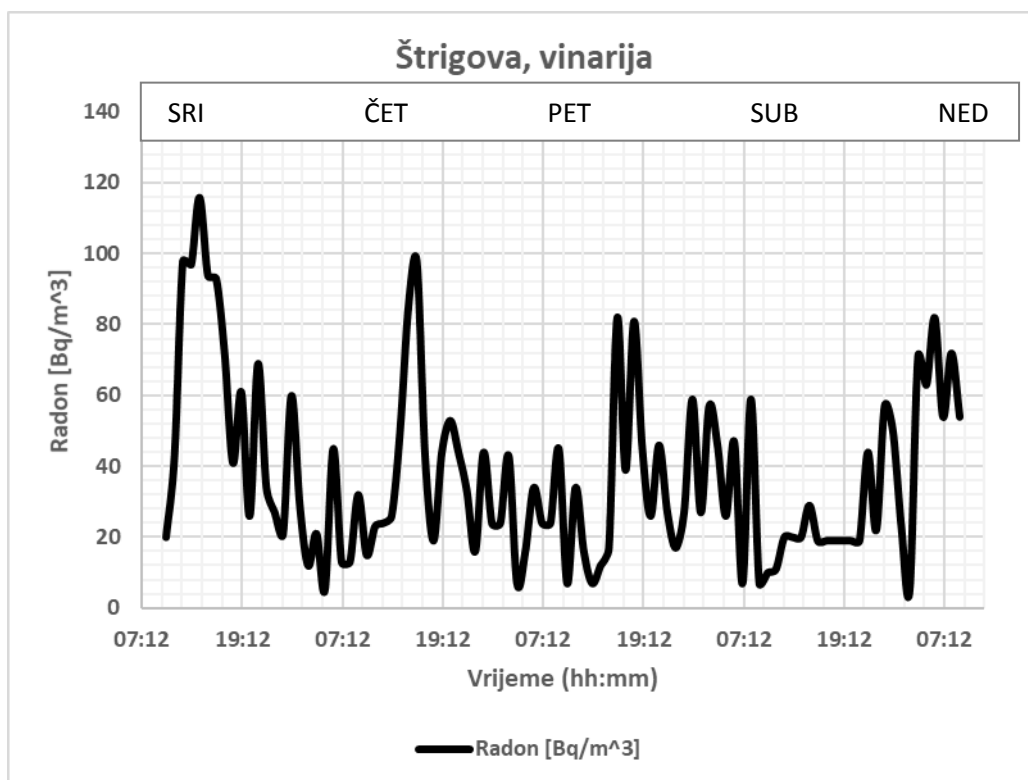
PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	9	80	33
Temperatura [°C]	13,2	16,6	14,2
Vlažnost [%]	42	66	51
Tlak [kPa]	97,8	101,51	99,86



**Slika 35.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 13

#### 4.1.14. LOKACIJA 14. – Štrigova

VINARIJA: mjerenje je provedeno u prostoru vinarije u Štrigovi u razdoblju 20.3.2019.–24.3.2019. Vrijednosti koncentracije radona prikazane su na slici 36. Prosječna vrijednost izmjerene koncentracije radona iznosi  $38 \text{ Bq/m}^3$ . Najviša izmjerena vrijednost iznosi  $116 \text{ Bq/m}^3$ , a najniža  $5 \text{ Bq/m}^3$ .



Slika 36. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 14

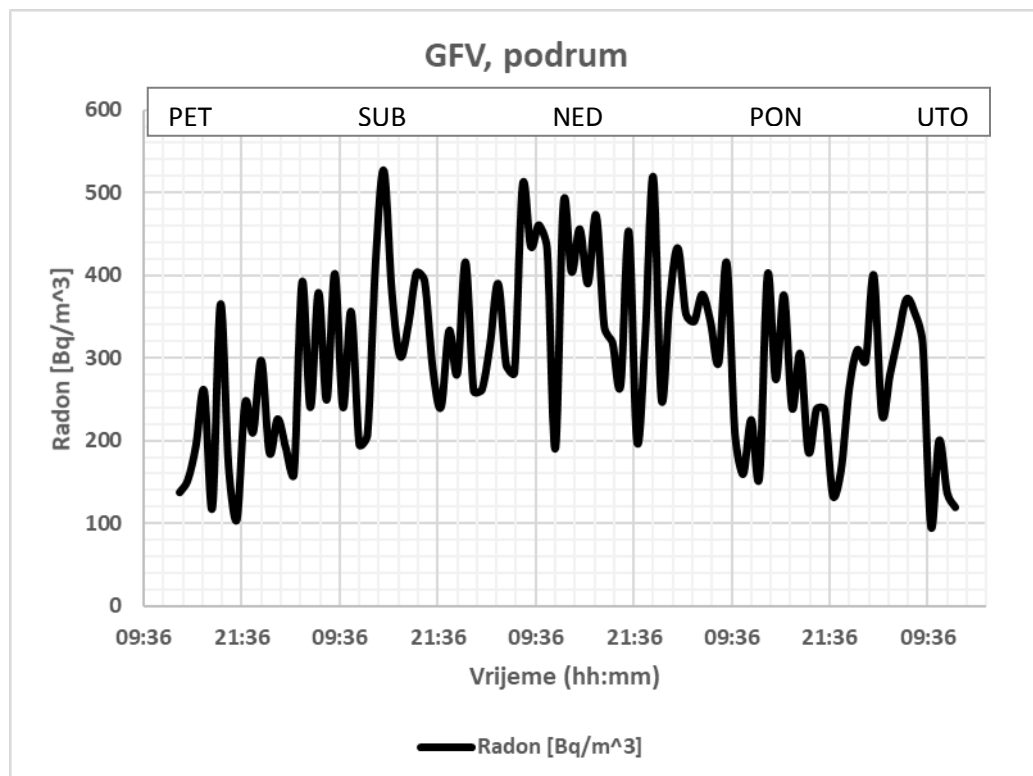
#### 4.1.15. LOKACIJA 15. – Varaždin 2 (Geotehnički fakultet)

a) GFV, PODRUM: mjerenje je provedeno u podrumu Geotehničkog fakulteta u razdoblju 20.7.2018.–24.7.2018. Prostor ima namjenu spremišta alata i specijalnih uređaja za geotehnička i geofizička mjerenja. U ovom prostoru primijećene su vrlo visoke koncentracije radona u usporedbi s ostalim lokacijama (slika 37). U tablici 18 prikazane su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti koncentracija radona, temperature, vlažnosti i atmosferskog tlaka. Iz tablice je vidljivo da je maksimalna vrijednost koncentracije radona izrazito visoka, dok je minimalna vrijednost i dalje viša od

prosječnih vrijednosti izmjerenih na drugim lokacijama. Za pretpostaviti je da je razlog većim vrijednostima koncentracije radona na ovoj lokaciji gotovo nikakva/slaba izolacija između podruma i temeljnog tla te duboki ukop temelja zgrade.

**Tablica 18.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15a)

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	96	527	298
Temperatura [°C]	20,6	21	20,8
Vlažnost [%]	68	72	69
Tlak [kPa]	99,1	99,61	99,33

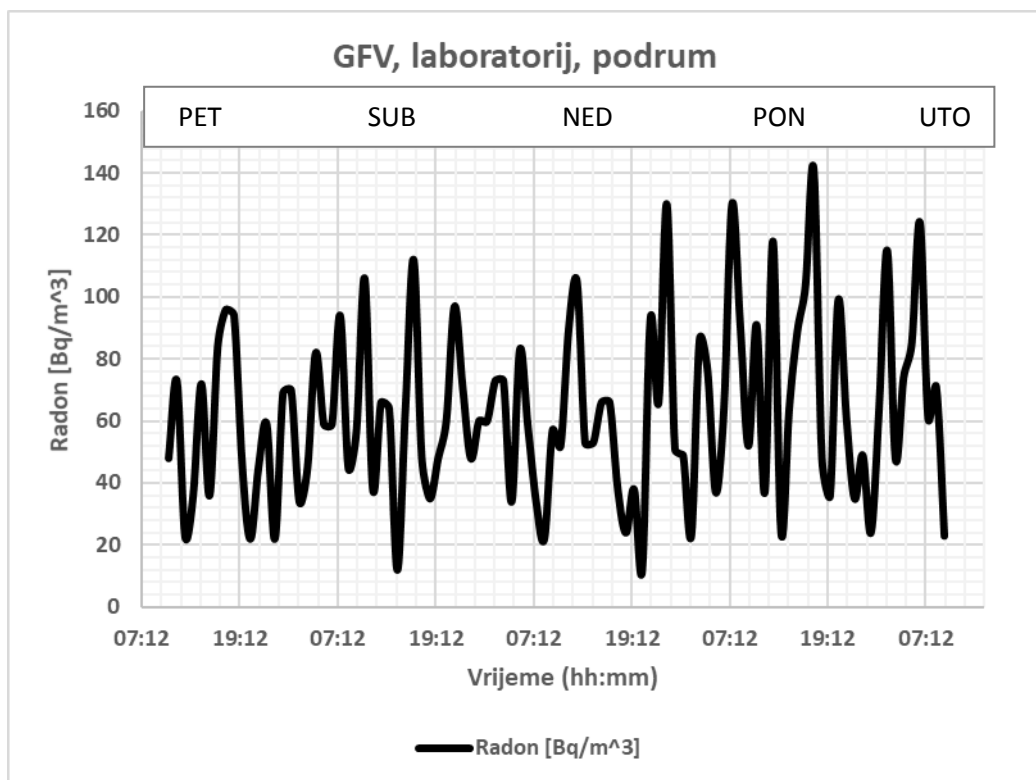


**Slika 37.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15a)

b) GFV, LABORATORIJ, PODRUM: mjerenje je provedeno u prostoru Laboratorija za inženjerstvo okoliša, u razdoblju 14.12.2018.–18.12.2018. Laboratorij je smješten u podrumu Geotehničkog fakulteta (na drugoj strani zgrade od lokacije 15a). Iz tablice 19 vidi se da su vrijednosti koncentracije radona povišene u odnosu na druge lokacije, međutim, još su uvijek dosta niže od vrijednosti izmjerenih u podrumu na lokaciji 15a). U ovaj prostor češće se ulazi i izlazi nego u prijašnje navedeni podrum (lokacija 15a), a i provjetravanje je puno bolje s obzirom na prozor u toj prostoriji.

**Tablica 19.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15b)

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	12	141	63
Temperatura [°C]	23,8	25,8	24,4
Vlažnost [%]	30	34	32
Tlak [kPa]	99,9	101,15	100,25

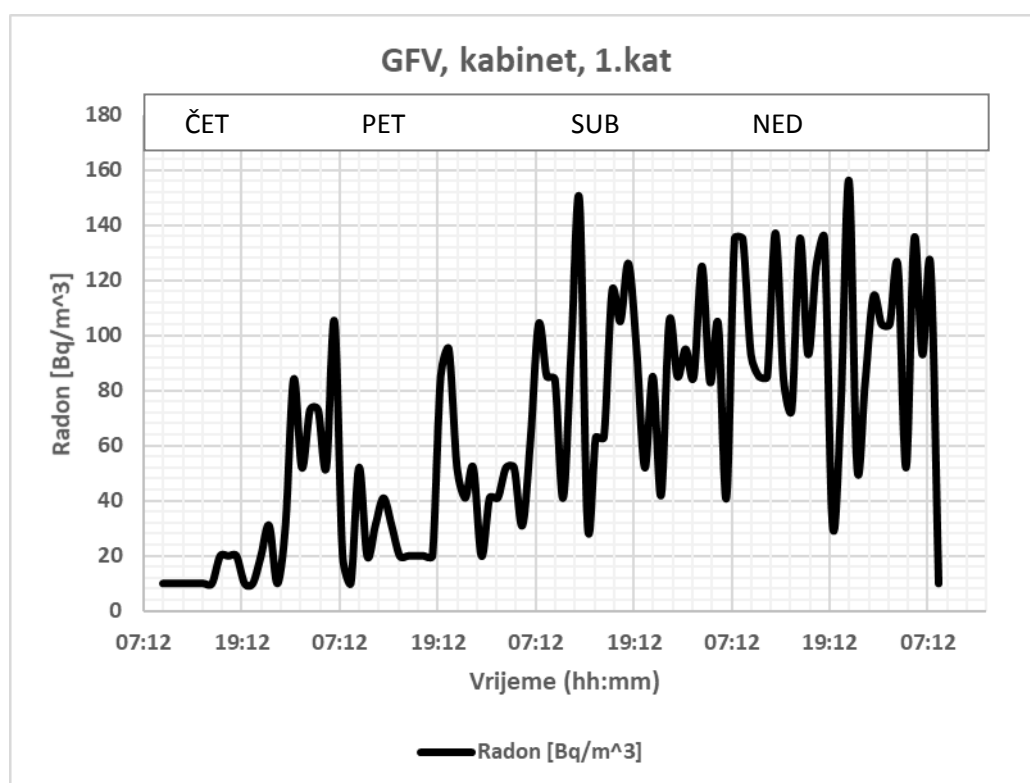


**Slika 38.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15b)

c) GFV, KABINET, 1.KAT: mjerenje je izvedeno na prvom katu Geotehničkog fakulteta u kabinetu, u razdoblju 25.7.2019.–29.7.2019. Iz tablice 20 je vidljivo da je prosjek vrijednosti koncentracije radona približno jednak vrijednostima na lokaciji 15b) (laboratorij u podrumu), ali znatno niži od izmjerenih vrijednosti na lokaciji 15a) (spremište u podrumu). Mjerenje je započelo u četvrtak ujutro te je vidljivo da su više koncentracije radona izmjerene u noćnim satima (u kabinetu nema nikoga) kao i tijekom vikenda. Veliki pad vrijednosti koncentracija radona zabilježen je u ponedjeljak ujutro kada dolazi do provjetravanja prostorija.

**Tablica 20.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15c)

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	10	156	65
Temperatura [°C]	24,8	30,8	27,3
Vlažnost [%]	46	62	54
Tlak [kPa]	98,0	100,49	99,46

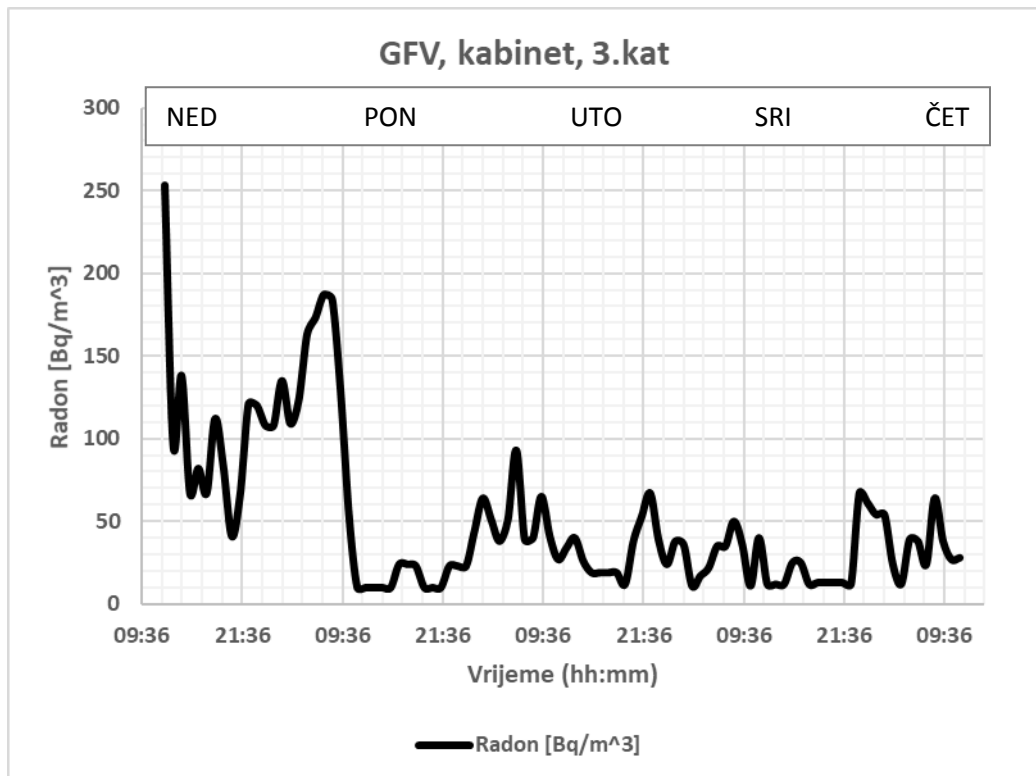


**Slika 39.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15c)

d) GFV, KABINET, 3.KAT: mjerenje je provedeno na trećem katu Geotehničkog fakulteta u kabinetu, u razdoblju 9.9.2018.–13.9.2018. Iz tablice 21 je vidljivo da je prosječna vrijednost koncentracije radona niža u odnosu na izmjerene koncentracije u prethodna tri mjerenja na istoj lokaciji (Geotehnički fakultet). Takav rezultat je i očekivan s obzirom da su mjerenja provedena na 3. katu koji je najviše udaljen od temeljnog tla. Vrijednosti koncentracije radona variraju tijekom radnog dana (jutro/poslijepodne/noć), slika 40.

**Tablica 21.** Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15d)

PODATAK	MIN.VRIJEDNOST	MAKS.VRIJEDNOST	PROSJEK
Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]	10	253	51
Temperatura [°C]	24,6	28	26,1
Vlažnost [%]	47	64	58
Tlak [kPa]	99,2	100,52	100,07



**Slika 40.** Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15d)

#### 4.2. Usporedba rezultata s prijašnjim istraživanjima

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da koncentracije radona variraju ovisno o lokacijama, danima te izmjeni dan-noć, ali se nalaze se u dozvoljenim granicama na većini lokacija. Samo je na lokaciji 15a) (GFV-podrum) izmjerena vrijednost koncentracije radona iznad 300 Bq/m<sup>3</sup> koja se smatra graničnom vrijednošću. U tablici 22 prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije radona za svaku lokaciju te maksimalno izmjerena koncentracija radona. Mjerenja su poredana od onog s najvišom prosječnom vrijednosti koncentracije radona prema najnižoj vrijednosti.

**Tablica 22.** Prosječne izmjerene vrijednosti koncentracije radona za pojedinu lokaciju

Mjerenje	Lokacija i prostorija	Prosječna vrijednost (Bq/m <sup>3</sup> )	Maksimalna izmjerena vrijednost
15a)	Varaždin, GFV, podrum	298	527
3)	Beletinec, vikendica, podrum	84	207
11)	Varaždin, zgrada, prizemlje	74	225
12)	Vinica, vikendica, prizemlje	71	232
15c)	Varaždin, GFV, 1.kat	65	156
15b)	Varaždin, GFV, podrum-laboratorij	63	141
15d)	Varaždin, GFV, 3. kat	51	253
2a)	Cargovec, kuća, podrum	48	126
1a)	Donje Ladanje, kuća, podrum	42	121
10)	Ivanec, zgrada,	40	152

	prizemlje		
8)	Nedelišće, kuća, podrum	40	137
6)	Čakovec 1, zgrada, prizemlje	39	198
5a)	Goričan, kuća, podrum	39	111
14)	Štrigova, vinarija	38	116
4)	Beletinec, kuća, podrum	37	143
2b)	Cargovec, kuća, 2.kat	34	91
13)	Mursko Središće, zgrada, prizemlje	33	80
7)	Čakovec 2, zgrada, prizemlje	30	125
1b)	Donje Ladanje, kuća, prizemlje	22	71
5b)	Goričan, kuća, 1.kat	20	56
9)	Ivanec, vikendica, podrum	18	56

Iz rezultata je vidljivo da vrijednost koncentracije radona na samo jednoj lokaciji (15a) značajno odstupa od dobivenih mjerenja na drugim lokacijama. Na lokaciji 15a) izmjerena je trostruko veća prosječna koncentracija radona u usporedbi s drugim lokacijama, kao i maksimalna izmjerena vrijednost koncentracije radona. Kao što je i ranije rečeno, mjerenja su na ovoj lokaciji provedena u podrumu, koji se vrlo slabo provjetrava. Visokoj vrijednosti koncentracije radona doprinosi i vrijednost najviše relativne vlažnosti (69 %) na istoj lokaciji u odnosu na ostale lokacije. Na lokaciji 15b), podrum-laboratorij, izolacija i provjetravanje su znatno bolji pa je koncentracija radona znatno niža.

Iz karte na slici 7 je vidljivo da su u ranijim istraživanjima Varaždinska i Međimurska županija označene kao županije s prosječnom vrijednosti koncentracije radona u zatvorenom prostoru od 50 do 100 Bq/m<sup>3</sup>. Ova vrijednost koncentracije radona je u skladu s dobivenim mjerenjima s obzirom



da je aritmetička sredina prosječnih vrijednosti koncentracije radona 56,48 Bq/m<sup>3</sup>. Iako bi za točniju interpretaciju dobivenih rezultata trebalo izvesti više mjerenja, tijekom dužeg vremenskog perioda i na različitim lokacijama, dobiveni rezultati su vrlo dobar pokazatelj stanja u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji. Može se zaključiti da je stanje na izmjerenim lokacijama prilično zadovoljavajuće, uz iznimku pojedinih lokacija.

Premda je prosjek vrijednosti koncentracije radona u zatvorenim prostorima u Republici Hrvatskoj oko 70 Bq/m<sup>3</sup> [3], vrijednosti u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji nešto su niže. Iako se smatra da su vrijednosti koncentracije radona manje od 300 Bq/m<sup>3</sup> u kućama prihvatljive, (toliko iznosi maksimalno referentna vrijednost u zemljama EU), dobiveni rezultati su zadovoljavajući. Kao što je vidljivo iz rezultata, koncentracija radona značajno se mijenja u vremenu, kako tijekom dana (ovisi o životnim navikama ljudi, a najčešće su najviše vrijednosti rano ujutro) tako i tijekom godine (više su zimi nego ljeti), a vrijednosti ovise i o tlaku, vlažnosti, padalinama, ali i o načinu gradnje.

## 5. ZAKLJUČAK

Radon je radioaktivni plemeniti plin te najviše doprinosi prirodnom zračenju na Zemlji. Na otvorenom prostoru, koncentracije radona su niske i neopasne za ljudsko zdravlje dok su zatvorenim prostorijama znaju biti povišene te kao takve i opasne. U Republici Hrvatskoj, odnosno u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji, na mjerenim lokacijama, većina kućanstava nije izložena previsokim vrijednostima koncentracije radona. S obzirom da najviše radona dolazi iz temeljenog tla, najviše koncentracije radona izmjerene su u podrumskim prostorijama na pojedinim lokacijama. Nadalje, izmjerene vrijednosti koncentracije radona u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji su zadovoljavajuće, odnosno ispod su maksimalno dozvoljene koncentracije koja iznosi  $300 \text{ Bq/m}^3$ .

## 6. LITERATURA

- [1] *Hrvatska enciklopedija: radon.* Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51552>. Datum pristupa: 22.5.2019.
- [2] Mostečak A, Perković D, Kapor F, Veinović Ž. Radon mapping in Croatia and its relation to geology. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. 2018. pp. 1-11, DOI: 10.1177/rgn.2018.3.1
- [3] *Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost: O radonu.* Dostupno na: <http://radon.dzrns.hr/o-radonu>. Datum pristupa: 22.5.2019.
- [4] Pajin, D.; Polak, V.; Simonović, S.; Stefanović, M.: *Radijacija: Doze, posledice, rizici.* Beograd: Nolit; 1985.
- [5] *Radioaktivni otpad: radioaktivnost.* Dostupno na: <https://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/>. Datum pristupa: 3.6.2019.
- [6] *Hrvatski leksikon: zračenje.* Dostupno na: <https://www.hrleksikon.info/definicija/zracenje.html>. Datum pristupa: 3.6.2019.
- [7] Krauskopf Konard B., Beiser A. *The physical universe*. 13. izd. New York: McGraw-Hill; 2010.
- [8] *Hrvatska enciklopedija: Radioaktivnost.* Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51474#poglavlje47335>. Datum pristupa: 7.7.2019.
- [9] *Proleksis enciklopedija: Torijev niz.* Dostupno na: <http://proleksis.lzmk.hr/54439/>. Datum pristupa: 7.7.2019.
- [10] F. Adrović: *Jonzirajuća zračenja u prirodi i zaštita od zračenja*, Skripta, Univerzitet u Tuzli, Prirodno – matematički fakultet, Tuzla, 2008.
- [11] Velagić, M. *Radioaktivnost radija u prirodnim vodama.* Diplomski rad. Zagreb. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. 2013.

- [12] *Kemijski riječnik: raspadni niz.* Dostupno na: <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=decay+series>. Datum pristupa: 7.7.2019.
- [13] *Proleksis enciklopedija: Uran – aktinijev niz.* Dostupno na: <http://proleksis.lzmk.hr/3071/>. Datum pristupa: 13.7.2019.
- [14] Radolić V, Vuković B, Stanić D, Katić M, Faj Z, Šuveljak B, Lukačević I, Faj D, Lukić M, Planinić J. National survey of indoor radon levels in Croatia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2006. 269
- [15] Gavran P. *Prostorna distribucija i vizualizacija koncentracije radona.* Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet. 2017.
- [16] *Residential radon. Gouvernement du Québec.* Dostupno na: <https://www.quebec.ca/en/homes-and-housing/healthy-living-environment/residential-radon/>. Datum pristupa: 15.7.2019.
- [17] Etiope G, Martinelli G. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: An overview. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2002. 129. 185–204
- [18] *World health organization: Radon and health.* Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>. Datum pristupa: 5.7.2019.
- [19] Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013
- [20] *Corentium Pro by Airthings.* Dostupno na: <https://www.airthings.com/en-us/pro>. Datum pristupa: 20.7.2019.

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Prodornost zračenja

Slika 2. Faktori rizika u različitim dijelovima tijela

Slika 3. Torijev raspadni niz

Slika 4. Uranijev raspadni niz

Slika 5. Izvori radijacije na Zemlji

Slika 6. Načini ulaska radona u kuću

Slika 7. Prosječne koncentracije radona u zatvorenim prostorijama u RH po županijama

Slika 8. Geološka karta RH

Slika 9. Županije s potencijalom za daljnja istraživanja koncentracija radona

Slika 10. Karta lokacija mjerenja

Slika 11. Uređaj Corentium Pro

Slika 12. Koncentracije radona u zraku na lokaciji 1a)

Slika 13. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 1a)

Slika 14. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 1b)

Slika 15. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 1b)

Slika 16. Tlak zraka na lokaciji 1b)

Slika 17. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 2a)

Slika 18. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 2b)

Slika 19. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 2b)

Slika 20. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 3

Slika 21. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 4

Slika 22. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 5a)

- Slika 23. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 5a)
- Slika 24. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 5b)
- Slika 25. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 6
- Slika 26. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 7
- Slika 27. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 7
- Slika 28. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 8
- Slika 29. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 9
- Slika 30. Vlažnost i temperatura zraka na lokaciji 9
- Slika 31. Tlak zraka na lokaciji 9
- Slika 32. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 10
- Slika 33. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 11
- Slika 34. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 12
- Slika 35. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 13
- Slika 36. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 14
- Slika 37. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15a)
- Slika 38. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15b)
- Slika 39. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15c)
- Slika 40. Izmjerene koncentracije radona u zraku na lokaciji 15d)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Radioaktivni raspadni nizovi

Tablica 2. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka (lokacija 1a)

Tablica 3. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 1b)

Tablica 4. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 2a)

Tablica 5. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 2b)

Tablica 6. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 3

Tablica 7. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 4

Tablica 8. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 5a)

Tablica 9. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 5b)

Tablica 10. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 6

Tablica 11. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 7

Tablica 12. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 8

Tablica 13. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 9

Tablica 14. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 10

Tablica 15. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 11

Tablica 16. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 12

Tablica 17. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 13

Tablica 18. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15a)

Tablica 19. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15b)

Tablica 20. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15c)

Tablica 21. Vrijednosti radona, temperature, vlažnosti i tlaka na lokaciji 15d)

Tablica 22. Prosječne izmjerene vrijednosti koncentracije radona za pojedinu lokaciju