

# Princip mjerenja radona iz različitih medija

---

**Dujmić, Matea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:749230>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-06**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**PRINCIP MJERENJA RADONA IZ RAZLIČITIH MEDIJA**

Završni rad

Matea Dujmić

G2229

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/75  
URBROJ: 251-70-15-22-2  
U Zagrebu, 14. 9. 2022.

Matea Dujmić, studentica


## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/75, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 28. 4. 2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### PRINCIP MJERENJA RADONA IZ RAZLIČITIH MEDIJA


Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

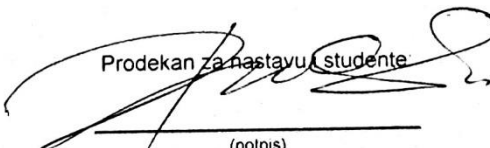
Izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković  
\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač  
\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu (studente)

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić  
\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

PRINCIP MJERENJA RADONA IZ RAZLIČITIH MEDIJA

Matea Dujmić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Ovaj rad se bavi pojavom radioaktivnog kemijskog elementa radona, u tlu, u vodi i u zatvorenim prostorijama. Ujedno, rad daje i prikaz rezultata mjerenja koncentracije radona u navedenim medijima. Rezultati su uspoređeni s graničnim vrijednostima kako bi se utvrdilo postoji li opasnost za ljudsko zdravlje.

Ključne riječi: Radon

Završni rad sadrži: 18 stranica, 14 slika i 22 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Marko Cvetković, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Marko Cvetković, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Iva Kolenković Močilac, docentica RGNF

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Marku Cvetkoviću, na pruženom znanju kroz studij te stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada.

Ovaj završni rad izrađen je u okviru projekta „RGN START – StručnA pRaksa za živoT“ (UP.03.1.1.04) opremom Laboratorija za spektrometriju.

Matea Dujmić

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POJAVA RADONA U PRIRODI .....	2
3. UTJECAJ RADONA NA LJUDSKO ZDRAVLJE .....	4
4. NAČINI IZVOĐENJA MJERENJA RADONA .....	7
5. PRIMJERI MJERENJA .....	8
5.1. Radon u zraku prostorija.....	8
5.2. Radon u vodi .....	9
5.3. Radon u tlu .....	11
5.4. Smanjenje izloženosti radonu .....	15
6. ZAKLJUČAK.....	16
7. LITERATURA .....	17

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Kemijski element radon (Encyclopedia Britannica. 2021.) .....	2
Slika 2-2. Raspadni lanac radona-226 (NIST. 2022.).....	3
Slika 3-1. Radon u ljudskom tijelu (BfS. 2022.) .....	4
Slika 3-2. Broj smrtnih slučajeva uzrokovanih radonom u usporedbi s ostalim uzročnicima smrti u Ujedinjenom Kraljevstvu. (UK Health Security Agency, 2022.).....	5
Slika 3-3. Procjena broja mortaliteta, 2010., Nacionalni institut za rak, Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER). .....	6
Slika 4-1. Detektor radona (Airthings, 2022.) .....	7
Slika 5-1. Radon u vodi (Radon Defense, 2022.).....	9
Slika 5-2. Primjer mjerenja koncentracije radona u vodi .....	10
Slika 5-3. Rezultati mjerenja koncentracije radona u vodi.....	10
Slika 5-4. Primjer utjecaja geoloških okolnosti te vrsta stijena i tla za preliminarno određivanje potencijala radona. (International Association of Certified Indoor Air Consultants, 2022.).....	11
Slika 5-5. RTM 2200 Soil Gas (SARAD. 2020.) .....	12
Slika 5-6. Rezultati mjerenja koncentracije radona u tlu.....	13
Slika 5-7. Primjer mjerenja koncentracije radona u tlu .....	14
Slika 5-8. Ventilacijske cijevi koje služe za odvod radona (Utah Radon Services, 2022.).	15

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$t$	s	vrijeme
$Bq$	-	radioaktivnost
-	$Bq/m^3$	koncentracija
-	pCi/L	koncentracija
-	WL	radna razina
$M$	$10^{-13} m^2$	permeabilnost
$T$	$^{\circ}C$	temperatura



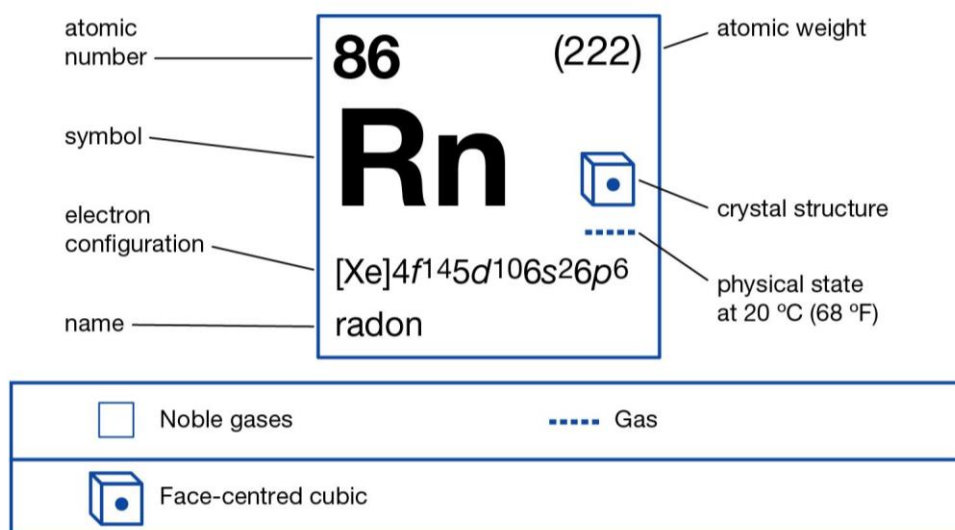
## **1. UVOD**

Radioaktivni kemijski element radon nalazi se svugdje oko nas. Svojom radioaktivnošću ostavlja utjecaj na ljudsko zdravlje. Stoga je cilj ovog rada obraditi principe mjerenja koncentracije radona u medijima u kojima postoji mogućnost njegova javljanja. Također, provedeno je terensko mjerenje na području Sisačko-moslavačke županije, točnije mjesta pod imenom Križ Hrastovečki. Mjerenjima u vodi i u tlu, određena je koncentracija radona prisutna u mjernome mediju.

Rad je podijeljen u sedam poglavlja. Započinje objašnjenjem pojave radona u prirodi, načinom na koji on nastaje i kakav utjecaj ostavlja na ljudsko zdravlje. Zatim se unutar rada obrađuju različiti mediji u kojima dolazi do pojave radona zajedno s načinima izvođenja mjerenja u zadanim medijima. Na kraju određenih poglavlja izneseni su postupci terenskim mjerenja koncentracije radona zajedno s dobivenim rezultatima.

## 2. POJAVA RADONA U PRIRODI

Ernest Rutherford i Robert B. Owens, 1899. godine na Sveučilištu McGill u Montrealu otkrivaju radon. Kemijski element sa simbolom Rn i atomskim brojem 86 (Slika 2-1.). Pri standardnoj temperaturi i tlaku spada među jedan od najgušćih plinova. Iako je slabo topiv u vodi, za razliku od ostalih lakših plemenitih plinova, bolje se otapa. Prema sposobnosti spajanja s drugim atomima kada tvori kemijske spojeve ili molekule, radon je član elemenata nulte valencije, tj. pripada skupini plemenitih plinova. Prema svojoj prirodi, nije jako kemijski reaktivan, no za kemijske reakcije poput izgaranja je inertan jer sadrži osam elektrona u vanjskoj valentnoj ljusci. Usporedno s ksenonom, elementom koji se nalazi jednu periodu ispred radona, radon je reaktivniji zbog niže elektronegativnosti.



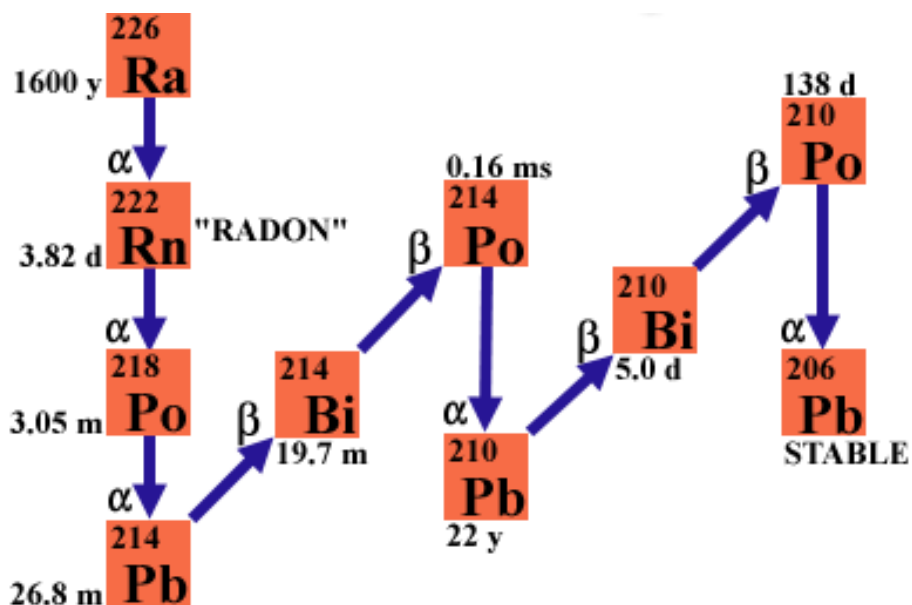
Slika 2-1. Kemijski element radon (Encyclopedia Britannica. 2021.)

Radon je plin koji se pojavljuje svuda u okolišu. Radioaktivni je plin bez boje i mirisa koji nastaje u nizu raspada uranija koji se po svojoj prirodi pojavljuje u stijenama i tlima. Pojavom uranija u tlu i građevinskom materijalu, radon koji nakon raspada nastane, odlazi iz tla u atmosferu i zgrade. Povećane koncentracije radona, moguće su u zgradama, zatvorenim prostorijama dok je na otvorenom koncentracija radona niska s obzirom da se radon miješa s okolnim zrakom.

Kao međuprodukt raspadnog lanca uranija-238, radon nastaje iz radija-226. Dio prirodnog lanca raspada čine izotopi aktinon (radon-219), toron (radon-220) i radon (radon-222). Izotopi radona nisu stabilni. Navedeni produkti su sami po sebi radioaktivni. Njihove se jezgre s vremenom zbog nestabilnosti raspadaju, emitirajući zračenje. Vrijeme

poluraspada radona je 3,8 dana (CCOHS, 2022). Tj. unutar četiri dana, bez obzira na razinu koncentracije radona, polovica količine radona raspala u produkte raspada. Krajnje produkte raspada čine polonij, bizmut i olovo (slika 2-2.) koji su također radioaktivni. Naime, njihovo vrijeme raspada je manje od poluraspada radona te iznosi svega nekoliko minuta. Njihovim raspadom, emitira se alfa zračenje koje oštećuje ljudsko tkivo i može dovesti do nastanka raka pluća.

Određene količine plina radona i radonske tvari prisutne su u tlu, vodi, zraku i zatvorenim prostorijama. Koncentracije radona variraju lokalno i regionalno; na primjer, visoke koncentracije radona javljaju se na područjima gdje su tla ili stijene bogate uranijem.



Slika 2-2. Raspadni lanac radona-226 (NIST. 2022.)

### 3. UTJECAJ RADONA NA LJUDSKO ZDRAVLJE

Radon je nevidljivi, radioaktivni plin bez boje i mirisa koji radioaktivnim raspadom kao kratkotrajne produkte raspada stvara izotope polonija, bizmuta i olova. U zraku se vežu za aerosol od koje nastaje „radioaktivna prašina“ koju svakodnevno udišemo (Slika 3-1.). Plinoviti radon se izdahne, no problem stvaraju polonij, bizmut i olovo koji ostaju zarobljeni u plućima gdje se nastavljaju raspadati i emitirati alfa čestice koje se apsorbiraju u plućna tkiva i uzrokuju oštećenja stanica, posebno genetskom materijala, DNA, što dovodi do nastanka raka pluća (BfS, 2022). Što je veća koncentracija radona u zraku koji udišemo i što ga dulje udišemo, to je veći rizik od raka pluća.

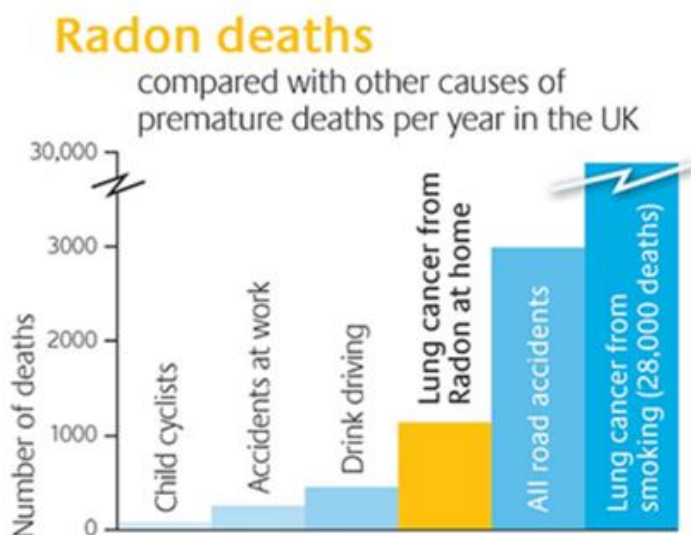


**Slika 3-1.** Radon u ljudskom tijelu (BfS, 2022.)

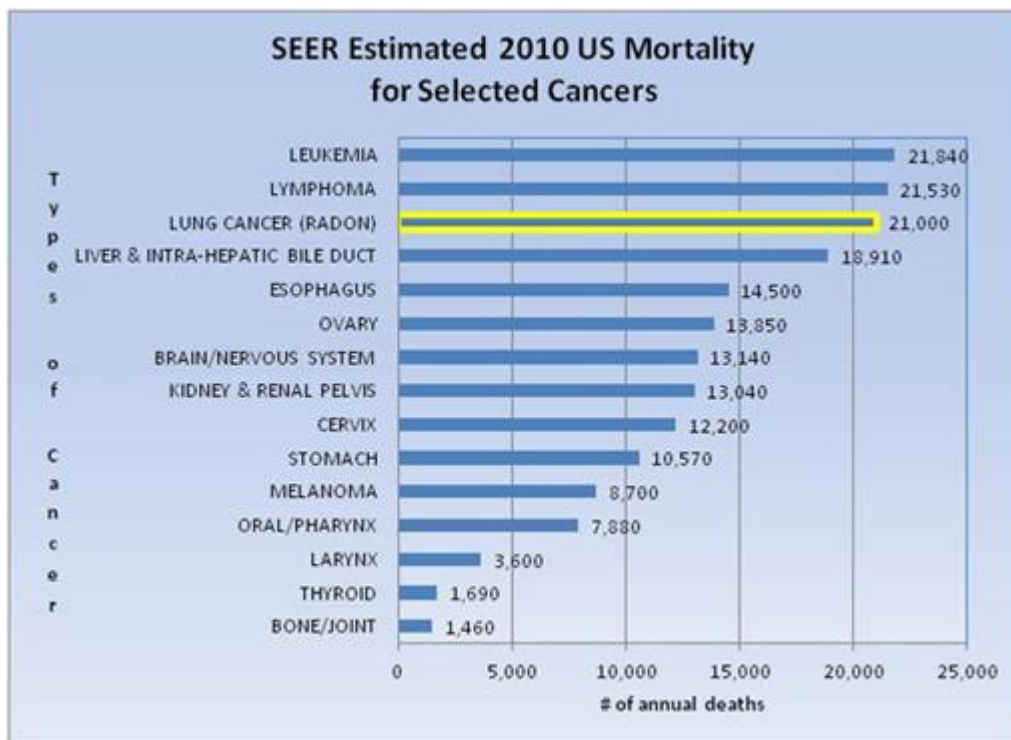
Malla Metallorum, bolest je pluća koja je ubila radnike u rudnicima metala Saske i Češke. Bolest je prvi put opisao Paracelsus 1531. godine. Godinama kasnije, uzrok smrti pripisan je udisanju prašine, koja je sadržavala različite kemijske elemente među kojima je Marie Curie 1898. izolirala radij i polonij (Clegg, 1966). Dugo se sumnjalo na štetnost radona po zdravlje rudara, ali se toj temi nije pridavala posebna pažnja, dok znanstvenici 60-ih godina 20.stoljeća nisu počeli povezivati utjecaj izloženosti rudara u podzemnim rudnicima s utjecajem radona na ljudsko zdravlje u zatvorenim prostorijama. Nakon toga, na temelju različitih istraživanja provedenih od strane raznih svjetskih organizacija utvrđena je, odnosno potvrđena štetnost radona na ljudsko zdravlje. Uzevši za primjer, rezultati istraživanja koje je proveo njemački Savezni ured za zaštitu od radijacije (Bundesamt für Strahlenschutz - BfS) pokazali su da se oko 5% svih smrti od raka pluća u Njemačkoj može pripisati radonu. Također, za svakih 100 bekerela po kubnom metru

dugotrajne koncentracije radona u zraku prostorije povećava se rizik od raka pluća za 16% (BfS, 2022).

Prema studijama financiranim od strane Cancer Research UK i Europske komisije, radon uzrokuje više od 1100 smrti godišnje u Ujedinjenom Kraljevstvu (Slika 3-2.), (UK Health Security Agency, 2022.). Prema procjenama Američke agencije za zaštitu okoliša (United States Environmental Protection Agency – US EPA) radon je uzročnik smrti za otprilike oko 21.000 Amerikanaca svake godine. Poslije pušenja, na visokom drugom mjestu našao se radon koji uzrokuje rak pluća, kako među pušačima tako i među nepušačima. (US EPA, 2022). Bivši glavni kirurg Službe javnog zdravstva Sjedinjenih Država Richard H. Carmona objavio je Nacionalni zdravstveni savjet o radonu, potičući stanovnike SAD-a da testiraju svoje domove kako bi saznali kolike koncentracije radona udišu te naglasio da je problem oko radona potrebno riješiti ukoliko je razina radona 4 pCi/L ili više (US EPA, 2022). Također, 2005. godine Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) je s ciljem smanjenja stope raka pluća pokrenula međunarodni radon projekt kako bi ljude osvijestili o djelovanju radona na ljudsko zdravlje (WHO, 2005). Godine 2010. Program američkog Nacionalnog instituta za rak pod nazivom Nadzor, epidemiologija i krajnji rezultati (Surveillance, Epidemiology, and End Results - SEER) provodi istraživanje i dolazi do istih prethodno navedenih zaključaka gdje radon poslije leukemije i raka limfnih čvorova uzrokuje smrtnost kod gotovo 21.000 stanovnika (slika 3-3; EPA, 2022).



**Slika 3-2.** Broj smrtnih slučajeva uzrokovanih radonom u usporedbi s ostalim uzročnicima smrti u Ujedinjenom Kraljevstvu. (UK Health Security Agency, 2022.)



**Slika 3-3.** Procjena broja mortaliteta, 2010., Nacionalni institut za rak, Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER).

#### 4. NAČINI IZVOĐENJA MJERENJA RADONA

Koncentracija radona u zraku mjeri se u jedinicama pikocurie po litri (pCi/L) ili becquerelima po kubnom metru ( $\text{Bq/m}^3$ ).  $1 \text{ pCi/L} = 37 \text{ Bq/m}^3$ . Mjera potencijalne energije alfa čestica po litri zraka, tj. koncentracija potomaka radona izražena je u jedinicama radne razine (WL). Jedan WL jednak je 200 pCi/L u većinu slučajeva, no u ekstremima (stanju potpune ravnoteže) jedan WL iznosi 100 pCi/L (CCOHS, 2022).

Za mjerenje koncentracije radona postoje specijalizirani uređaji koji detektiraju radon (Slika 4-1.). Naime, to su digitalni detektori koji dnevna, tjedna, mjesečna mjerenja prikazuju na digitalnom zaslonu. Takvi uređaju u principu nisu skupi. Pošto koncentracije radona nisu stalne, već variraju, potrebno je provoditi dugoročna mjerenja. S obzirom na utjecaj vremenskih uvjeta, razine radona su maksimalne tijekom najhladnijeg dana kada su razlike u tlaku najveće. Dugotrajnim mjerenjem očekuju se rezultati između 4 i 10 pCi/L.



**Slika 4-1.** Detektor radona (Airthings, 2022.)

## 5. PRIMJERI MJERENJA

U ovom poglavlju bit će riječ o prisutnosti i primjerima mjerenja radona u zraku prostorija, u vodi, u tlu te o načinima kako smanjiti izloženost radonu. U okviru potpoglavlja „Radon u vodi“ i „Radon u tlu“ biti će izneseni postupci mjerenja na terenu kao i dobiveni rezultati.

### 5.1. Radon u zraku prostorija

Prisutnošću uranija u tlu i stijenama i njegovim radioaktivnim raspadom javlja se radon. Radioaktivni plin iz podzemlja ulazi u atmosferu, ali i u zatvorene prostore (zgrade). Zgrade novije gradnje sadrže manje koncentracije radona nego starije zbog modificiranog načina gradnje. Naime, danas se grade zgrade s ventilacijskim sustavima za odvodnju radona jer dugoročna izloženost radonu uzrokuje rak pluća. No, sve počinje od količine radona u samom podzemlju. Na primjer, ukoliko je u podzemlju očitana koncentracija od  $100.000 \text{ Bq/m}^3$ , tada se u oko 10 do 50 posto zgrade mogu izmjeriti koncentracije od oko  $100 \text{ Bq/m}^3$  (BfS, 2022). Širenje radona iz tla u zgrade ovisiti će i o vrsti podloge na kojoj je zgrada izgrađena. Rahlo i propusno tlo, na primjer pjeskovito tlo, pridonijet će lakšem širenju radona. Uzevši u obzir da je radon plin, promjene atmosferskog tlaka utjecat će na njegovo kretanje iz tla prema površini. Također, imat će utjecaj i na njegovo nakupljanje u zraku zatvorenih prostorija. Iako betonski pod i zidovi usporavaju kretanje radona, radon se širi među pukotinama u podu, spojevima zidnih ploča i sustavu odvodnje. Koncentracija radona na otvorenom je manja nego u zatvorenim prostorima, jer na otvorenom dolazi do miješanja radona sa zrakom. Mjerenje koncentracije radona u zatvorenom prostoru je neophodno radi pronalaska zgrada koje sadrže povećane razine radona. Mjerenje je potrebno provoditi dugoročno zbog bolje preciznosti rezultata.

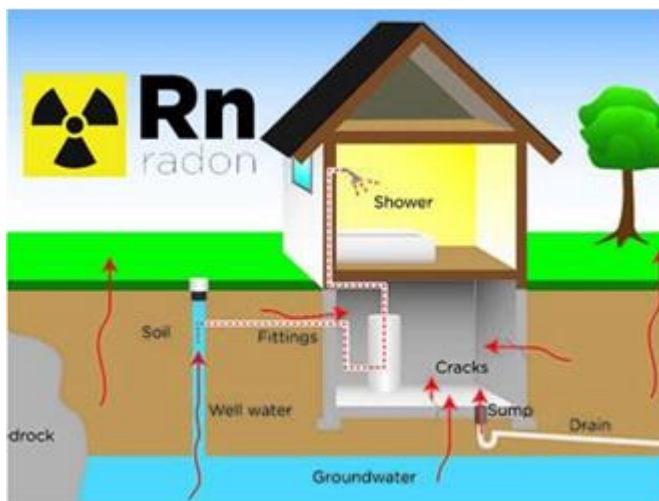
Razina radona u zatvorenim prostorima mjeri se uzorkovanjem zraka i alfa dozimetrijom pomoću dozimetara. Prihvatljiva koncentracija radona u zatvorenim prostorijama je  $200 \text{ Bq/m}^3$  (CCOHS, 2022).

Mjerenje radona pomoću detektora radona je jednostavno i sigurno. Pošto količina radona varira tijekom vremena i od prostorije do prostorije, test, tj. mjerenje izloženosti radonu unutar prostorije potrebno je provoditi kroz tri mjeseca.



## 5.2. Radon u vodi

Radioaktivni kemijski element, bez boje i mirisa, radon, nalazi se svuda oko nas. To podrazumijeva i njegovu prisutnost u vodi, u kojoj se lako otapa. S obzirom na njegovu topljivost u vodi, u zatvorene prostorije, na primjer zgrade, može dospjeti putem vodovodnih cijevi. Korištenjem vode u kućanstvu, u svrhu kuhanja i tuširanja, dolazi do oslobađanja radona i do njegova radioaktivna raspada unutar zatvorenih prostorija (Slika 5-1.). Koncentracije radona u vodi za piće na području Njemačke, prema istraživanju Saveznog ureda za zaštitu od zračenja, spadaju unutar dozvoljenih granica (BfS, 2022). No, nije svugdje u svijetu tako. Stoga je potrebno provesti istraživanja i mjerenja udjela radona u vodi namijenjenoj korištenju radi određivanja njene ispravnosti. Voda koja sadrži koncentraciju radona manju od 100 Bq/l smatra se ispravnom za konzumaciju. Naime, postoje mjere koje se poduzimaju kako bi se ograničile koncentracije radona u vodi za piće; miješanje vode koja sadrži radon s vodom koja sadrži manje radona iz drugih izvora te takozvanim "prozračivanjem" vode kisikom. Metoda se provodi upuhivanjem velike koncentracije kisika u vodene bazene s ciljem uklanjanja kako radona, tako i željeza i mangana iz vode (BfS, 2022).



Slika 5-1. Radon u vodi (Radon Defense, 2022.)

Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost RH u sklopu Akcijskog plana za radon za razdoblje 2019. – 2024. (NN 118/2018) navodi sljedeće: „Dosadašnja provedena mjerenja (u posljednje 3 godine) u zonama opskrbe koje u Republici Hrvatskoj opskrbljuju najmanje 10 000 ljudi, pokazuju da su koncentracije aktivnosti radona niske i da su uglavnom red veličine ispod vrijednosti parametarske vrijednosti koja je 100 Bq l<sup>-1</sup>.

Akcijska razina za smanjenje koncentracije radona u vodi iznosi  $1000 \text{ Bq l}^{-1}$ .“ Dakle, navedeni rezultati poklapaju se s mjerenjima provedenim na području Sisačko-moslavačke županije, dana 30. ožujka 2020. godine za potrebe izrade završnog rada. Na terenu je mjerena koncentracija radona iz lokalnog izvora (Slika 5-2.). Provedena su četiri ciklusa po tri mjerenja od kojih uzimamo srednju dobivenu vrijednost. Senzori koji detektiraju radon rade na principu alfa spektrometrije. Temperatura uzorkovane vode bila je  $11^\circ\text{C}$ , dok je mineralizacija iznosila 321 ppm. Na uzorku je izmjerena koncentracija radona od  $7,738 \text{ Bq/l}$ . Na kraju provedenog mjerenja, zaključeno je da je koncentracija radona u vodi niža od propisane maksimalne dopuštene količine (Slika 5-3.)



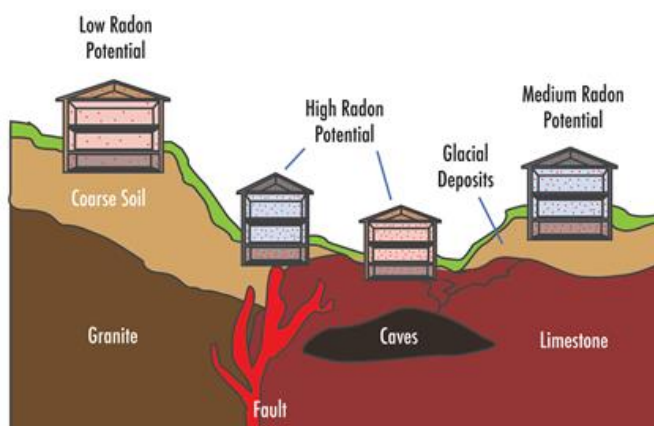
**Slika 5-2.** Primjer mjerenja koncentracije radona u vodi



**Slika 5-3.** Rezultati mjerenja koncentracije radona u vodi

### 5.3. Radon u tlu

Prisutnošću uranija u tlu i stijenama te njegovim radioaktivnim raspadom nastaje radij. Raspadom radija dobiva se radon čije širenje kroz tlo ovisi o propusnosti tla te vremenskim uvjetima. Što je tlo propusnije za plin, veći je utjecaj vremenskih uvjeta. U pore tla i stijena otpušta se radon. Koncentracije radona u tlu su veće što je veća prisutnost urana u tlu. Dalje se radon s ostalim plinovima iz tla otpušta u atmosferu. Kao što je već spomenuto da vremenski uvjeti utječu na koncentracije radona u tlu, to podrazumijeva dubinu tla do jednog metra. Naime, porastom tlaka zraka raste koncentracija radona u tlu jer atmosferski tlak pritišće zrak iz atmosfere koji se nalazi u porama tla i stijena što rezultira težim izlaskom zraka koji sadrži radon van tla. Stoga, zrak koji sadrži radon ostaje "zarobljen" unutar tla. Padom tlaka zraka, dolazi do oslobađanja veće koncentracije radona. Isti slučaj je kada su pore tla i stijene ispunjene vodom ili smrznute uslijed kiše, snijega ili mraza gdje će također zrak koji sadrži radon teže izaći iz tla. Spram tla do dubine jednog metra, u dubljim slojevima koncentracija radona je stabilna, upravo zbog 1600 godina koliko traje poluživot radija čijim se raspadom dobiva radon u tlu. Pošto je širenje, tj. kretanje radona kroz tlo povezano s propusnošću tla, što je više pukotina i praznina u tlu, radon se lakše širi. Na primjer, povećane koncentracije radona u tlu mogu se očekivati kod pukotina, geoloških rasjeda koji osiguravaju putove za vodu, vodu u kojoj je otopljen radon (Slika 5-4.). Također, na granici dviju vrsta stijena ili pak kod slijeganja prema navodima njemačkog Saveznog intituta za zaštitu od radijacije (Bundesamt für Strahlenschutz) mogu se očekivati povećane koncentracije radona u tlu (BfS, 2022).

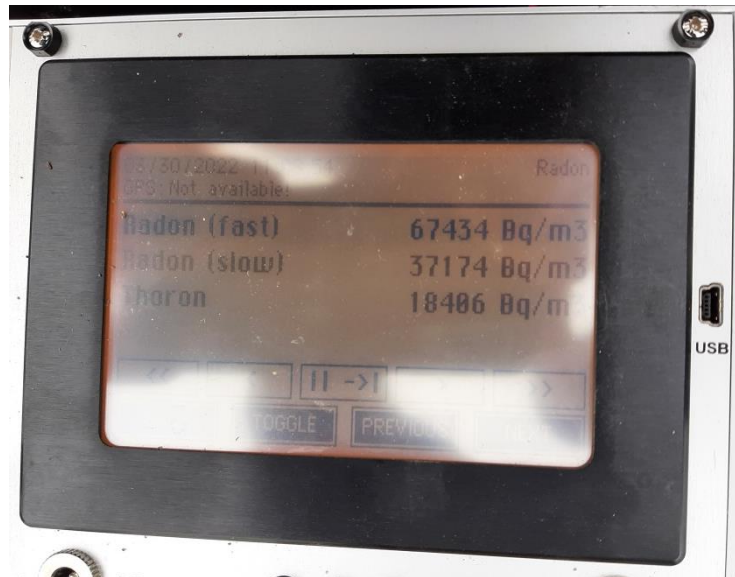


**Slika 5-4.** Primjer utjecaja geoloških okolnosti te vrsta stijena i tla za preliminarno određivanje potencijala radona. (International Association of Certified Indoor Air Consultants, 2022.)

Mjerenje koncentracije radona u tlu potrebno je za identifikaciju područja na kojima postoji mogućnost povišene koncentracije radona u tlu. S tim ciljem, dana 30. ožujka 2022. godine na lokaciji Križ Hrastovečki u blizini rasjeda koji je 29. prosinca uzrokovao potres na području Petrinje i okolice, provedena su mjerenja. Mjerenja su provedena uređajem RTM 2200 Soil Gas (Slika 5-5.); monitorom za mjerenje radona/torona plina iz tla. Uređaj služi za brzo, točno i sigurno mjerenje radona u zraku u tlu (DIN EN ISO 11665-11) (SARAD, 2020). Mjerenje uključuje određivanje propusnosti tla i ispiranje mjerne komore svježim zrakom na kraju mjerenja. Ukoliko dođe do prodora vode, pumpa se isključuje. Mjerenje se temelji na alfa spektroskopiji na mjernom području gdje prisutnost GPS prijammnika olakšava lociranje mjerenja. Također, softver koji sadrži uređaj omogućuje prikaz svih prikupljenih podataka i njihov izvoz u obliku CSV i KML datoteke. Mjerenje koncentracije radona u tlu (Slike 5-7.) započelo je postavljanjem šipke sa šiljastim jednokratnim vrhom u tlo. Šiljasti vrh ostaje u tlu nakon svakog mjerenja, on sprječava ulazak tla u šipku te ga se nakon postavljanja šipke izbija kako bi se stvorio filter. Zatim se u zaštitnu šipku postavlja manja šipka i laganim lupkanjem čekića izbija se šiljasti vrh te se šipka postavlja na poziciju za mjerenje. Potom se uređaj za mjerenje povezuje sa šipkom silikonskim cijevima. Ciklus jednog mjerenja traje 20 minuta. Ciklus je ponovljen 3 do 4 puta. Na kraju mjerenja dobiven je rezultat (Slike 5-6.) od  $67,434 \text{ Bq/m}^3$  što uz propusnost od  $0,67 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  spada u srednju kategoriju rizika prema radon indeksu (Barnet i dr., 2008).



**Slika 5-5.** RTM 2200 Soil Gas (SARAD, 2020.)



Slika 5-6. Rezultati mjerenja koncentracije radona u tlu

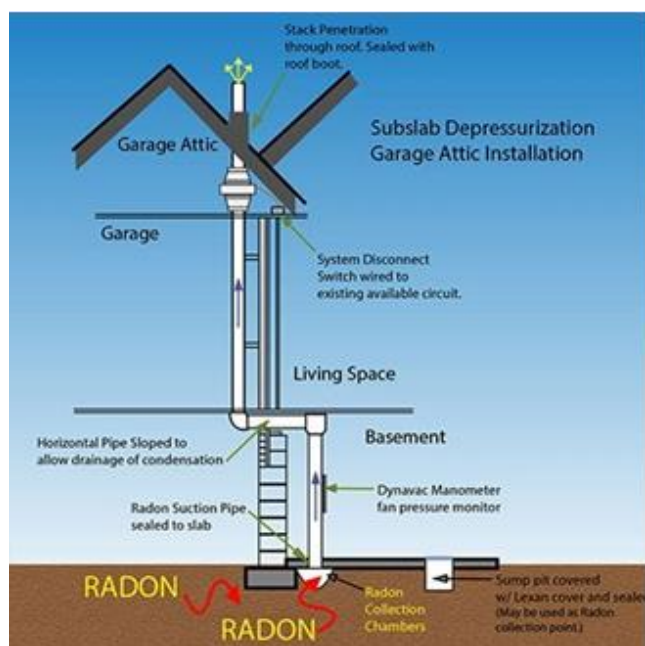




**Slika 5-7.** Primjer mjerenja koncentracije radona u tlu

## 5.4. Smanjenje izloženosti radonu

Koncentracije radona u količinama iznad dopuštenih štetne su za ljudsko zdravlje. Poslije pušenja, spadaju pod jedan od glavnih uzročnika raka pluća od kojeg ljudi umiru. Stoga, s ciljem poboljšavanja načina i uvjeta života na zemlji, postoje razne zaštitne mjere koje se provede kako bi se smanjila izloženost radonu u zatvorenim prostorima. Prema Akcijskom planu za radon (NN 118/2018) koji provodi Republika Hrvatska, točnije Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, zaštitne mjere obuhvaćaju: „1. često i intenzivno provjetravanje prostora u kojima se boravi; 2. brtvljenje svih prolaza/pukotina između tla i zgrade (cijevi, kabeli, pumpe za sustave grijanja itd.), između podruma (ako postoji) i zgrade (uključujući i ulazno stepenište i vrata) te osiguravanje kvalitetne ventilacije prostora (ukoliko takav sustav postoji); 3. posebne zaštitne mjere koje uključuju dodatno i instalaciju/postavljanje vodonepropusne barijere (radonskog štita); 4. opsežne mjere zaštite uključuju dodatno i instalaciju/postavljanje sustava za drenažu radona ispod ploče propusnog sloja.“ Izbjegavanje transporta radona iz podrum u ostale dijelove kuće, poboljšanje ventilacije kuća (slika 5-8.), instalacija sustava radonske jame, jedni su od načina smanjenja koncentracije radona. No, najčešće korištena metoda je metoda smanjenja tlaka ispod ploče. Metoda funkcionira na način da se kroz podrumsku podlogu postavljaju cijevi koje vode do vanjskog zida ili krova, gdje mali ventilator uvlači radon ispod kuće i ispušta prije nego li on uđe u ostatak kuće.



Slika 5-8. Ventilacijske cijevi koje služe za odvod radona (Utah Radon Services, 2022.)

## 6. ZAKLJUČAK

Radon je kemijski element bez boje, okusa i mirisa. Svojom radioaktivnošću ima utjecaj na ljudsko zdravlje. Pošto je dugoročno izlaganje radonu štetno, postoji razina koncentracije radona koja je dopuštena. Za vodu ona iznosi 100 Bq/l, dok je prihvatljiva koncentracija radona u zatvorenim prostorijama 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Terenska mjerenja provedena su na području Sisačko-moslavačke županije, točnije u rasjednom području. Mjerenja su izvedena pomoću RTM 2200 Soil Gas uređaja, monitora za mjerenja radona/torona plina iz tla gdje su dobiveni rezultati od 67,434 Bq/m<sup>3</sup> što uz propusnost od  $0,67 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  spada u srednju kategoriju rizika prema radon indeksu (Barnet i dr., 2008). Dok je u vodi temperature 11 °C i mineralizacije od 321 ppm izmjerena koncentracija radona od 7,738 Bq/l. Temperatura uzorkovane vode iznosila je,. Razine koncentracije aktivnosti radona na istraživanom lokalitetu Križ Hrastovečki kod mjerenja u tlu i u vodi bile su unutar granica prihvatljivosti.



## 7. LITERATURA

- AIRTHINGS. 2022. URL: <https://www.airthings.com/home>(16.08.2022.)
- AMERICAN CANCER SOCIETY, 2022. *Radon and Cancer*. URL: <https://www.cancer.org/healthy/cancer-causes/radiation-exposure/radon.html> (09.08.2022.)
- BARNET, I., PACHEROVA, P., NEZNAL, M. 2008. *Radon in geological environment-Czech experience*. Prague; Czech Geological Survey.; ISBN 978-80-7075-707-9. (28.07.2022.)
- BfS. 2021. *How radon affects health*. URL: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/effects/effects.html> ( 22.08.2022.)
- BfS. 2021. *Outdoor radon*. URL: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/occurrence/outdoor.html> (25.08.2022.)
- BfS. 2021. *Radon in buildings*. URL: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/occurrence/buildings.html> (24.08.2022.)
- BfS. 2021. *Radon in drinking water*. URL: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/occurrence/drinking-water.html> (14.08.2022.)
- BfS. 2021. *Radon in the soil*. URL: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/occurrence/soil.html>(22.08.2022.)
- BfS. 2021. *What is radon?* URL: [https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/introduction/introduction\\_node.html](https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/introduction/introduction_node.html) (23.08.2022.)
- BfS. 2021. *Where does radon occur?* URL: [https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/occurrence/occurrence\\_node.html](https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/occurrence/occurrence_node.html) (24.08.2022.)
- CCOHS. 2022. *Radon in Buildings*. URL: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/radon.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/radon.html) (24.08.2022.)
- CLEGG, H. 1966. *Mala Metallorum*. British Medical Journal (16.08.2022.)
- ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2021. *Radon*. URL: <https://www.britannica.com/science/radon> (23.08.2022.)

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CERTIFIED INDOOR AIR CONSULTANTS. 2022. *Radon potential*. URL: <https://iac2.org/radon-potential/>(22.08.2022.)

NARODNE NOVINE br. 118/2918. *Akcijski plan za radon za razdoblje 2019. – 2024*. Zagreb: Narodne novine d.d. (08.08.2022.)

NIST. 2022. *Radium-226 Decay Chain*. URL: <https://www.nist.gov/image-23773> (13.08.2022.)

RADON DEFENS. 2022. *Radon in water*. URL: <https://radondefenseva.com/radon-mitigation/radon-in-water/> (14.08.2022.)

SARAD. 2020. *RTM 2200 Soil Gas*. URL: [https://www.sarad.de/product-detail.php?p\\_ID=106&cat\\_ID=1](https://www.sarad.de/product-detail.php?p_ID=106&cat_ID=1) (28.07.2022.)

UK HEALTH SECURITY AGENCY. 2022. *Measuring radon*. URL: <https://www.ukradon.org/information/measuringradon> (16.08.2022.)

US EPA. 2022. *Health Risk of Radon*. URL: <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon> ( 22.08.2022.)

UTAH RADON SERVICES. 2022. *How To Reduce Radon Levels In Your Home*. URL: <https://www.utahradonservices.com/how-to-reduce-radon-levels-in-your-home/>(26.08.2022.)

WHO. 2005. *WHO launches project to minimize risks of radon*. URL: <https://www.who.int/news/item/21-06-2005-who-launches-project-to-minimize-risks-of-radon> (17.08.2022.)