



KONCENTRACIJA RADONA V PROSTORIH NA GORIŠKEM

(Raziskovalna naloga, interdisciplinarno področje: fizika in kemija)

Mentorica: Janina Žorž

Somentorica: prof. dr. Janja Vaupotič

Avtorji: Žiga Maver Roldo, Timotej Rebek, Anej Vitez

Nova Gorica, šolsko leto 2021/2022 in 2022/2023

ZAHVALA

Zahvaljujemo se zunanji mentorici prof. dr. Janji Vaupotič za vse nasvete, navodila, popravke, razlage, pomoč pri interpretaciji rezultatov ter ostalo strokovno pomoč pri pisanju raziskovalne naloge. Prav tako se zahvaljujemo Institutu "Jožef Stefan", ki nam je posodil meritnike koncentracije radona ter vsem prostovoljcem, ki so bili pripravljeni sprejeti meritnik v svoj dom ter nam tako pomagali pridobiti podatke za nalogo. Posebno se zahvaljujemo profesorju fizike, Miranu Tratniku, pri katerem smo opravljali tudi dodatne meritve, ki so trajale skoraj mesec dni. Hvala tudi šolski mentorici Janini Žorž.

Zahvala gre tudi našim staršem, ki nas podpirajo.

POVZETEK

V teoretičnem delu naloge smo raziskali kaj radon je, njegove vplive na zdravje, kaj vpliva na njegovo koncentracijo ter kako le-to v stavbah zmanjšati, oz. kako preprečiti vstop radona v stavbe. V raziskovalnem delu naloge smo z instrumenti, ki smo si jih izposodili na Institutu "Jožef Stefan", kontinuirno merili koncentracijo radona v stavbah na Goriškem (meritve so potekale po dva dneva v vsaki stavbi). Nato pa smo meritev ponovili v stavbi, v kateri smo našli povišano koncentracijo radona. Tokrat je meritev potekala 28 dni, s ciljem raziskati vpliv zračenja na koncentracijo radona.

ABSTRACT

The theoretical part of the thesis explores what radon is, its effects on health, what contributes to radon concentration and how to reduce its concentration in buildings, as well as how to prevent radon from entering the buildings. In the research part of the thesis, instruments were used, lent by the Jožef Stefan Institute, to measure radon concentrations in different buildings in Nova Gorica and the surrounding area. Continuous radon monitoring was conducted in each of the buildings for two days. Subsequently, an additional measurement was performed in the building where elevated levels of radon concentration were found. In this case, the measurement was performed for a duration of 28 days. Finally, the effect of ventilation on radon concentrations was tested, using the data that was gathered with the extended measurements.

KLJUČNE BESEDE

Radon, radioaktivnost, meritve, stanovanja, zračenje

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA.....	2
POVZETEK.....	3
ABSTRACT	3
KLJUČNE BESEDE	3
KAZALO SLIK.....	5
KAZALO TABEL.....	5
KAZALO GRAFOV	5
1 UVOD	7
2 TEORETIČNI DEL.....	8
2.1 RADIOAKTIVNOST.....	8
2.2 OSNOVNE LASTNOSTI RADONA	9
2.3 POTOVANJE RADONA.....	10
2.3.1 EMANACIJA.....	10
2.3.2 MIGRACIJA.....	11
2.3.3 EKSHALACIJA.....	11
2.4 RADON V ZRAKU V ZAPRTIH PROSTORIH	11
2.5 PREPREČEVANJE VSTOPA RADONA V STAVBE IN ZMANJŠEVANJE NJEGOVE KONCENTRACIJE V OBSTOJEČIH OBJEKTIH	13
2.6 VPLIV RADONA NA ZDRAVJE:	15
2.7 MERILNE TEHNIKE	15
2.8 HIPOTEZE:	16
3 EKSPERIMENTALNI DEL NALOGE.....	17
3.1 METODE RAZISKOVANJA:.....	17
3.2 LOKACIJE MERJENJA	18
3.3 GEOGRAFSKI PODATKI MERILNEGA OBMOČJA.....	18
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	20
4.1 KONCENTRACIJE RADONA V STAVbah NA GORIŠKEM	20
4.2 GRAFIČEN PRIKAZ KONTINuirnega POTEKA KONCENTRACIJE RADONA V STAVbah	20
4.2.1 STAVBE Z NATANČNEJŠIM OPISOM ČASOVNEGA POTEKA KONCENTRACIJE RADONA	20
4.2.2 STAVBE S SPLOŠNIM OPISOM ČASOVNEGA POTEKA KONCENTRACIJE RADONA	26
4.2.3 DODATNE MERITVE KONCENTRACIJE RADONA V STAVBI 20.....	32
4.3 PRIMERJAVA KONCENTRACIJ RADONA GLEDE NA NADSTROPJE, V KATEREM SMO MERILI	37
4.4 PRIMERJAVA KONCENTRACIJE RADONA GLEDE NA VRSTO OBJEKTA.....	38
5 ZAKLJUČEK	39
5.1 OVREDNOTENJE HIPOTEZ IN SKLEP	39

5 VIRI IN LITERATURA	40
7 VIRI SLIK	42
8 PRILOGE	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Radioaktivni razpadi alfa in beta ter preobrazba gama (od zgoraj navzdol) (Radioaktivnost-sevanje in okolje).....	8
Slika 2: Razpadna vrsta urana (^{238}U) (povzeto po Ferfolja, 2019)	10
Slika 3: Zemljevid koncentracij radona v domovih v Evropi (EC, 2021).....	12
Slika 4: Zemljevid koncentracij radona v zraku vrtcev in šol v Sloveniji (Vaupotič and Gregorič, 2013)	13
Slika 5: Radonski zemljevid Slovenije z razredi tveganja za izpostavljenost radonu v stavbah po občinah (Vaupotič and Gregorič, 2017).....	13
Slika 6: Lokacije merjenja (zemljevid Primorske) (Primorske novice, 2019)	18

KAZALO TABEL

Tabela 1: Podatki o merilnih mestih in stavbah	19
Tabela 2: Vpliv zračenja na koncentracijo radona.....	37
Tabela 3: Povprečna koncentracija radona s standardnim odklonom glede na nadstropje merilnega mesta.....	38
Tabela 4: Povprečna koncentracija radona s standardnim odklonom glede na vrsto objekta, v katerem smo merili.....	38

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Povprečne, maksimalne in minimalne koncentracije radona v naključno izbranih stavbah na Goriškem	20
Graf 2: Koncentracija radona v polkleti stanovanjske hiše v vasi Imenje v Goriških brdih v času od 21. do 23.1.2022.....	21
Graf 3: Koncentracija radona v počitniški hiši v Kostanjevici na Krasu v času od 26. do 28.1.2022	22
Graf 4: Koncentracija radona v dnevni sobi stanovanjske hiše v Kanalu v času od 27. do 31.1.2022 ..	23
Graf 5: Koncentracija radona v kabinetu Gimnazije Nova Gorica v času od 24. do 26.1.2022	24
Graf 6: Koncentracija radona na hodniku stanovanjske hiše v Solkanu v času od 28. do 30.1.2022....	25
Graf 7: Koncentracija radona v dnevni sobi v stanovanjskem bloku v Novi Gorici v času od 1. do 4.2.2022.....	26
Graf 8: Koncentracija radona v stavbi 1	27
Graf 9: Koncentracija radona v stavbi 3	27
Graf 10: Koncentracija radona v stavbi 5	27
Graf 11: Koncentracija radona v stavbi 6	28
Graf 12: Koncentracija radona v stavbi 7	28
Graf 13: Koncentracija radona v stavbi 8	28
Graf 14: Koncentracija radona v stavbi 9	29
Graf 15: Koncentracija radona v stavbi 10	29

Graf 16: Koncentracija radona v stavbi 11	29
Graf 17: Koncentracija radona v stavbi 12	30
Graf 18: Koncentracija radona v stavbi 13	30
Graf 19: Koncentracija radona v stavbi 14	30
Graf 20: Koncentracija radona v stavbi 16	31
Graf 21: Koncentracija radona v stavbi 17	31
Graf 22: Koncentracija radona v stavbi 19	31
Graf 23: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 24.6.....	33
Graf 24: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 24.6.....	33
Graf 25: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 25.6. do 1.7.....	34
Graf 26: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 25.6. do 1.7.....	34
Graf 27: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 2.7. do 8.7.....	35
Graf 28: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 2.7. do 8.7.....	35
Graf 29: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 9.7. do 15.7.....	36
Graf 30: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 9.7. do 15.7.....	36
Graf 31: Grafi 24, 26, 28 in 30 (Koncentracija radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 15.7.2022)	43
Graf 32: Grafi 23 , 25, 27 in 29 (Koncentracija radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 15.7.2022)	44

1 UVOD

V zadnjem času se veliko govorí o onesnaženosti zraka, predvsem z vidika človekovih dejavnosti, kot so na primer promet in industrija. Te spuščajo v ozračje snovi, ki so strupene živim bitjem in snovi, ki vplivajo na naš planet (toplogredni plini in učinek tople grede). Zaradi velikega razvoja in porasta prebivalstva so ti dejavniki toliko izrazitejši, zato se jim posveča veliko pozornosti. Vendar pa ob vseh različnih virih nevarnih snovi, ki se pojavljajo in razširjajo po našem planetu, pozabljamo na nevarne snovi, ki so prisotne že dalj časa in niso v velikem porastu zaradi hitrega razvoja in rasti prebivalstva. Takšna snov je na primer radioaktivni žlahtni plin radon, ki se lahko kopiči v naših stanovanjih.

Radon naravno izhaja iz zemeljske skorje in človek na to nima vpliva, zato nanj mnogokrat pozabimo, ko govorimo o nevarnih snoveh v zraku. Lahko bi rekli, da se z večanjem pozornosti drugim nevarnim snovem v zraku, manjša pozornost namenjena radonu. Posledica tega je majhna ozaveščenost ljudi o radonu, njegovem nastanku in nevarnostih, ki jih predstavlja.

V nalogi smo se tako žeeli poučiti prav o radonu, njegovem nastanku ter potovanju in o nevarnostih, ki nam jih predstavlja. V eksperimentalnem delu smo najprej žeeli ugotoviti koncentracije radona v stavbah na našem območju, ki sicer ne spada med tvegana območja, in ali koncentracije radona presegajo mejne vrednosti. V drugem delu pa nas je zanimala učinkovitost zračenja, ki predstavlja najpreprostejšo zaščito proti radonu v stavbah. Tako smo v stavbi, v kateri smo našli najvišjo koncentracijo radona, ponovili meritev in preizkusili različne režime zračenja ter opazovali njihov vpliv na koncentracijo radona.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 RADIOAKTIVNOST

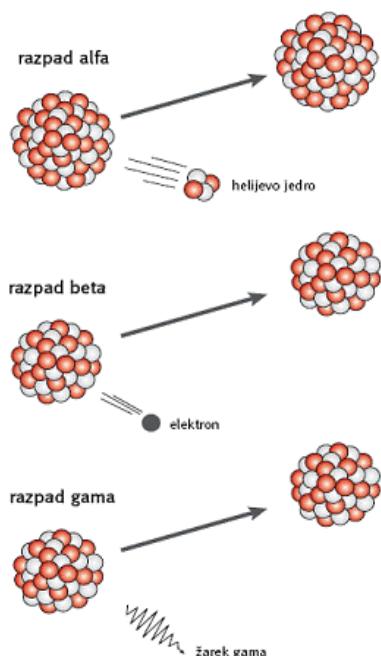
Radioaktivnost je spontan proces, pri katerem se nestabilno jedro atoma nekega elementa zaradi presežka energije pretvori (razpade) v bolj stabilno jedro atoma drugega elementa; pri tem se sproščajo delci alfa, beta in sevanje gama (Vaupotič and Kobal, 2008).

Sevanje alfa tvorijo delci alfa – helijeva jedra, sestavljena iz dveh protonov in dveh nevronov, z masnim številom 4 in vrstnim številom 2. Po radioaktivnem razpadu alfa ima jedro atoma novonastalega elementa nižje masno in vrstno število, kot ga je imelo jedro atoma elementa iz katerega je nastal. Kljub visoki energiji delcev alfa, sevanje alfa v večini primerov ni nevarno, saj v zraku lahko prepotuje le nekaj centimetrov od izvora in ga lahko zaustavi že list pisarniškega papirja (Šutar, 2014).

Sevanje beta predstavlja dve vrsti delcev – elektron (beta minus) in pozitron (beta plus). V primeru, ko se iz jedra atoma pri razpadu izseva elektron, se vrstno število elementa poveča za ena, saj se en nevron spremeni v proton. Ko se izseva pozitron, se vrstno število elementa zmanjša za ena, saj se en proton preobrazi v nevron. Masno število se v obeh primerih ne spremeni (Vaupotič and Kobal, 2008). To sevanje lahko po zraku od izvora prepotuje nekaj metrov, zaustavimo pa ga lahko s tanjšo plastjo kovine, kot je na primer aluminij (Šutar, 2014).

Sevanje gama je elektromagnetno valovanje – fotoni. Pri gama preobrazbi samo jedro atoma ne razpade, edino spremembo predstavlja znižanje energije. To sevanje najpogosteje sledi alfa in beta razpadu, če so nova jedra v vzbujenem stanju in z izsevanjem fotona oddajo presežek energije. Sevanje gama je zelo prodorno, zaustavimo ga le z debelo plastjo snovi z visokim atomskim številom (konc periodnega sistema elementov). Najpogosteje se v ta namen uporablja svinec (Šutar, 2014).

Radioaktivni razpadi so shematsko prikazani na sliki 1.



Slika 1: Radioaktivni razpadi alfa in beta ter preobrazba gama (od zgoraj navzdol) (Radioaktivnost-sevanje in okolje)

Hitrost zmanjševanja števila jeder (N), torej odvod dN/dt , imenujemo aktivnost (A), ki je proporcionalna številu N (Šutar, 2014):

$$A = -dN/dt = \lambda N$$

kjer je λ konstanta proporcionalnosti, imenovana razpadna konstanta, ki ima enoto recipročnega časa (s^{-1} , min^{-1} , h^{-1} itd).

Aktivnost A ima enoto Bq (Becquerel) [$1\text{Bq} = 1\text{ razpad/s}$].

Če v zgornji enačbi uredimo količine, dobimo:

$$dN/N = -\lambda dt$$

Z integracijo in antilogaritmiziranjem lahko izpeljemo enačbo za izračun števila preostalih jeder (N) iz prvotnega števila jeder (N_0) v izbranem času (t):

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Hitrost razpada lahko izrazimo z razpolovnim časom ($t_{1/2}$), ki nam pove v kolikšnem času razpade polovica prvotnega števila jeder. V enačbo za izračun števila jeder vstavimo podatke za polovico prvotnega števila jeder (Šutar, 2014):

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda t}$$

Obe strani enačbe delimo z N_0 in nato logaritmiramo:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t$$

Izpostavimo t, ki je v tem primeru enak razpolovnemu času ($t_{1/2}$) in dobimo enačbo za njegov izračun:

$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

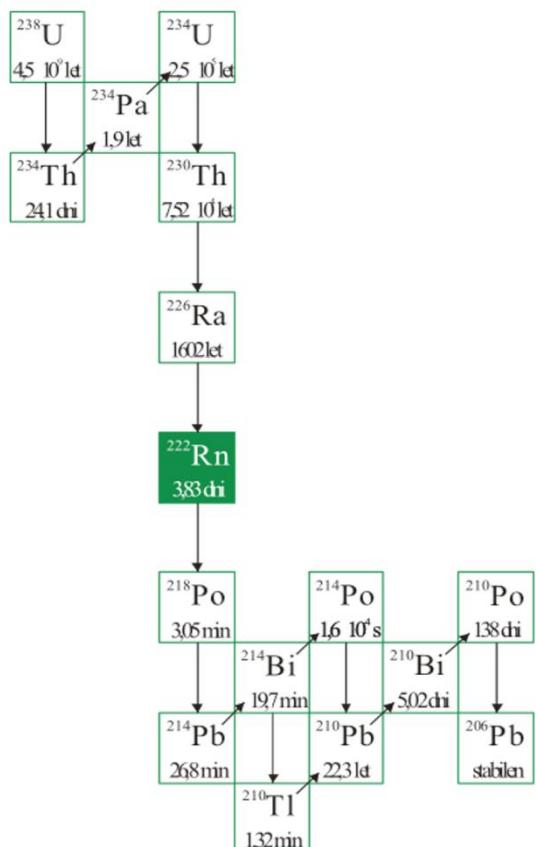
2.2 OSNOVNE LASTNOSTI RADONA

Radon je kemični element s simbolom Rn. Njegovo atomsko število je 86. V periodnem sistemu elementov ga najdemo v 6. periodi in VIII. skupini, uvrščamo ga med žlahtne pline. Pri normalnih pogojih ima tališče pri -71°C , vrelišče pa pri -65°C . Z gostoto $9,96\text{ g/l}$ ga uvrščamo med najtežje pline. Je brez vonja in barve (Abram et al., 1984).

Radon (Rn) je radioaktivien, v naravi nastaja kot vmesni produkt razpada urana (U) in torija (Th) v razpadnih vrstah urana (^{238}U), aktinija (^{235}U) in torija (^{232}Th). V vseh treh razpadnih vrstah nastaja iz radija (Ra) z razpadom α in je edini plinast element v razpadni vrsti. Med vsemi radonovimi izotopi so pomembni trije: radon (^{222}Rn) iz uranove (^{238}U), toron (^{220}Rn) iz torijeve (^{232}Th) in aktinon (^{219}Rn) iz aktinijeve (^{235}U) razpadne vrste (Vaupotič and Kobal, 2008).

Od vseh izotopov radona je najbolj stabilen ^{222}Rn z razpolovno dobo 3,8 dni. ^{222}Rn razпадa v naslednje kratkožive produkte: polonij (^{218}Po , ^{214}Po ; α), svinec (^{214}Pb ; β/γ), bizmut (^{214}Bi ; β/γ) (Vaupotič and Kobal, 2008).

Na sliki 2 je prikazana razpadna vrsta ^{238}U .



Slika 2: Razpadna vrsta urana (^{238}U) (povzeto po Ferfolja, 2019)

2.3 POTOVANJE RADONA

Ko radon nastane v zemeljski skorji, z emanacijo izhaja iz kamnine v prostor med zrnji, od tod pa dalje potuje (migrira) proti površju, kjer izhaja (ekshalira) v ozračje. Raven koncentracije aktivnosti radona v okolju je odvisna od omenjenih procesov (emanacije, migracije in ekshalacije), na katere vplivajo geokemijski in geofizikalni parametri (Gorenc, 2018).

2.3.1 EMANACIJA

Le majhen delež radona uspe zapustiti kamnino, v kateri nastane, in preide v prostor med zrnji (talni zrak, voda). Ta delež imenujemo emanacijski koeficient ali emanacijska moč, in v večini primerov ima vrednost med 0,05 in 0,70. Razdalja, ki jo po nastanku zaradi odrivne energije lahko prepotuje radon, je v kamninah običajno med 20 in 70 nm (Gorenc, 2018).

Na emanacijo radona vplivajo:

- Vsebnost urana v kamninah
- Sestava, prepustnost in vlažnost kamnin
- Razporeditev atomov radija v zrnu kamnine – ni nujno enakomerna, več ko jih je na

- robu zrna, v bližini por ali razpok, več radona bo po nastanku lahko zapustilo kamnino
- Velikost zrn kamnine – če kamnino sestavljajo manjša zrna, imajo ta večjo površino in zato radon laže izhaja
(Leban, 2013).

2.3.2 MIGRACIJA

Radon potuje proti površju na dva načina, z difuzijo in z advekcijo. V procesu difuzije se atomi radona gibljejo v porah med zrnici (talni zrak ali voda) z gradientom koncentracije. Z advekcijo potujejo atomi radona skozi pore pod vplivom gradijeta tlaka. V manj prepustnih tleh je gibanje radona omejeno bolj na difuzijo, v bolj prepustnih tleh pa na advekcijo, ki poteka predvsem s pomočjo nosilnih plinov (porni fluidi) (Ishimori et al., 2013).

Na migracijo radona v obeh procesih vplivajo:

- Prisotnost pornih fluidov (voda, ogljikov dioksid, metan, ...)
- Tektonske in seizmične značilnosti tal
- Temperatura
- Tlak

Koncentracijo aktivnosti radona v talnem zraku izražamo običajno v Bq/m^3 , v vodi pa v Bq/l (Leban, 2013).

2.3.3 EKSHALACIJA

Ko pripotuje radon do površja, se ga del sprosti v ozračje. Pojav izhajanja radona iz tal na površje se imenuje ekshalacija (Ishimori et al., 2013; Hassan et al., 2009).

Na ekshalacijo radona vplivajo:

- Vsebnost radona v talnem zraku
- Poroznost tal
- Hidrometeorološki dejavniki

Ekshalacijo radona običajno izražamo v enoti ($\text{Bq}/\text{m}^2\text{s}$) (Leban, 2013).

V nadaljevanju se bomo osredotočili na izotop ^{222}Rn , ki smo ga merili v naši raziskavi.

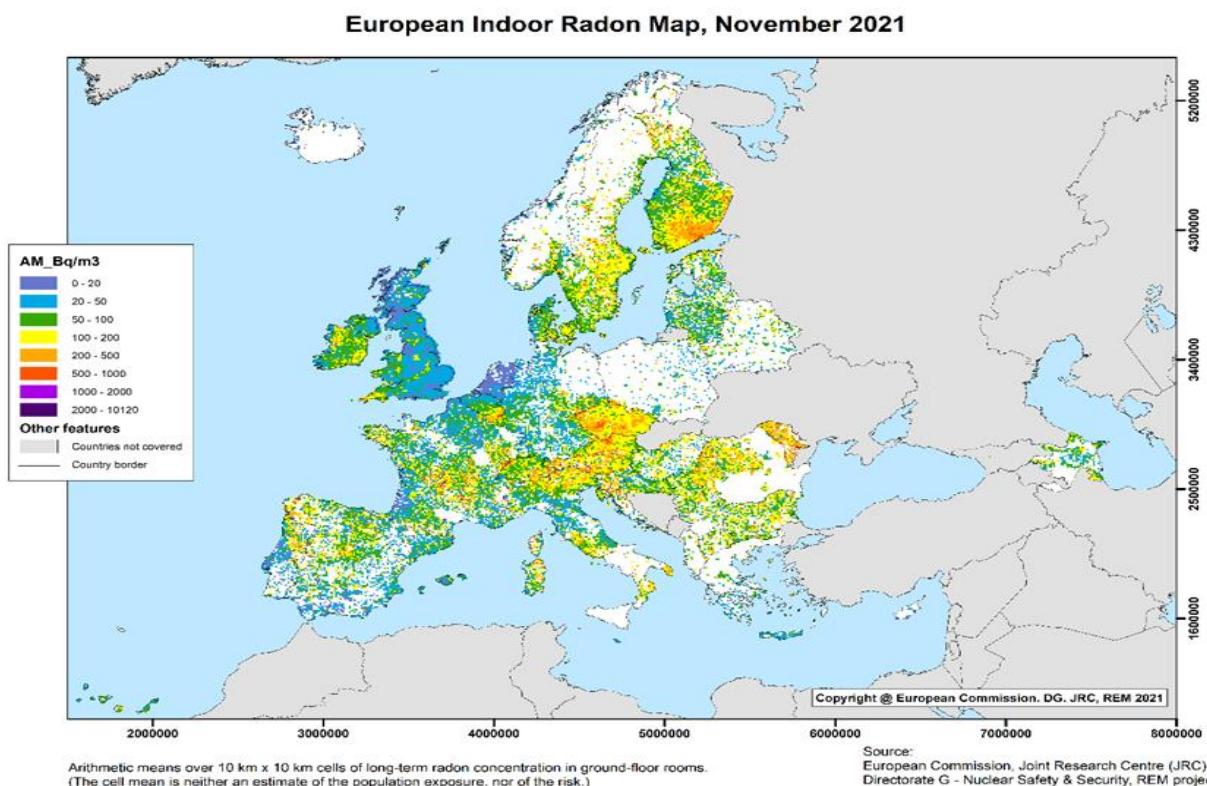
2.4 RADON V ZRAKU V ZAPRTIH PROSTORIH

Ob idealnih pogojih bi se v zraku vzpostavilo radioaktivno ravnotežje med plinom ^{222}Rn (Rn) in njegovimi trdnimi kratkoživimi razpadnimi produkti (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi in ^{214}Po). Ti so v zraku prisotni sprva kot pozitivni prosti ioni, ki hitro reagirajo z molekulami zraka in vode in tvorijo skupke – nevezani radonovi razpadni produkti (do 10 nm), kasneje pa se jih velik del pritrdi na aerosole – vezani radonovi razpadni produkti (200 do 800 nm). Ker ima radon drugačne lastnosti kot njegovi produkti, se to ravnotežje skoraj nikoli ne vzpostavi. Stopnjo ravnotežja izrazimo z ravnotežnim faktorjem F , vrednosti katerega se v bivalnem okolju gibajo med 0,2 in 0,6, največkrat okrog 0,4 (Marušič, 2010).

Koncentracije aktivnosti radona in njegovih razpadnih produktov merimo v enoti Bq/m^3 . Najvišje koncentracije v prostorih so v kleteh ali v pritličjih, saj so tla glavni vir radona (Marušič, 2010).

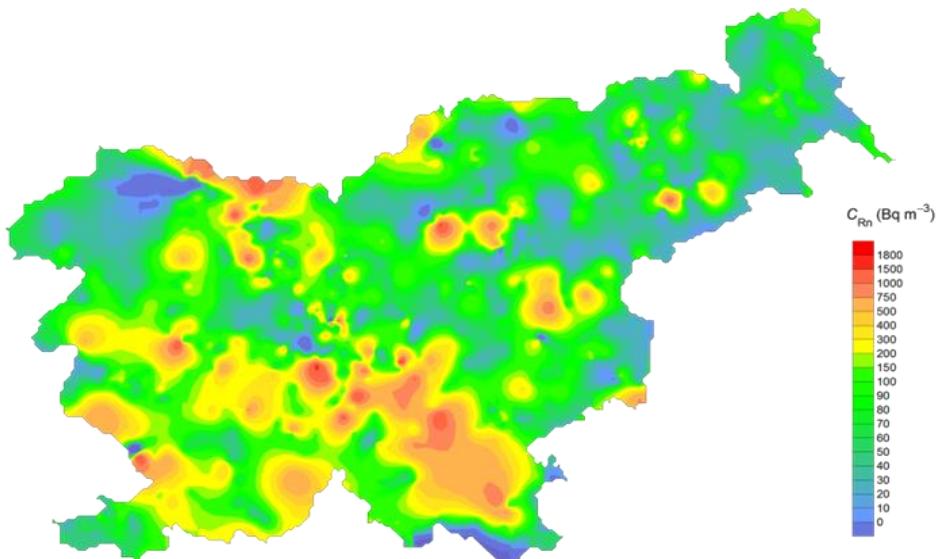
Referenčna raven koncentracije Rn v Sloveniji, kot tudi v večjem delu Evrope, je 300 Bq/m^3 za bivalne in delovne prostore. Če je ta vrednost v prostoru presežena, je priporočeno skrajševanje časa zadrževanja v tem prostoru, kadar je presežena za faktor 3 pa je priporočena sanacija stavbe. Nekatere države so referenčno vrednost postavile pri 100 Bq/m^3 , kolikor je tudi referenčna vrednost WHO (WHO, 2009; ULRS, 2018).

Na pobudo Evropske komisije so evropske države pred leti združile rezultate meritve koncentracij radona v zemljevid koncentracij radona v domovih v Evropi. Zemljevid dopolnjujejo z novimi podatki in ga redno posodabljajo. Temelji na enoletnih povprečnih koncentracijah radona v pritličjih stanovanj (Bq/m^3), izmerjenih z detektorji jedrskih sledi. Vidimo, da so koncentracije radona v zelo širokem razponu (slika 3); od nekaj Bq/m^3 (temno modra barva) do več tisoč Bq/m^3 (temno vijoličasta barva), bela barva pa označuje področja, kjer meritve še niso opravili.



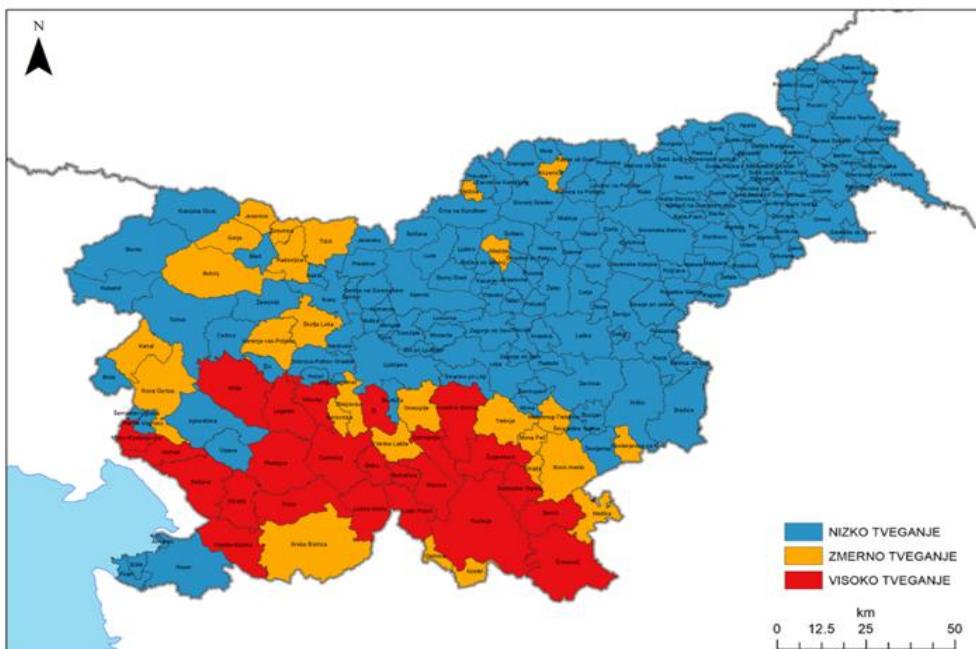
Slika 3: Zemljevid koncentracij radona v domovih v Evropi (EC, 2021)

Na sliki 4 je zemljevid koncentracij radona v vrtcih in šolah po Sloveniji. Nastal je na osnovi meritve trenutne koncentracije radona v zimskem času v okrog 1620 stavbah, v obdobju 1990–1994 (Vaupotič et al., 1994; Vaupotič et al., 2000). Največ povisanih koncentracij radona je v južni Sloveniji, predvsem na karbonatnih kamninah. Večino vrtcev in šol, ki so na sliki 4 obarvani oranžno-rdeče (koncentracija radona nad 300 Bq/m^3), so dodatno preiskali. V njih so opravili meritve povprečnih koncentracij radona z detektorji jedrskih sledi in kontinuirne meritve koncentracij radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov s prenosnimi merilniki. Tiste stavbe, kjer so bile koncentracije radona previsoke, so sanirali.



Slika 4: Zemljevid koncentracij radona v zraku vrtcev in šol v Sloveniji (Vaupotič and Gregorič, 2013)

Zemljevid tveganja za izpostavljenost radonu v Sloveniji (Vaupotič and Gregorič, 2017) je nastal na podlagi meritev koncentracije radona v vrtcih, šolah in stanovanjih (slika 5).



Slika 5: Radonski zemljevid Slovenije z razredi tveganja za izpostavljenost radonu v stavbah po občinah (Vaupotič and Gregorič, 2017)

2.5 PREPEČEVANJE VSTOPA RADONA V STAVBE IN ZMANJŠEVANJE NJEGOVE KONCENTRACIJE V OBSTOJEČIH OBJEKTIH

Glavni vir Rn v stavbah je talni zrak. V stavbe vstopa skozi stavbni ovoj; predvsem v kletne prostore skozi razpoke v temeljni plošči ali slabo tesnjene stične elemente. Iz kletnih prostorov se širi v višja nadstropja po stopniščih ter slabo tesnjenih napeljavah. Mehanizem vstopa

talnega zraka v stavbo temelji na podtlaku, ki nastane zaradi razlike temperatur v stavbi in zemljišču, in povzroči vlek zraka iz zemljišča (tal) v notranjost stavbe. K nizkemu tlaku v stavbi pripomorejo še: veter, zračni kanal v zunanjih zidovih, ventilacijski sistem (Marušič, 2010).

Drugi viri Rn, ki lahko nekoliko prispevajo k povišanju koncentracije v stavbah, so izhajanje iz vode, izhajanje iz gradbenih materialov (redka uporaba gradbenih materialov s povišano koncentracijo radija) ali zemeljskega plina (Marušič, 2010).

Preprečevanje vstopa Rn v objekte (Marušič, 2010):

- Nižanje tlaka v tleh (nižanje tlaka pod temeljno ploščo)
 - Aktivno nižanje tlaka v tleh: najbolj uporaben sistem za obstoječe objekte; preusmeri zračni tok med temelji in tlemi. Obstajajo različne tehnike aktivnega zniževanja tlaka v tleh pod temelji:
 - Zmanjševanje tlaka pod temeljno ploščo: vstavitev sesalnih cevi pod betonsko ploščo (navpično skozi ploščo ali vodoravno pod ploščo), omogočimo sesanje zraka s pomočjo ventilatorjev, ki nato zbrane pline izločajo na prostoto.
 - Zmanjševanje tlaka skozi zidove kleti: eno ali več cevi vstavimo v luknje votlih zidov kletnih prostorov ter nanje priključimo ventilator. To v zidovih ustvari nižji tlak, ki vanje povleče pline iz zunanjosti, tako sesamo pline preko zidov, ta način povleče nekaj zraka tudi iz kleti same. Zbrane pline se izloča na prostoto.
 - V primeru, da je pod hišo prazen prostor z neobdelanimi tlemi lahko na le ta položimo plastično folijo, ki služi kot membrana. Sesalne cevi nato sesajo zrak izpod membrane (cevi so vstavljeni skozi membrano).
 - Pasivno prezračevanje: podobno kot aktivno, vendar brez ventilatorja; je dober preventivni ukrep na območjih z večjim tveganjem za povišane koncentracije radona v stavbah, enostavno ga je kasneje, po potrebi, spremeniti v aktivno nižanje tlaka; primeren za manjše stavbe (ne šole in vrtci), saj lahko nasprotujejoči si tlaki v večjih stavbah z luhkoto zaobidejo tak sistem.
- Višanje tlaka v stavbi (dovedemo več zunanjega in odvedemo manj notranjega zraka)
 - Ker nastane v stavbi višji tlak v primerjavi s tlakom pod temeljno ploščo, je zračni tok usmerjen iz stavbe v tla.
- Aktivno tlačenje tal. V nasprotju s prejšnjim sistemom, kjer je ventilator zrak sesal izpod temeljev, ga tukaj dovaja. Tako se pod temeljno ploščo ustvari območje višjega zračnega tlaka, kar preprečuje izhajanje plinov iz tal v stavbo. Drugi način delovanja pa predpostavlja, da se ta sistem uporablja predvsem v primeru poroznih tal – v tem primeru namreč ventilator potiska zrak tudi skozi porozna tla, kar preprečuje radonu gibanje proti temeljem. Ta sistem predstavlja alternativo postavitvi večjega ventilacijskega sistema za znižanje tlaka pod temelji, še posebno v primerih visokega zračnega toka. Primer visokega zračnega toka so območja z zelo prepustno podlago, kjer zrak uhaja hitreje kot ga lahko sistem odvaja, posledično sistem ne zmore vzdrževati primerenega tlaka v tleh. Zato bi za ohranitev nižjega tlaka potrebovali večji sistem, ki ga lahko nadomestimo s tlačenjem tal. To se lahko uporablja v podobnih variacijah kot zmanjševanje tlaka. Sistem lahko uporabimo na drenažnih ceveh ali pa tlačimo podporne zidove kleti (ta variacija se uporablja kot nadomestilo sesanja zraka

skozi kletne zidove, ko le to iz kleti odvede toliko zraka, da povzročimo blokado vleke zraka skozi dimnik).

Dobra tesnitev dovodnih poti. Pri povišanih koncentracijah radona v stavbah (predvsem večjih) to sicer ne zadostuje, pa vendarle nekoliko zmanjša nivo radona ter poveča uspešnost drugih metod (Marušič, 2010).

2.6 VPLIV RADONA NA ZDRAVJE:

Radon z razpadnimi produkti prispeva več kot polovico vsega naravnega ionizirajočega sevanja, ki smo mu izpostavljeni. Predstavlja tudi drugi največji vzrok za nastanek pljučnega raka, takoj za kajenjem. Posledice izpostavljenosti sevanju so različne mutacije, spremenjen celični cikel, karcinogeneza, nastanek rakastih celic.

Glavnino sevanja pri razpadu radona povzroča sevanje alfa, pri katerem se sprosti največ energije. Čeprav sevanje alfa ni prodorno, saj ga zadrži že koža, pa je zelo nevarno za pljučno tkivo. Pri vdihu vnašamo v pljuča radon in njegove razpadne produkte. Večino radona izdihнемo, medtem ko pljuča zadržijo 20 do 50 % radioaktivnih aerosolov radonovih razpadnih produktov. Pri njihovih razpadih se v pljuča sprosti energija, ki poškoduje tamkajšnja tkiva. Najbolj nevarna radonova kratkoživa razpadna produkta sta ^{218}Po in ^{214}Po , ki sta sevalca alfa. Raziskave kažejo, da znatna izpostavljenost radonu in njegovim produktom lahko vodi do višjega tveganja za različne spremembe oziroma poškodbe na delih kože, kjer je ta najtanjša. Nekatere raziskave nakazujejo možnost, da višja izpostavljenost radonu pomeni večje tveganje za kožnega raka, levkemijo ter raka prebavil, vendar nič od naštetega še ni dokazano (Robertson et al., 2013).

Delci alfa (2+ nabita helijeva jedra) imajo energijo med 3 in 10 MeV. Zaradi velike mase in visokega naboja je njihova pot v snovi ravna in posuta z veliko gostoto ionskih parov (Vaupotič and Kobal, 2008). V stiku s živimi celicami povzročajo napake na kromosomih, skrajšanje celičnega cikla, fiziološko celično smrt in večjo možnost karcinogeneze (Robertson et al., 2013).

2.7 MERILNE TEHNIKE

Zrak, v katerem je prisoten radon, lahko vstopa v merilno napravo pasivno (z difuzijo) ali aktivno (s črpanjem). Zrak potuje skozi filter, ki zadrži radonove razpadne produkte. V notranjosti merilnika radon razpada, nastajajo radonovi razpadni produkti in sevanje alfa, beta ter gama. Večina merilnih tehnik je zasnovana na detekciji sevanja alfa (^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po). Med seboj se razlikujejo predvsem po času trajanja meritve; ločimo trenutne, povprečne in kontinuirne meritve koncentracije radona (Marušič, 2009).

Trenutne koncentracije radona merimo z alfa scintilacijskimi celicami, povprečne z detektorji jedrskih sledi, za kontinuirno merjenje koncentracije pa uporabljamo prenosne merilnike.

- Alfa scintilacijske celice

Z alfa scintilacijskimi celicami merimo trenutne koncentracije radona. Metoda je zasnovana na merjenju celokupne aktivnosti alfa radona (^{222}Rn) in njegovih kratkoživih razpadnih produktov polonija (^{218}Po in ^{214}Po). V prostoru, kjer nas zanima

koncentracija radona, vzorec zraka napolnimo v alfa scintilacijsko celico in nato (po vzpostavitvi radioaktivnega ravnotežja med radonom in kratkoživimi produkti) preštejemo njegovo aktivnost na alfa scintilacijskem števcu. Ko delec alfa, ki nastane pri razpadu radona ali katerega od njegovih produktov, zadene scintilator cinkov sulfid, s katerim so prevlečene notranje stene scintilacijske celice, pride do sevanja svetlobe z valovno dolžino okrog 600 nm. Fotopomnoževalka v scintilacijskem števcu svetlobne signale nazna, jih ojača, pretvori v električne impulze ter prešteje. Iz dobljenih impulzov izračunamo koncentracijo aktivnosti radona (Bq/m^3) (Vaupotič and Kobal, 2008; Velišček, 2009).

- Kontinuirni merilniki

Ti merilniki merijo koncentracijo ^{222}Rn (in njegovih kratkoživih razpadnih produktov) v zaporednih časovnih intervalih preko daljšega časovnega obdobja. Ta tehnika merjenja lahko deluje tako na aktiven, kot tudi pasiven način (Marušič, 2009).

V raziskavi smo koncentracijo ^{222}Rn kontinuirno merili z merilnikom Radon Scout (Sarad, Nemčija). To je prenosni pasivni instrument, pri katerem ^{222}Rn skupaj z zrakom difundira v merilno komoro skozi filter, na katerem se filtrirajo kratkoživi radonovi produkti. V komori je polvodniški detektor površine $2,3 \text{ cm}^2$, ki je pod napetostjo -50 V , da se na njem odložijo pozitivni ioni radonovih produktov (v glavnem ^{218}Po), ki nastajajo iz ^{222}Rn v komori. Spodnja meja detekcije merilnika je okrog $25 \text{ Bq}/\text{m}^3$, merilna negotovost je pri koncentraciji $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ okrog 30%, $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ okrog 15%, $800 \text{ Bq}/\text{m}^3$ okrog 8% (Sarad, 2017). Poleg koncentracije radona ta instrument meri tudi temperaturo in relativno vlažnost zraka. Frekvenco vzorčenja in analize lahko nastavimo na enkrat na uro ali enkrat na tri ure, trajanje meritve pa je običajno sedem do štirinajst dni. Podatke prenesemo iz merilnika na računalnik s programom Radon Vision 4.0.

- Detektorji jedrskeih sledi

Te merilne naprave vsebujejo posebno detektorsko folijo, v kateri alfa sevanje pušča sledi. Te sledi po obdelavi s kemikalijami postanejo vidne pod mikroskopom in jih lahko preštejemo. Po opravljeni meritvi lahko glede na število sledi na foliji natančno določimo povprečno koncentracijo radona za obdobje merjenja. Ta metoda deluje pasivno, meritev pa traja običajno od enega do tri mesece (Marušič, 2009).

2.8 HIPOTEZE:

1. Koncentracija radona bo na vseh merilnih mestih ves čas pod priporočeno maksimalno vrednostjo ($300 \text{ Bq}/\text{m}^3$), razen na merilnih mestih na Krasu.
2. Zračenje predstavlja učinkovit način za kratkoročno nižanje koncentracije radona, vendar se koncentracija po končanem zračenju hitro zopet dvigne na koncentracijo pred zračenjem ali celo više.
3. V prostorih v pritličju stavbe je koncentracija radona višja kot v prostorih v nadstropjih.
4. V individualnih hišah je koncentracija radona višja kot v stanovanjskih v blokih.

3 EKSPERIMENTALNI DEL NALOGE

3.1 METODE RAZISKOVANJA:

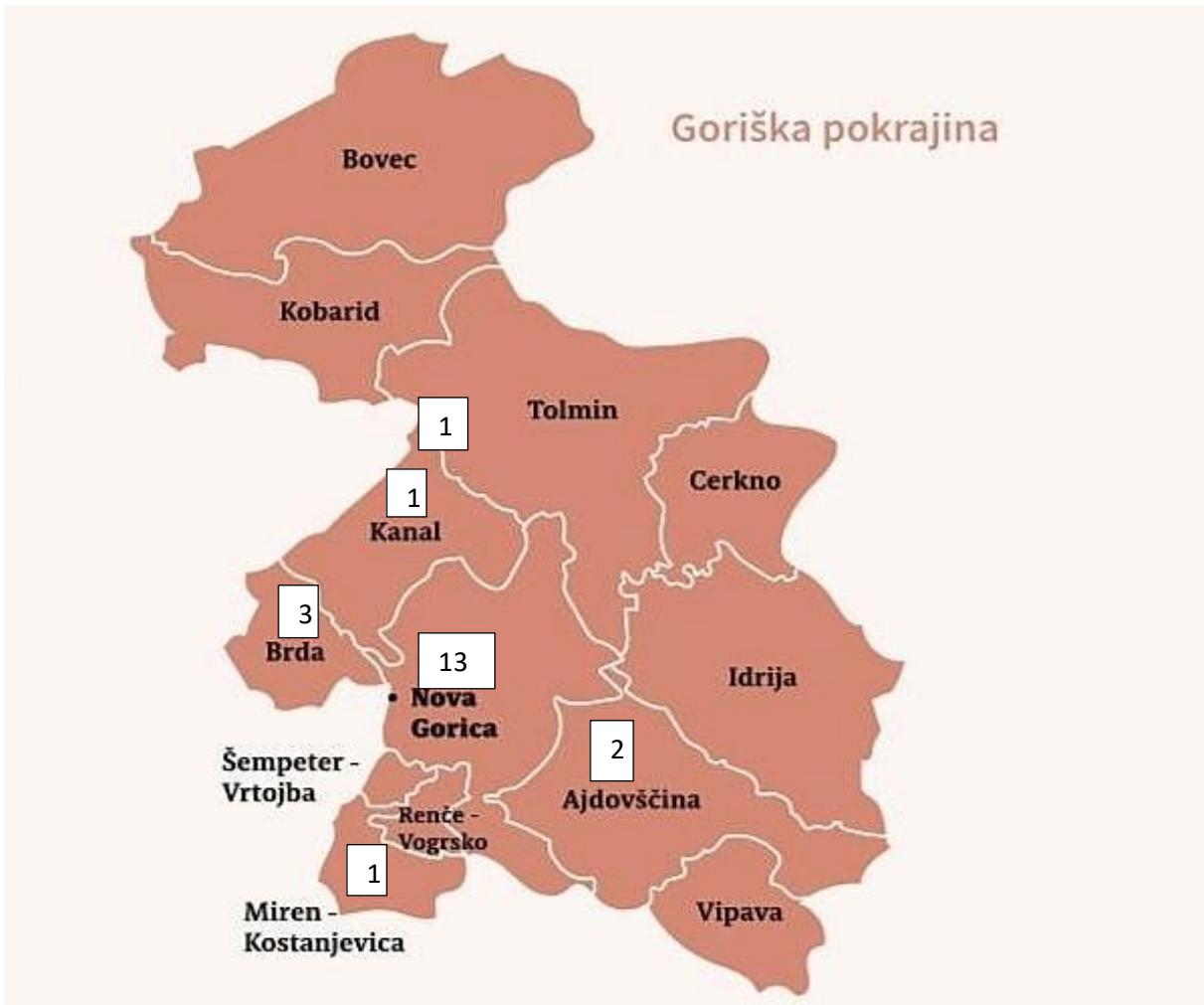
Na Institutu "Jožef Stefan" smo si izposodili štiri merilnike Radon Scout za kontinuirno merjenje koncentracije radona. Na Gimnaziji smo izvedli anketo, s katero smo poiskali prostovoljce, ki so bili pripravljeni sprejeti v svoj dom merilnik in izmeriti koncentracijo radona. Meritev je v vsakem stanovanju trajala 48 ur, z zajemom podatkov enkrat na uro, potekala pa je v zimskem času. Merilnik smo predali prostovoljcu, ki živi v tej nepremičnini. Prosili smo ga, da merilnik postavi v predhodno neprezračen prostor, ki ga nato tekom meritve ne bo zračil. Prav tako smo prosili, da je merilni prostor v pritličju, razen v primeru meritev v stanovanjskem bloku ali pri nekaj izjemah. Poleg merilnika je stanovalec dobil tudi list papirja s tabelo, v katero je zabeležil čas postavitve merilnika na merilno mesto in s tem začetek meritve, ter čas njenega zaključka. V isto tabelo je nato tudi zapisal lastnosti merilnega mesta in stavbe.

Naknadno smo si poleti od Instituta "Jožef Stefan" ponovno izposodili še dva kontinuirna merilnika za merjenje koncentracije radona Radon Scout in ju namestili v tisto stavbo, kjer so prvotne zimske meritve pokazale, da je koncentracija visoka. Nato smo ugotavljali, kako zračenje vpliva na koncentracijo.

Meritve pozimi so potekale v obdobju od 19.1.2022 do 4.2.2022, poleti pa od 18.6.2022 do 15.7.2022. V raziskavo je bilo vključenih 19 stavb.

Na koncu smo zbrali podatke ter jih grafično in statistično obdelali s programom Microsoft Excel, vsebino naloge pa smo oblikovali v programu Microsoft Word.

3.2 LOKACIJE MERJENJA



Slika 6: Lokacije merjenja (zemljevid Primorske) (Primorske novice, 2019)

Slika 6 ponazarja razpršenost meritnih mest. Okvirčki predstavljajo območja, kjer so potekale meritve, številke v kvadratih pa število preiskanih stavb. Vidimo, da smo glavnino meritov opravili v Novi Gorici in njeni okolici, nekaj pa tudi v Goriških brdih, Soški in Vipavski dolini ter na Krasu.

3.3 GEOGRAFSKI PODATKI MERILNEGA OBMOČJA

Meritve smo izvajali v širši goriški regiji, v pokrajinah z različnim reliefom, geološko zgradbo ter in posledično različno stopnjo tveganja za povišane koncentracije radona. Vsa meritna mesta imajo submediteransko podnebje. Najsevernejše smo meritve opravljali v vasi Volče, v občini Tolmin, torej na območju Julijskih Alp, s karbonatnimi kamninami. Te prevladujejo tudi na Krasu, kjer je bilo naše najjužnejše meritno mesto. Več meritov smo opravili tudi v Goriških brdih, v Vipavski dolini in na širšem območju Nove Gorice (Nova Gorica, Solkan, Rožna Dolina), kjer prevladuje fliš. Ena meritve smo opravili v kraju Kanal ob Soči. Glede na Zemljevid Slovenije z razredi tveganja za izpostavljenost radonu v stavbah po občinah (Vaupotič and Gregorič, 2017) smo največje tveganje pričakovali na meritnem mestu na Krasu, povišane koncentracije pa tudi na območju Nove Gorice in okolice ter v Kanalu ob Soči (Lipušček R. Geografska predstavitev Tolminskega, Razvoj Krasa: Geološka zgradba, Kamnine in relief, Kras, Razvoj Krasa: Flišna pokrajina, Vodnik po Gradnikovi učni poti).

V tabeli 1 predstavljamo merilna mesta, razporejena glede na širše območje merjenja, in osnovne podatke o stavbah (številka merilnega mesta, nadstropje, leto izgradnje in vrsta objekta).

Tabela 1: Podatki o merilnih mestih in stavbah

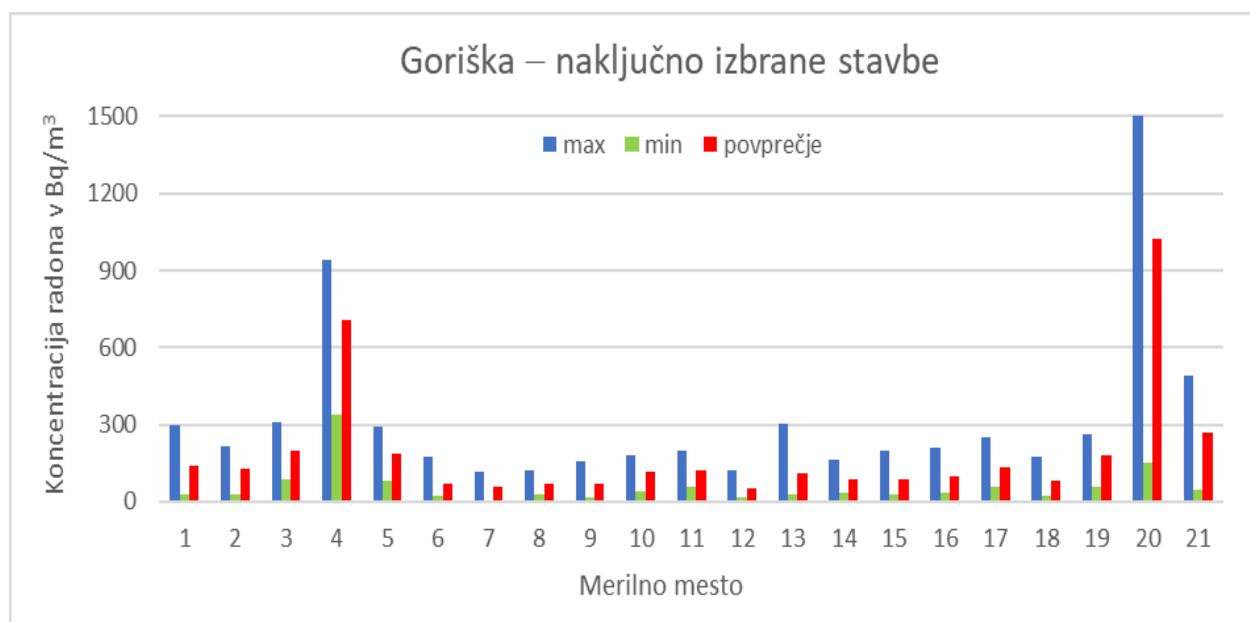
Širše območje merjenja	Kraj merjenja	Številka merilnega mesta	Nadstropje	Leto izgradnje	Vrsta objekta
Nova Gorica in okolica	Nova Gorica	1	3.	1953	Stanovanjski blok
	Nova Gorica	6	2.	2004	Stanovanjski blok
	Nova Gorica	7	Pritličje	1975	Stanovanjska hiša
	Solkan	8	1.	1990	Stanovanjska hiša
	Nova Gorica	9	Pritličje	1947 prenova 2017	Gimnazija
	Nova Gorica	18	1.	1947 prenova 2017	Gimnazija
	Nova Gorica	14	2.	1947 prenova 2017	Gimnazija
	Nova Gorica	11	Pritličje	1970	Stanovanjska hiša
	Nova Gorica	12	5.	1974	Stanovanjski blok
	Rožna Dolina	16	Pritličje	1979	Stanovanjska hiša
	Solkan	19	1.	1965	Stanovanjska hiša
	Solkan	20	Pritličje	1973 večja prenova 2020	Stanovanjska hiša
	Nova Gorica	21	Polklet	1973	Stanovanjski blok
Posočje	Volče	10	Pritličje	1920 prenova okrog 2000	Stanovanjska hiša
	Kanal ob Soči	15	1.	1987	Stanovanjska hiša
Goriška brda	Imenje	2	Polklet		Stanovanjska hiša
	Kojsko	3	Klet	1990 prenova 2002	Stanovanjska hiša
	Kojsko	5	1.	1961	Stanovanjski blok
Vipavska dolina	Gojače	13	Pritličje	1920 prenova 1970	Stanovanjska hiša
	Brje	17	1.	1984	Stanovanjska hiša
Kras	Kostanjevica na Krasu	4	Pritličje	1950	Stanovanjska hiša

Osnovne podatke o stavbah iz tabele 2 smo uporabili za izračun povprečnih koncentracij radona glede na vrsto objekta in nadstropje meritve. Obdelave podatkov glede na starost stavb nismo izvedli, saj je skupno število objektov prenizko.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 KONCENTRACIJE RADONA V STAVBAH NA GORIŠKEM

V raziskavo radona smo vključili enaindvajset naključno izbranih stavb, od katerih se vse nahajajo na Goriškem (slika 6). V vseh smo izvedli nekajdnevno kontinuirno meritve koncentracije radona v zraku s frekvenco vzorčenja enkrat na uro. Iz kontinuirnega poteka smo izračunali povprečno koncentracijo radona za ves čas trajanja meritve. Rezultati so prikazani na grafu 1, kjer poleg povprečne podajamo še minimalno in maksimalno koncentracijo radona. Povprečne koncentracije radona so v območju od 54 do 1000 Bq/m³ in v dveh stavbah (4, 20) presegajo referenčno vrednost 300 Bq/m³ (ULRS, 2018). Goriška sodi med področja z zmernim tveganjem za prisotnost radona v stavbah (Vaupotič and Gregorič, 2017) (slika 5) zato ne preseneča, da smo tudi v naši raziskavi našli povišane koncentracije. V stavbi 20 je bila povprečna koncentracija radona nad 900 Bq/m³ in je tako za faktor več kot 3 presegla referenčno mejno vrednost.



Graf 1: Povprečne, maksimalne in minimalne koncentracije radona v naključno izbranih stavbah na Goriškem

4.2 GRAFIČEN PRIKAZ KONTINUIRNEGA POTEKA KONCENTRACIJE RADONA V STAVBAH

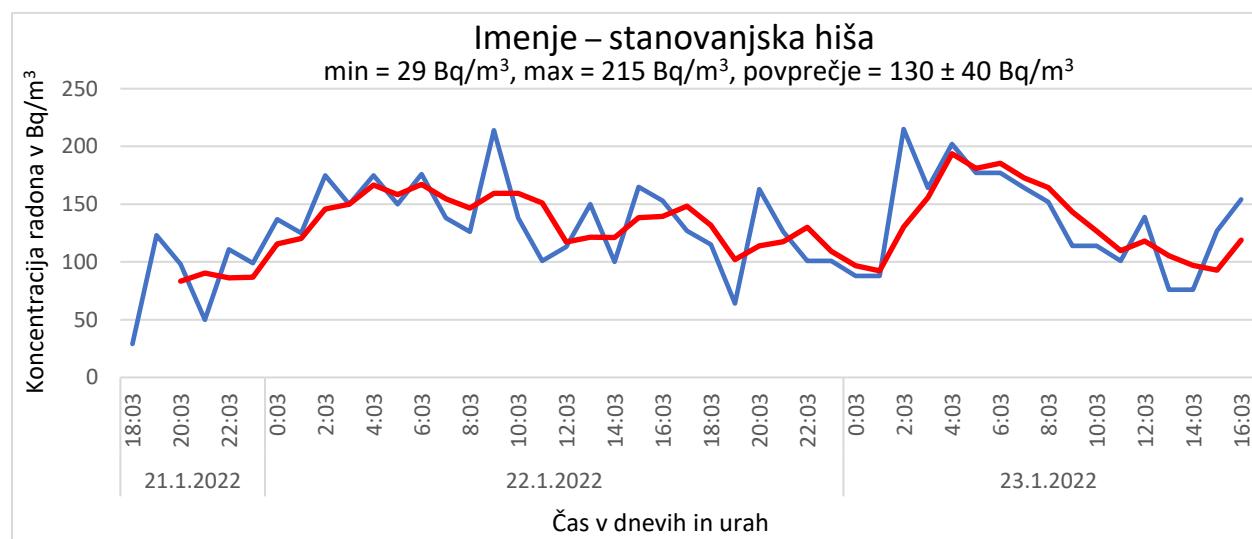
Na grafih časovnega poteka koncentracije radona predstavlja krivulja modre barve odčitke izmerjenih vrednosti vsako uro, krivulja rdeče barve pa izračunana povprečja na vsake 3 ure. Na krivulji rdeče barve laže sledimo tipičnemu dnevnemu ciklu radona, zato se nadaljnje razlage nanašajo predvsem na krivulje rdeče barve.

4.2.1 STAVBE Z NATANČNEJŠIM OPISOM ČASOVNEGA POTEKA KONCENTRACIJE RADONA

Za nadaljnjo natančno razlago smo izbrali šest stavb z najbolj zanimivim časovnim potekom koncentracije radona (št. 2, 4, 15, 18, 20, 21). Za preostalih petnajst stavb pa v nadaljevanju podajamo splošno razlago.

Stavba 2:

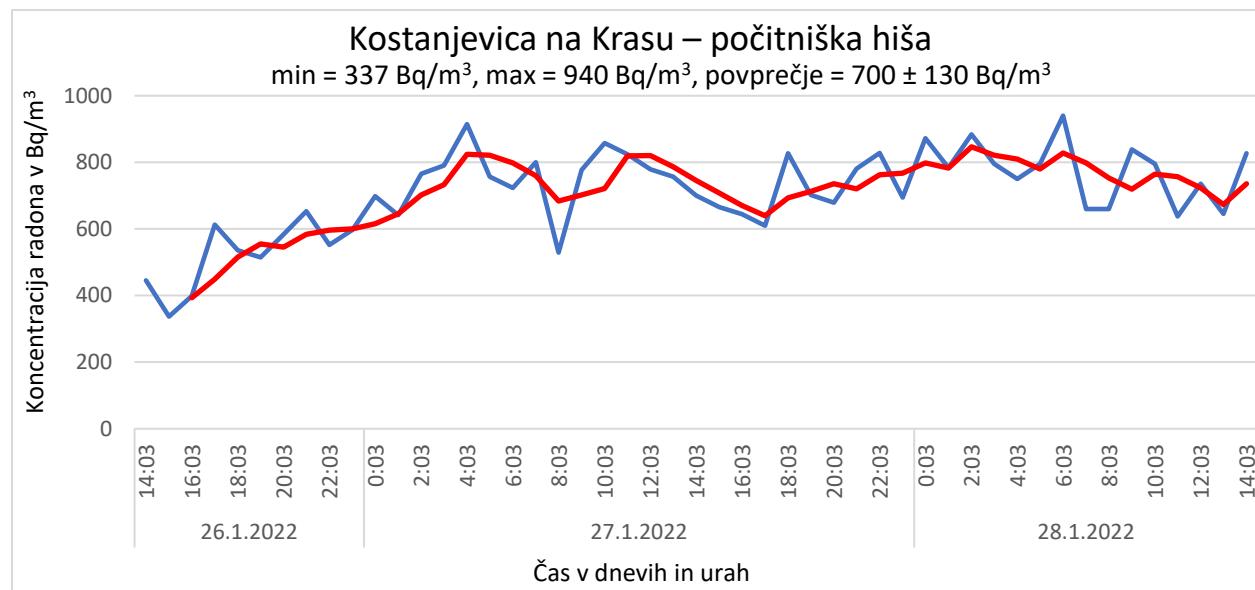
V stanovanjski hiši v vasi Imenje smo meritev opravili v dnevni sobi, ki se nahaja v polkleti, od 21. do 23.1.2022. Koncentracija radona je bila v območju od 29 do 215 Bq/m³, s povprečno vrednostjo 130 Bq/m³. Kot vidimo na grafu 2, imamo običajno dnevno nihanje koncentracije, z naraščanjem ponoči in dnevnimi maksimumi v zgodnjih jutranjih urah ter nižanjem podnevi in dnevnimi minimumi v popoldanskih urah. Manjše razlike v dnevem poteku so odraz meteoroloških razmer (predvsem ponoči) in prezračevanja (predvsem podnevi). Prvi dan je naraščanje koncentracije radona ponoči enakomerno preko celotne noči in je del krivulje v tem delu bolj položen kot drugi dan, ko je porast hiter in krivulja v tem delu bolj strma. Koncentracija nikoli ne presega referenčne koncentracije radona 300 Bq/m³.



Graf 2: Koncentracija radona v polkleti stanovanjske hiše v vasi Imenje v Goriških brdih v času od 21. do 23.1.2022

Stavba 4:

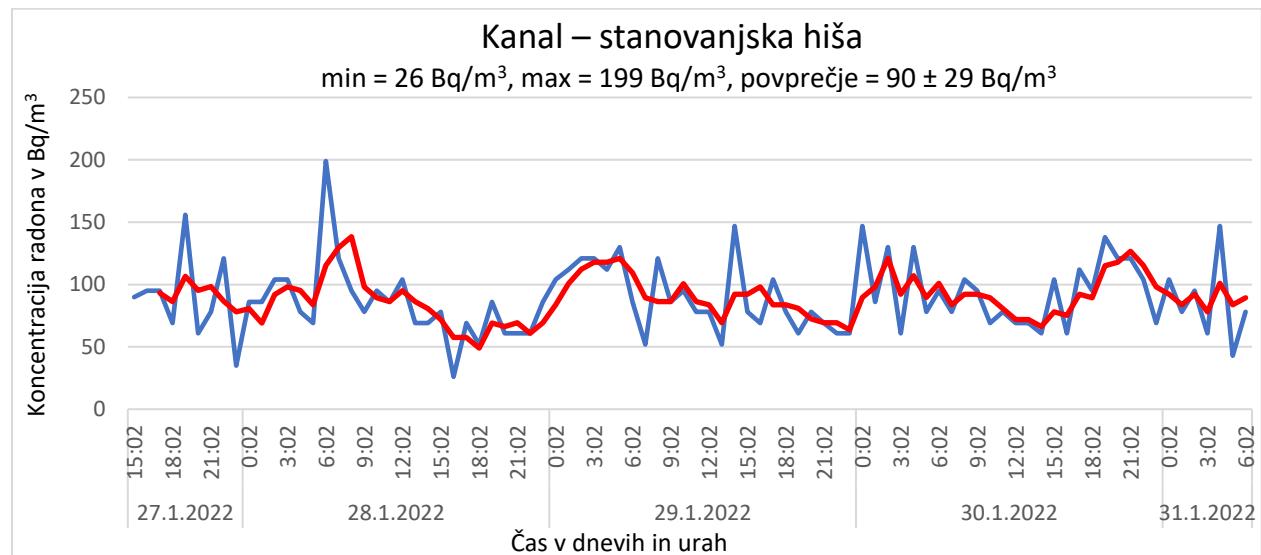
V počitniški hiši (vikendici) v Kostanjevici na Krasu smo meritev izvajali v pritličju od 26. do 28.1.2022. Koncentracija radona je bila v območju od 337 do 940 Bq/m³, s povprečno vrednostjo 700 Bq/m³. Ker je bila vikendica v času meritev prazna, lahko z gotovostjo trdimo, da je dnevni cikel koncentracije radona posledica naravnega nihanja (zaradi vpliva meteoroloških razmer) in ne človekovega vpliva (graf 3). Ne vidimo običajnega trenda spremenjanja koncentracije radona z naraščanjem ponoči, najvišjo vrednostjo zgodaj zjutraj in najnižjo tekom dneva, saj imamo nekaj posameznih vrhov tudi podnevi. Skozi celotno meritev imamo izrazit trend naraščanja koncentracije, ki podnevi sicer nekoliko pada (za okrog 150 Bq/m³), a ostaja ves čas nad 600 Bq/m³. Koncentracija radona večino časa za faktor dva presega referenčno vrednost 300 Bq/m³.



Graf 3: Koncentracija radona v počitniški hiši v Kostanjevici na Krasu v času od 26. do 28.1.2022

Stavba 15:

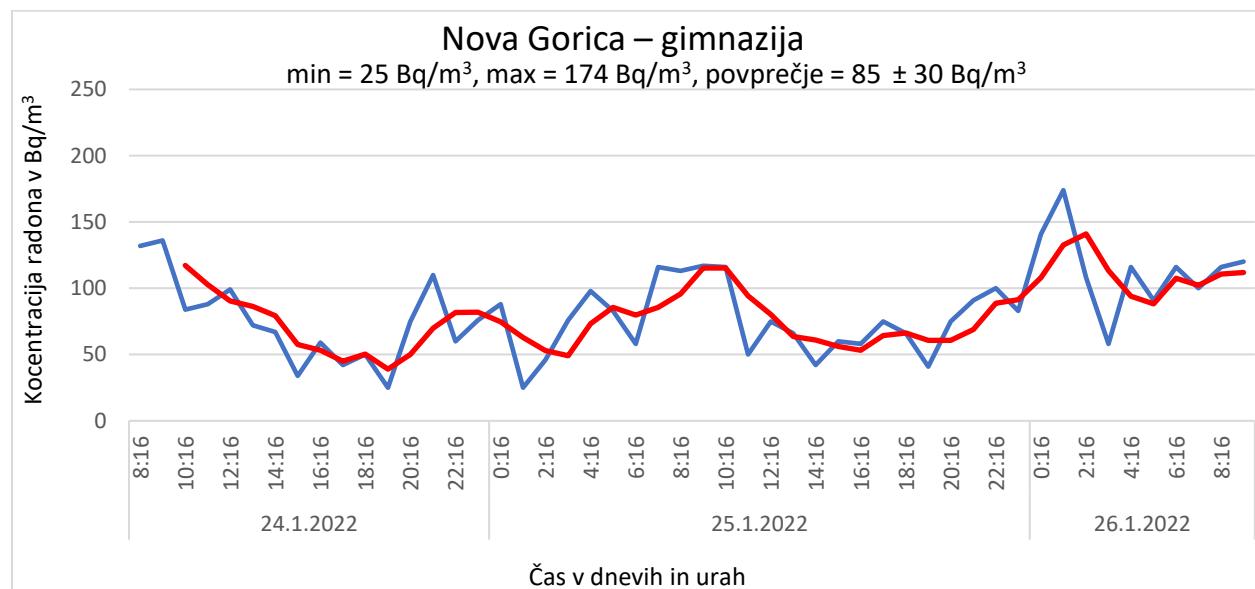
Koncentracijo radona smo v dnevni sobi (1. nadstropje) stanovanjske hiše v Kanalu merili od 27. do 31.1.2022 (graf 4). Dnevna soba se nahaja v pritličju stanovanjske hiše, zgrajene leta 1987. Koncentracija radona se je gibala od 26 do 199 Bq/m³, s povprečno vrednostjo 90 Bq/m³. Vidimo značilen dnevni cikel koncentracije radona; najvišje vrednosti zgodaj zjutraj, ki so posledica zaprtih oken in vrat ponoči, ter nižje vrednosti popoldne in zvečer, ko hišo naravno prezračujejo z odpiranjem oken in vrat. Izmerjene koncentracije se nikoli ne približajo referenčni vrednosti 300 Bq/m³.



Graf 4: Koncentracija radona v dnevni sobi stanovanjske hiše v Kanalu v času od 27. do 31.1.2022

Stavba 18:

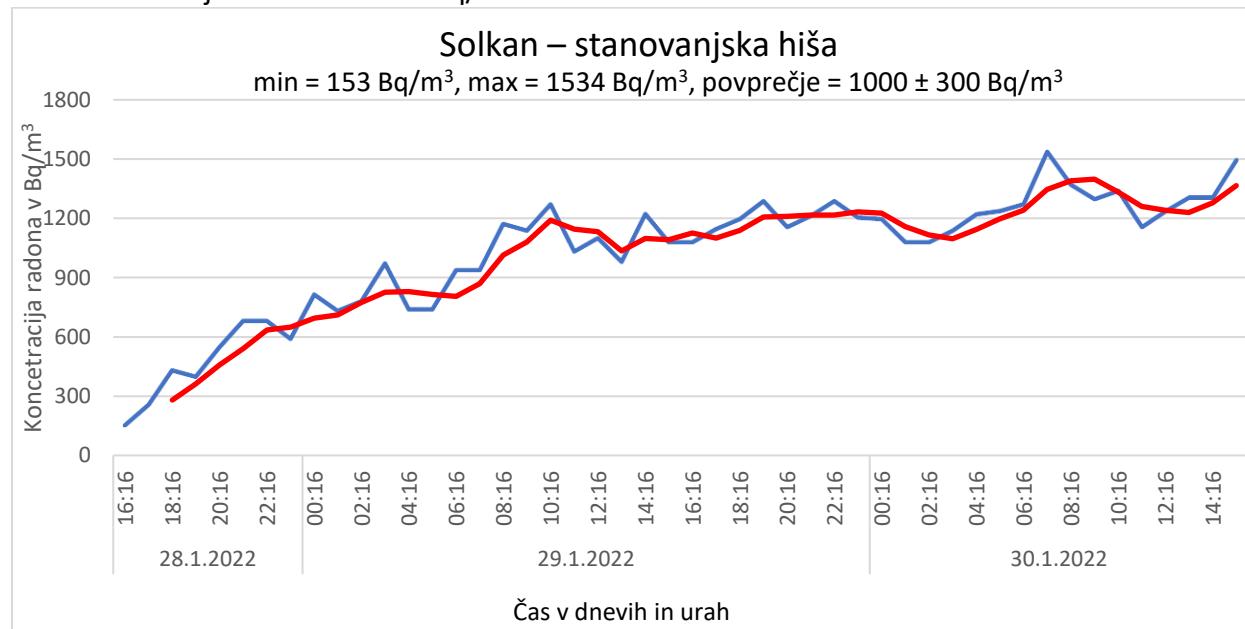
V kabinetu Gimnazije Nova Gorica, ki se nahaja v 1. nadstropju, smo meritev izvajali od 24. do 26.1.2022 (graf 5). Koncentracija radona je bila v območju od 25 do 174 Bq/m³, s povprečno vrednostjo 85 Bq/m³. Vidimo običajno dnevno nihanje koncentracije radona, z naraščanjem preko noči in padanjem čez dan. Nenaden padec koncentracije (25.1.2022, okrog enih ponoči) je verjetno posledica meteoroloških razmer, saj je manj verjetno, da bi bil na šoli takrat kdo prisoten. Koncentracija radona nikoli ni presegla referenčne vrednosti 300 Bq/m³.



Graf 5: Koncentracija radona v kabinetu Gimnazije Nova Gorica v času od 24. do 26.1.2022

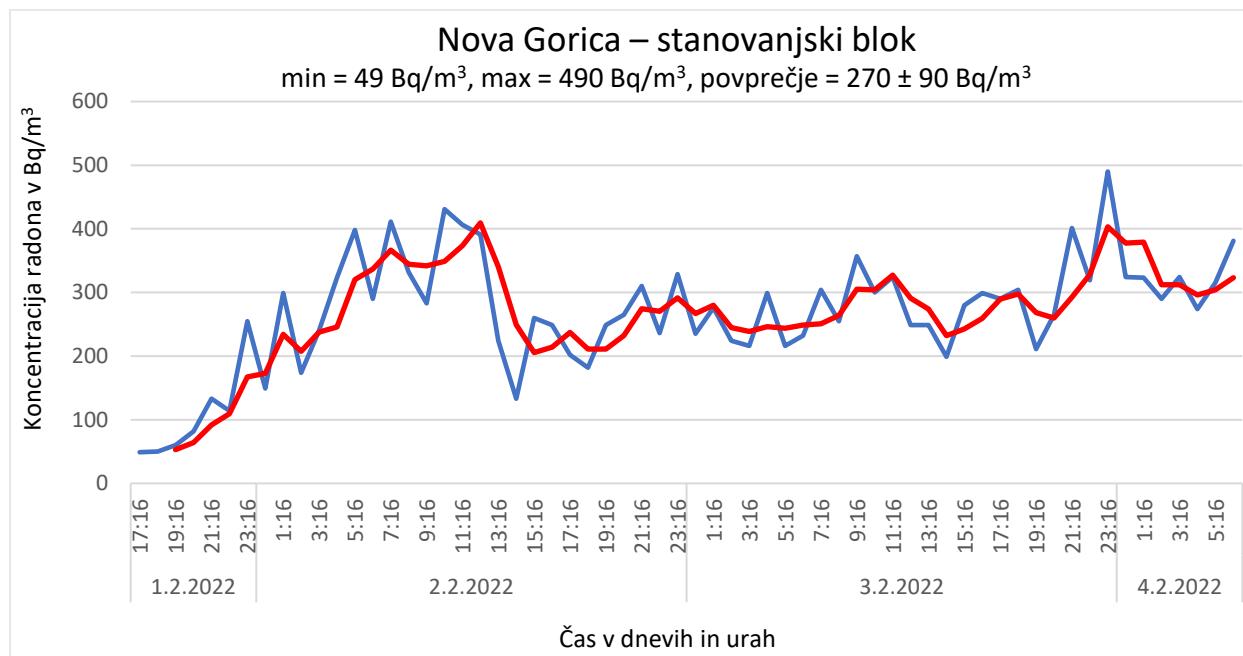
Stavba 20:

V stanovanjski hiši v Solkanu smo meritev izvajali na hodniku v pritličnem stanovanju dvostanovanjske hiše od 28. do 30.1.2022 (graf 6). Koncentracija radona je bila v območju od 153 do 1534 Bq/m³, s povprečno vrednostjo 1000 Bq/m³. Koncentracija raste do približno polovice drugega dne, ko doseže ravovesje in se ustali na vrednosti okrog 1200 Bq/m³. Od tu dalje kaže značilen dnevni cikel (maksimum zgodaj zjutraj), ki pa je manj izrazit. Povišana koncentracija radona ves čas meritve kaže na to, da prostor ni bil zračen in precej presega referenčno mejno vrednost 300 Bq/m³.



Stavba 21:

V stanovanjskem bloku v Novi Gorici smo meritve izvajali v dnevni sobi polkleti od 1. do 4.2.2022 (graf 7). Koncentracija radona je bila v območju od 49 do 490 Bq/m³, s povprečno vrednostjo 270 Bq/m³. Od začetka meritve do poznega dopoldneva naslednjega dne koncentracija radona narašča, ko sledi hiter padec s približno 400 na 133 Bq/m³, verjetno zaradi zračenja. Koncentracija se nato ustali med 200 in 300 Bq/m³, zadnjo noč pa začne zopet naraščati in okrog triindvajsete ure doseže vrednost 490 Bq/m³, nato pa proti jutru zopet nekoliko pade. Časovni potek koncentracije radona kaže, da je bil prostor v času meritve slabše zračen.

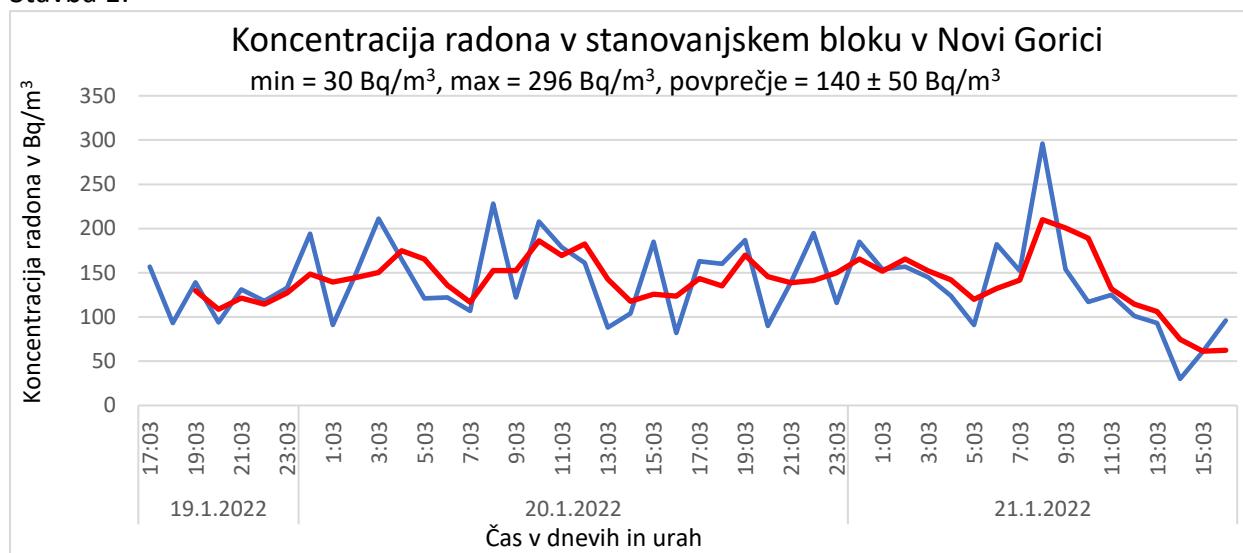


4.2.2 STAVBE S SPLOŠNIM OPISOM ČASOVNEGA POTEKA KONCENTRACIJE RADONA

V nadaljevanju predstavljamo časovni potek koncentracije radona v preostalih stavbah. To so stavbe 1, 3, 5–14, 16, 17 in 19 (grafi 8–22), ki imajo podoben potek krivulj. Koncentracija radona v večini primerov kaže neizrazit dnevni trend (višja ponoči in nižja podnevi), z izjemo stavbe 13 (graf 18), ki ima podoben trend kot smo ga zasledili v stavbi 21 (graf 7), le da je v tem primeru povišanje v zadnjem obdobju meritve, pri stavbi 21 pa smo ga zasledili v prvem obdobju (graf 7).

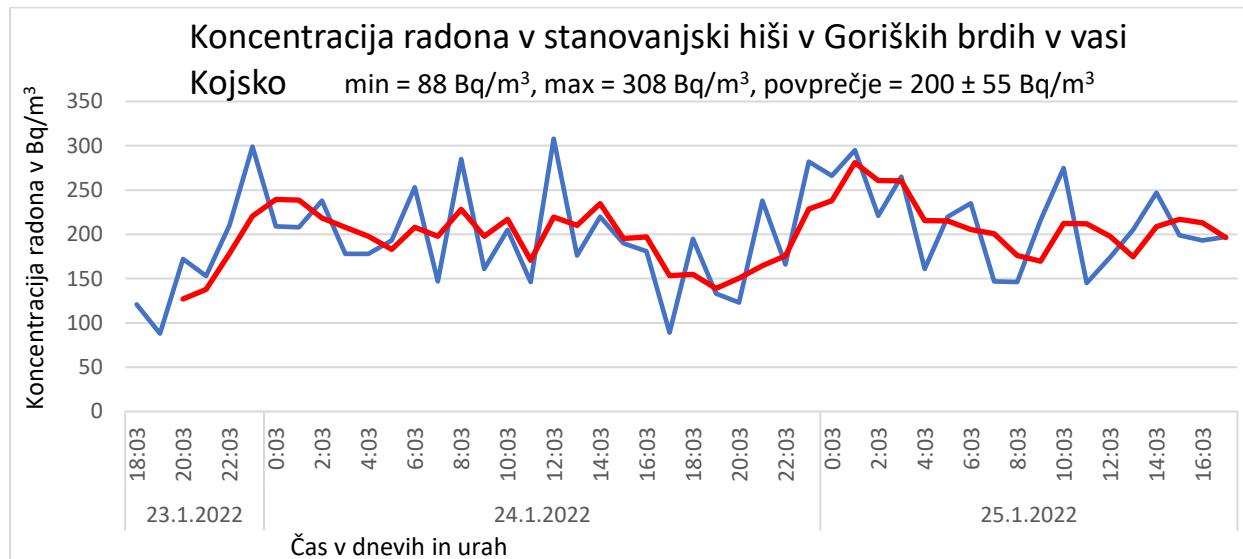
V stavbah 1, 3, 5, 10–11, 13, 16–17 in 19 (grafi 8–10, 15–16, 20–22) se povprečne koncentracije radona gibljejo med 100 in 200 Bq/m³, v stavbah 6–9, 12 in 14 (grafi 11–14, 17, 19) pa so nižje od 100 Bq/m³.

Stavba 1:



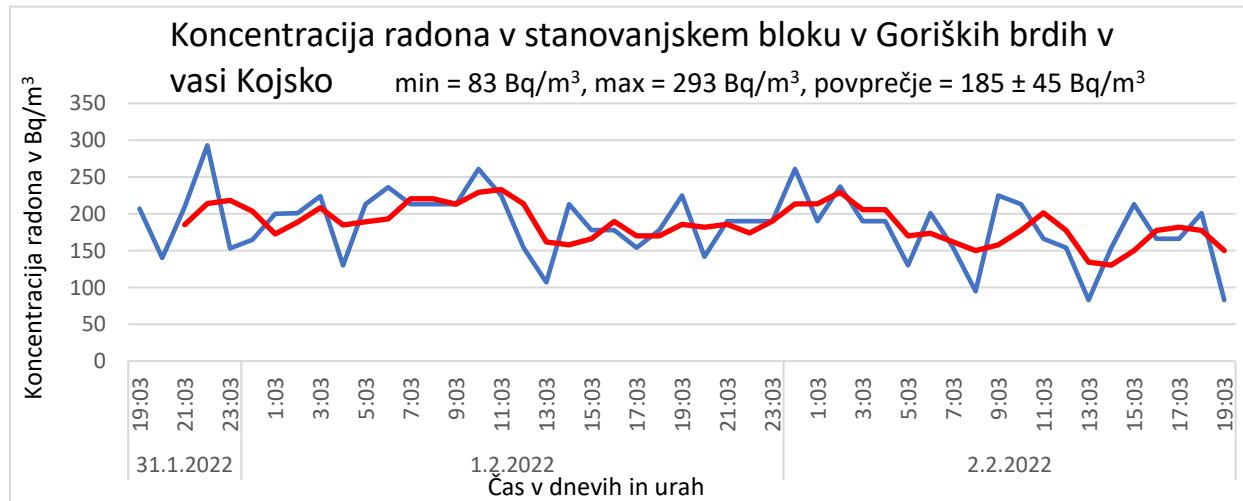
Graf 8: Koncentracija radona v stavbi 1

Stavba 3:



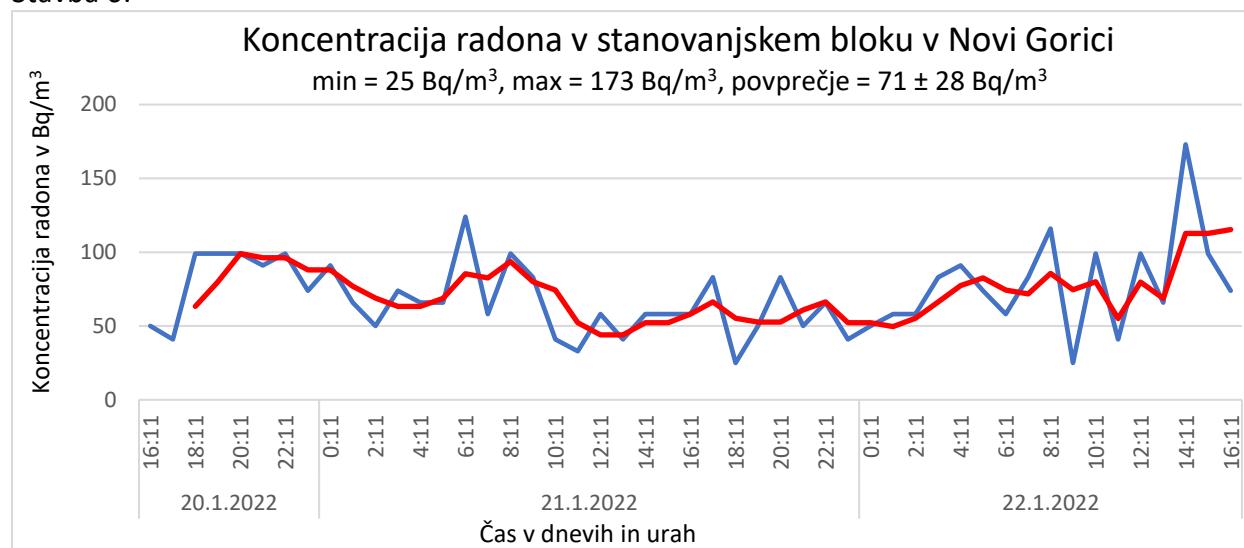
Graf 9: Koncentracija radona v stavbi 3

Stavba 5:



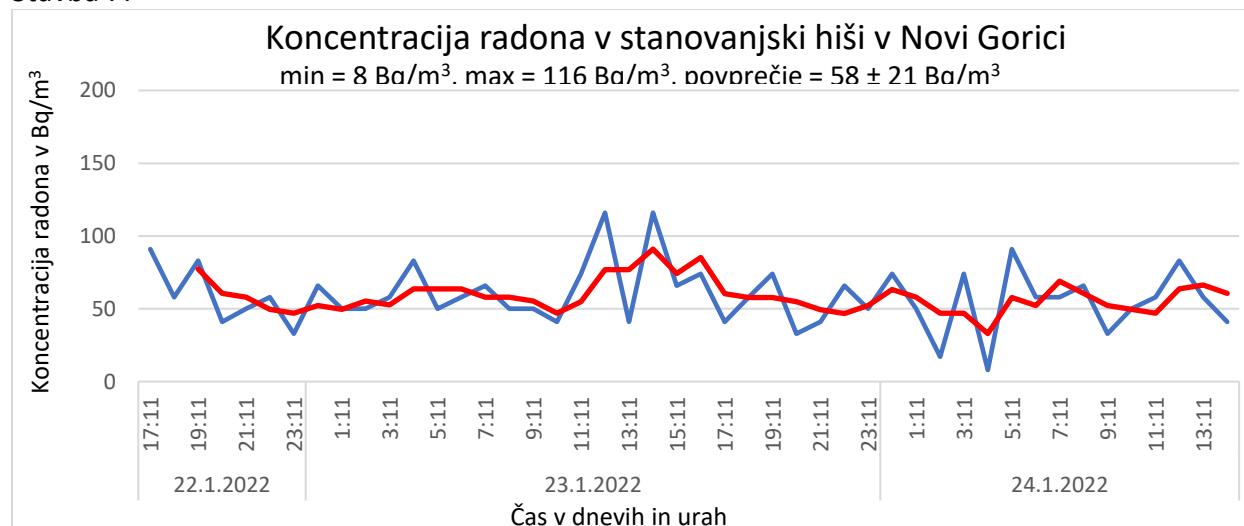
Graf 10: Koncentracija radona v stavbi 5

Stavba 6:



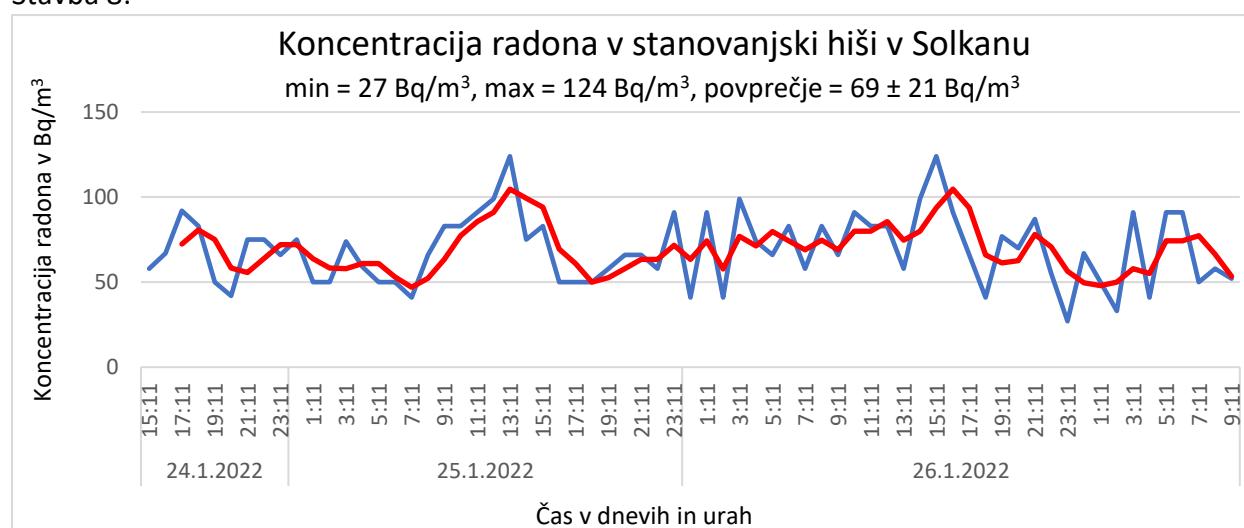
Graf 11: Koncentracija radona v stavbi 6

Stavba 7:



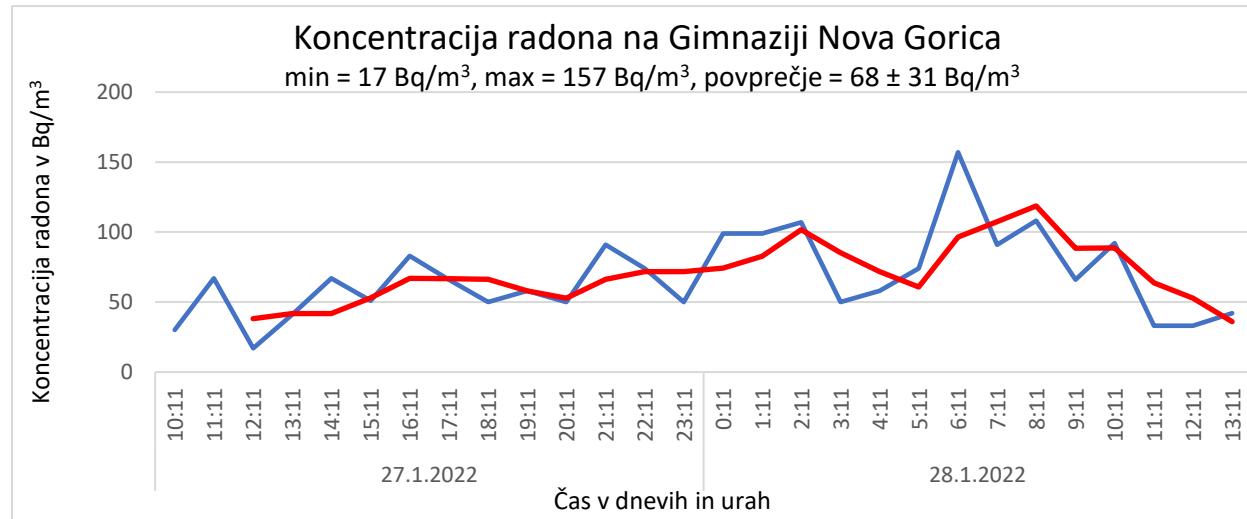
Graf 12: Koncentracija radona v stavbi 7

Stavba 8:

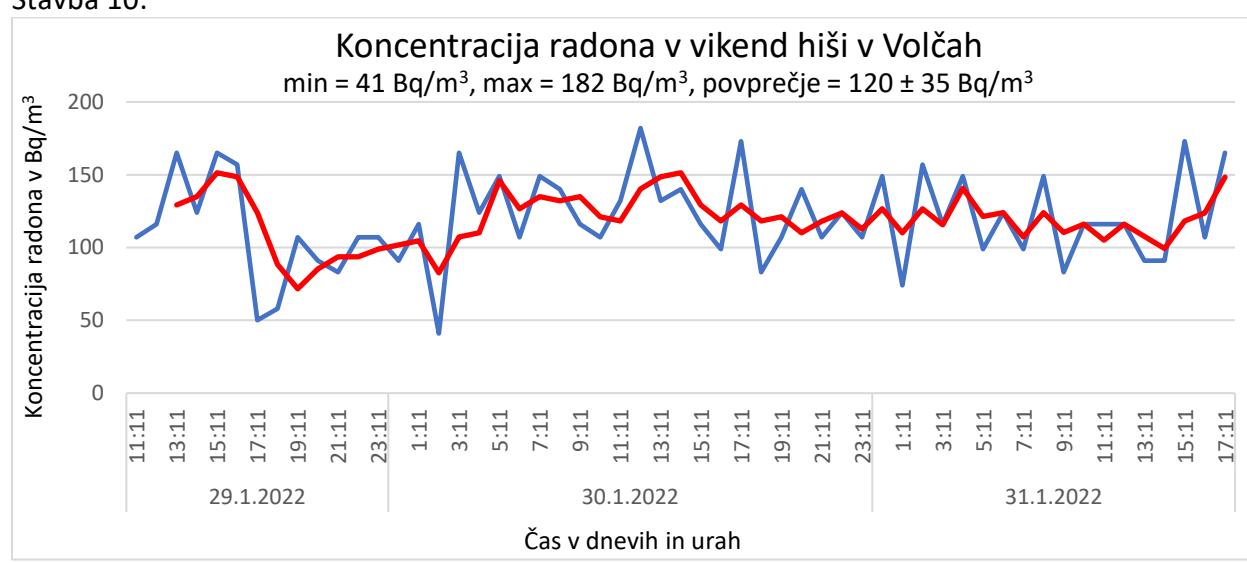


Graf 13: Koncentracija radona v stavbi 8

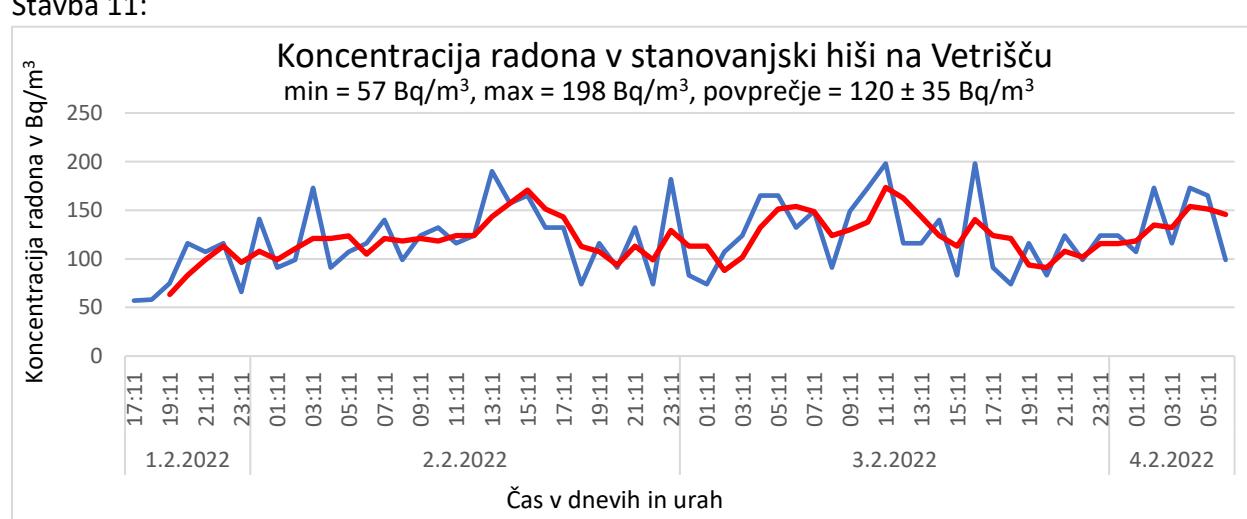
Stavba 9:



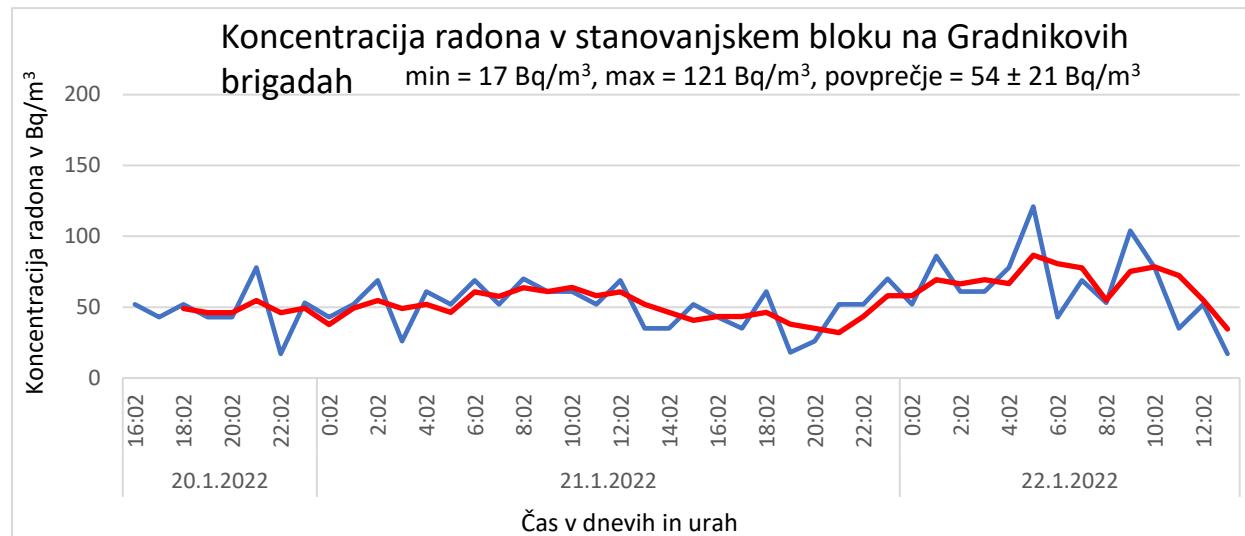
Stavba 10:



Stavba 11:

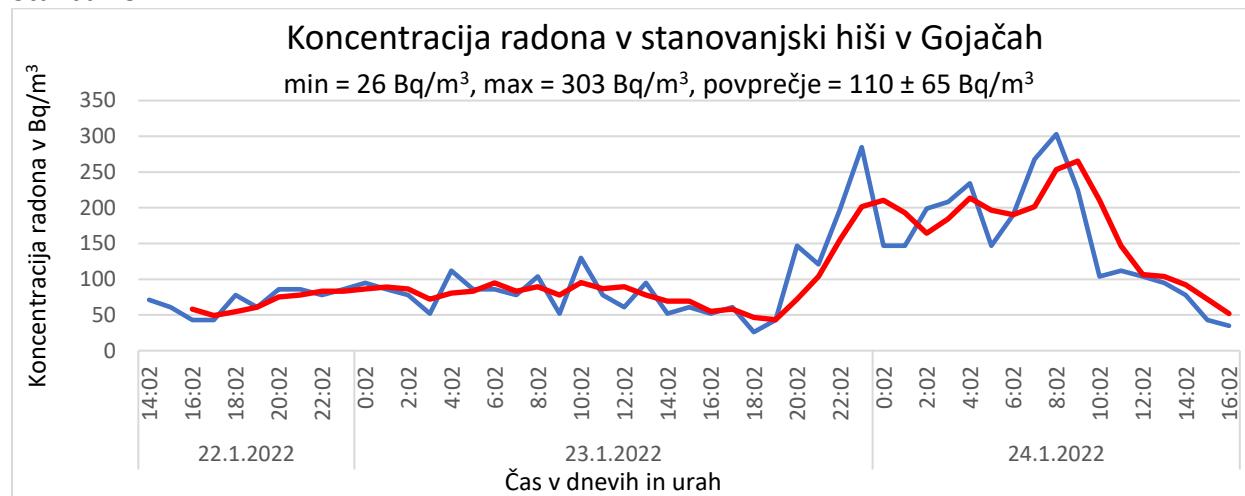


Stavba 12:



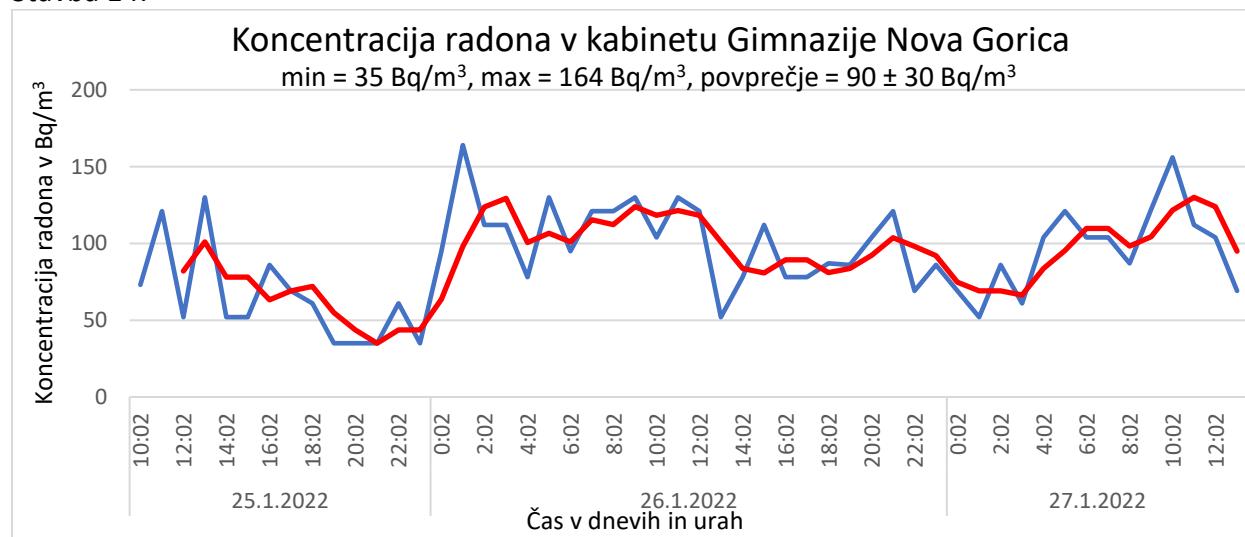
Graf 17: Koncentracija radona v stavbi 12

Stavba 13:



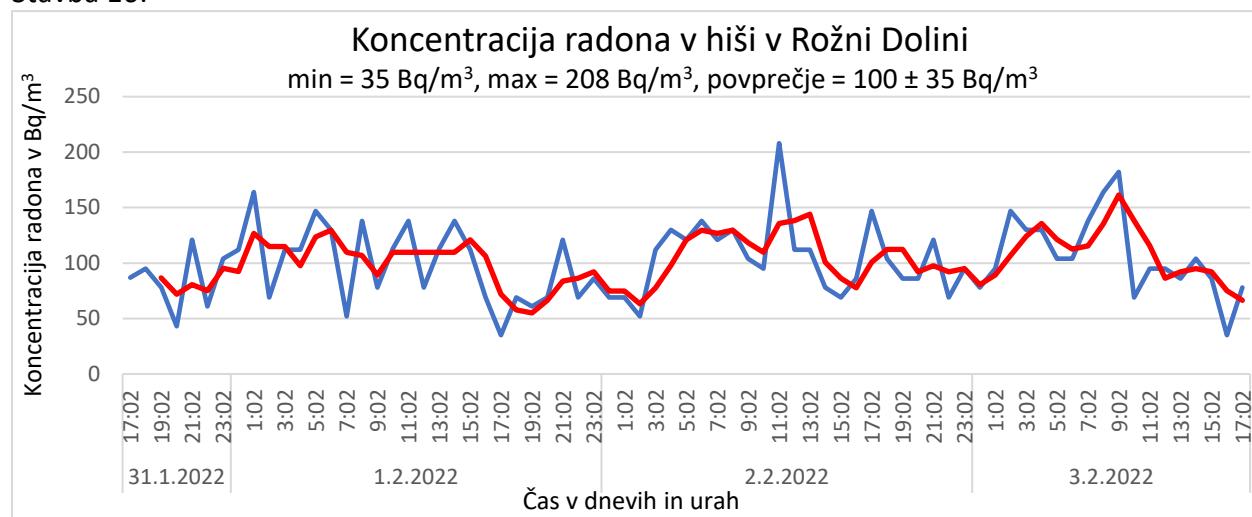
Graf 18: Koncentracija radona v stavbi 13

Stavba 14:



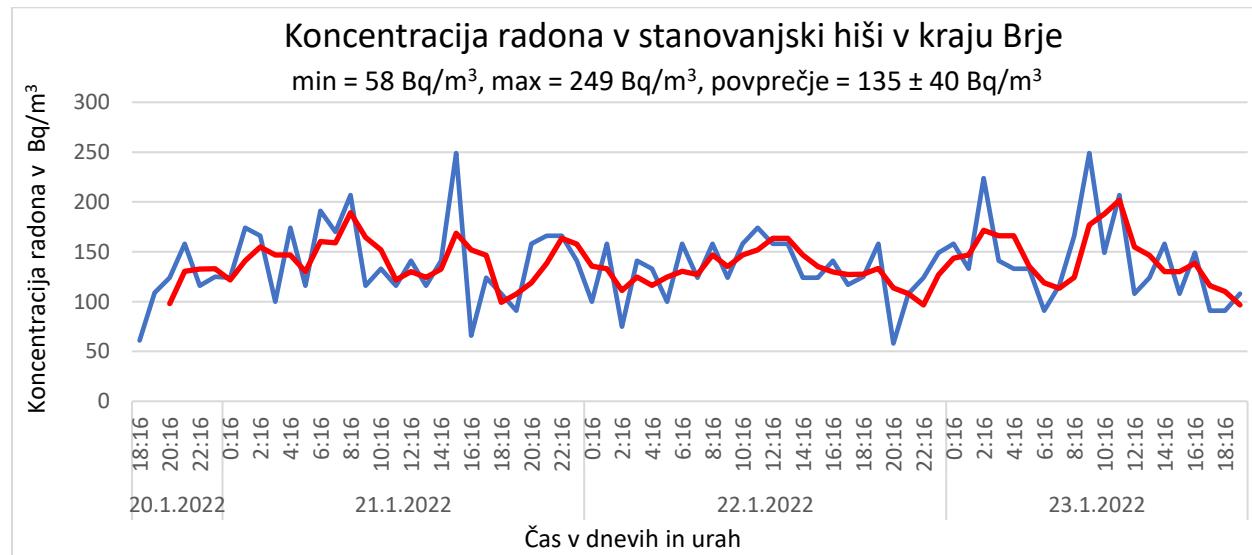
Graf 19: Koncentracija radona v stavbi 14

Stavba 16:



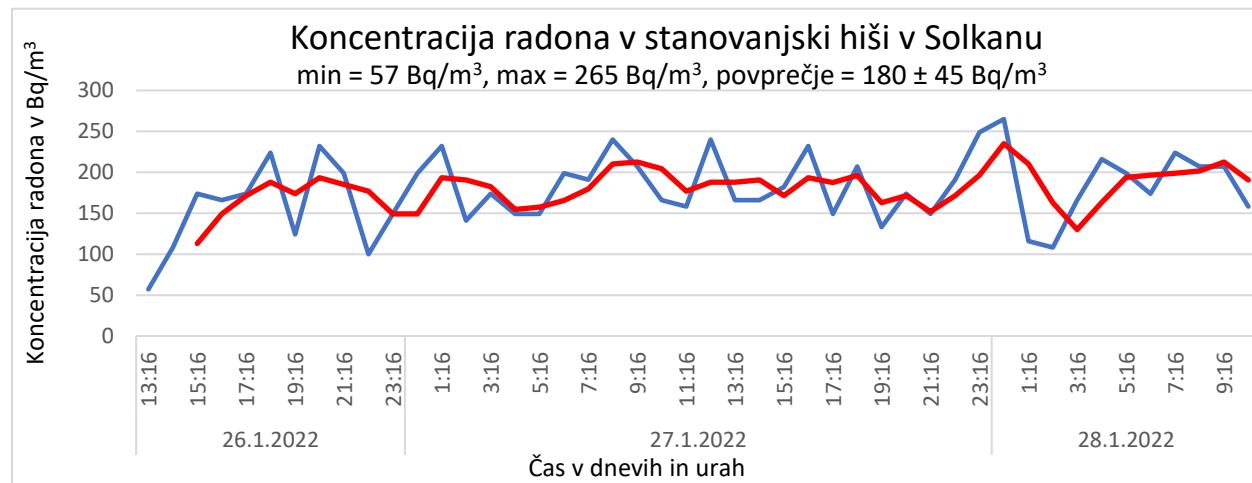
Graf 20: Koncentracija radona v stavbi 16

Stavba 17:



Graf 21: Koncentracija radona v stavbi 17

Stavba 19:



Graf 22: Koncentracija radona v stavbi 19

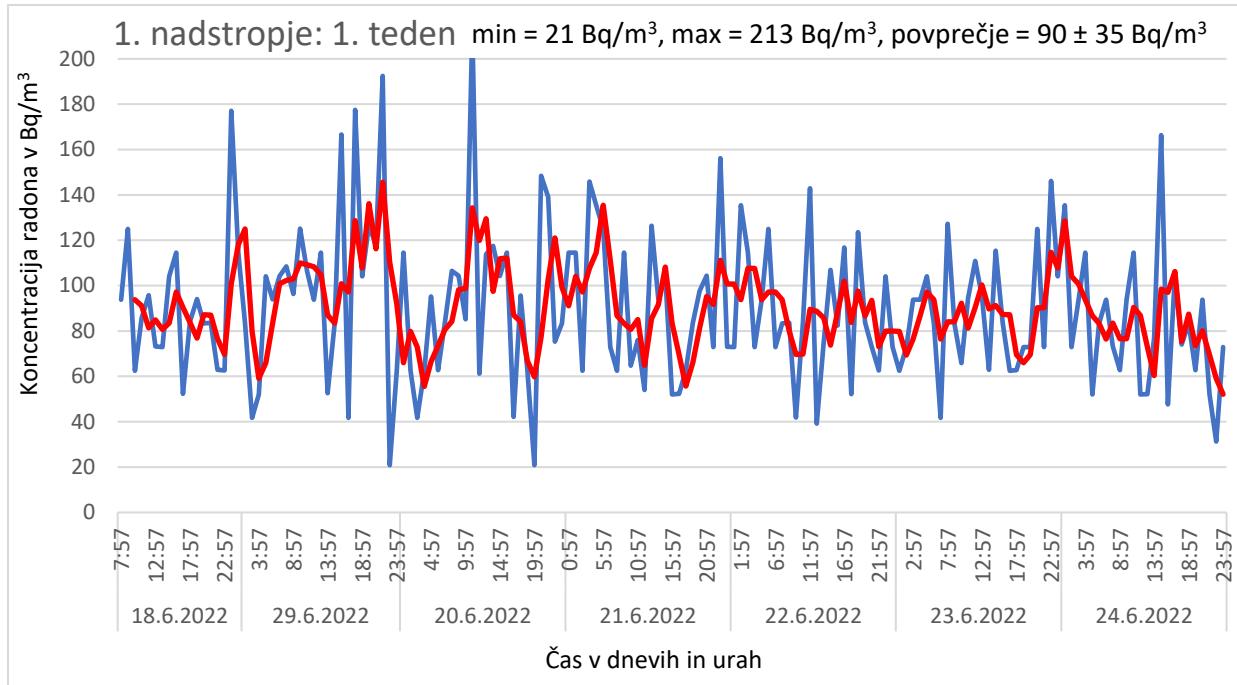
4.2.3 DODATNE MERITVE KONCENTRACIJE RADONA V STAVBI 20

V stavbi 20 smo med vsemi enaindvajsetimi stavbami, vključenimi v raziskavo, izmerili najvišjo maksimalno in najvišjo povprečno koncentracijo radona (graf 1). Meritev je potekala od 28. do 30.1.2022 v pritličju dvostanovanjske hiše v Solkanu. Časovni potek koncentracije radona smo predstavili na grafu 6.

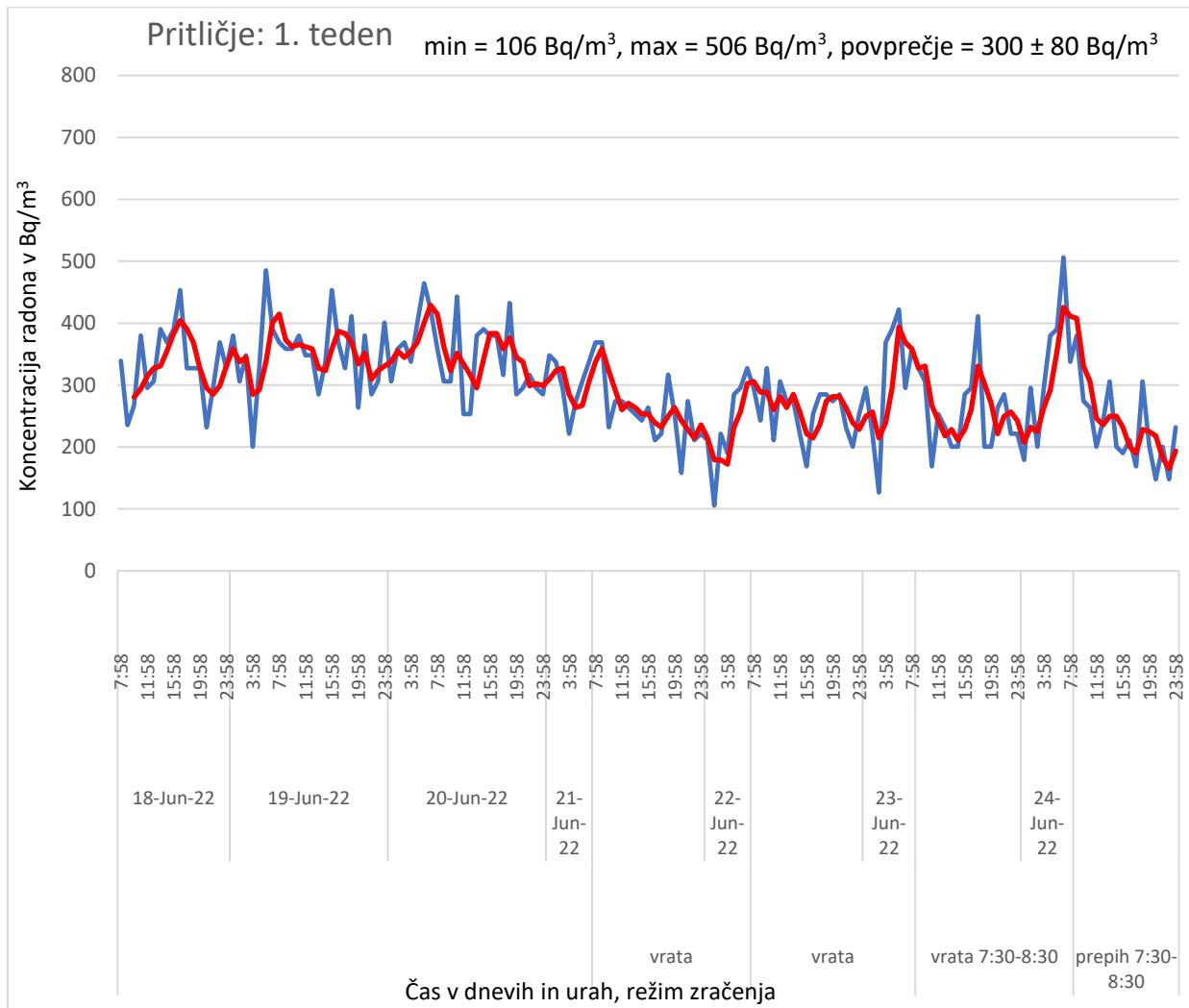
Zaradi visoke koncentracije radona v zimskem času smo se odločili, da meritev opravimo še v poletnem času, istočasno v pritličju in prvem nadstropju hiše, saj so koncentracije radona poleti za faktor dva do tri nižje kot pozimi (Vaupotič et al., 2018). Daljša meritev, v kateri smo načrtovali zračenje (odpiranje oken in vrat), je potekala v času od 18.6. do 15.7.2022. Ugotoviti smo želeli, za koliko različni režimi prezračevanja znižajo koncentracijo radona.

Kljub rednemu zračenju je bila v pritličju koncentracija radona (grafi 24, 26, 28 in 30, oziroma graf 31) večino časa nad mejno vrednostjo 300 Bq/m^3 (ULRS, 2018). Po pričakovanju je znatno nižja (za faktor 3 do 5) kot januarja, ko je bila povprečna koncentracija 1000 Bq/m^3 . Zaradi rednega prezračevanja ni opaziti značilnega dnevnega trenda z maksimalnimi koncentracijami radona ponoči in minimalnimi preko dneva. Opazimo pa, da so znižanja koncentracije še posebej izrazita in hitra ob prepihu. Vendar pa, ko zmanjšamo intenziteto zračenja ali ga ne izvajamo, koncentracija radona zopet hitro naraste, kar vidimo v zadnjem delu časovnega poteka (graf 30), ko koncentracija radona preseže tisto pred zračenjem. Čeprav se z iskanjem virov radona v tej nalogi nismo ukvarjali, pa lahko sklepamo, da radon precej neovirano vstopa v stavbo. Iz zadnjega izrazitega porasta koncentracije radona na krivulji smo izračunali, da radon vstopa v stavbo s hitrostjo $93 \text{ Bq/m}^3\text{h}$ (Dovjak et al., 2021). To smo storili tako, da smo od maksimalne koncentracije radona 1055 Bq/m^3 , ki je bila 13.7. ob 5:58 zjutraj, odšteli minimalno koncentracijo radona 496 Bq/m^3 prejšnjega večera ob 23:58, ter dobljeno razliko delili s številom ur med posameznima koncentracijama. Interval, za katerega smo računali hitrost naraščanja koncentracije, je označen na grafu 30.

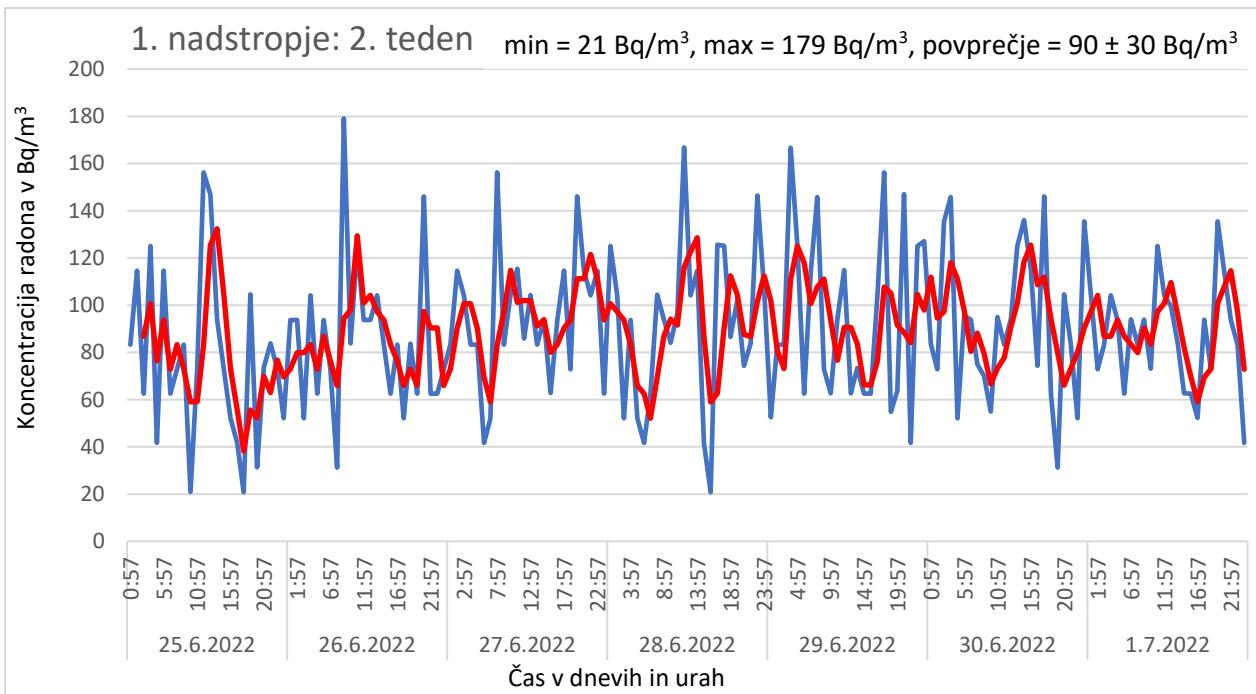
V prvem nadstropju hiše (graf 23, 25, 27 in 29, oziroma graf 32) je bila koncentracija radona pretežno v območju od 50 do 150 Bq/m^3 , kar je zadovoljivo nizko. Ker je bilo pritliče dobro prezračeno, je to vplivalo tudi na koncentracijo radona v prvem nadstropju. Čeprav se radon širi iz pritličja v višja nadstropja stavbe, je koncentracija v višjih nadstropjih odvisna tudi od tlora stavbe (če so nadstropja ločena z vrti) in navad stanovalcev (zapiranje vrat) (Vaupotič et al., 2018). Glede na to, da povišanje koncentracije radona v pritličju v zadnjem obdobju meritve (graf 30) ni vplivalo na koncentracijo v prvem nadstropju v tem času (graf 29), sklepamo, da se radon slabo širi med nadstropji.



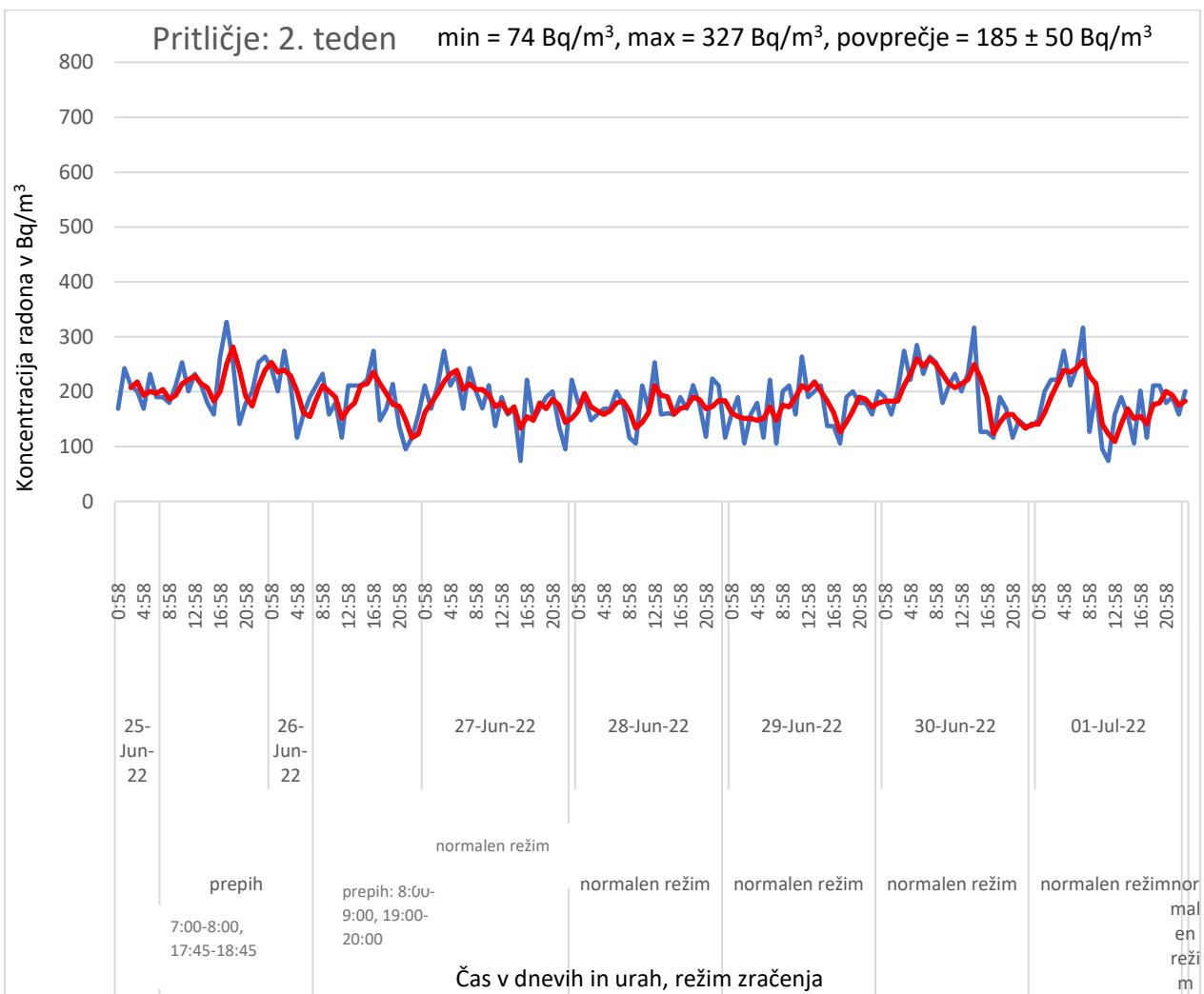
Graf 23: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 24.6.



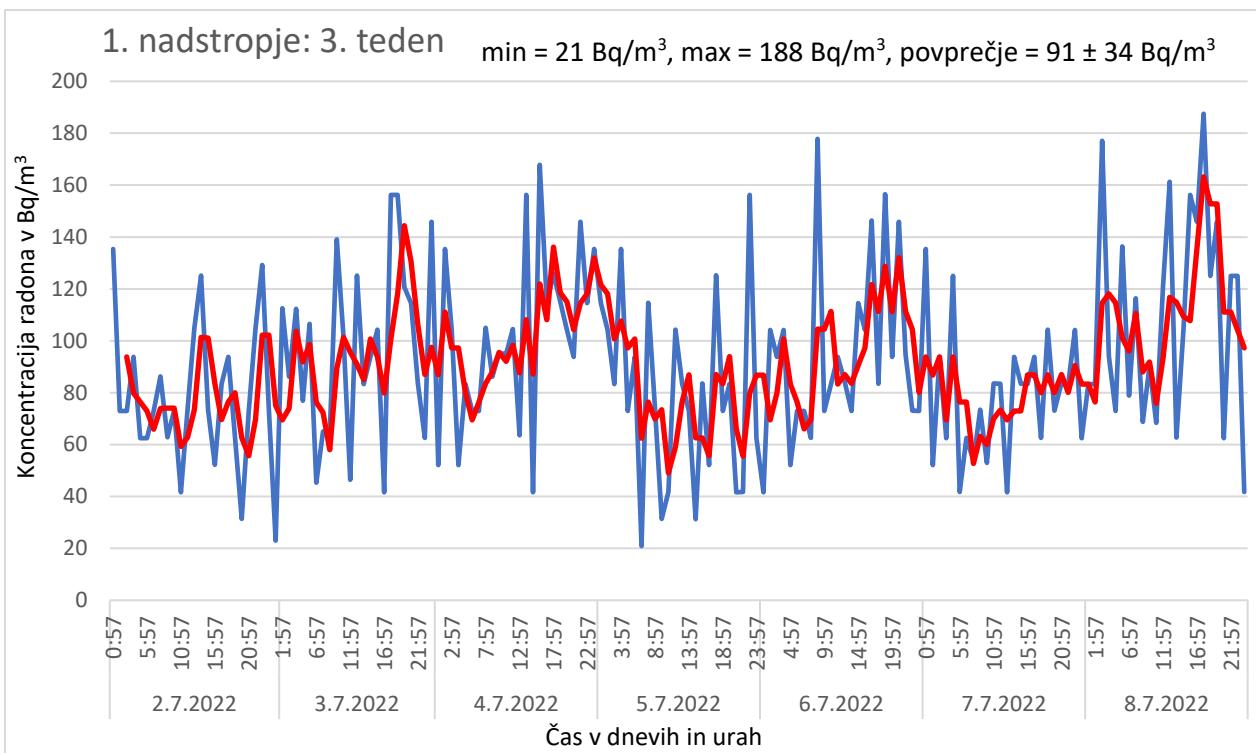
Graf 24: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 24.6.



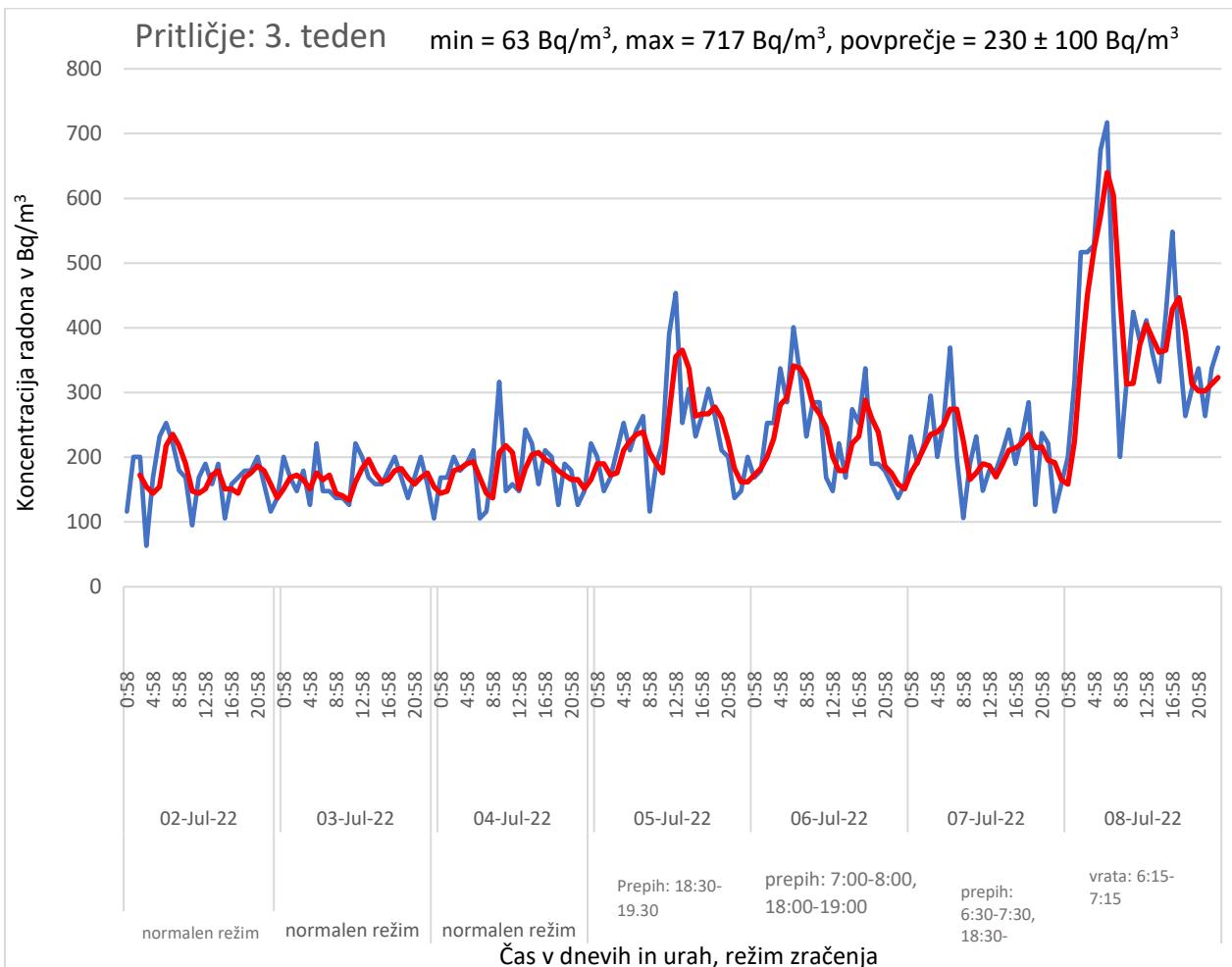
Graf 25: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 25.6. do 1.7.



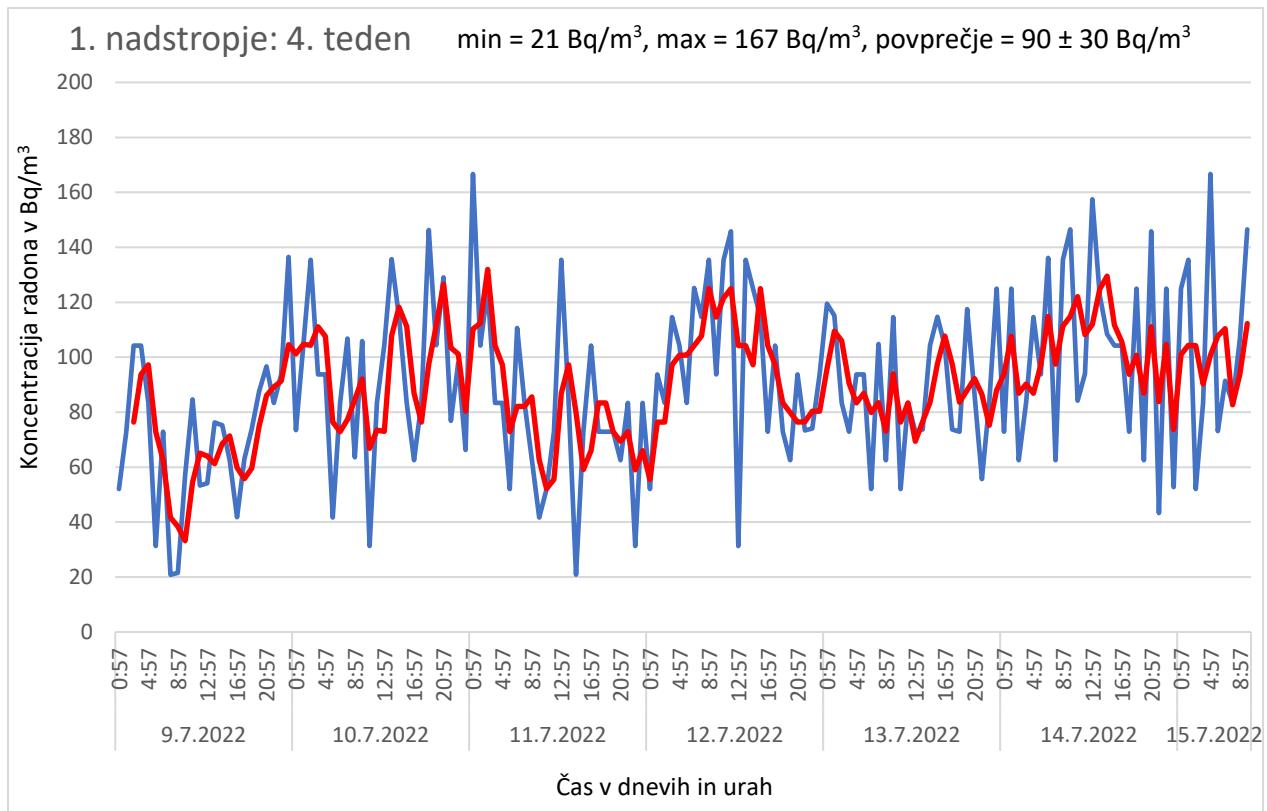
Graf 26: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 25.6. do 1.7.



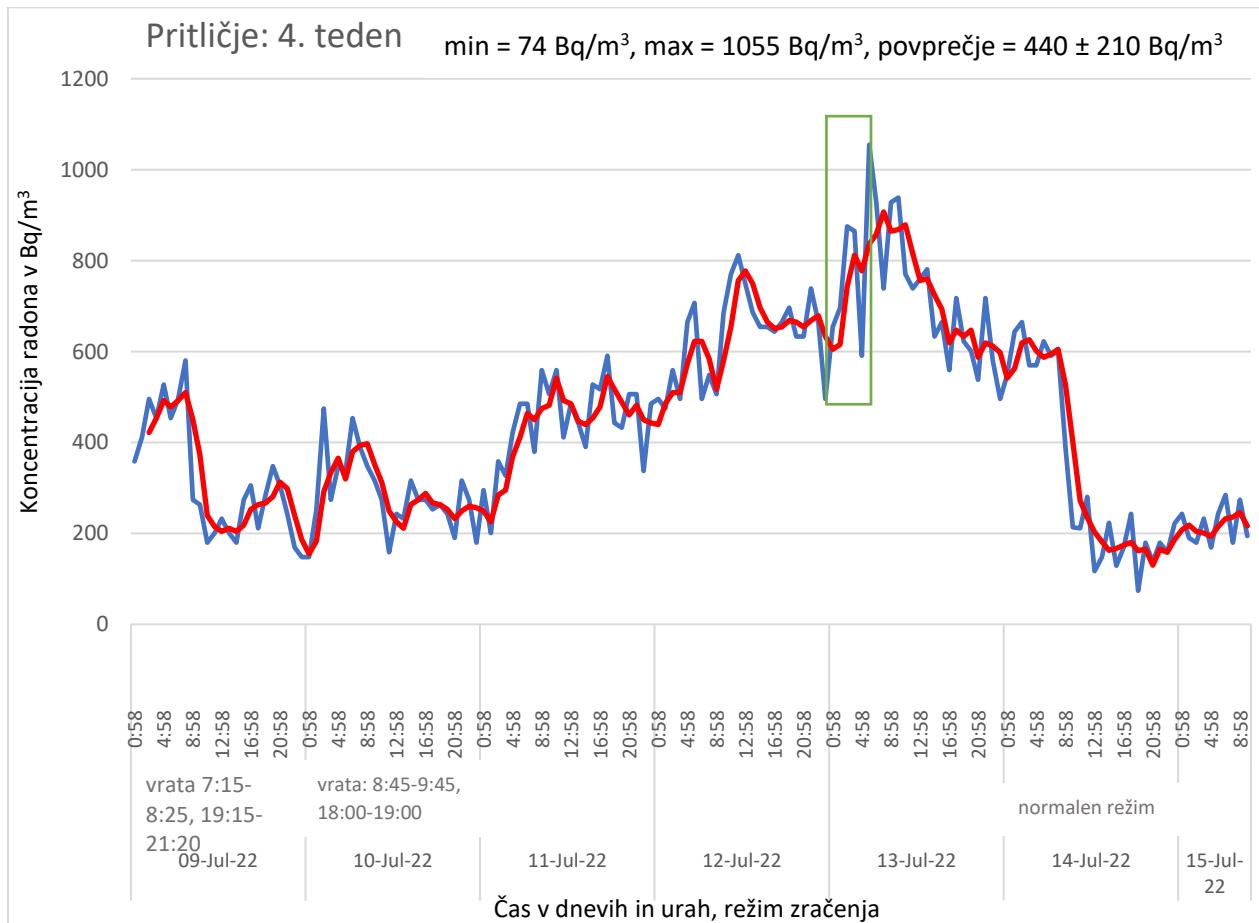
Graf 27: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 2.7. do 8.7.



Graf 28: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 2.7. do 8.7.



Graf 29: Kontinuirni potek koncentracije radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 9.7. do 15.7.



Graf 30: Kontinuirni potek koncentracije radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 9.7. do 15.7.

V tabeli 2 podajamo koncentracije radona za pritličje stavbe za nekaj različnih časovnih obdobjij opazovanja, in sicer pred in po ter povprečno koncentracijo s standardnim odklonom za (i) obdobja brez zračenja, (ii) odprta vrata, (ii) normalen režim in (iv) prepih.

Tabela 2: Vpliv zračenja na koncentracijo radona

Obdobje	Način	Povprečna koncentracija radona (Bq/m ³)
18.–20.6.	Brez prezračevanja	345 ± 60
21.–23.6.	Odprta vrata	262 ± 63
24.–26.6.	Prepih	220 ± 70
27.6.–4.7.	Normalni režim	180 ± 45
5.–7.7.	Prepih	225 ± 70
8.–10.7.	Odprta vrata	335 ± 125
11.–13.7.	Brez prezračevanja	600 ± 160
14.–15.7.	Normalni režim	300 ± 180

Če na kratko povzamemo rezultate v tabeli 2, so povprečne koncentracije radona naslednje: 475 Bq/m³ v obdobjih brez prezračevanja, 300 Bq/m³ v času odprtih vrat, 240 Bq/m³ pri normalnem režimu prezračevanja in 225 Bq/m³ v času prepiha. Glede na koncentracijo radona, ko ni bilo prezračeno, je pri odprtih vratih koncentracija padla na okrog 0,60, pri odprtih vratih na okrog 0,50 in med prepihom še nekoliko niže, na okrog 0,45 najvišje vrednosti. To je zelo groba ocena, za bolj natančno pa bi potrebovali aktiven merilnik (ki bi črpal zrak), ki bi zajemal podatke meritev v krajsih časovnih intervalih (na primer na 10 min). Ker se tudi pri dolgotrajnem prepihu koncentracija radona ne zniža pod 200 Bq/m³, lahko s tem potrdimo intenziven vstop radona v stavbo, kar smo dokazali že z izračunom hitrosti vstopa 93 Bq/m³h. Poudariti moramo tudi, da so lahko razmere v različnih letnih časih povsem drugačne.

Naravno prezračevanje (odpiranje oken in vrat) je enostavno in učinkovito, če je dovolj pogosto in intenzivno, lahko zniža koncentracije radona tudi za faktor 2 (Andersen et al., 1997). Zavedati pa se moramo, da lahko v hladni polovici leta predstavlja dodaten strošek pri ogrevanju stanovanj.

4.3 PRIMERJAVA KONCENTRACIJ RADONA GLEDE NA NADSTROPJE, V KATEREM SMO MERILI

Znano je, da se koncentracija radona niža od kleti/pritličja proti višjim nadstropjem (Crameri et al., 1991). Zanimalo nas je, ali nadstropje merilnega mesta tudi v naši raziskavi vpliva na koncentracijo radona v prostoru, zato smo merilna mesta razdelili v tri kategorije – glede na nadstropje: merilna mesta, ki se nahajajo v polkleti in pritličju, tista, ki se nahajajo v 1. in 2. nadstropju ter tista v višjih nadstropjih. Za vsako kategorijo posebej smo izračunali povprečno koncentracijo radona in standardni odklon. Vsi podatki so prikazani v tabeli 3. Iz tabele je razvidno, da je povprečna koncentracija radona na merilnih mestih, ki so v 1. in 2. nadstropju precej nižja od tiste v polkleti in pritličju (za 151 Bq/m³). Hkrati pa je razvidno tudi, da se med

1. in 2. nadstropjem in višjimi nadstropji ne niža več toliko (le za 16 Bq/m^3). Žal pa je število podatkov v posamezni skupini premajhno, da bi to potrdili s statističnimi izračuni.

Sklepamo lahko, da radon brez večjih težav vstopa v prostore v pritličju in 1. nadstropju, torej v prostore, ki so pogosto tudi v neposrednem stiku z zemljo (pod njimi ni nobenih prostorov, kleti), in v splošnem temeljna plošča ne predstavlja prevelike prepreke (bariere). Zato je kakovost temeljne plošče ključnega pomena pri zagotavljanju zadovoljivo nizkih koncentracij radona v stavbah. Težje in precej manj izrazito pa prehaja med posameznimi nadstropji, zato je že v prvem nadstropju koncentracija radona nižja kot v pritličju. Podobne rezultate smo dobili že pri dodatnih meritvah koncentracije radona v stavbi 20.

Tabela 3: Povprečna koncentracija radona s standardnim odklonom glede na nadstropje merilnega mesta

Nadstropje	Merilno mesto	Povprečna koncentracija radona (Bq/m^3)
Polklet, pritličje	2–4, 7, 9–11, 13, 16, 20–21	264 ± 311
1. in 2. nadstropje	5–6, 8, 14–15, 17–19	113 ± 47
Višje nadstropje	1, 12	97 ± 60

4.4 PRIMERJAVA KONCENTRACIJE RADONA GLEDE NA VRSTO OBJEKTA

V primerjavi koncentracij radona glede na vrsto objekta smo izpustili tri merilna mesta na gimnaziji, saj šola ne spada v nobeno od dveh kategorij (stanovanjska hiša, blok). Nato smo izračunali povprečne koncentracij radona glede na vrsto objekta in standardni odklon.

V tabeli 4 lahko vidimo, da je povprečna koncentracija radona v stanovanjskih hišah za okrog 90 Bq/m^3 višja kot v stanovanjskih blokih. To je lahko posledica drugačne gradnje blokov, ki imajo navadno pod pritličjem še klet ter morda boljšo kakovost temeljne plošče. Najbolj verjetno pa je, da je povprečna koncentracija radona v stanovanjskih blokih nižja zato, ker so nekatera stanovanja, v katerih smo merili koncentracijo radona, v višjih nadstropjih (torej dlje od izvora). Za stanovanja v višjih nadstropjih smo ugotovili, da imajo v povprečju nižjo koncentracijo radona. Ob tem pa ne gre zanemariti, da smo imeli precej več merilnih mest v stanovanjskih hišah kot v stanovanjskih blokih (osem več). Zato bi morda bilo povprečje drugačno, če bi imeli število merilnih mest v obeh vrstah objektov, bolj izenačeno.

Vidimo tudi, da je standardni odklon od povprečne vrednosti v stanovanjskih hišah precej višji kot v blokih. To kaže na veliko širše območje koncentracij radona v hišah (od 58 do 1000 Bq/m^3) kot v blokih (od 54 do 270 Bq/m^3). V stanovanjskih hišah so merilna mesta mnogo bliže izvoru radona v tleh, kjer je lahko koncentracija že na majhni razdalji različna za velikostni razred (Vaupotič et al., 2007), v blokih pa se koncentracija radona do stanovanj že razredči, še posebej, če so v višjih nadstropjih.

Tabela 4: Povprečna koncentracija radona s standardnim odklonom glede na vrsto objekta, v katerem smo merili

Vrsta objekta	Merilno mesto	Povprečna koncentracija radona (Bq/m^3)
Stanovanjski blok	1, 5–6, 12, 21	143 ± 87
Stanovanjska hiša	2–4, 7–8, 10–11, 13, 15–17, 19–20	234 ± 290

5 ZAKLJUČEK

5.1 OVREDNOTENJE HIPOTEZ IN SKLEP

1. Koncentracija radona bo na vseh merilnih mestih ves čas pod priporočeno maksimalno vrednostjo (300 Bq/m^3), razen na merilnih mestih na Krasu.

Hipoteza je ovržena, saj smo na merilnem mestu v Solkanu (stavba 20) v času zimskih meritev izmerili povprečno koncentracijo radona kar 1000 Bq/m^3 (graf 6), maksimalno vrednost pa celo 1534 Bq/m^3 . Vrednost 300 Bq/m^3 je bila na trenutke presežena tudi v stavbah 3, 13 in 21 (grafi 9, 18, 7). Res pa je, da smo po pričakovanjih na merilnem mestu na Krasu dobili preseženo vrednost 300 Bq/m^3 .

2. Zračenje predstavlja učinkovit način za kratkoročno nižanje koncentracije radona, vendar se koncentracija po končanem zračenju hitro zopet dvigne na koncentracijo pred zračenjem ali celo više.

Hipoteza je potrjena. Z dodatnimi meritvami v stavbi 20, pri katerih smo preučevali vpliv zračenja na koncentracijo radona, smo ugotovili, da zračenje (sploh preprih) sicer učinkovito zniža koncentracijo radona, vendar se ta po prenehanju zračenja začne hitro dvigovati in lahko tudi preseže vrednosti pred zračenjem (grafi 24, 26, 28 in 30, oziroma graf 31).

3. V prostorih v pritličju stavbe je koncentracija radona višja kot v prostorih v nadstropjih.

Hipoteza je delno potrjena. Pri primerjavi povprečne koncentracije radona na merilnih mestih v različnih nadstropjih (tabela 3) smo ugotovili, da je izrazita razlika v koncentraciji radona med merilnimi mesti v polkleti in kleti ter tistimi v 1. in 2. nadstropju (151 Bq/m^3 višja koncentracija v pritličju in polkleti). Med 1. in 2. nadstropjem ter višjimi nadstropji je razlika v koncentraciji manjša (v povprečju koncentracija pada la za 16 Bq/m^3). Čeprav smo trend padanja koncentracije radona z nadstropji zaznali, pa je število podatkov v posamezni skupini premajhno, da bi to lahko z gotovostjo trdili in statistično dokazali.

4. V individualnih hišah je koncentracija radona višja kot v stanovanjskih v blokih.

Hipoteza je potrjena. V stanovanjskih hišah je koncentracija radona v povprečju za 90 Bq/m^3 višja kot v stanovanjskih blokih (tabela 4).

V raziskovalni nalogi nas je zanimalo, kakšna je koncentracija radona v prostorih stavb na Goriškem ter vpliv nekaterih dejavnikov nanjo. Z vsemi ugotovitvami smo prišli do sklepa, da je razmislek o opravljanju meritve koncentracije radona smiseln, kar še posebej velja za bivalne prostore v pritličju. Le tako se lahko prepričamo, da živimo v zdravem okolju in primerno ukrepamo, če temu ni tako. Goriška regija ima sicer za posamezne dele regije različne stopnje tveganja za izpostavljenost radonu, vendar življenje na območju z nižjim tveganjem ni zagotovilo, da prekomerni koncentraciji radona nismo izpostavljeni tudi sami.

5 VIRI IN LITERATURA

- Abram, V., et al. (1984). Kemija. Ljubljana: Cankarjeva založba.
- Andersen, C.E., Bergsøe, N.C., Majborn, B., Ulbak, K. (1997). Radon and natural ventilation in Newer Danish Single-family houses. Indoor Air, 7, 278–286.
- Crameri, R., Furrer, D., Burkart W. (1991). Basement structure and barriers between the floors as main building characteristics affecting the indoor radon level of dwellings in the Swiss Alpine areas. Environment International, 17, 337–341.
- Dovjak, M., Virant, B., Krainer, A., Šijanec-Zavrl, M., Vaupotič, J. (2021). Determination of optimal ventilation rates in educational environment in terms of radon dosimetry. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 234, 113742, 1–11 + [13], ilustr. ISSN 1438-4639. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113742.
- Ferfolja, M. (2019). Vpliv bivalnih navad na dinamiko radona v domovih (Magistrsko delo). Nova Gorica: [M. Ferfolja]
- Gorenc, J. (2018). Radon in njegovi potomci (Diplomska delo). Ljubljana: [J. Gorenc].
- Hassan, N., Hosoda, M., Ishikawa, T., Sorimachi, A., Sahoo A.S., Tokonami, S., Fukushi, M. (2009). Radon mitigation process and its influence factors: review. Japan Journal of Health Physics, 44(2), 218–231.
- Ishimori, Y., Lange, K., Martin, P., Mayya, Y.S., Phaneuf, M. (2013). Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues. International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Leban, M. (2013). Vpliv okolja in bivalnih navad na raven radona v domovih (Diplomska delo). Nova Gorica: [M. Leban].
- Lipušček R. Geografska predstavitev Tolminskega.
Pridobljeno: 8.8.2023: <https://www.tolmin.si/objava/89211>
- Marušič, B. (2010). Tehnologije zmanjševanja koncentracije radona v zaprtih prostorih (Diplomska delo). Maribor: [B. Marušič].
- Razvoj Krasa: Geološka zgradba, Kamnine in relief, Kras
Pridobljeno: 8.2.2023: <https://www.razvojkrasa.si/si/relief/index.html>
- Razvoj Krasa: Flišna pokrajina
Pridobljeno: 8.2.2023: <https://www.razvojkrasa.si/si/relief/149/article.html>
- Robertson, A., Allen, J., Laney, R., Curnow A. (2013). The cellular and molecular carcinogenic effects of radon exposure: a review. International Journal of Molecular Sciences, 14(7), 14024–14063.
- Sarad GmbH. (2017). User manual: Radon Scout, Version 04/2017.
- Šeliga, Š. (2008). Stopnja radioaktivnega ravnotežja med radonom in njegovimi kratkoživimi razpadnimi produkti (Diplomska delo). Nova Gorica: [Š. Šeliga].

Šutar, A. (2014). Radioaktivnost (Seminarska naloga). Maribor: [A. Šutar].

ULRS (2018). Uredba o nacionalnem radonskem programu. Uradni list RS, št. 18/18, 86/18 in 152/20.

Vaupotič, J., Križman, M., Planinić, J., Adamič, K., Stegnar, P., Kobal, I., Pezdič, J. (1994). Systematic indoor radon and gamma measurements in kindergartens and play schools in Slovenia. *Health Physics*, 66(5), 550–556. ISSN 0017-9078.

Vaupotič, J., Barišić, D., Kobal, I., Lulić, S. (2007). radioactivity and radon potential in the *terra rossa* soil. *Radiation Measurements*, 42, 290–297.

Vaupotič, J., Kobal, I. (2008). Radioaktivnost in zaščita pred sevanji. Univerzitetni študijski program Okolje: šolsko leto 2007/2008. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju, učno gradivo.

Vaupotič, J., Gregorič A. (2017). Priprava radonskega zemljevida Slovenije na ravni naselij. IJS-DP-12349.

Vaupotič, J., Brodar, A., Gregorič, A., Kobal, I. (2018). Radon dynamics in a dwelling with high radon levels in a karst area. Special publication of the Geological Society of London. 451(1), 63–82. ISSN 0305-8719. DOI: 10.1144/SP451.9.

Vaupotič, J., Šikovec, M., Kobal, I. (2000). Systematic indoor radon and gamma-ray measurements in Slovenian schools. *Health Physics*, 78, 559–562. ISSN 0017-9078.

Velišček, T. (2009). Alfa scintilacijske celice za merjenja radona v zraku: njihova kalibracija, preizkus tesnosti in njihova uporaba v vinskih kleteh (Diplomsko delo). Nova Gorica: [T. Velišček].

Vodnik po Gradnikovi učni poti.

Pridobljeno: 8.2.2023: https://slov.si/dipl/porenta_petra.pdf

WHO (2009). World Health Organization. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. In: Zeeb, H., Shannoun, F. (Eds.), Geneva.

https://www.who.int/ionizing_radiation/env/97892415_47673/en/. accessed 20.02.23

7 VIRI SLIK

Slika 1: Radioaktivnost-sevanje in okolje:

https://www.google.com/search?q=radioaktivni+razpadi&sxsrf=ALiCzsYS9wwsu_n-EpTPAYHy8FYkajY_w:1653497268582&source=lnms&tbs=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjwstKqjfv3AhV-SvEDHVGCAIQQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1536&bih=750&dpr=1.25#imgrc=U8QrQlS4LxcCKM

Dostop: 8.2.2023

Slika 2: Ferfolja (2019)

(https://www.google.com/search?q=radonova+razpadna+vrsta&sxsrf=ALiCzsbyhwIA0aWQiRR1zFxh7jl3u-jc-w:1670073846296&source=lnms&tbs=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjhnu3yxd37AhX1_7slHc70A3UQ_AUoAXoECCsQAw&biw=2560&bih=1325&dpr=1#imgrc=EATpkL-w1mORRM)

Dostop: 8.2.2023

Slika 3:

EC (2021). European indoor radon map, European Commission, Joint Research Centre, Radioactivity Environmental Monitoring (<https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Digital-Atlas/Indoor-radon-AM/Indoor-radon-concentration>) (22.11.2022)

Slika 4:

Vaupotič J., Gregorič A. (2017). Priprava radonskega zemljevida Slovenije na ravni naselij. IJS-DP-12349.

Slika 5:

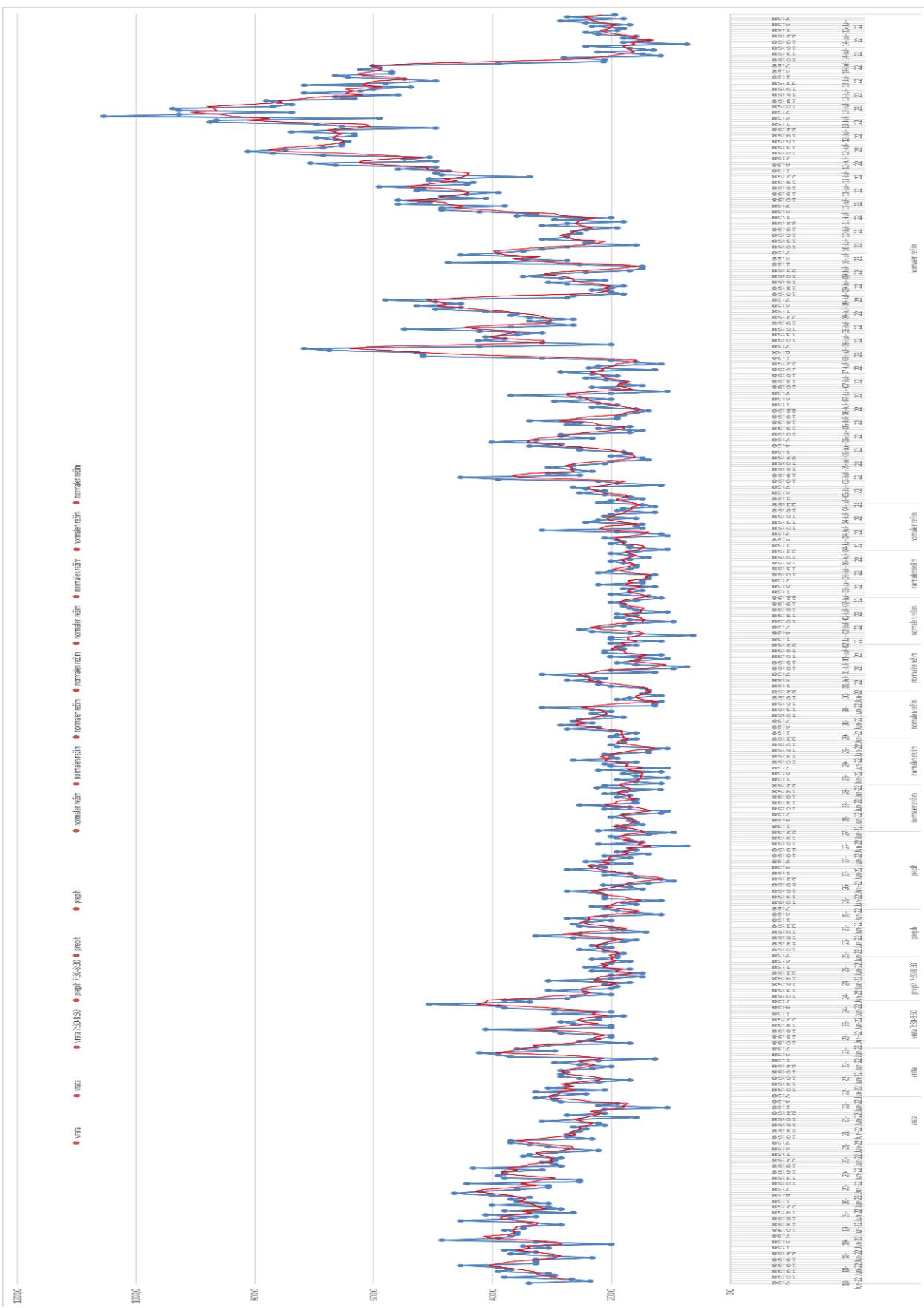
Vaupotič J., Gregorič A. (2013). Radioaktivni žlahtni plin radon. Didakta, 3(2), 21–22.

Slika 6:

Primorske novice, 2019 (<https://www.primorske.si/2019/09/05/sele-ko-se-bodo-poenotili-o-zemljevidu-bodo-lahko>)

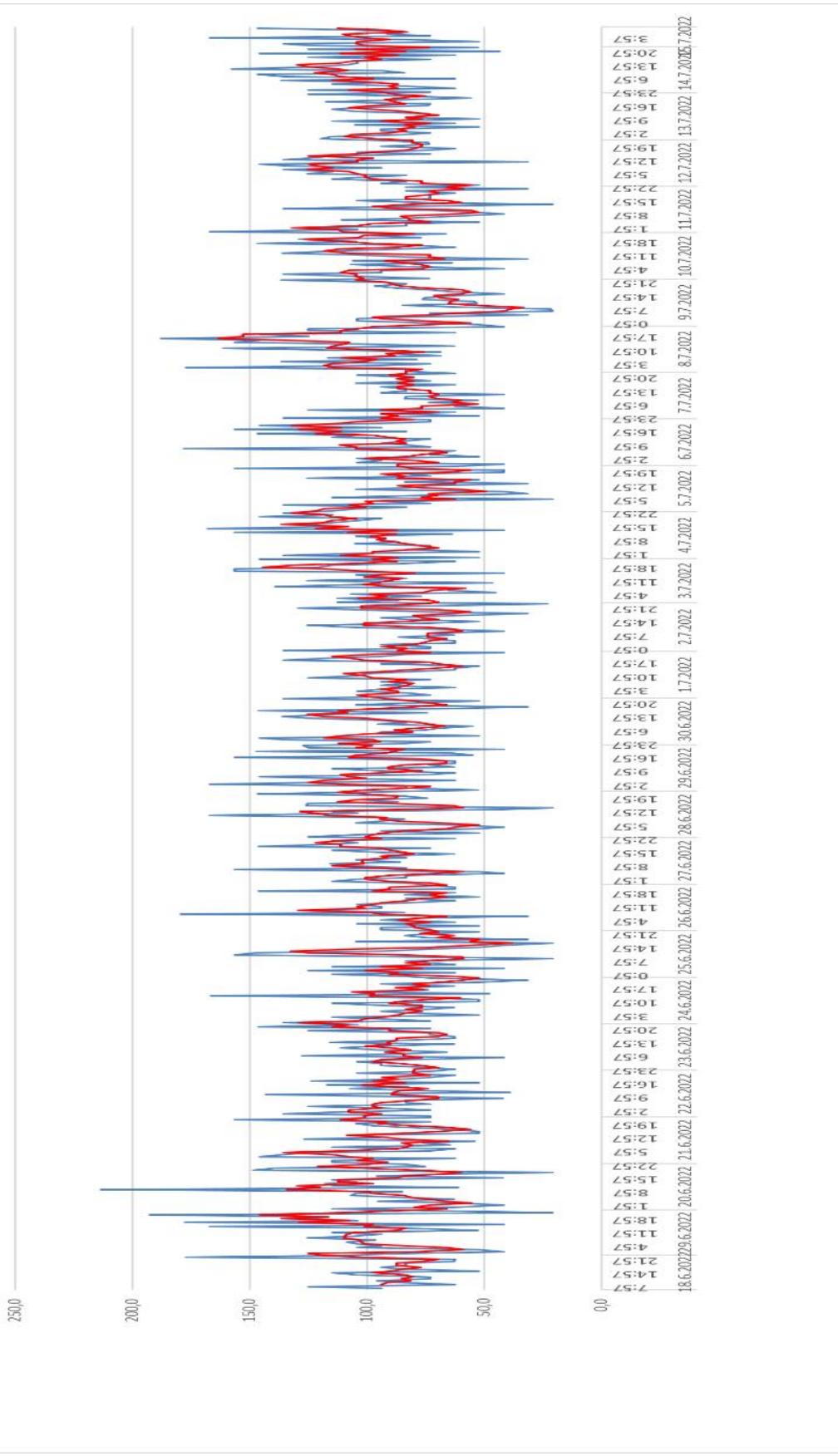
Dostop: 8.2.2023

8 PRILOGE



Graf 31: Grafi 24, 26, 28 in 30 (Koncentracija radona na hodniku v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 15.7.2022)

RS77



Graf 32: Grafi 23 , 25, 27 in 29 (Koncentracija radona v dnevni sobi v stanovanjski hiši v Solkanu v času od 18.6. do 15.7.2022)