



# Koncentracija radona: Primerjava merilne metode Tsivoglou z merilnikom Radon Eye

Evalvacija meritev in izračunov

Tim Javornik

Mentorja: Vesna Slapar Borišek, Univ. dipl. fiz. in mag. Matjaž Koželj

Ljubljana, 2023

JAVORNIK, T.: Koncentracija radona: Primerjava merilne metode Tsivoglou z merilnikom Radon Eye

Evalvacija meritev in izračunov, Institut Jožef Stefan, Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo, 2023.

#### POVZETEK

V evalvaciji obravnavamo in primerjamo rezultate meritev koncentracij radonovih potomcev z merilnikom Radon Eye in izračuni z metodo Tsivoglou.

Ključne besede: Radon Eye, metoda Tsivoglou, Radonovi potomci

#### ABSTRACT

In this evaluation we compare the results from the Tsivoglou method to the results yielded by the Radon Eye measuring device and see how close the calculations of Radon daughter concentrations stack to those of Radon Eye's.

Key words: Radon Eye, Tsivoglou method, Radon daughters

## Kazalo vsebine

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metoda Tsivoglou</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Meritve z merilnikom Radon Eye</b>	<b>4</b>
3.1	Nastanek radonovih potomcev . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Zaključek</b>	<b>7</b>

# 1 Uvod

Koncentracije radona so v bivalnih prostorih ali delovnih okoljih odvisne od zračnega tlaka, depozitov urana pod zemljo, kjer se stavba nahaja in strukturnih materialov samih prostorov. Gradbeni materiali se s časom spreminjajo, saj z razvojem postajajo cenejši ter bolj dostopni in učinkoviti. To pomeni, da so stavbe starejše gradnje bolj susceptibilne za višje koncentracije radona, kot stavbe nove gradnje. Razpolovni čas izotopa urana  $U_{92}^{235}$  je 700 milijonov let, elementarnega urana  $U_{92}^{238}$  pa 4,5 milijarde let. Zaradi sevanja koncentracije radona ne smejo presegati določenih mejnih vrednosti glede na okolje v katerem se nahajamo, kar merimo v delovnih nivojih  $WL$  oziroma angleško *Working Level Units*. Slednjo količino izračunamo s koncentracijami radonovih potomcev in metodo Tsivoglou ali s sofisticirano merilno opremo kot je merilnik proizvajalca FT Lab, Radon Eye. Potomci sevajo večinoma  $\alpha$  delce, ki sami po sebi niso škodljivi, saj v zraku dosežejo nekaj centimetrov ali jih ustavi že koža. Ob vstopu v telo z zavžitjem ali vdihavanjem  $\alpha$  delci postanejo nevarni in so eden od povzročiteljev pljučnega raka, največji vpliv pa imajo na kadilce.

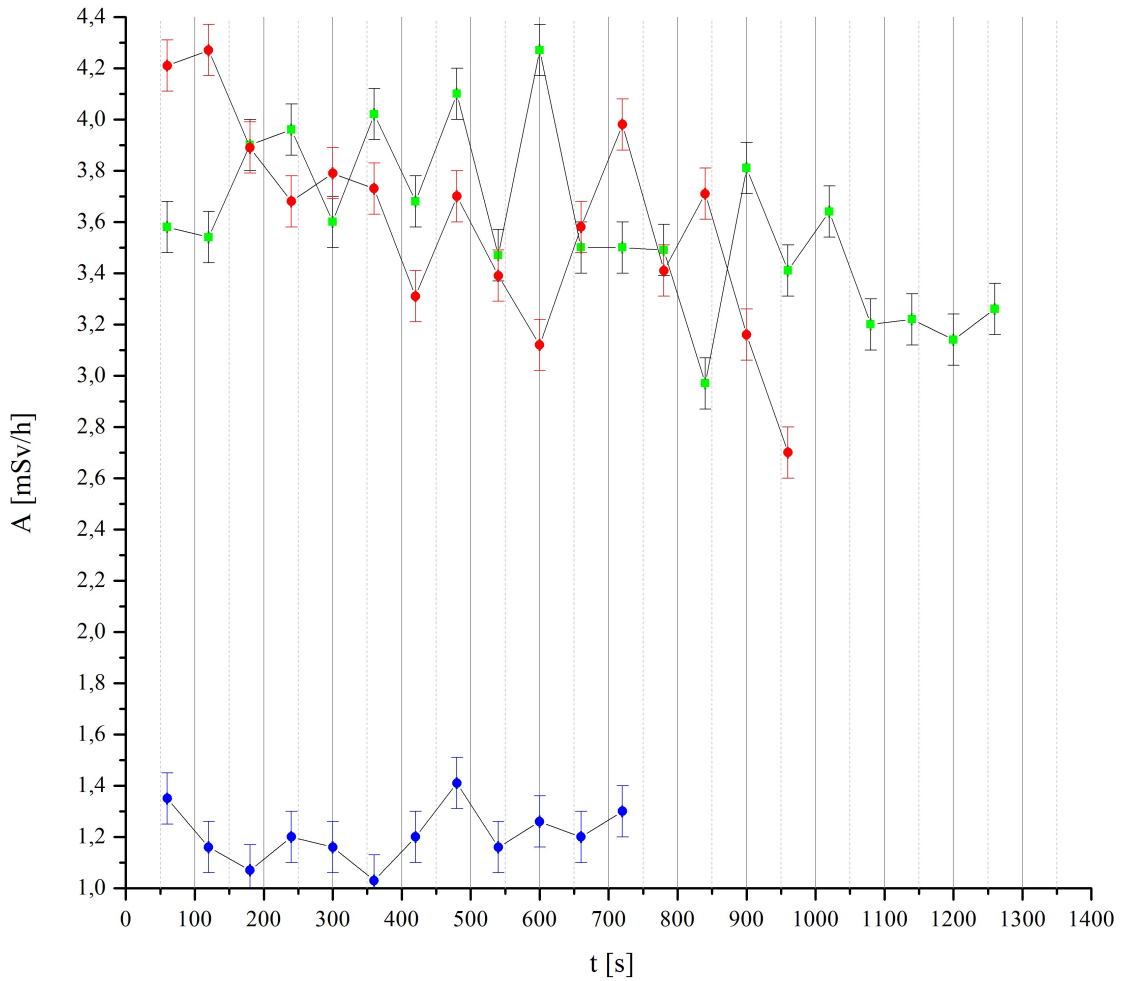
Cilj evalvacije je prikazati rezultate meritev koncentracije radona z merilnikom Radon Eye proizvajalca FT Lab in jih primerjati z izračunano koncentracijo radona z metodo Tsivoglou.

V poročilu podrobno prikažemo izračun koncentracije radona z metodo Tsivoglou (poglavje 2). Nato primerjamo rezultate z izmerjenimi vrednostmi (poglavje 3) in ugotovitve povzamemo v poglavju 4.

## 2 Metoda Tsivoglou

S to metodo dokaj natančno izračunamo koncentracije radonovih ( $Rn_{86}^{222}$ ) potomcev, ki se v prostorih zadržujejo nekaj ur ali nekaj dni po razpadu radona. Vzorec sestavljajo po večini  $Po_{84}^{218}$ ,  $Pb_{82}^{214}$  in  $Bi_{83}^{214}$ . Slednje je odvisno od strukture vzorca, ki je vedno naključen. S Tsivoglou metodo koncentracije določimo tako, da prečrpavamo zrak skozi filter, ki je dobro pretočen, vendar ne prereditelj ali pretanek, da se delci na njem bolj na gosto akumulirajo in tako dobimo bolj natančen izračun. V našem primeru smo s Pitot-Prandtlovo cevjo prvo izmerili hitrost sesanega zraka ( $v$ ), Presek sesalne cevi  $S$ , eksperimentalno določili najbolj optimalen filter (slika 1 ter slika 2) in zrak prečrpavali do

Aktivnost filtrov po 2 minutah akumulacije delcev (Amfiteater)



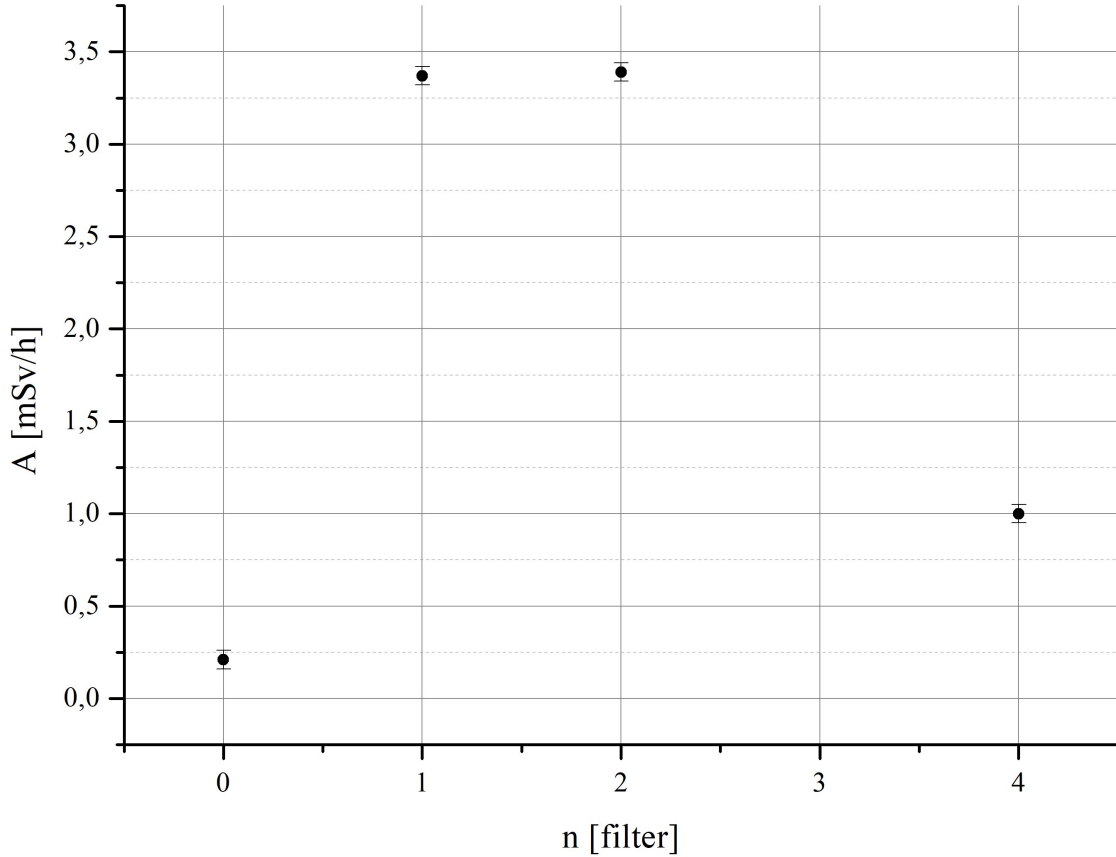
Slika 1. Koncentracije ( $A$ )  $\alpha$  sevalcev na treh različnih filtrih pri konstantni vrednosti pretoka zraka ( $\Phi_m$ ) po določenem času sesanja ( $t = 2$  min). Modra krivulja: tanek in viskopretočen filter, rdeča krivulja: dvoslojni steklenovlakenski filter, zelena krivulja: tanka naluknjana krpica za čiščenje. Napaka ocenjena na podlagi resolucije merilnika in učinkovitosti zaznavanja  $\alpha$  sevalcev ( $\sim 90\%$ ).

stabilnega ravnovesja. Zanimal nas je tudi pretok zraka  $\Phi_m$ , ki ga izračunamo po enačbi

$$\Phi_m = Sv. \quad (1)$$

Za izračun koncentracij prvih treh potomcev radonovega razpada, in kumulativne koncentracije, potrebujemo štiri podatke. Ti so sevanje iz ozadja  $R$ , pretok sesanega zraka, učinkovitost merilnika  $E$  in število zaznanih delcev v določenem časovnem intervalu  $G$ . Sevanje ozadja in sevanje filtra izmerimo z Geiger-Müllerjevim merilnikom, učinkovitost razberemo iz priloženih navodil za uporabo in izračunamo pretok sesanega zraka iz izmer-

## Povprečna aktivnost filtrov in ozadja

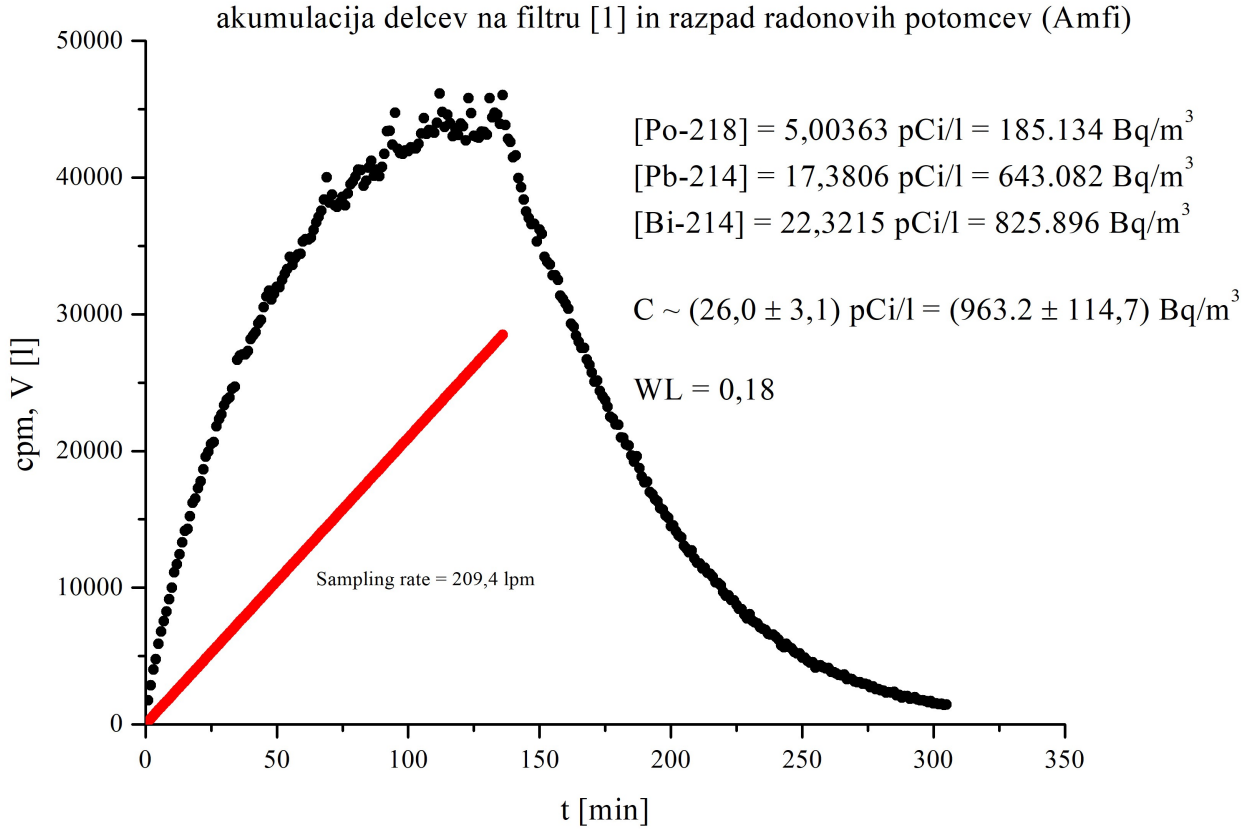


Slika 2. Koncentracije ( $A$ )  $\alpha$  sevalcev na treh različnih filterih v primerjavi z ozadjem pri konstantni vrednosti pretoka zraka ( $\Phi_m$ ) po določenem času sesanja ( $t$ ).  $n$  je zaporedna številka filtra.  $n = 0$ : ozadje,  $n = 1$ : tanka naluknjana krpica za čiščenje,  $n = 3$ : dvoslojni steklenovlakenski filter in  $n = 4$ : tanek in viskopretočen filter. Napaka ocenjena glede na standardno deviacijo od povprečne vrednosti.

jene hitrosti ter preseka sesalne cevi po enačbi (1). Karakteristična krivulja črpanja in razpadanja radonovih potomcev je prikazana na sliki 3. S podatki iz tabele meritev, ki sovpadajo s sliko 3, izračunamo koncentracije potomcev in skupno koncentracijo radona v določenem prostoru tako:

$$\begin{aligned}
 C_{Po^{218}} &= \frac{0,16746G_1 - 0,0813G_2 + 0,0769G_3 - 0,0566R}{VE}, \\
 C_{Pb^{214}} &= \frac{0,00184G_1 - 0,0209G_2 + 0,0494G_3 - 0,1575R}{VE}, \\
 C_{Bi^{214}} &= \frac{-0,0235G_1 + 0,0337G_2 - 0,0382G_3 - 0,0576R}{VE},
 \end{aligned} \tag{2}$$

kjer so  $C_{Po^{218}}$ ,  $C_{Pb^{214}}$  in  $C_{Bi^{214}}$  koncentracije prvih treh radonovih potomcev,  $G_1$ ,  $G_2$  in  $G_3$  pa skupne vsote zaznanih delcev v časovnih intervalih  $t_1 \in [2, 5]$  min,  $t_2 \in [6, 20]$  min



Slika 3. Merjenje koncentracije zaznanih delcev ( $cpm$ ) na filtru 1 do ravnovesnega stanja in razpad radonovih potomcev s časom  $t$ . Črna krivulja predstavlja akumulacijo delcev na filtru ter njihov razpad, rdeča pa volumen prečrpanega zraka pri pretoku  $\phi_m = 209,4 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Na sliki so vidne koncentracije preračunane z metodo Tsivoglou ter skupna koncentracija  $C$ . Napaka na grafu ni vidna, zato je raje zapisana ob izračunu povprečja aktivnosti.

ter  $t_3 \in [21, 30]$  min po končanem sesanju zraka skozi izbrani filter pri konstantem  $\Phi_m$ . Skupno koncentracijo izračunamo po enačbi

$$C = \sqrt{C_{Po^{218}}^2 + C_{Pb^{214}}^2 + C_{Bi^{214}}^2}. \quad (3)$$

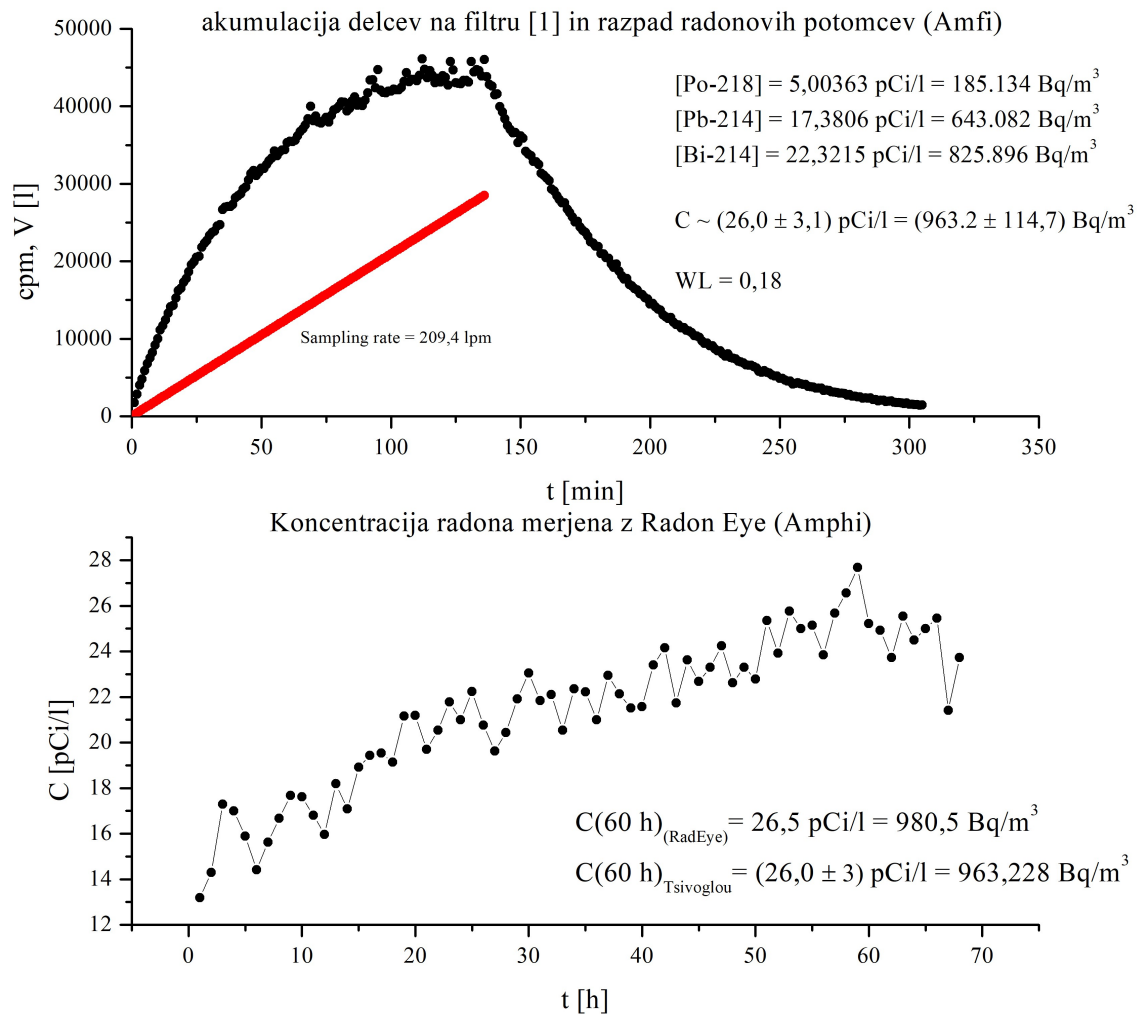
Delovni nivo ( $WL$ ) izračunamo tako:

$$WL = 0,00103C_{Po^{218}} + 0,00507C_{Pb^{214}} + 0,00373C_{Bi^{214}}. \quad (4)$$

### 3 Meritve z merilnikom Radon Eye

Z merilnikom Radon Eye, proizvajalca FT Lab, smo rezultate dobili že v roku ene ure, kar je približno 6-krat hitreje kot z metodo Tsivoglou. Prva meritev je trajala 70 h. Takrat smo izvedli tudi meritve z metodo Tsivoglou in dobili rezultate primerjave metod

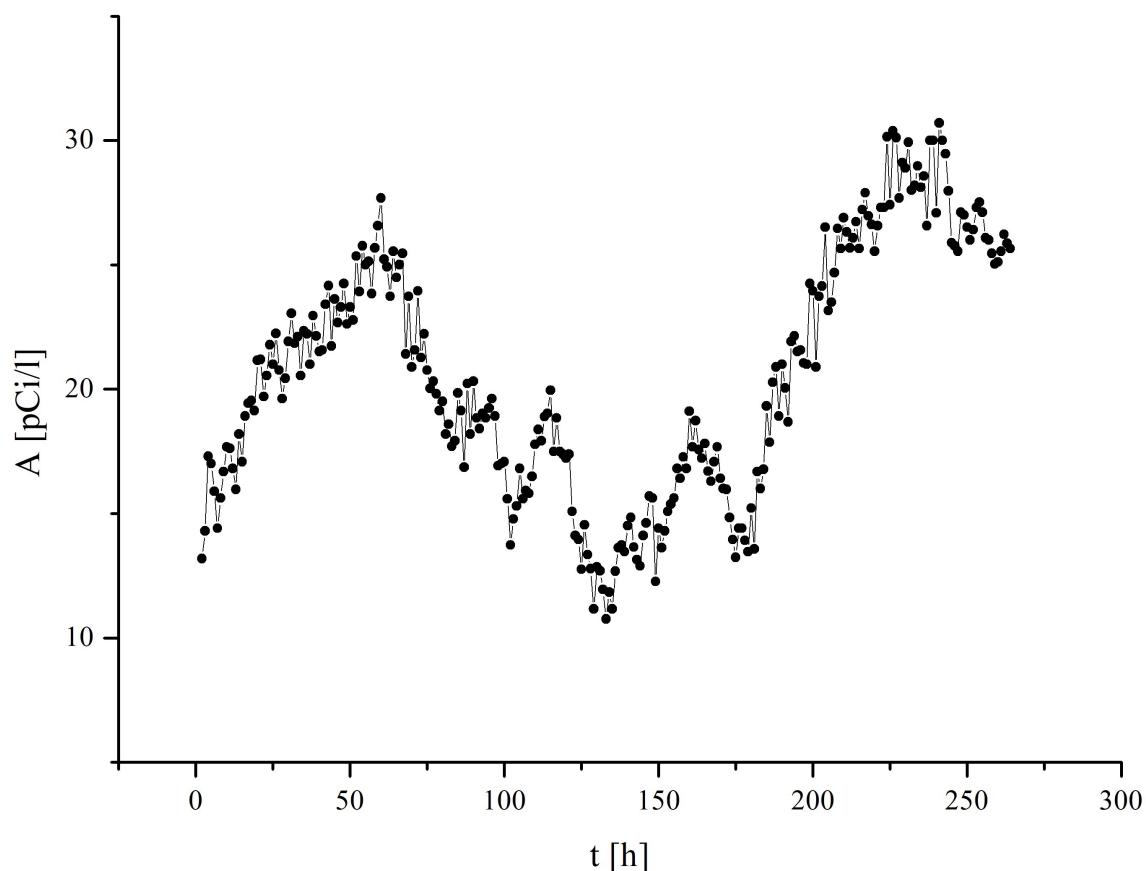
prikazane na sliki 4. Skupno smo merili 264 h, da smo opazovali tudi nihanje koncentracije radona v prostoru, tj. maksimume in minimume (slika 5). Prišli smo do ugotovitve, da sta obe metodi izjemno učinkovni, vendar je metoda Tsivoglou časovno veliko bolj zahtevna. Nihanje koncentracije radona pripišemo zračenju prostora in zunanjemu zračnemu tlaku. Iz oblike grafa je moč razbrati kdaj je bil zračni tlak relativno visok in kdaj nizek. Ta



Slika 4. Primerjava izračunane skupne koncentracije radona z metodo Tsivoglou (zgoraj) in merilnikom radon Eye (spodaj). Napaka ocenjena glede na napako presesanega volumna in učinkovitosti merilnika.

podatek nam omogoči tudi napovedovanje vremena za krajše obdobje in nam poda dober pregled nad vremenom iz preteklosti, saj na podlagi tlačnih sprememb izračunamo vlago v zraku in posledično napovemo ali sledijo padavine, veter ali prijetno vreme.

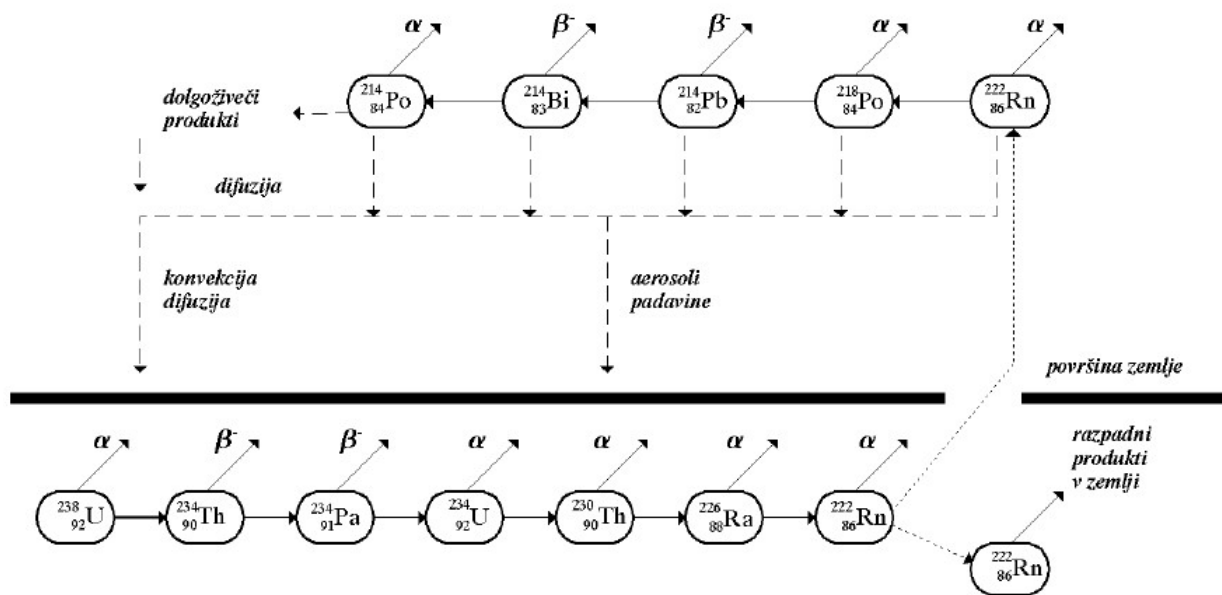
### Koncentracija radona merjena z Radon Eye (Amphi)



Slika 5. Koncentracija radona ( $A$ ) v odvisnosti od časa ( $t$ ) za obdobje dveh tednov. Napaka je pri takem časovnem obdobju zanemarljivo majhna zaradi resolucije merilnika in se na grafu ne pozna, če želimo pregledno sliko.

#### 3.1 Nastanek radonovih potomcev

Radon nastaja posredno iz uranove rude in njenih razpadnih produktov, razvidno iz slike 6. Pred postavitvijo objektov je zelo pomembno geološko preučiti področje, kjer se bo gradilo, saj tista območja, ki imajo velike zaloge uranove rude, najbolj pripomorejo k depozitom radonovih potomcev. Ti se sprimejo tudi s prašnimi delci, ki lebdijo po zraku in so nevarni tudi za nekoliko odmaknjena področja, posebno, če je to na odprtem in vetrovnem območju. Seveda so vsi potomci, ki razpadajo, radioaktivni in imajo različne razpolovne čase. Radon je lahek plin in sam po sebi nima neposrednega vpliva na zdravje. Težji elementi pa sedimentirajo in tako neposredno škodujejo zdravju interno.



Slika 6. Model nastanka radononovih potomcev iz uranove rude. Povzeto po: P. Koželj, *Raziskovalna naloga: Radon v našem okolju*, 14, Slika 6.

## 4 Zaključek

V poročilu smo primerjali izračune koncentracije radona po metodi Tsivoglou s sofisticirano merilno opremo Radon Eye (slika 4), namenjeno merjenju koncentracije radona. Opazili smo, da sta obe metodi zelo učinkoviti, vendar je v zameno za čas, metoda Tsivoglou bolj modularna kot meritve z merilnikom Radon Eye, saj nam poda specifične koncentracije potomcev radonovega razpada s katerimi sami izračunamo skupno koncentracijo po enačbi (3), medtem ko nam Radon Eye poda le skupno koncentracijo. Z metodo Tsivoglou izračunamo tudi delovne nivoje (enačba (4)), katerih z merilnikom radon Eye ne moremo. Radon Eye je mišljen za meritve na daljše obdobje (do enega leta), kar nam da izjemno dober pregled nad obnašanjem koncentracije med letom ter različnimi vremenskimi razmerami. Z metodo Tsivoglou pa si pomagamo takrat, ko želimo trenutni rezultat in poceni rešitev. Cena merilnika Radon Eye je okrog 150 €, Geiger-Müllerjevega merilnika pa okoli 60 €. V nadaljnje bi bilo uporabno izdelati tudi 3D prostorsko mapo povprečnih koncentracij radona po celotnem ICJT za potencialne izboljšave delovnega okolja z novimi materiali, zračenjem in namenom uporabe.