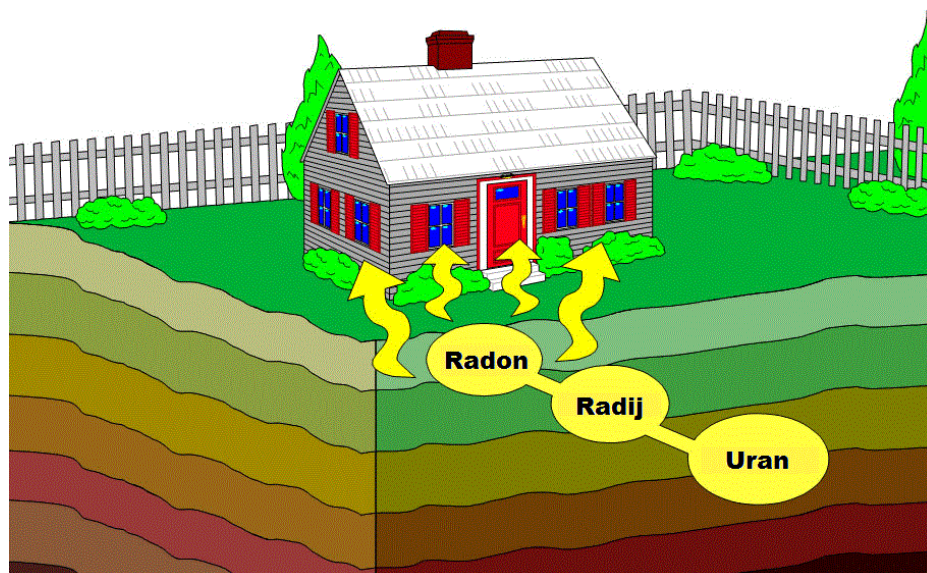


Merjenje koncentracije radona v kletnih in bivalnih prostorih

Raziskovalna naloga



Avtorja:

Tim ŠLOSAR, 1. č

Rene RATEJ, 1. č

Mentor:

Roman OCVIRK, prof. fizike

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2015

Zahvala

Zahvaljujeva se mentorju Romanu Ocvirku, prof., profesorju Nejcu Robidi, za lekturo in vsem profesorjem, ki so nama dovolili odsotnost od pouka, da sva lahko pisala raziskovalno nalogo. Zahvaljujeva se tudi gospodu ravnatelju, dr. Antonu Šepetavcu, za vso podporo pri izdelavi raziskovalne naloge.

Povzetek

Cilj najine raziskovalne naloge je izdelava preprostega merilnika za merjenje razpadov radona v določenem prostoru in raziskati, ali je njegova koncentracija v Sloveniji pod dovoljeno vrednostjo. Zanimalo naju je predvsem, ali je v prostorih, kjer se zadržujemo večino časa, koncentracija radona prevelika in ali je nevarna našemu zdravju.

V teoretičnem delu sva se seznanila s teoretičnimi osnovami o radonu, radioaktivnosti, z vplivom radona na zdravje ljudi, koncentracijo radona v Sloveniji, vrstami merilnikov ...

V praktičnem delu sva izdelala preprost merilnik za merjenje razpadov radona v določenem prostoru. Meritve sva izvedla v različnih nadstropjih šole, v domačih stanovanjih, v stanovanju iz žlindre opeke, v prostoru z odprtimi okni in zunaj na prostem. Ugotovila sva, da je koncentracija radona v teh prostorih pod mejno koncentracijo in da zadrževanje v teh prostorih ni nevarno zdravju.

Kazalo

Zahvala	II
Povzetek	III
Kazalo.....	1
Kazalo slik.....	2
Kazalo grafov	2
Kazalo enačb	3
Kazalo tabele	3
1 Uvod.....	4
1 Namen in cilji raziskovalne naloge	4
1.1 Hipoteze.....	4
2 Teoretični del	5
2.1 Radon.....	5
2.2 Osnove radioaktivnosti in definicija enot.....	5
2.3 Vpliv radona na ljudi in okolje	6
2.3.1 Radon v Sloveniji	6
2.3.2 Mejne koncentracije radona v okolju	7
2.3.3 Radonska karta Slovenije	7
2.3.4 Biološki učinki sevanja	8
2.3.5 Celica.....	8
2.3.6 Neposredna in posredna izpostavljenost sevanju DNK	9
2.3.7 Posledice izpostavljenosti celice sevanju	9
2.3.8 Učinki sevanja na živo snov in na človeka	10
2.3.9 Izpostavljenost sevanju in omejitve	11
2.4 Razpadne vrste radona.....	11
2.5 Enačba in krivulja radioaktivnega razpada.....	12
2.6 Merilniki	13
2.6.1 PRM 145 – prenosni merilnik radona	13
2.6.2 Canary – merilec radona	14
2.6.3 Track-Etch CR-39 detektorji.....	15
3 Praktični del	16
3.1 Način merjenja radona v naši raziskovalni nalogi.....	16
3.2 Drugi način merjenja	17
3.3 Meritve.....	18
3.3.1 Umeritvena meritev	18
3.3.2 Meritev za klet I. gimnazije v Celju	19
3.3.3 Meritev za kabinet fizike.....	20
3.3.4 Meritev za Gimnazijko.....	21
3.3.5 Meritev pri prezračevanju	21
3.3.6 Meritev v stanovanju iz žlindre opeke	22
3.4 Analiza grafa.....	23
4 Ugotovitve.....	26
4.1 Preverjanje hipotez	26

5	Zaključek.....	26
6	Viri in literatura.....	27

Kazalo slik

Slika 1: Radioaktivna penetracija [2]	5
Slika 2: Koncentracija radona v Sloveniji	8
Slika 3: DNK ter posledice posredne in neposredne izpostavljenosti molekule DNK sevanju .	9
Slika 4: Razpadni niz torija, urana in aktinija	12
Slika 5: Graf N v odvisnosti od t, ki ga kaže slika zgoraj, je eksponentna krivulja [7]	13
Slika 6: PRM 145 – prenosni merilnik radona, aktivna tehnika merjenja	14
Slika 7: Canary – digitalni merilec povprečne koncentracije radona, aktivna tehnika merjenja	15
Slika 8: Track-Etch CR-39 detektorji, pasivna tehnika merjenja.....	15
Slika 9: Merilnik Digital radiation monitor.....	16
Slika 10: Naš preprosti merilnik za merjenje razpadov radona.....	17
Slika 11: Merilnik AWARE RM-80	17

Kazalo grafov

Graf 1: Vzroki za nastanek pljučnega raka in njihov odstotek	6
Graf 2: Umeritvena meritev z našim merilnikom	18
Graf 3: Graf razpada radona v toplotni postaji I. gimnazije v Celju z našim merilnikom	19
Graf 4: Graf razpada radona v toplotni postaji I. gimnazije v Celju z merilnikom AWARE RM-80	19
Graf 5: Graf razpada radona v kabinetu fizike I. gimnazije v Celju z našim merilnikom	20
Graf 6: Graf razpada radona v kabinetu fizike I. gimnazije v Celju z merilnikom AWARE RM-80	20
Graf 7: Graf razpada radona v Gimnazijki I. gimnazije v Celju z našim merilnikom	21
Graf 8: Graf razpada radona v kabinetu fizike pri prezračevanju I. gimnazije v Celju z našim merilnikom	21
Graf 9: Graf razpada radona v stanovanju iz žlindre opeke z našim merilnikom.....	22
Graf 10: Graf razpada radona v stanovanju iz žlindre opeke z merilnikom AWARE RM-80	22
Graf 11: Graf razpada radona v toplotni postaji I. gimnazije v Celju z našim merilnikom	23
Graf 12: Prvi del krivulje	23
Graf 13: Osrednji del krivulje	24
Graf 14: Razpolovni čas radona in njegovih kratkoživih produktov	25

Kazalo enačb

Enačba 1: Diferencialna enačba radioaktivnega razpada	6
Enačba 2: Rešitev diferencialne enačbe	6
Enačba 3: Enačba razpolovnega časa	6
Enačba 4: Diferencialna enačba radioaktivnega razpada	12
Enačba 5: Enačba radioaktivnega razpada	12
Enačba 6: Enačba za razpolovni čas.....	25
Enačba 7: Rezultat razpolovnega časa	25

Kazalo tabele

Tabela 1: Državna določila in mejne letne koncentracije radona v Sloveniji	7
--	---

1 Uvod

1 *Namen in cilji raziskovalne naloge*

Vse se je začelo, ko sva v poročilih videla, kako so morali v Idriji zapreti vrtec zaradi prevelike koncentracije radona. Takoj naju je zanimalo, ali je tudi v prostorih, kjer se zadržujemo večino časa, koncentracija prevelika, zato sva želela ugotoviti, ali lahko izdelava preprost merilnik radona.

1.1 *Hipoteze*

V raziskovalni nalogi sva zastavila naslednje hipoteze:

H1: V prostorih bližje tlam je koncentracija radona večja.

H2: Izdelati je mogoče preprost merilnik koncentracije radona.

H3: Življenje v zgradbah, ki so zgrajene iz žlindre opeke, je zdravju škodljivo.

H4: S prezračevanjem prostora znižamo koncentracijo radona.

2 Teoretični del

2.1 Radon

Radon je kemični element, ki ima v periodnem sistemu simbol Rn in atomsko število 86. Njegov atomski polmer je 123 pm. Ta radioaktivni žlahtni plin nastane z razpadom radija; radon je eden najtežjih plinov in je škodljiv zdravju. Najstabilnejši izotop, ^{222}Rn , ima razpolovno dobo 3,8 dneva, uporablja se v radioterapiji.

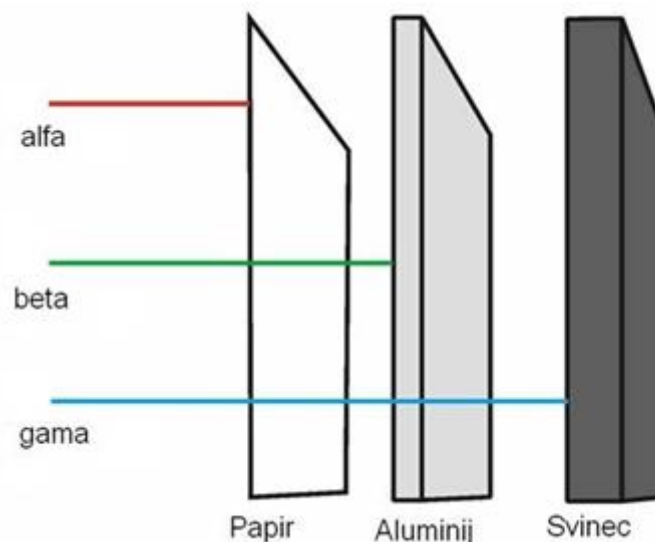
2.2 Osnove radioaktivnosti in definicija enot

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

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

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

Sevanje γ je tok fotonov, ki nastanejo pri razpadu γ . Torej pri razpadu γ starševski atom ne razpade, temveč se mu le zmanjša energija [1].



Slika 1: Radioaktivna penetracija [2]

En razpad na sekundo je aktivnost 1 Bq (Becquerel). Radioaktivni razpad opišemo z naslednjo diferencialno enačbo:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Enačba 1: Diferencialna enačba radioaktivnega razpada

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

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

Enačba 2: Rešitev diferencialne enačbe

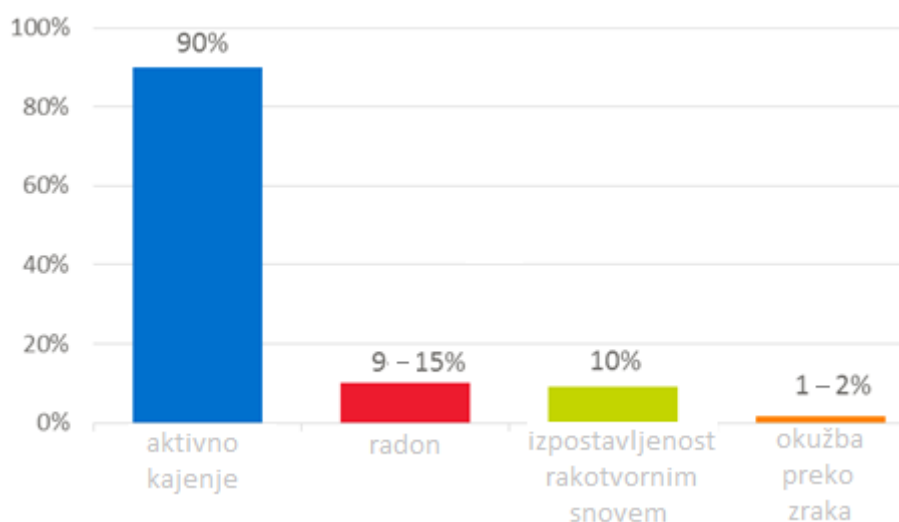
N_0 je število jeder v času $t = 0$, N pa število jeder po preteku časa t . λ je konstanta radioaktivnega razpada in je različna za različne kemijske elemente. Ker so radioaktivni razpadi naključni dogodki, za posamezen atom ne moremo napovedati, kdaj bo razpadel, lahko pa podamo razpolovni čas (enačba 3), ki predstavlja čas, v katerem se bo aktivnost vzorca zmanjšala za polovico. Zračni tlak in temperatura ne vplivata na razpolovni čas [3].

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

Enačba 3: Enačba razpolovnega časa

2.3 Vpliv radona na ljudi in okolje

Zrak, ki vsebuje radon, je za dihanje škodljiv, predvsem zaradi dveh svojih razpadnih produktov: polonija-218 in polonija-214, ki ostaneta v dihalih in jih kot sevalca delcev alfa bombardirata z njimi. Kot so opazili pri raziskavah vpliva ionizirajočega sevanja, lahko to povzroči pljučnega raka.



Graf 1: Vzroki za nastanek pljučnega raka in njihov odstotek

2.3.1 Radon v Sloveniji

Slovenija je geološko heterogena dežela in zato zanimiva za meritve koncentracije radona. Prvič so se s tem problemom soočili leta 1969 v zvezi z rudnikom urana v Žirovskem Vrhu.

Pozneje so ugotovili povišane koncentracije tudi v rudniku živega srebra v Idriji in rudniku svinca in cinka v Mežici. V premogovnikih so bile vrednosti nižje zaradi učinkovitega prezračevanja. Visoke vrednosti koncentracije radona so izmerili v podzemnih jamah. Poleg meritev, ki potekajo v slovenskih zdraviliščih, so se leta 1986 začele tudi meritve radona v bivalnem okolju (predvsem v šolah in vrtcih) [4].

2.3.2 Mejne koncentracije radona v okolju

Radonovi kratkoživi razpadni produkti predstavljajo za človeka mnogo večjo nevarnost kot radon. Plin radon pri dihanju izdihamo. Njegovi razpadni produkti pa so kovine, ki v zraku v glavnem nastopajo kot aerosoli, te naša pljuča pri dihanju odfiltrirajo od zraka in se tako deponirajo na stenah dihalnih poti. Na teh mestih se pri radioaktivnih razpadih alfa, beta in gama sprošča energija, ki se absorbira v bližnjem tkivu in ga poškoduje, kar lahko vodi do pojava raka.

Na osnovi priporočil nekaterih mednarodnih organizacij, ki skrbijo za zdravje ljudi, so mnoge države določile mejne letne koncentracije radona v zraku, ki so običajno v območju od 200 do 600 Bq m⁻³ za bivalno in 500 do 1500 Bq m⁻³ za delovno okolje. V Sloveniji so mejne povprečne letne koncentracije radona v zraku 400 Bq m⁻³ v bivalnem in 1000 Bq m⁻³ v delovnem okolju [5].

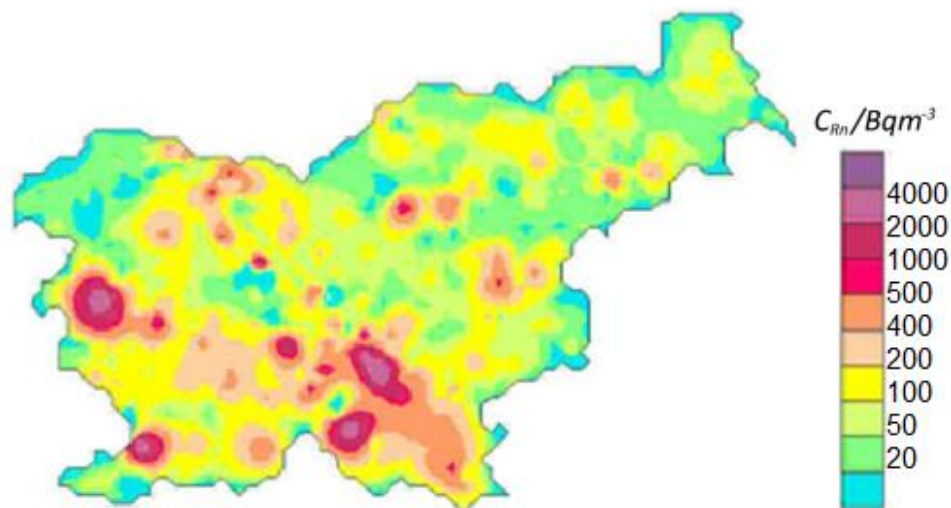
Tabela 1: Državna določila in mejne letne koncentracije radona v Sloveniji

	<i>Bivalno okolje</i>	<i>Delovno okolje</i>
<i>Državna določila</i>	od 200 do 600 Bq m ⁻³	od 500 do 1500 Bq m ⁻³
<i>Mejne povprečne letne koncentracije radona v zraku v Sloveniji</i>	400 Bq m ⁻³	1000 Bq m ⁻³

2.3.3 Radonska karta Slovenije

Leta 2007 se je nadaljevala raziskava o koncentracijah radona ²²²Rn v tleh v Sloveniji, ki pa je večinoma zajela območja, na katerih so bile v preteklosti izmerjene visoke koncentracije radona v hišah, le v manjšem delu pa ponovila meritve na lokacijah iz preteklega leta. Merske točke so bile tako v večjem delu izbrane zlasti na kraških karbonatnih tleh in vzdolž tektonskih prelomnic.

Zgostitev merskih točk na območjih s predhodno ugotovljenimi povišanimi koncentracijami radona v hišah je dala zanesljivejšo sliko radonskega potenciala na tem delu Slovenije. Karta talnega radona se dobro sklada s karto radona v zaprtih prostorih. V obeh primerih so bile najvišje vrednosti izmerjene v jugozahodnem delu Slovenije na karbonatnih tleh. Visoke koncentracije talnega radona je mogoče razložiti tudi s potekom številnih tektonskih prelomnic na tem področju [6].



Slika 2: Koncentracija radona v Sloveniji

2.3.4 Biološki učinki sevanja

Sevanje povzroča fizikalne, kemijske in biološke učinke. Človeško telo je na učinke sevanja zelo občutljivo. Posebno velja to za očne leče, spolne celice, celice kostnega mozga, celice pljuč in ščitnico. Pri prehodu sevanja skozi človeško telo pride do ionizacije atomov in molekul. Za lažje razumevanje bioloških učinkov sevanja je v nadaljevanju predstavljen vpliv ionizirajočega sevanja, kakršnega povzroča tudi radon s svojimi razpadnimi produkti. Ionizirajoče sevanje vpliva na osnovne sestavne dele živega organizma in prepoznavanje sevalnih poškodb s pomočjo njihovih kliničnih pokazateljev. Za razumevanje nastanka bioloških učinkov sevanja moramo poznati količine, ki povežejo prenos energije iz vira sevanja z njegovimi posledicami v živem organizmu.

2.3.5 Celica

V človeškem telesu potekajo zapletene življenjske funkcije. Nosilci teh funkcij so organi in tkiva človeškega telesa. Najmanjša življenjska enota človeškega telesa je celica. Posamezne celice, ki opravljajo podobne funkcije, so združene v tkiva, ta pa v organe. Čeprav se posamezne vrste celic med seboj močno razlikujejo, je njihova osnovna zgradba podobna. Celica je sestavljena iz celičnega jedra, citoplazme in celične opne.

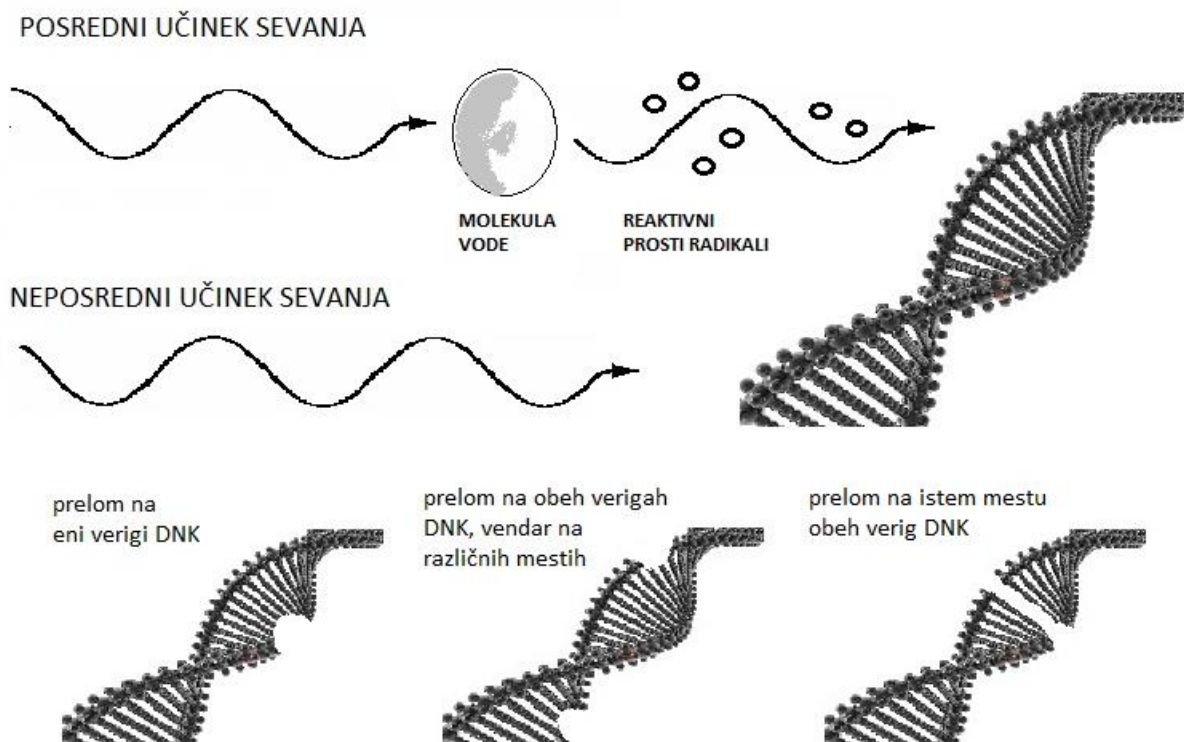
Organi človeškega telesa in tkiva rastejo, se ohranjajo in obnavljajo. Ti procesi so možni, ker se celice delijo. Procesu delitve celice pravimo mitotična in poteka v štirih glavnih fazah: profaza, metafaza, anafaza in telofaza. V metafazi se pojavijo kromosomi, ki so nosilci genov. Geni so sestavljeni iz zapletenih organskih makromolekul, deoksiribonukleinskih kislin (DNK), in so nosilci dednih informacij. Človeška celica ima 23 kromosomskih parov in približno 30000 genov. DNK ima obliko dvojne vijačnice, sestavljene iz manjših gradnikov, ki jih imenujemo nukleotidi.

2.3.6 Neposredna in posredna izpostavljenost sevanju DNK

Celični material je ionizirajočemu sevanju lahko izpostavljen neposredno ali posredno. Pri prehodu ionizirajočega sevanja skozi snov, ki sestavlja celico, lahko pride neposredno do interakcij sevanja in molekule DNK. Sevanje lahko molekuli DNK pretrga katero izmed kemijskih vezi in jo s tem poškoduje. Posredno učinkovanje ionizirajočega sevanja na celico poteka s pomočjo učinkovanja prostih radikalov na celico. Ti nastanejo kot posledica ionizacije vode, ki predstavlja skoraj 85 % vsebine celice. Proces imenujemo radioliza vode. Prosti radikali so kemično zelo reaktivni in lahko agresivno delujejo na molekulo DNK ali na druge spojine v celici. Končne posledice so zelo podobne kot pri neposrednem vplivu sevanja na žive organizme.

2.3.7 Posledice izpostavljenosti celice sevanju

Posledica izpostavljenosti celice sevanju je manjše ali večje število poškodb DNK in drugih molekul. Če teh poškodb ni preveč in če niso prehude (npr. pretrgana molekula DNK), je zelo verjetno, da bo celica napake popravila. To je možno, ker je molekula DNK sestavljena kot dvojna vijačnica, kar pomeni, da so vse informacije podvojene. Če uspe celica popraviti vse napake, nadaljuje svoje življenje brez posebnih sprememb. Spodnjega praga, pri katerem je celica še sposobna popraviti vse napake, ne poznamo. Zato je postavljena hipoteza, da je lahko vsaka, tudi najmanjša doza sevanja škodljiva.



Slika 3: DNK ter posledice posredne in neposredne izpostavljenosti molekule DNK sevanju

Če je popravilo delno ali nepopolno, lahko celica umre ali pa se napaka prenese na njene naslednice. V zadnjem primeru govorimo o mutacijah, ki imajo lahko različne posledice.

2.3.8 Učinki sevanja na živo snov in na človeka

Učinki sevanja na človeka se pojavijo v različnih oblikah, z različnimi časovnimi zakasnitvami in so odvisni od:

- količine absorbirane energije sevanja,
- vrste sevanja,
- načina obsevanja:
 - ali je bilo obsevanje akutno (v kratkem časovnem intervalu) ali kronično (v daljšem časovnem intervalu),
 - ali je bilo obsevanje lokalno (obsevan določen organ ali tkivo) ali celo telo (celotelesna obsevanost).

Posledice se lahko pojavijo na že obsevani osebi ali šele na njenih potomcih. Učinke, ki se pojavijo na obsevani osebi, imenujemo somatski učinki. Od časovne (akutna obsevanost, kronična obsevanost) in prostorske porazdelitve sevanja (celotelesna obsevanost, obsevanost posameznih delov telesa) je odvisno, katera oblika somatskega učinka se bo pojavila. Značilne akutne somatske učinke, ki se pojavijo kmalu po obsevanju (zgodnji učinki), delimo na bolezni sevanja (slabost, bruhanje, izpadanje las, pordečitev kože – eritema, spremenjena krvna slika – kromosomske aberacije) in sindrome sevanja (živčni, krvni, molekularni). Somatski učinki se lahko kot rakaste tvorbe pojavijo tudi z večletno zakasnitvijo (pozni učinki). Če se posledice sevanja pojavijo na potomcih, govorimo o dednih učinkih. Ti so zakasnele posledice zaradi izpostavljenosti sevanju in se kažejo v povečanem številu mutacij v prihodnjih generacijah. Verjetnost pojava mutacije zaradi sevanja se dopolnjuje z verjetnostjo za naravne, spontane mutacije.

Pri nekaterih učinkih so zaradi izpostavljenosti sevanju okvare na posameznih celicah v tkivih lahko takšne, da začnejo celice odmirati. Če bo takšnih celic več, lahko pride do bolezenskih znakov v tkivu oziroma organu. To se zgodi, če je število poškodovanih celic večje od določenega najmanjšega deleža, ki je odvisen tudi od vrste tkiva oziroma organa. Obstaja prag doze, nad katerim bomo opazili učinke sevanja, pod njim pa ne. Takšne učinke imenujemo deterministični, ker lahko z gotovostjo trdimo, da se bodo pri določeni prejeti dozi pojavili, pri nižji pa ne. Primeri determinističnih učinkov so bolezni in sindromi sevanja.

Zaščita pred determinističnimi učinki je enostavna: izpostavljenost dozam, pri katerih opazimo učinke sevanja, je treba preprečiti.

Nekaterih učinkov, ki so posledica sprememb na molekulah DNK, ne opazimo takoj. Učinek se lahko pojavi pozneje v istem tkivu, lahko pa se prenese na potomce (dedni učinki). Če se pojavi pozneje, se lahko začnejo nekontrolirano razmnoževati poškodovane celice (rak). Ne moremo z gotovostjo napovedati, kaj se bo zgodilo s poškodovanimi celicami, lahko samo rečemo, da je vrednost takšnih sprememb sorazmerna s prejeto dozo. Ne moremo napovedati, pri katerih organizmih se bodo zgodile spremembe, pojav je naključen. Zato takšne spremembe imenujemo naključne ali s tujko stohastične.

Stohastične učinke bi opazili le, če bi primerjali dve dovolj veliki skupini ljudi, od katerih je ena bila obsevana, druga pa ne. Pogostost pojavljanja neke oblike raka bi bila v obsevani skupini višja kot v neobsevani. Pri stohastičnih učinkih je zaščita bistveno bolj zapletena kot pri determinističnih, saj se obsevanju ne moremo popolnoma izogniti (tudi zaradi naravnih virov sevanja) in tudi učinkov zaradi izpostavljenosti majhnim dozam sevanja natančno ne poznamo. Da ovrednotimo verjetnost za nastanek določene vrste stohastičnih učinkov in

njihovih posledic pri neenakomernem obsevanju, je vpeljana količina efektivna doza E (glej 3.1.4), ki predstavlja merilo tveganja zaradi stohastičnih učinkov.

2.3.9 Izpostavljenost sevanju in omejitve

Delavci in prebivalstvo so izpostavljeni virom sevanja v delovnem in bivalnem okolju. Država s predpisi določa ukrepe, da zagotovi varno delo z viri sevanja, da se prepreči oziroma zmanjša radioaktivna kontaminacija življenjskega okolja.

Vsaka dejavnost, kjer pridemo v stik z viri sevanja, naj bi povzročila izpostavljenost sevanju le do ravni, ki je tako nizka, kot je to mogoče doseči z razumnimi ukrepi ob upoštevanju gospodarskih in družbenih dejavnikov. Pravimo, da pri izpostavljenosti sevanju uveljavljamo načelo optimizacije: vse prejete doze naj bodo čim nižje, tako nizke, kot jih je smiselno možno doseči. Kriterij ni zakonsko predpisana mejna doza, izpostavljenost sevanju zmanjšujemo daleč pod zakonske omejitve. Optimizacija je dolžnost vseh izvajalcev sevalnih dejavnosti in uporabnikov virov sevanja.

Mejna vrednost, ki jo sme zaradi dodatne izpostavljenosti sevanju zaradi uporabe virov sevanja prejeti posameznik – prebivalec, je 1 mSv v enem letu. Pri tem so izvzeti naravno ozadje in morebitne medicinske preiskave ali zdravljenje posameznika z viri sevanja.

Naravnim virom sevanja se v večini ne moremo izogniti. Že od samega nastanka Zemlje prihaja iz vesolja kozmično sevanje in iz zemeljske skorje sevanje zaradi radioizotopov v njej (radon). V Sloveniji je efektivna doza naravnega sevanja okrog $2,4\text{ mSv}$ na leto.

Mejne doze za poklicno izpostavljene morajo izvajalci sevalnih dejavnosti upoštevati pri vsaki dejavnosti. Uporabnik vira sevanja oziroma upravljavec jedrskega ali sevalnega objekta sta odgovorna, da se upoštevajo načela varstva pred sevanji in morata zagotoviti, da prejete doze zaradi izvajanja sevalne dejavnosti ali uporabe vira sevanja ne presegajo mejnih doz, ki so določene s predpisi. Dozne omejitve, ki jih moramo upoštevati pri poklicni izpostavljenosti, so:

- omejitev efektivne doze 20 mSv na koledarsko leto,
- omejitev ekvivalentne doze 150 mSv za očesno lečo na leto,
- omejitev ekvivalentne doze 500 mSv za kožo na leto; omejitev se nanaša na povprečno površino 1 cm^2 kože, in sicer ne glede na izpostavljeni del kože,
- omejitev ekvivalentne doze 500 mSv na leto za roke, podlakti, noge in gležnje.

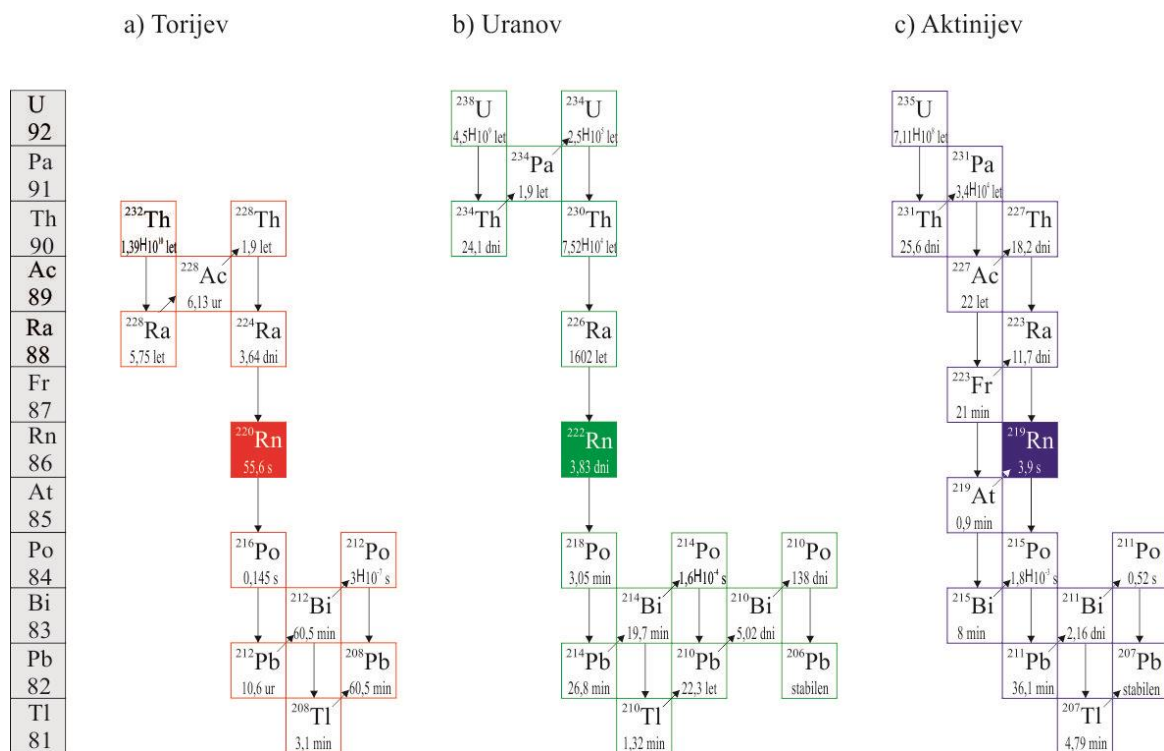
2.4 Razpadne vrste radona

Poznamo tri radioaktivne nize, ki se začnejo z izotopi ^{238}U , ^{235}U ali ^{232}Th , končajo pa se po vrsti pri izotopih svinca ^{206}Pb , ^{207}Pb in ^{208}Pb . Zanimivo je, da se v vseh treh nizih pojavi izotop plina radona Rn. V istem zaporedju kot prej so to izotopi radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) in aktion (^{219}Rn).

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

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

V torijevem razpadnem nizu nastane ^{220}Rn (imenovan tudi toron) neposredno iz ^{224}Ra in ima razpolovni čas 55,60 sekunde. Njegov delež v zraku je bistveno manjši kot delež radona. Toron razpade na dva sevalca α (^{216}Po , ^{212}Po) in dva sevalca $\beta - \gamma$ (^{212}Pb in ^{212}Bi) [1].



Slika 4: Razpadni niz torija, urana in aktinija

2.5 Enačba in krivulja radioaktivnega razpada

Nestabilna jedra razpadajo sama od sebe in povsem naključno. Vendar pa pride do razpada pogosteje, če je v snovi več nerazpadlih jeder. Za vzorec radioaktivne snovi, tako velja, da je aktivnost premo sorazmerna številu še nerazpadlih jeder.

Če z N označimo število nerazpadlih jeder po času t , je aktivnost kar enaka hitrosti spreminjanja N s t . V enačbah to označimo z izrazom $-dN/dt$ (s predznakom minus povemo, da zmanjševanje N pomeni pozitivno aktivnost).

S primerno konstanto λ lahko zgornje prenosorazmerje zapišemo z enačbo:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Enačba 4: Diferencialna enačba radioaktivnega razpada

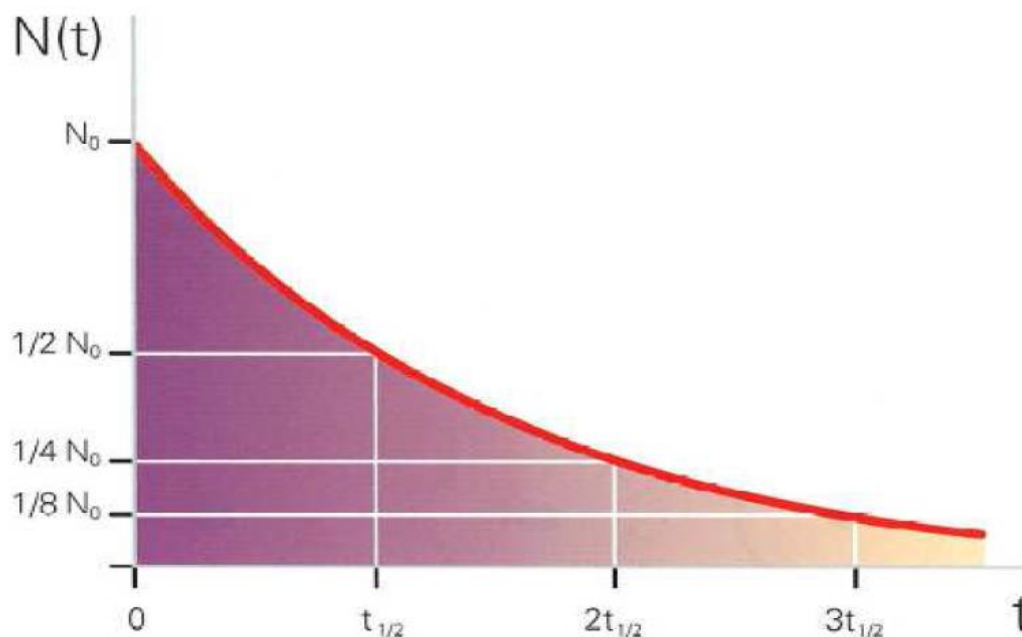
λ se imenuje **razpadna konstanta** in ima značilno vrednost za vsak radioaktivni izotop.

Z uporabo integralnega računa lahko iz enačbe izpeljemo:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (e=2,718)$$

Enačba 5: Enačba radioaktivnega razpada

N_0 je začetno število še nerazpadlih jeder.



Slika 5: Graf N v odvisnosti od t , ki ga kaže slika zgoraj, je eksponentna krivulja [7]

2.6 Merilniki

Merilne tehnike se med seboj razlikujejo tudi glede na čas trajanja meritve:

- Trenutne meritve se izvajajo po principu enkratnega odvzema vzorca.
- Kontinuirane meritve pa glede na vrsto detektorja merijo koncentracije različno dolgo.

Tehnike merjenja radona se delijo na pasivne in aktivne:

- Pasivne tehnike predstavljajo naprave oziroma detektorje, ki za svoje delovanje ne potrebujejo električnega napajanja, vendar potrebujejo nadaljnjo obdelavo v laboratoriju; slabost teh tehnik je tudi v tem, da ne odražajo spreminjanja koncentracije radona med samim merjenjem, ampak je njihov končni rezultat podan kot povprečna vrednost za določeno merilno obdobje.
- Aktivne tehnike predstavljajo elektronske naprave, ki sočasno poleg radona merijo tudi določene druge parametre in predvsem odražajo spreminjanje koncentracije radona med samim potekom meritve [1].

2.6.1 PRM 145 – prenosni merilnik radona

Merilnik je sestavljen iz dveh delov, zloženih v prenosnem kovčku. Prvi del (cilindrične oblike) služi kot detektor impulzov in vsebuje fotopomnoževalko, napajanje pomnoževalke, ojačevalnik impulzov in prostor za scintilacijsko celico

Drugi del vsebuje mikrokontroler, akumulator, napajalnik in selektor impulzov. Na njem so tipkovnica, kontrolna lučka za pokrov kontejnerja, stikala za vklop in dvovrstični alfanumerični prikazovalnik s tekočimi kristali.



Slika 6: PRM 145 – prenosni merilnik radona, aktivna tehnika merjenja

2.6.2 Canary – merilec radona

Digitalni merilec povprečne koncentracije radona je bil razvit na Norveškem, kjer se s problemom radona intenzivno srečujejo že desetletja.

»Kanarček« je lahkodostopen instrument za izvajanje stalnih meritev koncentracije radona v bivalnih prostorih.

Značilnosti:

- Canary je namenjen merjenju povprečne vrednosti koncentracije radona v prostoru v srednjih ali daljših časovnih obdobjih.
- Rezultate meritev odčitamo na zaslonu, ki prikazuje povprečno vrednost v Bq/m³ v zadnjih 24 urah, v zadnjem tednu in skupno povprečno vrednost od trenutka zadnje vključitve.
- Dolgoročno spremljanje, na primer nekaj mesecev, je še posebej koristno za pridobitev rezultatov za ovrednotenje realnega stanja.
- »Kanarček« shranjuje rezultate meritev do 16 mesecev, vendar ti podatki niso na voljo za prenos na druge naprave ali zunanje spominske enote.
- Kratkotrajne oziroma občasne meritve prikazuje kot 3 povprečne vrednosti: v zadnjih 24 urah, zadnjih 7 dneh in od trenutka, ko smo ga zadnjič vključili.
- Vrednost, ki kaže povprečje v zadnjih 24 urah, je obremenjena z veliko negotovostjo.
- Za pridobitev rezultata za prvo okvirno oceno je treba merilec namestiti v prostor za najmanj 3 dni, priporočljivo en teden, saj koncentracija radona ni enaka ves dan in prav tako ne med tednom. Radonska nihanja zaznamo tudi zaradi vremenskih sprememb, letnega časa.
- Canary prikazuje povprečno kumulativno vrednost.
- Pomembno je spremljanje dnevnega nihanja, da bi lahko ocenili, ali ukrepi za znižanje koncentracije zares učinkujejo.

Uporaba: stalno srednje- in dolgoročno merjenje koncentracije radona v zaprtih oziroma bivalnih prostorih za preučevanje učinkov ukrepov sanacije radona iz bivališč.



Slika 7: Canary – digitalni merilec povprečne koncentracije radona, aktivna tehnika merjenja

2.6.3 Track-Etch CR-39 detektorji

Zaprti CR-39 detektorji za določanje radona v bivalnih prostorih

Lastnosti:

- izjemna natančnost,
- zaščiten pred statično elektriko,
- v protiradonskem zaščitnem pakiranju,
- analiza detektorja po izpostavitvi poteka v laboratoriju proizvajalca,
- garantirana zaupnost rezultatov,
- kakovost je zagotovljena v skladu s strogimi mednarodnimi standardi.

Track-Etch je narejen iz snovi, ki ima sposobnost zaznavanja delcev alfa. Radon in njegovi hčerinski produkti oddajajo energijo v obliki sevanja, ki ustvarja mikroskopske poškodbe – v našem primeru polimeru z oznako CR-39.

S kemično obdelavo te male poškodbe povečamo in preštajemo pod mikroskopom. Število sledov je sorazmerno s koncentracijo plina radona v prostoru, kjer je bil detektor izpostavljen. Analiza detektorjev je v celoti avtomatiziran proces in poteka v laboratorijih proizvajalca na Norveškem, visoka stopnja kakovosti je zagotovljena v skladu z mednarodnimi standardi. Laboratorij redno sodeluje na mednarodnih primerjalnih testih.



Slika 8: Track-Etch CR-39 detektorji, pasivna tehnika merjenja

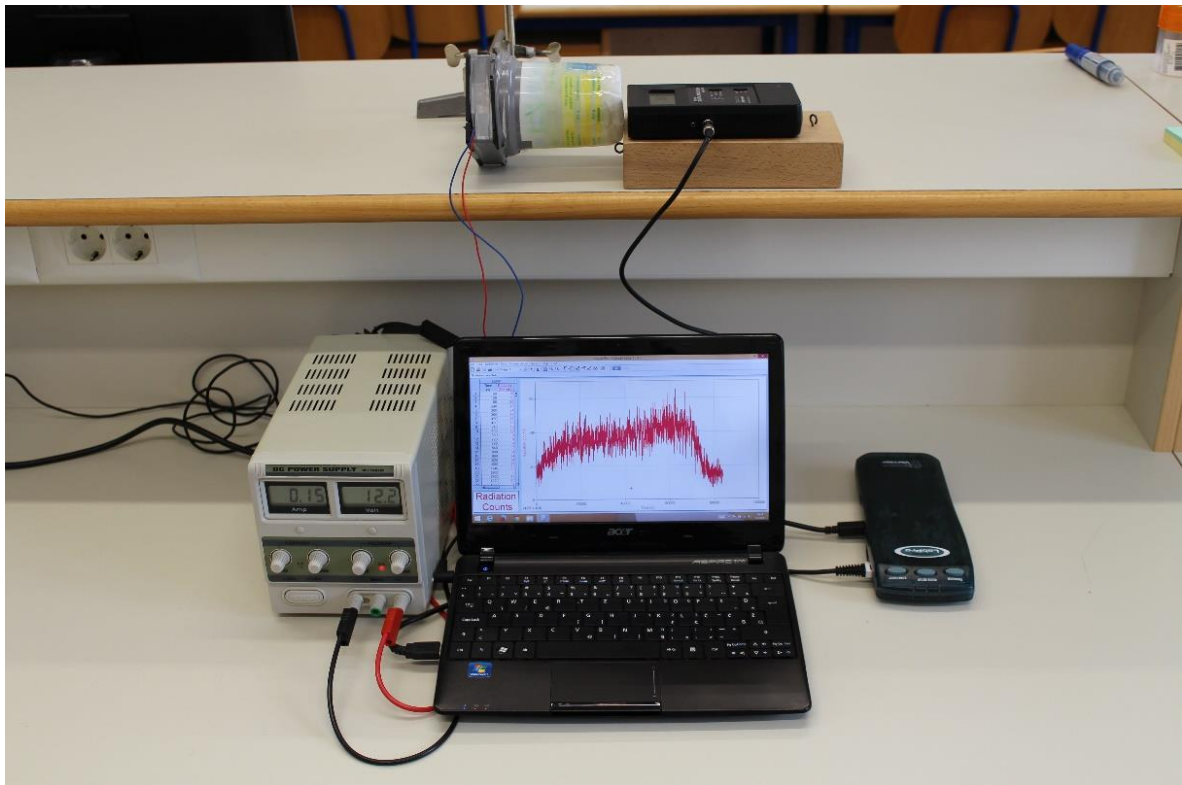
3 Praktični del

3.1 Način merjenja radona v naši raziskovalni nalogi

Razpade radona v minuti (CPM) smo merili s senzorjem Digital radiation monitor (Order Code DRM-BTD) (slika 9), ki ga imamo v šoli kot pripomoček pri pouku fizike. Uporabili smo tudi računalniški ventilator, vir napetosti, jogurtov lonček in filtrirni papir. Na računalniški ventilator smo prilepili jogurtov lonček, temu smo predčasno odrezali dno in čez to luknjo napeli filtrirni papir. Na začetku merjenja smo vklopili računalniški ventilator, tako da smo ga priključili na vir napetost in ga nastavili na 12 V, da bi se na filtrirni papir ujelo čim več prašnih delcev, tudi radon. Temu smo približali merilnik in merili razpade radona na tem mestu. Pozneje smo računalniški ventilator izklopili in na filtrirnem papirju je število razpadov radona začelo upadati. Pred merjenjem smo vse priključili na računalnik, kjer se nam je v programu Logger Pro risal graf (slika 10). Ta postopek smo ponovili v več prostorih, kot so npr. toplotna postaja, kabinet, Gimnazijka ...



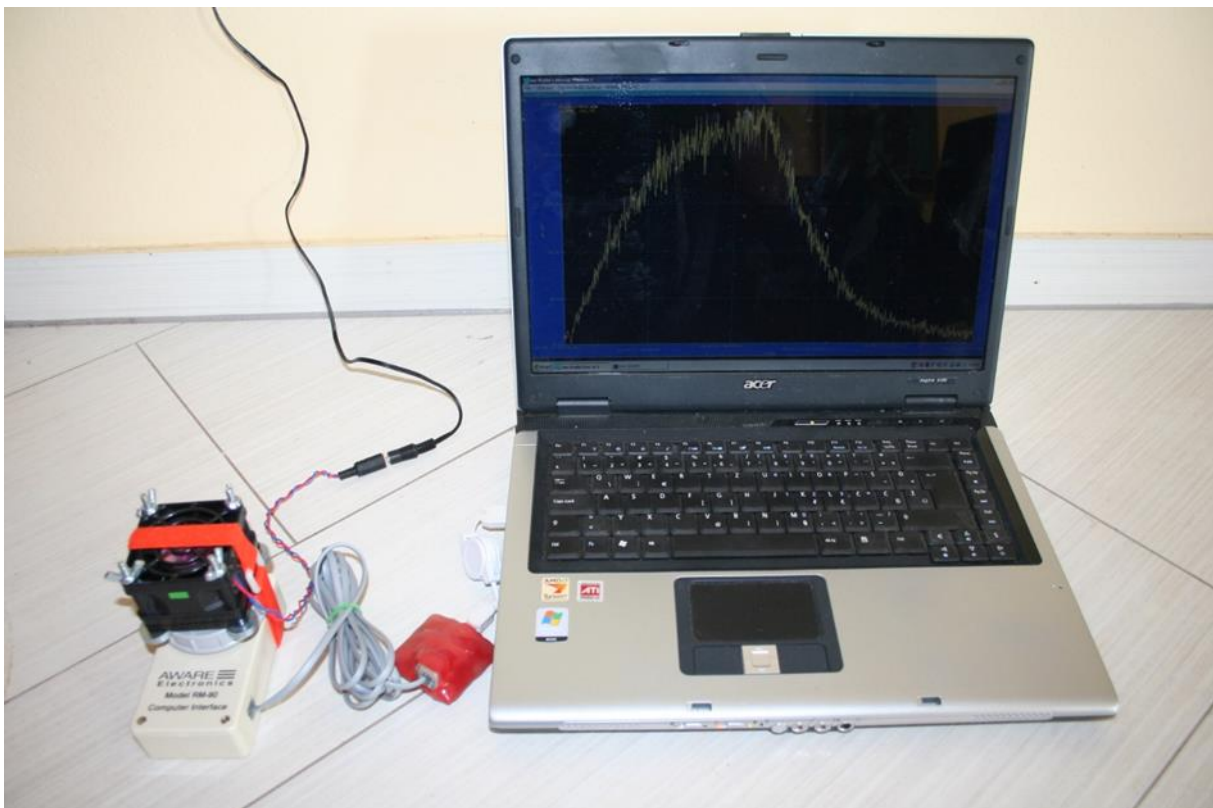
Slika 9: Merilnik Digital radiation monitor



Slika 10: Naš preprosti merilnik za merjenje razpadov radona

3.2 Drugi način merjenja

Najin mentor, prof. Roman Ocvirk, je pred nekaj leti te prostore že meril z merilnikom AWARE RM-80 (slika 11), ki je prav tako meril razpade radona v minuti.

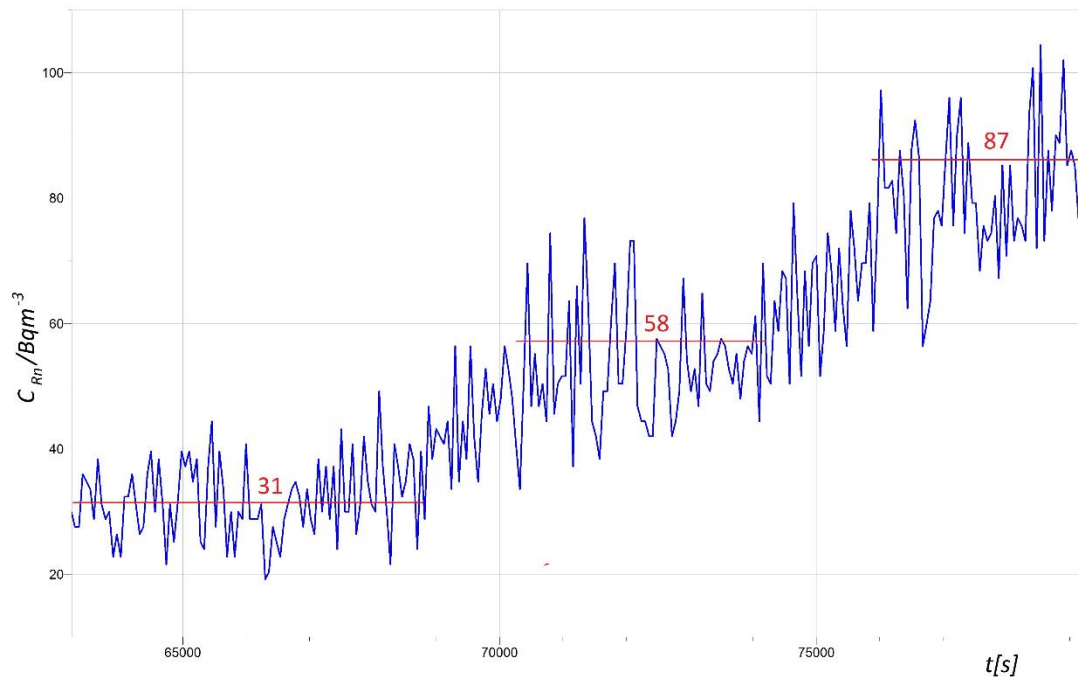


Slika 11: Merilnik AWARE RM-80

3.3 Meritve

3.3.1 Umeritvena meritev

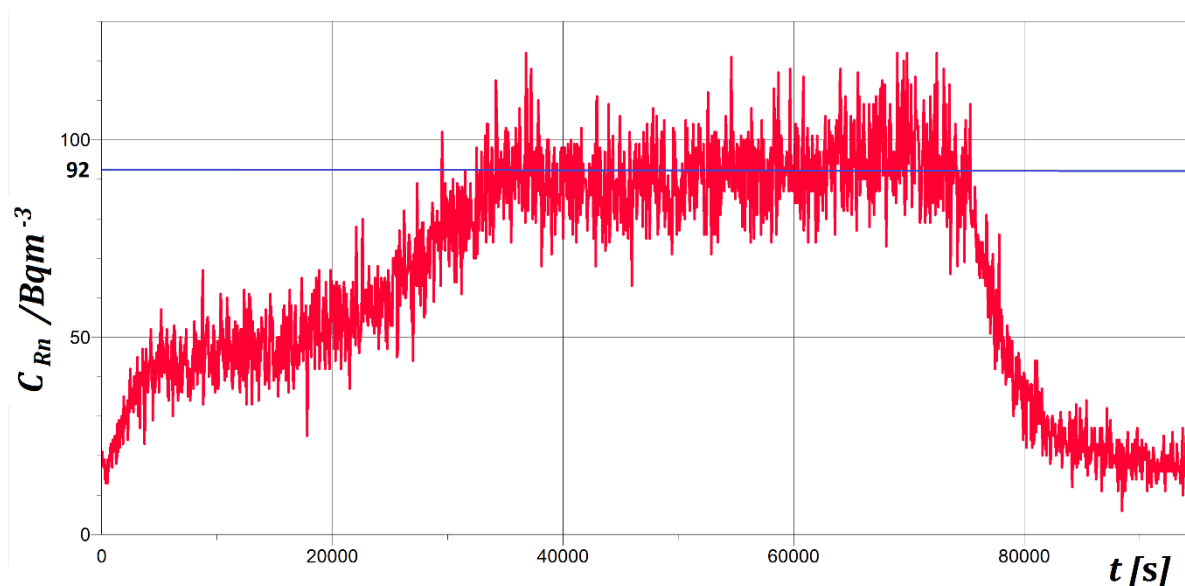
Najprej smo morali umeriti svoj merilnik, saj smo lahko spreminjali pretočnost zraka skozi merilnik. To smo izvedli tako, da smo merili razpade radona na različnih napetostih na ventilatorju. Izkazalo se je, da to močno vpliva na izmerjeno vrednost, saj se pri večjih napetostih izmerjena količina poveča. Ker smo merili tudi z merilnikom AWARE RM-80 za razpade radona, smo ugotovili, da dobimo primerljive rezultate pri napetosti na ventilatorju 12 V.



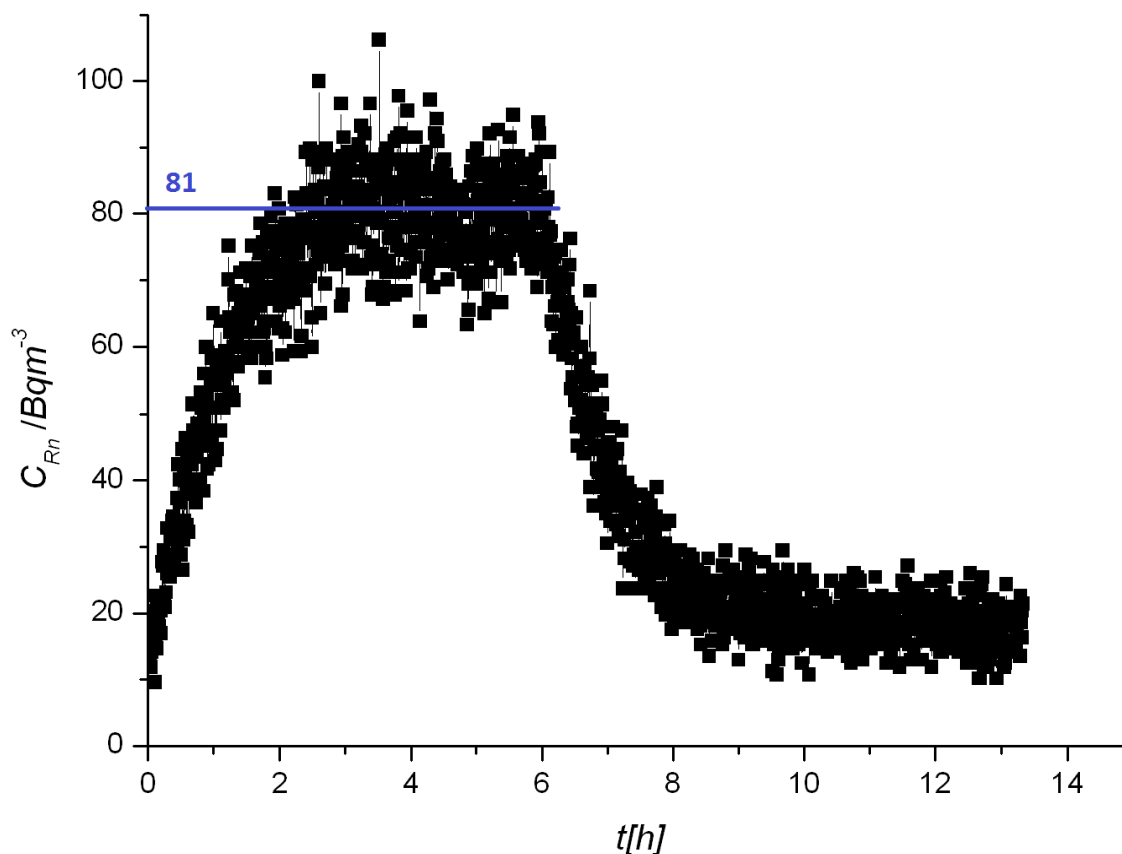
Graf 2: Umeritvena meritev z našim merilnikom

3.3.2 Meritev za klet I. gimnazije v Celju

Po umeritveni meritvi smo se odpravili v klet naše šole in izmerili koncentracijo radona v njej. Ugotovili smo, da je v naši kleti koncentracija radona velika, vendar še vedno pod dovoljeno vrednostjo. Ta vrednost je znašala okoli 92 Bqm^{-3} in je primerljiva z merilnikom AWARE RM-80.



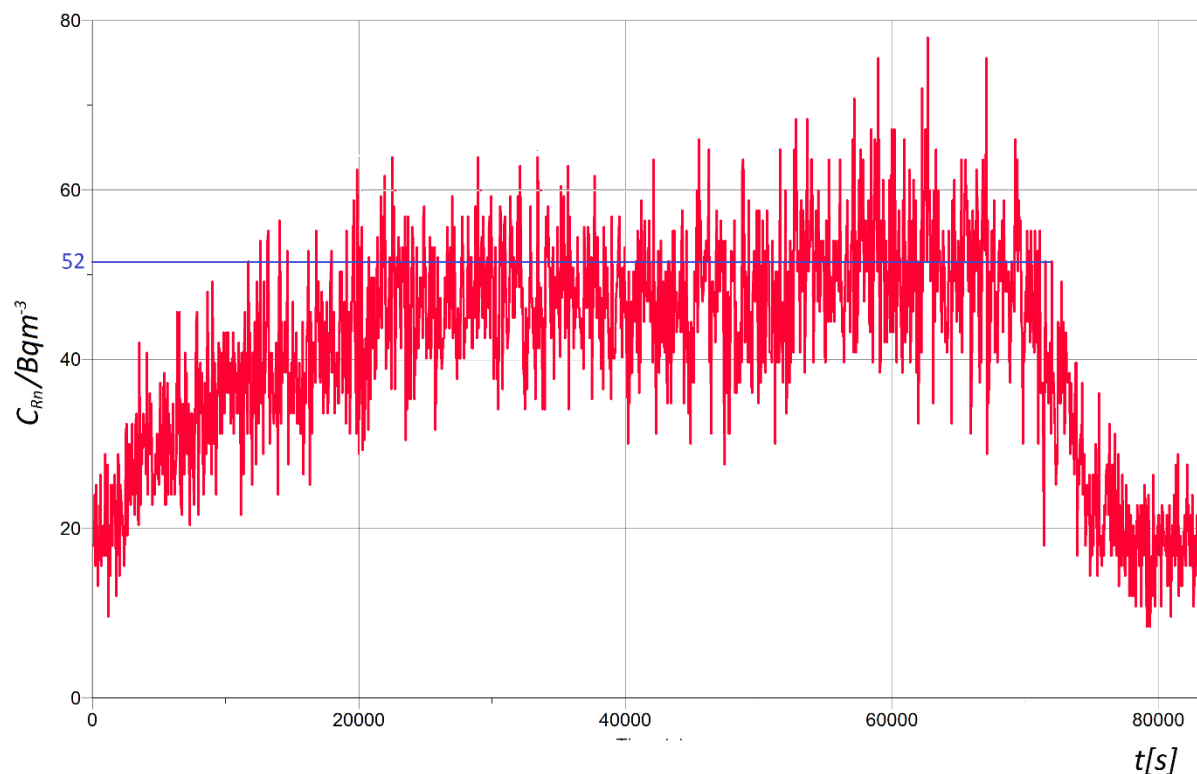
Graf 3: Graf razpada radona v toplotni postaji I. gimnazije v Celju z našim merilnikom



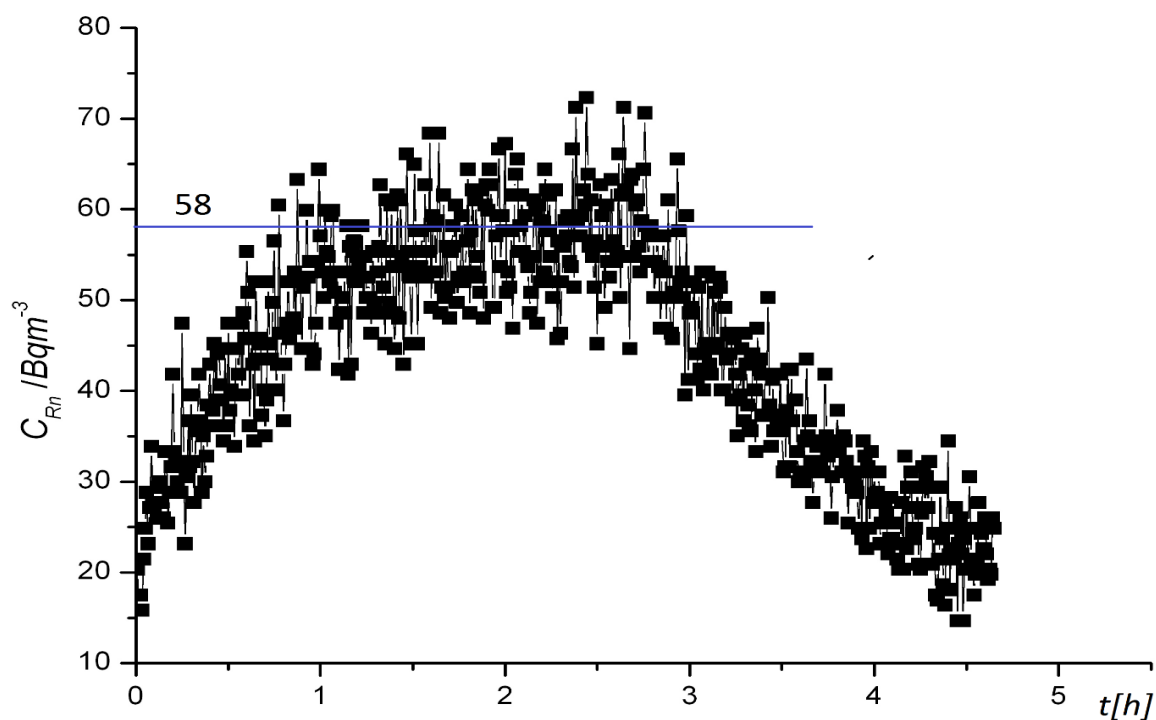
Graf 4: Graf razpada radona v toplotni postaji I. gimnazije v Celju z merilnikom AWARE RM-80

3.3.3 Meritev za kabinet fizike

Po merjenju v toplotni postaji šole smo se odpravili v kabinet fizike. S tem merjenjem se je izkazalo, da koncentracija radona z višjim nadstropjem upada, saj je bila vsebovanost radona v kabinetu samo še 52 Bqm^{-3} in je tudi primerljiva z izmerjeno vrednostjo z merilnik AWARE RM-80.



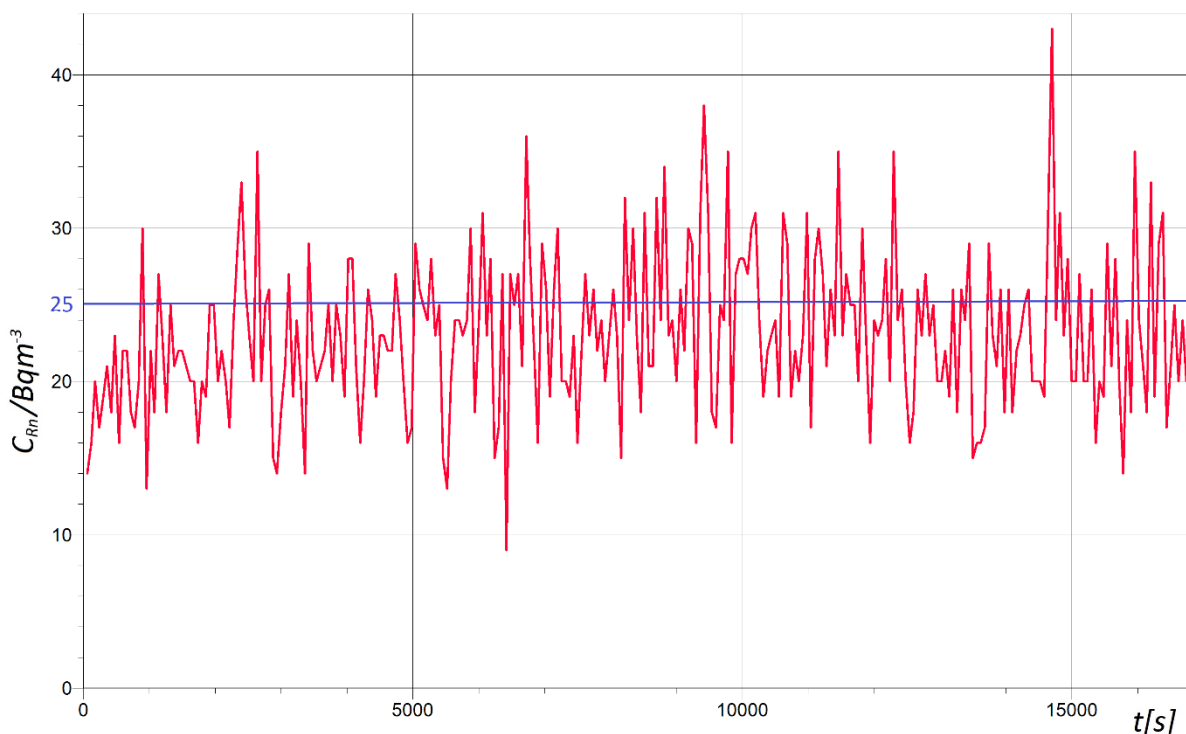
Graf 5: Graf razpada radona v kabinetu fizike I. gimnazije v Celju z našim merilnikom



Graf 6: Graf razpada radona v kabinetu fizike I. gimnazije v Celju z merilnikom AWARE RM-80

3.3.4 Meritev za Gimnazijko

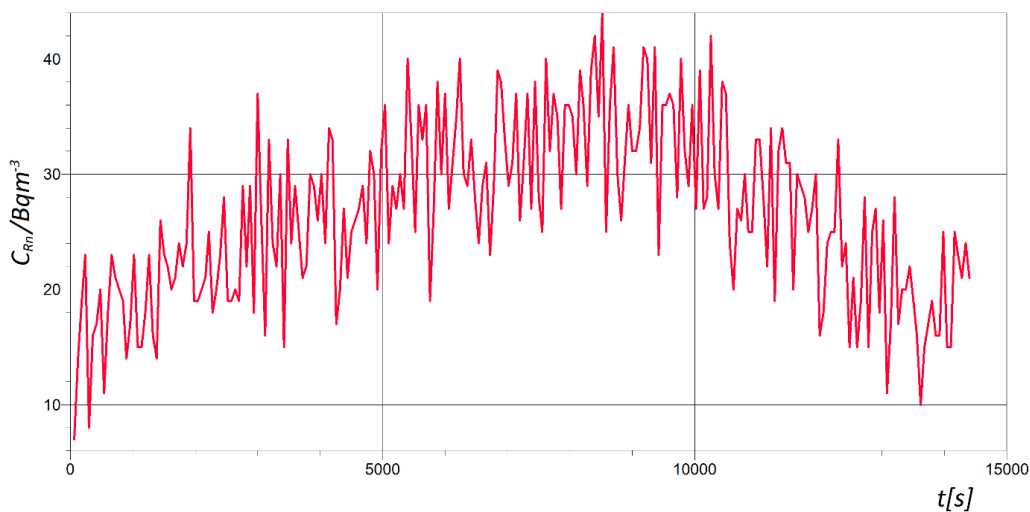
Na koncu smo se podali še v Gimnazijko, najvišji prostor naše šole. Tam se je naša prva hipoteza še izdatno potrdila, saj je koncentracija radona merila le še 25 Bqm^{-3} .



Graf 7: Graf razpada radona v Gimnazijki I. gimnazije v Celju z našim merilnikom

3.3.5 Meritev pri prezračevanju

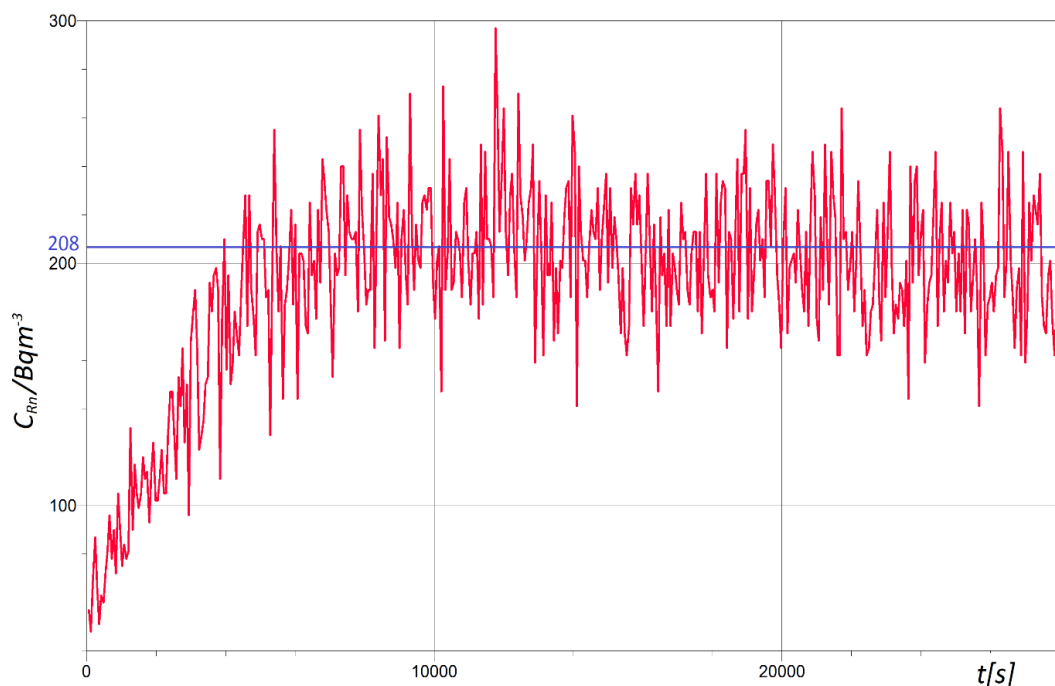
S to meritvijo smo hoteli potrditi oziroma ovreči četrto hipotezo. Izvedli smo jo v kabinetu za fiziko. Najprej smo vključili merilnik in ga pustili, da se na filtru ventilatorja nasiči radon. Po treh urah pa smo odprli okna, in koncentracija radona je padla na raven naravnega ozadja. Z meritvijo smo dokazali drugo hipotezo.



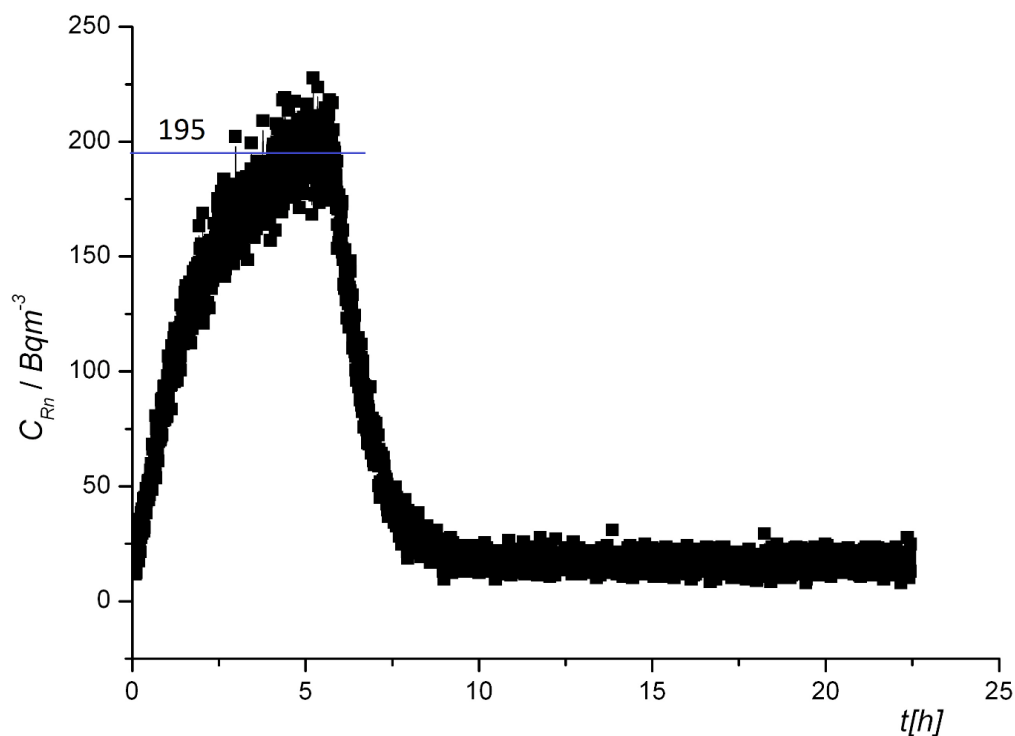
Graf 8: Graf razpada radona v kabinetu fizike pri prezračevanju I. gimnazije v Celju z našim merilnikom

3.3.6 Meritev v stanovanju iz žlindre opeke

V obdobju po 2. svetovni vojni, so v Celju gradili stanovanja iz žlindre opeke. Žlindra, kot stranski produkt pri taljenju titanove rude v kemični industriji, je močen sevalec radona. Z meritvijo smo želeli potrditi oziroma ovreči tretjo hipotezo. Izkazalo se je, da je koncentracija radona v stanovanju iz žlindre opeke pod omejeno, ampak je bila še vedno zelo visoka. Menimo, da je živeti zelo dolgo v takem stanovanju lahko zdravju škodljivo.



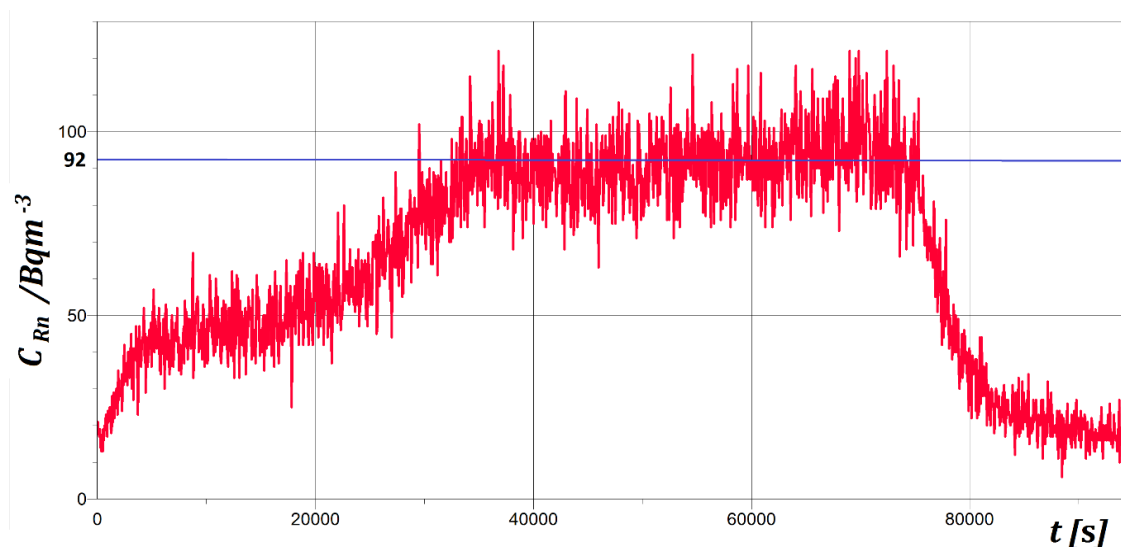
Graf 9: Graf razpada radona v stanovanju iz žlindre opeke z našim merilnikom



Graf 10: Graf razpada radona v stanovanju iz žlindre opeke z merilnikom AWARE RM-80

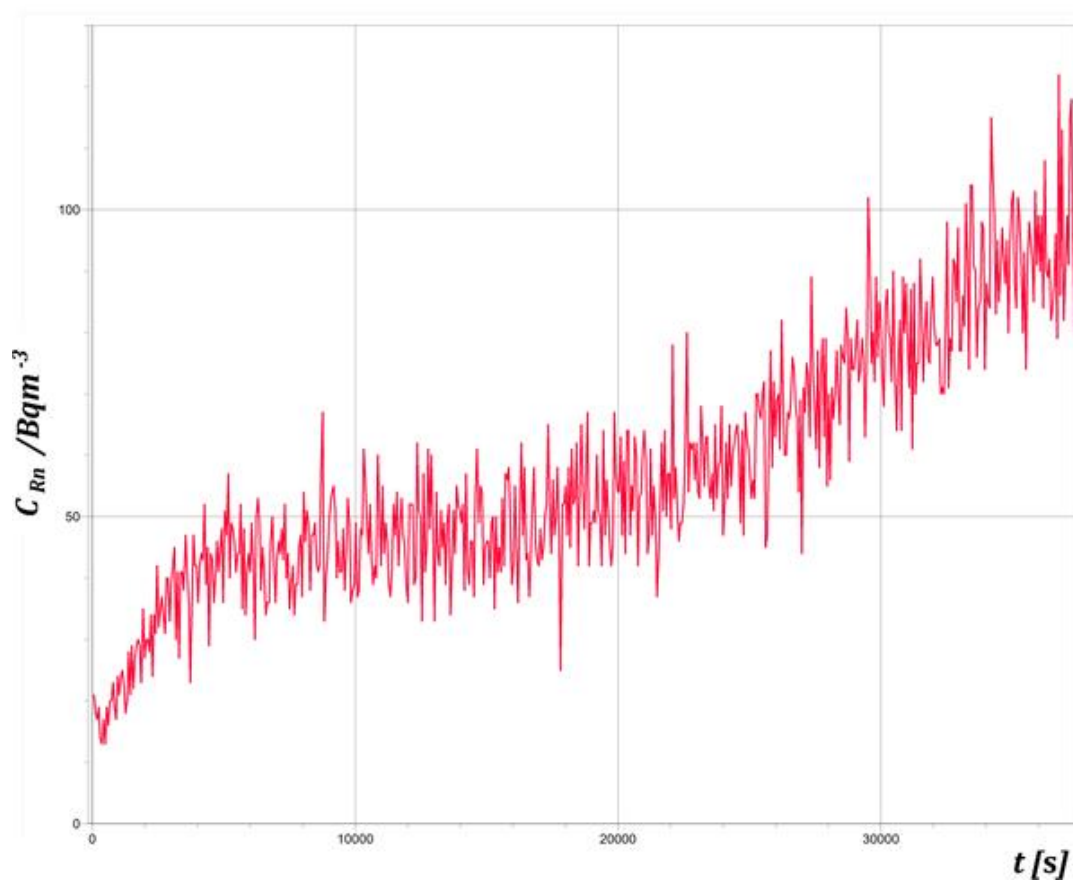
3.4 Analiza grafa

Analizirali smo graf, ki smo ga izmerili v kletnih prostorih naše šole.



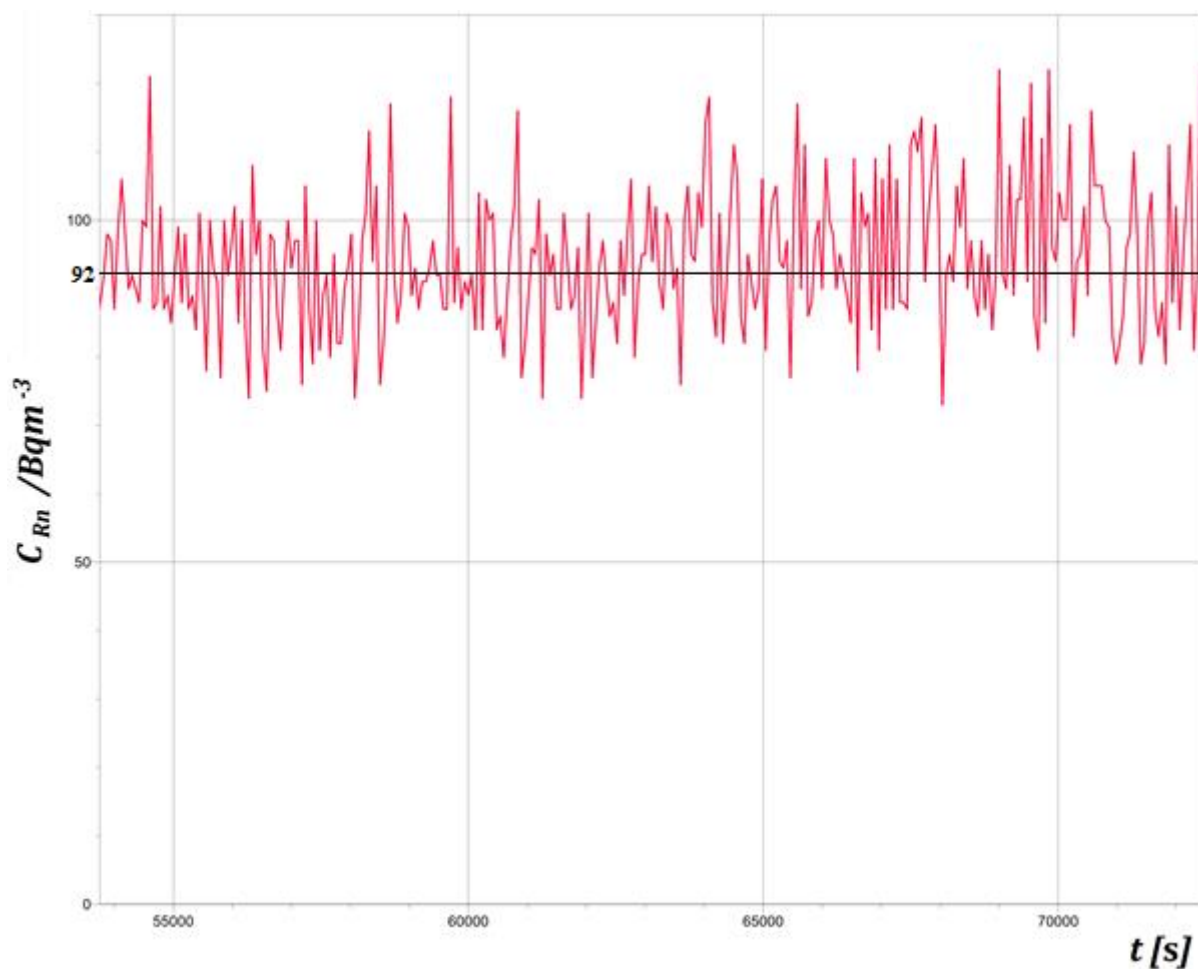
Graf 11: Graf razpada radona v toplotni postaji I. gimnazije v Celju z našim merilnikom

Prvi del krivulje nam predstavlja časovno odvisnost koncentracije radona takoj po vklopu ventilatorja. Iz grafa je razvidno, da koncentracija raste sorazmerno s porastom prašnih delcev, ujetih na filtru senzorja.



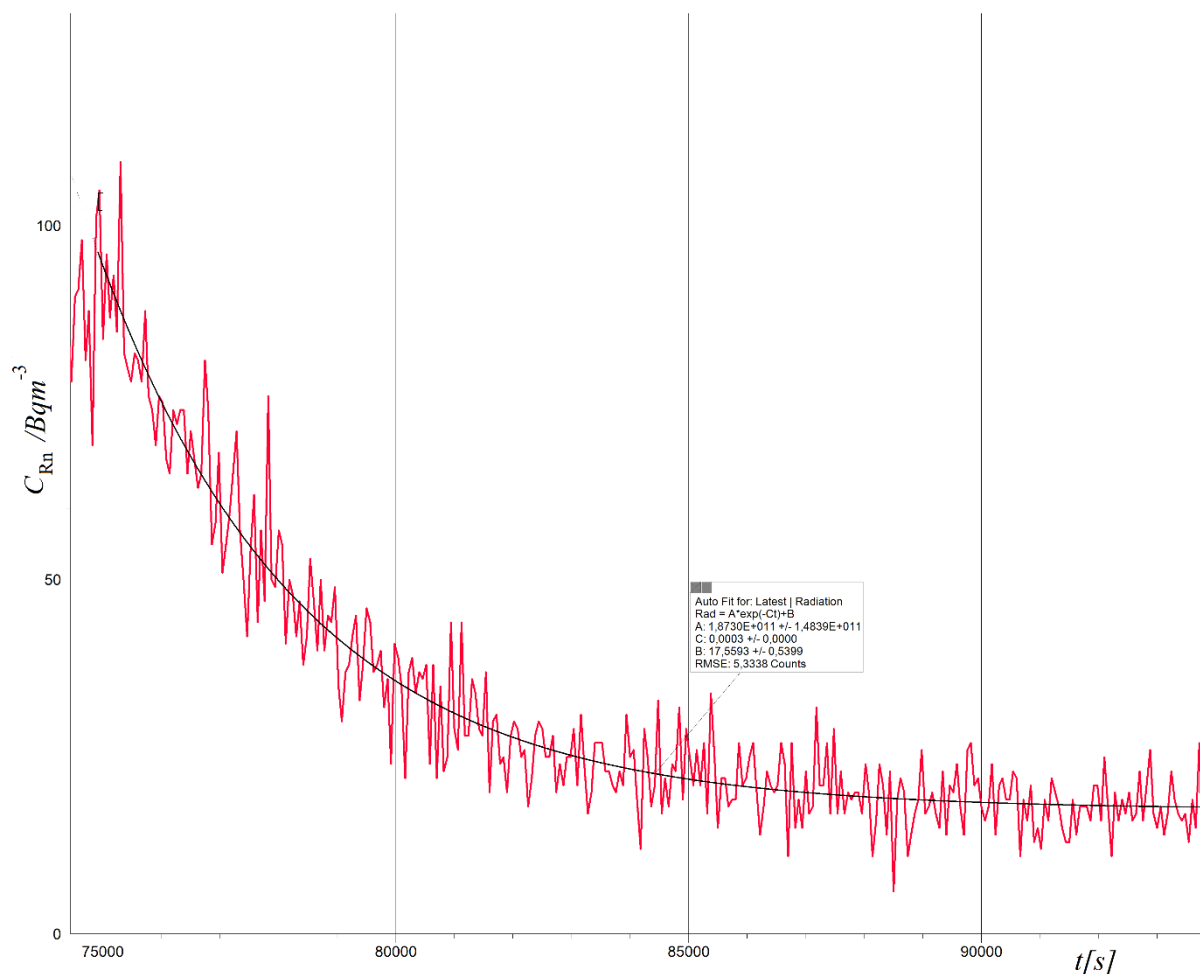
Graf 12: Prvi del krivulje

Povprečna vrednost radioaktivnih razpadov v osrednjem delu krivulje (slika 13) nam predstavlja izmerjeno koncentracijo radona v prostoru.



Graf 13: Osrednji del krivulje

Iz zadnjega dela krivulje (graf 14) lahko razberemo vrednost razpolovnega časa radona in njegovih kratkoživih produktov.



Graf 14: Razpolovni čas radona in njegovih kratkoživih produktov

Iz matematične analize krivulje smo dobili enačbo za razpolovni čas:

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

Enačba 6: Enačba za razpolovni čas

Vrednosti konstant znašajo:

$$\lambda = 0,0003 \text{ s}^{-1}$$

$$B = 18 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$$

Iz vrednosti konstante C lahko izračunamo razpolovni čas T.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{0,0003 \text{ s}^{-1}} = 2311 \text{ s} = 38,5 \text{ min} = \underline{\underline{0,64 \text{ h}}}$$

Enačba 7: Rezultat razpolovnega časa

4 Ugotovitve

4.1 Preverjanje hipotez

- **H1** (V prostorih bližje tlom je koncentracija radona večja.) lahko v celoti potrdimo, saj smo ugotovili, in iz meritev in iz literature, da je v prostorih bližje tlom koncentracija radona večja.
- **H2** (Izdelati je mogoče preprost merilnik koncentracije radona.) lahko prav tako potrdimo, saj smo izdelali merilnik, katerega meritve se ujemajo z meritvami, ki smo jih izmerili predhodno.
- **H3** (V zgradbah, ki so zgrajene iz žlindre opeke, je življenje zdravju škodljivo.) lahko potrdimo, saj smo izmerili, da je koncentracija radona veliko večja.
- **H4** (S prezračevanjem prostora znižamo koncentracijo radona.) smo potrdili, saj je pri meritvi koncentracija radona z odprtimi okni padla.

5 Zaključek

Misliva, da je bil cilj naloge dosežen, saj sva izdelala preprost merilnik za merjenje razpadov radona. Meniva, da merjenje radona v vseh prostorih ni potrebno, saj živimo na območju, kjer radon ni problematičen. Merjenje bi bilo potrebno v prostorih, ki so nad apnenčastimi tlemi.

S to raziskovalno nalogo sva se naučila veliko novega in uporabnega. Misliva, da bo to uporabno še komu drugemu, ne samo nama.

6 Viri in literatura

- [1] M. Zupančič, 2007, *Vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona v zraku*
- [2] Radioaktivnost: URL: <http://student.pfmb.uni-mb.si/~tbarbic/radioaktivnost.html>
- [3] M. Zupančič, 2007, URL: <http://www.ung.si/~library/diplome/OKOLJE/21Zupancic.pdf>
- [4] Radon, URL: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Radon>
- [5] Enviroment, URL: <http://sl.environment.si/struktura-odseka/center-za-radon/>
- [6] L. Hanžič, *Struktura materialov*
- [7] S. Pople, 2007, *Fizika / shematski pregledi*, Tehniška založba Slovenije
- [8] J. Vaupotič, *Radon – škodljiv človekovemu zdravju, a koristno raziskovalno orodje*