



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO – MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**Ispitivanje sadržaja ^{222}Rn u
zatvorenom prostoru RadonEye+
detektorom i procjena rizika**

- master rad -

Mentor:

prof. dr Nataša Todorović

Kandidat:

Mihaela Repić

Novi Sad, 2024. godina

“U trenucima sumnje, prijatelji su ti koji te podižu i podsjećaju na tvoju snagu i potencijal.”

Marie Curie

Ovim putem se zahvaljujem svom mentoru prof. dr Nataši Todorović na podršci i pomoći pri izradi ovog master rada. Takođe se zahvaljujem svojoj porodici na strpljenju i razumjevanju. I na kraju, posebnu zahvalnost dugujem prijatelju Predragu Baštincu na bezuslovnoj pomoći, entuzijazmu i „vjetru u leđa“.

Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Opšti dio	3
2.1. Otkriće radioaktivnosti.....	3
2.2. Vrste zračenja	4
2.3. Radijacione operacione fizičke veličine i mjerne jedinice	4
2.4. Vrste raspada	6
2.5. Radioaktivna ravnoteža	7
2.6. Radioaktivni nizovi.....	7
3. Radon	13
3.1. Fizičke i hemijske karakteristike radona	13
3.2. Emanacija i ekshalacija radona.....	15
3.3. Ekspozicija stanovništva	18
3.4. Rasprostranjenost radona, kako smo izloženi.....	20
3.4.1. Radon u vazduhu u zatvorenom prostoru.....	21
3.4.2. Uticaj građevinskog materijala na koncentraciju radona u zatvorenom prostoru	23
3.4.3. Radon u vodi.....	26
3.4.4. Radon na radnim mjestima.....	26
3.5. Veličine i jedinice za mjerenje radona u zatvorenom prostoru	27
3.6. Procjena izloženosti i preporučeni nivoi akcije	30
3.7. Biološki efekti jonizujućeg zračenja	33
4. Mjerenje ²²² Rn u zatvorenom prostoru	33
4.1. Mjerenje radona detektorom RAD7.....	34
4.2. Detektori dostupni na tržištu za kućnu upotrebu mjerenja ²²² Rn	35
4.2.1. Karakteristike i uputstvo za upotrebu RadonEye+ detektora.....	35
5. Obrada rezultata mjerenja	39
5.1. Greške mjerenja	39
5.2. Rezultati mjerenja	41
5.3. Nesigurnost rezultata mjerenja	44
5.4. Uzroci pojave grešaka	48
6. Eksperimentalni dio	50
6.1. Žuta sedra (Yellow tuff).....	51
6.2. Rezultati mjerenja i diskusija	54
7. Zaključak.....	64
Literatura	65
Biografija	68

1. Uvod

Svakodnevno smo izloženi različitim vrstama radioaktivnog zračenja. Neka od njih su proizvedena vještačkim putem, neka su dio prirodnog okruženja. Do početka 19. vijeka, nismo ni slutili o postojanju neobičnih oblika zračenja, koje potiče iz prirodnih materijala. To se promijenilo kada su 1896. godine Henri Bekerel, a kasnije i Marija Kiri počeli proučavati neobična zračenja koja su dolazila iz minerala uranijuma. Zahvaljujući ovoj naučnici, koja je zadužila čovječanstvo svojim otkrićima, danas znamo da je radioaktivnost fundamentalno svojstvo atoma, a štetnost ovih zraka, na žalost, i sama je iskusila.

Jedna od posljedica prirodne radioaktivnosti je i nastanak hemijskog elementa, ^{222}Rn , koji se u okruženju ispoljava kao radioaktivni gas bez boje, mirisa i okusa, kojeg ne možemo percipirati svojim čulima ali koji ima itekako negativne učinke na čovječiji organizam. On je prepoznat kao jedna od vodećih zdravstvenih opasnosti kojoj je čovjek u svom prirodnom okruženju izložen i kao jedan od glavnih uzroka nastanka raka pluća.

Do pedesetih godina XX vijeka nije uočena mogućnost štetnog uticaja radona na ljude kao izazivača raka pluća. To je primjećeno tek kod rudara u rudnicima uranijuma, jer radon (^{222}Rn) nastaje raspadanjem uranijuma i ima ga u rudnicima u velikim koncentracijama. [1]

S obzirom da radon nastaje radioaktivnim raspadom ^{238}U , koji je jedan od tri uranijumova izotopa (druga dva su ^{235}U i ^{234}U), a uranijum je sveprisutan element, što znači da ga ima u svakoj, a posebno u vulkanskoj stijeni. Od svih uranijumovih izotopa, ^{238}U ima najviše, čak 99,3 %, a vrijeme poluraspada mu je 45,1 milijardi godina.

Na otvorenom, na vazduhu, nema opasnosti od izloženosti ^{222}Rn , međutim u zatvorenom prostoru zbog toga što je 7,5 puta teži od vazduha, lako se nagomilava i ispunjava prostoriju u kojoj se nalazi. Radonu se pripisuje čak polovina ukupne efektivne doze zračenja što ga prima opšta populacija.

Jedan od jednostavnih načina da smanjimo svakodnevnu izloženost ovom opasnom, nevidljivom gasu je mjerenje koncentracije u svom domu, što nam omogućava da poduzmemo odgovarajuće mjere za smanjenje izloženosti.

To možemo uraditi na taj način što ćemo potražiti profesionalnu pomoć ukoliko su vrijednosti visoke ili na jednostavan način, redovnim provjetranjem prostorija.

Dostupnost detektora za mjerenje koncentracije ^{222}Rn značajno se poboljšala u posljednjih deset godina. Detektori za radon nisu bili široko dostupni za opštu populaciju. Većina mjerenja radona obavljala se kroz specijalizovane agencije ili naučne institucije. Cijena detektora bila je relativno visoka, što je ograničavalo njihovu upotrebu u domaćinstvima. Svijest o opasnostima radona i potrebi za mjerenjem bila je niža, što je dodatno smanjivalo potražnju za detektorima.

Danas su detektori za radon dostupni u mnogim trgovinama i online platformama, što omogućava lakšu nabavku za opštu populaciju. Cijene detektora su značajno pale, čineći ih pristupačnijim za domaćinstva. Povećana svijest o zdravstvenim rizicima radona dovela je do veće potražnje za detektorima. Mnoge zemlje su pokrenule kampanje za podizanje svijesti i pružanje subvencija za mjerenje radona. Moderni detektori su precizniji i jednostavniji za korištenje, često dolazeći s digitalnim prikazima i mogućnostima povezivanja s pametnim telefonima.

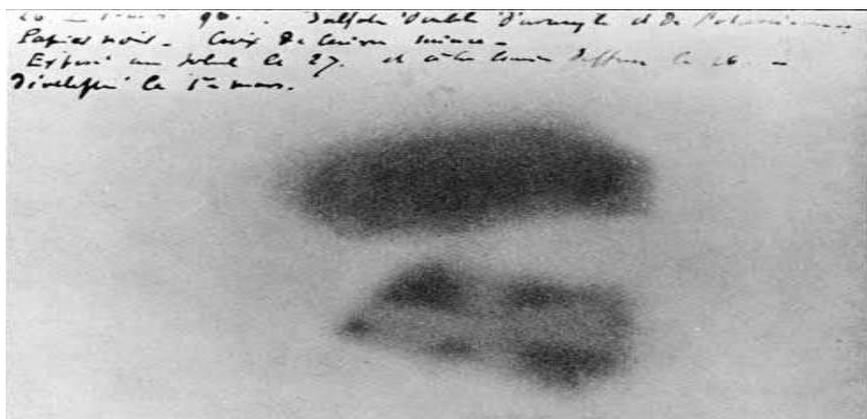
Cilj ovog rada je upravo provjera performansi jednog takvog IoT (Internet of Things) detektora, kakav je RadonEye+, u cilju ispitivanja povjerenja u dobijene rezultate mjerenja. Rezultati mjerenja prikupljeni u periodu od 17. maja do 25. jula, dobijeni ovim detektorom, su iskorišteni za procjenu doprinosa koncentraciji ^{222}Rn , usljed ekshalacije iz zidova koji su načinjeni od materijala vulkanskog porjekla, zatim za uticaj brzine akumulacije radona i efekta provjetravanja na koncentraciju ^{222}Rn , kao i za procjenu doze koju bi primili članovi domaćinstva u stanu u kojem je mjerenje vršeno.

2. Opšti dio

2.1. Otkriće radioaktivnosti

Otkriće radioaktivnosti se veže za francuskog fizičara Henrija Bekerela (Henri Becquerel), koji je radio niz eksperimenata sa fosforescentnim materijalima.

26. februara 1896. stavio je uranijumove soli na fotografsku ploču umotanu u crni papir. Soli su izazvale zacrnjenje ploče bez obzira na papir između. Bekerel je zaključio da nevidljivo zračenje koje može proći kroz papir uzrokuje reakciju ploče kao da je izložena svjetlosti.



Slika 2.1: Prvi dokaz radioaktivnosti - slike koje su formirale Bekerelove soli uranijuma

Marija Kiri (Marie Curie) je odlučila da proučava novo zračenje koristeći osjetljivi elektrometar koji je izumio njen suprug Pjer, za mjerenje provodljivosti vazduha koju je zračenje izazvalo. [2]

U ovo vrijeme nije bio shvaćen značaj Bekerelovog otkrića. Ono nije bilo ni spektakularno, kao npr. Rendgenovo otkriće X - zraka, niti je priroda zračenja bila jasna. Interes je porastao kada je 1898. godine otkriveno da i torijum ima slična svojstva, a što su pokazali Gerard Šmit i Marija Kiri koji mjesec kasnije, nezavisno jedno od drugoga. Mariju je navedeno Bekerelovo otkriće podstaklo da pokuša da razjasni porjeklo i prirodu te stalne i spontane emisije energije, posebno što je i sama otkrila isti efekat kod izotopa torijuma. Ona je istraživala neka jedinjenja uranijuma i torijuma, a tokom ovih istraživanja je otkrila i radioaktivnost kalijuma, mada nije bila svjesna toga. Za ova otkrića su Marija i Pijer zajedno sa Bekerelom dobili Nobelovu nagradu iz hemije 1903., dok je Marija dobila i drugu Nobelovu nagradu 1911. za istraživanja radijuma.

Ernest Raderford i Frederik Sodi su dali osnovnu teoriju radioaktivnog atoma u periodu od 1902.-1904. god. Oni su objasnili prirodnu radioaktivnost kao spontanu promjenu jednog elementa u drugi element.

Razvoj je išao dalje pa je do 1912. bilo izolovano oko 30 radioaktivnih elemenata. [3]

2.2. Vrste zračenja

Zračenje, podrazumjeva emisiju, kao i prostiranje i apsorpciju energije kroz medijum bilo u talasnoj, bilo u čestičnoj formi.

Osnovna podjela zračenja je na jonizujuće i nejonizujuće.

Nejonizujuće zračenje definiše se kao ono zračenje koje ima dovoljno energije da pomjera atome unutar molekula ili da izazove njihove vibracije, ali ipak nedovoljno energije da izvrši jonizaciju i oslobodi elektrone. Primjer nejonizujućeg zračenja su svjetlost, mikrotalasi i radiotalasi.

Sa druge strane jonizujuće zračenje je ono zračenje koje ima dovoljno energije da jonizuje atome.

Osnovna podjela jonizujućeg zračenja je na prirodno i vještačko.

Prirodno može biti primordijalnog (terestrijalnog) i kosmogenog porijekla.

Primordijalno zračenje se klasifikuje kao ono zračenje koje je formirano prije postojanja Zemlje, a kosmogeno zračenje je galaktičkog ili solarnog porijekla ili nastaje kao rezultat interakcije kosmičkih zraka sa česticama u atmosferi.

Vještačko zračenje se proizvodi antropogenim aktivnostima i predstavlja u osnovi medicinske izvore zračenja, fisione produkte u atmosferi nakon nuklearnih proba i nuklearnih akcidenata, nuklearni industrijski otpad i sl.

Prirodna radioaktivnost široko je rasprostranjena u okruženju i javlja se u zemljištu, vazduhu, stijenama, vodi i biljnom svijetu. Najveći izvor prirodnog zračenja su kosmički zraci i terestrijalno zračenje.

Kosmičko zračenje predstavlja zračenje kojem je Zemlja stalno izložena i ono ima ekstraterestrijalno porijeklo. Radionuklidi formirani kosmičkim zracima su ^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{36}Cl , ^{38}Cl , ^{39}Cl , ^{27}Na , ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S , ^{38}S i ^{32}Si .

Terestrijalno zračenje predstavlja zračenje koje emanira iz zemlje i koje postoji od postanka Zemlje, a dominantni izvori terestrijalnog zračenja su radionuklidi: ^{40}K , ^{238}U i ^{232}Th . ^{222}Rn je produkt radioaktivnog lanca raspada elementa ^{238}U .

Ljudski organizam konstantno je izložen jonizujućem zračenju koje na njega djeluje putem eksternog i internog ozračivanja.

Eksterno ozračivanje predstavlja terestrijalno i kosmičko zračenje, a interno ozračivanje se odnosi na radionuklide unjete u organizam ingestijom, inhalacijom ili na neki drugi način. [4]

2.3. Radijacione operacione fizičke veličine i mjerne jedinice

Osnovne dozimetrijske operacione veličine i njihove mjerne jedinice su:

Ekspoziciona doza (D_{exp}): poznata i kao doza zračenja u vazduhu, je mjera jonizacije zračenja u vazduhu koju uzrokuje fotonsko zračenje (γ - zraci i X - zraci), jedinica je Rendgen (R).

Definiše se kao zbir naelektrisanja svih jona istog znaka nastalih u jedinici mase vazduha, m, pri prolasku fotonskog zračenja:

$$D_{exp} = \frac{dQ}{dm} \quad 2.1.$$

Gdje je, dQ - količina naelektrisanja jona istog znaka proizvedenih u vazduhu, a dm - masa vazduha u kojoj se jonizacija događa.

$$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

Apsorbovana doza (D): Mjerna jedinica je grej (Gy), koji je definisan kao apsorpcija jednog džula energije jonizujućeg zračenja po kilogramu materijala. Izražava se kao:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad 2.2.$$

gdje je, dE - energija apsorbovana u materijalu, a dm - masa materijala.

Ekvivalentna doza (H): Mjerna jedinica je sivert (Sv). Ekvivalentna doza uzima u obzir biološki efekat različitih vrsta zračenja. Izražava se kao:

$$H = D \cdot Q \quad 2.3.$$

gdje je, D - apsorbovana doza, a Q - faktor kvaliteta zračenja.

Efektivna doza (E): Mjerna jedinica je takođe sivert (Sv). Efektivna doza je suma ekvivalentnih doza u svim tkivima i organima, pomnožena sa odgovarajućim tkivnim težinskim faktorima. Izražava se kao:

$$E = \sum H_T \cdot W_T \quad 2.4.$$

gdje je, H_T - ekvivalentna doza u tkivu T, a W_T - tkivni težinski faktor.

Aktivnost (A): Radioaktivni raspad je proces u kome se nestabilno atomsko jezgro nekog hemijskog elementa, tzv. jezgro predak, spontano transformiše u stabilno ili nestabilno jezgro, koje se naziva jezgro potomak. Ako se potomci takođe radioaktivno raspadaju, tada se formiraju nizovi elemenata koji se redom jedan za drugim raspadaju dok ne nastane stabilan produkt raspada. Prilikom raspada oslobađa se višak energije koji može da se emituje u vidu fotonskog ili čestičnog zračenja.

Brzina raspada jezgra (aktivnost), odnosno broj dN jezgara koji se raspada u jedinici vremena dt, proporcionalan je broju neraspadnutih jezgara:

$$A = -\frac{dN}{dt} = N \cdot \lambda \quad 2.5.$$

gdje je, λ - konstanta raspada i ona predstavlja vjerovatnoću da će se neko jezgro raspasti u jedinici vremena.

Jedinica za aktivost je Bekerel, [Bq] i predstavlja jedan raspad po sekundi. To je vrlo mala jedinica i u praksi je pola vijeka bila u upotrebi jedna veća jedinica kiri (Ci), koja je definisana kao:

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Bq}.$$

Rješavanjem zakona radioaktivnog raspada (brzina raspada) dobija se jednačina radioaktivnog raspada:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad 2.6.$$

Gdje, $N(t)$ predstavlja broj neraspadnutih jezgara, a N_0 predstavlja početni broj jezgara u trenutku $t = 0$. Period poluraspada $T_{1/2}$, koji predstavlja vrijeme za koje će se raspasti polovina od početnog broja jezgara povezan je sa konstantom raspada sljedećom vezom:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad 2.7.$$

Ove veličine su ključne za razumijevanje i kontrolu izloženosti jonizujućem zračenju u medicinskim, industrijskim i zaštitnim aplikacijama te za razumijevanje kako prirodno zračenje utiče na materiju i živa bića, te su osnova za pravilnu zaštitu od zračenja i praćenje izloženosti u različitim okruženjima.

2.4. Vrste raspada

S obzirom na vrstu radioaktivnog raspada, razlikujemo sljedeće vrste zračenja:

- **Alfa raspad** – predstavlja raspad jezgra težeg elementa u jezgro elementa kojem se maseni broj smanji za 4, a atomski za 2 uz emisiju jezgra helijuma koje je teška, pozitivno naelektrisana čestica. Alfa zračenje u potpunosti možemo zaustaviti listom papira.
- **Beta raspad** – sastoji se od raspada pri kome se pojavljuje elektron i antineutrino (β^- raspad) ili pozitron i neutrino (β^+ raspad) ili može doći do transformacije jezgra usljed apsorpcije elektrona iz elektronskog omotača pri čemu nastaje neutron i neutrino (K – zahvat). Prodorna moć beta zraka je veća od alfa čestica i mogu se zaustaviti pločicom od aluminijuma debljine nekoliko milimetara.
- **Gama zračenje** – predstavlja elektromagnetno zračenje koje je posljedica relaksacije jezgra, dok je X zračenje usko vezano za promjenu energije elektrona u atomu. Domet gama zraka je velik, zavisno od njihove energije, oni mogu proći kroz ljudsko tijelo, a zaustavljaju se debelim betonskim zidovima. [4]

2.5. Radioaktivna ravnoteža

U prirodi se najčešće javlja situacija da je proizvod raspada (potomak) također radioaktivan i u zavisnosti od toga kako se odnose period poluraspada pretka i potomka, javljaju se različite vrste radioaktivnih ravnoteža.

Sekularna ravnoteža: Ova ravnoteža se uspostavlja kada je vrijeme poluraspada roditeljskog izotopa mnogo duže od vremena poluraspada njegovih potomaka. U stanju sekularne ravnoteže aktivnosti potomka i pretka su gotovo jednake i ostaju takve tokom vremenskog intervala koji je mnogo duži od vremena poluraspada potomka.

Transientna (prelazna) ravnoteža: Ova ravnoteža se uspostavlja kada je vrijeme poluraspada pretka samo malo duže od vremena poluraspada njegovih potomaka. Kod ove ravnoteže aktivnost potomka raste do maksimalne vrijednosti gdje odnos broja atoma pretka i potomka ostaje konstantan i njihove apsolutne vrijednosti aktivnosti se smanjuju tokom vremena.

Metastabilna ravnoteža: Ova ravnoteža se uspostavlja kada postoji izotop sa metastabilnim stanjem koje ima relativno dugo vrijeme poluraspada prije nego što doživi radioaktivni raspad.

Postoji i mogućnost da se ne uspostavi radioaktivna ravnoteža, a to se javlja u slučaju kada je period poluraspada pretka kraći od perioda poluraspada potomka. [4] [5]

2.6. Radioaktivni nizovi

Radioaktivni niz predstavlja niz nuklida koji nastaju uzastopnim radioaktivnim raspadima.

Početni radionuklid svakog od nizova se naziva rodonačelnik. Svaki od nizova nosi naziv po svom rodonačelniku. Rodonačelnik niza, pored toga što je početni, ujedno posjeduje i najduži period poluraspada, kao i najveću masu u nizu. Niz se završava stabilnim izotopom (Tabela 2.1.).

U prirodi su otkrivena tri radioaktivna niza: uranijumov, torijumov i aktinijumov.

U sva tri prirodna radioaktivna niza prisutan je po jedan izotop radona. Nizovi su potpuno nezavisni i ne ukrštaju se.

Karakteristika krajnjih, stabilnih nuklida svih nizova je to što svi sadrže magične brojeve protona, 82, i magične brojeve neutrona, 126, ili oba, što im daje izuzetnu stabilnost.

Fizičke karakteristike prirodnih radionuklida, uključujući period poluraspada, kao i dominantni tip raspada radionuklida dati su u tabeli 2.2.

- **Uranijumov niz** (slika 2.2.) - počinje sa ^{238}U , čiji je period poluraspada $T_{1/2} = 4,468 \cdot 10^9$ godina. Nakon niza alfa i beta raspada, dobija se stabilni izotop ^{206}Pb . Uočena je pravilnost da se

atomska masa svakog izotopa ovog niza može napisati u obliku $4n+2$, pri čemu je n prirodan broj. Iz ovog razloga uranijumov niz se često naziva i „ $4n+2$ ” niz.

- **Aktinijumov niz** (slika 2.3.) - počinje izotopom ^{235}U , čiji je period poluraspada $T_{1/2} = 7,038 \cdot 10^8$ godina. Ime ovog niza potiče od toga što se ^{235}U nekada nazivao aktin-uran. ^{235}U je prethodio ^{239}Pu , koji se do danas raspao i ne postoji u prirodi. Niz se završava stabilnim izotopom ^{207}Pb . U aktinijumovom nizu ima alfa - raspada i beta - raspada. Mase svih članova aktinijumovog niza zadovoljavaju izraz $4n+3$.
- **Torijumov niz** (slika 2.4.) - započinje sa ^{232}Th , čiji je period poluraspada $T_{1/2} = 1,405 \cdot 10^{10}$ godina. Torijumov niz se završava stabilnim izotopom ^{208}Pb . Nekada, ovaj niz je počinjao ^{252}Cf , međutim, svi članovi niza koji prethode torijumu su se do danas raspali i ne postoje u prirodi. Atomske mase članova ovog niza zadovoljavaju izraz $4n$.
- **Neptunijumov niz** - logično je bilo očekivati i pronalazak niza „ $4n+1$ ”. Ovaj niz je u prošlosti postojao i počinjao je izotopom kalifornijuma ^{249}Cf , a završavao se stabilnim izotopom bizmuta ^{209}Bi . Naziv “neptunijumov niz” je dobio zato što je izotop ovog niza sa najdužim vremenom poluraspada upravo bio neptunijum ^{237}Np . Tokom vremena, svi članovi neptunijumovog niza su se raspali i ovaj niz u prirodi više ne postoji. Precizno govoreći, postoji još samo njegov posljednji stepen. Nedavno je otkriveno da ^{209}Bi nije stabilan, već da se i on raspada alfa raspadom dajući ^{205}Tl . Vrijeme poluraspada izotopa ^{209}Bi iznosi $T_{1/2} = 1,9 \cdot 10^{19}$ godina. ^{237}Np je izotop koji se proizvodi vještačkim putem i koristi se u nuklearnim istraživanjima.

Govoreći o radioaktivnim nizovima, najčešće se misli na nizove primordijalnih radionuklida (nuklida nastalih pri formiranju planete Zemlje). [6] Prvi elementi prirodnih radioaktivnih nizova su prisutni u zemljinoj kori, a u većoj ili manjoj mjeri i u svim ostalim materijalima. Tako se i atomi ostalih članova radioaktivnih nizova nalaze u velikom broju materijala. Atom radijuma, koji je neposredni prethodnik radona (u sva tri radioaktivna niza) je vezan u kristalnoj rešetki materijala u kome se nalazi. Pri raspadu jezgra atoma radijuma stvori se atom radona, koji, budući da je hemijski inertan gas, napušta mjesto formiranja. Atom radona može napustiti komad materijala u kome je formiran i preći u atmosferu. Tako postoji stalan "dotok" radona, iz tla i ostalih materijala prisutnih na zemlji, u vazduh. Radon je stalno (i oduvijek je bio) prisutan u atmosferi, kako u prostorijama, tako i na otvorenom prostoru. [7]

Izotop	^{238}U	^{235}U	^{232}Th	^{237}Np
$t_{1/2}$ (god.)	$4,468 \cdot 10^9$	$0,704 \cdot 10^9$	$1,405 \cdot 10^{10}$	$2,14 \cdot 10^6$
Krajnji proizvod	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	^{209}Bi
Tip niza	$4n + 2$	$4n + 3$	$4n$	$4n + 1$

Tabela 2.1. Rodonačelnici prirodnih radioaktivnih nizova [2]

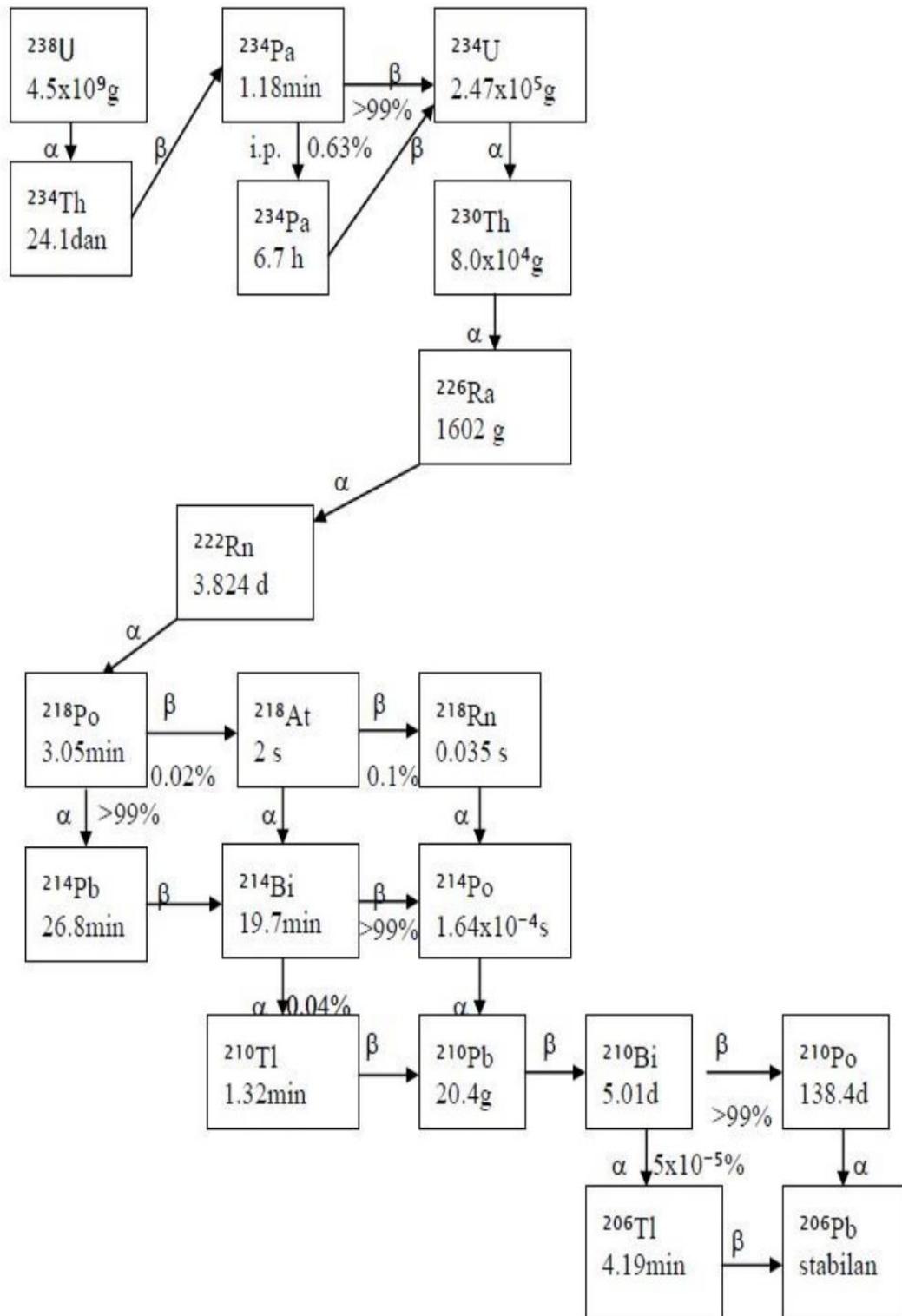
Pored ovih nizova, u prirodi se mogu naći i drugi, znatno kraći nizovi (npr. niz ^{14}C). Rodonačelnici ovih nizova obično nastaju pod uticajem kosmičkog zračenja. [6]

Radionuklid	Simbol	Period poluraspada $T_{1/2}$	Dominantni raspad
Kalijum 40	^{40}K	1.28×10^8 god	Beta (89.3%), EC ¹ (10.7%)
Rubidijum 87	^{87}Rb	4.75×10^{10} god	Beta (100%)
Lantan 138	^{138}La	1.05×10^{11} god	Beta (33.6%), EC (66.4%)
Samarijum 147	^{147}Sm	1.06×10^{11} god	Alfa (100%)
Lutecijum 176	^{176}Lu	3.73×10^{10} god	Beta (100%)
Niz uranijuma ^{238}U:			
Uranijum 238	^{238}U	4.47×10^9 god	Alfa (100%)
Torijum 234	^{234}Th	24.10 dana	Beta (100%)
Protoaktinijum 234m	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1.17 min	Beta (99.8%), IT ²
Uranijum 234	^{234}U	2.45×10^5 god	Alfa (100%)
Torijum 230	^{230}Th	7.54×10^4 god	Alfa (100%)
Radijum 226	^{226}Ra	1600 god	Alfa (100%)
Radon 222	^{222}Rn	3.824 dana	Alfa (100%)
Polonijum 218	^{218}Po	3.05 min	Alfa (99.98%), Beta(0.02%)
Olovo 214	^{214}Pb	26.8 min	Beta(100%)
Bizmut 214	^{214}Bi	19.9 min	Alfa (0.02%), Beta(99.98%)
Polonijum 214	^{214}Po	164 μs	Alfa (100%)
Olovo 210	^{210}Pb	22.3 god	Beta (100%)
Bizmut 210	^{210}Bi	5.013 dana	Beta (100%)
Polonijum 210	^{210}Po	138.4 dana	Alfa (100%)
Olovo 206	^{206}Pb	stabilan	
Niz torijum ^{232}Th:			
Torijum 232	^{232}Th	1.405×10^{10} god	Alfa (100%)
Radijum 228	^{228}Ra	5.75 god	Beta(100%)
Aktinijum 228	^{228}Ac	6.15 h	Beta(100%)
Torijum 228	^{228}Th	1.912 god	Alfa(100%)
Radijum 224	^{224}Ra	3.66 dana	Alfa(100%)
Radon 220	^{220}Rn	55.6 s	Alfa(100%)
Polonijum 216	^{216}Po	0.145 s	Alfa(100%)
Olovo 212	^{212}Pb	10.64 h	Beta(100%)
Bizmut 212	^{212}Bi	60.55 min	Alfa (36%), beta (64%)
Polonijum 212	^{212}Po	0.299 μs	Alfa(100%)
Talijum 208	^{208}Tl	3.053 min	Beta(100%)
Olovo 208	^{208}Pb	stabilan	
Niz uranijuma ^{235}U			
Uranijum 235	^{235}U	7.038×10^8 god	Alfa (100%)
Torijum 231	^{231}Th	25.52 h	Beta(100%)
Protoaktinijum 231	^{231}Pa	32760 god	Alfa (100%)
Aktinijum 227	^{227}Ac	21.77 god	Alfa (1.4%), beta (98.6%)
Torijum 227	^{227}Th	18.72 dana	Alfa (100%)
Francijum 223	^{223}Fr	21.8 min	Beta(100%)
Radijum 223	^{223}Ra	11.44 dana	Alfa (100%)
Radon 219	^{219}Rn	3.96 s	Alfa (100%)
Polonijum 215	^{215}Po	1.781 ms	Alfa (100%)
Olovo 211	^{211}Pb	36.1 min	Beta(100%)
Bizmut 211	^{211}Bi	2.14 min	Alfa (99.7%), beta (0.3%)
Talijum 207	^{207}Tl	4.77 min	Beta(100%)
Olovo 207	^{207}Pb	stabilan	

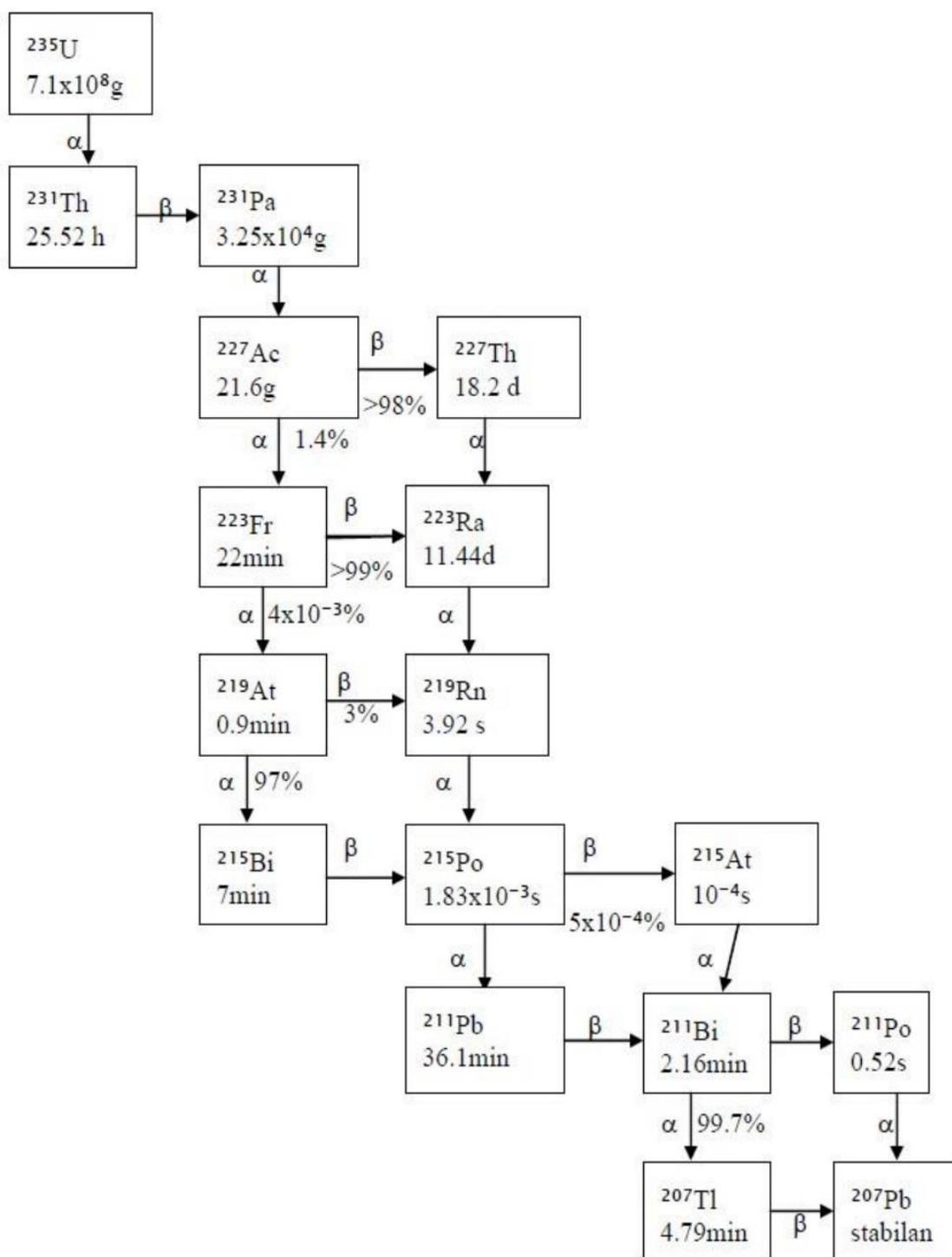
¹ EC – zahvat elektrona,

² IT – interni prelaz

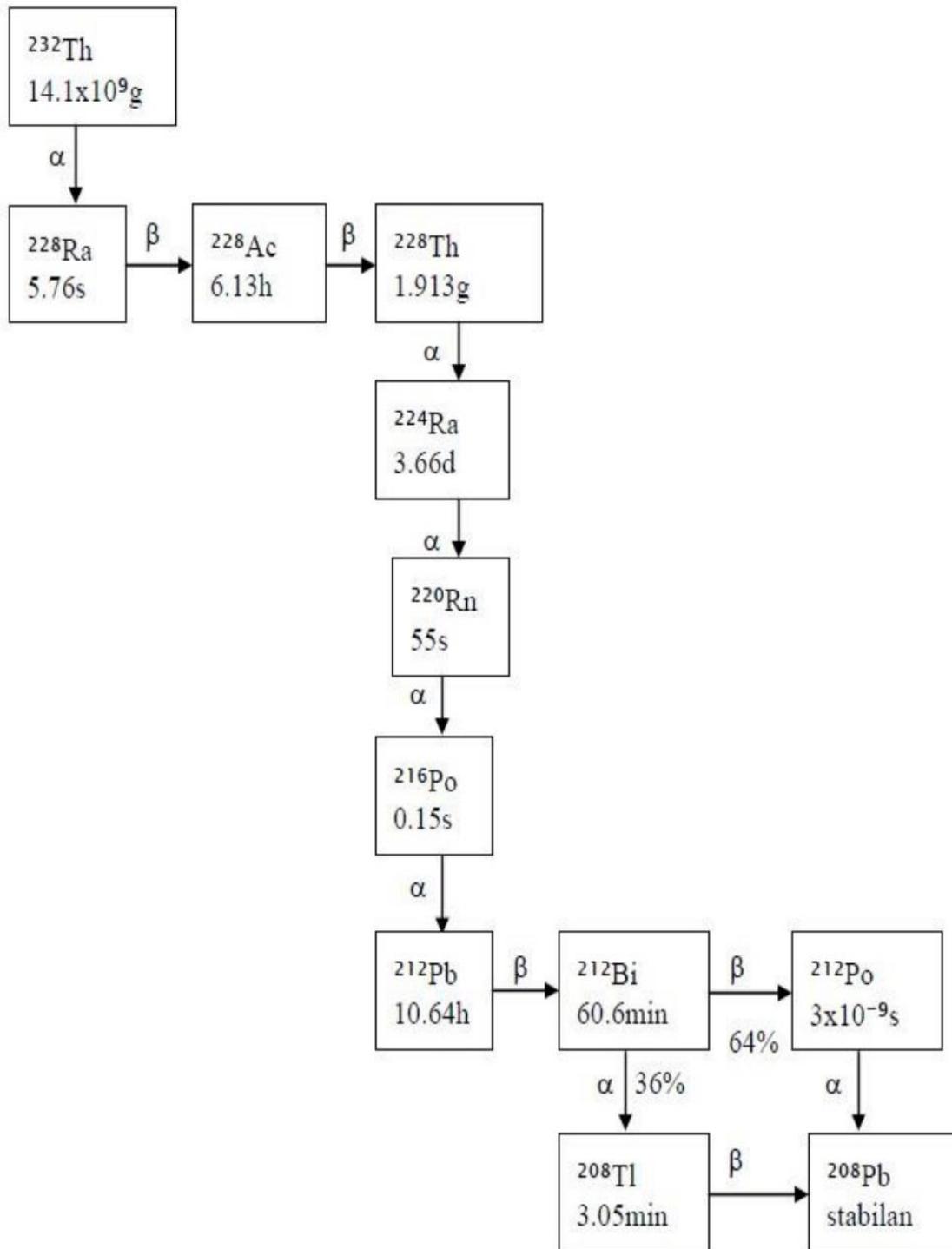
Tabela 2.2. Fizičke karakteristike primordijalnih radionuklida



2.2. Uranijumov niz



2.3. Aktinijumov niz

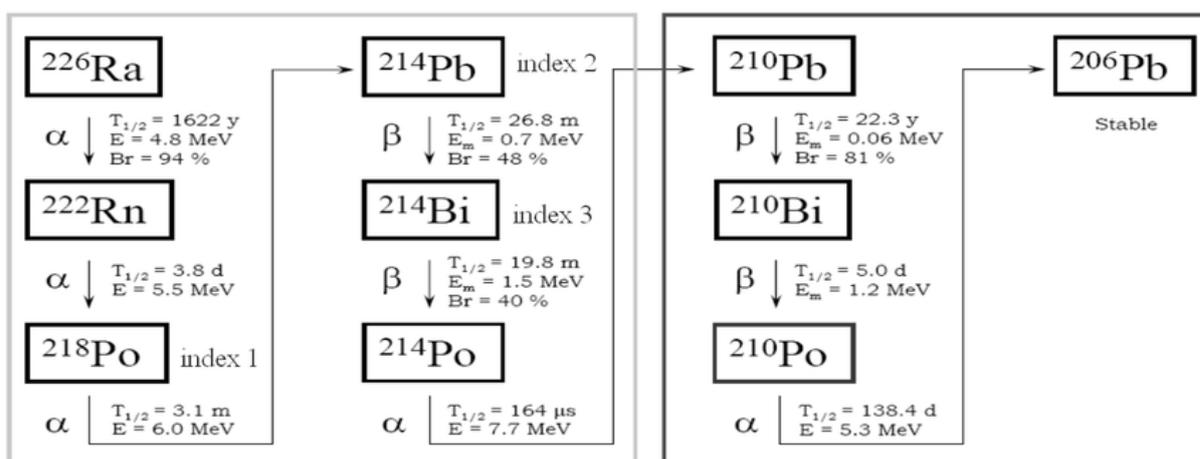


2.4. Torijumov niz

3. Radon

3.1. Fizičke i hemijske karakteristike radona

^{222}Rn je inertan, isparljiv gas bez mirisa, boje i ukusa, zbog čega se ne može otkriti pomoću ljudskih čula. 7,5 puta veće gustine od vazduha, rastvorljiv u vodi. U periodnom sistemu elemenata nalazi se u šestoj periodi. Otkrio ga je njemački fizičar Fridrih Dorn (Fredrich Ernst Dorn) 1900. godine, a prvi su ga detektovali u vazduhu Elster i Geitel 1901. god. Radon ima 27 poznatih izotopa od kojih je najznačajniji nestabilni izotop ^{222}Rn (u daljem tekstu, naziv „radon“, podrazumjevaće upravo ovaj izotop), koji je α emiter sa $T_{1/2} = 3,824$ dana i nastaje alfa raspadom radijuma ^{226}Ra , po kome je i dobio naziv „radon“. ^{222}Rn je čist alfa emiter (emituje alfa čestice energije 5,5 MeV). Njegovi potomci su i alfa i beta i gama emiteri, velike jonizacione moći.



3.1. Šema raspada ^{226}Ra

Takođe, on je i jedini gas koji u normalnim uslovima ima samo radioaktivne izotope te se zbog svoje radioaktivnosti smatra opasnim za zdravlje. Tačka topljenja je na -71 °C (202,15 K), tačka ključanja na -61.8 °C (211,35 K). Zanimljivo je da je tačka ključanja radona samo malo viša od tačke topljenja, odnosno dosta je uzak razmak između temperatura kada radon prelazi iz tečnog u gasovito stanje. Ova osobina je jedinstvena i često se ne viđa kod drugih elemenata. Kada se ohladi ispod tačke topljenja on emituje sjajnu radioluminescenciju koja prelazi iz žute u narandžasto - crvenu kako se temperatura snižava. Nakon kondenzacije, radon sjaji zbog intenzivne radijacije koju proizvodi. On je vrlo slabo rastvorljiv u vodi, ali je mnogo rastvorljiviji od lakših plemenitih gasova. Rastvorljivost radona u vodi je obrnuto proporcionalna temperaturi. Što je viša temperatura okolne sredine, to je manje radona u vodi. Takođe je znatno više rastvorljiv u organskim rastvaračima nego u vodi. Lako se rastvara u krvi, značajno lakše u mastima što uslovljava efikasnu apsorpciju čovjekovih masnih tkiva dospjevanjem u

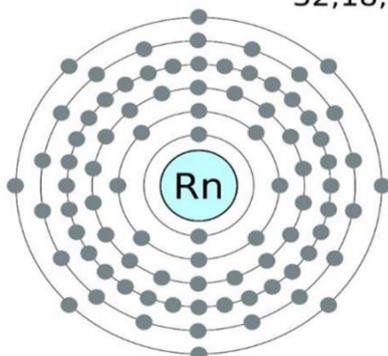
organizam. Pripada grupi plemenitih gasova, a gustina mu je $9,73 \text{ g/cm}^3$, na temperaturi 293 K. Pošto je plemeniti gas, radon je u hemijskom smislu vrlo slabo reaktivan. Međutim, pošto je vrijeme poluraspada ^{222}Rn samo 3,8 dana, to ga čini vrlo korisnim u fizičkim naukama kao prirodni radioaktivni traser (radioizotopski indikator). Neki izotopi radona sa vremenom poluraspada dati su u tabeli 3.1. Svi izotopi radona su radioaktivni. Izotop ^{219}Rn nastaje raspadom aktinijuma pa se naziva aktinon. Izotop ^{220}Rn nastaje raspadom torijuma pa se naziva toron, a najduže živući izotop je upravo ^{222}Rn , koji predstavlja 80% svih radonovih izotopa. Radon nastaje kao jedan od međuproizvoda u normalnom radioaktivnom lancu raspadanja kroz koji se torijum i uranijum polako raspadaju do stabilnog olova. Torijum i uranijum su dva najrasprostranjenija radioaktivna elementa na Zemlji, a na njoj postoje od vremena kada je nastala. Njihovi prirodni izotopi imaju vrlo duga vremena poluraspada, u rasponima od nekoliko milijardi godina. ^{238}U , ^{232}Th , njihov potomak ^{226}Ra i njegov potomak ^{222}Rn iz tog razloga će u narednih nekoliko desetaka miliona godina ostati u gotovo istom odnosu kao što su i danas. Kako se i sam radon raspada, on daje nove radioaktivne elemente, potomke radona tj. proizvode raspada. Za razliku od gasovitog ^{222}Rn njegovi proizvodi raspada su u čvrstom stanju te se zaljepe za površinu, kao što su čestice prašine u vazduhu. Ako se tako kontaminirana prašina udahne, te čestice se mogu zaljepiti za disajne puteve u plućima i na taj način povećati rizik od razvoja raka pluća. O radonu moramo da mislimo kao o izolovanim atomima, koji se u prirodi nalaze u gasovitoj ili tečnoj sredini, kroz koje mogu da se kreću difuzijom, ili zajedno sa pokretnom sredinom. [8] [9] [10]

Izotopi	Vrijeme poluživota
^{211}Rn	14,6 sati
^{212}Rn	24,0 minuta
^{217}Rn	0,6 milisekundi
^{218}Rn	35,0 milisekundi
^{219}Rn	3,96 sekundi
^{220}Rn	55,61 sekundi
^{222}Rn	3,82 dana

Tabela 3.1. Izotopi radona sa vremenom poluživota

86: Radon

2,8,18,
32,18,8



Rn	86 (222)
Density	9.73 g/L
Boiling point	-62°C
Melting point	-71°C
F.E. Dorn, 1900	
<small>California Geological Survey Mineral Resources and Mineral Hazards Mapping Program</small>	
(Xe) 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	
Radon	

3.2. Hemijski element radon

3.2. Emanacija i ekshalacija radona

Emanacija se definiše kao proces u kome radionuklid napušta stijene, minerale ili zemljište i ispunjava pukotine između njih, ispunjene vazduhom (ili vodom).

Ekshalacija je proces u kome se tako oslobođen radionuklid transportuje do površine zemlje i dalje u atmosferu. Koeficijent emanacije radona definiše se kao njegova sposobnost da se oslobodi iz zemljišta ili nekog drugog (poroznog) materijala, odnosno, to je odnos broja oslobođenih atoma u odnosu na broj novonastalih atoma radona. [4]

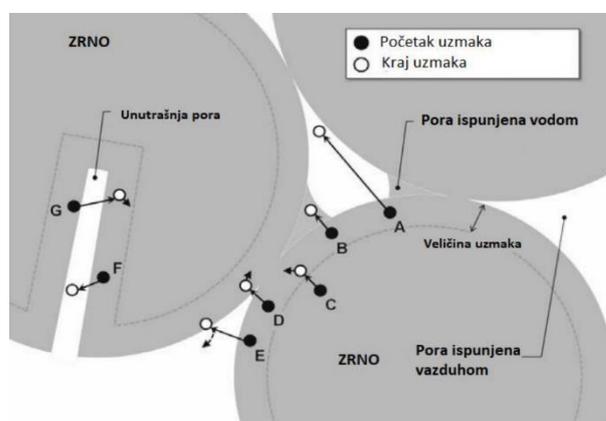
Emanacija je zasnovana na procesu difuzije i uzmaka radionuklida i odnosi se na proces raspada koji se dešava unutar zrna nekog materijala. Jezgro ²²⁶Ra kada se raspada, nastaje alfa čestica i ²²²Rn. Takav novoformirani atom radona usljed zakona održanja impulsa doživljava uzmak u suprotnom smijeru i može da doživi jedan od sljedeća tri scenarija:

- 1) da se tako uzmaknuti atom pomjeri unutar zrna minerala,
- 2) da usljed uzmaka dođe do oslobađanja atoma iz zrna minerala i da se zaustavi u pukotini između zrna, ili
- 3) da uzmakom atom radona pređe iz jednog zrna u drugo (najmanje verovatan proces) (Slika 3.2.).

Proces u kome se atom novoformiranog radona usljed uzmaka nađe u međuprostoru ispunjenom fluidom, predstavlja njegovo oslobađanje, odnosno emanaciju.

Radon dospjeva u atmosferu najvećim dijelom emanacijom iz zemljišta ili građevinskih materijala sa visokim sadržajem radijuma, ali postoji i mali doprinos drugih izvora kao što su podzemne vode i prirodni gasovi.

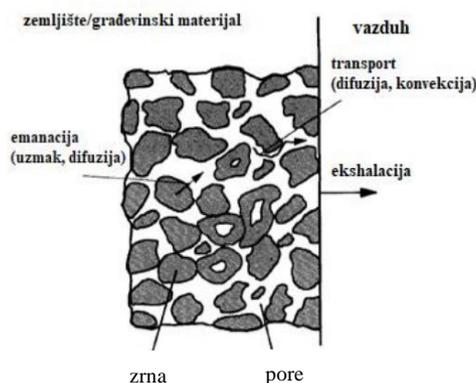
Na proces emanacije utiče mnogo faktora kao što su: relativna vlažnost materijala, temperatura, oblik zrna, raspoređenost radijuma unutar pojedinačnog zrna, zapremina i slobodna površina zrna, broj i veličina pora. Kod zrna koja imaju veću slobodnu površinu koeficijent emanacije je veći u odnosu na ona zrna koja imaju veću zapreminu, a manju slobodnu površinu. Koncentracija atoma radona koji se mogu naći u pukotinama između zrna materijala je veća ukoliko je vlaga u zemljištu veća, ovo je posljedica toga što je rastojanje koje atom pređe usljed uzmarka u vodi manje u odnosu na rastojanje koje bi prešao u vazduhu, te je stoga malo vjerovatno da će dospjeti u zapreminu nekog drugog obližnjeg zrna materijala. [4]



3.3. Prikaz mogućih stanja koje može da doživi uzmarknuto jezgro: A,B,F da usljed uzmarka pređe u prostor pukotine ispunjen fluidom; C,G da usljed uzmarka ostane unutar istog zrna ili; D, E usljed uzmarka pređe u susjedno zrno materijala.

Kao što je do sada već pomenuto, ekshalacija predstavlja proces u kome se radionuklid, koji je prethodno procesom emanacije napustio zrno materijala koje sadrži radijum, oslobađa u atmosferu. Poznata su dva kvantitativna opisa ekshalacije, a to su površinska i masena ekshalacija. Površinska ekshalacija se definiše kao količina aktivnosti koja se oslobodi po jedinici površine nekog materijala u jedinici vremena [$\text{Bq}\cdot\text{m}^2/\text{s}$], a masena ekshalacija se definiše kao oslobođena aktivnost po jedinici mase u jedinici vremena [$\text{Bq}\cdot\text{kg}/\text{s}$]. Mnogo faktora utiče na ekshalaciju radona: veličina zrna zemljišta, vlažnost, razlika u pritisku, temperatura, poroznost itd. Zemljište koje sadrži mali procenat vlage ima veću vrijednost ekshalacije u odnosu na potpuno suvo zemljište, međutim ukoliko vlaga pređe preko 8% dolazi do smanjenja ekshalacije. Ta pojava objašnjava se time što se povećava procenat vode u porama, a voda nepovoljno utiče na koeficijent difuzije. Povećanje temperature zemljišta utiče na povećanje ekshalacije. Ukoliko se javi razlika u pritisku sa slobodne površine zemljišta u odnosu na dublje slojeve, dolazi do porasta ekshalacije. [4]

Zbog toga što zemljište i većina građevinskih materijala (porjeklom od sirovina iz Zemljine kore) imaju $10^3 - 10^4$ puta veće koncentracije radona nego u atmosferi, postoji veliki gradijent koncentracije radona između takvog zemljišta ili materijala i vazduha. Gradijent koncentracije je najvećim dijelom određen koncentracijama aktivnosti uranijuma i torijuma koji su odgovorni za kontinuirani fluks radonovih izotopa.



3.4. Mehanizmi emanacije i ekshalacije radona iz tla i građevinskog materijala

Koncentracija radona u otvorenoj atmosferi je određena sadržajem radijuma u materijalu, brzinom ekshalacije i meteorološkim uslovima (kao što su atmosferski procesi).

Tri procesa određuju fluks (brzinu ekshalacije) radona iz poroznog materijala, slika 3.3.

- 1) Emanacija – generisanje i otpuštanje radona iz zrna (čvrstih dijelova) u pore ispunjene vazduhom usljed raspada ^{226}Ra . Atomi radona koji su uspjeli migrirati u pore materijala se nazivaju slobodnim radonom, dok oni atomi koji se nalaze u čvrstoj fazi nazivaju se vezanim radonom;
- 2) Transport atoma radona do površine materijala usljed procesa difuzije kroz pore materijala ispunjene vazduhom i
- 3) Ekshalacija atoma radona koji su transportovani na površinu materijala i kao takvi izlaze u okolnu atmosferu. [11]

Koeficijent emanacije za ^{222}Rn u ispitivanim uzorcima odgovarajućih materijala, koji se mogu koristiti kao građevinski materijali, se može dobiti određivanjem odnosa između koncentracije aktivnosti emaniranog radonskog udjela izmjenjenog pomoću gama spektrometrije nakon što je postignuta ravnoteža ^{222}Rn u odnosu na ^{226}Ra i koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u uzorku. Ovaj odnos predstavlja udio emaniranog radona podjeljenog sa ukupnim radonskim udjelom mjerenog uzorka. Koncentracija emanirane aktivnosti radona, može se zatim odrediti alfa-spektrometrijskim određivanjem koncentracije aktivnosti potomaka ^{222}Rn . Primjeri takvog mjerenja, koji su vršeni u jugo - zapadnom italijanskom regionu Kampanija, koji karakterišu vulkanske oblasti bogate piroklastičnim materijalima

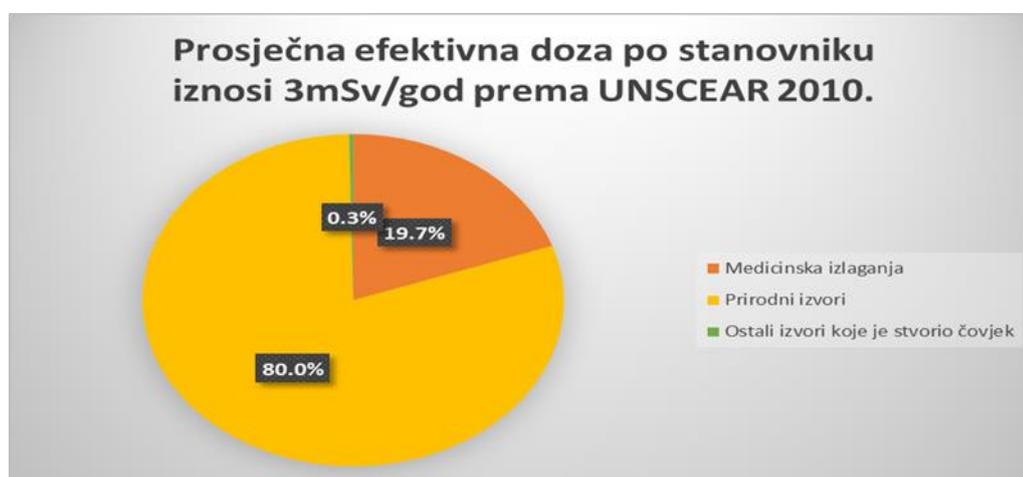
(fragменти stijena i minerala koje vulkan izbacuje tokom erupcije) i vulkanskim stijenama, srednje i srednje-visoke propustljivosti i poroznosti, koje potiču od erupcija nekoliko vulkanskih sistema u regionu (uglavnom Campi Flegrei i Vezuv) dati su u tabeli 3.2. Ovi materijali su u velikoj mjeri korišteni u prošlosti i još uvek se koriste kao građevinski materijali, te kao temelji građevinskih konstrukcija. Dobro je poznato da su materijali i tla takve prirode bogati tragovima uranijuma i torijuma, te se stoga smatraju odgovornim za ekspoziciju γ - zrakama i za oslobađanje radona. [12]

Vrsta materijala	Emanacioni koeficijent ^{222}Rn	Mjerna nesigurnost (Δ)
Grey tuf (siva sedra)	0,21	0,02
Yellow tuf (žuta sedra)	0,62	0,12
Green tuf (zelena sedra)	0,23	0,03
Bauxite (boksit)	0,03	0,01
Marble (mermer)	0,09	0,02

Tabela 3.2. Rezultati, sa nesigurnošću (Δ), radiološke karakterizacije uzoraka materijala vulkanskog tipa iz regiona Kampanije [12]

3.3. Ekspozicija stanovništva

Prema izveštaju Naučnog komiteta Ujedinjenih nacija o efektima atomskog zračenja (UNSCEAR 2010), efektivna doza uprosječena za svjetsku populaciju je oko 3 mSv godišnje po stanovniku.



3.5. Procjena ozračenosti stanovništva od različitih izvora na svjetskom nivou, UNSCEAR 2010 Report

Od toga, oko 80% (2,4 mSv) prosječno, svaki stanovnik prima od radona i ostalih prirodnih izvora (fon). 19,7% (0,6 mSv) prima iz medicinske upotrebe jonizujućeg zračenja, u svrhe dijagnostike (bez terapije), a ostalih 0,3% (0,01 mSv) iz svih ostalih izvora zračenja koje je stvorio čovjek (slika 3.5.).

Ipak, doze koje primaju pojedinci veoma se razlikuju u zavisnosti od mjesta na planeti na kojem žive. Na primjer, nivo prirodne radioaktivnosti na nekim mjestima na Zemlji, zbog geoloških karakteristika, može da bude i do 10 puta veći od svjetskog prosjeka. [13] Vjerovatnoća da pojedinac doživi određeni štetni efekat kao rezultat izlaganja jonizujućem zračenju, radijacioni rizik, određuje se preko doze - fizičke veličine koja služi kao kvantitativna mjera nivoa izlaganja jonizujućem zračenju.

Povećan radijacioni rizik može se javiti usljed:

1. eksternog (spoljašnjeg) ozračivanja, kada se izvor zračenja nalazi izvan organizma i
2. internog (unutrašnjeg) ozračivanja, kada izvori jonizujućih zračenja dospjevaju u organizam na sljedeći način:

- inhalacijom (dominantno radon i njegovi potomci) i

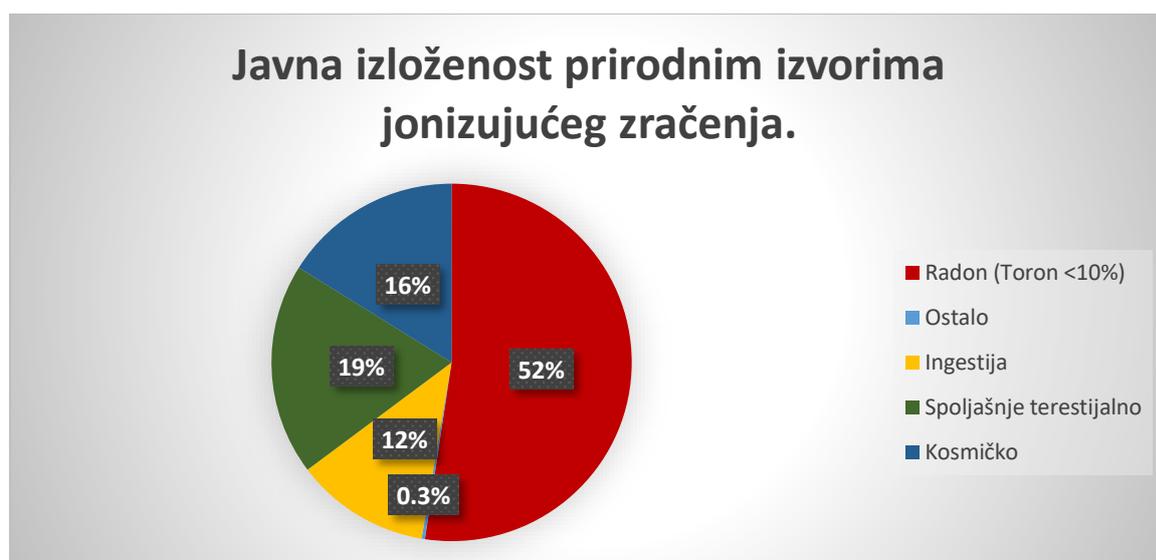
- ingestijom - unošenjem u organizam putem dugog lanca ishrane (zemljište - biljke - životinje - čovjek).

U Srbiji preporuke i norme međunarodnih organizacija su implementirane u Zakonu o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti (Službeni glasnik Republike Srbije br. 36/2009) iz koga proizilazi Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i mjerenjima radi procjene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima (Službeni glasnik RS br. 86/2011.) u cilju procjene stepena individualne izloženosti stanovništva jonizujućim zračenjima. [13]

Živa bića su stalno izložena jonizujućim zračenjima iz prirodnih izvora. Prirodni izvori koji doprinose ukupnoj efektivnoj dozi zračenja jesu kosmičko zračenje i zračenje koje potiče od radionuklida u sastavu zemljišta, vazduha, hrane, vode i tijela. Treba imati u vidu da prirodna radioaktivnost zavisi i od geološkog sastava zemljišta, i da se s povećanjem nadmorske visine značajno povećava uticaj kosmičkog zračenja (UNSCEAR 2010). Hrana takođe predstavlja izvor jonizujućeg zračenja. U tabeli 3.1. dati su podaci o godišnjoj dozi u mSv, a na grafiku 3.3. prikazan je ukupan udio radona u efektivnoj dozi ako gledamo samo prirodne izvore zračenja. [14] [15]

Izvor zračenja ili način izlaganja	Prosečna godišnja doza (mSv)	Interval uobičajenih vrednosti godišnje doze (mSv)	Napomena
Inhalacija (radon)	1,26	0,2-10	U nekim domovima doza može biti znatno viša od tipičnih vrednosti .
Spoljašnje zračenje	0,48	0,3-1	Na nekim mestima doza može biti viša od tipičnih vrednosti.
Ingestija	0,29	0,2-1	
Kosmičko zračenje	0,39	0,3-1	Doza se povećava sa povećanjem nadmorske visine..
Ukupno od izvora prirodnog porekla	2,4	1-13	

3.6. Godišnje doze izražene u mSv, koje čovjek primi od prirodnih izvora zračenja (UNSCEAR 2010 Report) [15]



3.7. Oko 52% jonizujućeg zračenja iz prirodnih izvora potiče od radona

3.4. Rasprostranjenost radona, kako smo izloženi

Za ^{222}Rn se može reći da je glavni radioaktivni kontaminant životne sredine. To je radioaktivni gas bez boje, ukusa i mirisa. Oslobađa se iz tla, te prolazi kroz pukotine ili ekshalira iz građevinskog materijala i dospjeva u prostorije. Zatim ima tendenciju da se razblaži u vazduhu, tako da na otvorenom radon ne šteti ljudskom zdravlju. S druge strane, radon u zatvorenom prostoru je opasan i brojne studije su potvrdile da čak i umjerene koncentracije, koje se obično nalaze u stambenim zgradama i na radnim

mjestima predstavljaju rizik po zdravlje. Visoke koncentracije radona u zatvorenom prostoru posebno su opasne jer produženo izlaganje udisanjem značajno povećava rizik od raka pluća.

Hemijski elementi koji se raspadaju u radon, kao što su uranijum, torijum i radijum, mogu biti prisutni u zemljištu, vodi i građevinskim materijalima. Kao što je već napomenuto u poglavlju 3.3., radon čini oko polovinu ukupne izloženosti ljudi zračenju. Takođe je najvažniji uzrok raka pluća nakon pušenja i vodeći uzrok raka pluća među nepušačima. Prema WHO, procjenjuje se da radon uzrokuje između 3% i 14% svih karcinoma pluća, u zavisnosti od prosječne koncentracije radona u zemlji i načina obračuna. U zavisnosti od prosječnog nivoa radona u zatvorenom prostoru i rasprostranjenosti pušenja, dugotrajna izloženost može značajno povećati rizike. Rizik od raka pluća od radona znatno je veći za pušače, kod njih je oko 25 puta veća vjerovatnoća da će razviti rak pluća nego kod nepušača.

Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) klasifikovala je radon kao dokazani kancerogen za ljude zajedno s duvanskim dimom, azbestom i benzenom.

Radon se prirodno pojavljuje u značajnim količinama u tri različite hemijske varijacije ili izotopa, ali samo dva od njih predstavljaju rizik. To su: ^{222}Rn - proizvod raspada ^{238}U ili ^{226}Ra koji je i najopasniji. Ima dugu stopu raspadanja, pa se može akumulirati u zatvorenom prostoru. Prilično je čest zbog visokih koncentracija ^{238}U u zemlji u nekim regijama, kao i zbog različitih koncentracija ^{226}Ra u određenim građevinskim materijalima. Ponekad zajedno sa ^{220}Rn (tzv. toron) - proizvodom raspada ^{232}Th , ^{222}Rn djeluje kao glavni faktor koji doprinosi izloženosti javnosti radijaciji. U pogledu zaštite koju treba pružiti, ne pravi se razlika između ova dva uzroka izloženosti. ^{219}Rn se ne smatra opasnim.

Neke vrste stijena imaju veći sadržaj uranijuma i radijuma od prosjeka. Ove uključuju vulkanske stijene svijetle boje (npr. „yellow tuff“), granite i tamne škriljce, kao i sedimentne stijene uključujući kraški krečnjak, pješčenjak, kredu i neke gline koje sadrže tragove ovih stijena.

Radon se transportuje iz tla i stijena konvekcijom i difunduje u gornje slojeve tla, a zatim u atmosferu. Uvlači se u zgrade kao rezultat djelovanja vjetrova i razlike u pritisku izazvane gustinom vazduha. Infiltracija gasova iz tla se prepoznaje kao najvažniji izvor radona u stanovima i zgradama. Drugi izvori radona obuhvataju građevinski materijal i vodu iz bunara, ali imaju manju važnost. U nekim dijelovima svijeta, posebno u zemljama sa određenom geologijom i sa dugim i hladnim zimama, neke kuće mogu imati veoma visok nivo radona.

Naučni komitet Ujedinjenih naroda za efekte atomskog zračenja (UNSCEAR) primijetio je da, za većinu ljudi radon je najveći izvor izloženosti zračenju tokom njihovog života. [16] [17] [18] [11]

3.4.1. Radon u vazduhu u zatvorenom prostoru

Koncentracije aktivnosti radona u zatvorenom prostoru zavise od geoloških karakteristika tla na kojima se nalaze objekti, tehnika gradnje, vrstama ventilacije, kućnim navikama, itd. Nakon što se

oslobodi radioaktivnim raspadom iz ^{226}Ra , ^{222}Rn prolazi kroz tlo, razrjeđujući se u vazduhu prije nego što uđe u zgrade. Graniti, migmatiti, neke gline i tilovi posebno su bogati uranijumom i radijumom, koji se raspadaju u radon. Radon koji emanira iz zemlje ispod zgrada je glavni izvor radona u unutrašnjem vazduhu. [19] Radon iz tla doprinosi sa oko 69% izloženosti radonu, dok se doprinosu izloženosti iz građevinskih materijala pripisuje svega 2,5%. [11]

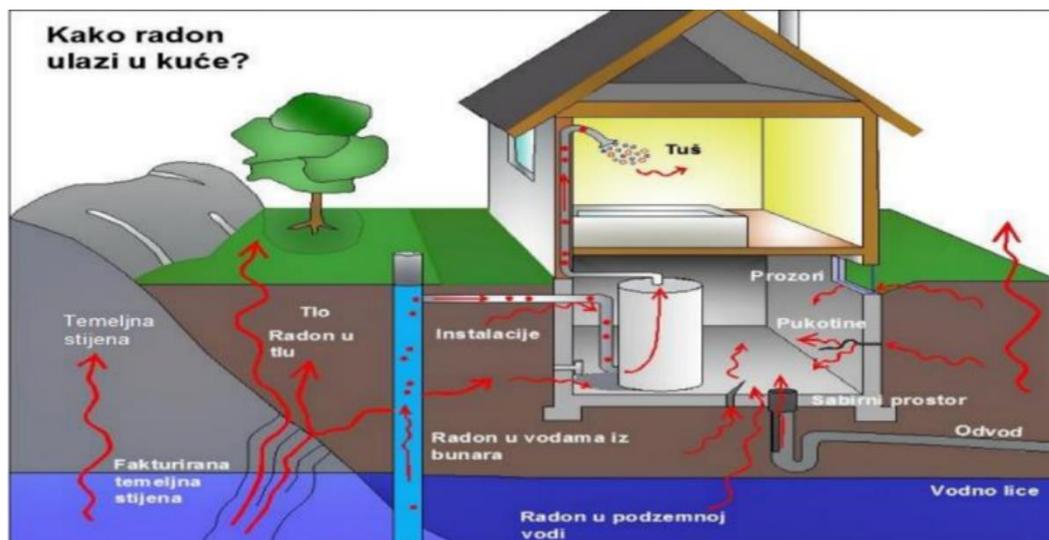
Radon može ući u zgrade kroz pukotine u podu, rupe u konstrukciji, prozore, kanalizaciju ili prostore oko kablova i cijevi. Ovo je posebno uobičajeno u umjerenim i hladnim regijama gdje razlika u pritiscima pokreće vazduh, a sa njim i radon iz okolnog zemljišta do ispod građevina, odakle prodire u kuće kroz gore pomenute otvore. [19] U unutrašnjosti zatvorenih prostora vlada nešto niži unutrašnji pritisak vazduha u poređenju sa onim u tlu ispod. To je obično dovoljno da radonski gas iz tla uđe u zgradu. Radon može da uđe u zgradu pomoću mnogih mehanizama, ali najznačajniji je difuzija i protok usljed razlike pritiska u zgradi i zemlji ispod nje - advekcija, pod uslovom da su dostupni odgovarajući putevi za ulazak kroz pukotine na podovima (i zidovima u podrumskim prostorijama), praznine oko cijevi i kablova, kao što je rečeno. U većini stanova sa povišenim koncentracijama radona u zatvorenom prostoru, protok pod pritiskom prepoznat je kao dominantan način ulaska. [11]

Posebnu pažnju treba obratiti na sljedeća mjesta u konstrukciji:

- (1) Podni otvori oko kade, tuševa, vodenih ormara, cijevi, žica ili drugih predmeta koji mogu prodrijeti u membranu i betonsku ploču ili druge podne sisteme;
- (2) Kontrolni spojevi, izolacioni spojevi, građevinski spojevi ili bilo koji drugi spojevi u betonskoj ploči, ili spoj između betonske ploče i temeljnog zida;
- (3) Spojevi, pukotine ili drugi otvori oko svih vanjskih i unutrašnjih prodora površine temeljnih zidova.

Radon se u unutrašnjem vazduhu ne razrjeđuje tako brzo kao napolju i ima tendenciju da se akumulira u zatvorenim prostorima zgrada ili kuća, služeći kao značajan izvor izloženosti javnosti zračenju. Neka istraživanja su pokazala da su vrijednosti koncentracije radona više u kućama nego u stanovima, da su ove vrijednosti najviše u boravišnim prostorijama koje se griju na ugalj (u odnosu na ostale načine grijanja kao što su: grijanje na struju, uz pomoć klima uređaja, drva, gas i centralno grijanje), da su najviše u suterenskim i prizemnim prostorijama, da sa porastom sprata opada vrijednost koncentracije radona i da je koncentracija radona najviša u najstarijim objektima. [19] Koncentracija radona u zatvorenom prostoru do drugog sprata ima dominantan uticaj iz tla, dok je za gornje spratove značajan uticaj građevinskog materijala koji je korišten pri gradnji, odnosno ugrađen u zidove ili podove. Važni faktori su i kvalitet gradnje, provjetrenost i klimatski parametri (vlažnost vazduha, temperatura, vazdušni pritisak). Pri procjeni i mjerenju koncentracije radona u zatvorenom prostoru treba imati na umu postojanje sezonskih varijacija koncentracija radona, kao i varijacija na dnevnom nivou usljed

varijacije pritiska i temperature što može biti uzrok u neslaganjima između dobijenih rezultata različitim mjernim tehnikama. Maksimalne koncentracije radona primjećene su u ranim časovima, a najniže vrijednosti u kasnim popodnevnim satima, kada su koncentracije otprilike jedna trećina jutarnjih maksimuma. Tokom godine, nivoi radona imaju tendenciju da dostignu vrhunac u jesenjim ili zimskim mjesecima i imaju minimum u proljeće. [11]



3.8. Putevi ulaska radona [44]

3.4.2. Uticaj građevinskog materijala na koncentraciju radona u zatvorenom prostoru

Izloženost zračenju koje potiče od prirodnih radionuklida u građevinskim materijalima je generalno neizbježna. Sadržaj radionuklida u takvim materijalima i rezultujuće doze mogu veoma varirati u zavisnosti od geološke strukture prirodnih materijala koji se koriste i industrijskih procesa koji se koriste u proizvodnji građevinskog materijala. [20] S obzirom da svi građevinski materijali sadrže prirodne radioizotope u većoj ili manjoj mjeri, nivo prirodne radioaktivnosti u građevinskim materijalima u određenim uslovima takođe može biti radiološki hazard po ljudsko zdravlje. [19] Iz ovog razloga je potrebno ispitivati nivo prirodne radioaktivnosti u različitim građevinskim materijalima i vršiti procjenu radijacionog rizika. Građevinska industrija je jedna od industrija u kojoj se kao sirovine koriste materijali koji u sebi sadrže prirodne radioizotope – tzv. NORM materijali (eng. Naturally Occurring Radioactive Materials). Mjerenje ekshalacije radona iz ovakvih materijala je veoma bitno radi uspostavljanja adekvatnih remedijacionih tehnika (tehnik se koriste za uklanjanje ili neutralizaciju zagađujućih materija iz zemljišta i podzemnih voda), ako je postojeći materijal već ugrađen u enterijeru ili zbog minimiziranja radijacionog uticaja na ljude i životnu sredinu u potencijalnoj upotrebi. [11] Glavni izvor radona u višim zgradama su upravo građevinski materijali.

Pretpostavlja se da je građevinski materijal homogeni porozni medijum, a da se transport radona kroz materijal odvija kroz sistem pora koje su ispunjene vazduhom. Transport radona se javlja kao odgovor na dve različite pokretačke sile, razlike u koncentracijama radona u materijalu i okolnom prostoru i razlika u pritiscima. Usljed gradijenta u koncentraciji radona nastaje difuzioni transport atoma radona kroz pore materijala, a pridruženi transportni koeficijent je efektivni koeficijent difuzije radona za dati materijal. Vazduh u sistemu pora kreće se kao odgovor na razliku pritisaka i ako je prisutan radon, on se kreće zajedno sa vazduhom. Pridruženi koeficijent transporta je koeficijent propustljivosti materijala za vazduh. Pored ovih transportnih koeficijenata, koji su jedinstveni za svaki građevinski materijal, bitne su još i dvije druge konstante materijala, koje opisuju transport radona, to su poroznost (odnos količine pora prema ukupnoj zapremini) i količina slobodnog radona koji se kreće kroz pore materijala. [11]

Proizvodnja i transport radona do vazduha zatvorenih prostorija zavisi od nekoliko parametara: koncentracije izotopa radijuma ^{226}Ra u materijalu, mehanizma transporta kroz poroznu zapreminu i načina na koji se novoformirani atomi radona oslobađaju iz čvrstih minerala i dospjevaju u pore (proces emanacije). [4]

Nakon što se formira u zrnima materijala, radon biva otpušten u pore materijala, te se kao takav mora transportovati kroz pore do površine materijala, prije nego što se raspadne u okolnoj atmosferi.

Dva osnovna mehanizma transporta radona u materijalu su:

1. difuzija – protok radona usljed gradijenta koncentracije duž x ose. [11] Primarni mehanizam transporta (migracije) radona u nekom medijumu, prije nego što se raspadne, dešava se putem kretanja molekula. Kao i svaka fluidna supstanca i ovdje postoji tendencija kretanja atoma radona u pravcu opadanja gradijenta koncentracije. Ovakvo ponašanje, opisuje Fikov zakon difuzije. [4] Oko 90 % radona koji putem difuzije napušta mjesto radonskog izvora će se raspasti nakon pređenih 5 m u vodi, 2 m u pjeskovitom zemljištu i oko 5 m u vazduhu. [16]
2. advekcija – protok radona koji se javlja usljed postojanja razlike u pritiscima. Ona se javlja kada postoji gradijent pritiska u fluidima koji se prostiru kroz pore i pukotine u zemljištu. Odnosno, ukoliko fluid ima dovoljno malu vrijednost Rejnoldsovog broja, kao što je slučaj kod transporta radona kroz zemljište ili građevinski materijal, može se uspostaviti laminaran tok usljed postojanja gradijenta pritiska. Gradijent u pritisku primarno nastaje zbog promjene u meteorološkim uslovima, a može da se javi i zbog upotrebe ventilacionih ili klimatizacionih sistema u zatvorenim prostorijama. Ovakav konvektivni protok može da se okarakteriše Darsijevim zakonom koji povezuje brzinu fluidnog toka kroz poprječni presjek neke površine sa gradijentom pritiska. [4]

Za analizu doprinosa ukupnoj koncentraciji radona iz građevinskih materijala (ako zanemarimo druge doprinose) korištenih za zidove i podove u prostoriji koristi se relacija:

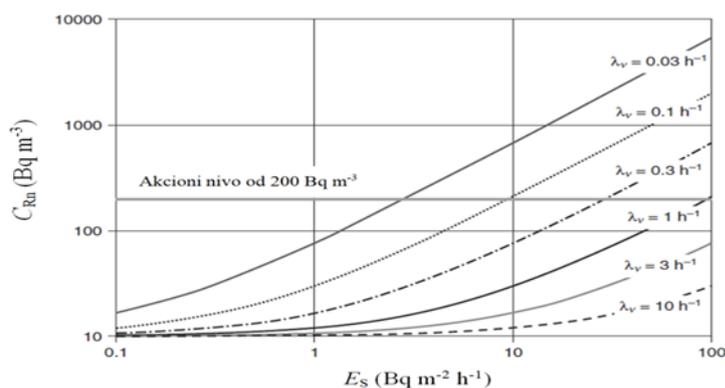
$$C_{Rn} = \frac{E_s \cdot S}{V \cdot (\lambda + \lambda_v)} \quad 3.1.$$

Gdje se vidi da koncentracija radona iz građevinskih materijala zavisi od: E_s - brzine površinske ekshalacije radona iz građevinskog materijala izražene u Bq/m^2h , a koja predstavlja vrijednost koncentracije radonovih atoma koje otpušta (ekshalira) materijal sa jedinice površine u jedinici vremena, S - površine prostorije prekrivene datim građevinskim materijalom, V - zapremine vazduha u prostoriji, λ - konstante radioaktivnog raspada radona koja iznosi $7,6 \cdot 10^{-3} h^{-1}$ i λ_v - brzine provjetravanja prostorije, izraženoj u h^{-1} .

Provjetrenost može biti:

- normalna - za koju se obično uzima vrijednost $\lambda_v = 0,5 h^{-1}$ ili
- loša - za nju se uzima vrednost od $\lambda_v = 0,1 h^{-1}$.

Na Slici 3.8. prikazana je zavisnost unutrašnje koncentracije aktivnosti radona (C_{Rn}) od brzine provjetravanja prostorije, gdje se jasno uočava da provjetrenost prostorije igra veoma bitnu ulogu u procjeni koncentracije aktivnosti radona, te za velike provjetrenosti $> 1 h^{-1}$, radon praktično nema naročitog radijacionog uticaja na ljude, jer je daleko ispod preporučenih vredosti od strane Svjetske zdravstvene organizacije (WHO, 2009). [19]



3.9. Zavisnost koncentracije aktivnosti radona (C_{Rn}) od brzine površinske ekshalacije radona i brzine provjetravanja prostorije (λ_v)

Postoje dva osnovna načina zaštite zatvorenih prostora (kuća, stanova...) od nagomilavanja radona. Prvi je da svedemo ulazak radona u unutrašnjost prostrije na što je moguće manju mjeru. To se može izvesti zaptivanjem pukotina i otvora u temeljima, zidovima i podovima kroz koje radon može ulaziti, instaliranjem ventilacionih sistema koji će poboljšati protok vazduha i smanjiti koncentraciju radona.

Postoje specijalizovani sistemi za smanjenje radona koji mogu biti vrlo efikasni. Zatim, moguće je instalirati radonske sisteme za depresurizaciju tla, koji može pomoći u smanjenju radona u podrumima, i na kraju, moguće je angažovanje stručnjaka za radon, koji mogu izvršiti detaljna mjerenja i preporučiti specifične mjere za smanjenje radona. Drugi, najjednostavniji način je omogućiti radonu da iz prostorije izađe, prije svega čestom izmjenom, vazduha unutrašnjosti sa vanjskim vazduhom, tj. provjetravanjem. Da bi utvrdili nivo koncentracije radona, najbolje je vršiti redovno mjerenje, koje može takođe pomoći i u praćenju efikasnosti primjenjenih metoda i pravovremenom reagovanju. [21] Sprječavanje nakupljanja radona u novoizgrađenim kućama sada je uključeno u mnoge nacionalne građevinske propise. Ovaj pristup je obično jeftiniji od korektivnih mjera i često je visoko isplativ u poređenju sa drugim javnozdravstvenim intervencijama.

3.4.3. Radon u vodi

Radon se može rastvoriti i akumulirati u izvorima podzemne vode, kao što su pumpe za vodu ili izbušeni bunari u geološkim područjima bogatim uranijumom. Može se osloboditi u vazduh tokom rutinske upotrebe vode kao što je tuširanje ili pranje veša.

Epidemiološke studije nisu potvrdile vezu između konzumacije vode za piće koja sadrži radon i povećanog rizika od raka želuca, tako da povezani rizici od raka pluća dolaze prvenstveno od radona koji se ispušta u vazduh i udiše. Uopšteno, voda je manje značajan izvor izloženosti radonu od tla ispod zgrada. Ako se u domaćinstvu koristi voda koja sadrži rastvoreni radon, to može biti izvor povišenog nivoa radona, a ponekad i vrlo visoke koncentracije radona u zatvorenom prostoru. Ovo je prvenstveno pitanje za zgrade u kojima se vodosnabdijevanje crpi iz privatne bušotine na području obogaćenom radijumom u podlozi. Voda iz lokalnih vodovodnih preduzeća je obično dovoljno aerisana u procesu skladištenja, pripreme i distribucije.

Kada voda napusti cijev pod pritiskom, dio rastvorenog radona u vodi prenosi se vazduhom i doprinosi koncentraciji radona u zatvorenom prostoru. Može i rastvoreni radon u vodi da se prenosi u vazduhu tokom grijanja i prskanja vode u zatvorenom prostoru (čišćenje i kuhanje). Što je voda finije podijeljena, tj. što su manje kapi i izložena vazduhu, to više rastvoreni gas radona može dospjeti u vazduh. Vode u domaćinstvu najviše ima u kuhinjama, vešarnicama i kupatilima, te su to mjesta gdje je doprinos koncentracije radona iz vode najveći.

3.4.4. Radon na radnim mjestima

Radon se javlja na većini zatvorenih radnih mjesta iz istog razloga kao i u stanovima. Mogu biti pogođene sve vrste radnih mjesta: kancelarije, radionice, rudnici, tuneli podzemne željeznice.

Na podzemnim radnim mjestima nivoi radona mogu biti povišeni zbog geoloških uslova ili ograničene ventilacije. Radna mjesta koja su posebno pogođena često su povezana s radom u rudnicima, tunelima i podrumima. Veliki dio normalnih nadzemnih radnih mjesta kao što su fabrike, trgovine, škole, muzeji i kancelarije takođe mogu imati visoke koncentracije radona zbog njegovog prisustva u zemlji, loše ventilacije ili obrade sirovina.

Nivo radona može biti visok u podzemnim vodama, posebno u područjima granitnih stijena, te na radnim mjestima u objektima za tretman vode ili banjama koje koriste prirodnu vodu.

Ako mjerenja pokažu da koncentracije radona premašuju norme na radnom mjestu koje je utvrdila nadležna državna vlast, poslodavci treba da preduzmu korektivne radnje. U slučaju da je popravna radnja nemoguća ili neefikasna, nacionalne vlasti moraju biti obaviještene i posebni regulatorni zahtjevi će se primjenjivati na ovo radno mjesto. [19] [17] [1]

3.5. Veličine i jedinice za mjerenje radona u zatvorenom prostoru

Zdravstveni rizik od radona u najvećoj mjeri potiče od njegovih kratkoživućih potomaka, ^{218}Po , ^{214}Pb i ^{214}Bi . S obzirom na to da zbog različitih fizičko-hemijskih procesa u atmosferi radon skoro nikada nije u ravnoteži sa svojim potomcima, potrebno je znati i koncentracije potomaka da bi se procjenio zdravstveni rizik. [22] Za opisivanje koncentracije kratkoživućih radonovih potomaka u vazduhu, što rezultuje njihovoj eshalaciji, koriste se sljedeće veličine:

Koncentracija potencijalne energije alfa čestica (PAEC - potential alpha energy concentration) ε_p – u lancu raspada radona je ukupna energija alfa čestica koje bi bile emitovane tokom raspada sve do stabilnog olova ^{210}Pb . PAEC opisuje koncentraciju svih kratkoživućih radonovih potomaka jednim brojem. Na taj način eliminiše potrebu za određivanjem koncentracije pojedinačnih proizvoda raspada.

PAEC po jedinici aktivnosti razmatranog radionuklida je:

$$\frac{\varepsilon_p}{\lambda_r} = \frac{\varepsilon_p t_r}{\ln 2} \quad 3.2.$$

Gdje je, λ_r - konstanta raspada, t_r - vrijeme poluraspada datog radionuklida.

U tabeli 3.6. date su vrijednosti ε_p i $\frac{\varepsilon_p}{\lambda_r}$.

Radionuclide	Half-life	Potential alpha energy			
		Per atom		Per unit of activity	
		(MeV)	(10^{-12} J)	(MeV Bq ⁻¹)	(10^{-10} J Bq ⁻¹)
Radon (²²²Rn) progeny:					
²¹⁸ Po	3.05 min	13.69	2.19	3615	5.79
²¹⁴ Pb	26.8 min	7.69	1.23	17 840	28.6
²¹⁴ Bi	19.9 min	7.69	1.23	13 250	21.2
²¹⁴ Po	164 μ s	7.69	1.23	2×10^{-3}	3×10^{-6}
Total (at equilibrium), per Bq of radon				34 710	55.6

3.10. PAEC po atomu i po jedinici aktivnosti

Koncentracija u vazduhu c_p – bilo koje smješe kratkoživećih radonovih potomaka u vazduhu je suma potencijalne energije alfa čestica ovih atoma po jedinici zapremine vazduha. Odatle, ako je c_i aktivna koncentracija produkta raspada nuklida i , koncentracija potencijalne energije alfa čestica smješe potomaka je:

$$c_p = \sum_i c_i \frac{\epsilon_{p,i}}{\lambda_{r,i}} \quad 3.3.$$

Brojna vrijednost se izražava u jedinicama SI sistema J/m³ ($1\text{J/m}^3 = 6,242 \cdot 10^{12} \text{MeV/m}^3$).

Ravnotežna ekvivalentna koncentracija c_{eq} - Koncentracija potencijalne energije alfa čestica bilo koje smješe potomstva radona u vazduhu, takođe se može izraziti u obliku takozvane ravnotežne ekvivalentne koncentracije njihovog nuklida roditelja, radona. Ravnotežna ekvivalentna koncentracija koja odgovara neravnotežnoj smješi potomstva radona u vazduhu, je koncentracija aktivnosti radona u radioaktivnoj ravnoteži s njegovim kratkoživećim potomstvom koje ima istu koncentraciju potencijalne energije alfa čestica, c_p , kao stvarna neravnotežna smješa. Jedinica SI sistema za ravnotežnu ekvivalentnu koncentraciju je Bq/m³. [23] Istorijski, takođe može se izražavati i u jedinicama pCi/l. [24]

Faktor ravnoteže F - je definisan kao odnos ravnotežne ekvivalentne koncentracije i koncentracije aktivnosti matičnog nuklida, radona, u vazduhu. Ovaj faktor karakteriše neravnotežu između mješavine kratkoživućeg potomstva i njihovog matičnog nuklida u vazduhu u smislu PAEC. U zatvorenom prostoru se faktor ravnoteže kreće između 0,1 i 0,9, ali se u najvećem broju slučaja ne razlikuje od vrijednosti 0,4 za više od 30 %. Faktor ravnoteže takođe varira sa vremenom. S obzirom na to da se u proračunu c_{eq} najčešće koriste procjenjene vrijednosti faktora ravnoteže, bitno je znati da ovako izračunata vrijednost može biti pogrešna (UNSCEAR, 2000). [16] Faktor ravnoteže za radon, koji se često uzima kao 0,4, zapravo predstavlja odnos između aktivnosti radonovih potomaka

(produkata raspada) i aktivnosti samog radona u vazduhu. Ovaj faktor se koristi za procjenu stvarne izloženosti radonu, jer radonovi potomci doprinose većem dijelu zračenja koje može uticati na zdravlje. [23] Faktor ravnoteže je 1 kada su oba jednaka. Aktivnosti potomaka radona su obično manje od aktivnosti radona, pa je stoga faktor ravnoteže obično manji od 1. [24]

Ekspozicija usljed inhalacije P - Količina „izloženosti“ P , pojedinca potomstvu radona se definiše kao vremenski integral koncentracije potencijalne energije alfa čestica u vazduhu, c_p , ili odgovarajuće ravnotežne ekvivalentne koncentracije radona, c_{eq} , kojoj je pojedinac izložen tokom datog perioda T , npr. godinu dana.

Ekspozicija usljed izlaganja alfa česticama:
$$P_p(T) = \int_0^T c_p(t) dt \quad 3.4.$$

Ekspozicija u odnosu na ravnotežnu ekvivalentnu koncentraciju:
$$P_{eq}(T) = \int_0^T c_{eq}(t) dt \quad 3.5.$$

Mjerna jedinica P_p je Jh/m^3 , a za P_{eq} je Bqh/m^3 . Ekspozicija usljed izlaganja alfa česticama istorijski se izražava u jedinicama WLM (WLM - Working Level Months). 1WL se definiše kao koncentracija potencijalne energije alfa čestica od $1,3 \cdot 10^{11}$ MeV/ m^3 , što odgovara vrijednosti od 20,8 mikrodžula (μ) energije alfa čestica po kubnom metru (m^3) vazduha. Jedan WLM je ekvivalentan 1 WL ekspoziciji tokom 170 sati.

Koeficijenti konverzije između koncentracijskih veličina, potencijalne energije alfa čestica, c_p i ravnotežne ekvivalentne koncentracije, c_{eq} i između kvantiteta izlaganja, potencijalne izloženosti energiji alfa čestica, P_p i ravnotežne ekvivalenta ekspozicije, P_{eq} date su u tabeli 3.2. [23]

Quotient	Conversion coefficients
c_p/c_{eq}	5.56×10^{-9} (J m^{-3}) per (Bq m^{-3})
c_{eq}/c_p	1.80×10^8 (Bq m^{-3}) per (J m^{-3})
P_p/P_{eq}	5.56×10^{-9} (J h m^{-3}) per (Bq h m^{-3}) 1.57×10^{-6} WLM per (Bq h m^{-3})
P_{eq}/P_p	1.80×10^8 (Bq h m^{-3}) per (J h m^{-3}) 6.37×10^5 (Bq h m^{-3}) per WLM

Quantities: c_p —concentration of potential alpha energy, c_{eq} —equilibrium equivalent concentration of radon, P_p —time-integrated exposure to potential alpha energy concentration, P_{eq} —time-integrated exposure to equilibrium concentration of radon.

Tabela 3.3. Koeficijenti konverzije za različite količine koncentracije i za odgovarajuće količine ekspozicije radonu - 222 [23]

Konverzija ekspozicije u efektivnu dozu: Dozni konverzioni faktor (DCF - dose conversion factor) daje vezu između ravnotežne ekvivalentne koncentracija c_{eq} (Bq/ m^3) i efektivne ili ekvivalentne doze. Ovaj faktor se često izražava u jedinicama $\frac{nSv}{Bqhm^{-3}}$, pa je c_{eq} prethodno potrebno pomnožiti vremenom

boravka (occupancy) u prostoru sa poznatom koncentracijom radona. Srednja vrijednost doznog konverzionog faktora koncentracije radona u efektivnu dozu na osnovu različitih modela iznosi oko $9 \frac{nSv}{Bqhm^{-3}}$, prema UNSCEAR. Prema prethodnim razmatranjima, efektivna doza se na osnovu srednje koncentracije radona u vazduhu računa prema jednačini:

$$E = A_{Rn} \cdot F \cdot t_0 \cdot DCF \quad 3.6.$$

gde je, E - efektivna doza, A_{Rn} – koncentracija aktivnosti radona, F - faktor ravnoteže, t_0 - vrijeme izlaganja i DCF - dozni konverzioni faktor. [16] Krajnji rezultat efektivne doze zračenja izražava se u milisivertima godišnje (mSv/god).

3.6. Procjena izloženosti i preporučeni nivoi akcije

Prema ICRP publikaciji preporuka je da su korektivne mjere (nivoi akcije) protiv radona u stanovima opravdane iznad kontinuirane godišnje efektivne doze od 10 mSv. “Nivoi akcije” u kontekstu ^{222}Rn odnose se na koncentracije radona u vazduhu pri kojima se preporučuju ili zahtijevaju mjere za smanjenje izloženosti. Izbor nivoa akcije za godišnju efektivnu dozu je uzet u odnosu na prirodno okruženje i ograničen je na opseg od oko 3 - 10 mSv. Odgovarajuća zaokružena vrijednost koncentracije radona je oko 200 - 600 Bq/m³, sa godišnjom okupacijom (prosječno vrijeme koje osoba provede u određenom prostoru tokom jedne godine) od 7000 sati i faktorom ravnoteže od 0,4. Kontinuirana izloženost domaćinstava pri prosečnim koncentracijama od 200 Bq/m³ i 600 Bq/m³ bi podrazumjevala godišnje izloženosti kao u tabeli 3.5. [23]

Action level (effective dose)	3 (mSv y ⁻¹)	10 (mSv y ⁻¹)
Action level (radon concentration)	200 (Bq m ⁻³)	600 (Bq m ⁻³)
Annual exposure to radon gas	1.4 (MBq h m ⁻³)	4.2 (MBq h m ⁻³)
Annual exposure to progeny	3.11 (mJ h m ⁻³)	9.33 (mJ h m ⁻³)
	0.88 WLM	2.63 WLM

Tabela 3.4. Godišnja izloženost za nivo akcije od 200 Bq/m³ i 600 Bq/m³ u stanovima

Odgovarajući raspon za radna mjesta je 500 – 1500 Bq/m³, sa godišnjom okupacijom od 2000 sati. Izloženi radnici, posebno oni koji rade u industrijama gdje su izloženi višim nivoima radona, imaju strožije granice izloženosti. Prema međunarodnim standardima, izloženi radnici mogu primiti efektivnu dozu do 20 mSv godišnje, ali u posebnim slučajevima može biti dozvoljeno do 50 mSv godišnje, pod uslovom da prosječna doza tokom pet godina ne prelazi 20 mSv godišnje. Za opštu

populaciju, granica efektivne doze je mnogo niža. Preporučena granica za javnost je 1 mSv godišnje iz svih izvora zračenja, osim prirodnog pozadinskog zračenja i medicinskih izvora.

Dakle, preporuke ICRP 2007 gornjih vrijednosti za referentni nivo izražen u koncentracijama aktivnosti su 1500 Bq/m^3 za radna mesta i 600 Bq/m^3 za kuće. [25] Odgovornost je nacionalnih vlasti, kao i kod drugih izvora, da uspostave sopstvene nacionalne referentne nivoe, uzimajući u obzir preovlađujuće ekonomske i društvene okolnosti, a zatim da primjene proces optimizacije zaštite u svojoj zemlji. Dok se većina zemalja drži vrijednosti koje predlažu međunarodne organizacije, poput WHO, svaka zemlja pravi izuzetke na osnovu lokalnih uslova tla i drugih industrijskih propisa. Većina zemalja postavlja različite nivoe akcije za domaćinstva i kancelarije, pri čemu su potonji viši od onih za stanovanje. Ovdje su date informacije o nivoima akcije za domaćinstva u nekim zemljama, a neki od njih uključuju i informacije o radnom mjestu.

Prema Council Directive 2013/59/Euratom, preporučeni referentni nivo za godišnju prosječnu koncentraciju aktivnosti u vazduhu ne smije biti veći od 300 Bq/m^3 , osim ako tako ne zahtijevaju preovladavajuće nacionalne okolnosti. Ova preporuka se odnosi kako na kuće, tako i na radna mjesta. [26]

Kanada

Preporučeni nivoi u Kanadi su postavljeni na 200 Bq/m^3 . Sve zgrade sa višim nivoima zahtevaju mjere ublažavanja, a za prostore sa nivoima višim od 600 Bq/m^3 , ove radnje se moraju preduzeti u roku od godinu dana. Ako su nivoi između 200 Bq/m^3 i 600 Bq/m^3 , ublažavanje se mora dogoditi za manje od dvije godine. Kanadska vlada navodi da su ovi nivoi „zasnovani na trenutnom naučnom shvatanju“.

SAD

Prema EPA-inom (Američka agencija za zaštitu životne sredine) „Vodiču za kupce i prodavce u kućama za radon“, skoro jedna od 15 kuća u SAD-u ima koncentracije radona iznad preporučenih nivooa. Prihvatljivi nivoi u ovoj zemlji su između 2 i 4 pCi/l. ($1 \text{ pCi/L} = 37 \text{ Bq/m}^3$)

Evropa

Evropski informacioni sistem za životnu sredinu i zdravlje (ENHIS) je ispitaio 13 zemalja u Evropi i preporučuje nivoe akcije između 200 Bq/m^3 i 400 Bq/m^3 . Postoje posebne smjernice za svaku zemlju jer se tip tla razlikuje i po zemlji i u okviru svake regije.

ENHIS u svom izvještaju iz 2009. godine, navodi da „postoje ogromne razlike između zemalja u pogledu izloženosti radonu u stanovima u Evropi“. Zato je važno obratiti pažnju na lokalne nivoe koncentracije i na taj način se može saznati da li se područje u kojem živimo smatra „zonom rizika“.

Njemačka, Poljska, Holandija i Velika Britanija imaju u prosjeku niže nivoe od Austrije, Finske, Švedske ili Češke. Međutim, loša strana korištenja geografskih očekivanja je da ako je kuća izgrađena na sedimentnom tlu, radon se može previše koncentrisati ako je ventilacija loša. Domaćinstva koja se nalaze u zoni visokog rizika, mogu imati niske nivoe u svom domu, a ona koja se nalaze u zoni niskog rizika mogu imati visoke nivoe u svom domu. Zbog toga svako domaćinstvo mora biti testirano.

Francuska

Zbog vrste tla, većina stanova u Francuskoj ima prosječnu unutrašnju koncentraciju od 90 Bq/m³. Ipak, postoji oko 300.000 zgrada sa koncentracijom preko 400 Bq/m³ i oko 60.000 sa nivoima višim od 1000 Bq/m³. Regije koje su bogate granitom, poput Bretagne i Centralnog masiva, imaju najveću koncentraciju u zemlji. Očekuje se da će nove zgrade imati nivoe od 200 Bq/m³ i manje. Međutim, zbog vrste tla, vlada preporučuje poduzimanje korektivnih mjera samo za nivoe veće od 400 Bq/m³.

Njemačka

Prema radonskim mapama u Njemačkoj, između 10% i 50% zgrada u zemlji ima nivo radona preko 100 Bq/m³, za šta su potrebne mjere. Ako su nivoi iznad 1000 Bq/m³, ublažavanje se mora provesti u periodu od tri godine. Očekuje se da će sve nove zgrade imati koncentracije ispod 100 Bq/m³. Savezni biro za zaštitu od zračenja preporučuje često i intenzivno prozračivanje i zaptivanje podrumskih vrata i pukotina ili praznina u područjima koja su u direktnom kontaktu sa zemljom.

Italija

Agencija za kvalitet životne sredine u italijanskim urbanim područjima navodi da je više od 10% svih slučajeva raka pluća u Italiji povezano sa radonom. Zemlja slijedi svoje smjernice, kao i smjernice Evropske unije, a postoje javne i privatne kompanije koje pomažu ljudima da mjere kvalitet vazduha u zatvorenom prostoru. Propisi Vlade Italije o radonu uključuju samo škole i kancelarije, u kojima nivo radona treba smanjiti ako je iznad 500 Bq/m³. Domaćinstva su isključena, stoga su vlasnici kuća isključivo odgovorni za mjerenje nivoa radona u zatvorenom prostoru. U Italiji, preporučeni nivo akcije za radon u kućama je 300 Bq/m³, a savetuju se mjere ublažavanja ako koncentracije pređu ovaj nivo. [27]

Srbija

Prema „Službenom glasniku RS“, 6p. 86/11 i 50/18, interventni nivoi za hronično izlaganje radonu u stanovima jednaki su godišnjoj prosječnoj koncentraciji od 200 Bq/m³ ²²²Rn u vazduhu u

novoizgrađenim stambenim objektima, a 400 Bq/m³ radona u vazduhu za postojeće stambene objekte. [28]

3.7. Biološki efekti jonizujućeg zračenja

Biološki efekti jonizujućeg zračenja kod čovjeka nastaju kao posljedica direktnog djelovanja jonizujućeg zračenja, ali i indirektnog – kasnijim djelovanjem radikala i drugih reaktivnih hemijskih vrsta nastalih u interakciji jonizujućeg zračenja i atoma i molekula sredine. Biološki efekti su izučavani prvenstveno na osnovu posljedica atomskih bombi bačenih na Hirošimu i Nagasaki 1945. godine. Druge grupe obuhvaćene istraživanjima su pacijenti podvrgnuti medicinskim izlaganjima, radnici koji su radili sa radijumskim bojama, rudari u uranijumskim rudnicima itd. [29] Biološki efekti se mogu podijeliti na determinističke, koji imaju prag i čija ozbiljnost zavisi od primljene doze i stohastičke, koji nemaju prag i čija ozbiljnost ne zavisi od primljene doze. Među determinističkim efektima su akutni radijacioni sindrom i katarakta, a stohastičkim leukemija i kancer. [29]

Postoji više modela koji povezuju incidencu kancera ili leukemije i primljenu efektivnu dozu. Pored već pomenutog linearnog modela bez praga, koristi se i linearno-kvadratni model sa različitim modifikacijama, modeli sa pragom itd. Prema postojećim modelima, za jednokratno izlaganje dozi od oko 0,1 Sv, povećanje rizika smrti od kancera je oko 5 % po sivertu, a smrti od leukemije oko 1 % (u zavisnosti od primjenjenog modela, pola, godina itd.) [30]

4. Mjerenje ²²²Rn u zatvorenom prostoru

Nivo radona u zatvorenom prostoru se mjeri uzorkovanjem vazduha i alfa dozimetrijom pomoću radonskih dozimetara. Brojna preduzeća proizvode i prodaju mjerne instrumente.

Testiranje mogu obaviti profesionalci ili korišćenjem kompleta za testiranje koji se mogu kupiti preko interneta ili u nekim prodavnicama za poboljšanje stambenih prostora. Obavezno je pažljivo pratiti uputstva kompleta za testiranje da bi se dobile tačne vrijednosti. [24]

Iako su za zdravstvene efekte u najvećoj mjeri odgovorni kratkoživeći potomci različitih izotopa radona prisutnih u vazduhu, većina mjernih tehnika mjeri koncentraciju radona. Razlog tome je što je mjerenje koncentracije radona mnogo jednostavnije i jeftinije, a generalno se smatra kao dobra zamjena poznavanju koncentracije radonovih potomaka. Uređaji koji mere koncentraciju radona obično imaju filter ili difuzionu barijeru koji sprječavaju ulazak radonovih potomaka u detektor.

Koncentracija radona podlježe dnevnim i sezonskim varijacijama, pa su za potrebe procjene rizika od izlaganja radonu najkorisnija dugotrajna mjerenja, u idealnom slučaju u trajanju od bar godinu dana.

Dugotrajnim mjerenjima se smatraju i mjerenja od nekoliko meseci. Pored dugotrajnih, koriste se i kratkotrajna merenja u trajanju od nekoliko dana do nekoliko nedjelja, koja se najčešće koriste za identifikaciju potencijalnih lokacija sa povišenom koncentracijom radona, na kojima se zatim koncentracija radona dugotrajno mjeri. Ovakva mjerenja se uglavnom sprovode u prostoriji u kojoj se očekuje najveća koncentracija radona i u najgorim uslovima (zimski period, zatvoreni prozori i vrata, smanjena ventilacija). Trenutna mjerenja traju nekoliko minuta ili sati, što je kratko u poređenju sa dnevnim fluktuacijama koncentracija radona. Za kontinualna ili trenutna mjerenja, najčešće se koriste aktivni uređaji - Lukasove ćelije (scintilacione ćelije), jonizacione komore ili detektori alfa - čestica u čvrstom stanju. Većina ovakvih uređaja dozvoljava da se mjerenja produže neograničeno, tako da se mogu koristiti i za dugotrajna mjerenja. Ovakvi uređaji uglavnom postižu mjernu nesigurnost od oko 10% i imaju visoku cijenu nabavke i eksploatacije. Pasivne metode zasnovane na adsorpciji na aktivnom uglju su jeftine i dozvoljavaju masovna mjerenja. Koriste se za kratkotrajna mjerenja, a mjerna nesigurnost se kreće od 10 % do 30 %. Elektreti se mogu koristiti za kratka ili duga mjerenja. U cijenovnom rangu se nalaze u sredini, a po mjernoj nesigurnosti se mogu mjeriti sa aktivnim detektorima. Najveći broj dugotrajnih mjerenja se izvodi pomoću trag detektora, koji su jeftini i imaju mjernu nesigurnost između 10 % i 25 %. [22]

4.1. Mjerenje radona detektorom RAD7

RAD7 detektor je tip alfa-spektrometra koji može da se koristi za mjerenje koncentracije radona u vodi, vazduhu i zemlji. Zahvaljujući baterijskom napajanju i svom kompaktnom dizajnu uređaj je mobilan, tj. moguće ga je koristiti na terenu, ne samo u laboratorijskim uslovima, što je veoma bitno za mjerenja koja je moguće izvoditi samo na licu mesta (koncentracija radona u tlu, podzemnim prostorijama, traženja pukotina ...) [31] Alfa spektrometrijska metoda je tehnika koja omogućava stalno praćenje koncentracije radona u vazduhu, a samim tim i praćenje varijacije nivoa radona sa vremenom. U zavisnosti od mjernih kompleta - uređaja koji prate detekcioni uređaj, moguće je koristiti ovu metodu za određivanje koncentracije radona i u vodi i zemljištu. Prednost ove metode je mogućnost elektronskog razdvajanja energije svake emitovane α - čestice, a tako se može odrediti od kog izotopa (^{218}Po , ^{214}Po i drugih izotopa) potiče detektovana alfa - čestica. Po mogućnosti razdvajanja moguće je pomoću alfa spektrometrijske metode razdvojiti „stari“ od „novog“ radona, radon od torona, signal od šuma, a još jedna pogodnost ove metode je ekstremno nizak i stabilan fon. Detektori alfa čestica su najčešće poluprovodnički materijali i to obično silicijum u kojima se energija upadnog alfa zračenja direktno pretvara u električni signal. Ukoliko se posmatra samo pik koji potiče od izuzetno kratkoživećih potomaka (npr. ^{218}Po sa periodom poluraspada od 3 min), a ignorišu se potomci sa relativno dugim periodom poluraspada koji zaostaju od predhodnih mjerenja (^{214}Po , perioda

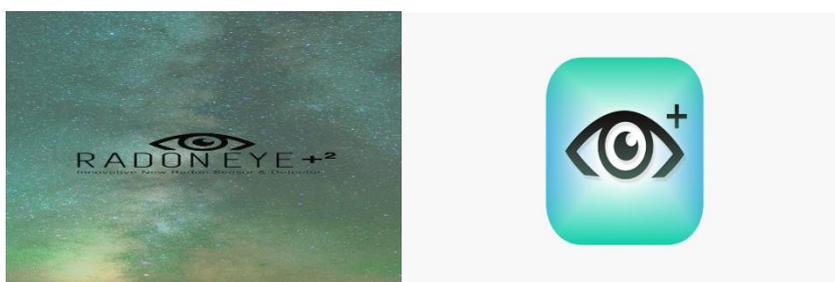
poluraspada 27 min), ovi detektori mogu da se koriste i za brzu ocjenu koncentracije radona na odgovarajućoj lokaciji. [32]

4.2. Detektori dostupni na tržištu za kućnu upotrebu mjerenja ^{222}Rn

Na tržištu postoje različiti uređaji za mjerenje koncentracije ^{222}Rn u stambenim prostorima. Veoma su korisni i dizajnirani su da budu pouzdani i jednostavni za upotrebu, pružajući brzu i tačnu detekciju opasnih gasova u našem okruženju. Primjer takvog detektora je i RadonEye+ firme FTLab. Novija varijanta modela ovog detektora je RadonEye+², čiji rezultati mjerenja, u ovom radu, će biti upoređeni sa rezultatima mjerenja dokazanog detektora, alfa spektrometra RAD7.

4.2.1. Karakteristike i uputstvo za upotrebu RadonEye+ detektora

Detektor RadonEye+ od FTLab je prenosivi uređaj za mjerenje radona koji se koristi za detekciju i kvantifikaciju radona (^{222}Rn) u stambenim prostorima. RadonEye+ je prvi IoT (IoT – skraćenica od “Internet of Things” ili “Internet stvari”). To je koncept koji se odnosi na mrežu fizičkih uređaja, vozila, kućnih aparata i drugih predmeta koji su opremljeni sensorima, softverom i povezani su putem interneta. Ovi uređaji mogu komunicirati jedni s drugima i razmjenjivati podatke, čime omogućavaju automatizaciju i daljinsko upravljanje [33]) pametni detektor radona na svijetu koji se koristi u vezi sa web bazom podataka baziranom na WiFi. Iz tog razloga je RadonEye+ pogodan za praćenje radona u realnom vremenu i lako je kreirati Radon Mapu u realnom vremenu. Proizvođač Radon FTLab obezbeđuje web bazu podataka radon-net.com, što znači da korisnik može pristupiti podacima svaki put, svuda putem pametnog telefona, tableta ili desktop računara povezanog na internet.



4.1. RadonEye+² app

Performanse osjetljivosti RadonEye+ su poput standardnog instrumenta. On je 20 puta veći u poređenju sa radon detektorima drugih opštih korisnika, tako da su podaci mjerenja brzi i precizni. Podaci mjerenja radona mogu se snimiti u roku od 1 sata sa greškom ispod $\pm 10\%$ od vremena početka mjerenja, a podaci će se ažurirati svakih 10 minuta tako da će korisnik upoznati trend smanjenja nivoa radona u zatvorenom prostoru samo u roku od 30 minuta nakon što je otvorio prozor ili uključio ventilaciju.

RadonEye+ je dodao senzor temperature i vlažnosti i snimanje vremena mjerenja i proširio opseg mjerenja na 255 pCi/l (preko 8000 Bq/m³). RadonEye+ nudi besplatnu uslugu web upload-a najmanje dvije godine.

Karakteristike:

Uređaj karakteriše visoka osjetljivost, što omogućava precizno mjerenje čak i niskih nivoa radona. Opremljen je LCD ekranom koji digitalno prikazuje koncentraciju radona u realnom vremenu, čime korisnicima pruža trenutni uvid u rezultate.

Dugotrajna baterija obezbjeđuje kontinuirano praćenje bez potrebe za čestim punjenjem, što je posebno korisno za dugoročno praćenje radona u zatvorenim prostorima. Zahvaljujući jednostavnom dizajnu, uređaj je prilagođen korisnicima bez tehničkog predznanja, čineći ga lakim za upotrebu i praktičnim za svakodnevno korištenje.

Uputstvo za upotrebu:

Da bi se uređaj za mjerenje radona koristio ispravno, potrebno ga je prvo postaviti na željeno mjesto mjerenja. Važno je odabrati lokaciju koja nije izložena direktnom sunčevom svjetlu i koja nema visoku vlažnost, jer ti faktori mogu uticati na tačnost rezultata.

Kada je uređaj pravilno postavljen, potrebno je pritisnuti dugme za uključivanje i sačekati nekoliko trenutaka da se uređaj inicijalizuje. Nakon što se uređaj inicijalizuje, automatski će započeti mjerenje koncentracije radona u vazduhu.

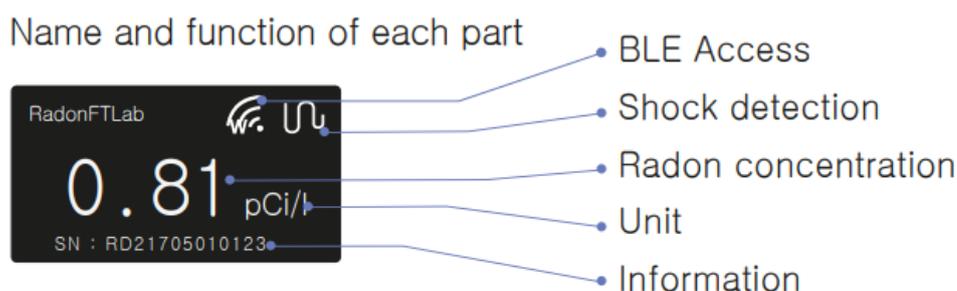
Rezultati mjerenja biće prikazani na ekranu uređaja. Da bi se dobijene vrijednosti ispravno protumačile, korisnik treba da prati uputstva proizvođača, koja pružaju smjernice o značenju prikazanih vrijednosti radona.

Na ekranu su prikazani sljedeći podaci:

- ① BLE pristup (Bluetooth Low Energy Access): Označava da je povezan sa pametnim telefonom koristeći BLE komunikaciju.
- ② Znak detekcije udara (Shock detection): Pojavljuje se kada se osjeti udar ili vibracija izvana, i mjerenje prestaje u tom trenutku.
- ③ Koncentracija radona (Radon concentration): Izmjerena vrijednost radona prikazana u intervalu od 10 minuta.

④ Jedinica mjere (Unit): prikazana u pCi/l ili Bq/m³. Jedinica se može promijeniti aplikacijom za pametni telefon.

⑤ Prikaz informacija (Information): SN (Serial Number), vrijednost pika, 1/2/7 dnevni i mjesečni prosjek, vrijeme mjerenja, broj pulsa po 10 - minutnom mjerenju (trenutna vrijednost/zadnja vrijednost).



4.2. Izgled displeja

Specifikacije proizvoda:

- Tip: pulsna jonska komora
 - Prvi pouzdani podaci: < 60 min
 - Interval podataka: ažuriranje od 10 minuta (60 min pokretni prosjek)
 - Osetljivost: 0,5 cpm/pCi/l pri 10 pCi/l (30 cph/pCi/l)
 - Radni opseg: 10°C ~ 40°C (50°F ~ 100°F), RH < 80%
 - Raspon mjerenja: 0,1 ~ 255 pCi/l (9,435 Bq/ m³)
 - Referentna vrijednost okoline 4pCi/l (148 Bq/ m³)
 - Preciznost: < ±10% pri 10pCi/l
 - Tačnost: < ±10% (min. greška <±0,5pCi/l) pri 10pCi/l
 - Interval čuvanja mjerne vrijednosti: 60 minuta
 - Kapacitet skladištenja: 1 godina
 - Potrošnja energije: DC12 ± 0,1V; 0,1A (Koristiti 12V DC adapter)
 - Veličina: Φ80(mm) x 120(mm)
- Ekran: 0,96 inča OLED
- Komunikacija podataka: Wi-Fi (internet), Bluetooth
 - Težina: 520g
 - Nadmorska visina: do 2000 m
 - stepen zagađenja: 2

Objašnjenja mjernih jedinica: cpm/pCi/l - označava "counts per minute per picocurie per liter". To je mjera koja pokazuje koliko puta u minuti uređaj detektuje radonske čestice u odnosu na koncentraciju radona od jednog pikokirija po litri vazduha. U ovom slučaju, uređaj ima osjetljivost od 0,5 cpm/pCi/l pri koncentraciji radona od 10 pCi/l.

cph/pCi/l - označava "counts per hour per picocurie per liter". Slično kao prethodna mjera, ali se brojanje vrši na satnom nivou. U ovom slučaju, uređaj ima osjetljivost od 30 cph/pCi/l.

RadonEye+² dolazi sa kalibracionim sertifikatom (slika 4.3). Kalibracioni sertifikat potvrđuje da je uređaj testiran i kalibrisan prema ISO standardima kako bi se osigurala tačnost mjerenja radona. Ovaj sertifikat obično uključuje informacije o tačnosti i preciznosti uređaja, kao i o uslovima pod kojima je kalibracija izvršena. Kalibracioni sertifikat je važan jer garantuje da uređaj pruža pouzdane podatke o nivou radona, što je ključno za praćenje kvaliteta vazduha i zaštitu zdravlja. Izgled displeja na pametnom telefonu, tabletu ili računaru takođe je prikazan na slici 4.3.



4.3. RadonEye+² detektor sa kalibracionim sertifikatom. ISO 9001: Sistem menadžmenta kvalitetom

5. Obrada rezultata mjerenja

5.1. Greške mjerenja

Cilj svakog mjerenja je dobijanje rezultata bliskih istinitoj (pravoj) vrijednosti. Idealna mjerna sredstva i uslovi mjerenja ne postoje, pa se zato uvijek javlja greška mjerenja. Izvori grešaka mjerenja su različiti i mogu se grupisati na različite načine: kao materijalne greške, mehaničke greške mjernih sistema, Abbeove greške, uticaji okoline, uticaji vršioaca mjerenja itd. [34]

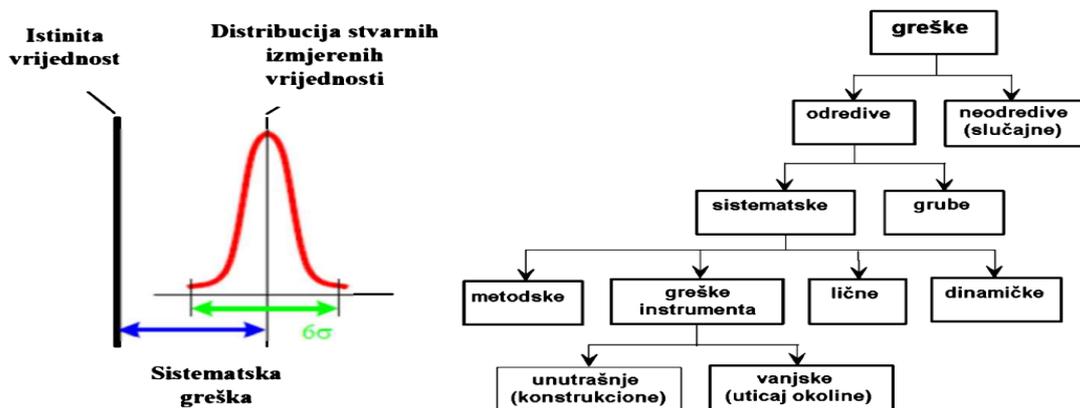
Apsolutna greška mjerenja je razlika između izmjerene vrijednosti i istinite (srednje vrijednosti):

$$\Delta x = \text{izmjerena vrijednost} - \text{istinita vrijednost}$$

Pri ocjeni tačnosti mjerenja korisna je relativna greška mjerenja koja predstavlja odnos između apsolutne greške i istinite vrijednosti mjerene veličine i često se izražava u procentima.

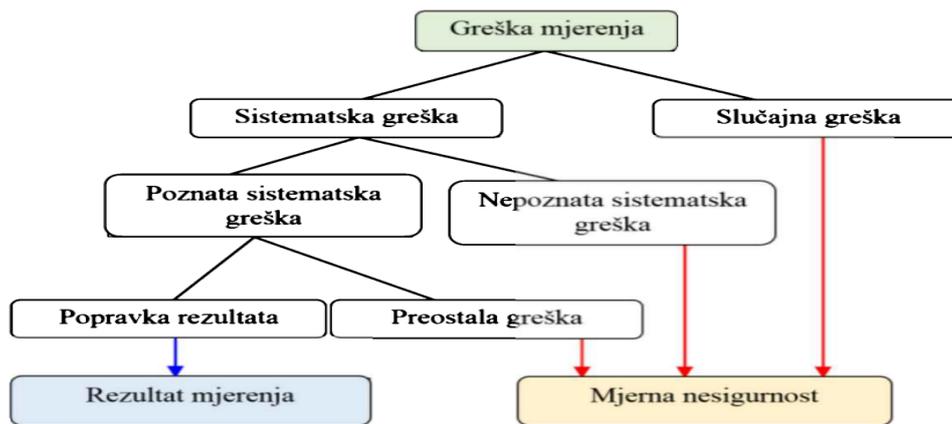
Relativna greška δ označava se kao:

$$\delta = \frac{\text{Izmjerena vrijednost}}{\text{istinita vrijednost}}$$



5.1. Klasiifikacija grešaka mjerenja

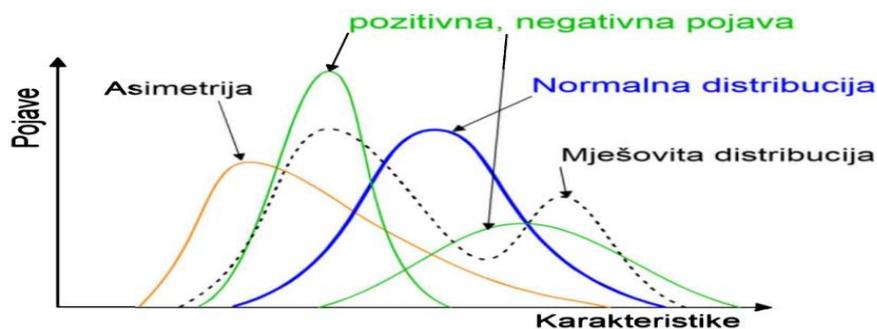
Rezultat mjerenja neke fizičke veličine predstavlja se kao: izmjerena vrijednost uvećana ili umanjena za mjernu nesigurnost. Mjerna nesigurnost je posljedica grešaka mjerenja, slika 5.2.



5.2. Greška mjerenja i mjerna nesigurnost

Sistematske greške javljaju se u toku ponovljenih mjerenja, kad iste mjerene veličine ostaju stabilne ili se mijenjaju na predvidiv način. Uzroci sistematskih grešaka su: konstrukcija mjernog instrumenta, loša kalibracija, metoda koja se koristi pri mjerenju, uticaji okoline, istrošenost mjernog sredstva usljed korištenja i starenja komponenti, deformacije mjernog uređaja. Ove greške su određive pa se rezultati mogu popraviti i tako umanjiti ukupna greška. Posljedice pojave sistematskih grešaka su netačni rezultati mjerenja.

Slučajne greške javljaju se nepredvidivo u toku procesa ponavljanja mjerenja iste veličine. Uzroci koji dovode do pojave slučajnih grešaka su: nesavršenost mjernih sredstava i uređaja, promjenljivost okoline i nestručnost izvršioca mjerenja. Slučajna greška može se uočiti samo nakon više uzastopnih mjerenja iste veličine. Rezultati koji sadrže slučajnu grešku prikazuju se kao distribucija ili rasutost izmjerenih vrijednosti u dijagramima, slika 5.3. U nizu mjerenja iste mjerene veličine dobijaju se različiti rezultati. Posljedice pojave slučajnih grešaka su nepouzdana rezultati.

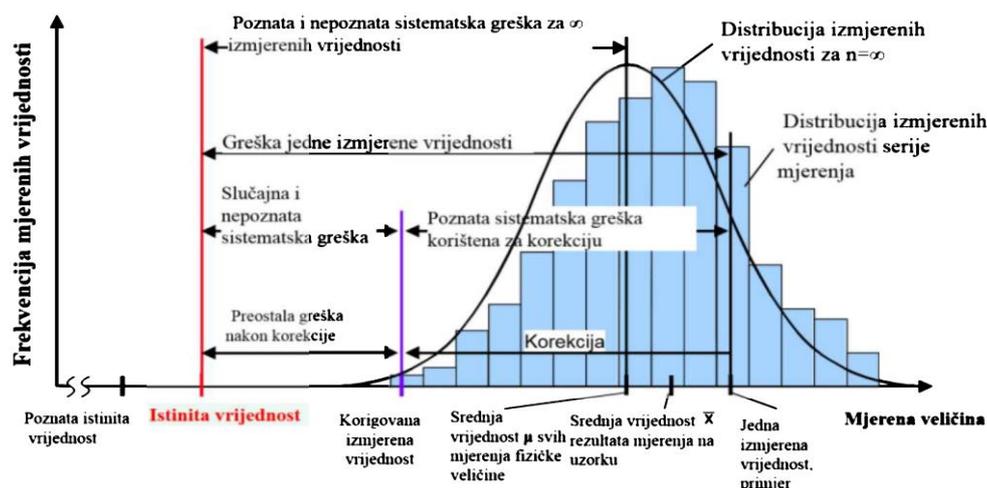


5.3. Vrste distribucija

Grube greške su značajna odstupanja rezultata pojedinačnih mjerenja i predstavljaju propuste u mjerenjima. Uzroci pojave grubih grešaka su različiti ali je to uglavnom nedovoljna pažnja vršioca mjerenja dovodi do lošeg očitavanja rezultata. Da bi se izbjegle moguće pojave grubih grešaka, treba

kontrolisati uslove u kojim se vrši mjerenje: napon, struju, osvjetljenje, pritisak, temperaturu itd. Rezultati koji sadrže grubu grešku se odbacuju, a mjerenja ponavljaju.

U rezultatima mjerenja pojavljuje se **ukupna greška mjerenja**, koja utiče na tačnost rezultata mjerenja i mjernu nesigurnost. Ukupna greška mjerenja je posljedica sistematske i slučajne greške, slika 5.4.



5.4. Karakteristike rezultata mjerenja

5.2. Rezultati mjerenja

Rezultati mjerenja i karakteristike dobijenih vrijednosti mogu se vidjeti na slici 5.4.

Histogram prikazuje vrijednosti dobijene za n pojedinačnih mjerenja koja imaju frekvenciju ponavljanja, a dijagram predstavlja normalnu raspodjelu dobijenu za veliki broj mjerenja.

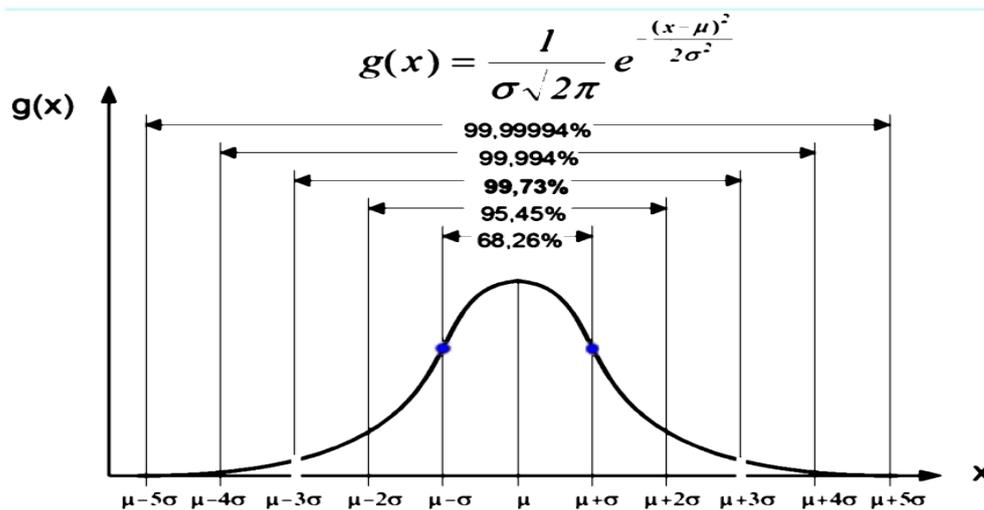
Rezultati dobijeni za n mjerenja rasipaju se oko srednje vrijednosti. Istinita vrijednost mjerene veličine x_i , može se procijeniti na osnovu srednje vrijednosti n ponovljenih mjerenja iste veličine:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 5.1.$$

Istinita vrijednost μ , neke veličine dobijena je na osnovu jako velikog broja mjerenja, data je u literaturi ili je dobijena mjerenjem na etalonima. Odstupanje svake izmjerene vrijednosti od istinite vrijednosti je greška mjerenja, koja se može djelimično korigovati. Dio greške uvijek ostaje, pa rezultat sadrži preostalu grešku, slika 5.4. Distribucije mogu biti različite, slika 5.3, ali se najviše koriste Gaussova –

normalna ili Studentova distribucija, slika 5.5. Za normalnu (Gaussovu) raspodjelu rezultata mjerenja karakteristika je standardno odstupanje koje ograničava intervale povjerenja:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 5.2.$$



5.5. Normalna raspodjela

- U intervalu povjerenja $\pm\sigma$ izmjerene vrijednosti će se javiti sa vjerovatnoćom od 68,27%
- U intervalu povjerenja $\pm 2\sigma$ izmjerene vrijednosti će se javiti sa vjerovatnoćom od 95,45%
- U intervalu povjerenja $\pm 3\sigma$ izmjerene vrijednosti će se javiti sa vjerovatnoćom od 99,73%.

Normalna raspodjela daje distribuciju slučajnih grešaka pa je procjena nepouzdanosti $C(x)$ srednje vrijednosti \bar{x} data je izrazom:

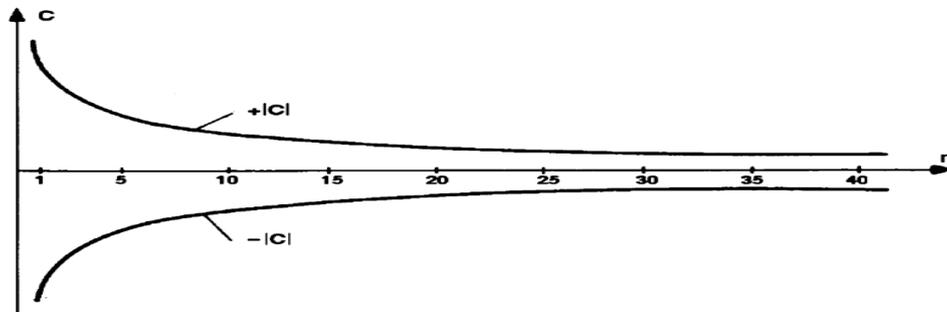
$$C(x) = z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad 5.3.$$

Gdje je: z - varijabla normalne raspodjele koja zavisi od statističke vjerovatnoće i uzima se iz tablica. Rezultat niza ponovljenih mjerenja veličine x , ukoliko ne sadrži sistematsku grešku, iskazuje se procjenom prave vrijednosti mjerene veličine x i nepouzdanosti srednje vrijednosti (standardne greške):

$$x = \bar{x} \pm C(x) \quad 5.4.$$

Istinita vrijednost leži unutar intervala povjerenja $\pm C(x)$, ako nema sistematskih grešaka.

Što je veći broj mjerenja n , veća je pouzdanost srednje vrijednosti, ali za većinu praktičnih mjerenja dovoljno je izvršiti pet mjerenja, a za precizna mjerenja se uzima $n > 30$. Zavisnost nepouzdanosti srednje vrijednosti od broja mjerenja, data je na slici 5.6.



5.6. Zavisnost nepouzdanosti srednje vrijednosti od broja mjerenja

Na raspodjelu mjernih rezultata oko srednje vrijednosti utiču isključivo slučajne greške, ako se pretpostavi da su sistematske greške korigovane kalibracionim postupkom. Potpuna korekcija sistematskih grešaka je rijetko moguća. Preostale sistematske greške uzrokuju da je konačni rezultat mjerenja uvijek nesigurniji nego što pokazuju analitička rješenja. [34]

Osnovne karakteristike izvođenja procesa merenja su: mjerna nesigurnost, stabilnost, najveća dozvoljena greška, ponovljivost, reproduktivnost i nivo vještine rukovaoca. Pri tome je moguće izdvojiti i dva pojma (termina) - karakteristike kojima se identifikuje mjerna nesigurnost, stabilnost, ponovljivost i reproduktivnost merenja. To su:

Tačnost - sposobnost opreme za mjerenje da pokazuje vrijednosti bliske stvarnoj vrijednosti mjerene veličine. Stvarna vrijednost nije poznata pa se koristi konvencionalna ili dogovorena vrijednost, najčešće srednja aritmetička vrijednost rezultata višestruko ponovljene procedure mjerenja. S obzirom na korišćenje dogovorene vrijednosti neophodno je pri definisanju tačnosti identifikovati i grešku mjerenja odnosno neodređenost mjerenja (mjernu nesigurnost).

Preciznost - sposobnost opreme za mjerenje da pokazuje međusobno bliske vrijednosti mjerene veličine. Osnovni pokazatelj preciznosti je standardna devijacija rezultata višestruko ponovljene procedure mjerenja, što znači da je standardna devijacija statistička mjera ponovljivosti rezultata merenja. Razlikuju se dva nivoa preciznosti koji se iskazuju u vidu standardnog odstupanja: ponovljivost i reproducibilnost.

Ponovljivost (repeatability) je preciznost određenog mjernog postupka koja se postiže:

- kada isti mjeritelj vrši ponavljanje mjerenja,
- kada se mjerenje vrši u istom laboratoriju,
- kada se mjerenje vrši sa istom mjernom opremom,
- pri istim uslovima i u kratkom vremenu.

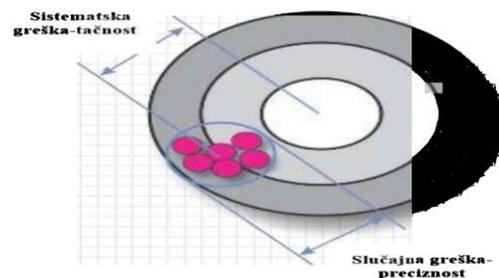
Ponovljivost se iskazuje putem standardnog odstupanja σ . Rezultat je tačan kada je ispravan i precizan, tj. kada su male sistematske i slučajne greške.

Reproduktivnost (reproducibility) je preciznost određenog mjernog postupka koja se postiže kada se mijenjaju uticajni faktori: laboratorij, mjerna oprema, mjeritelji, vremenski interval. Iskazuje se standardnim odstupanjem reproduktivnosti. Na reproduktivnost najviše utiču mjeritelji.

- Ponovljivost je manja od reproduktivnosti.
- Ponovljivost se određuje ponavljanjem mjerenja.
- Reproductivnost se određuje laboratorijskim poredbenim mjerenjima.

Nestabilnost rezultata mjerenja je ukupna varijacija rezultata mjerenja jedne karakteristike tokom dužeg vremenskog razdoblja.

Treba naglasiti da su pojmovi „greška merenja” i „mjerna nesigurnost” različiti. Greška merenja (Δx) je razlika izmjerene i stvarne ili istinite vrijednosti mjerene veličine, a mjerna nesigurnost ($\pm U$) je veličina kojom se kvantifikuje sumnja u rezultat mjerenja. [34] [35]



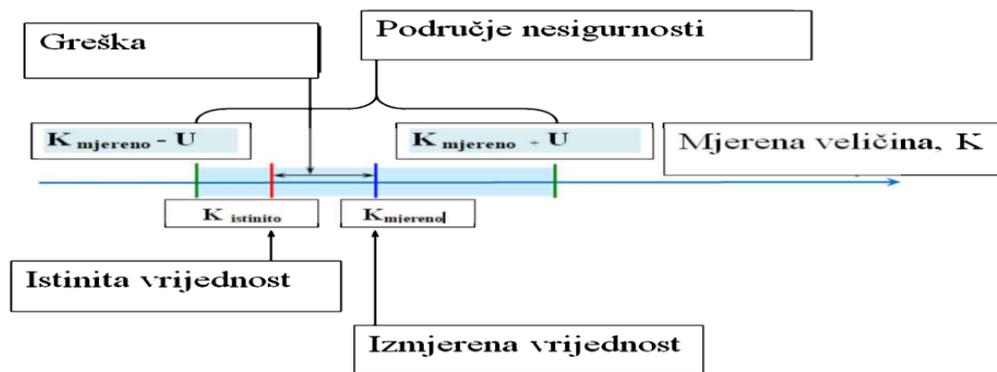
5.7. Odnos sistematske i slučajne greške

5.3. Nesigurnost rezultata mjerenja

Različiti uticaji dovode do pojave grešaka, a greške čine rezultat manje ili više nesigurnim. Nesigurnost mjerenja je parametar koji se pridružuje rezultatu mjerenja i pokazuje rasipanje vrijednosti koje bi se mogle pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerovatnoću.

Razlika između ukupne greške mjerenja i mjerne nesigurnosti prikazana je na slici 5.8.

Mjerna nesigurnost sadrži sve uticaje koji se ne mogu uvijek kvantifikovati ili ukloniti. Rezultat mjerenja je potpun kada je pored izmjerene vrijednosti pridružena i mjerna nesigurnost. Područje ravnomjerno raspoređeno oko mjerene vrijednosti predstavlja mjernu nesigurnost $\pm U$.



5.8. Veza između istinite i mjerene vrijednosti, greške mjerenja i mjerne nesigurnosti

Procjena mjerne nesigurnosti može se izvršiti na tri načina:

- Procedurom propisanom ISO/GUM standardom – GUM metodom (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement – GUM)
- Statističkom Monte Carlo metodom – MCS metodom
- Procjenom ponovljivosti i obnovljivosti rezultata mjerenja u skladu sa standardom TS 21748:2017.

GUM metoda procjene mjerne nesigurnosti svodi se na nekoliko osnovnih koraka u kojima je sistematično dat redoslijed procjene mjerne nesigurnosti.

U prvom koraku postavlja se matematički model mjerenja. Direktna mjerenja su vrlo rijetka. U većini slučajeva mjerena veličina $Y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ ne mjeri se direktno nego indirektno, mjerenjem N drugih veličina $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ sa kojima je u poznatoj relaciji.

Na osnovu funkcionalne zavisnosti između Y i mjerenih veličina postavlja se osnovni matematički model za potpuno određivanje mjerene veličine.

U drugom koraku se određuju standardne nesigurnosti $u(x_i)$ mjerenih veličina; x_1, x_2, \dots, x_N iz niza ponovljenih mjerenja uz primjenu normalne i Studentove distribucije, $y(x_i)$.

Mjerna nesigurnost iskazuje se standardnim odstupanjem (standardnom devijacijom) pa se koristi izraz standardna nesigurnost tipa A ili tipa B.

Metod A procjene standardne nesigurnosti izvodi se statističkom analizom na osnovu rezultata serije mjerenja neke veličine.

Najbolja ocjena matematičkog očekivanja ili očekivane vrijednosti mjerene veličine X , koja se slučajno mjenja (slučajna promjenljiva), i za koju je dobijeno n nezavisnih rezultata X_i , u jednakim uslovima mjerenja, je srednja aritmetička vrijednost ili srednja vrijednost data jednačinom 5.1. Na osnovu jednačine 5.2., utvrđuje se mjerna nesigurnost tipa A, to jest:

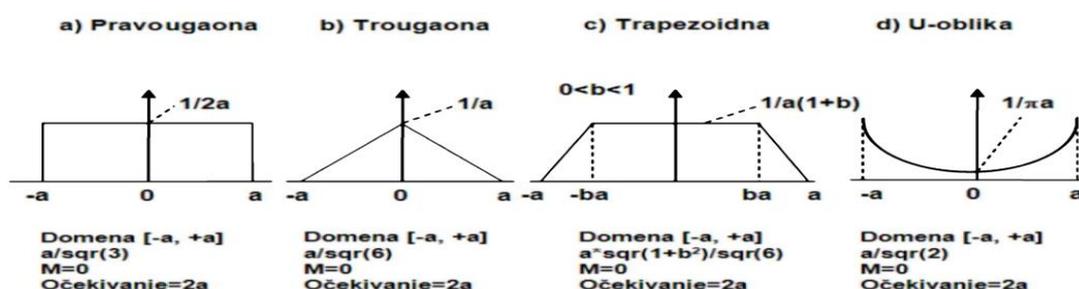
$$U_A = \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 5.5.$$

Vrijednosti koje leže bliže procijenjenoj srednjoj vrijednosti, imaju veću vjerovatnoću od onih koje leže u blizini najveće i najmanje vrijednosti (ekstrema).

Statistički parametar koji se određuje zove se standardno odstupanje σ .

Metod B procjene mjerne nesigurnosti, prema GUM standardu, definisan je kao: metod procjene nesigurnosti sredstvima različitim od statističke analize serije provedenih mjerenja. Tip B standardne nesigurnosti izračunava se iz pretpostavljene funkcije gustine raspodjele zasnovane na stepenu vjerovanja da će se događaj pojaviti. Vjerovatnoća je zasnovana na procjeni iz "bazena informacija" koji čine iskustveni i literaturni podaci.

U slučajevima kada podaci nisu smješteni oko srednje vrijednosti, kao u slučaju normalne raspodjele, primjenjuju se pravougaona, trouglasta, trapezoidna, u-oblika raspodjela i druge, slika 5.9. [34]



5.9. Funkcije raspodjele vjerovatnoća pri proračunu mjerne nesigurnosti tipa B

Na primjer, za slučaj ravnomjerne (pravougaone) raspodjele standardna mjerna nesigurnost tipa B -

$$U_B \text{ se izračunava po formuli: } U_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{ ili } U_B = \frac{W_s}{\sqrt{3}}$$

gdje su: a - donja i gornja granica odstupanja mjerene veličine od rezultata merenja (domeni) a , W_s - neisključena sistematska greška zadata granicama $\pm W_s$.

Zbog ograničenog vremena i sredstava većina komponenti mjerne nesigurnosti se ne određuje eksperimentalno. Osim toga često je rezultat mjerenja dobijen jednim mjerenjem pa se nesigurnost treba procijeniti na temelju informacija koje postoje. Procjena mjerne nesigurnosti tipa B temelji se na:

- specifikaciji mjerne opreme,
- izvršenim kalibracijama,
- podacima o nesigurnosti korištenih konstanti,
- podacima o obnovljivosti i reproduktivnosti,
- podacima o ranije provedenim sličnim mjerenjima,
- iskustvu i osobinama mjerila,

- procjeni nesigurnosti korekcija i drugim informacijama kao što su zaokruživanje i histerezis. [34]

Pored osnovnih komponenti merne nesigurnosti definišu se i:

Kombinovana standardna nesigurnost (U_c):

$$U_c = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad 5.6.$$

i proširena mjerna nesigurnost (U):

$$U = k \cdot U_c \quad 5.6.$$

gdje je, k - faktor proširenja. Vrijednost faktora se bira u zavisnosti od nivoa povjerenja (pouzdanosti) rezultata merenja. Promjenom faktora proširenja utiče se na pouzdanost rezultata mjerenja, jer veći broj rezultata mjerenja pripada intervalu povjerenja koji se smatra pouzdanim (tabela 1). Na primer za $k = 2$, i normalnu raspodjelu, 95,45 % rezultata merenja se nalazi u intervalu $\pm 2\sigma$.

Kada se utvrdi vrijednost mjerne nesigurnosti rezultat mjerenja se prikazuje relacijom:

$$Y = \bar{Y} \pm u, k =, P = \quad 5.7.$$

Nivo povjerenja P, %	68,27	90	95	95,45	99	99,73
Faktor proširenja, k	1	1,645	1,960	2	2,576	3

Tabela 5.1. Faktor proširenja prema dodatku GUM priručnika

Dakle, GUM metoda se zasniva na GUM koncepciji i obuhvata nekoliko faza:

- identifikovanje svih bitnih komponenti mjerene nesigurnosti,
- proračun standardne nesigurnosti svake komponente mjerne nesigurnosti (mjerne nesigurnosti tipa A - U_A i tipa B - U_B),
- proračun kombinovane mjerene nesigurnosti (U_c),
- proračun proširene mjerene nesigurnosti (U) i
- utvrđivanje rezultata merenja (Y) [35]

MCS metoda (Monte Carlo Simulation) procjene mjerne nesigurnosti, zahtijeva postavljanje matematičkog modela za određivanje mjerne nesigurnosti mjerene veličine. Na taj način se uspostavlja odnos između mjerene veličine i ulaznih veličina. Primjena MCS metode omogućava vrijednovanje i upoređivanje rezultata dobijenih GUM metodom. Za primjenu MCS metode takođe je potrebno široko znanje o prirodi mjerene veličine, te dobro poznavanje područja statistike i vjerovatnoće.

Procjena mjerne nesigurnosti u skladu sa standardom ISO 21748:2017

Kao osnova za procjenu mjerne nesigurnosti koriste se rasipanje mjernih rezultata: ponovljivost i reproduktivnost rezultata mjerenja. To su procijenjena standardna odstupanja dobijena iz analize eksperimentalnih podataka. Ukoliko je eksperiment postavljen tako da se variraju svi glavni uticaji na mjernu nesigurnost, tada će procjena mjerne nesigurnosti biti pouzdana i neće biti potrebno koristiti GUM metodu. [34]

5.4. Uzroci pojave grešaka

Svi uticaji na mjerenja mogu se svrstati u pet grupa:

- metod mjerenja
- sredstvo mjerenja
- objekat – materijal mjerenja
- vršilac mjerenja – operater
- okolina

U osnovnom matematičkom modelu koji opisuje način dobijanja mjerene veličine, provođenje procedure mjerenja, broj mjerenja, obrada rezultata mjerenja i drugih informacija nastoji se greška mjerenja učiniti minimalnom. Ukoliko model nije dobro postavljen, unosi se greška mjerenja i rezultat mjerenja sadrži manju ili veću grešku. Uzroci grešaka mogu se svrstati u pet osnovnih grupa, slika 5.10.



5.10. Uticaji na pojavu greške mjerenja

Mjerni uređaj kao uzrok mjerne nesigurnosti u rezultat mjerenja unosi dvije komponente:

- Prva komponenta se odnosi na etalone i greške kalibracije mjernog uređaja koje utiču na pojavu greške.
- Druga komponenta se odnosi na instrument mjerenja i to na njegovu pouzdanost, tačnost, rezoluciju, rang mjerenja, način prikazivanja rezultata, grešku instrumenta.

I savremeni uređaji imaju grešku mjerenja. Mehanička krutost koordinatnih mjernih mašina odražava se na pojavu greške mjerenja.

Uticaj mjernog sredstva na rezultate mjerenja ogleda se kroz više osnovnih efekata. Mjerno sredstvo se sastoji od dijelova, a u svakom od njih mogu se javiti neispravnosti.

Ljudski faktor je od presudnog uticaja, kako kod jednostavnih mjerenja tako i kod složenih mjerenja ili mjerenja koja se obavljaju na sofisticiranoj opremi. Kod jednostavnih mjerenja izvršilac mjerenja mora biti koncentrisan da bi se izbjegle grube greške prilikom očitavanja kao i paralaksa.

Kod tumačenja rezultata mjerenja potrebno je da izvršilac dobro poznaje oblast mjerenja i probleme koji mogu nastati kao i posljedice neispravnog mjerenja. Ukoliko izvršilac mjerenja koristi složenu i opremu koja daje pouzdane podatke on se mora dobro obučiti za rad sa takvim mjernim uređajima i sistemima.

Uticaji okoline na rezultat mjerenja su uvijek značajni jer dovode do greške koja se u principu može smanjiti ukoliko se ta vrsta uticaja drži pod kontrolom.

Vibracije, temperatura, buka, zračenje, prašina, osvjetljenje, magnetizam, vlažnost imaju uticaj na pojavu grešaka mjerenja. Ukoliko djeluju istovremeno, greška se povećava.

Najveći uticaj na pojavu grešaka mjerenja i mjernu nesigurnost rezultata mjerenja imaju vibracije i temperatura.

Vibracije mogu biti posljedica rada kao što su pogoni mjernih mašina ili uticaja vibracijskog efekta magnetnog polja i zvučnog pritiska. Zbog toga je važno da se planirano ispitivanje vrši u uslovima u kojima je odsustvo ili mali uticaj vibracija.

Zagađenost atmosfere u prostorima u kojima se vrše mjerenja u principu utiče na rezultate mjerenja proizvodeći defekte dimenzija, oblika i površina.

Vlaga uzrokuje koroziju kako mjernog objekta tako i mjernog sredstva, a čak može dovesti i do kvara mjernog sredstva. Zato se mjerila čuvaju u kutijama zaštićena od uticaja vlage i prašine.

Loša osvjetljenost prostora u kojima se vrši mjerenje dovodi do pojave grešaka očitavanja i može se ukloniti obezbjeđivanjem odgovarajućeg osvjetljenja.

Temperatura ima poseban uticaj na mjerenje dužine. Uticaj temperature na objekte mjerenja i mjernu opremu manifestuje se kao:

- zagrijavanje, pri čemu većina predmeta povećava dimenzije,
- provođenje toplote i
- temperaturno zračenje.

Da bi se umanjili ili izbjegli uticaji temperature, posebno u preciznim mjerenjima, primjenjuje se održavanje temperature na nominalnoj vrijednosti od 20°C, kako je to definisano standardom ISO 1:2016.

Mjerne uređaje treba čuvati od udara, padova, izvan dometa različitih zračenja u toku mjerenja i održavati ih na propisani način, uključujući kalibracije. Kalibracije su najbolji način da se ukloni sistematska greška i poveća tačnost rezultata mjerenja. [34]

Postoje i mnogi drugi faktori koji dovode do grešaka mjerenja, oni zavise od vrste mjerenja, pa se i njihov uticaj prema tome može definisati.

6. Eksperimentalni dio

Cilj ovog rada je provjera rezultata mjerenja koncentracije aktivnosti ^{222}Rn , dobijenih detektorom RadonEye+, koji se može nabaviti na tržištu kao IoT uređaj za jednostavnu kućnu upotrebu, primjeren za opštu populaciju, sa rezultatima mjerenja RAD7 detektora, koji se koristi za profesionalna mjerenja koncentracije radona i koji je dokazan kao detektor čija su mjerenja pouzdana, pod uslovom redovne kalibracije, što se, kako je i opisano u prethodnom poglavlju, odnosi na sve mjerne uređaje.

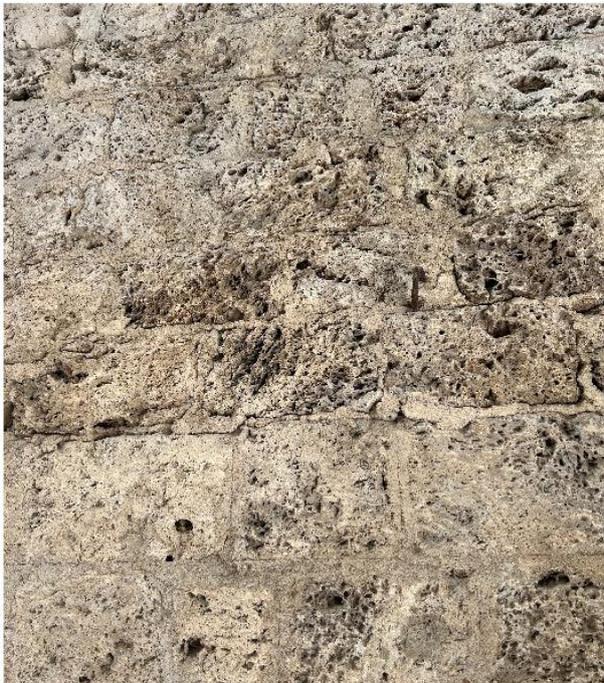
Mjerenja ovim detektorima su vršena u jugozapadnom dijelu Italije, u gradu Salernu, koji pripada oblasti Kampania, u stanu na četvrtom spratu. Zidovi ovog stana su izgrađeni od materijala vulkanskog porijekla, poznatim pod nazivom "yellow tuff". U italijanskoj regiji Kampanija, građevinski materijali imaju bogatu istoriju i specifične karakteristike koje su oblikovane lokalnim resursima i tradicijom. Ovaj vulkanski kamen je vrlo čest u Kampanji, posebno u Napulju. Tuf je lagan, ali izdržljiv, što ga čini idealnim za gradnju. Njegova porozna struktura omogućava dobru izolaciju. Kako je već prethodno objašnjeno u radu, na višim spratovima, najveći doprinos koncentraciji radona upravo potiče od građevinskog materijala. Na slici 6.1., prikazano je kako izgledaju zidovi izgrađeni od ovog materijala prirodnog porijekla. Uobičajen naziv za ovaj kamen u našim prostorima jeste "žuta sedra". Podaci su prikupljeni u periodu od 17. maja do 25. jula 2024., što je ukupno 69 dana. Svakog sata detektor je prikupljao podatke i detektovana je trenutna koncentracija aktivnosti ^{222}Rn , što nam daje ukupno 1583 mjerenja. Detektovana temperatura u krajnjem trenutku prikupljanja podataka je $30,5^{\circ}\text{C}$, a vlažnost 56%. Detektor svakog sata prati promjene temperature i vlažnosti i prikazuje na ekranu, ali ove podatke ne prikuplja u memoriju, što mu se može pripisati kao nedostatak. Rezultati mjerenja su prikazani tabelarno i grafički.



6.1. Postavka RadonEye+ detektora u stanu na četvrtom spratu u Salernu, jugo - zapadni dio Italije, regija Kampania

6.1. Žuta sedra (Yellow tuff)

Žuta sedra se formira kada se vulkanski pepeo i ostaci talože nakon erupcije, često u slojevima. Vremenom, pepeo postaje kompaktan i cementiran zajedno, formirajući čvrstu stijenu. Specifična boja i sastav sedre mogu varirati u zavisnosti od minerala prisutnih u vulkanskom materijalu.



6.2. Izgled zidova sačinjenih od materijala žuta sedra

Karakteristike:

- Tekstura: Žuta sedra često ima poroznu ili vezikularnu teksturu zbog prisustva mjehurića gasa zarobljenih u vulkanskom materijalu dok se hladi i učvršćuje.
- Boja: Žuta nijansa je obično posljedica oksidacije minerala gvožđa, što stijeni daje karakterističan izgled.
- Sastav: Obično sadrži mješavinu vulkanskog stakla, kristala i fragmenata drugih stijena. Uobičajeni minerali koji se nalaze u sedri uključuju feldspat, kvarc, a ponekad i plovučac.

Upotreba:

- Građevinski materijal: U regionima kao što je Kampanja, Italija, žuta sedra se istorijski koristila kao građevinski materijal zbog svog obilja, lakoće sječenja i relativno male težine. Značajne drevne građevine, uključujući dijelove grada Napulja, izgrađene su od ovog materijala.
- Arhitektonski značaj: Žuta sedra je korišćena u izgradnji različitih istorijskih građevina i spomenika, dajući im poseban regionalni karakter. [20]

Radioaktivnost u žutoj sedri:

U vulkanskim regionima kao što je Kampanja, žuta sedra može da sadrži prirodne radionuklide kao što su ^{238}U , ^{232}Th i ^{40}K . Ovi elementi se vremenom raspadaju, emitujući jonizujuće zračenje. Tipične vrijednosti specifičnih nivoa radioaktivnosti u žutoj sedri iz regiona Kampanije mogu varirati u zavisnosti od lokalnih geoloških uslova, ali obično spadaju u ove opsege: [20]

- ^{238}U : 30 – 200 Bq/kg
- ^{232}Th : 20 – 180 Bq/kg
- ^{40}K : 600 – 1200 Bq/kg

Emisija radona:

Proizvod raspada ^{238}U dovodi do formiranja ^{226}Ra , koji se dalje raspada i proizvodi ^{222}Rn , radioaktivni gas koji se može akumulirati u zatvorenim prostorima izgrađenim od žute sedre ili u neposrednoj blizini takvog materijala. Kako je već naglašeno, radon je značajan zdravstveni problem zbog svojih kancerogenih svojstava. Nivoi emisije radona iz žute sedre u regionu Kampanije zavise dakle od sadržaja uranijuma i poroznosti sedre, što utiče na ekshalaciju radona.

Prikupljanje podataka za analizu:

U radu [12] određena je koncentracija aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , metodom niskofonske gama spektrometrije, u uzorcima žute sedre, u regiji Kampania i podaci jasno pokazuju povećane vrijednosti svih radioizotopa:

Uzorci	Aktivnost [Bq/kg]			Koeficijent emanacije
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
Žuta sedra	82 ± 4	104 ± 7	1859 ± 67	$0,62 \pm 0,12$

Tabela 6.1. Koncentracija aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorcima žute sedre u Kampania regionu [12]

Ove povišene koncentracije mogu ukazivati na specifične geološke uslove u regiji Kampanije koji favorizuju akumulaciju radioaktivnih elemenata, kao što su uranijum i torijum, i njihovih potomaka poput radijuma.

Povećane vrijednosti ^{226}Ra mogu biti posljedica geohemijskih karakteristika sedre koja ima afinitet prema elementima iz uranijumske serije, dok visoki nivoi ^{232}Th i ^{40}K mogu ukazivati na prisustvo mineralnih sastojaka bogatih ovim elementima. Ovo je značajno jer prisustvo ovih radioizotopa može imati implikacije na ekološku i zdravstvenu bezbjednost, posebno u pogledu prirodne radijacije kojoj su stanovnici regije izloženi.

Koeficijent emanacije za žutu sedru opisan je u poglavlju 3.2. i iznosi $0,62 \pm 0,12$. Radi sticanja predstave o veličini vrijednosti ovog koeficijenta u odnosu na druge materijale koji se najčešće koriste u građevinskim konstrukcijama, neke od izmjerenih vrijednosti (*) su: siporeks $\sim 0,27$; crvena cigla $\sim 0,03$; keramičke pločice $\sim 0,006$ [36]; mermer $\sim 0,09$ [12]. (*Ove vrijednosti su relativne za navedene materijale. Zavise od sadržaja ^{238}U , od regije iz koje potiču, sadržaja primjesnih materijala i drugih faktora. Rezultati su navedeni samo radi poređenja) Iz priloženog se može zaključiti da je žuta sedra spada u materijale kod kojih se radon lako oslobađa u prostor.

Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti ^{222}Rn pomoću RAD7 detektora, u stanu u kojem je mjerena koncentracija istog i pomoću Radoneye+² detektora, preuzeti su iz [20].

Koncentracija aktivnosti ^{222}Rn izmjerena je RAD7 detektorom, a rezultati su sljedeći: [20]

Koncentracija aktivnosti ^{222}Rn (2 dana mjerenja, zatvoreni prozori)	$340 \pm 70 [\text{Bq}/\text{m}^3]$
--	-------------------------------------

Tabela 6.2. Koncentracija aktivnosti ^{222}Rn izmjerena RAD7 detektorom [20]

Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti ^{222}Rn pomoću RAD7 detektora ukazuju na značajno prisustvo ovog radioaktivnog gasa u ispitivanom prostoru. Ova vrijednost prelazi prosječne nivoe radona u zatvorenim prostorima, u mnogim djelovima svijeta, zavisno od geoloških i građevinskih uslova.

Dobijena vrednost sugerise da postoji znatna varijabilnost u mjerenju, ali i dalje ukazuje na koncentraciju radona koja može predstavljati rizik po zdravlje, naročito kada se uzme u obzir dugotrajna izloženost. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), referentna vrijednost za stambene i radne prostore je $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$, dok je Evropska unija uspostavila referentne vrijednosti u rasponu od 200 do $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Vrijednosti iznad ovih referentnih pragova zahtevaju mjere za smanjenje nivoa radona. [37]

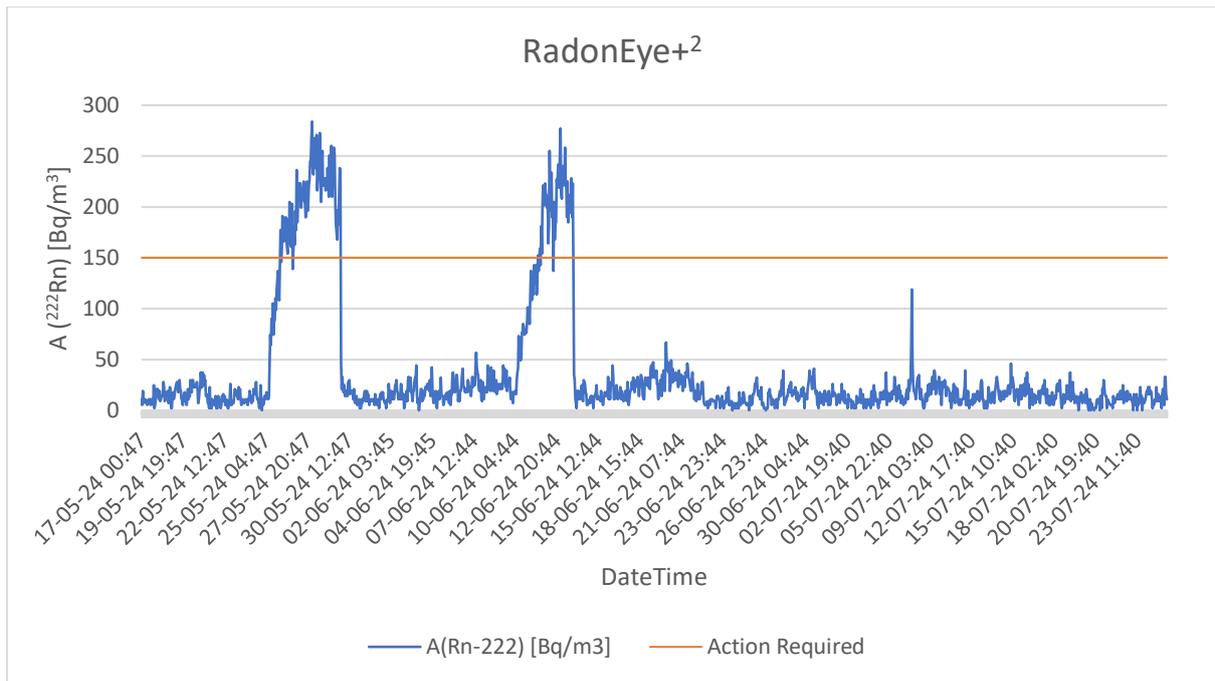
6.2. Rezultati mjerenja i diskusija

Rezultati mjerenja koncentracije prikupljeni RadonEye+² detektorom su sljedeći:

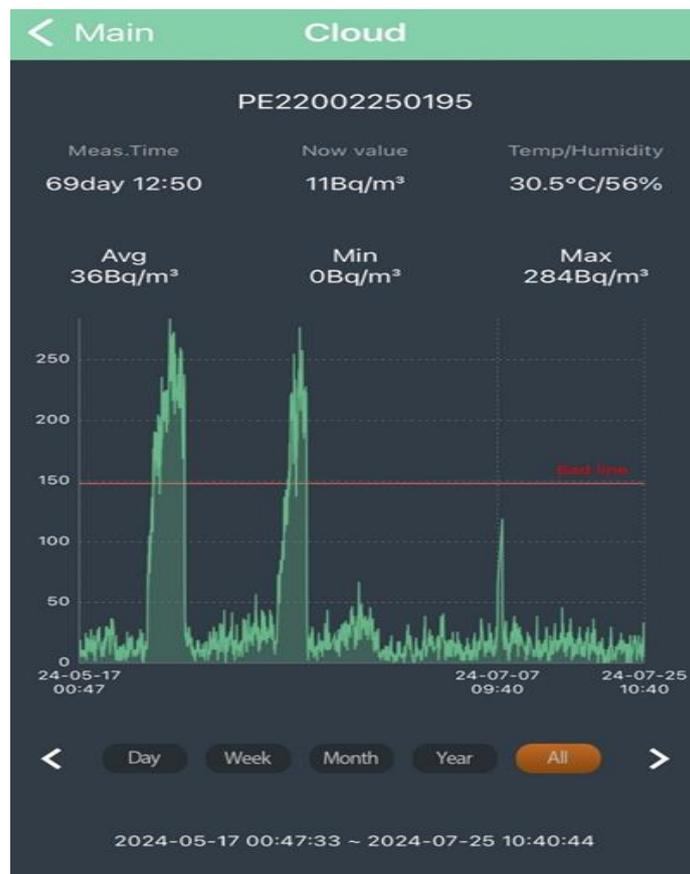
Vrijeme mjerenja	Srednja vrijednost	Maksimalna vrijednost	Minimalna vrijednost	Standardna devijacija
1583 h	$37 \text{ Bq}/\text{m}^3$	$284 \text{ Bq}/\text{m}^3$	$0 \text{ Bq}/\text{m}^3$	58,92

*Proizvođač je deklarirao mjeru nesigurnosti na 10%

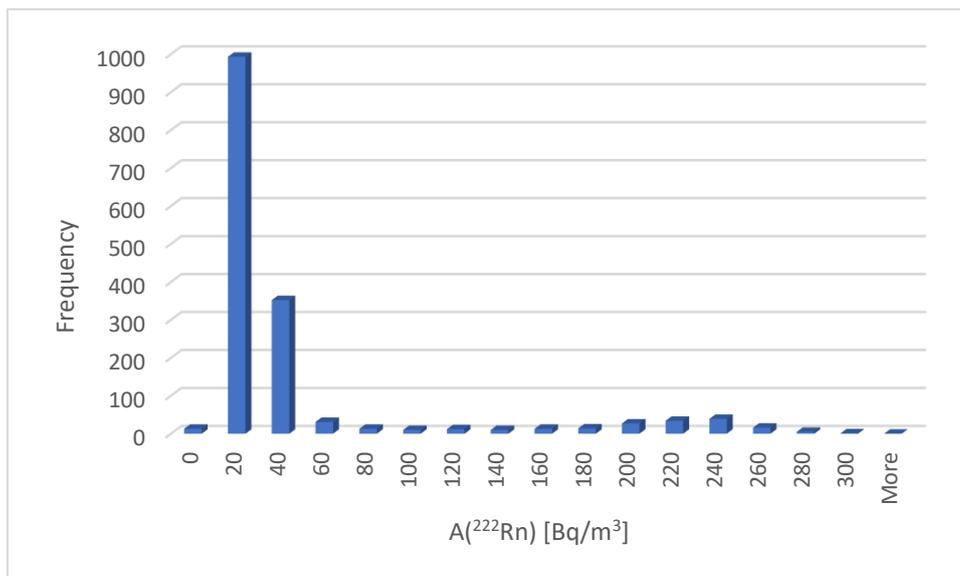
Tabela 6.3. Rezultati mjerenja koncentracije ^{222}Rn RadonEye+² detektorom



Grafik 1. Grafički prikaz koncentracije ²²²Rn mjenjenih RadonEye+² detektorom u periodu od 17. maja do 25. jula 2024. godine



Ilustracija 1. Prikaz sumiranih rezultata mjerenja na ekranu mobilnog telefona



Grafik 2. Frekventnost koncentracije aktivnosti za 1583 mjerenja

S obzirom da su mjerenja ^{226}Ra (tabela 6.1.) u materijalu žuta sedra, pokazala povećane vrijednosti, bilo je očekivano da će i koncentracija ^{222}Rn biti povećana. Iz prikazanih rezultata datih u tabelama 6.2. i 6.3., možemo zaključiti da su podaci srednjih vrijednosti i maksimalnih koncentracija dobijenih mjerenjem detektorom RadonEye+² i detektorom RAD7, $284 \pm 30 \text{ Bq/m}^3$ i $340 \pm 70 \text{ Bq/m}^3$, respektivno, u dobroj saglasnosti. Sve navedeno nas navodi na zaključak da RadonEye+ detektor možemo koristiti kao pouzdan uređaj za mjerenje koncentracije ^{222}Rn , što može biti korisno kako za privatna lica, tako i za javne ustanove kao što su na primjer vrtići, škole, starački domovi i bolnice, gdje se nalazi najvulnerabilnije stanovništvo ali takođe i za bilo koja druga radna mjesta.

Propisi i bezbjednost:

Kako je opisano u poglavlju 3.6., u Italiji, preporučeni nivo akcije za radon u kućama je 300 Bq/m^3 , a savetuju se mjere ublažavanja ako koncentracije pređu ovaj nivo. Kontinuirano praćenje i upotreba ventilacionih sistema može pomoći u smanjenju izloženosti radonu u područjima sa žutom sedrom. Ova vrsta analize je od suštinskog značaja za procjenu potencijalnih zdravstvenih rizika, posebno u regionima sa ekstenzivnom upotrebom sedre kao građevinskog materijala, kao što je Kampanija.

Procjena brzine akumulacije i provjetravanja ^{222}Rn :

U navedenom periodu mjerenja, dva puta prostorija je bila potpuno zatvorena i u njoj se nije vršilo provjetravanje. Prvi put u periodu od 25. - 28. maja, a drugi put u periodu od 10. - 13. juna.

Faktor nagomilavanja radona (akumulacioni faktor):

Faktor nagomilavanja predstavlja odnos između koncentracije radona unutar zatvorenog prostora (npr. u kući) i koncentracije radona u spoljašnjem okruženju. On zavisi od ventilacije, zaptivenosti zgrade, konstrukcijskih karakteristika i drugih faktora.

Faktor akumulacije se može odrediti iz izraza:

$$F = \frac{c_{in}}{c_{out}} \quad 6.1.$$

Gdje je: F - faktor akumulacije, c_{in} - koncentracija radona unutar objekta i c_{out} - koncentracija radona u spoljašnjem okruženju.

Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), prosječna koncentracija ^{222}Rn na otvorenom prostoru u Evropi varira između 5 Bq/m³ i 15 Bq/m³. [18] Ako uzmemo da je prosječna koncentracija na otvorenom 10 Bq/m³, možemo procjeniti faktor nagomilavanja. Naša maksimalna koncentracija u periodu od 3 dana držanja stana zatvorenim je dostigla maksimalnu koncentraciju 284 Bq/m³, što nam daje faktor akumulacije od 28,4. To znači da je koncentracija unutar prostorije 28,4 puta veća nego napolju. Ovo ukazuje na značajnu akumulaciju radona u zatvorenom prostoru. Ako je ventilacija slaba, faktor akumulacije je veći, jer se radon sporije izbacuje iz objekta.

Brzina nagomilavanja i provjetravanja radona:

Brzina nagomilavanja i provjetravanja radona opisuje koliko brzo se povećava ili smanjuje koncentracija radona u prostoru, što zavisi od izvora radona (podloga, građevinski materijal), ventilacije, protoka vazduha i drugih faktora, sezonskih promjena, lokacije stana, spratnosti itd. [21] Ovi parametri koriste se za procjenu rizika od izloženosti radonu, kao i za planiranje mjera za smanjenje njegove koncentracije u stambenim i poslovnim objektima.

Brzinu nagomilavanja (provjetravanja) možemo odrediti iz izraza:

$$\text{brzina nagomilavanja (provjetravanja)} = \frac{\Delta c}{\Delta t} \quad 6.2.$$

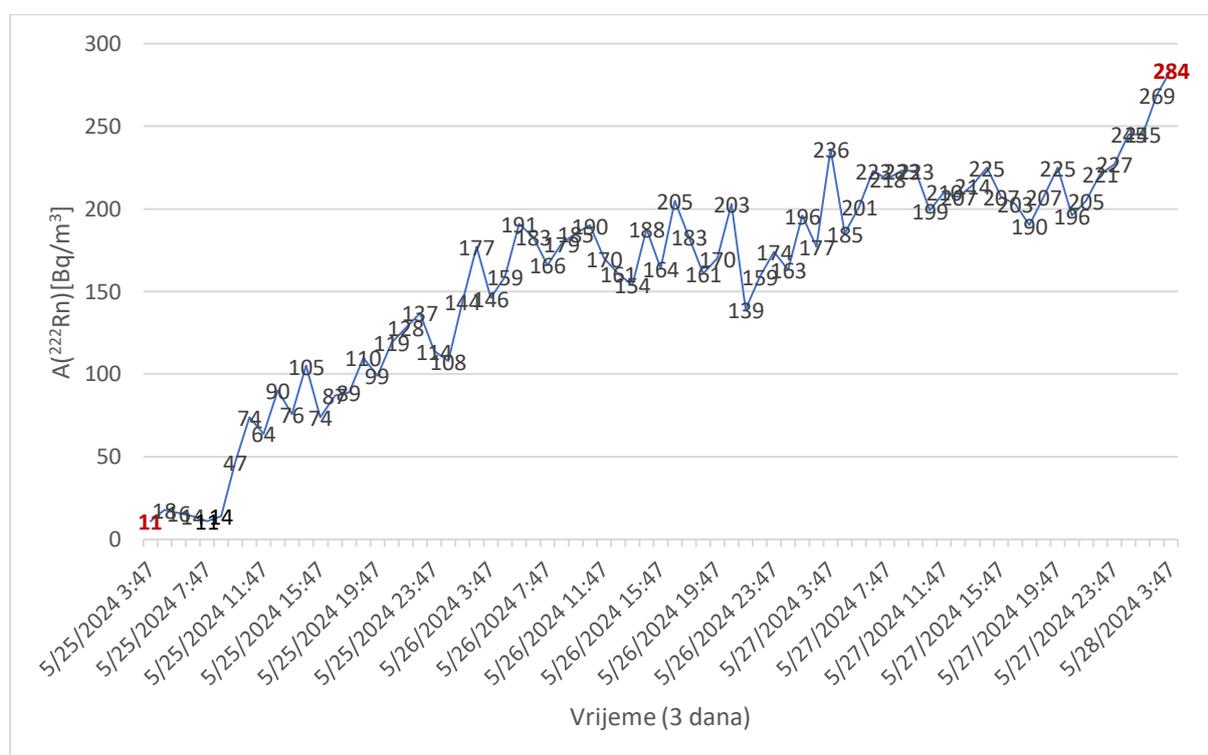
Gdje su: ΔC - je promjena u koncentraciji radona u datom vremenskom periodu, Δt - je vrijeme tokom kojeg se ta promjena dešava.

Brzina nagomilavanja se mjeri u Bq/m³h.

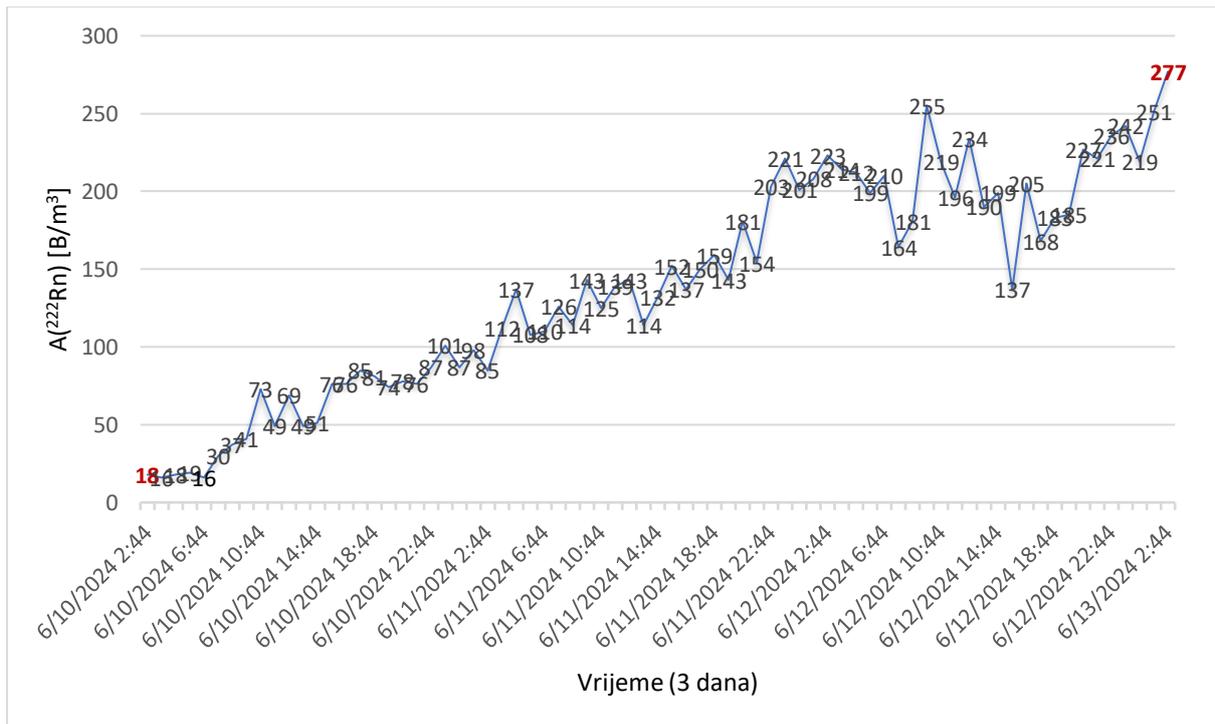
U periodu od od 25. - 28. maja, brzina nagomilavanja iznosi 3,8±0,4 Bq/m³h (grafik 3.), a u periodu od 10. - 13. juna 3,6±0,4 Bq/m³h (grafik 4.). Brzina provjetravanja je određena prvi put u intervalu od dva

dana, od 28. - 30. maja (grafik 6.) i vrijednost iznosi $5,6 \pm 0,6$ Bq/m³h, a drugi put u intervalu od jednog dana od 13. - 14. juna. i iznosi $11,2 \pm 1,1$ Bq/m³h (grafik 7.).

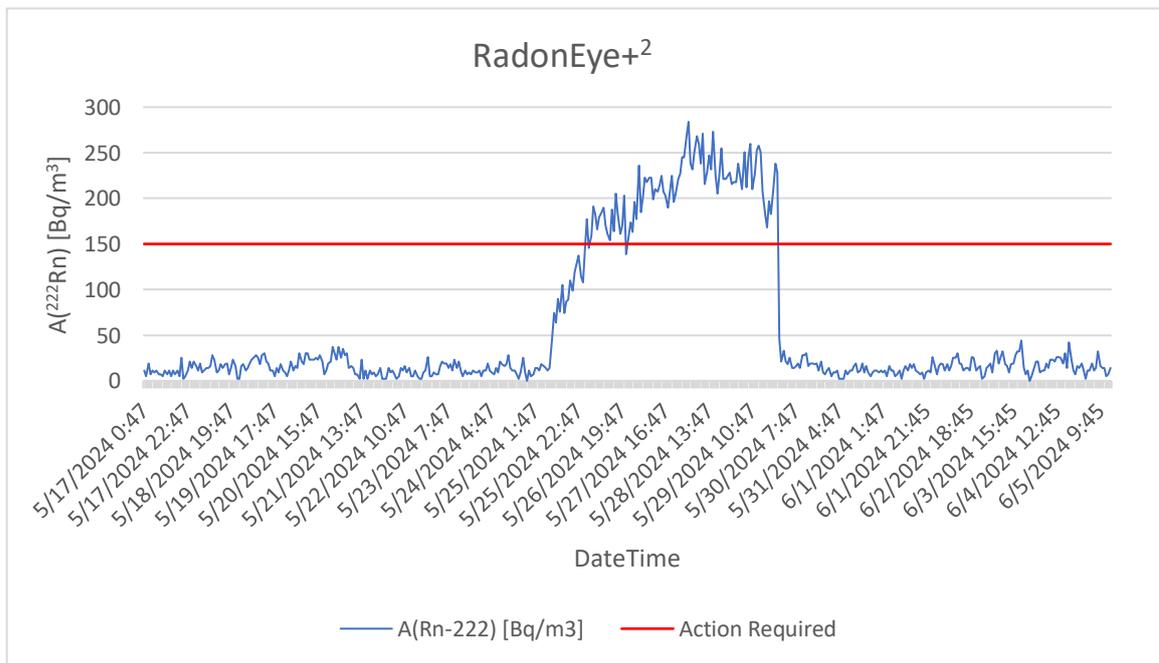
Vidimo da se u zatvorenoj prostoriji na svakih sat vremena dosta brzo povećava nivo koncentracije, ali provjetranjem dva do tri puta brže opada nivo iste. Iz iznjetih podataka možemo da zaključimo da je provjetranje ključno za smanjenje koncentracije radona. Redovno provjetranje pomaže u smanjenju koncentracije radona razmjenom unutarnjeg vazduha sa vanjskim, čime se razrjeđuje radon. Na taj način smanjujemo rizik od izloženosti radonu i nastajanju ozbiljnih zdravstvenih problema, uključujući i rak pluća. Ovo je jednostavna i učinkovita metoda koja može značajno smanjiti rizik od izloženosti radonu.



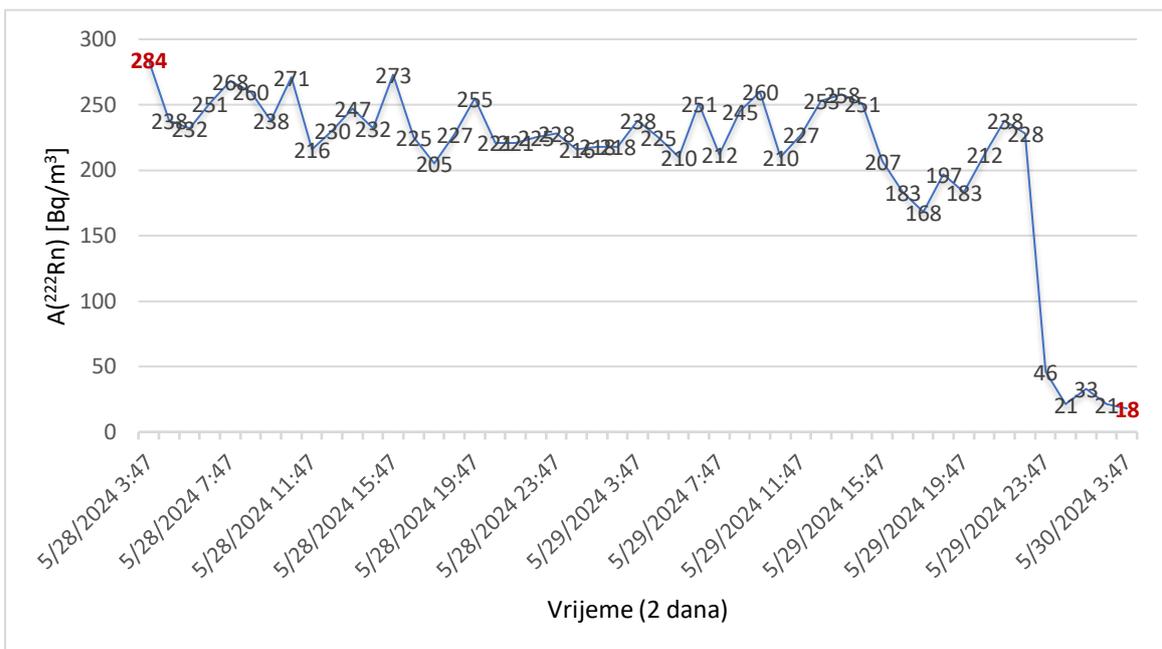
Grafik 3. Procjena brzine akumulacije ²²²Rn u periodu od od 25. - 28. maja



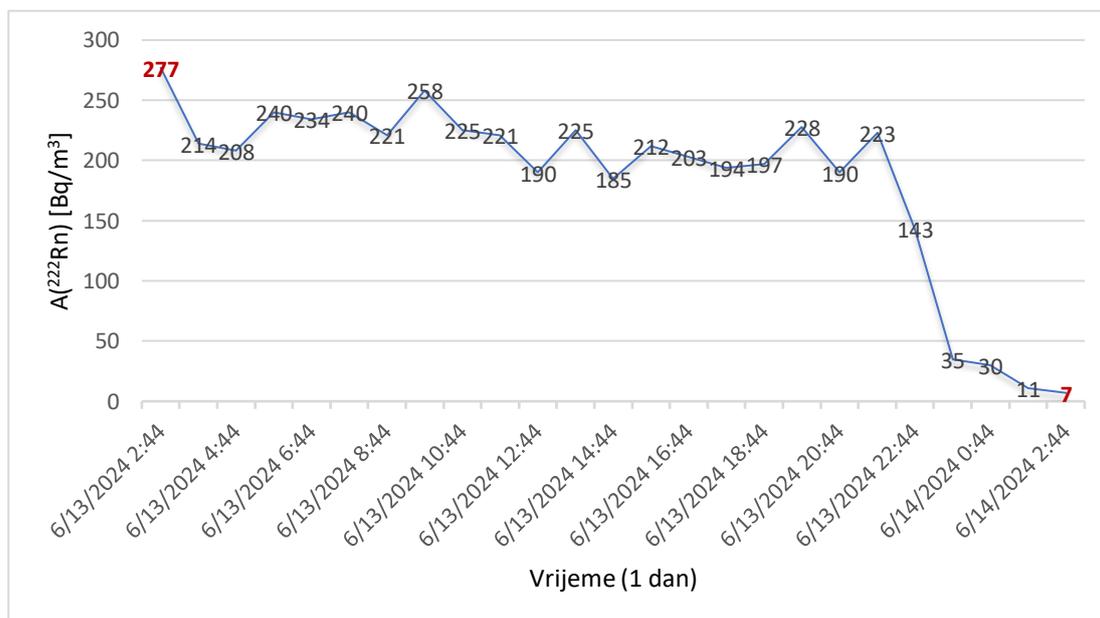
Grafik 4. Procjena brzine akumulacije ²²²Rn u periodu od od 10. - 13. juna



Grafik 5. Uticaj (ne)provjetravanja na koncentraciju radona



Grafik 6. Procjena brzine provjetravanja ²²²Rn u intervalu od 28. - 30. maja



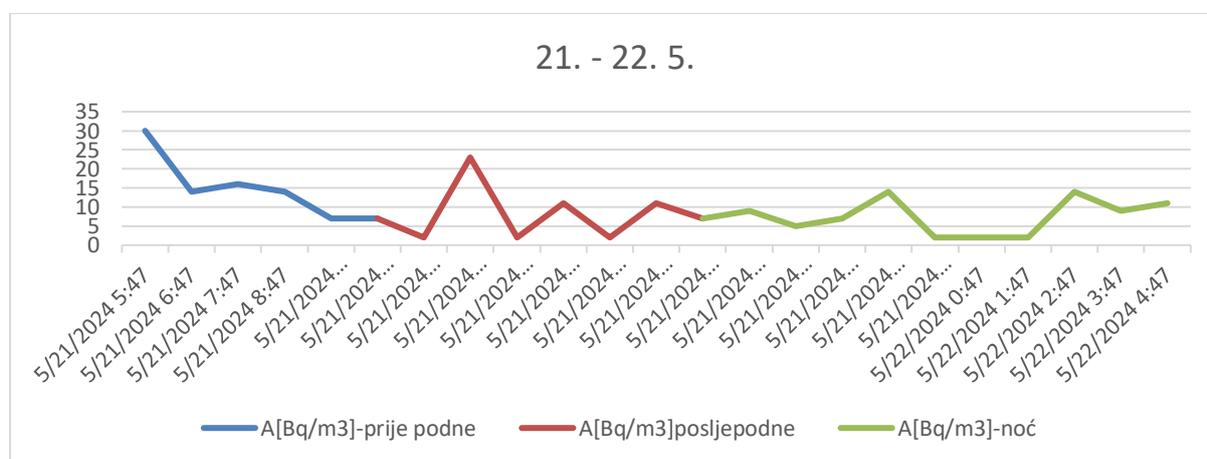
Grafik 7. Procjena brzine provjetravanja ²²²Rn u intervalu od 13. - 14. juna

Procjena dnevnih varijacija koncentracije ²²²Rn:

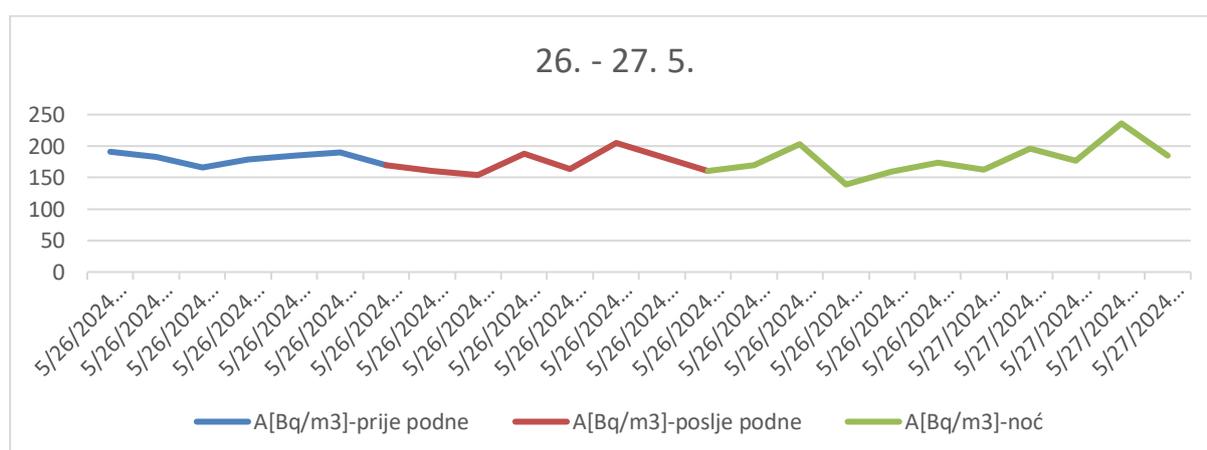
Prilikom pokušaja pronalaženja obrasca u varijacijama koncentracije radona (graf. 8.,9. i 10.) s obzirom na to koji je dio dana u pitanju nisu pronađene pravilnosti. Obično su koncentracije tokom jutra povišene, jer su prozori i vrata tokom noći zatvoreni. Tokom dana, ventilacija je bolja pa obično

koncentracija ima manje vrijednosti. U večernjim satima prozori i vrata se opet zatvaraju, pa tokom noći opet dolazi do porasta. U suštini ove varijacije zavise od specifičnih uslova u svakom domu. Varijacije se odnose samo na uticaj građevinskog materijala.

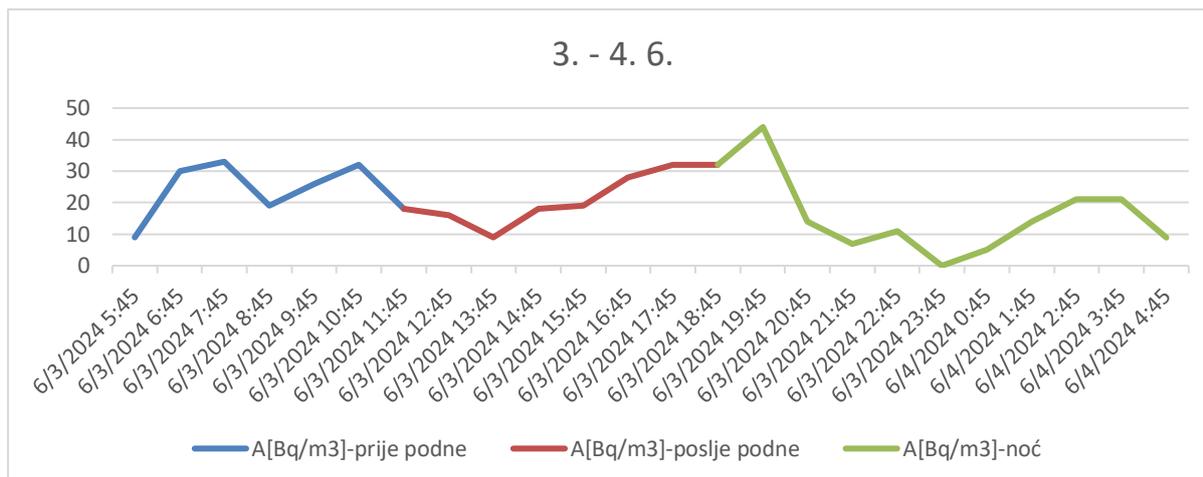
U studiji u kojoj su analizirane dugoročne vremenske serije radona u 14 prostorija i kancelarija da bi se istražili faktori koji utiču na koncentraciju radona u zatvorenom prostoru u visokim zgradama, utvrđeno je da je glavni faktor koji utiče na dinamiku koncentracije radona u prostorijama sa niskom ljudskom aktivnošću bila je promjena temperature razlike između spoljašnjeg i unutrašnjeg vazduha. Takođe je navedeno da za prostorije sa normalnom ljudskom aktivnošću koncentracija radona i koeficijenti varijacije ove vrijednosti zavise od aktivnosti onih koji žive u zgradi u određeno doba dana. [38]



Grafik 8.



Grafik 9.



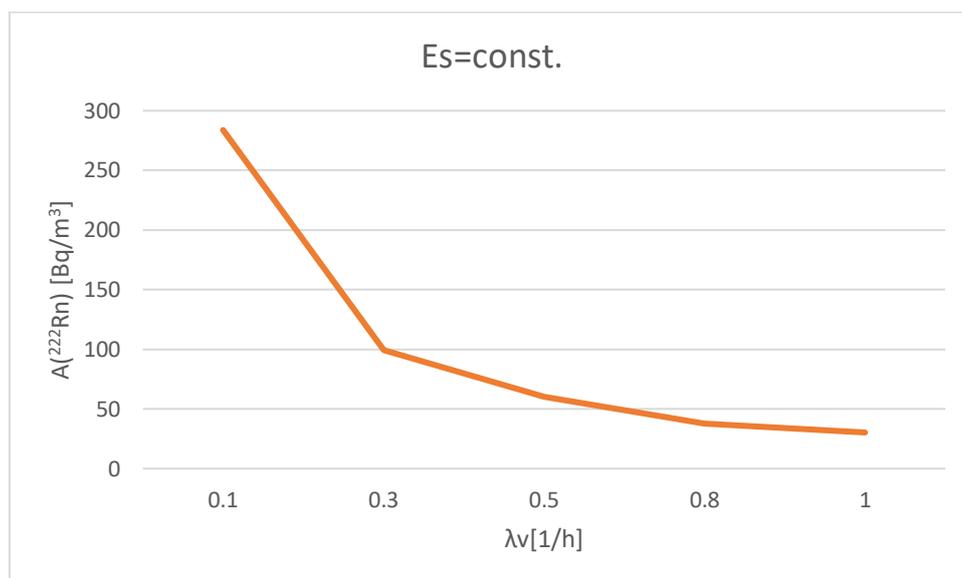
Grafik 10.

Procjena brzine ekshalacije iz žute sedre:

U poglavlju 3.4.2. je opisan uticaj brzine površinske ekshalacije iz građevinskih materijala na koncentraciju aktivnosti. Koristeći relaciju 3.1., ako je poznato da je stan u kojem je vršeno mjerenje dimenzija $5m \times 6m \times 3,5m$, konstanta raspada ^{222}Rn iznosi $\lambda = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{ h}^{-1}$, za brzinu loše provjetrenosti $\lambda_v = 0,1 \text{ h}^{-1}$, uzeta je maksimalna izmjerena vrijednost koncentracije aktivnosti radona. Iz navedenih podataka slijedi da je koncentracija radonovih atoma koje otpušta (ekshalira) materijal žuta sedra sa jedinice površine u jedinici vremena je $E_s = (107 \pm 11) \text{ Bq/m}^2\text{h}$. Poređenja radi izmjerene brzine površinske ekshalacije u studiji [39] za cementni pod kreću se u opsegu od $13,3 - 36,7 \text{ Bq/m}^2\text{h}$, dok je za keramičke pločice u osegu $3,96 - 8,28 \text{ Bq/m}^2\text{h}$. Dok su na primjer tipične vrijednosti za cement u Evropi u osegu od $1,6 - 13 \text{ Bq/m}^2\text{h}$. [40] Ova poređenja su relativna, jer je poznato da vrijednosti variraju od zemlje do zemlje, jer brzina ekshalacije radona može varirati zbog različitih sastava i karakteristika građevinskih materijala koji se koriste u različitim regionima. Na primjer, cement proizveden u Indiji može imati drugačiji mineralni sastav u poređenju sa cementom proizvedenim u Evropi, što može uticati na brzinu ekshalacije radona. Osim prisustva radijuma u uzorcima na brzinu površinske ekshalacije takođe utiču poroznost materijala, emanaciona moć, načini uzorkovanja, da li je površina predhodno obrađena ili prekrivena odgovarajućim premazom (bojama i drugim zaštitnim materijalima), te imamo takođe i uticaj spoljnjih faktora – pritiska, temperature i vlažnosti. Iz svega navedenog jasno se uočava da građevinski materijal žuta sedra ima značajno veće vrijednosti površinske ekshalacije ^{222}Rn od većine građevinskih materijala koji se obično koriste u građevinarstvu.

Procjena doprinosa provjetrenosti površinskoj brzini eshalacije:

Na grafiku 11. prikazano je kako sa povećanjem brzine provjetrenosti za datu površinsku brzinu ekshalacije dolazi do smanjenja koncentracije aktivnosti ^{222}Rn koji se akumulira u datom prostoru.



Grafik 11. Procjena doprinosa provjetrenosti površinskoj brzini eshalacije

Procjena rizika:

Godišnja efektivna doza je proračunata prema relaciji 3.6. sa doznim konverzionim faktorom $9 \frac{nSv}{Bqhm^{-3}}$ i faktorom ravnoteže radonovih potomaka 0,4, za godišnju okupaciju u stanovima od 7000h. Dobijena vrijednost iznosi $(7,2 \pm 0,7)$ mSv godišnje, što je značajno iznad efektivne doze uprosječne za svjetsku populaciju, koja iznosi oko 3 mSv godišnje po stanovniku. Godišnja efektivna doza je uvećana, ukoliko je veća od 1 mSv za godinu dana. [41] Izbor nivoa akcije za godišnju efektivnu dozu u odnosu na prirodno okruženje ograničen je na opseg od oko 3 - 10 mSv. Radon u zatvorenom prostoru je prepoznat kao jedna od opasnosti po zdravlje čovječanstva, jer dugotrajna izloženost radonu povećava rizik od razvoja raka pluća. Prema ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principu poželjno je izbjegavanje izlaganja zračenju koje nema direktnu korist, čak i ako je doza mala. [42] Da bi stanovništvo bilo svjesno rizika koji predstavlja izloženost radonu nacionalne vlasti treba da razviju strategiju i donesu odgovarajuću zakonsku regulativu o zaštiti i načinu informisanja.

7. Zaključak

Ovaj rad ispituje koncentraciju aktivnosti ^{222}Rn u zatvorenom prostoru korištenjem detektora RadonEye+, IoT uređaja koji je dostupan za široku upotrebu. U poređenju rezultata mjerenja koncentracije aktivnosti ^{222}Rn u stanu na četvrtom spratu, mjereno detektorom RAD7 ($340 \pm 70 \text{ Bq/m}^3$) i novijom varijantom modela RadonEye+² ($284 \pm 30 \text{ Bq/m}^3$), postignuta je dobra saglasnost, što sugerira na pouzdanost i povjerenje u rezultate mjerenja detektorom RadonEye+.

Dobijeni podaci iskorišteni su za procjenu doprinosa koncentraciji ^{222}Rn u zatvorenom prostoru iz građevinskog materijala „žuta sedra“, koji je jedan od najčešće korištenih prirodnih građevinskih materijala u jugozapadnoj italijanskoj regiji Kampanja. Iako je doprinos građevinskih materijala ukupnoj koncentraciji radona često manji u poređenju sa doprinosom iz tla, u radu je pokazano da se doprinos materijala bogatih radijumom, poput žute sedre, ne može zanemariti.

Analizom brzine akumulacije radona i efekta provjetravanja zaključeno je da se koncentracija radona smanjuje dva do tri puta brže provjetravanjem nego što se akumulira u zatvorenom prostoru. Ovaj rezultat naglašava važnost redovnog provjetravanja kao efikasne mjere zaštite od izloženosti radonu i njegovim potomcima. Dnevne varijacije koncentracije radona, uzrokovane emisijama iz unutrašnjih zidova, zavise isključivo od aktivnosti stanara i provjetrenosti prostora. Procijenjena efektivna godišnja doza od ($7,2 \pm 0,7 \text{ mSv/god}$) ukazuje na visok rizik, te potrebu za češćim provjetravanjem kako bi se koncentracija radona smanjila na prihvatljiv nivo.

RadonEye+ se pokazao kao odličan izbor za praćenje nivoa radona u domaćinstvima zbog svoje visoke senzitivnosti - 20 puta veće u poređenju s drugim detektorima radona na tržištu. Senzitivnost uređaja iznosi 30 impulsa po satu po pCi/l ($1 \text{ pCi/l} = 37 \text{ Bq/m}^3$), što je 15 puta osjetljivije od standarda (2 impulsa po satu po pCi/l) postavljenog od strane ANSI/AARST. [43] Podaci o koncentraciji radona mogu se dobiti već unutar jednog sata od početka mjerenja, uz grešku manju od 10%, dok se ekran ažurira svakih deset minuta, omogućavajući brzo uočavanje promjena koncentracije radona. S obzirom da je RadonEye+ razvijen za integraciju sa web bazama podataka i IoT sistemima, podacima je moguće pristupiti u realnom vremenu putem pametnog telefona ili računara povezanog na internet.

Međutim, uređaj ima svoje nedostatke; iako mjeri temperaturu i vlažnost, ne pohranjuje te podatke u memoriju. Opseg radne temperature je između 10°C i 40°C , uz relativnu vlažnost manju od 80%. Uprkos ovom nedostatku, korištenje RadonEye+ detektora može biti vrlo korisno za prevenciju zdravstvenog rizika (prvenstveno od karcinoma pluća), jer omogućava pravovremeno reagovanje i smanjenje izloženosti jonizujućem zračenju praćenjem koncentracije radona u zatvorenim prostorima.

Literatura

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, „RADIATION PROTECTION AGAINST RADON IN WORKPLACES OTHER THAN MINES,“ VIENNA, 2003.
- [2] „<https://home.cern/>,“ Copyright © 2024 CERN, [Na mreži]. Available: <https://timeline.web.cern.ch/becquerel-discovers-radioactivity>. [Poslednji pristup 2024].
- [3] S. Š. Miljanić, Udžbenik nuklearne hemije, Beograd: Fakultet za fizičku hemiju, 2008.
- [4] R. Lakatoš, „PRIMENA I RAZVOJ METODA ZA ODREĐIVANJE RADONA I TORONA U ZEMLJIŠTU I VAZDUHU RADI PROCENE RADONSKOG POTENCIJALA,“ 2019.
- [5] m. i. Hrvatska enciklopedija, „<https://www.enciklopedija.hr/clanak/ravnoteza>,“ Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024.. [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024].
- [6] I. Marić, *Uticao 226Ra na merenje 222Rn u vodi*, 2018.
- [7] I. Plećaš, Đ. Bek-Uzarov, G. Đurić, J. Martinović, D. Popović, R. Smiljanić, M. Kovačević i Ž. Kostadinović, *Jonizujuća zračenja iz prirode*, Beograd: Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, 1995.
- [8] „<http://www.chemicalelements.com/elements/rn.html>,“ [Na mreži].
- [9] „<https://sr.wikipedia.org/sr-el/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%BD>,“ [Na mreži].
- [10] G. Milić, „Distribucija radona u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima KiM,“ *Doktorska disertacija*, 2003.
- [11] P. Kuzmanović, „Korelacija radioloških i strukturnih karakteristika građevinskih materijala,“ *Doktorska disertacija*, Septembar 2020.
- [12] C. Sabbarese, F. Ambrosino, A. D’Onofrio, V. Roca i M. Pugliese, „Natural radioactivity in soils and materials of the Campania region (Italy),“ u *IL NUOVO CIMENTO 43 C (2020) 152*, DOI 10.1393/ncc/i2020-20152-x, 2021.
- [13] H. J. M. D. B. K. B. I. Forkapić S., „SISTEMATSKO ISPITIVANJE SADRŽAJA RADIONUKLIDA U GRAĐEVINSKOM MATERIJALU U TOKU 2014. GODINE,“ *Zbornik radova: XXVIII simpozijum DZZSCG*, 2015.
- [14] B. Petrović, *FIZIČKE OSNOVE RADIOTERAPIJE*, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet, departman za fiziku, 2018..
- [15] „<https://www.srbatom.gov.rs/srbatom/monitoring-radioaktivnosti/?lang=bs>,“ Direktorat za radijacionu i nuklearnu sigurnost i bezbednost Srbije. [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024].
- [16] United Nations, „UNSCEAR 2000“ *Sources and Effects of Ionizing Radiation*.
- [17] I. O. o. P. I. a. C. Vladimir Tarakanov, „<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-radon-and-how-are-we-exposed-to-it>rials,“ 1. june 2021.. [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024].
- [18] WHO, „<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>,“ 25 januar 2023. [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024].
- [19] IAEA-TECDOC-1951, „Protection against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials —Methods of Prevention“.
- [20] S. Akozcan, S. Mancini, N. Todorovic, S. Ozden i M. Guida, „Assessment of the natural radioactivity content in typical building materials employed in the Italian

- cultural heritage," u *2023 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*, Rome, 2023.
- [21] RAVNATELJSTVO CIVILNE ZAŠTITE – SEKTOR ZA RADIOLOŠKU I NUKLEARNU SIGURNOST, „<http://radon.civilna-zastita.hr/o-radonu/>,” [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024].
- [22] Z. M. Živanović, „Optimizacija merenja koncentracije radona u zatvorenom prostoru metodom ugljenih filtera,” *Doktorska didertacija*, 2017..
- [23] International Commission on Radiological Protection, „Protection Against Radon-222 at Home and at Work,” 1993.-1997.
- [24] Canadian Centre for Occupational Health and Safety - CCOHS, „https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/radon.html#section-4-hdr,” [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024.].
- [25] The International Commission on Radiological Protection, „The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” 2007.
- [26] Directive 2013/59/Euratom - protection against ionising radiation, „<https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2013-59-euratom-protection-against-ionising-radiation>,” [Na mreži].
- [27] „<https://help.airthings.com/en/articles/3722196-radon-radon-thresholds-by-country-region#europe>,” [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024].
- [28] SRBATOM, „https://www.srbatom.gov.rs/srbatom/wp-content/uploads/2019/11/Pravilnik-o-granicama-izlaganja_50_2018.pdf,” [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024.].
- [29] J. E. Turner, *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*, Weinheim, Germany, 2007.
- [30] UNSCEAR, (2008), *UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes: Effects of Ionizing Radiation*, New York, USA: United Nations, Scientific Annexes: Effects of Ionizing Radiation.
- [31] D. Kastratović, „ISPITIVANJE SADRŽAJA 222Rn vodi,” *Diplomski rad*, 2016..
- [32] A. Radukin Kosanović, „MERENJE KOEFICIJENATA DIFUZIJE RADONA KROZ GRAĐEVINSKE MATERIJALE,” *Diplomski rad*, Novembar 2008.
- [33] D. Antić, „<https://samoobrazovanje.rs/sta-je-internet-of-things-internet-inteligentnih-uredjaja/>,” Mart 2019. [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024.].
- [34] N. Zaimović-Uzunović i S. Lemeš, *MJERNA TEHNIKA 1*, Zenica: UNIVERZITET U ZENICI, POLITEHNIČKI FAKULTET, 2022.
- [35] d. M. Lazić, „MENADŽMENT MERENJIMA I MERNJA NESIGURNOST,” *FQ2011 Festival kvaliteta*, 2011.
- [36] „D. M. S. G. a. U. K.-L. I. Bikit, „GRANULATION EFFECTS ON THE RADON EMANATION RATE,” *Radiation Protection Dosimetry*, 2011.
- [37] IAEA and WHO, *PROTECTION OF THE PUBLIC AGAINST EXPOSURE INDOORS DUE TO RADON AND OTHER NATURAL SOURCES OF RADIATION*, VIENNA: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2015.
- [38] H. A. Bulut i R. Sahin, „Radon, Concrete, Buildings and Human Health—A Review Study,” *Buildings*, 2024.
- [39] H. Xiaofeng i W. Guosheng, „Surface Radon Exhalation Rates of Building Material and Soil,” u *The Second SREE Conference on Chemical Engineering Affect on Indoor Air Radon Concentration*, Shenzhen, 2011.

- [40] R. Trevisi, F. Leonardi, S. Risica i C. Nuccetelli, „Updated database on natural radioactivity in building materials in Europe,“ *Environ. Radioact.*, 2018.
- [41] b. 8. i. 5. Sl. glasnik RS", „https://radteh.org.rs/pdf2/Pravilnik-o-granicama-izlaganja_50_2018.pdf,“ [Na mreži].
- [42] CDC-U.S. CENTRES FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION , „Guidelines for ALARA – As Low As Reasonably Achievable,“ 2024.
- [43] EPA 402/B-19/080, „EPA Recommends States Reference ANSI/AARST Radon Standards,“ EPA, 2019.
- [44] „<https://bouw.ru/article/gidroizolyatsiya-fundamenta-rulonnimi-materialami-svoimirukami>,“ [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024.].
- [45] Laboratorija "Zaštita", „<https://zastita.vin.bg.ac.rs/usluge/merenje-koncentracije-radona/>,“ [Na mreži]. [Poslednji pristup 2024.].
- [46] I. J. B. S. T. Arsić V., „PREGLED MERENJA KONCENTRACIJE RADONA INSTITUTA ZA MEDICINU RADA SRBIJE „DR DRAGOMIR KARAJOVIĆ“,“ *Zbornik radova: XVIII simpozijum DZZSCG*, 2015.

Biografija



Mihaela Repić rođena je 15.8.1981. u Sisku. Osnovnu i srednju školu završava u Novom Sadu, a 2000. godine upisuje Prirodno-matimatički fakultet u Banjaluci, odsijek fizika, opšti smjer, gdje stiče zvanje diplomiranog fizičara. Živi u Banjaluci, gdje je i zaposlena kao profesor fizike u srednjoj Tehnološkoj školi.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

<i>Redni broj:</i>	
RBR	
<i>Identifikacioni broj:</i>	
IBR	
<i>Tip dokumentacije:</i>	Monografska dokumentacija
TD	
<i>Tip zapisa:</i>	Tekstualni štampani materijal
TZ	
<i>Vrsta rada:</i>	Master rad
VR	
<i>Autor:</i>	Mihaela Repić
AU	
<i>Mentor:</i>	Prof.dr Nataša Todorović, redovni profesor
MN	
<i>Naslov rada:</i>	Ispitivanje sadržaja ²²² Rn u zatvorenom prostoru RadonEye+ detektorom i procjena rizika
NR	
<i>Jezik publikacije:</i>	srpski (latinica)
JP	
<i>Jezik izvoda:</i>	srpski/engleski
JI	
<i>Zemlja publikovanja:</i>	Srbija
ZP	
<i>Uže geografsko područje:</i>	Vojvodina
UGP	
<i>Godina:</i>	2024.
GO	
<i>Izdavač:</i>	Autorski reprint
IZ	
<i>Mesto i adresa:</i>	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
MA	
<i>Fizički opis rada:</i>	7 poglavlja/81 strana/45 literalnih citata/ 10 tabela/ 29 slika/ 11 grafika/1 prilog
FO	
<i>Naučna oblast:</i>	Fizika
NO	
<i>Naučna disciplina:</i>	Medicinska fizika
ND	
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i>	Radon, koncentracija aktivnosti u zatvorenom prostoru, efektivna godišnja doza
PO	
UDK	
<i>Čuva se:</i>	Biblioteka Departmana za matematiku i informatiku, PMF-a u Novom Sadu
ČU	
<i>Važna napomena:</i>	nema
VN	
<i>Izvod:</i>	Ovaj rad provjerava pouzdanost rezultata mjerenja detektora RadonEye+. Analizom dobijenih podataka procjenjen je doprinos
IZ	

koncentraciji aktivnosti radona u zatvorenom prostoru od građevinskog materijala prirodnog porjekla, uticaj provjetravanja, te je procjenjena doza.

Datum prihvatanja teme od NN

veća:

DP

11. jun, 2024.

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Član:

Član, mentor:

Prof.dr Jovana Nikolov, redovni profesor

Prof.dr Ivana Stojković, vanredni profesor

Prof.dr Nataša Todorović, redovni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Mihaela Repić

AU

Mentor/comentor:

Prof. dr Nataša Todorović

MN

Title:

Investigation of ^{222}Rn content in indoor spaces using the RadonEye+ detector and risk assessment

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2024.

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description:

7 chapters / 81 pages / 45 literal citations / 10 tables / 29 images / 11 graphs / 1 appendix

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Medical Physics

SD

Subject/ Key words:

Radon, indoor activity concentration, effective annual dose

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Mathematics and Informatics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

This paper examines the reliability of the measurement results of the RadonEye+ detector. By analyzing the obtained data, the contribution to indoor radon activity concentration from natural

AB

building materials, the impact of ventilation, and the estimated dose were assessed.
11. June, 2024.

Accepted by the Scientific Board:
ASB
Defended on: 20. September, 2024.
DE
Thesis defend board:
DB
President: Prof.dr Jovana Nikolov, Full Professor
Member: Prof. dr Ivana Stojković, Associate Professor
Member, mentor: Prof. dr Nataša Todorović, Full Professor

Prilog:

Rezultati mjerenja RadonEye+2 detektora

r.br.	DateTime	RadonEye+2	r.br.	DateTime	RadonEye+2	r.br.	DateTime	RadonEye+2
1	17-05-24 00:47	11	529	08-06-24 04:44	11	1057	01-07-24 12:40	9
2	17-05-24 02:47	5	530	08-06-24 05:44	21	1058	01-07-24 12:44	9
3	17-05-24 03:47	19	531	08-06-24 06:44	23	1059	01-07-24 13:40	16
4	17-05-24 04:47	7	532	08-06-24 07:44	18	1060	01-07-24 14:40	5
5	17-05-24 05:47	11	533	08-06-24 08:44	19	1061	01-07-24 15:40	19
6	17-05-24 06:47	9	534	08-06-24 09:44	18	1062	01-07-24 16:40	14
7	17-05-24 07:47	11	535	08-06-24 10:44	44	1063	01-07-24 17:40	5
8	17-05-24 08:47	7	536	08-06-24 11:44	26	1064	01-07-24 18:40	11
9	17-05-24 09:47	7	537	08-06-24 12:44	21	1065	01-07-24 19:40	14
10	17-05-24 10:47	5	538	08-06-24 13:44	28	1066	01-07-24 20:40	16
11	17-05-24 11:47	11	539	08-06-24 14:44	19	1067	01-07-24 21:40	26
12	17-05-24 12:47	7	540	08-06-24 15:44	42	1068	01-07-24 22:40	14
13	17-05-24 13:47	11	541	08-06-24 16:44	37	1069	01-07-24 23:40	18
14	17-05-24 14:47	5	542	08-06-24 17:44	37	1070	02-07-24 00:40	16
15	17-05-24 15:47	11	543	08-06-24 18:44	19	1071	02-07-24 01:40	16
16	17-05-24 16:47	7	544	08-06-24 19:44	39	1072	02-07-24 02:40	14
17	17-05-24 17:47	11	545	08-06-24 20:44	28	1073	02-07-24 03:40	5
18	17-05-24 18:47	5	546	08-06-24 21:44	21	1074	02-07-24 04:40	11
19	17-05-24 19:47	25	547	08-06-24 22:44	18	1075	02-07-24 05:40	11
20	17-05-24 20:47	2	548	08-06-24 23:44	30	1076	02-07-24 06:40	16
21	17-05-24 21:47	5	549	09-06-24 00:44	16	1077	02-07-24 07:40	14
22	17-05-24 22:47	11	550	09-06-24 01:44	19	1078	02-07-24 08:40	7
23	17-05-24 23:47	21	551	09-06-24 02:44	21	1079	02-07-24 09:40	11
24	18-05-24 00:47	14	552	09-06-24 03:44	26	1080	02-07-24 10:40	11
25	18-05-24 01:47	21	553	09-06-24 04:44	21	1081	02-07-24 11:40	26
26	18-05-24 02:47	16	554	09-06-24 05:44	25	1082	02-07-24 12:40	14
27	18-05-24 03:47	11	555	09-06-24 06:44	26	1083	02-07-24 13:40	11
28	18-05-24 04:47	19	556	09-06-24 07:44	21	1084	02-07-24 14:40	9
29	18-05-24 05:47	9	557	09-06-24 08:44	21	1085	02-07-24 15:40	19
30	18-05-24 06:47	11	558	09-06-24 09:44	23	1086	02-07-24 16:40	7
31	18-05-24 07:47	14	559	09-06-24 10:44	44	1087	02-07-24 17:40	11
32	18-05-24 08:47	14	560	09-06-24 11:44	37	1088	02-07-24 18:40	7
33	18-05-24 09:47	16	561	09-06-24 12:44	41	1089	02-07-24 19:40	9
34	18-05-24 10:47	28	562	09-06-24 13:44	28	1090	02-07-24 20:40	2
35	18-05-24 11:47	23	563	09-06-24 14:44	23	1091	02-07-24 21:40	16
36	18-05-24 12:47	9	564	09-06-24 15:44	39	1092	02-07-24 22:40	11
37	18-05-24 13:47	11	565	09-06-24 16:44	19	1093	02-07-24 23:40	11
38	18-05-24 14:47	18	566	09-06-24 17:44	30	1094	03-07-24 00:40	9
39	18-05-24 15:47	14	567	09-06-24 18:44	26	1095	03-07-24 01:40	11
40	18-05-24 16:47	18	568	09-06-24 19:44	25	1096	03-07-24 02:40	2
41	18-05-24 17:47	19	569	09-06-24 20:44	32	1097	03-07-24 03:40	7
42	18-05-24 18:47	7	570	09-06-24 21:44	18	1098	03-07-24 04:40	9
43	18-05-24 19:47	14	571	09-06-24 22:44	11	1099	03-07-24 05:40	5
44	18-05-24 20:47	23	572	09-06-24 23:44	18	1100	03-07-24 06:40	2
45	18-05-24 21:47	16	573	10-06-24 00:44	18	1101	03-07-24 07:40	2
46	18-05-24 22:47	2	574	10-06-24 01:44	7	1102	03-07-24 08:40	5
47	18-05-24 23:47	2	575	10-06-24 02:44	18	1103	03-07-24 09:40	2
48	19-05-24 00:47	16	576	10-06-24 03:44	16	1104	03-07-24 10:40	14
49	19-05-24 01:47	18	577	10-06-24 04:44	18	1105	03-07-24 11:40	9
50	19-05-24 02:47	11	578	10-06-24 05:44	19	1106	03-07-24 12:40	7
51	19-05-24 03:47	14	579	10-06-24 06:44	16	1107	03-07-24 13:40	11
52	19-05-24 04:47	19	580	10-06-24 07:44	30	1108	03-07-24 14:40	11
53	19-05-24 05:47	23	581	10-06-24 08:44	37	1109	03-07-24 15:40	11
54	19-05-24 06:47	26	582	10-06-24 09:44	41	1110	03-07-24 16:40	21
55	19-05-24 07:47	28	583	10-06-24 10:44	73	1111	03-07-24 17:40	7
56	19-05-24 08:47	25	584	10-06-24 11:44	49	1112	03-07-24 18:40	11
57	19-05-24 09:47	18	585	10-06-24 12:44	69	1113	03-07-24 19:40	9
58	19-05-24 10:47	28	586	10-06-24 13:44	49	1114	03-07-24 20:40	16

59	19-05-24 11:47	30	587	10-06-24 14:44	51	1115	03-07-24 21:40	2
60	19-05-24 12:47	21	588	10-06-24 15:44	76	1116	03-07-24 22:40	7
61	19-05-24 13:47	19	589	10-06-24 16:44	76	1117	03-07-24 23:40	11
62	19-05-24 14:47	11	590	10-06-24 17:44	85	1118	04-07-24 00:40	9
63	19-05-24 16:47	11	591	10-06-24 18:44	81	1119	04-07-24 01:40	2
64	19-05-24 17:47	5	592	10-06-24 19:44	74	1120	04-07-24 02:40	7
65	19-05-24 19:47	14	593	10-06-24 20:44	78	1121	04-07-24 03:40	11
66	19-05-24 20:47	9	594	10-06-24 21:44	76	1122	04-07-24 04:40	7
67	19-05-24 21:47	18	595	10-06-24 22:44	87	1123	04-07-24 05:40	5
68	19-05-24 22:47	11	596	10-06-24 23:44	101	1124	04-07-24 06:40	9
69	19-05-24 23:47	9	597	11-06-24 00:44	87	1125	04-07-24 07:40	11
70	20-05-24 00:47	5	598	11-06-24 01:44	98	1126	04-07-24 08:40	2
71	20-05-24 01:47	11	599	11-06-24 02:44	85	1127	04-07-24 09:40	18
72	20-05-24 02:47	21	600	11-06-24 03:44	112	1128	04-07-24 10:40	19
73	20-05-24 03:47	11	601	11-06-24 04:44	137	1129	04-07-24 11:40	11
74	20-05-24 04:47	16	602	11-06-24 05:44	108	1130	04-07-24 12:40	5
75	20-05-24 05:47	14	603	11-06-24 06:44	110	1131	04-07-24 13:40	25
76	20-05-24 06:47	30	604	11-06-24 07:44	126	1132	04-07-24 14:40	18
77	20-05-24 07:47	21	605	11-06-24 08:44	114	1133	04-07-24 15:40	18
78	20-05-24 08:47	18	606	11-06-24 09:44	143	1134	04-07-24 16:40	9
79	20-05-24 09:47	30	607	11-06-24 10:44	125	1135	04-07-24 17:40	11
80	20-05-24 10:47	30	608	11-06-24 11:44	139	1136	04-07-24 18:40	11
81	20-05-24 11:47	23	609	11-06-24 12:44	143	1137	04-07-24 19:40	5
82	20-05-24 12:47	23	610	11-06-24 13:44	114	1138	04-07-24 20:40	2
83	20-05-24 13:47	23	611	11-06-24 14:44	132	1139	04-07-24 21:40	7
84	20-05-24 14:47	25	612	11-06-24 15:44	152	1140	04-07-24 22:40	7
85	20-05-24 15:47	23	613	11-06-24 16:44	137	1141	04-07-24 23:40	18
86	20-05-24 16:47	28	614	11-06-24 17:44	150	1142	05-07-24 00:40	11
87	20-05-24 17:47	21	615	11-06-24 18:44	159	1143	05-07-24 01:40	11
88	20-05-24 18:47	7	616	11-06-24 19:44	143	1144	05-07-24 02:40	11
89	20-05-24 19:47	11	617	11-06-24 20:44	181	1145	05-07-24 03:40	18
90	20-05-24 20:47	19	618	11-06-24 21:44	154	1146	05-07-24 04:40	19
91	20-05-24 21:47	21	619	11-06-24 22:44	203	1147	05-07-24 05:40	11
92	20-05-24 22:47	37	620	11-06-24 23:44	221	1148	05-07-24 06:40	14
93	20-05-24 23:47	30	621	12-06-24 00:44	201	1149	05-07-24 07:40	19
94	21-05-24 00:47	23	622	12-06-24 01:44	208	1150	05-07-24 08:40	37
95	21-05-24 01:47	37	623	12-06-24 02:44	223	1151	05-07-24 20:40	5
96	21-05-24 02:47	25	624	12-06-24 03:44	214	1152	05-07-24 21:40	18
97	21-05-24 03:47	35	625	12-06-24 04:44	212	1153	05-07-24 22:40	16
98	21-05-24 04:47	28	626	12-06-24 05:44	199	1154	05-07-24 23:40	14
99	21-05-24 05:47	30	627	12-06-24 06:44	210	1155	06-07-24 00:40	9
100	21-05-24 06:47	14	628	12-06-24 07:44	164	1156	06-07-24 01:40	9
101	21-05-24 07:47	16	629	12-06-24 08:44	181	1157	06-07-24 02:40	16
102	21-05-24 08:47	14	630	12-06-24 09:44	255	1158	06-07-24 03:40	18
103	21-05-24 10:47	7	631	12-06-24 10:44	219	1159	06-07-24 04:40	11
104	21-05-24 11:47	7	632	12-06-24 11:44	196	1160	06-07-24 05:40	19
105	21-05-24 12:47	2	633	12-06-24 12:44	234	1161	06-07-24 06:40	16
106	21-05-24 13:47	23	634	12-06-24 13:44	190	1162	06-07-24 07:40	16
107	21-05-24 14:47	2	635	12-06-24 14:44	199	1163	06-07-24 08:40	33
108	21-05-24 15:47	11	636	12-06-24 15:44	137	1164	06-07-24 09:40	26
109	21-05-24 16:47	2	637	12-06-24 16:44	205	1165	06-07-24 10:40	18
110	21-05-24 17:47	11	638	12-06-24 17:44	168	1166	06-07-24 11:40	9
111	21-05-24 18:47	7	639	12-06-24 18:44	183	1167	06-07-24 12:40	23
112	21-05-24 19:47	9	640	12-06-24 19:44	185	1168	06-07-24 13:40	11
113	21-05-24 20:47	5	641	12-06-24 20:44	227	1169	06-07-24 14:40	16
114	21-05-24 21:47	7	642	12-06-24 21:44	221	1170	06-07-24 15:40	25
115	21-05-24 22:47	14	643	12-06-24 22:44	236	1171	06-07-24 16:40	16
116	21-05-24 23:47	2	644	12-06-24 23:44	242	1172	06-07-24 17:40	19
117	22-05-24 00:47	2	645	13-06-24 00:44	219	1173	06-07-24 18:40	7
118	22-05-24 01:47	2	646	13-06-24 01:44	251	1174	06-07-24 19:40	11
119	22-05-24 02:47	14	647	13-06-24 02:44	277	1175	06-07-24 20:40	14
120	22-05-24 03:47	9	648	13-06-24 03:44	214	1176	06-07-24 21:40	5
121	22-05-24 04:47	11	649	13-06-24 04:44	208	1177	06-07-24 22:40	11

122	22-05-24 05:47	7	650	13-06-24 05:44	240	1178	06-07-24 23:40	11
123	22-05-24 06:47	2	651	13-06-24 06:44	234	1179	07-07-24 00:40	7
124	22-05-24 07:47	5	652	13-06-24 07:44	240	1180	07-07-24 01:40	16
125	22-05-24 08:47	14	653	13-06-24 08:44	221	1181	07-07-24 02:40	19
126	22-05-24 09:47	11	654	13-06-24 09:44	258	1182	07-07-24 03:40	21
127	22-05-24 10:47	16	655	13-06-24 10:44	225	1183	07-07-24 04:40	11
128	22-05-24 11:47	9	656	13-06-24 11:44	221	1184	07-07-24 05:40	30
129	22-05-24 12:47	14	657	13-06-24 12:44	190	1185	07-07-24 06:40	19
130	22-05-24 13:47	5	658	13-06-24 13:44	225	1186	07-07-24 07:40	26
131	22-05-24 14:47	5	659	13-06-24 14:44	185	1187	07-07-24 08:40	30
132	22-05-24 15:47	11	660	13-06-24 15:44	212	1188	07-07-24 09:40	64
133	22-05-24 16:47	5	661	13-06-24 16:44	203	1189	07-07-24 23:40	119
134	22-05-24 17:47	2	662	13-06-24 17:44	194	1190	08-07-24 00:40	47
135	22-05-24 18:47	2	663	13-06-24 18:44	197	1191	08-07-24 01:40	26
136	22-05-24 19:47	9	664	13-06-24 19:44	228	1192	08-07-24 02:40	19
137	22-05-24 20:47	11	665	13-06-24 20:44	190	1193	08-07-24 03:40	18
138	22-05-24 21:47	26	666	13-06-24 21:44	223	1194	08-07-24 04:40	16
139	22-05-24 22:47	5	667	13-06-24 22:44	143	1195	08-07-24 05:40	11
140	22-05-24 23:47	5	668	13-06-24 23:44	35	1196	08-07-24 06:40	19
141	23-05-24 00:47	9	669	14-06-24 00:44	30	1197	08-07-24 07:40	28
142	23-05-24 01:47	7	670	14-06-24 01:44	11	1198	08-07-24 08:40	32
143	23-05-24 02:47	7	671	14-06-24 02:44	7	1199	08-07-24 09:40	33
144	23-05-24 03:47	16	672	14-06-24 03:44	2	1200	08-07-24 10:40	35
145	23-05-24 04:47	21	673	14-06-24 04:44	19	1201	08-07-24 11:40	16
146	23-05-24 05:47	19	674	14-06-24 05:44	11	1202	08-07-24 12:40	11
147	23-05-24 06:47	19	675	14-06-24 06:44	19	1203	08-07-24 13:40	21
148	23-05-24 07:47	14	676	14-06-24 07:44	18	1204	08-07-24 14:40	14
149	23-05-24 08:47	18	677	14-06-24 08:44	11	1205	08-07-24 15:40	11
150	23-05-24 09:47	11	678	14-06-24 09:44	14	1206	08-07-24 16:40	5
151	23-05-24 10:47	23	679	14-06-24 10:44	18	1207	08-07-24 17:40	2
152	23-05-24 11:47	14	680	14-06-24 11:44	25	1208	08-07-24 18:40	2
153	23-05-24 12:47	21	681	14-06-24 12:44	11	1209	08-07-24 19:40	5
154	23-05-24 13:47	11	682	14-06-24 13:44	9	1210	08-07-24 20:40	16
155	23-05-24 14:47	5	683	14-06-24 14:44	30	1211	08-07-24 21:40	16
156	23-05-24 15:47	11	684	14-06-24 15:44	28	1212	08-07-24 22:40	9
157	23-05-24 16:47	7	685	14-06-24 16:44	26	1213	08-07-24 23:40	14
158	23-05-24 17:47	9	686	14-06-24 17:44	18	1214	09-07-24 00:40	25
159	23-05-24 18:47	7	687	14-06-24 18:44	16	1215	09-07-24 01:40	14
160	23-05-24 19:47	11	688	14-06-24 19:44	5	1216	09-07-24 02:40	26
161	23-05-24 20:47	9	689	14-06-24 20:44	5	1217	09-07-24 03:40	26
162	23-05-24 21:47	9	690	14-06-24 21:44	7	1218	09-07-24 04:40	25
163	23-05-24 22:47	11	691	14-06-24 22:44	7	1219	09-07-24 05:40	16
164	23-05-24 23:47	5	692	14-06-24 23:44	11	1220	09-07-24 06:40	25
165	24-05-24 00:47	11	693	15-06-24 00:44	7	1221	09-07-24 07:40	33
166	24-05-24 01:47	11	694	15-06-24 01:44	14	1222	09-07-24 08:40	21
167	24-05-24 02:47	19	695	15-06-24 02:44	11	1223	09-07-24 09:40	35
168	24-05-24 03:47	11	696	15-06-24 03:44	14	1224	09-07-24 10:40	39
169	24-05-24 04:47	9	697	15-06-24 04:44	9	1225	09-07-24 11:40	35
170	24-05-24 05:47	7	698	15-06-24 05:44	2	1226	09-07-24 12:40	16
171	24-05-24 06:47	14	699	15-06-24 06:44	11	1227	09-07-24 13:40	18
172	24-05-24 07:47	9	700	15-06-24 07:44	14	1228	09-07-24 14:40	28
173	24-05-24 08:47	21	701	15-06-24 08:44	16	1229	09-07-24 15:40	28
174	24-05-24 09:47	18	702	15-06-24 09:44	18	1230	09-07-24 16:40	25
175	24-05-24 10:47	16	703	15-06-24 10:44	25	1231	09-07-24 17:40	33
176	24-05-24 11:47	18	704	15-06-24 11:44	11	1232	09-07-24 18:40	16
177	24-05-24 12:47	28	705	15-06-24 12:44	14	1233	09-07-24 19:40	16
178	24-05-24 13:47	14	706	15-06-24 13:44	11	1234	09-07-24 20:40	28
179	24-05-24 14:47	11	707	15-06-24 14:44	11	1235	09-07-24 21:40	5
180	24-05-24 15:47	11	708	15-06-24 15:44	11	1236	09-07-24 22:40	19
181	24-05-24 16:47	7	709	15-06-24 16:44	9	1237	09-07-24 23:40	28
182	24-05-24 17:47	2	710	15-06-24 17:44	19	1238	10-07-24 00:40	25
183	24-05-24 18:47	9	711	15-06-24 18:44	11	1239	10-07-24 01:40	23
184	24-05-24 19:47	25	712	15-06-24 19:44	11	1240	10-07-24 02:40	30

185	24-05-24 20:47	9	713	15-06-24 20:44	5	1241	10-07-24 03:40	26
186	24-05-24 21:47	0	714	15-06-24 21:44	11	1242	10-07-24 04:40	14
187	24-05-24 22:47	11	715	15-06-24 22:44	14	1243	10-07-24 05:40	23
188	24-05-24 23:47	5	716	15-06-24 23:44	18	1244	10-07-24 06:40	23
189	25-05-24 00:47	7	717	16-06-24 00:44	14	1245	10-07-24 07:40	21
190	25-05-24 01:47	14	718	16-06-24 01:44	14	1246	10-07-24 08:40	21
191	25-05-24 02:47	14	719	16-06-24 02:44	18	1247	10-07-24 09:40	19
192	25-05-24 03:47	11	720	16-06-24 03:44	16	1248	10-07-24 19:40	9
193	25-05-24 04:47	18	721	16-06-24 04:44	33	1249	10-07-24 20:40	14
194	25-05-24 05:47	16	722	16-06-24 05:44	11	1250	10-07-24 21:40	2
195	25-05-24 06:47	14	723	16-06-24 06:44	19	1251	10-07-24 22:40	5
196	25-05-24 07:47	11	724	16-06-24 07:44	11	1252	10-07-24 23:40	18
197	25-05-24 08:47	14	725	16-06-24 08:44	23	1253	11-07-24 00:40	14
198	25-05-24 09:47	47	726	16-06-24 09:44	28	1254	11-07-24 01:40	26
199	25-05-24 10:47	74	727	16-06-24 10:44	25	1255	11-07-24 02:40	11
200	25-05-24 11:47	64	728	16-06-24 11:44	44	1256	11-07-24 04:40	7
201	25-05-24 12:47	90	729	16-06-24 12:44	32	1257	11-07-24 05:40	23
202	25-05-24 13:47	76	730	16-06-24 13:44	11	1258	11-07-24 06:40	19
203	25-05-24 14:47	105	731	16-06-24 14:44	11	1259	11-07-24 07:40	21
204	25-05-24 15:47	74	732	16-06-24 15:44	18	1260	11-07-24 08:40	21
205	25-05-24 16:47	87	733	16-06-24 16:44	19	1261	11-07-24 18:40	7
206	25-05-24 17:47	89	734	16-06-24 17:44	25	1262	11-07-24 19:40	5
207	25-05-24 18:47	110	735	16-06-24 18:44	14	1263	11-07-24 20:40	7
208	25-05-24 19:47	99	736	16-06-24 19:44	11	1264	11-07-24 21:40	11
209	25-05-24 20:47	119	737	16-06-24 21:44	16	1265	11-07-24 22:40	5
210	25-05-24 21:47	128	738	16-06-24 22:44	14	1266	11-07-24 23:40	9
211	25-05-24 22:47	137	739	17-06-24 09:44	23	1267	12-07-24 00:40	11
212	25-05-24 23:47	114	740	17-06-24 10:44	11	1268	12-07-24 01:40	11
213	26-05-24 00:47	108	741	17-06-24 11:44	19	1269	12-07-24 02:40	11
214	26-05-24 01:47	144	742	17-06-24 12:44	11	1270	12-07-24 03:40	18
215	26-05-24 02:47	177	743	17-06-24 13:44	11	1271	12-07-24 04:40	23
216	26-05-24 03:47	146	744	17-06-24 14:44	9	1272	12-07-24 05:40	39
217	26-05-24 04:47	159	745	17-06-24 15:44	14	1273	12-07-24 06:40	5
218	26-05-24 05:47	191	746	17-06-24 16:44	18	1274	12-07-24 07:40	11
219	26-05-24 06:47	183	747	17-06-24 17:44	19	1275	12-07-24 08:40	5
220	26-05-24 07:47	166	748	17-06-24 18:44	16	1276	12-07-24 12:40	19
221	26-05-24 08:47	179	749	17-06-24 19:44	9	1277	12-07-24 13:40	7
222	26-05-24 09:47	185	750	17-06-24 20:44	28	1278	12-07-24 14:40	2
223	26-05-24 10:47	190	751	17-06-24 21:44	16	1279	12-07-24 15:40	9
224	26-05-24 11:47	170	752	17-06-24 22:44	5	1280	12-07-24 16:40	9
225	26-05-24 12:47	161	753	17-06-24 23:44	11	1281	12-07-24 17:40	7
226	26-05-24 13:47	154	754	18-06-24 00:44	18	1282	12-07-24 18:40	11
227	26-05-24 14:47	188	755	18-06-24 01:44	19	1283	12-07-24 19:40	5
228	26-05-24 15:47	164	756	18-06-24 02:44	23	1284	12-07-24 20:40	16
229	26-05-24 16:47	205	757	18-06-24 03:44	28	1285	12-07-24 21:40	7
230	26-05-24 17:47	183	758	18-06-24 04:44	21	1286	12-07-24 22:40	7
231	26-05-24 18:47	161	759	18-06-24 05:44	32	1287	12-07-24 23:40	16
232	26-05-24 19:47	170	760	18-06-24 06:44	28	1288	13-07-24 00:40	9
233	26-05-24 20:47	203	761	18-06-24 07:44	18	1289	13-07-24 01:40	16
234	26-05-24 21:47	139	762	18-06-24 08:44	30	1290	13-07-24 02:40	11
235	26-05-24 22:47	159	763	18-06-24 09:44	23	1291	13-07-24 03:40	19
236	26-05-24 23:47	174	764	18-06-24 10:44	28	1292	13-07-24 04:40	14
237	27-05-24 00:47	163	765	18-06-24 11:44	28	1293	13-07-24 05:40	14
238	27-05-24 01:47	196	766	18-06-24 12:44	33	1294	13-07-24 06:40	9
239	27-05-24 02:47	177	767	18-06-24 13:44	25	1295	13-07-24 07:40	11
240	27-05-24 03:47	236	768	18-06-24 14:44	14	1296	13-07-24 08:40	26
241	27-05-24 04:47	185	769	18-06-24 15:44	26	1297	13-07-24 09:40	30
242	27-05-24 05:47	201	770	18-06-24 16:44	25	1298	13-07-24 10:40	28
243	27-05-24 06:47	223	771	18-06-24 17:44	35	1299	13-07-24 11:40	11
244	27-05-24 07:47	218	772	18-06-24 18:44	33	1300	13-07-24 12:40	11
245	27-05-24 08:47	223	773	18-06-24 19:44	23	1301	13-07-24 13:40	2
246	27-05-24 09:47	223	774	18-06-24 20:44	14	1302	13-07-24 14:40	2
247	27-05-24 10:47	199	775	18-06-24 21:44	11	1303	13-07-24 15:40	5

248	27-05-24 11:47	210	776	18-06-24 22:44	11	1304	13-07-24 16:40	9
249	27-05-24 12:47	207	777	18-06-24 23:44	30	1305	13-07-24 17:40	2
250	27-05-24 13:47	214	778	19-06-24 00:44	32	1306	13-07-24 18:40	2
251	27-05-24 14:47	225	779	19-06-24 01:44	25	1307	13-07-24 19:40	7
252	27-05-24 15:47	207	780	19-06-24 02:44	30	1308	13-07-24 20:40	23
253	27-05-24 16:47	203	781	19-06-24 03:44	25	1309	13-07-24 21:40	18
254	27-05-24 17:47	190	782	19-06-24 04:44	32	1310	13-07-24 22:40	14
255	27-05-24 18:47	207	783	19-06-24 05:44	23	1311	13-07-24 23:40	9
256	27-05-24 19:47	225	784	19-06-24 06:44	32	1312	14-07-24 00:40	7
257	27-05-24 20:47	196	785	19-06-24 07:44	21	1313	14-07-24 01:40	16
258	27-05-24 21:47	205	786	19-06-24 08:44	39	1314	14-07-24 02:40	18
259	27-05-24 22:47	221	787	19-06-24 09:44	44	1315	14-07-24 03:40	18
260	27-05-24 23:47	227	788	19-06-24 10:44	32	1316	14-07-24 04:40	9
261	28-05-24 00:47	245	789	19-06-24 11:44	41	1317	14-07-24 05:40	7
262	28-05-24 01:47	245	790	19-06-24 12:44	47	1318	14-07-24 06:40	18
263	28-05-24 02:47	269	791	19-06-24 13:44	39	1319	14-07-24 08:40	23
264	28-05-24 03:47	284	792	19-06-24 14:44	32	1320	14-07-24 09:40	28
265	28-05-24 04:47	238	793	19-06-24 15:44	32	1321	14-07-24 10:40	33
266	28-05-24 05:47	232	794	19-06-24 16:44	32	1322	14-07-24 11:40	23
267	28-05-24 06:47	251	795	19-06-24 17:44	39	1323	14-07-24 12:40	16
268	28-05-24 07:47	268	796	19-06-24 18:44	26	1324	14-07-24 13:40	11
269	28-05-24 08:47	260	797	19-06-24 19:44	25	1325	14-07-24 14:40	19
270	28-05-24 09:47	238	798	19-06-24 20:44	11	1326	14-07-24 15:40	9
271	28-05-24 10:47	271	799	19-06-24 21:44	26	1327	14-07-24 16:40	11
272	28-05-24 11:47	216	800	19-06-24 22:44	16	1328	14-07-24 17:40	11
273	28-05-24 12:47	230	801	19-06-24 23:44	30	1329	14-07-24 18:40	11
274	28-05-24 13:47	247	802	20-06-24 00:44	26	1330	14-07-24 19:40	19
275	28-05-24 14:47	232	803	20-06-24 01:44	14	1331	14-07-24 20:40	11
276	28-05-24 15:47	273	804	20-06-24 02:44	35	1332	14-07-24 21:40	14
277	28-05-24 16:47	225	805	20-06-24 03:44	26	1333	14-07-24 22:40	19
278	28-05-24 17:47	205	806	20-06-24 04:44	39	1334	14-07-24 23:40	16
279	28-05-24 18:47	227	807	20-06-24 05:44	35	1335	15-07-24 00:40	14
280	28-05-24 19:47	255	808	20-06-24 06:44	19	1336	15-07-24 01:40	14
281	28-05-24 20:47	221	809	20-06-24 07:44	42	1337	15-07-24 02:40	23
282	28-05-24 21:47	221	810	20-06-24 08:44	67	1338	15-07-24 03:40	25
283	28-05-24 22:47	225	811	20-06-24 09:44	49	1339	15-07-24 04:40	19
284	28-05-24 23:47	228	812	20-06-24 10:44	39	1340	15-07-24 05:40	16
285	29-05-24 00:47	216	813	20-06-24 11:44	47	1341	15-07-24 06:40	18
286	29-05-24 01:47	218	814	20-06-24 12:44	37	1342	15-07-24 07:40	46
287	29-05-24 02:47	218	815	20-06-24 13:44	41	1343	15-07-24 08:40	23
288	29-05-24 03:47	238	816	20-06-24 14:44	19	1344	15-07-24 09:40	33
289	29-05-24 04:47	225	817	20-06-24 15:44	25	1345	15-07-24 10:40	30
290	29-05-24 05:47	210	818	20-06-24 16:44	49	1346	15-07-24 11:40	25
291	29-05-24 06:47	251	819	20-06-24 17:44	28	1347	15-07-24 12:40	11
292	29-05-24 07:47	212	820	20-06-24 18:44	41	1348	15-07-24 13:40	9
293	29-05-24 08:47	245	821	20-06-24 19:44	28	1349	15-07-24 14:40	18
294	29-05-24 09:47	260	822	20-06-24 20:44	30	1350	15-07-24 15:40	19
295	29-05-24 10:47	210	823	20-06-24 21:44	35	1351	15-07-24 16:40	21
296	29-05-24 11:47	227	824	20-06-24 22:44	30	1352	15-07-24 17:40	18
297	29-05-24 12:47	253	825	20-06-24 23:44	37	1353	15-07-24 18:40	11
298	29-05-24 13:47	258	826	21-06-24 00:44	30	1354	15-07-24 19:40	5
299	29-05-24 14:47	251	827	21-06-24 01:44	33	1355	15-07-24 20:40	21
300	29-05-24 15:47	207	828	21-06-24 02:44	35	1356	15-07-24 21:40	11
301	29-05-24 16:47	183	829	21-06-24 03:44	23	1357	15-07-24 22:40	25
302	29-05-24 17:47	168	830	21-06-24 04:44	39	1358	15-07-24 23:40	11
303	29-05-24 18:47	197	831	21-06-24 05:44	35	1359	16-07-24 00:40	16
304	29-05-24 19:47	183	832	21-06-24 06:44	26	1360	16-07-24 01:40	14
305	29-05-24 20:47	212	833	21-06-24 07:44	30	1361	16-07-24 02:40	21
306	29-05-24 21:47	238	834	21-06-24 08:44	35	1362	16-07-24 03:40	26
307	29-05-24 22:47	228	835	21-06-24 09:44	30	1363	16-07-24 04:40	21
308	29-05-24 23:47	46	836	21-06-24 10:44	19	1364	16-07-24 05:40	14
309	30-05-24 00:47	21	837	21-06-24 11:44	33	1365	16-07-24 06:40	32
310	30-05-24 01:47	33	838	21-06-24 12:44	33	1366	16-07-24 07:40	16

311	30-05-24 02:47	21	839	21-06-24 13:44	23	1367	16-07-24 08:40	37
312	30-05-24 03:47	18	840	21-06-24 14:44	37	1368	16-07-24 09:40	21
313	30-05-24 04:47	25	841	21-06-24 15:44	37	1369	16-07-24 10:40	26
314	30-05-24 05:47	14	842	21-06-24 16:44	33	1370	16-07-24 11:40	23
315	30-05-24 06:47	14	843	21-06-24 17:44	46	1371	16-07-24 12:40	2
316	30-05-24 07:47	16	844	21-06-24 18:44	41	1372	16-07-24 13:40	11
317	30-05-24 08:47	19	845	21-06-24 19:44	32	1373	16-07-24 14:40	14
318	30-05-24 09:47	14	846	21-06-24 20:44	30	1374	16-07-24 15:40	21
319	30-05-24 10:47	28	847	21-06-24 21:44	26	1375	16-07-24 16:40	16
320	30-05-24 11:47	28	848	21-06-24 22:44	21	1376	16-07-24 17:40	5
321	30-05-24 12:47	30	849	21-06-24 23:44	19	1377	16-07-24 18:40	11
322	30-05-24 13:47	16	850	22-06-24 00:44	30	1378	16-07-24 19:40	16
323	30-05-24 14:47	19	851	22-06-24 01:44	37	1379	16-07-24 20:40	14
324	30-05-24 15:47	19	852	22-06-24 02:44	25	1380	16-07-24 21:40	7
325	30-05-24 16:47	18	853	22-06-24 03:44	21	1381	16-07-24 22:40	11
326	30-05-24 17:47	19	854	22-06-24 04:44	11	1382	16-07-24 23:40	14
327	30-05-24 18:47	11	855	22-06-24 05:44	19	1383	17-07-24 00:40	11
328	30-05-24 19:47	21	856	22-06-24 06:44	11	1384	17-07-24 01:40	11
329	30-05-24 20:47	9	857	22-06-24 07:44	9	1385	17-07-24 02:40	19
330	30-05-24 21:47	7	858	22-06-24 08:44	14	1386	17-07-24 03:40	19
331	30-05-24 22:47	11	859	22-06-24 09:44	26	1387	17-07-24 04:40	7
332	30-05-24 23:47	14	860	22-06-24 10:44	11	1388	17-07-24 05:40	16
333	31-05-24 00:47	5	861	22-06-24 11:44	16	1389	17-07-24 06:40	16
334	31-05-24 01:47	9	862	22-06-24 12:44	11	1390	17-07-24 07:40	21
335	31-05-24 02:47	9	863	22-06-24 13:44	18	1391	17-07-24 08:40	19
336	31-05-24 03:47	11	864	22-06-24 14:44	16	1392	17-07-24 09:40	25
337	31-05-24 04:47	2	865	22-06-24 15:44	26	1393	17-07-24 10:40	16
338	31-05-24 05:47	2	866	22-06-24 16:44	28	1394	17-07-24 11:40	30
339	31-05-24 06:47	2	867	22-06-24 17:44	28	1395	17-07-24 12:40	16
340	31-05-24 07:47	11	868	22-06-24 18:44	14	1396	17-07-24 13:40	14
341	31-05-24 08:47	7	869	22-06-24 19:44	7	1397	17-07-24 14:40	7
342	31-05-24 09:47	11	870	22-06-24 20:44	5	1398	17-07-24 15:40	21
343	31-05-24 10:47	11	871	22-06-24 21:44	5	1399	17-07-24 16:40	7
344	31-05-24 11:47	16	872	22-06-24 22:44	5	1400	17-07-24 17:40	14
345	31-05-24 12:47	19	873	22-06-24 23:44	5	1401	17-07-24 18:40	5
346	31-05-24 13:47	9	874	23-06-24 00:44	9	1402	17-07-24 19:40	14
347	31-05-24 14:47	11	875	23-06-24 01:44	2	1403	17-07-24 20:40	5
348	31-05-24 15:47	19	876	23-06-24 02:44	7	1404	17-07-24 21:40	9
349	31-05-24 16:47	9	877	23-06-24 03:44	9	1405	17-07-24 22:40	7
350	31-05-24 17:47	16	878	23-06-24 04:44	5	1406	17-07-24 23:40	18
351	31-05-24 18:47	9	879	23-06-24 05:44	11	1407	18-07-24 00:40	7
352	31-05-24 19:47	5	880	23-06-24 06:44	11	1408	18-07-24 01:40	5
353	31-05-24 20:47	9	881	23-06-24 07:44	9	1409	18-07-24 02:40	7
354	31-05-24 21:47	11	882	23-06-24 08:44	11	1410	18-07-24 03:40	14
355	31-05-24 22:47	11	883	23-06-24 09:44	9	1411	18-07-24 04:40	11
356	31-05-24 23:47	9	884	23-06-24 10:44	9	1412	18-07-24 05:40	14
357	01-06-24 00:47	11	885	23-06-24 11:44	9	1413	18-07-24 06:40	23
358	01-06-24 01:47	9	886	23-06-24 12:44	2	1414	18-07-24 07:40	26
359	01-06-24 02:47	11	887	23-06-24 13:44	7	1415	18-07-24 08:40	19
360	01-06-24 03:47	5	888	23-06-24 14:44	14	1416	18-07-24 09:40	26
361	01-06-24 04:47	16	889	23-06-24 15:44	14	1417	18-07-24 10:40	19
362	01-06-24 05:47	11	890	23-06-24 16:44	14	1418	18-07-24 11:40	30
363	01-06-24 06:47	11	891	23-06-24 17:44	11	1419	18-07-24 12:40	18
364	01-06-24 07:47	5	892	23-06-24 18:44	11	1420	18-07-24 13:40	7
365	01-06-24 08:47	7	893	23-06-24 19:44	2	1421	18-07-24 14:40	2
366	01-06-24 09:47	11	894	23-06-24 20:44	11	1422	18-07-24 15:40	5
367	01-06-24 10:47	2	895	23-06-24 21:44	7	1423	18-07-24 16:40	11
368	01-06-24 11:47	11	896	23-06-24 22:44	14	1424	18-07-24 17:40	16
369	01-06-24 12:45	16	897	23-06-24 23:44	5	1425	18-07-24 18:40	7
370	01-06-24 12:47	11	898	24-06-24 00:44	2	1426	18-07-24 19:40	11
371	01-06-24 13:45	18	899	24-06-24 01:44	2	1427	18-07-24 20:40	11
372	01-06-24 14:45	14	900	24-06-24 02:44	9	1428	18-07-24 21:40	11
373	01-06-24 15:45	18	901	24-06-24 03:44	9	1429	18-07-24 22:40	25

374	01-06-24 16:45	11	902	24-06-24 04:44	7	1430	18-07-24 23:40	16
375	01-06-24 17:45	9	903	24-06-24 05:44	18	1431	19-07-24 00:40	16
376	01-06-24 18:45	7	904	24-06-24 06:44	9	1432	19-07-24 01:40	11
377	01-06-24 19:45	9	905	24-06-24 07:44	18	1433	19-07-24 02:40	16
378	01-06-24 20:45	2	906	24-06-24 08:44	23	1434	19-07-24 03:40	37
379	01-06-24 21:45	9	907	24-06-24 09:44	5	1435	19-07-24 05:40	9
380	01-06-24 22:45	11	908	24-06-24 10:44	9	1436	19-07-24 06:40	26
381	01-06-24 23:45	9	909	24-06-24 11:44	5	1437	19-07-24 07:40	11
382	02-06-24 00:45	26	910	24-06-24 12:44	7	1438	19-07-24 08:40	28
383	02-06-24 01:45	18	911	24-06-24 13:44	9	1439	19-07-24 09:40	16
384	02-06-24 02:45	7	912	24-06-24 14:44	0	1440	19-07-24 10:40	16
385	02-06-24 03:45	16	913	24-06-24 15:44	2	1441	19-07-24 11:40	7
386	02-06-24 04:45	19	914	24-06-24 16:44	2	1442	19-07-24 12:40	11
387	02-06-24 05:45	18	915	24-06-24 18:44	7	1443	19-07-24 13:40	9
388	02-06-24 06:45	11	916	24-06-24 19:44	2	1444	19-07-24 14:40	14
389	02-06-24 07:45	18	917	24-06-24 20:44	2	1445	19-07-24 15:40	7
390	02-06-24 08:45	11	918	24-06-24 21:44	2	1446	19-07-24 16:40	9
391	02-06-24 09:45	16	919	24-06-24 22:44	7	1447	19-07-24 17:40	0
392	02-06-24 10:45	25	920	24-06-24 23:44	7	1448	19-07-24 18:40	5
393	02-06-24 11:45	25	921	25-06-24 00:44	2	1449	19-07-24 19:40	14
394	02-06-24 12:45	30	922	25-06-24 01:44	2	1450	19-07-24 20:40	11
395	02-06-24 13:45	19	923	25-06-24 02:44	18	1451	19-07-24 21:40	18
396	02-06-24 14:45	18	924	25-06-24 03:44	11	1452	19-07-24 22:40	16
397	02-06-24 15:45	11	925	25-06-24 04:44	5	1453	19-07-24 23:40	7
398	02-06-24 16:45	14	926	25-06-24 05:44	11	1454	20-07-24 00:40	11
399	02-06-24 17:45	14	927	25-06-24 06:44	7	1455	20-07-24 01:40	11
400	02-06-24 18:45	11	928	25-06-24 07:44	7	1456	20-07-24 02:40	14
401	02-06-24 19:45	26	929	25-06-24 08:44	18	1457	20-07-24 03:40	16
402	02-06-24 20:45	25	930	25-06-24 09:44	16	1458	20-07-24 04:40	7
403	02-06-24 21:45	11	931	25-06-24 10:44	9	1459	20-07-24 05:40	21
404	02-06-24 22:45	14	932	25-06-24 11:44	7	1460	20-07-24 06:40	16
405	02-06-24 23:45	16	933	25-06-24 12:44	7	1461	20-07-24 07:40	9
406	03-06-24 00:45	2	934	25-06-24 13:44	5	1462	20-07-24 08:40	2
407	03-06-24 01:45	5	935	25-06-24 17:44	7	1463	20-07-24 09:40	0
408	03-06-24 02:45	14	936	25-06-24 18:44	5	1464	20-07-24 10:40	11
409	03-06-24 03:45	16	937	25-06-24 20:44	5	1465	20-07-24 11:40	11
410	03-06-24 04:45	19	938	25-06-24 21:44	0	1466	20-07-24 12:40	0
411	03-06-24 05:45	9	939	25-06-24 22:44	14	1467	20-07-24 13:40	7
412	03-06-24 06:45	30	940	25-06-24 23:44	5	1468	20-07-24 14:40	2
413	03-06-24 07:45	33	941	26-06-24 00:44	14	1469	20-07-24 15:40	2
414	03-06-24 08:45	19	942	26-06-24 01:44	5	1470	20-07-24 16:40	0
415	03-06-24 09:45	26	943	26-06-24 02:44	7	1471	20-07-24 17:40	2
416	03-06-24 10:45	32	944	26-06-24 03:44	16	1472	20-07-24 18:40	2
417	03-06-24 11:45	18	945	26-06-24 04:44	16	1473	20-07-24 19:40	2
418	03-06-24 12:45	16	946	26-06-24 05:44	18	1474	20-07-24 20:40	9
419	03-06-24 13:45	9	947	26-06-24 06:44	26	1475	20-07-24 21:40	11
420	03-06-24 14:45	18	948	26-06-24 07:44	26	1476	20-07-24 22:40	11
421	03-06-24 15:45	19	949	26-06-24 08:44	28	1477	20-07-24 23:40	7
422	03-06-24 16:45	28	950	26-06-24 09:44	32	1478	21-07-24 00:40	11
423	03-06-24 17:45	32	951	26-06-24 10:44	21	1479	21-07-24 01:40	0
424	03-06-24 18:45	32	952	26-06-24 11:44	16	1480	21-07-24 02:40	14
425	03-06-24 19:45	44	953	26-06-24 12:44	14	1481	21-07-24 03:40	11
426	03-06-24 20:45	14	954	26-06-24 13:44	19	1482	21-07-24 04:40	2
427	03-06-24 21:45	7	955	26-06-24 14:44	11	1483	21-07-24 05:40	21
428	03-06-24 22:45	11	956	26-06-24 15:44	16	1484	21-07-24 06:40	19
429	03-06-24 23:45	0	957	26-06-24 16:44	23	1485	21-07-24 07:40	30
430	04-06-24 00:45	5	958	26-06-24 20:44	5	1486	21-07-24 08:40	23
431	04-06-24 01:45	14	959	26-06-24 21:44	7	1487	21-07-24 09:40	16
432	04-06-24 02:45	21	960	26-06-24 22:44	7	1488	21-07-24 10:40	14
433	04-06-24 03:45	21	961	26-06-24 23:44	2	1489	21-07-24 11:40	14
434	04-06-24 04:45	9	962	27-06-24 00:44	2	1490	21-07-24 12:40	2
435	04-06-24 05:45	11	963	27-06-24 01:44	2	1491	21-07-24 13:40	11
436	04-06-24 06:45	11	964	27-06-24 02:44	0	1492	21-07-24 14:40	9

437	04-06-24 07:45	19	965	27-06-24 03:44	2	1493	21-07-24 15:40	7
438	04-06-24 08:45	14	966	27-06-24 04:44	2	1494	21-07-24 16:40	7
439	04-06-24 09:45	23	967	27-06-24 05:44	2	1495	21-07-24 17:40	5
440	04-06-24 10:45	23	968	27-06-24 07:44	18	1496	21-07-24 18:40	5
441	04-06-24 11:45	21	969	27-06-24 08:44	16	1497	21-07-24 19:40	5
442	04-06-24 12:45	26	970	27-06-24 09:44	21	1498	21-07-24 20:40	5
443	04-06-24 13:45	26	971	27-06-24 10:44	14	1499	21-07-24 21:40	2
444	04-06-24 14:45	25	972	27-06-24 11:44	14	1500	21-07-24 22:40	14
445	04-06-24 15:45	19	973	27-06-24 12:44	5	1501	21-07-24 23:40	11
446	04-06-24 16:45	30	974	27-06-24 13:44	7	1502	22-07-24 00:40	7
447	04-06-24 17:45	14	975	27-06-24 14:44	11	1503	22-07-24 01:40	11
448	04-06-24 18:45	42	976	27-06-24 20:44	7	1504	22-07-24 02:40	11
449	04-06-24 19:45	23	977	27-06-24 21:44	9	1505	22-07-24 03:40	11
450	04-06-24 20:45	11	978	27-06-24 22:44	2	1506	22-07-24 04:40	14
451	04-06-24 21:45	7	979	27-06-24 23:44	7	1507	22-07-24 05:40	16
452	04-06-24 22:45	16	980	28-06-24 00:44	11	1508	22-07-24 06:40	11
453	04-06-24 23:45	14	981	28-06-24 01:44	11	1509	22-07-24 07:40	16
454	05-06-24 00:45	19	982	28-06-24 02:44	2	1510	22-07-24 08:40	11
455	05-06-24 01:45	11	983	28-06-24 03:44	11	1511	22-07-24 09:40	19
456	05-06-24 02:45	2	984	28-06-24 04:44	11	1512	22-07-24 10:40	11
457	05-06-24 03:45	11	985	28-06-24 05:44	16	1513	22-07-24 11:40	18
458	05-06-24 04:45	11	986	28-06-24 06:44	19	1514	22-07-24 12:40	16
459	05-06-24 05:45	19	987	28-06-24 07:44	14	1515	22-07-24 13:40	25
460	05-06-24 06:45	11	988	28-06-24 08:44	21	1516	22-07-24 14:40	7
461	05-06-24 07:45	14	989	28-06-24 09:44	30	1517	22-07-24 15:40	11
462	05-06-24 08:45	32	990	28-06-24 10:44	16	1518	22-07-24 16:40	18
463	05-06-24 09:45	16	991	28-06-24 11:44	39	1519	22-07-24 17:40	11
464	05-06-24 10:45	14	992	28-06-24 12:44	14	1520	22-07-24 18:40	18
465	05-06-24 11:45	14	993	28-06-24 13:44	5	1521	22-07-24 19:40	9
466	05-06-24 13:44	5	994	28-06-24 15:44	7	1522	22-07-24 20:40	19
467	05-06-24 14:44	7	995	28-06-24 16:44	9	1523	22-07-24 21:40	14
468	05-06-24 15:44	14	996	28-06-24 17:44	11	1524	22-07-24 22:40	14
469	05-06-24 16:44	11	997	28-06-24 18:44	14	1525	22-07-24 23:40	11
470	05-06-24 17:44	16	998	28-06-24 20:44	14	1526	23-07-24 00:40	16
471	05-06-24 18:44	11	999	28-06-24 21:44	21	1527	23-07-24 01:40	14
472	05-06-24 19:44	18	1000	28-06-24 22:44	18	1528	23-07-24 02:40	11
473	05-06-24 20:44	11	1001	28-06-24 23:44	25	1529	23-07-24 03:40	9
474	05-06-24 21:44	11	1002	29-06-24 00:44	18	1530	23-07-24 04:40	7
475	05-06-24 22:44	7	1003	29-06-24 01:44	28	1531	23-07-24 05:40	0
476	05-06-24 23:44	19	1004	29-06-24 02:44	18	1532	23-07-24 06:40	16
477	06-06-24 00:44	5	1005	29-06-24 03:44	14	1533	23-07-24 07:40	5
478	06-06-24 01:44	14	1006	29-06-24 04:44	18	1534	23-07-24 08:40	5
479	06-06-24 02:44	16	1007	29-06-24 05:44	19	1535	23-07-24 09:40	9
480	06-06-24 03:44	33	1008	29-06-24 06:44	16	1536	23-07-24 10:40	16
481	06-06-24 04:44	37	1009	29-06-24 07:44	21	1537	23-07-24 11:40	0
482	06-06-24 05:44	23	1010	29-06-24 08:44	23	1538	23-07-24 12:40	11
483	06-06-24 06:44	18	1011	29-06-24 09:44	18	1539	23-07-24 13:40	5
484	06-06-24 07:44	18	1012	29-06-24 10:44	11	1540	23-07-24 14:40	11
485	06-06-24 08:44	21	1013	29-06-24 11:44	18	1541	23-07-24 15:40	14
486	06-06-24 09:44	35	1014	29-06-24 12:44	9	1542	23-07-24 16:40	23
487	06-06-24 10:44	35	1015	29-06-24 13:44	11	1543	23-07-24 17:40	7
488	06-06-24 11:44	25	1016	29-06-24 14:44	11	1544	23-07-24 18:40	14
489	06-06-24 12:44	9	1017	29-06-24 20:44	14	1545	23-07-24 19:40	0
490	06-06-24 13:44	16	1018	29-06-24 21:44	14	1546	23-07-24 20:40	11
491	06-06-24 14:44	9	1019	29-06-24 22:44	21	1547	23-07-24 21:40	11
492	06-06-24 15:44	19	1020	29-06-24 23:44	14	1548	23-07-24 22:40	7
493	06-06-24 16:44	19	1021	30-06-24 00:44	18	1549	23-07-24 23:40	9
494	06-06-24 17:44	25	1022	30-06-24 01:44	23	1550	24-07-24 00:40	11
495	06-06-24 18:44	35	1023	30-06-24 02:44	19	1551	24-07-24 01:40	16
496	06-06-24 19:44	41	1024	30-06-24 03:44	2	1552	24-07-24 02:40	19
497	06-06-24 20:44	25	1025	30-06-24 04:44	16	1553	24-07-24 03:40	16
498	06-06-24 21:44	23	1026	30-06-24 05:44	11	1554	24-07-24 04:40	23
499	06-06-24 22:44	19	1027	30-06-24 06:44	16	1555	24-07-24 05:40	16

500	06-06-24 23:44	18	1028	30-06-24 07:44	11	1556	24-07-24 06:40	23
501	07-06-24 00:44	21	1029	30-06-24 08:44	21	1557	24-07-24 07:40	16
502	07-06-24 01:44	19	1030	30-06-24 09:44	30	1558	24-07-24 08:40	19
503	07-06-24 02:44	18	1031	30-06-24 10:44	39	1559	24-07-24 09:40	18
504	07-06-24 03:44	30	1032	30-06-24 11:44	32	1560	24-07-24 10:40	11
505	07-06-24 04:44	28	1033	30-06-24 12:44	33	1561	24-07-24 11:40	2
506	07-06-24 05:44	21	1034	30-06-24 13:44	28	1562	24-07-24 12:40	9
507	07-06-24 06:44	18	1035	30-06-24 14:44	21	1563	24-07-24 13:40	5
508	07-06-24 07:44	23	1036	30-06-24 15:44	25	1564	24-07-24 14:40	9
509	07-06-24 08:44	14	1037	30-06-24 16:44	37	1565	24-07-24 15:40	11
510	07-06-24 09:44	23	1038	30-06-24 17:44	41	1566	24-07-24 16:40	9
511	07-06-24 10:44	33	1039	30-06-24 18:44	25	1567	24-07-24 17:40	23
512	07-06-24 11:44	23	1040	30-06-24 19:44	19	1568	24-07-24 18:40	11
513	07-06-24 12:44	25	1041	30-06-24 20:44	16	1569	24-07-24 20:40	9
514	07-06-24 13:44	25	1042	30-06-24 21:44	19	1570	24-07-24 21:40	16
515	07-06-24 14:44	25	1043	30-06-24 22:44	5	1571	24-07-24 22:40	9
516	07-06-24 15:44	42	1044	30-06-24 23:44	11	1572	24-07-24 23:40	11
517	07-06-24 16:44	57	1045	01-07-24 00:44	2	1573	25-07-24 00:40	9
518	07-06-24 17:44	42	1046	01-07-24 01:44	11	1574	25-07-24 01:40	14
519	07-06-24 18:44	37	1047	01-07-24 02:44	18	1575	25-07-24 02:40	2
520	07-06-24 19:44	35	1048	01-07-24 03:44	11	1576	25-07-24 03:40	16
521	07-06-24 20:44	21	1049	01-07-24 04:44	7	1577	25-07-24 04:40	21
522	07-06-24 21:44	19	1050	01-07-24 05:44	11	1578	25-07-24 05:40	18
523	07-06-24 22:44	23	1051	01-07-24 06:44	16	1579	25-07-24 06:40	5
524	07-06-24 23:44	30	1052	01-07-24 07:44	11	1580	25-07-24 07:40	33
525	08-06-24 00:44	11	1053	01-07-24 08:44	5	1581	25-07-24 08:40	33
526	08-06-24 01:44	9	1054	01-07-24 09:44	19	1582	25-07-24 09:40	16
527	08-06-24 02:44	28	1055	01-07-24 10:44	19	1583	25-07-24 10:40	11
528	08-06-24 03:44	21	1056	01-07-24 11:44	16			

*Proizvođač je deklarirao mjeru nesigurnosti 10%