

Projekt „Procjena i smanjenje radona u crnogorskim školama i vrtićima“

Vrijeme realizacije projekta je 3 godine, počev od 1. januara 2016. godine.

Nosioci projekta su: Ministarstvo održivog razvoja i turizma, Ministarstvo prosvjete, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti i Agencija za zaštitu životne sredine.

Krajnji cilj ovog projekta je smanjenje izlaganja radioaktivnom gasu radonu u svim objektima obrazovno-vaspitnih ustanova Crne Gore do fakultetskog nivoa. Shodno tome, u svim radnim prostorijama u prizemlju i suterenu ovih objekata biće postavljeni detektori radona. Detektori su u obliku plastičnih kutija prečnika 6 cm (kao na slici), nemaju metalnih ili elektronskih dijelova, ne emituju zračenje i potpuno su neškodljivi jer nemaju bilo kakvog uticaja na ljude, okolinu i na kvalitet vazduha.

Mjerenje radona će trajati cijelu školsku godinu, neprekidno od septembra 2016. do sredine juna 2017. godine.

Ovim mjerenjem će se dobiti srednja koncentracija aktivnosti radona u vazduhu prostorije tokom školske godine, na osnovu koje će se planirati eventualne neophodne aktivnosti i mere za smanjenje te koncentracije u cilju zaštite zdravlja djece, učenika i zaposlenih u obrazovno-vaspitnom sistemu Crne Gore.

Cilj projekta je i jačanje obrazovnih kapaciteta, kadrovskih i institucionalnih, za mjerenja ne samo radona već i drugih izvora jonizujućeg zračenja u životnoj sredini. Oko 30 aktivnih monitora radona i isto toliko Gajger-Milerovih brojača gama i beta zračenja biće dodijeljeno školama, bar po jednoj u svakoj od opština u Crnoj Gori, a nekoliko srednjih škola će dobiti i sofisticirane uređaje za mjerenje radona u vazduhu i u zemljištu. Nastavni kadar, prevashodno profesori fizike, biće obučen za korišćenje ovih uređaja, kao i za edukaciju učenika o radioaktivnosti i mjerenjima jonizujućih zračenja iz prirodnih izvora.

Fizičke i hemijske osobine radona

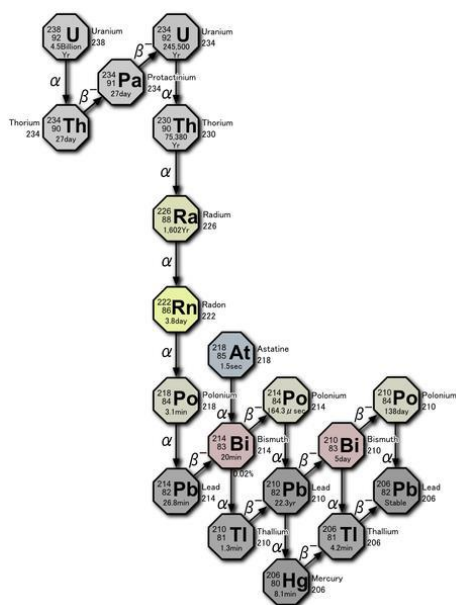
Radon je osamdeset šesti element u Periodnom sistemu elemenata. To je radioaktivan gas bez boje, mirisa i ukusa. Čovjek ga ne može osjetiti svojim čulima. Njegovo prisustvo može se ustanoviti i kvantifikovati samo instrumentima i to na pouzdan i relativno jednostavan način. Pripada plemenitim/inertnim gasovima.

Radon je član prirodnih radioaktivnih nizova: uran-radijumskog, torijumskog i uran-aktinijumskog. On je u ovim nizovima raspada jedini gas. U svakom od ova tri radioaktivna niza nalazi se po jedan izotop radona (^{222}Rn , ^{220}Rn i ^{219}Rn , respektivno), i svaki od njih je α -radioaktivan (vidjeti Tabelu 1). Međutim, uobičajeno se pod radonom podrazumijeva izotop ^{222}Rn , iz uran-radijumskog niza, koji od sva ova tri izotopa ima najduži period poluraspada (3.82 dana), koji se raspada emisijom alfa čestica energije 5.5 MeV i stvara metalični polonijum. Sa dozimetrijskog aspekta, ovaj izotop je najznačajniji.

Uran-radijumski niz počinje uranijumom-238 (^{238}U , period poluraspada $4.47 \cdot 10^9$ godina), a završava se stabilnim olovom ^{206}Pb , i u njemu se javlja 18 radioizotopa, koji se transformišu putem 13 α - i 11 β -raspada, pri čemu se izotop ^{222}Rn , tj. radon, javlja kao rezultat α -raspada ^{226}Ra (period poluraspada 1600 godina), koji nastaje usljed α -raspada ^{230}Th .



Na slici 1. predstavljena je šema niza raspada uranijuma–238.



Slika 1. Šematski prikaz radioaktivnog niza, prikazanog zajedno sa radonom i sa njegovim potomcima. Strelice koje upućuju koso na gore iz mnogougaonika su beta raspad, a koje idu na dolje su alfa raspad. Brojevi koji su u mnogougaonicima su periodi poluraspada.

Izotop	Naziv	Period poluraspada	Energija emitovanih α -čestica (MeV)
^{219}Rn	aktinon	3.96 s	6.819 6.553
^{220}Rn	toron	55.6 s	6.288
^{222}Rn	radon	3.82 d	5.490

Tabela 1. Osnovne karakteristike izotopa radona

Mjerenje radona

Osobine radioizotopa (vrijeme poluraspada, vrsta zračenja, energije emitovanih zraka i slično) s jedne strane određuju njihovo ponašanje, a s druge strane utiču i na mjerne tehnike kojima se ti izotopi mjere. Činjenica da je radon radioaktivan pogoduje mjerenju njegovih koncentracija. Istovremeno, s obzirom na vezu sa uranijumom, pogodan je za „traganje“ za rudom uranijuma, kao i za praćenje geofizičkih procesa koji rezultiraju kretanjem gasa (predviđanje erupcija vulkana, zemljotresa), s obzirom na njegovu hemijsku inertnost. Mjerenje izotopa radona zasnovano je na registraciji α -zračenja ili α , β i γ -zračenja njihovih potomaka. Koriste se različiti tipovi detektora, kao što su jonizacione komore, scintilacioni detektori, proporcionalni gasni brojači, poluprovodnički detektori sa površinskom barijerom, Ge(Li) detektori, detektori tragova, termoluminiscentni detektori. Metodi mjerenja koncentracija radona najčešće se dijele prema dužini ekspozicije – u minutima (ekspresni metod), mjesecima (integralni), danima („kompromisno“, tj. srednje rješenje).

Za procjenu radijacionog zdravstvenog rizika, odnosno štetnog efekta od radona i njegovih potomaka, neophodno je odrediti srednju vrijednost koncentracije radona na nekoj lokaciji u dužem periodu, ali je nekada potrebno i odrediti koncentraciju radona na nekoj lokaciji u datom trenutku (ekspresni metod) – za šta se koriste tzv. aktivni detektori/dozimetri.



Mjerenje radona pomoću detektora tragova alfa-čestica

Mjerenje radona detektorima tragova alfa-čestica je dugovremenska (integraciona) pasivna metoda mjerenja.

Princip rada ovih detektora radona se sastoji iz nekoliko sljedećih koraka:

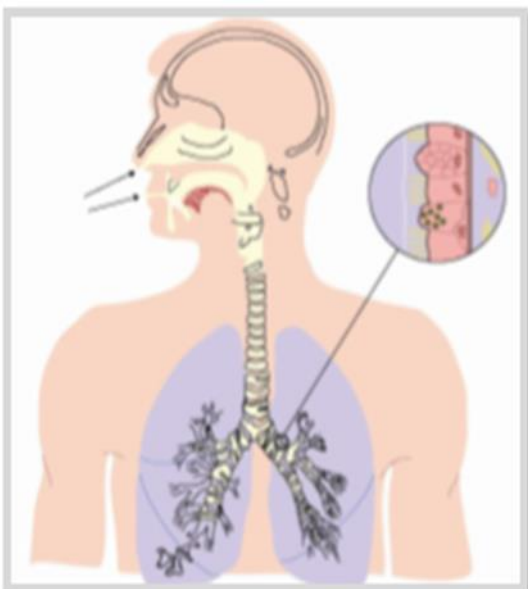
- Detektor se izlaže zračenju koje potiče od radona,
- Kao posljedica toga zračenja na detektoru se formiraju latentni tragovi,
- Hemijski se nagrizaju detektori i latentni tragovi postaju vidljivi mikroskopom,
- Brojanjem tragova pomoću mikroskopa određujemo njihovu gustinu i na kraju informaciju o koncentraciji radona.

Izlaganje alfa trag-detektora se vrši više od jednog mjeseca, u našem slučaju mjerenja radona u školama oko 9 mjeseci. Tokom toga perioda alfa čestice ostavljaju latentne tragove na detektoru, usljed jonizacije. Da bi oni bili vidljivi vrši se hemijsko nagrizanje detektora. Za nagrizanje se najčešće koristi vodeni rastvor natrijum hidroksida NaOH, molarnosti od 2 do 6 M, u termostatanom kupatilu, na temperaturi u opsegu od 40°C do 90°C. Nagrizanje traje nekoliko časova (2-6). Nakon nagrizanja detektori se ispiraju u destilovanoj vodi i suše se. Nakon toga su spremni za mikroskopsko očitavanje.

Zdravstveni rizik od radona

Kao što je rečeno radon nastaje radioaktivnim raspadom uranijuma, koji je prisutan u stijenama, zemljištu i vodi, odakle difuzijom i strujanjem dospijeva u vazduh sa kojim ga udišemo. Gas radon, iako je radioaktivan, sam po sebi nije naročito opasan, jer kako ga udišemo tako lako ga i izdišemo. Rizik raka pluća donose produkti radioaktivnog raspada radona (njegovi potomci), izotopi polonijuma - ^{218}Po i ^{214}Po , koji pripadaju metalničnim elementima. Udahnuti vazduh ostaje u plućima kraće od jednog minuta. Atomi gasa radona lebde u plućima, pa kako njihova jezgra imaju relativno dugo vrijeme poluživota, 3.8 dana, u najvećem broju bivaju izdahnuti prije nego što stignu da se raspadnu. Oni malobrojni atomi radona čija se jezgra ipak raspadnu tokom kratkog boravka u plućima, radioaktivnim raspadom emituju alfa čestice koje zbog malog dometa često ne uspiju da stignu do tkiva.

Međutim, atomi polonijuma, nastali radioaktivnim raspadom radona, koji nijesu gasoviti



već su metalični, lijepe se za aerosole, čestice prašine, čađi iz duvanskog dima i slično i oni se na plućnom tkivu talože, tj. ostaju zajedno sa njima duže od 30 minuta. To je više nego dovoljno vremena da se polonijum raspadne, pri čemu se emituju alfa čestice koje su u blizini osjetljivih ćelija tkiva. Zbog svoje velike jonizacione moći, alfa čestice čestice su izuzetno opasne po biološko tkivo i mogu dovesti do promjena na ćelijskom i molekularnom nivou u tkivu pluća, što povećava rizik obolijevanja od raka pluća. Promjene izazvane jonizujućim zračenjem su izraženije u ranim

životnim fazama, što ukazuje na poseban zdravstveni rizik kod djece.

Rizik od dobijanja raka pluća usljed udisanja radona zavisi uglavnom od tri faktora: od koncentracije radona, od trajanja izloženosti radonu i od navike pušenja. Ukoliko su ti faktori veći utoliko je veći i rizik od radona po zdravlje ljudi.

Boraveći u prostorijama sa visokom koncentracijom radona, mi zapravo udišemo opasan vazduh. Vremenom, mjesecima, godinama, normalne ćelije na plućima dobijaju grešku i mutacijom postaju maligne. Stalnom izloženošću radonu, organizam takve pojave ne može da savlada i tako nastaje karcinom pluća.

Rečeno je da radon raspadom emituje α - česticu energije koja je dovoljna da se izvrši jonizacija nekoliko hiljada atoma. Zbog energije emitovane α -čestice, radon u tkivu živih bića vrši jonizaciju oko trideset hiljada atoma u ćeliji, što ima najveći efekat na tkiva respiratornog sistema kod čovjeka. Uticaj jonizovanih atoma na funkciju ćelije je veliki i ukoliko je veći broj atoma u ćeliji jonizovan, dolazi do disbalansa u pojedinim funkcijama ćelija. Manifestovanje negativnih zdravstvenih efekata kod čovjeka, usled jonizacije atoma u ćelijama, je pojava malignih oboljenja, upravo usled promjena u načinu funkcionisanja grupa ćelija.

Iako je radon često spomenut kao glavni razlog izloženosti stanovnika radiološkom dejstvu, stvarnu radiološku štetu prave njegovi kratkoživeći potomci i zbog toga je potrebno poznavati ponašanje radonovih potomaka u atmosferi. Oko 80% novoformiranih potomaka je pozitivno naelektrisano i hemijski su veoma aktivni. Potomci posle raspada postoje kao samostalni mobilni joni ili atomi, a nakon izgubljene kinetičke energije pripajaju se molekulima vodene pare, kiseonika i drugih gasova - tj. pripajaju se prirodnim aerosolima. Nepriopjeni potomci ostaju kao slobodni klasteri i lebde u vazduhu. Stalnim sudaranjima slobodnih klastera dolazi do njihovog ponovnog spajanja i povećavanja, a takođe i do raspadanja i do taloženja. Inhalacijom ovih aerosola, potomci radona mogu da se talože na površinu pluća. Radioaktivni aerosoli sa dijametrima u intervalu od 0,1 do 10 nm najbolje se talože u ljudskim plućima. Aerosoli većih dimenzija se zadržavaju u nosu i usnoj duplji, ne dopirući do osjetljivog respiratornog epitela bronhijalnog stabla. Vjerovatnoća taloženja potomaka u ljudskim plućima je znatno veća za slobodne nego za pripojene klasterne. Skoro svi radonovi potomci su kratkoživeći: 0,2 ms – 26,8 min, a među njima najvažniji ^{218}Po , ^{214}Po i ^{210}Po su alfa emiteri. ^{218}Po i ^{214}Po sa energijama alfa čestica od 6.00 MeV i 7.69 MeV respektivno, su najjači kontaminanti u plućima, jer sadrže najviše energije u emitovanim alfa česticama, pa vrše intenzivnu jonizaciju živih ćelija.

Po nekim istraživanjima utvrđeno je da radon uzrokuje oko 20 000 slučajeva oboljelih od raka pluća svake godine, to je 9% od ukupnih oboljenja i umiranja od raka pluća, i oko 2 % od oboljenja raka generalno u EU. Efektivna ekvivalentna doza kojoj su izložena pluća šestogodišnjeg djeteta je oko 2,5 puta veća nego odgovarajuća doza kod odraslog tridesetogodišnjeg čovjeka. U prosjeku starosna grupa do deset godina prima efektivnu ekvivalentnu dozu 1,5 - 2 puta veću nego odrasli.

Svjetska zdravstvena organizacija smatra udisanje radona za ozbiljan zdravstveni problem, tako da je radon proglasila prvim uzročnikom raka pluća kod nepušača, a drugim kod pušača. Po njenim procjenama radon je odgovoran za 3-14% svih slučajeva obolijevanja od raka pluća. Rizik da se dobije rak pluća od radona kod aktivnih pušača je 25 puta veći nego kod osoba koje nikada nijesu pušile. Da bi jonizacijom mutirana ćelija pluća dobila rak, ona mora biti još jednom oštećena, a to čine razne hemikalije kakvih ima u duvanskom dimu. Tu je prva veza između radona i pušenja u odnosu na povećanje rizika za dobijanje raka pluća. Kako se u duvanskom dimu u plućima nalazi ogroman broj čestica čađi, za koje se vezuju atomi polonijuma, eto i druge veze između rizika po zdravlje od radona i pušenja.

Važno je naglasiti da do danas nije ustanovljeno da radon može biti uzročnik drugih oboljenja disajnih puteva, niti drugih oblika obolijevanja od raka.

Izvori radona u životnoj sredini i u zgradama

Koncentracija aktivnosti radona u vazduhu koji udišemo na otvorenom prostoru je veoma niska, oko 10 Bq/m^3 i rizik obolijevanja usljed nje je zanemarljiv. Međutim, u unutrašnjim prostorijama naših domova, radnim prostorijama i samim tim i u prostorijama objekata obrazovno-vaspitnih ustanova, nivo koncentracije aktivnosti radona može biti mnogostruko veći. To zavisi od karakteristika tla na kojem se objekat nalazi, njegove građevinske konstrukcije i materijala od kojeg je napravljen, ali i od navika onih koji u objektu borave. Kako prosječan stanovnik Crne Gore dnevno provede više vremena u zatvorenim prostorima nego na otvorenom, radijacioni rizik od prirodnog radioaktivnog gasa radona se javlja zbog njegovog udisanja u stanovima i radnim prostorijama.

Glavni izvor radona u radnim prostorijama, kao i našim domovima, je tlo ispod zgrade, tj. prirodni zemni gas, u kojem je i radon, koji usljed razlike pritiska u tlu i iznad njega struji naviše, brzinom koja zavisi od poroznosti zemljišta i meteoroloških uslova (temperature, atmosferskog pritiska, brzine vjetra i pravca duvanja). Kroz pukotine u podovima zgrada, kroz šupljine oko vodovodnih i kanalizacionih cijevi i električnih kablova, radon ulazi u zgradu i tu se, zarobljen zidovima i zatvorenim prozorima nagomilava, što dovodi do povećane koncentracije njegove aktivnosti u vazduhu u prostoriji, koja može narasti do više stotina pa i hiljada Bq/m^3 . Dotok radona iz tla u zgradu je utoliko veći ukoliko je razlika pritiska u tlu i u zgradi veća, što je naročito izraženo zimi u periodu grijanja stanova i radnih prostorija.

Radon u unutrašnjost zgrada dospijeva i difuzijom iz građevinskih materijala i iz vode koja se koristi u objektu, kao i iz atmosfere kroz prozore i putem ventilacionih otvora, ali su ovi izvori radona u zgradama u Crnoj Gori zanemarivi u poređenju sa tlom ispod zgrade kao izvorom radona.

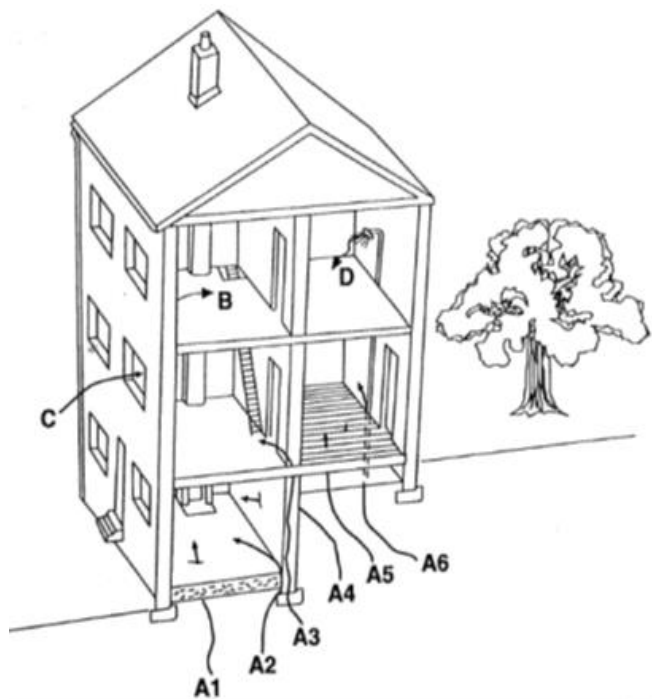
Povećana koncentracija radona u vazduhu može se zato očekivati u svim boravišnim i radnim prostorijama, ali naročito u onima koje se nalaze u suterenu i prizemlju zgrade. Koncentracija radona u zgradama brzo se smanjuje od prizemlja ka višim spratovima, gdje potiče uglavnom od građevinskog materijala i kod nas je na nivou nekoliko desetina Bq/m^3 i zato bezopasna.

Najveću koncentraciju uranijuma imaju granitne i vulkanske stijene, kao i aluminijumski škriljci, tako da se u tlu nad ovim stijenama očekuju i povećane koncentracije radona. Crnu Goru, međutim, karakterišu krečnjačke stijene, koje sadrže veoma malo uranijuma, ali iskustva u svijetu pokazuju da se na terenima u čijoj se osnovi nalaze takve stijene ipak konstatuju povećane koncentracije radona u zgradama, stoga što krečnjaci obiluju lomovima i pukotinama te radon kroz njih olakšano struji iz dubine naviše do površine tla.

Pored koncentracije uranijuma u tlu ispod zgrade i poroznosti tla, značajni faktori koji utiču na koncentraciju radona u vazduhu u zgradama su, tip konstrukcije i kvalitet gradnje zgrade, posebno materijal i kvalitet podne ploče u kontaktu sa tlom, zatim klimatski uslovi, kao i ventilacija cjelokupnog objekta ili pojedinih prostorija.

Moderni zahtjevi konstrukcije zgrada i način života doprinose povećanju naše izloženosti opasnosti od radona. U cilju uštede energije na zagrijavanje i hlađenje zgrada, prozori i vrata se rade od eloksirane bravarije koja dobro sprečava ulazak spoljašnjeg vazduha u prostoriju, što dovodi do nagomilavanja radona u prostoriji jer ne može iz nje da izađe van. S druge strane,

savremeni način života vodi ka tome da čovjek sve duže boravi u zatvorenom prostoru, u stanu i na poslu, što ga daleko više izlaže radonu nego kad bi više boravio na otvorenom prostoru.



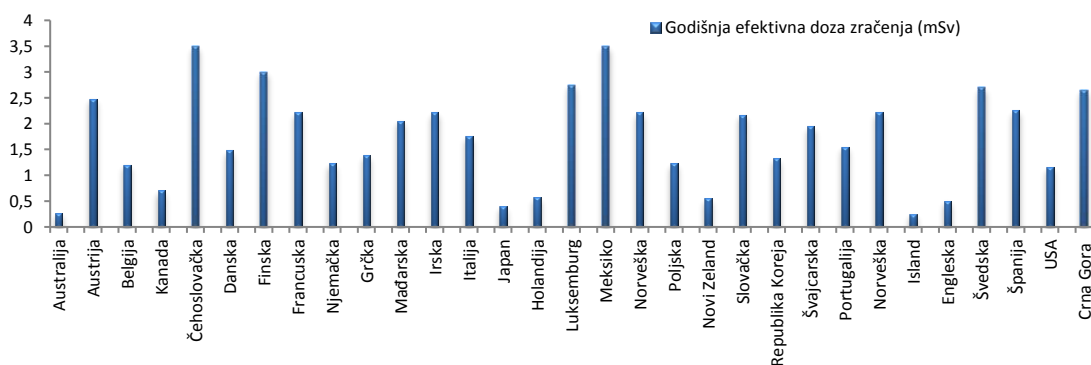
Koncentracija radona u prostoriji jako varira kako tokom dana tako i sa godišnjim dobom. Tokom dana je obično najveća rano ujutro a najmanja u popodnevним satima, dok je sezonski obično najmanja tokom ljeta a najveća zimi jer je tokom sezone grijanja prostorija najveća razlika pritiska u tlu i u prostoriji. Zbog ovih činjenica, za procjenu uticaja radona na zdravlje čovjeka mjerodavna je jedino srednja godišnja koncentracija radona u prostoriji u kojoj on boravi.

Slika 4. Prodor radona kroz/iz: A1, A4, A5, A6-pukotina; A2-spojeva, A3-šupljina u zidovima; B- građevinskih materijala; C-spoljašnjeg vazduha; D-vode.

Procjena godišnje efektivne doze zračenja kao mjere radiološke opterećenosti stanovništva od izlaganja radonu u zatvorenim prostorijama

Radon u vazduhu i kratkoživeći produkti njegovog radioaktivnog raspada daju najznačajniji doprinos ukupnoj izloženosti ljudi prirodnim izvorima jonizujućeg zračenja. Da bi bolje razumjeli značaj koji ima radon, neophodno je istaći činjenicu, koja važi kako globalno za čitav svijet tako i posebno za Crnu Goru, da radon doprinosi sa oko 70% ukupnoj dozi koju stanovništvo prima od svih prirodnih izvora jonizujućeg zračenja.

Stanovnik Crne Gore usljed izlaganja radonu u zatvorenim boravišnim prostorijama dobija godišnje 2,65 mSv (grafikon 1), što je skoro 70% od ukupno primljene efektivne doze koja je posledica izlaganja jonizujućem zračenju prirodnog porijekla.



Grafikon 1: Godišnja efektivna doza zračenja primljena od strane odraslog stanovnika usljed izlaganja radonu u zatvorenim prostorijama, izražena u mSv. Vrijednosti su prikazane i za većinu evropskih (uključujući Crnu Goru) kao i za pojedine neevropske zemlje.

Dominatni prirodni izvori jonizujućeg zračenja su kosmičko zračenje i Zemljina kora, odnosno nizovi radioaktivnih raspada uranijuma (^{238}U i ^{235}U) i torijuma (^{232}Th) i kalijum ^{40}K u njoj.

Pored prirodnih, postoje i vještački (tehneni) izvori jonizujućeg zračenja. Najzastupljeniji su kod medicinskog ozračavanja u dijagnostičke i terapijske svrhe. Njihov doprinos ukupnoj dozi zračenja koju prima stanovništvo može široko da varira u zavisnosti od medicinske prakse u datoj zemlji.

Stvarni rizik od različitih tipova zračenja i njihova percepcija u javnosti

Na sljedećoj skici predstavljen je, prema nalazima Svjetske zdravstvene organizacije, stvarni rizik od različitih tipova zračenja i njegova percepcija u javnosti. Vidi se da je stvarni rizik po zdravlje najveći od radona a najmanji od elektromagnetnog polja, dok je nažalost, u pogrešnom viđenju javnosti to sasvim obrnuto.

Stvarni rizik po čovjeka:	Percepcija rizika u javnosti:
Radon UV X EM 	Radon UV X EM 

UV: ultravioletni zraci
 X : X-zraci
 EM: elektromagnetno polje

Kako smanjiti koncentraciju radona u prostoriji?

Češće provjetravanje prostorija na najjednostavniji način značajno smanjuje količinu radona koji se udiše u prostoriji jer svježiji zrak koji ima veoma nisku koncentraciju radona (oko 10 Bq/m³) tako ulazi u prostoriju i istiskuje iz nje vazduh sa povećanom koncentracijom radona. Stoga je potrebno svakog dana otvarati prozore i provjetravati sve učionice i kancelarije u prizemlju i suterenu u kojima se boravi više od nekoliko sati.

Međutim, konačno rješenje problema u zgradama u kojima mjerenja budu pokazala da postoje visoke koncentracije radona je u adekvatnoj sanaciji prostorija. Osnovne metode remedijacije su ugradnja efikasnog ventilacionog sistema koji bi uticao na smanjenje koncentracija aktivnosti radona u zatvorenim prostorijama kao i povećanje nepropusnosti za radon podnih ploča korišćenjem izolacionih materijala u cilju smanjenja dotoka radona iz zemljišta u boravišne prostorije.

Nacionalni referentni nivo radona

Ne postoji nivo koncentracije gasa radona u vazduhu ispod koje on ne predstavlja rizik po zdravlje čovjeka. Povećanjem njegove koncentracije u vazduhu koji udišemo, kao i vremena našeg boravka u takvim prostorijama, povećava se i rizik po nas.

Nacionalni referentni nivo koncentracije aktivnosti radona određuje država na osnovu preporuka relevantnih međunarodnih institucija i sopstvene radonske mape. Važno je razumjeti da vrijednost tog referentnog nivoa ne predstavlja granicu između bezbjedne i nebezbjedne po

ljude koncentracije radona u vazduhu boravišnih i radnih prostorija, već procjenu da koncentracije radona niže od njega predstavljaju nivo rizika po zdravlje koji je prihvatljiv u poređenju sa drugim rizicima koje čovjek ima u svakodnevnom životu..

Sada važećim zakonodavstvom referentni nivo koncentracije aktivnosti radona u Crnoj Gori je 400 Bq/m³ za stari i 200 Bq/m³ za novi stambeni fond. Za poslovne prostorije referentni nivo koncentracije aktivnosti radona je 1000 Bq/m³. Nove direktive Evropske unije preporučuju da nacionalni referentni nivo koncentracije aktivnosti radona bude najviše 300 Bq/m³, kako za boravišne tako i za radne prostorije.

RADON MOŽE BITI PRIJETNJA NAŠEM ZDRAVLJU SAMO AKO GA IGNORIŠEMO.

Zato:

IZMJERIMO RADON U NAŠOJ ŠKOLI!

ČUVAJMO DETEKTORE RADONA!