

Merjenje prisotnosti radona v bivalnem prostoru

Gaber Begeš

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: gaber.beges@fe.uni-lj.si

Povzetek. Okoljske razmere v bivalnih prostorih se po eni strani z razvojem tehnologij izboljšujejo, po drugi pa pogosto poslabšujejo, če niso upoštevane fizikalne zakonitosti in osnovna priporočila o obvladovanju notranjih klimatskih razmer. Najbolj tipične vplive povzročajo ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, radon, formaldehidi in nekateri ostanki zgorevanja. V tem članku je poudarek predvsem na radonu in merjenje njegove prisotnosti v bivalnem prostoru. Zavedanje o škodljivosti radona je razširjeno, mejne vrednosti pa so po svetu različne. Zakonodajni okvir na tem področju se je z letom 2018 nekoliko spremenil in poenotil na območju Evropske unije. Izpostavljenost povišanim koncentracijam radona je povečana na geoloških podlagah, ki vsebujejo več radioaktivnega urana in so bolj propustne. V Sloveniji je to predvsem kraški svet. Že prejšnja zakonodaja predvideva obvezno spremljanje radona v bivalnih prostorih, predvsem javnih. Drugi segment pa so zasebni bivalni prostori, kjer je zavedanje čedalje globlje zaradi obnove starih stavb. Delna energetska sanacija stavb pa pogosto privede do poslabšanja notranjih okoljskih razmer. Pri novogradnjah se pogosto pozabi na temeljno rešitev, odvajanje radona izpod stavbe. Prisotnost radona merijo pooblaščenice institucije. Ker je storitev težje dostopna, se za domače potrebe pogosto uporabljajo tudi ceneni merilniki, dostopni tudi na spletu. Tako kupljen merilnik ni umerjen. Zanašamo se lahko sicer na mejo pogreška, ki jo podaja proizvajalec in je lahko tudi do 20-odstotna. V članku so predstavljeni veljavni zakonodajni okviri pri merjenju prisotnosti radona in izkušnje praktičnega merjenja v bivalnem prostoru.

Ključne besede: radon, bivalni prostor, okoljski parametri, mejna vrednost, direktiva

Radon measurement in residential premises

Environmental conditions in living spaces are either improving with the development of technologies or they are often exacerbated by disregarding physical laws and basic recommendations for managing internal climatic conditions. The most typical pollutants are carbon dioxide, carbon monoxide, radon, formaldehyde and some combustion residues. The main focus of the paper is on radon and its measurement in living spaces. The awareness of the radon harmful effect is widespread and its limit values differ worldwide. In the European Union, the legally adopted radon limit values had been changing until 2018 when its ultimate permissible values were agreed upon. On a geological terrain containing a higher content of radioactive uranium, concentrations of elevated radon are considerable. In Slovenia, such terrain is mostly in the Karst region. Formerly it was mandatory to monitor radon only in living spaces, especially the public ones. In the private-accommodation segment, there has been a growing awareness of the radon harmful effect particularly when renovating old buildings which has often a deteriorated internal environmental condition. In new dwelling construction, however, it is often forgotten that radon can be removed from their underlying terrain. Radon measurement is carried out by licensed institutions. Due to the scarce availability of their services, cheap uncalibrated meters are often used for the domestic need. In such case the maximum 20 % margin given by the manufacturer should be accounted for. The paper presents the current legally imposed

specifications for the radon measurement and experiences with practical measurements in living space.

Keywords: radon, living space, environmental parameters, limit value, directive

1 UVOD

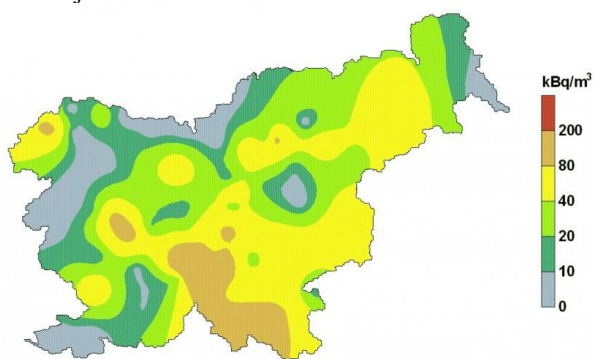
Ugodje v bivalnem okolju je eno ključnih, ki si jih človek želi zagotoviti. Čas, ki ga preživimo zunaj, je zaradi življenjskega sloga veliko krajši od časa, ki ga preživimo v prostorih. Pri načrtovanju in izvedbi bivalnih prostorov pa pogosto naredimo veliko napak. Najpogosteje spregledamo rešitve, potrebne za obvladovanje kakovosti zraka. Ta je odvisna od številnih dejavnikov. Nekatere lahko tudi merimo. Najpogostejši znani vplivi na kakovost zraka so povečana prisotnost radona (Rn), formaldehidov, ki se sproščajo iz pohištva, in nekateri ostanki zgorevanja (dušikov dioksid (NO₂), ogljikov dioksid (CO₂) ogljikov monoksid (CO), vdihljivi delci). Pomembno pa na počutje vplivata tudi temperatura (*T*) in relativna vlažnost (*r.v.*). Zgradbe so prevzele zaščito stanovalcev pred zunanjem onesnaženjem, medtem ko malokrat pomislimo na onesnaževalce, ki so ujeti v prostoru ali se tam generirajo. Študije so pokazale, da nekatere

koncentracije onesnaževalcev v prostoru presegajo vrednosti za zunanje koncentracije [1]. Pretok zraka v stavbo in iz nje je po navadi glavno sredstvo za odstranjevanje teh notranjih onesnaževalcev, zmanjševanje pretoka pa je stroškovno ena najučinkovitejših strategij za izboljšanje energetske učinkovitosti stavb, kar je kontradiktorno. V tem članku se podrobneje posvetimo radonu v bivalnem prostoru in meritvam le-tega.

2 RADON

Radon je naravni, vseprisotni radioaktivni plemeniti plin, ki je brezbarven, brez vonja in brez okusa. Nastaja z α -radioaktivno preobrazbo radija, v naravnih radioaktivnih nizih urana (^{238}U), aktinija (^{235}U) ali torija (^{232}Th). Izmed treh izotopov radona (^{222}Rn -radon, ^{219}Rn -aktinon, ^{220}Rn -toron) ima ^{222}Rn najdaljšo razpolovno dobo (3,82 dni). Kot zlahni plin ne reagira z drugimi elementi, pač pa z njegovo α -radioaktivno preobrazbo nastajajo radioaktivni kratkoživi produkti: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi in ^{214}Po . Ti se v zraku vežejo na aerosolne delce in pridejo z dihanjem v pljuča, kjer se jih del usede na stene dihalnih poti. Energija, ki se sprošča pri njihovih radioaktivnih preobrazbah, se absorbira v tkivu in ga poškoduje. To lahko vodi do nastanka raka. [12] Največji vir radona v notranjem zraku je geološka podlaga pod stavbo. Gradbeni materiali imajo določeno koncentracijo radionuklidov, vendar je pri večini ta zelo nizka in ne pripomore pomembneje k visokim koncentracijam radona v prostoru. Drugače pa je z materiali, ki vsebujejo povišano koncentracijo radionuklidov uranovega radioaktivnega niza, kot je na primer elektrofilska opeka pri starejših zgradbah. Radon lahko relativno preprosto pobegne iz tal in kamnin, od koder ga prenaša zemeljski plin, ali difundira raztopljen v vodi. S temi postopki lahko tudi vstopi v stavbe.

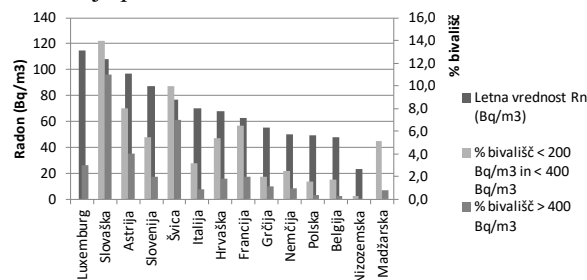
Potencialne karte radona in zemljevidi tveganja radona dajejo začetne informacije o verjetnosti povišanih koncentracij radona v posamezni regiji. Slika 1 poenostavljeno predstavlja prisotnost radona v Sloveniji.



Slika 1: Prisotnost radona v Sloveniji (vir: [10])

Območja z več radona so ozemlja naslednjih občin: Bloke, Cerknica, Črnomelj, Divača, Dobrepolje, Dolenjske Toplice, Hrpelje - Kozina, Idrija, Ig, Ivančna Gorica, Kočevje, Komen, Logatec, Loška dolina, Loški Potok, Miren - Kostanjevica, Pivka, Postojna, Ribnica, Semič, Sežana, Sodražica, Vrhnika in Žužemberk.

Ocenjena povprečna vrednost radona v Sloveniji je 87 Bq/m^3 , pri čemer je 5,5 % bivališč z vrednostmi med 200 Bq/m^3 - 400 Bq/m^3 in 2 % bivališč z vrednostmi nad 400 Bq/m^3 . Primerjava z drugimi bližnjimi državami je prikazana na sliki 2.



Slika 2: Povzetek statistike Evropske raziskave o radonu [11]

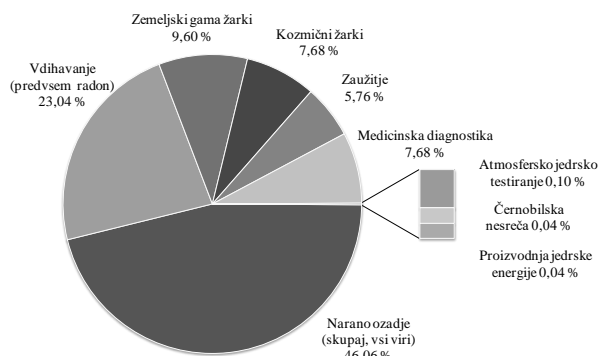
Letna srednja vrednost koncentracije Rn za Slovenijo je preračunana po izpeljavi enačb 1. Končna vrednost se osredinja na zimsko izmerjeno vrednost. Točnost koeficienta 0,7 pa literatura navaja kot $\pm 7 \%$.

$$\begin{aligned}
 C_{\text{srednja}} &= \frac{1}{4} C_{\text{zima}} + \frac{1}{4} C_{\text{pomlad}} + \frac{1}{4} C_{\text{poletje}} + \frac{1}{4} C_{\text{jesen}} \\
 C_{\text{pomlad}} &= C_{\text{jesen}} = C_{\text{srednja}} \\
 C_{\text{poletje}} &= 0,4 C_{\text{zima}} \\
 C_{\text{srednja}} &= 0,7 C_{\text{zima}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Druge države imajo podatke izračunane po svoji nacionalni shemi, kar nova direktiva poenoti.

2.1 Vpliv radona na zdravje ljudi

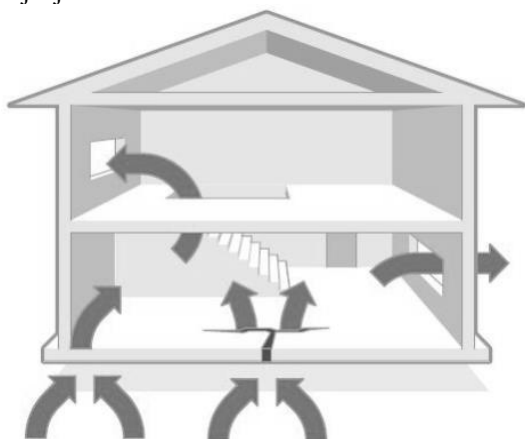
Ker je radon glavni dejavnik pljučnega raka, takoj za kajenjem, si Evropska komisija nenehno prizadeva obveščati javnost o tej naravni nevarnosti. Študije [11] so pokazale, da radon v domovih povzroči približno 20.000 smrtnih primerov raka pljuč. To je približno 9 % vsega pljučnega raka približno 2% smrti zaradi raka na splošno. Slika 3 prikazuje delež sevanja, ki ga relativno prejmemo iz naravnih in umetnih virov sevanja.



Slika 3: Relativne doze naravnih in umetnih virov sevanja [11]

3 OBVLADOVANJE OKOLJSKIH PARAMETROV

Koncentracije v stavbah je mogoče znižati z različnimi ukrepi. Treba je upoštevati značilnosti objekta (podkletenost, prepustnost tal pod osnovno ploščo, mesta, kjer radon vstopa v zgradbo, gradbene značilnosti stavbe, prezračevnost itd.). Najpreprostejši ukrep je zračenje, vendar tudi ureditev prezračevalnega sistema ne zniža koncentracije za več kot 50 % (največkrat za 20–30 %), [10]. Prezračevalni sistemi ustvarjajo dodaten podtlak v zgradbah, kar lahko privede tudi do nasprotnega učinka in se koncentracija radona v prostorih zviša. Učinkovitejša je ureditev izsesavanja zraka izpod temeljne plošče v kombinaciji z zatesnitvijo stikov in razpok v tlakih, zatesnitvev jaskov, odtokov in prebojev. Ureditev dodatnega prezračevanja se priporoča tedaj, ko je hiša zrakotesna, še zlasti ko so prisotne težave z vlago in plesnijo. Slika 4 prikazuje prehajanje radona v stavbo.



Slika 4: Prehajanje radona v stavbo [13]

3.1 Prezračevanje oziroma ventilacija

Trenutno v praksi največkrat srečamo obvladovanje okoljskih razmer v prostorih s prezračevanjem in klimatizacijo. Glavna načela so distribucija zraka z mešanjem in premikanjem. V literaturi je predstavljeno, da prezračevanje zagotavlja boljšo kakovost zraka,

zlasti v prostorih z neprepustnimi ogrevalnimi viri [1]. Vendar pa v nasprotju z mešalnim prezračevanjem obstaja navpična temperaturna razlika, torej nizka temperatura zraka blizu tal. Velike hitrosti zraka pogosto obstajajo tudi v bližini tal. Torej, če ni dobro načrtovano, je tveganje lokalnega neugodja visoko [2], [3]. Študije [4], [5] kažejo, da ljudje enako količino zraka zaznavajo kot slabo kakovost pri visoki temperaturi zraka in boljšo kakovost pri nizki temperaturi zraka. Zato bi morala ocena kakovosti zraka temeljiti na temperaturi, vlažnosti in koncentraciji plinov [6]. Študija v prostorih z ventilatorskim prezračevanjem je pokazala, da skoraj 50 % stanovalcev ni zadovoljnih s kakovostjo zraka v zaprtih prostorih [7], [8]. Kakovost zraka in počutje se bosta izboljšala, ko bo v prostor doveden svež zrak. Vendar to lahko povzroči neugodje za nekatere stanovalce. Prezračevanje je seveda učinkovito, če je zunanja koncentracija nižja od notranje. Povezano pa je tudi s preračunom energetske učinkovitosti.

3.2 Rešitev pri novogradnjah in temeljnih sanacijah stavb

Različne tehnike je mogoče uporabiti, če želimo preprečiti vstop radona v stavbo. Potrebni so primerna priprava temeljne strukture stavbe, tesnjenje vstopnih elementov inštalacij in podtalna ventilacija. Ključno je, da ima stavba čim manj površin v stiku z zemljo/podlago. Kombinacija monolitne plošče in tesnjenja tudi servisnih priključkov (odtokov, zbiralnikov, inštalacijskih priključkov) se izkaže kot optimalna z uporabo dodatnega izsesavanja zraka izpod temeljne konstrukcije. [1] Izsesavati je mogoče na pasivni ali aktivni način. Cilj teh ukrepov je odvod radona, še preden vstopi v zgradbo (slika 5). Najlažje se to izvede pri novogradnji ali pri temeljiti sanaciji stare stavbe.



Slika 5: Odsesavanje radona izpod stavb [13]

4 STRATEGIJE VZORČENJA IN MERILNE TEHNIKE

Meritve se po navadi opravljajo v pritličju hiš in stavb, ker je radon približno devetkrat težji od zraka. Za oceno koncentracij se po navadi meritve izvedejo v spalnici in dnevni sobi. Države so sprejele strategije, povezane z radonom, ki predvidevajo spremljanje koncentracij po terenu in predvsem v javnih prostorih (npr. javna mesta, bolnišnice, šole, vrtci itd.).

Meritve se opravljajo z uporabo različnih tipov detektorjev in v različnih časovnih intervalih. Večina držav, ki pogosteje spremljajo koncentracijo radona, uporabljajo tako imenovane detektorje alfa-sledi, ker so manjši in enostavni za razpošiljanje ali inštalacijo. Tipičen čas opazovanja je tri mesece (zimski čas je po navadi primernejši, ker je izpostavljenost takrat največja, tudi zaradi manj prezračevanja), vendar na splošno vse leto. Nekatere meritve izvajajo pooblaščenice organizacije, ki pod drobnogledom izbirajo lokacijo merjenja in čas opazovanja. Posledično je treba biti previden pri primerjanju ocenjenih ravni, izmerjenih v različnih državah. Ta članek v nadaljevanju obravnava meritve v bivalnem okolju, ki jih izvajajo neusposobljene osebe s tržno dostopnejšimi merilniki.

Instrumenti za merjenje koncentracije radona so različni. Profesionalni (Durrige, Sarad, Saphymo, Tracerlab, Gammadata itd.) se nahajajo v cenovnem razredu od 7.000 evrov do 10.000 evrov in več. Merilniki omogočajo kontinuirane meritve z urnim zapisom vrednosti ali samo povprečje čez določeno obdobje. So pa na trgu tudi cenejši instrumenti (Ramon, Canary, itd.), ki so v določenih klimatskih razmerah lahko manj točni, a so dobri za oceno, ali je radona veliko ali malo. Mogoče so nezanesljivi glede izmerjenih vrednosti (v določenih klimatskih razmerah), a kljub vsemu dovolj dobri za občutek, ali je radona veliko ali malo. Poleg tega merilniki za domačo uporabo večinoma niso umerjeni.

5 ZAKONODAJNI OKVIR

5.1 Evropska direktiva 2013/59 / Euratom

Uredba o nacionalnem radonskem programu prenaša določbe Direktive Sveta 2013/59/Euratom z dne 5. decembra 2013 o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja in o razveljavitvi direktiv 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom in 2003/122/Euratom. [14] Spremembe direktive zahtevajo od držav članic, radioloških skupnosti in industrije prilagoditev na predpise, prakse in opremo skladno z visokimi standardi varstva pred sevanjem. Do 6. februarja 2018 je bilo treba Direktivo prenesti v nacionalno zakonodajo držav članic Evropske unije. Relevantne spremembe se nanašajo na nova priporočila Mednarodne komisije za radiološko zaščito

(ICRP) in so revidirani glede na nove znanstvene dokaze in operativne izkušnje.

Referenčna raven povprečne letne koncentracije radona v zaprtih bivalnih in delovnih prostorih je 300 Bq m⁻³. Metodologija določitve povprečne letne koncentracije radona je sestavljena iz prve in po potrebi dodatne meritve. Prva meritev, namenjena določitvi povprečne letne koncentracije radona v zaprtih prostorih in na lokacijah, se izvede v obdobju, ko je pričakovati najvišje koncentracije radona. V zaprtih prostorih se prva meritev izvede med ogrevalno sezono. Prva meritev traja najmanj 30 in največ 90 dni. Če koncentracija radona pri prvi meritvi ne presega vrednosti referenčne ravni, se oceni, da je tveganje za zdravje zaradi radona v prostoru ali na lokaciji, kjer je bila meritev izvedena, sprejemljivo in nadaljnji ukrepi niso potrebni. Meritev koncentracije radona je treba ponoviti, če se razmere, ki vplivajo na koncentracijo radona, spremenijo. V zaprtih prostorih te spremembe nastanejo na primer po energijski sanaciji ali po zamenjavi oken v stavbi. Če koncentracija radona, izmerjena pri prvi meritvi, presega vrednosti referenčne ravni, se izvede še druga meritev, in sicer v naslednjem obdobju, ko je pričakovati najnižjo koncentracijo radona. V zaprtih prostorih se druga meritev izvede v naslednjem poletnem obdobju. Druga meritev traja najmanj 30 in največ 90 dni. Če koncentracija radona, izmerjena pri prvi meritvi, presega trikratnik vrednosti referenčne ravni, se takoj preverijo možnosti za skrajšanje časa zadrževanja v prostoru ali na lokaciji in se prostori redno prezračujejo. Rezultata prve in druge meritve se uporabita za izračun povprečne letne koncentracije radona. Če povprečna letna koncentracija radona presega vrednosti referenčne ravni, je treba preveriti možnosti za skrajšanje časa zadrževanja v prostoru ali na lokaciji in s tem zmanjšanje izpostavljenosti radonu. Če to ni izvedljivo ali se ne dosežejo ustrezni učinki, je treba izvajati ukrepe za zmanjšanje koncentracije radona v prostoru in s tem izpostavljenosti posameznikov. Oceno doz zaradi radona izvede pooblaščenec izvedenec varstva pred sevanji in pri tem uporabi metodologijo, ki jo opredeli ICRP.

Pregledovanje delovnega in bivalnega okolja obsega:

- ugotavljanje povprečne letne koncentracije radona;
- dodatne meritve koncentracije radona, meritve koncentracije njegovih razpadnih produktov, ravnotežnega faktorja in drugih parametrov ter analizo vzrokov za povečane koncentracije radona;
- meritve hitrosti doz sevanja gama in analizo vzrokov za povečane hitrosti doz.

Če povprečna letna koncentracija radona presega vrednosti referenčne ravni, se vrsta in obseg meritev iz druge in tretje alineje prejšnjega odstavka izbereta tako, da se lahko oceni izpostavljenost delavcev ali posameznikov iz prebivalstva in presodi potreba po ukrepih za zmanjšanje izpostavljenosti. Meritve izvede pooblaščenec izvajalec meritev radona. Po izvedenih meritvah pooblaščenec izvajalec meritev radona pripravi

poročilo o meritvah z oceno izpostavljenosti delavcev ali posameznikov iz prebivalstva, ki vsebuje predloge za ukrepe varstva pred sevanji za zmanjšanje izpostavljenosti. Letno je obvezno treba pregledati vsaj 50 objektov, ki so namenjeni izvajanju vzgojno-varstvenega, izobraževalnega, kulturnega ali zdravstvenega programa, in vsaj 100 bivalnih objektov. Če se na podlagi meritev in ocene doz ugotovi, da osebe, ki tam prebivajo, letno prejmejo preseženo dozo zaradi izpostavljenosti radonu in njegovim potomcem, so za zmanjšanje izpostavljenosti potrebni gradbeni posegi. Le-ti so namenjeni vzpostavitvi sistema za prezračevanje zemljine pod stavbo, dodatno se lahko izvede tesnjenje talne konstrukcije. Metodologija za oceno doz iz uredbe se začne uporabljati v letu 2019.

Okvirni seznam vrst gradbenih materialov, ki lahko povzročijo čezmerno izpostavljenost sevanju gama, so: skrilavi glinavci, granitoidi (na primer graniti, sienit in ortognajs), porfir, tuf, pucolan (pucolanski pepel), lava, elektrofiltrski pepel, fosforna sadra, fosforna žindra, kositna žindra, bakrova žindra, rdeče blato (ostanek iz proizvodnje aluminija) in ostanki iz proizvodnje jekla.

5.2 Mejne vrednosti

5.2.1 Mejne vrednosti, določene z Evropsko direktivo 2013/59 / Euratom

Mejna vrednost kontaminacije zraka je izpeljana vrednost koncentracije posameznega radionuklida v zraku delovnega okolja in se izračuna iz mejne učinkovite doze E_m , predvidene učinkovite doze na enoto vnosa $e(g)_{j,inh}$ in prostornine vdihanega zraka V_z v delovnih urah enega leta takole:

$$IK_{z,j,inh} = \frac{E_m}{e(g)_{j,inh} \cdot V_z}, \quad (1)$$

kjer g označuje skupino posameznika in j posamezni radionuklid. Za delavce, razvrščene v kategorijo A izpostavljenih delavcev, je treba uporabiti mejno dozo 20 mSv/leto, za delavce, razvrščene v kategorijo B izpostavljenih delavcev, pa 6 mSv/leto ter prostornino vdihanega zraka 2400 m³/leto ali 1,2 m³/h v 2000 urah na leto.

Izpeljana vrednost koncentracije v zraku bivalnega okolja se izračuna tako, kot je navedeno v prejšnjem odstavku, le da g označuje starostno skupino posameznika, vrednost E_m je 1 mSv/leto in prostornina vdihanega zraka je 7000 m³/leto ali 0,8 m³/h v 8766 urah na leto. Referenčna raven povprečne letne koncentracije radona v zaprtih bivalnih in delovnih prostorih je 300 Bq m⁻³.

5.2.1 Vrednosti po svetu in pred sprejetjem Evropske direktive

Mejne vrednosti radona so bile po državah različno definirane. Nova Evropska direktiva iz leta 2013

poenoti vrednosti na območju Unije. Pred tem so bile mejne vrednosti v Sloveniji 400 Bq/m³ oziroma 1000 Bq/m³ za bivalna oziroma delovna okolja. Nekateri primeri vrednosti radona pred sprejetjem direktive so v tabeli 1.

Tabela 1: Primeri mejnih vrednosti pred sprejetjem Evropske direktive

| Lokacija | Smernice | | Meje (Bq/m ³) |
|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | Nove stavbe (Bq/m ³) | Obstoječe stavbe (Bq/m ³) | |
| Bavarska | 250 | 250 | |
| Avstrija | 200 | 400 | |
| Švica | 400 | 400 | 1000 |
| J. Tirolska | 200 | 400 | 500 |
| Kanada | | | < 200 sprejemljivo |
| | | | 200–800 osnovni ukrepi |
| | | | 800–3000 posebni ukrepi |
| Koreja | | | 148 |
| Združeno kraljestvo | | | 200 |
| ZDA | | | 148 |
| ICRP | | | 200–600 bivalno okolje |
| | | | 500–1500 delovno okolje |

6 MERITVE RADONA V BIVALNEM OKOLJU

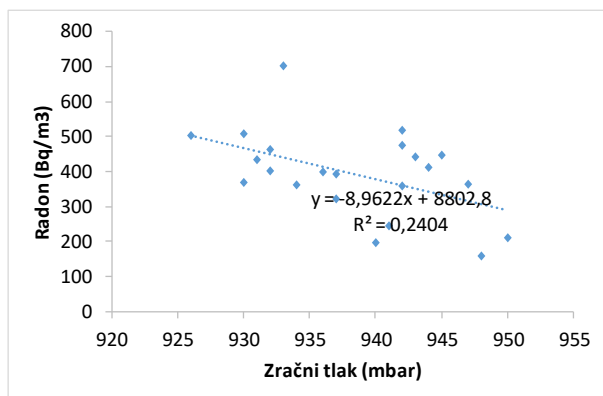
Meritve v bivalnem okolju praviloma izvajajo pooblaščenice institucije. Ni pa redko, da se odločimo za meritve v lastni režiji. Pri tem se uporablja zelo različna merilna oprema. O zmogljivosti merilne opreme je nekaj napisanega že v poglavju 4 in je močno povezana s cenovnim rangom opreme. V splošni uporabi je večinoma cenovno ugodnejša oprema, po navadi opremljena tudi z eno od mobilnih aplikacij.

V raziskovalne namene tega članka je bil uporabljen merilnik Corentium Home izdelovalca Airthings, z dnevnim tedenskim in dolgotrajnim povprečenjem. Območje obratovanja od 4 °C do 40 °C, točnosti 10 % pri 100 Bq/m³ za kratkoročne meritve in 5 % pri 100 Bq/m³ za dolgoročne meritve, kar je za nizkocenovne merilnike eden boljših.

Meritve so bile izvedene v poletni in zimski sezoni leta 2017 in v januarju 2018. Merjene veličine v celotnem opazovanju so bile temperatura v prostoru, relativna vlažnost v prostoru, zunanja temperatura, zunanja relativna vlažnost, zračni tlak, CO₂ v prostoru in radon (dolgoročni odčitek, tedensko povprečje in dnevno povprečje). Ker merilnik ne omogoča shranjevanja podatkov, so zbrani podatki v zgodnjih jutranjih urah, popoldne in pozno zvečer. Poleg tega je ob vsakem odčitku tudi opisno zabeležena ocena vremena (jasno, oblačno, dežuje, sneži, vetrovno itd.).

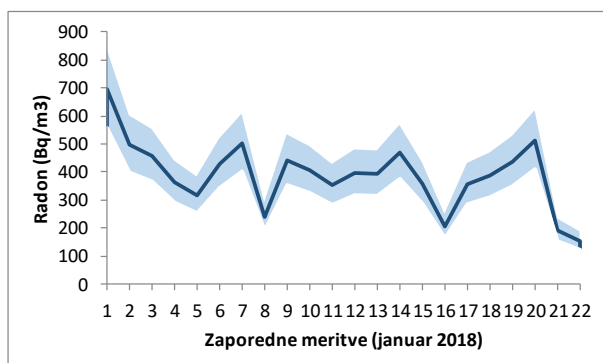
Množica pridobljenih podatkov nakazuje na zahtevnost tovrstnih meritev, ki jih ne smemo

podcenjevati. Pomemben sklep ob analizi meritev je zagotovo ta, da samostojne domače meritve lahko služijo zgolj za indikacijo stanja, ne pa za točno ovrednotenje prisotnosti radona in izpostavljenost ljudi. V nadaljevanju je izvzet primer analize meritev v smislu korelacije med zračnim tlakom in izmerjenim radonom. Slika 6 prikazuje najbolj neugoden primer korelacije zračnega tlaka in radona pri dolgoročnem povprečenju. Izkazuje se negativna korelacija. Večji ko je zračni tlak, manj je radona.



Slika 6: Primer korelacije zračnega tlaka in količine radona

V metrološkem pogledu pa je nujno poudariti, da rezultati, ki jih prikazujejo merilni instrumenti, morajo biti upoštevani skupaj z merilno negotovostjo. Na merilno negotovost pa ne vpliva samo točnost instrumenta, temveč tudi drugi zunanji vplivi (predvsem lokacija postavitve merilnega instrumenta, temperatura, zračni tlak itd.) Posledično je rezultat instrumenta obravnavati z območjem, ki vsebuje navedene vplive (slika 7).



Slika 7: Upoštevanje točnosti merilnega instrumenta

7 SKLEP

V letu 2018 je bila sprejeta zakonodaja, ki v polni meri začne veljati leta 2019 in vsebuje nekaj novosti, predvsem poenoteno evropsko pojmovanje izpostavljenosti ljudi z radonom. Na trgu je veliko merilnih instrumentov za merjenje radona. Niso vsi enako točni, niti uporabni za točnejše ovrednotenje. Splošna javnost se mora zavedati indikativne vrednosti

odčitanih rezultatov. Za točnejše vrednosti je primerno zaprositi pooblaščen institucije.

Mejne vrednosti radona, ki so bile po državah precej različne, so zdaj poenotene. Glede na sestavo tal so dodatni vplivi na izločanje Rn iz tal v bivalnem prostoru tudi vremenski vplivi in posledično zračni tlak, veter, padavine itd. Gradbeni posegi in aktivno prezračevanje, izvedeno pri novih stavbah, je pomembna rešitev na izpostavljenih mestih v državi. Pri starejših gradnjah pa je verjetno najučinkovitejši ukrep prezračevalni sistem. Pri ugotavljanju izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju je treba upoštevati tudi dejanski čas zadrževanja v takem prostoru pri določeni koncentraciji. Izkazuje se, da se s tem letne doze seveda hitreje približajo dovoljenim.

LITERATURA

- [1] H. Brohus, P. V. Nielsen, Personal exposure in displacement ventilated rooms, *Indoor Air*, 6 (1996), pp. 157–167.
- [2] A. K. Melikov, J. B. Nielsen Local thermal discomfort due to draft and vertical temperature difference in rooms with displacement ventilation *ASHRAE Transactions*, 96 (1989), pp. 1050–1057.
- [3] G. Pitchurov, K. Naidenov, A. K. Melikov, G. Langkilde, Field study of occupants thermal comfort in rooms with displacement ventilation, in: *Proceedings of Roomvent*, September 2002, Copenhagen, Denmark.
- [4] L. Fang, G. Clausen, P.O. Fanger Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality, *Indoor Air*, 8 (1998), pp. 80–90.
- [5] L. Fang, G. Clausen, P.O. Fanger Impact of temperature and humidity on chemical and sensory emissions from buildings materials, *Indoor Air*, 9 (1999), pp. 193–201.
- [6] A. K. Melikov, J. Kaczmarczyk, L. Cygan, Indoor air quality assessment by a breathing thermal manikin, *Indoor Air*, 2000.
- [7] K. Naidenov, G. Pitchurov, G. Naidenov, A. K. Melikov, Performance of displacement ventilation in practice, in: *Proceedings of Roomvent*, September 2002, Copenhagen, Denmark.
- [8] A. K. Melikov, K. Naidenov, G. Pitchurov, G. Langkilde, Field study on occupant comfort and office thermal environment in rooms with displacement ventilation, *Indoor Air*, 2005.
- [10] <http://www.radon-resitve.si/radon/>.
- [11] European Commission, Joint Research Centre, An overview of radon surveys in Europe, Institute for Environment and Sustainability, 2005.
- [12] M. Leban, Vpliv okolja in bivalnih navad na raven radona v domovih, diplomsko delo, Univerza na Primorskem, 2013.
- [13] www.irsn.fr.
- [14] Uredba o nacionalnem radonskem programu, UL RS št. 81, 2018.

Gaber Begeš je magistriral leta 2002 in doktoriral leta 2009 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Deluje na področju merjenja in tehniške kakovosti. V okviru raziskovalnega dela v laboratoriju se ukvarja z avtomatizacijo merilnih procesov, implementacijo sistemov kakovosti v realno življenje, s preskušanjem varnosti električnih proizvodov ter sodeluje pri vzdrževanju akreditacije na področju preskušanja in kalibracijske dejavnosti v Laboratoriju za metrologijo in kakovost na Fakulteti za elektrotehniko.