

PROBLEMATIKA POVIŠANIH KONCENTRACIJ RADONA V VRTCIH IN ŠOLAH

Splošno o radonu

Radon (Rn) je žlahtni plin naravnega izvora, brez barve, vonja in okusa, ki se meša z zrakom. Nastane iz radija z radioaktivnim razpadom v zemeljski skorji in v materialih, ki vsebujejo radon. Od mesta nastanka v zemeljski skorji potuje proti površini, kjer se sprošča v ozračje oziroma se kopiči v zraku zaprtih prostorov, kot so kraške jame, rudniki ter kleti in pritličja v zgradbah. Radon ima več izotopov, med katerimi ima najdaljšo razpolovno dobo ²²²Radon (²²²Rn; v nadaljevanju radon). Razpolovna doba radona je 3,82 dni. Radon razpade na kratkožive radonove produkte, ki so ravno tako radioaktivni (EPA, 2003). Število radonovih jeder, ki razpadejo v eni enoti časa, imenujemo aktivnost in jo označujemo z enoto Bq (becquerel). En Bq tako predstavlja razpad enega jedra na sekundo. **Koncentracija radona v zraku** predstavlja koncentracijo aktivnosti v eni prostorski enoti in jo merimo v Bq/m³ (MZ-UVPS, 2015). **Efektivna doza** je merilo za učinke na zdravje in predstavlja vsoto uteženih ekvivalentnih doz notranjega in zunanega obsevanja po vseh tkivih in organih telesa ter jo merimo v Sv (Sievert) (Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. l. RS, št. 49/04)).

Ljudje smo radonu najpogosteje izpostavljeni preko talnega plina, ki prodira skozi talno ploščo stavbe, manj iz vode, zraka in gradbenih materialov, ki vsebujejo radon. Največje tveganje za zdravje predstavljajo radioaktivni aerosoli razpadnih produktov radona, ki se med dihanjem nalagajo na stenah dihalnih poti. Na stene pritrjeni radioaktivni aerosoli sevajo in povzročajo poškodbe tkiva (UNSCEAR, 2000; EPA, 2003).

V Sloveniji so bile najvišje koncentracije radona izmerjene v zahodnem in južnem delu države, kjer prevladujejo karbonatne kamnine (Vaupotič in sod., 2010). V vseh slovenskih vrtcih in igralnicah, ki so v preteklosti imeli povišane koncentracije radona v notranjem zraku, je bila vir tega geološka struktura tal pod stavbo (Vaupotič in sod., 1994). Tudi v raziskavi, ki je analizirala slovenske šole, so ugotovili, da se je 70 % šol, kjer so bile koncentracije radona visoke, nahajalo na območju krasa, ki je zgrajen iz karbonatnih kamnin (Vaupotič in sod., 2010).

Dopustne in priporočene koncentracije radona v bivalnih prostorih

Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. l. RS, št. 49/04) določa mejne vrednosti, ki so podlaga za načrtovanje in izvajanje vseh organizacijskih, tehničnih, zdravstvenih in drugih ukrepov, potrebnih za varstvo pred ionizirajočimi sevanji. Mejne vrednosti te uredbe in priporočene vrednosti Svetovne zdravstvene organizacije so prikazane v Tabeli 1.

Dokument:	PROBLEMATIKA POVIŠANIH KONCENTRACIJ RADONA V VRTCIH IN ŠOLAH
Pripravila:	Strokovna skupina za Varovanje zdravja prebivalstva pred škodljivimi učinki sevanja, NIJZ-Center za zdravstveno
	Verzija: 6.1.2016 Zamenja verzijo: /

Tabela 1: Nacionalne dopustne (Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. l. RS, št. 49/04)) in mednarodne priporočene (ICRP, 1994; SZO, 2009) letne koncentracije radona v bivalnih prostorih.

Organizacija	Vrsta vrednosti	Vrednost
<i>Nacionalna zakonodaja</i>		
Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. l. RS, št. 49/04)	Dopustna letna koncentracija	400 Bq/m ³
	Mejna efektivna doza	6 mSv
<i>Mednarodne organizacije</i>		
Svetovna zdravstvena organizacija	Priporočena letna koncentracija	100 Bq/m ³
Mednarodna komisija za radiološko zaščito		200-600 Bq/m ³

9. točka 22. člena Uredbe o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. l. RS, št. 49/04) v primeru preseganja zahtev nacionalne zakonodaje iz Tabele 1 kot ukrep predpisuje skrajšan čas izpostavljenosti ljudi ionizirajočemu sevanju.

Program sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja ter ozaveščanja prebivalstva o ukrepih za zmanjšanje izpostavljenosti zaradi prisotnosti naravnih virov sevanj (Ur. l. RS, št. 17/06) določa obseg in pogostost pregledovanja bivalnega okolja, ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti in merila za sprejemanje ukrepov. Skladno s programom se letno pregleda vsaj 20 objektov, ki so namenjeni izvajanju vzgojno-varstvenega, kulturnega, zdravstvenega ali izobraževalnega programa (vrtci, osnovne in srednje šole, dijaški domovi, bolnišnice, zdravstveni domovi itd.).

Vpliv radona na zdravje

Pljučni rak

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) radon in njegove razpadne produkte uvršča med snovi, ki so **rakotvorne za človeka** (skupina 1). Radon in njegovi razpadni produkti povzročajo **pljučnega raka** (IARC, 2015).

Svetovna zdravstvena organizacija je na podlagi analize več raziskav za Evropo ugotovila, da se ob povišani koncentraciji radona za 100 Bq/m³ tveganje za pljučnega raka poveča za 8 % (3 % - 16%) (SZO, 2009). Raziskave kažejo, da je tveganje za bolezen in smrt zaradi pljučnega raka pri povišanih koncentracijah radona višje pri kadilcih kot nekadilcih (Tabela 2 in 3).

Tabela 2: Skupno tveganje za smrt zaradi pljučnega raka pri 75-letnikih, nekadilcih, ki nikoli v življenju niso kadili in kadilcih, ki dnevno pokadijo 15-24 cigaret (Kreuzer in McLaughlin, 2010).

Koncentracija radona v stavbi [Bq/m ³]	Tveganje za smrt pri 1000 nekadilcih [število umrlih nekadilcev]	Tveganje za smrt pri 1000 kadilcih [število umrlih kadilcev]
0	4,1	101
100	4,7	116
200	5,4	131
400	6,7	160
800	9,3	216

Tabela 3: Izpostavljenost nekadilcev in kadilcev, ki jo predstavlja nivo radona v stavbi (EPA, 2012).

Koncentracija radona [Bq/m ³]	Vseživljenjska izpostavljenost 1000 nekadilcev/kadilcev - Približno število ljudi, zbolelih za pljučnim rakom	
	Nekadilci	Kadilci
740	36	260
370	18	150
296	15	120
148	7	62
74	4	32
48,1	2	20
14,8	/	/

Druge bolezni

Raziskave niso dokazale vpliva povečanih koncentracij radona na nastanek drugih vrst raka pri človeku. Raziskave, v katerih so bili opazovani rudarji, so pokazale statistično značilno povezanost med izpostavljenostjo povišanim koncentracijam radona in levkemijo ter limfomom (SZO, 2009). Ugotovitev raziskav na populaciji rudarjev ne moremo posploševati na celotno populacijo.

Vir in vstop radona v stavbo

Splošno največji izvor radona v bivalnem okolju predstavlja zemljišče pod stavbo, manj pa gradbeni material, voda in plin za ogrevanje (Leban, 2013). Gradbeni material predstavlja tveganje v primeru povišanih koncentracij radona v surovinah gradbenega materiala (EC, 1999), voda le v primeru vsebovanih visokih koncentracij radona, višje koncentracije radona v zemeljskem plinu pa se na poti do uporabnika zmanjšajo (Wilkening, 1990).

Ljudje v stik z radonom prihajamo vsakodnevno. Radon se nahaja v zaprtih prostorih, v katere prodira skozi slabo izolirana tla in vodovodna ter druga omrežja v stavbi, ki so v stiku z zemljino (Gray in sod., 2009).

Dejavniki, ki vplivajo na raven radona v stavbi

Ocena dejavnikov vpliva na koncentracijo radona v slovenskih domovih je pokazala, da so vzrok povišanih koncentracij radona kamninska podlaga, letni čas, nadstropje v stavbi in tesnjenje oken. Višje koncentracije radona so bile najpogosteje izmerjene v domovih na območjih s karbonatnimi kamninami v zahodnem in južnem delu Slovenije, v hladnem delu leta, v kletah in pritličjih stavb in v stavbah z okni z boljšim tesnjenjem (Vaupotič in sod., 2010; Leban, 2013).

Koncentracija radona v talnem zraku (litološka podlaga) je povezana s koncentracijo radona v bivalnem okolju (Vaupotič in sod., 2012). Vrednost koncentracije radona iz talnega zraku vključno s prepustnostjo tal opredeljujemo z **radonskim potencialom**.

Vzroka spreminjanja koncentracij radona z letnimi časi sta dva: vpliv hidro-meteoroloških dejavnikov na prehanje radona v zemljini in bivalne navade prebivalcev. Pomembnejši meteorološki dejavniki so temperaturna razlika med bivalnim okoljem in tlemi pod zgradbo, smer vetra in zračni tlak (Miles, 2001). Prezračevanje bivalnih prostorov je najpomembnejši dejavnik bivalnih navad prebivalcev v povezavi z ravno koncentracije radona v prostoru. V hladnem delu leta stanovalci svoje bivalne prostore prezračujejo redkeje kot poleti, kar povzroči kopičenje radona v notranjem zraku prostora. Na raven koncentracije radona v bivalnih prostorih vpliva tudi uporaba klimatskih naprav in centralne kurjave, saj vplivata na temperaturno razliko v bivalnem prostoru in okolici (Denman in sod., 2008).

Dokument:	PROBLEMATIKA POVIŠANIH KONCENTRACIJ RADONA V VRTCIH IN ŠOLAH
Pripravila:	Strokovna skupina za Varovanje zdravja prebivalstva pred škodljivimi učinki sevanja, NIJZ-Center za zdravstveno
	Verzija: 6.1.2016 Zamenja verzijo: /

Koncentracije radona v stavbi padajo z naraščanjem nadstropij, tako so najvišje vrednosti v kletah, najnižje pa v najvišjem nadstropju v stavbi (Zhu in sod., 1998; Gallelli in sod., 1998; Popović in Todorović, 2006; Leban, 2013). Študije kažejo, da raven koncentracije radona z vsakim naslednjim nadstropjem padejo za približno 20 % (Popović in Todorović, 2006; Leban, 2013).

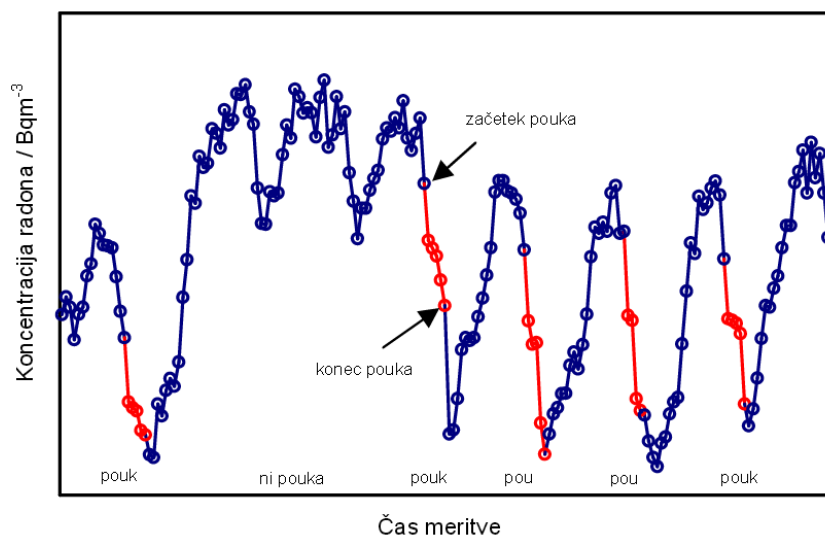
V stavbah, kjer je bilo tesnjenje oken ocenjeno kot dobro, so bile izmerjene višje koncentracije radona kot v stavbah z ocenjenim srednje dobrim in zlasti slabim tesnjenjem oken. Dobro tesnjenje oken preprečuje dotok zunanjega zraka v stavbo in s tem redčenje notranjega zraka z zunanjim zrakom. Tako se v notranjem zraku radon kopiči (Leban, 2013).

Zgoraj opisani dejavniki vpliva na koncentracijo radona v stavbi kažejo, da ima največji vpliv na koncentracijo radona v stavbi litološka podlaga in zanjo značilna koncentracija radona v talnem zraku. Ta dejavnik vpliva je najmočnejši in hkrati vir radona pri ostalih dejavniki vpliva, kar kaže na potrebo po obvladovanju povišanih koncentracij radona na izvoru.

Ukrepi za znižanje radona v obstoječih stavbah

Koncentracijo radona v prostoru lahko znižamo z različnimi ukrepi. Izbira ukrepov naj temelji na velikosti preseženih dovoljenih vrednosti radona in njeni oceni vpliva na zdravje stanovalcev. Pri izbiri ukrepov je potrebno zavedanje, da je najučinkovitejši ukrep kakovosten gradbeni poseg na talni plošči, ki razmejuje zemljino pod stavbo in notranji zrak v stavbi. S tem ukrepom omejimo vir povišanih koncentracij radona v stavbi in ne potrebujemo nadaljnjih gradbenih in organizacijskih ukrepov. Prezračevanje prostorov in zatesnitev vidnih razpok ter špranj v tleh in stenah, ki mejijo na zemljino, ter instalacijskih vodov sta primerna pri majhnih preseganjih dovoljenih vrednosti, sicer sta le začasna ukrepa.

Učinkovit, preprost in takoj izvedljiv ukrep za zniževanje koncentracij radona v prostorih je prezračevanje. Koncentracije radona med prezračevanjem prostorov upadejo. Koncentracija radona v zraku v učilnici oziroma igralnici naraste v času, ko ni pouka in v prostoru ni otrok (popoldne, ponoči, med vikendi). V tem času so okna in vrata učilnic in igralnic zaprta. Prezračevanje učilnic in igralnic je učinkovito zlasti pred pričetkom pouka, saj se zaradi mešanja notranjega in zunanjega zraka koncentracija radona v prostoru zniža. Tako znižamo koncentracijo radona, ki se je ponoči nakopičil v zraku učilnic oziroma igralnic. Na Sliki 2 je prikazano znižanje koncentracije radona v času pouka (rdeča) in koncentracije radona v času, ko se v učilnici ni izvajal pouk (modra) (Vaupotič in sod., 1994; MZ-UVPS, 2015).



Slika 2: Naraščanje in padanje koncentracije radona v učilnici med izvajanjem pouka (rdeče) in v preostalem delu dneva (modro) (UVPS, 2015).

Dokument:	PROBLEMATIKA POVIŠANIH KONCENTRACIJ RADONA V VRTCIH IN ŠOLAH
Pripravila:	Strokovna skupina za Varovanje zdravja prebivalstva pred škodljivimi učinki sevanja, NIJZ-Center za zdravstveno
	Verzija: 6.1.2016 Zamenja verzijo: /

V letih 1993 in 1994 se je v enem izmed vrtcev na območju Krasa spremljalo koncentracije radona v notranjem zraku. V analiziranem vrtcu lahko koncentracije radona zaradi lokalnih geoloških značilnosti dosežejo v igralnicah najvišje vrednosti (glede na koncentracije v Sloveniji). Zaradi značilne mikroklimе (mrzle in vetrovne zime ter vroča poletja) in rednega prezračevanja igralnic pa so bili otroci in zaposleni izpostavljeni nižjim koncentracijam radona v notranjem zraku (Vaupotič in sod., 1998).

Z zatesnitvijo razpok in špranj v tleh in stenah, ki so v stiku z zemljino, ter instalacijskih vodov je skorajda nemogoče preprečiti vstop radona v stavbo. Radon v stavbo prehaja tudi skozi najmanjše, pogosto očem nevidne razpoke, zato je potrebno posebno pozornost nameniti površinam preko katerih radon najpogosteje prehaja v stavbo:

- talne razpoke in ekspanzijski stiki - te je priporočeno zamenjati z vlitimi stiki in/ali kontroliranimi žaganimi stiki;
- področja okrog instalacijskih vodov, ki predirajo talno ploščo, temelje in stene, ki mejijo na zemljino - potrebna je dodatna zaščita vseh instalacijskih vodov ob vstopu v stavbo na teh površinah;
- zidani kletni zidovi iz opeke ali betonskih blokov (Marušič, 2010).

Razpoke na izolacijskih in zaščitnih materialih lahko nastanejo že med vgradnjo, zato je potrebno pozornost izolacijskim materialom namenjati v celotnem obdobju uporabe in jih tudi ustrezno vzdrževati. Zatesnitev razpok in špranj je kljub nemogoči zatesnitvi vseh razpok priporočljiv ukrep v kombinaciji z drugimi ukrepi.

Najučinkovitejši ukrepi so gradbeni posegi, s katerimi omejimo širjenje radona. V objektu se lahko izvede utrditev talne plošče, prezračevanje jaškov in prezračevanje zemljine pod talno ploščo (Marušič, 2010). Ukrepe lahko izvedemo z različnimi tehničnimi pristopi, med katere spadata tudi zmanjšanje zračnega tlaka pod tlemi (podtlak) ali povečanja zračnega tlaka v prostoru nad tlemi (nadtak) (Marušič, 2010). Za natančnejše informacije predlagamo posvet z izvedencem gradbene stroke.

Viri

1. Denman AR, Groves-Kirkby CJ, Phillips PS, Woolridge AC, Crockett RGM. Seasonal correction factors in radon exposure assessment: are they help or hindrance? V: 12th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 12), Buenos Aires, Argentina, 19–24 October 2008.
2. European Commission (EC). Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Radiation Protection 112; 1999.
3. Gallelli G, Panattoni D, Lai P, Orlando P, Risso D. Relevance of main factors affecting radon concentration in multi-storey buildings in Liguria (Northern Italy). Journal of Environmental Radioactivity. 1998; 39: 117–28.
4. Gray A, Read S, McGale P, Darby S. Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. BMJ: 2009.
5. International Agency for Research on Cancer (IARC). List of Classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans. Dosegljivo 27. 11. 2015 s spletne strani: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Table4.pdf>
6. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against radon-222 at home and at work. Publication 65. Pergamon Press; 1994.

Dokument:	PROBLEMATIKA POVIŠANIH KONCENTRACIJ RADONA V VRTCIH IN ŠOLAH
Pripravljalca:	Strokovna skupina za Varovanje zdravja prebivalstva pred škodljivimi učinki sevanja, NIJZ-Center za zdravstveno
	Verzija: 6.1.2016 Zamenja verzijo: /

7. Kreuzer M, McLaughlin J. Radon. V: WHO Regional Office for Europe, WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Denmark; 2010.
8. Leban M. Vpliv okolja in bivalnih navad na raven radona v domovih [diplomsko delo]. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju; 2013.
9. Marušič B. Tehnologije zmanjševanja koncentracije radona v zaprtih prostorih [diplomsko delo]. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo; 2010.
10. Miles JC. Temporal variation of radon levels in houses and implications for radon measurement strategies. Radiation Protection Dosimetry. 2001; 94: 369–75.
11. Ministrstvo za zdravje – Uprava RS za varstvo pred sevanji. Pogosta vprašanja in odgovori. Dosegljivo 27. 11. 2015 s spletne strani: http://www.uvps.gov.si/si/pogosta_vprasanja_in_odgovori/#c16810
12. Popović D, Todorović D. Radon indoor concentrations and activity of radionuclides in building materials in Serbia. Physics, Chemistry and Technology. 2006; 4: 11–20.
13. Program sistematičnega pregledovanja delovnega in bivalnega okolja ter ozaveščanja prebivalstva o ukrepih za zmanjšanje izpostavljenosti zaradi prisotnosti naravnih virov sevanj. Ur I RS 17/2006.
14. Svetovna zdravstvena organizacija. Handbook on Indoor Radon. Geneva; 2009. Dosegljivo 27. 11. 2015 s spletne strani: http://www.uvps.gov.si/fileadmin/us.gov.si/pageuploads/Naravni_viri/Rn-besedilo.pdf
15. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume I; 2000.
16. Uredba o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih. Ur I 49/2004.
17. US Environmental Protection Agency (EPA). EPA Assessment of Risks from Radon in Homes. Washington: EPA - Office of Radiation and Indoor Air; 2003.
18. US Environmental Protection Agency (EPA). A Citizen's Guide To Radon. The Guide To Protecting Yourself And Your Family From Radon. Indoor Environments Division; 2012.
19. Vaupotič J. Review of radon research in Slovenia. V: IAEA (ur.), Sources and Measurements of Radon and Radon Progeny Applied to Climate and Air Quality Studies, Dunaj: 115-23; 2012.
20. Vaupotič J, Križman M, Planinič J, Pezdič J, Adamič K, Stegnar P in sod. Systematic indoor radon and gamma measurements in kindergartens and play schools in Slovenia. Health Physich . 1994; 66(5): 550-6.
21. Vaupotič J, Kobal I, Planinič J. Long-term radon investigation in four selected kindergartens in different geological and climate regions of Slovenia. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1998; 238 (1-2): 61-6.
22. Vaupotič J, Kobal I, Križman M. Background outdoor radon I levels in Slovenia. Nukleonika. 2010; 55(4): 579–82.
23. Wilkening M. Studies in Environmental Science 40. Radon in the Environment. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1990.
24. Zhu HC, Charlet JM, Tondeur F. Geological controls to the indoor radon distribution in southern Belgium. The Science of the Total Environment, 1998; 220: 195–214.

Dokument:	PROBLEMATIKA POVIŠANIH KONCENTRACIJ RADONA V VRTCIH IN ŠOLAH
Pripravila:	Strokovna skupina za Varovanje zdravja prebivalstva pred škodljivimi učinki sevanja, NIJZ-Center za zdravstveno
	Verzija: 6.1.2016 Zamenja verzijo: /