
PROBLEM RADONA V ZAPRTIH PROSTORIH

RADON AS INDOOR POLLUTANT

Valerija Žager, dipl.inž.rad., Onkološki inštitut, oddelek za teleradioterapijo,
Vrazov trg 3, 1000 Ljubljana

IZVLEČEK

Radon (^{222}Rn) je naravni radioaktivni plin. Je kemično nevtralen in ga ne moremo videti oziroma vohati, ker je brez barve oziroma vonja.

Radon - 222 nastane z radioaktivnim razpadom radija - 226 (^{226}Ra), ki je del razpadne verige urana - 238 (^{238}U). Dalje radon razpada v polonij - 214 (^{214}Po), polonij - 218 (^{218}Po), bizmut - 214 (^{214}Bi) in svinec - 214 (^{214}Pb), ki so tudi radioaktivni. Imenujemo jih radonovi kratkoživi razpadni produkti, ker imajo zelo kratke razpolovne čase (3 do 26 minut). V zraku nastopajo v glavnem kot aerosoli in pri dihanju jih naša pljuča odfiltrirajo od zraka in tako ostanejo na stenah dihalnih poti. Na teh mestih obsevajo bližnje tkivo in mu s tem delajo škodo. Proces pa lahko vodi do rakastega obolenja pljuč.

V članku bodo predstavljene nekatere študije o radonu kot onesnaževalcu zaprtih prostorov.

Uran in radij, iz katerih radon nastaja, sta

ABSTRACT

Radon (^{222}Rn) is the naturally radioactive but chemically inert and colourless gas. It is formed from the radioactive decay of radium (^{226}Ra), which is the part of fifth generation of uranium (^{238}U) decay series. Radon decays also into a series of solid isotopes (polonium - 214 (^{214}Po), polonium - 218 (^{218}Po), bismuth - 214 (^{214}Bi) and lead - 214 (^{214}Pb). These are radon decay products or radon daughters. They have very short radioactive breakdown (3 to 26 minutes). They remain suspended in the air and when inhaled, they irradiated the lung and increase the risk of lung cancer.

In the article will be presented some researches about radon as indoor pollutant.

Uranium and radium are present almost in all rocks and soils. We can say that radon is source of radiation exposure and it is present both in our homes and at work. So, it is a great concern worldwide, because radon exposure is universal.

razširjena v kameninah zemeljske skorje povsod po svetu. Radon, ki je prisoten tako v naših domovih kot na delovnih mestih, vzbuja skrb za razmislek zaradi svoje univerzalnosti ne samo pri nas v Sloveniji, ampak tudi povsod drugod po svetu.

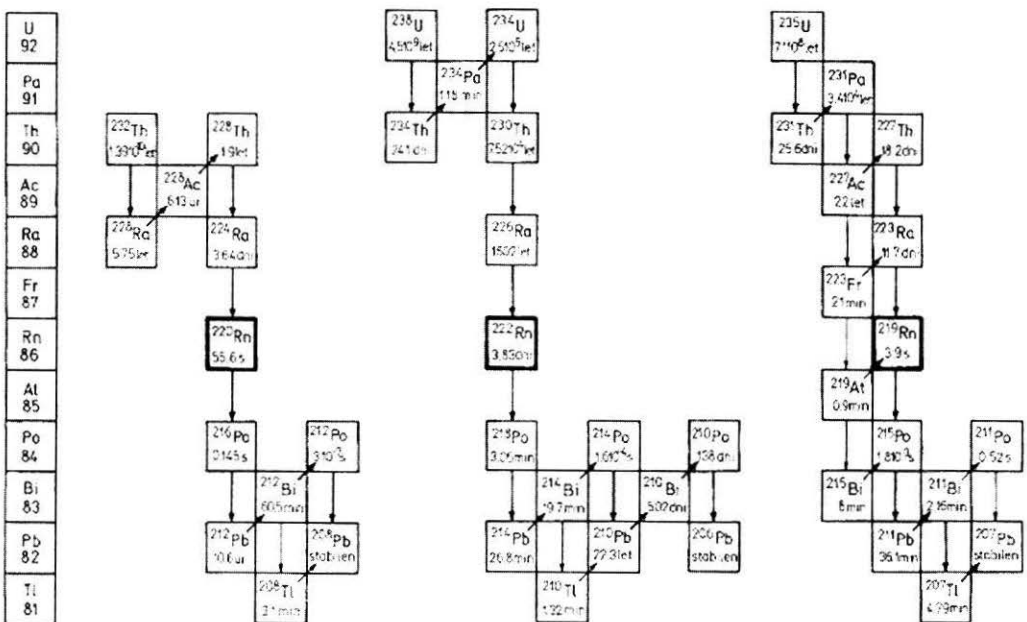
1 UVOD

1.1 Kaj je radon?

Radon je naravni radioaktivni plin z razpolovnim časom 3,85 dni. Je kemično nevtralen in ga ne moremo videti oziroma vohati, ker je brez barve in vonja. Radon nastaja v naravi v treh razpadnih verigah in sicer v uranovi (^{238}U), kjer dobimo radon - 222 (^{222}Rn), v torijevi (^{232}Th), kjer

dobimo toron - radon 220 (^{220}Rn) in v aktinijevi (^{235}U), kjer dobimo aktinon - radon 219 (^{219}Rn). To so izotopi plina radona.

Ker imata toron in aktinon kratke razpolovne čase (55,6 sekunde in 4,0 sekunde) v veliki meri razpadeta v zemlji in ne prideta na površje. Radon - 222 pa z razpolovnim časom 3,85 dni kljub



Slika 1: Razpadne verige plina radona

radioaktivnemu razpadu prehaja z difuzijo in konvekcijo iz zemlje v ozračje. Zato, če ni drugače navedeno, kadar govorimo o radonu, mislimo na radon – 222. Dalje radon razpada v polonij - 214 (^{214}Po), polonij - 218 (^{218}Po), bizmut - 214 (^{214}Bi) in svinec - 214 (^{214}Pb), ki so tudi radioaktivni. Imenujemo jih radonovi kratkoživi razpadni produkti, ker imajo zelo kratke razpolovne čase (3 do 26 minut).

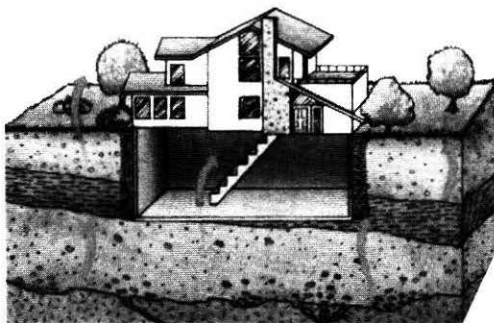
1.2 Radon in radioaktivno ravnotežje

V primeru mirnega ozračja bi se radioaktivno ravnotežje lahko vzpostavilo, se pravi, da bi bile aktivnosti radona in njegovih kratkoživih razpadnih produktov enake. Ker pa je radon plin, njegovi razpadni produkti pa so kovine, ki v zraku nastopajo v glavnem kot aerosoli, radioaktivno ravnotežje praktično ni nikoli doseženo. To je posledica različne narave radona in njegovih razpadnih produktov. Stopnjo ravnotežja podajamo z ravnotežnim faktorjem, ki je v različnih okoljih lahko zelo različen, v bivalnem okolju pa so njegove vrednosti od 0,20 do 0,60 (20% do 60%).

1.3 Izvori in koncentracije radona

Izvori radona so lahko različni in od tega je odvisna tudi koncentracija radona v zaprtih prostorih. Med izvore radona prištevamo zemeljsko skorjo

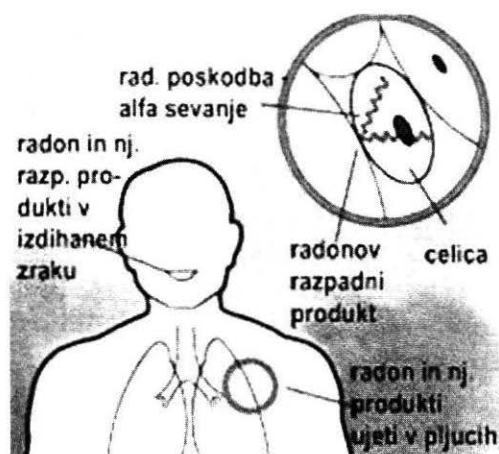
(koncentracije od 1000 do 100.000 Bq/m³, v talnem zraku je njegova koncentracija običajno od 100.000 do 500.000 Bq/m³, v zunanjem zraku – v ozračju pa se hitro razredči in koncentracije redko presežejo 50 Bq/m³), podtalne in površinske vode (koncentracije od nekaj 100 do 10.000 Bq/m³; faktor prehoda iz vode v zrak je 10⁻⁴, kar pomeni, da je 10.000 Bq/l radona v vodi enako kot 1 dodan Bq/m³ radona v zraku), zemeljski plin (koncentracije od nekaj 10 do 1000 Bq/m³), bivalno okolje (koncentracije od nekaj 10 do 1000 Bq/m³). Radon prehaja skozi zemeljsko skorjo na različne načine in z različno intenziteto. Vse to pa zavisi od mnogih dejavnikov kot so recimo: koncentracija urana in radija v zemlji in kameninah, sestava in prepustnost zemeljskih plasti ter vsebnost vode (vlažnost) v zemlji.



Slika 2: Načini prehoda radona v zaprte prostore in v ozračje

1.4 Zakaj je radon nevaren za človeka?

Problem radona oziroma nevarnost za zdravje človeka pravzaprav ne leži v njem, saj ga pri dihanju izdihamo. Nevarni so njegovi kratkoživi radioaktivni razpadni produkti (polonij – 214, polonij – 218, svinec – 218 in bizmut – 214), ki so alfa sevalci in v zraku v glavnem nastopajo kot aerosoli. In le-te naša pljuča pri dihanju odfiltrirajo od zraka in ostanejo na stenah dihalnih poti. In na teh mestih, kjer se ti produkti deponirajo, obsevajo bližnje tkivo in mu s tem delajo škodo. Ves proces pa lahko vodi do rakastega obolenja. Študije so dokazale, da so za radon najbolj občutljive bazalne in sekretorne celice v pljučih. V nekaterih študijah so našli tudi povezavo med izpostavljenostjo povečanim koncentracijam radona in določenim vrstam levkemij in raka na področju trebuha. Naslednje pomembno dejstvo je povezava med radonom in kajenjem. Če so



Slika 3: Radon in njegovi razpadni produkti kot možni povzročitelji pljučnega raka

ljudje kadilci in hkrati izpostavljeni povečanim koncentracijam radona, je zelo priporočljivo, da nehajo kaditi, (primer so recimo rudarji). Radon je na lestvici, kot povzročitelj pljučnega raka, drugi po vrsti. Takoj za kajenjem.

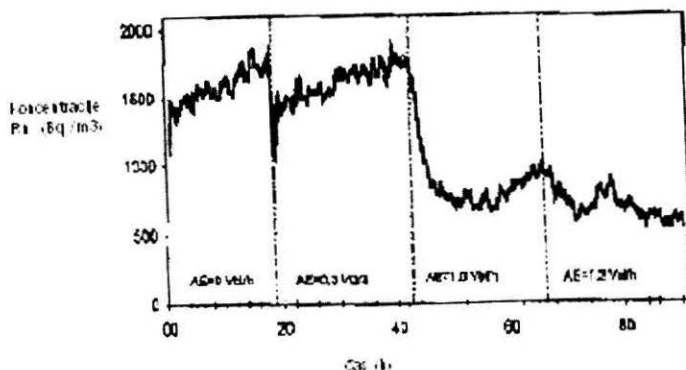
2 PRIMERI ŠTUDIJ O MERITVAH RADONA

2.1 Meritve radona v eksperimentalni zgradbi v Milanu, Italija

Študija govori o meritvah radona v eksperimentalni zgradbi v Milanu v Italiji. Zgradba je grajena na področju, ki po svoji geološki sestavi tal vsebuje nizke koncentracije radona. Radon so merili v zaprtih prostorih, zunaj okoli zgradbe, v gradbenem materialu, v tleh in v kletnih prostorih, da bi ugotovili povečane koncentracije radona in glavni izvor le-teh.

2.1.1 Meritve radona v zgradbi

Meritve radona v prostorih so izvedli s štirimi različnimi stopnjami ventilacije v 24 urah in sicer od 0,0 vol/h pretoka zraka – air exchange - AE (povsem zaprta okna in brez ventilacije) do 1,3 vol/h pretoka zraka (vključena ventilacija na položaj 2). Rezultati meritev, ki so jih dobili pod temi pogoji so bili naslednji:



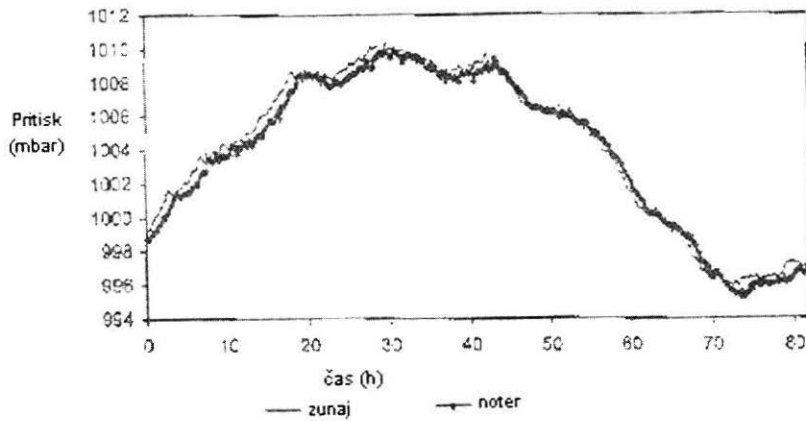
Graf 1: Koncentracije radona v zaprtih prostorih pod različnimi ventilacijskimi pogoji (P.Orlando in sod., 2004: 262)

Rezultati so pokazali, da so bile koncentracije radona v prvih dveh primerih visoke (od 1600 Bq/m³ do 1700 Bq/m³), v drugih dveh primerih pa so se vrednosti precej znižale (od 600 Bq/m³ do 700 Bq/m³), čeprav so ostale še vedno nad dovoljeno mejo (v Italiji je mejna vrednost za radon za delovno okolje 500 Bq/m³). Iz dobljenih rezultatov v grafu 1 lahko povzamemo, da lahko že preprosta ventilacija prostorov precej zmanjša koncentracije radona v prostoru.

2.1.2 Meritve notranjega in zunanjega pritiska, meritve zunanjih koncentracij radona, koncentracije radona v radionuklidih, meritve radona v tleh zunaj okrog zgradbe ter v kletnih prostorih

Poleg ostalih meritev so opravili še meritve mikroklimatskih parametrov, kot so temperatura, pritisk in relativna vlažnost, ki prav tako lahko vplivajo na povečane koncentracije radona v prostoru. Na grafu 2 si lahko pogledamo rezultate meritev notranjega in zunanjega pritiska v primerjavi s časom. Povzamemo lahko, da se krivulji med seboj skoraj povsem prekrivata, se zelo malo razlikujeta in to je pokazatelj, da pritisk ni tisti faktor, ki bi vplival na povečane vrednosti radona v prostorih.

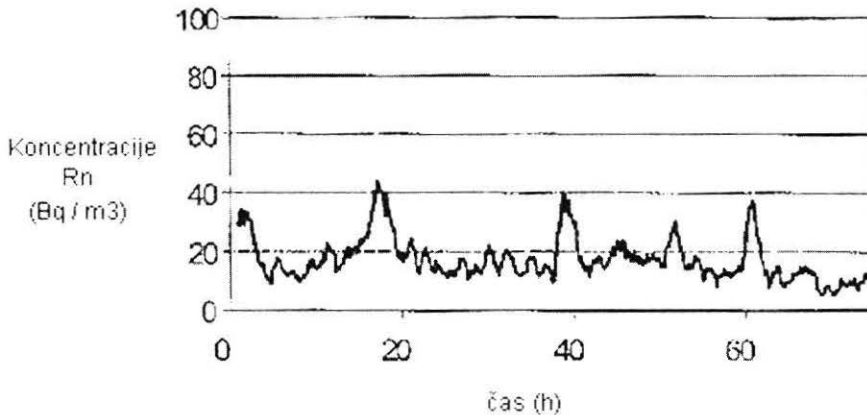
Graf 2: Meritve notranjega in zunanjega pritiska v primerjavi s časom (P.Orlando in sod., 2004: 263)



Kot možni izvor za povečane koncentracije radona v prostorih so merili tudi radon v zunanjem zraku. Na grafu 3

lahko vidimo, da so dobljene vrednosti nizke in tako nepomembne za celotno merjenje.

Graf 3: Meritve zunanjih koncentracij radona (P.Orlando in sod., 2004: 264)



Radionuklide, prisotne v gradbenem materialu so merili z gama spektrometrom. Meritve so pokazale, da je radioaktivnost v teh materialih dokaj nizka in je doprinos k akumulaciji radona v prostorih na njihov račun zelo majhen.

Meritve radona so izvajali tudi v tleh zunaj okrog zgradbe ter v kletnih prostorih. Dobljeni rezultati kažejo na visoke koncentracije radona v kletnih prostorih (od 15000 Bq/m³ do 16100 Bq/m³). Prav tako pa dobimo primerljive vrednosti radona zunaj okoli zgradbe (tabela 1).

	Koncentracije Rn (Bq / m ³)
TLA	
1	15 000 ± 1430
2	16 100 ± 1590
3	15 700 ± 1550
4	15 950 ± 1580
KLET	
S1	15 900 ± 1580
S2	15 870 ± 1540

Tabela 1: Meritve radona zunaj okoli zgradbe in v kletnih prostorih (P.Orlando in sod., 2004: 263)

2.1.3 Sistem ventilacije v kletnih prostorih

Glede na vse opravljene meritve, se je izkazalo, da je glavni izvor povečanih koncentracij radona v kletnih prostorih. Zato so izvedli sanacijski ukrep in sicer dodatno ventilacijo teh prostorov.

Namestili so štiri zračnike in sicer dva na južni in dva na severni strani kleti s premerom 16 cm, 20 cm nad tlemi. V tabeli 2 lahko vidimo, kako so se pod različnimi ventilacijskimi pogoji koncentracije radona bistveno zmanjšale (od 93 Bq/m³ do 194 Bq/m³).

vzorec	AE = 0.3 vol./h	AE = 1.0 vol./h	AE = 1.2 vol./h
Radon (Bq/m ³)	155 ± 10	194 ± 5	93 ± 10

Tabela 2: Koncentracije radona z dodatno ventilacijo kletnih prostorov (P.Orlando in sod., 2004: 265)

To je primer študije o meritvah radona, ko so po odkritju povečanih koncentracij odkrili izvor le-teh in jih s primernimi sanacijskimi ukrepi zmanjšali v okvir dovoljenih vrednosti.

2.2 Meritve radona na Onkološkem inštitutu

Meritve radona na Onkološkem Inštitutu so bile izvedene leta 2002 v sklopu meritev radona v slovenskih bolnišnicah. V desetih prostorih so merili trenutne koncentracije radona z alfa scintilacij-

skimi celicami, povprečne koncentracije radona pa z detektorji jedrskih sledi. Koncentracije radona v zraku so bile nizke, saj so samo v dveh od vseh preiskanih prostorov trenutne in tudi povprečne vrednosti bile nekoliko višje od 200 Bq/m³ (v pralnici v stavbi C Onkološkega inštituta in v kuhinji v stavbi B). V Sloveniji so mejne predpisane vrednosti za radon za bivalno okolje 400 Bq/m³, s priporočeno vrednostjo 200 Bq/m³. Za delovno okolje pa so mejne predpisane vrednosti 1000 Bq/m³. V tabeli 3 so razvidni rezultati meritev

trenutnih in povprečnih koncentracij radona.

Tabela 1. Trenutne in povprečne koncentracije radona v zraku prostorov Onkološkega inštituta Ljubljana (N – nadstropje: k – klet, p – pritličje). Trenutne meritve s scintilacijskimi celicami smo izvedli dne 19.09.2002, medtem ko smo detektorje jedrskih sledi izpostavili v obdobju od 19.09. do 24.10.2002. Spodnjo mejo zaznavnosti in standardni odklon smo računali po postopku HASL (25)

	prostor	N	trenutna C_{Rn} Bq m ⁻³	povprečna C_{Rn} Bq m ⁻³
1	stavba A-informacije	p	36 ± 11	97 ± 13
2	stavba A-brahiterapija (zaprti oddelek)	p	> 31	97 ± 13
3	stavba B-skladišče živil	k	> 25	27 ± 8
4	stavba B-pralnica	k	> 27	20 ± 7
5	stavba B-kuhinja O1	k	> 36	220 ± 19
6	stavba C-pralnica	k	250 ± 18	179 ± 17
7	stavba C-tajništvo	p	26 ± 9	40 ± 9
8	stavba D-seba za tehnike	k	> 30	32 ± 8
9	stavba D-linearni pospeševalnik 5	k	> 29	57 ± 10
10	stavba D-psihoonkologija (čakalnica)	k	33 ± 11	91 ± 12

Tabela 3: Trenutne in povprečne koncentracije radona na Onkološkem inštitutu

Letne efektivne doze delavcev na Onkološkem inštitutu zaradi vdihavanja radonovih razpadnih produktov so bile v prostorih, kjer so se opravljale meritve izračunane za 92 oseb. V povprečju so bile prejete doze nizke, samo na delovnih mestih kuhar – pomočnik, kuhar in vodja kuhinje so presegle 1mSv na leto. (J. Vaupotič in sod., 2005: 7)

V tabeli 4 so rezultati meritev letnih efektivnih doz zaradi vdihavanja razpadnih produktov radona na Onkološkem inštitutu.

Tabela 2: Letne efektivne doze (E), ki jih prejmejo delavci zaradi vdihavanja radonovih razpadnih produktov v prostorih Onkološkega inštituta Ljubljana, v katerih smo izvedli meritve.

delovno mesto	število delavcev na delovnem mestu	letno število ur delavca na delovnem mestu	$E / \text{mSv a}^{-1}$
vratar telefonist	1	2223	0,69
vratar telefonist	1	731	0,23
bolniška strežnica	5	1525	0,47
zdravstveni tehnik	7	1381	0,43
višja med. sestra	2	1647	0,51
skladiščni delavec	1	1636	0,14
skladiščnik	1	1892	0,16
perica-likarica	1	1630	0,10
vodja pralnice	1	1458	0,09
kuhinjski pomočnik	10	1740	1,22
kuhar	12	1505	1,05
vodja kuhinje	1	1847	1,29
perica-likarica	7	1559	0,89
tajnica direktorja	1	1859	0,23
prevajalka	1	1729	0,22
strokovni direktor	1	1790	0,23
radiološki inženir	27	109	0,01
inženir radiologije	5	1297	0,23
zdravstveni sodelavec	1	1441	0,42
SP psihater	1	1744	0,50

Tabela 4: Letne efektivne doze delavcev na Onkološkem inštitutu zaradi vdihavanja radonovih razpadnih produktov (J. Vaupotič in sod., 2005:10)

3 ZAKLJUČKI O RADONU KOT ONESNAŽEVALCU ZAPRTIH PROSTOROV

Za zmanjšanje povečanih koncentracij radona v zaprtih prostorih v nekaterih primerih zadostuje že preprosta ventilacija (odpiranje oken in vrat). Zaradi povečanih koncentracij radona ponoči, je prav tako priporočljivo zračenje prostorov zgodaj zjutraj (šole, vrtci...). Pri novogradnjah je priporočljivo izvesti meritve radona na teh področjih (geološka sestava tal). Potrebno je imeti

znanje o tem, kako preprečiti radonu vstop v prostore kot tudi znanje o načinih zmanjšanja povečanih koncentracij radona, potem ko je že v prostoru. V teh primerih je potrebno izvesti tudi ustrezna popravilna dela (popravila umivalnikov pri odtočnih ceveh, boljša izolacija tal, zamašitev lukenj v tleh, zamašitev razpok v stenah, popravilo razpok med tlemi in stenami...) in po koncu le-teh narediti ponovne meritve novih (običajno zmanjšanih) koncentracij radona.

Za celotno populacijo pa so potrebni

preventivni izobraževalni tečajji o radonu, ker nas le-ta spremlja skozi celo življenje in lahko postane precej nevaren sopotnik na naši poti. Zato previdnost in poznavanje te problematike ne bo nikoli odveč.

4 LITERATURA

1. Abbady A., Abbady Adel G.E., Rolf Michel. 2004. Indoor radon measurement with the Lucas cell technique. *Applied Radiation and Isotopes*, 61 (6): 1469-1475.
2. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_aset=B-WA-A-B-AUUU-MsSAYVA-UUA-AAUBUVWAVV-AAUZWWEVV-DVCYACDYU-WDCA-U&_rdoc=4&_fmt=summary&_udi=B6TJ0-4CBDB5C-1&_coverDate=12%2F31%2F2004&_cdi=5296&_orig=search&_st=13&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_urlVersion=1&_urlVersion=0&_urlVersion=0&_userid=10&md5=cca98a6668d7339146c08b2d5ac31bf2 (12.11.2004)
3. Bossew P. 2003. The radon emanation power of building materials, soils and rocks. *Applied Radiation and Isotopes*, 59 (5-6): 389-392.
4. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJ0-49H1HG X-1&_coverDate=12%2F31%2F2003&_alid=221842571&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_qd=1&_cdi=5296&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_urlVersion=0&_userid=10&md5=5d647e26941687703c16527d12ab4133 (12.11.2004)
5. Frumkin H., Samet JM. 2001. Radon. *CA Cancer J Clin*, 51 (6): 337-44, 322; quiz 345-8.
6. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=11760568 (08.11.2004)
7. Orlando P., Trenta R., Bruno M., Orlando C., Ratti A., Ferrari S., Piardi S. 2004. A study about remedial measures to reduce ²²²Rn concentration in an experimental building. *Journal of Environmental Radioactivity*, 73 (3): 257-266.
8. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_aset=B-WA-A-B-AUUU-MsSAYVA-UUA-AAUBUVWAVV-AAUZWWEVV-DVCYACDYU-WDCA-U&_rdoc=141&_fmt=summary&_udi=B6VB2-4B1SKFP-3&_coverDate=12%2F31%2F2004&_cdi=5914&_orig=search&_st=13&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_urlVersion=1&_urlVersion=0&_urlVersion=0&_userid=10&md5=096db98af60000ec2528898f87f206c4 (10.11.2004)
9. Polpong P., Bovornkitti S. 1998. Indoor radon. *J Med. Assoc. Thai*, 81 (1): 47-57.
10. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=9470322 (11.11.2004)
11. Sundell J. 2004. On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14 (7): 51-8.
12. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=15330772 (07.11.2004)
13. Vaupotič J., Roglič A., Dujmović P., Kobal I. Radon v slovenskih bolnišnicah: Onkološki inštitut Ljubljana, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija. Ljubljana, januar 2005; 1-11.