

RADIAČNÁ ZÁŤAŽ OBYVATEĽSTVA SR Z EXPOZÍCIE RADÓNU PODĽA NOVÝCH ODPORÚČANÍ EU

*Helena Cabáneková , Matej Ďurčík
Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave
University of Arizona, Tuscon*

Úvod

Ionizujúce žiarenie (IŽ) – sprevádzajúci fenomén života na zemi so spoločenským prínosom, ale aj možnou zdravotnou ujmom

- Prírodný artefakt životného prostredia
- Dôsledok ľudskej činnosti (uvedomelé využívanie ZIŽ v medicíne, priemysle, hospodárstve, školstve, vede a výskume...)

UNSCEAR 2008

Lekárske zdroje žiarenia	24,8 %
Radón	43,5 %
Ingescia	9,0 %
Terestriálne	14,9 %
Kozmické	12,1 %
Ostatné umelé zdroje	0,3 %

Prírodný zdroj žiarenia (UNSCEAR 2010)	E_{eff} [mSv]
Kozmické žiarenie	0,39
Externé terestriálne žiarenie	0,48
Vnútorne ožiarenie – ingesciou	0,29
Radón - inhaláciou	1,26
SPOLU	2,42

Nové poznatky o zdravotných účinkoch v dôsledku expozície radónu a jeho dcérskymi produktmi → revízia koeficientu rizika zdravotnej ujmy pre populáciu → pre každého obyvateľa zvýšenie efektívnej dávky z inhalácie radónu na 2,3 mSv/rok.

Radón I.

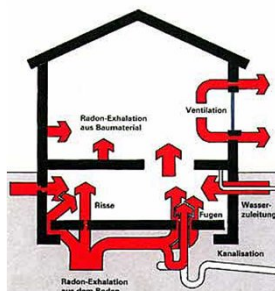
- Prírodný rádioaktívny plyn bez vône, chuti, farby a zápachu, prítomný na celom zemskom povrchu
- Epidemiologické štúdie → inhalácia vysokých koncentrácií Rn a jeho DP zvyšuje riziko rakoviny pľúc, je druhou najvýznamnejšou príčinou jej vzniku (prvá – fajčenie)
- Predpoklad lineárneho nárastu rizika vzniku rakoviny o 16% na 100 Bq.m⁻³ → Rn v pobytových priestoroch EÚ spôsobí cca 9% všetkých úmrtí na rakovinu pľúc a cca 2% všetkých úmrtí na nádorové ochorenia → v absolútnych číslach → cca 20 000 ľudí v Európe zomrie ročne na rakovinu pľúc
- WHO klasifikovala radón ako karcinogén typu 1A
- Novšie epidemiologické štúdie → kauzálnosť s chorobami cievneho a tráviaceho ústrojenstva
- Pravdepodobnosť vzniku rakoviny pľúc sa zväčšuje s narastajúcou koncentráciou Rn a jeho DP, ako aj dĺžkou expozície
- EC, ICRP, WHO, UNSCEAR → revízia koeficientu rizika zdravotnej ujmy pre populáciu → nové požiadavky na zvýšenie ochrany obyvateľstva → nová legislatíva, zavádzanie radónových programov v ktorých informovanosť obyvateľstva patrí medzi priority

Radón II.

- Dcérsky produkt alfa premeny ²²⁶Ra z uránovej (²³⁸U) premenovej rady
- ²²²Rn sa ďalej premieňa na svoje dcérske produkty s krátkou dobou polpremeny (²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po až po stabilný izotop ²⁰⁸Pb), ktoré sa v aerosólovej forme zachytávajú v pľúcnom epiteli
- Koncentrácia Rn v pobytových priestoroch je závislá od ročného obdobia a vykazuje aj 24 – hod. fluktuácie
- Maximálna koncentrácia Rn a jeho DP je v zimných mesiacoch a v ranných hodinách
- Koncentrácia Rn v pobytovej priestore závisí od typu konštrukcie domu, izolácie stavby, zvykoch ventilácie a meteorologických, geologických a geografických podmienkach
- Rozdiely môžu byť 2 až 5 násobné

Radón III.

Pristupové cesty radónu do stavebného objektu

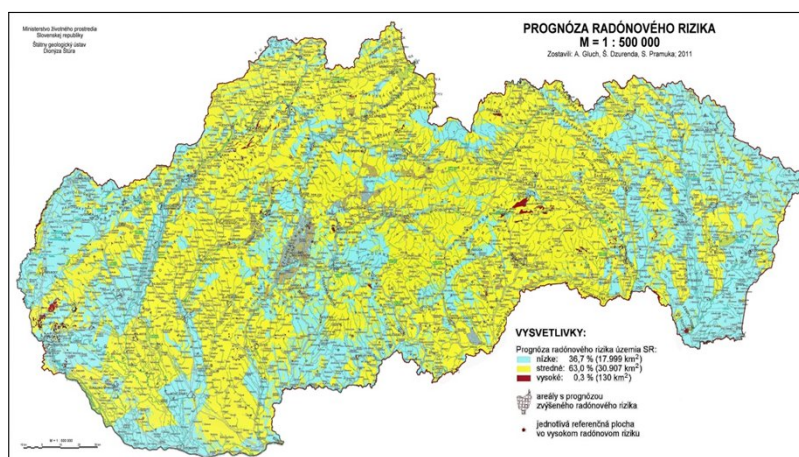


Geologické podložie domu	57%
Stavebný materiál	20%
Použitá voda	2%
Vonkajší vzduch	20%
Prírodné plyny	1%

Radónové riziko základových pód

Radónové riziko stavebného pozemku	Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu (kBq/m ³)		
	Priepustnosť podložia		
	nízka	stredná	vysoká
Nizke	< 30	<20	< 10
Stredné	30-100	20-70	10-30
Vysoké	>100	>70	>30

Mapa radónového rizika SR



Legislatíva SR

Zákon NR SR č. 355/2007 Z.z. a Vyhláška MZ SR č. 528/2007 Z.z.:

- povinnosť pre výrobcu, resp. distribútora stavebného materiálu dokladovať hygienickú nezávadnosť stavebného výrobku z hľadiska RO,
- vykonať opatrenia na zníženie obsahu prírodných rádionuklidov pri prekročení smerných hodnôt a regulovať spôsob využitia stavebného výrobku v závislosti od použitia (pobytové stavby, exteriér, interiér),
- chrániť stavby s pobytovými priestormi proti prenikaniu radónu z geologického podlažia ak sú na pozemkoch s vyšším ako nízkym radónovým rizikom,
- smerná hodnota (priamo merateľná veličina) pri prekročení ktorej treba vykonať opatrenia na obmedzenie ožiarenia):
 - stavebné výrobky určené na výstavbu stavieb s pobytovými priestormi → hmotnostná aktivita ^{226}Ra : 120 Bq.kg^{-1}
 - index hmotnostnej aktivity pre obsah prírodných rádionuklidov (hmotnostné aktivity ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , frekvencia sledovania v závislosti od typu stavebného výrobku)
 - pre vykonanie opatrení proti prenikaniu radónu z podlažia (STN 73 0601) → objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu na úrovni základovej ryhy
 - priemerná ročná objemová aktivita radónu pre obmedzenie ožiarenia v existujúcich stavbách 400 Bq.m^{-3} , pri projektovaní nových stavieb, resp. rekonštrukcii 200 Bq.m^{-3}

Úradný vestník EU L 13 (Právne predpisy)

Stanovuje základné bezpečnostné normy ochrany pred nebezpečenstvami vznikajúcimi v dôsledku IŽ so zohľadnením posledných nariadení a odporúčaní medzinárodných organizácií (Rada EÚ č.305/2011, Komisia EÚ 90/143/EURATOM, ICRP 103, ICRP 115, ICRP 116, ICRP 119....)

Členské štáty zabezpečia:

- Prísnejšie pravidlá prevencie a regulácie neodôvodneného ožiarenia radónom v pobytových priestoroch
- Harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh
- Národné akčné plány na riešenie dlhodobých rizík vyplývajúcich z ožiarenia radónom
- Stanovenie referenčných úrovní pre interiérové koncentrácie radónu
- Identifikovanie obydli s koncentráciou radónu nad referenčnou úrovňou, prostriedky a opatrenia na znižovanie koncentrácie radónu
- Poskytovanie informácií o interiérovom ožiarení radónom a súvisiacich zdravotných rizikách

Stavebné materiály a suroviny

- Prírodné rádionuklidy v stavebných materiáloch a surovinách majú za následok vonkajšie a vnútorné ožiarenie:
 - externá expozícia → fotónové žiarenie pri rádioaktívnej premene rádioizotopov ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K .
 - vnútorné ožiarenie → inhalácia ^{222}Rn a jeho dcérskych produktov (materský nuklid ^{226}Ra , z uránovej premenovej rady) → difúziou zo stien do objektu
- Koncentrácia prírodných rádionuklidov v primárnych stavebných surovinách závisí predovšetkým od geologického podłożia, u sekundárnych stavebných materiálov hlavne od spôsobu spracovania.
- V rámci kontroly bolo doteraz gamaspektrometricky analyzovaných cca 4 000 vzoriek stavebných materiálov a surovín → hmotnostná aktivita ^{226}Ra , ^{232}Th (vážený priemer koncentrácie ich produktov premeny: ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{228}Ac , ^{208}Tl , ^{212}Pb), ^{40}K a výpočtom „index“
- Nezávadnosť pre bytovú výstavbu sa posudzuje vo vzťahu k smerným hodnotám.

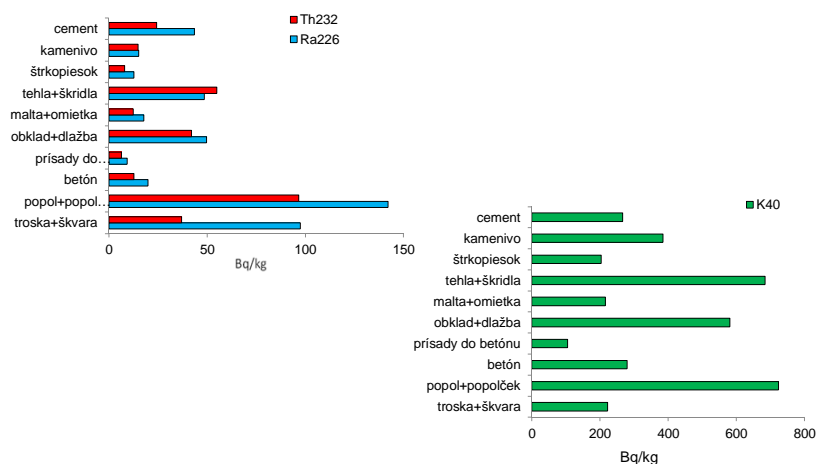
Stavebné materiály a suroviny

Maximálna nameraná hmotnostná aktivita rádia, thória a draslíka vo vybraných typoch materiálov a surovín a vypočítaný index pre externé ožiarenie

Materiál	N	K [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$]		Ra [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$]		Th [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$]		INDEX	
		max \pm SD	medián	max \pm SD	medián	max \pm SD	medián	max	medián
troska+škvara	49	761,6 \pm 76,0	182,0	244,4 \pm 36,7	90,8	106,9 \pm 16,0	35,9	1,27	0,56
popol+popolček	36	2684,7 \pm 260,0	595,6	322,5 \pm 48,4	129,8	190,3 \pm 19,0	100,4	2,60	1,17
betón	65	7393,6 \pm 75,0	264,3	207,3 \pm 31,4	12,7	85,2 \pm 12,8	10,0	1,07	0,17
prísady do betónu	499	3426,0 \pm 315,0	11,6	252,5 \pm 24,0	0,9	142,0 \pm 14,0	0,9	1,66	0,01
obklad+dlažba	21	1519,7 \pm 152,0	583,6	120,3 \pm 18,5	31,2	119,0 \pm 17,8	40,8	1,25	0,46
malta+omietka	389	4328,0 \pm 215,0	153,2	150,0 \pm 22,5	13,5	112,3 \pm 16,8	8,5	1,45	0,16
tehla+škridla	137	1159,6 \pm 110,0	666,7	90,6 \pm 13,6	47,1	112,1 \pm 18,0	57,1	1,01	0,65
štrkopiesok	157	1030,0 \pm 103,0	215,1	86,7 \pm 13,0	10,4	66,6 \pm 10,0	6,5	0,78	0,15
kamenivo	658	1603,0 \pm 155,0	398,9	71,0 \pm 10,7	12,0	105,5 \pm 15,8	11,4	1,05	0,23
cement	548	1406,9 \pm 140,0	249,0	196,0 \pm 20,0	43,4	100,0 \pm 15,0	24,3	1,19	0,33

Stavebné materiály a suroviny

Priemerná hmotnostná aktivita vo vybraných typoch stavebných materiálov a surovín



Radiačná záťaž z externého ožiarenia

Odhad radiačnej záťaže populácie SR z externého ožiarenia bol uskutočnený pomocou výpočtového modelu pre štandardný pobytový priestor (5x5x2.8 m) postavený z tehly, resp. z betónu pri faktore pobytu 80%.

$$E = C_{Ra} \cdot A_{Ra} + C_{Th} \cdot A_{Th} + C_K \cdot A_K$$

C_{Ra}, C_{Th}, C_K - konverzný faktor pre Ra, Th a K [(mSv.r⁻¹)/(Bq.kg⁻¹)]

A_{Ra}, A_{Th}, A_K - hmotnostná aktivita Ra, Th a K [Bq.kg⁻¹]

- Silne konzervatívny odhad → pri statistickom spracovaní boli uvažované všetky analyzované vzorky → priemerná hodnota, medián sú mierne nadhodnotené

material	E_{ext} [mSv.r ⁻¹]			
	E (Ra)	E (Th)	E (K)	E_{eff}
tehla	0,20 (0,02-0,37)	0,32 (0,66-0,01)	0,20 (0,31-0,34)	0,72 (0,04-1,37)
betónové panely	0,05 (0,02-0,57)	0,08 (0,008-0,34)	0,06 (0,009-1,65)	0,20 (0,02-2,56)

- IAEA Safety Standards No.SSG-32, 2015 : Svetový priemer efektívnej dávky z externého ožiarenia terestriálnymi prírodnými rádionuklidmi je 0,48 mSv.r⁻¹ (0,41 mSv z expozície v priestoroch).

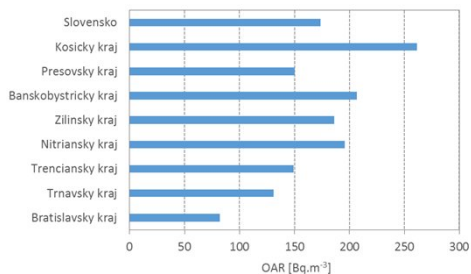
	E_{ext} [mSv.r ⁻¹]
IAEA	0,3 - 0,6
SR	0,46

Skríning radónu v SR

Predchádzajúce prieskumy radónu v pobytových priestoroch SR od 1992 do 2005

Meraná EOAR a prepočítaná na OAR s použitím faktora rovnováhy $F = 0.4$
EOAR = F.OAR

Priemerná OAR v krajoch a SR



	Počet priestorov	Avg OAR [Bq.m ⁻³]	StDev OAR [Bq.m ⁻³]	Min OAR [Bq.m ⁻³]	Max OAR [Bq.m ⁻³]	>200 Bq.m ⁻³ [%]	>300 Bq.m ⁻³ [%]	>400 Bq.m ⁻³ [%]
Bratislavský kraj	646	82.3	138.7	4.8	1895.7	31.7	18.9	13.1
Trnavský kraj	335	130.9	165.4	4.2	1264.7	35.1	18.1	11.4
Trenčiansky kraj	391	149.3	208.1	3.6	1740.7	8.7	4.8	2.9
Nitriansky kraj	396	195.7	246.4	4.3	1354.2	41.0	29.6	23.0
Žilinský kraj	344	186.0	194.9	3.5	1037.5	26.8	20.7	14.4
Banskobystrický kraj	797	206.9	234.5	1.1	2109.8	22.4	12.1	7.9
Prešovský kraj	340	150.3	240.9	6.0	2609.4	20.2	13.6	7.7
Košický kraj	595	261.4	291.8	3.5	2031.2	21.8	9.9	6.0
Slovensko	3844	173.9	229.1	1.1	2609.4	26.6	16.3	11.1

Skríning radónu v SR

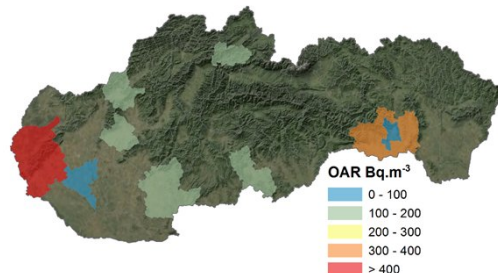
OAR podľa jednotlivých okresov

Okres	Avg OAR [Bq.m ⁻³]	Pocet priestorov	StDev OAR [Bq.m ⁻³]	Min OAR [Bq.m ⁻³]	Max EOAR [Bq.m ⁻³]	>200 Bq.m ⁻³ [%]	>300 Bq.m ⁻³ [%]	>400 Bq.m ⁻³ [%]
Bratislava II	29	97	21	5	128	0	0	0
Bratislava V	36	79	45	5	258	1.3	0	0
Bánovce nad Bebravou	55	10	40	11	137	0	0	0
.....								
Rimavská Sobota	325	107	348	19	2110	57.9	35.5	24.3
Rožňava	400	124	338	4	1434	59.7	47.6	44.4
Spišská Nová Ves	405	82	362	13	1296	57.3	52.4	39.1

[Vičanova, 2003 a 2006]

Skríning radónu v SR

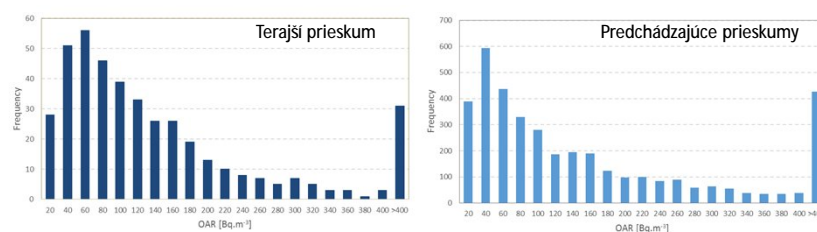
Pokračovanie v meraní radónu (OAR) v bytových priestoroch SR od 2012



	Topoľčany	Levice	Jahodná	Galanta	Lučenec	Trenčín	D Kubín	Košice	Bratislava
Počet obydli	31	40	75	30	33	41	104	39	27
max OAR [Bq.m ⁻³]	527.5	312.5	2027.1	330.5	1178.4	434.1	527.6	153.3	3395.8
min OAR [Bq.m ⁻³]	6.7	13.1	26.3	19.0	4.4	5.3	0.7	2.4	20.5
Avg OAR [Bq.m ⁻³]	116.0	100.6	308.5	79.5	141.7	104.5	111.1	48.7	492.7
StdDev OAR [Bq.m ⁻³]	107.6	71.2	303.1	58.1	211.0	77.3	94.4	42.1	814.4
Počet nad 200 Bq.m ⁻³	5	3	45	1	5	4	7	0	13
Počet nad 300 Bq.m ⁻³	1	1	26	1	4	1	5	0	7
Počet nad 400 Bq.m ⁻³	1	0	18	0	2	1	3	0	6

Skríning radónu v SR

Porovnanie OAR v sledovaných bytových objektoch terajšieho (2014-2016) a predchádzajúcich prieskumov (1992-2005)



Veličina	Terajší prieskum	Predchádzajúce prieskumy
Počet pob. priestorov	420	3844
max OAR [Bq.m ⁻³]	3395.8	2609.4
min OAR [Bq.m ⁻³]	0.7	1.1
Avg OAR [Bq.m ⁻³]	164	173.9
StdDev OAR [Bq.m ⁻³]	281.6	229.1
Medián [Bq.m ⁻³]	92.4	91.8
Geometrický priemer (GP) [Bq.m ⁻³]	90.8	92
StdDev GP [Bq.m ⁻³]	3	3.2
Počet nad 200 Bq.m ⁻³	83 (19.8%)	1023 (26.6%)
Počet nad 300 Bq.m ⁻³	46 (11.0%)	625 (16.3%)
Počet nad 400 Bq.m ⁻³	31 (7.4%)	426 (11.1%)
Poškodené alebo chybajúce detektory	7.4%	4.9%

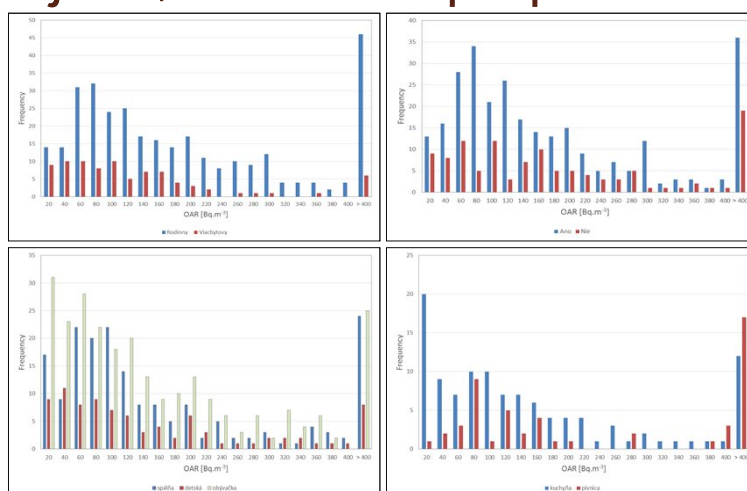
Prehľad OAR v krajinách EU

Zistená priemerná ročná OAR na Slovensku je 174 Bq.m^{-3}
 Váňovaná priemerná hodnota podľa počtu obyvateľov v okresoch je 161 Bq.m^{-3}

Country	OAR [Bq.m ⁻³]	Country	OAR [Bq.m ⁻³]
Austria	97	Ireland	89
Belgium	48	Italy	70
Bulgaria	22	Latvia	49
Croatia	68	Lithuania	55
Cyprus	19	Luxembourg	115
Czech Republic	140	Netherlands	23
Denmark	53	Poland	49
Estonia	60	Portugal	62
Finland	120	Romania	45
France	63	Slovenia	87
Germany	50	Spain	90
Greece	55	Sweden	108
Hungary	107	United Kingdom	20

Zdroj: EUR 21892 EN - An overview of radon surveys in Europe, 2005

Distribúcia OAR v závislosti od typu objektu, miestnosti a podpivničenia



Radiačná záťaž obyvateľstva

WLM – Working Level Month → jednotka, ktorá predstavuje akumulatívnu expozíciu radónom a jeho dcérskymi produktmi
 $1 \text{ WLM} = 6.37 \times 10^5 / F \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3} \text{ OAR}$

Faktor rovnováhy $F = 0.4$

Zásahové úrovne pre efektívnu dávku:

	OAR [Bq.m ⁻³]	Ročná expozícia [WLM]	Efektívna dávka [mSv/rok]
ICRP 65 (predchádzajúca)	200	0.88	3
	600	2.64	10
ICRP 115 (navrhovaná)	100	0.44	3
	300	1.32	10

Radiačná záťaž obyvateľstva

Zmeny a dôsledky vyplývajúce zo zmeny stanovenej v ICRP 115 a zo smernice BSS EU

Koeficient rizika získania rakoviny z expozície radónom:

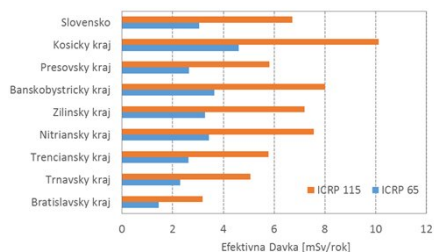
	Koeficient rizika	
	WLM ⁻¹	(Bq.h.m ⁻³) ⁻¹
ICRP 65 (predchádzajúca)	2.8×10^{-4}	4.0×10^{-10}
ICRP 115 (navrhovaná)	5.0×10^{-4}	8.0×10^{-10}

Konverzný koeficient na výpočet efektívnej dávky z expozície radónom:

	Konverzný koeficient	
	mSv na WLM	nSv na Bq.h.m ⁻³
ICRP 65 (predchádzajúca)	4.0	6.0
ICRP 115 (navrhovaná)	9.0	14.0

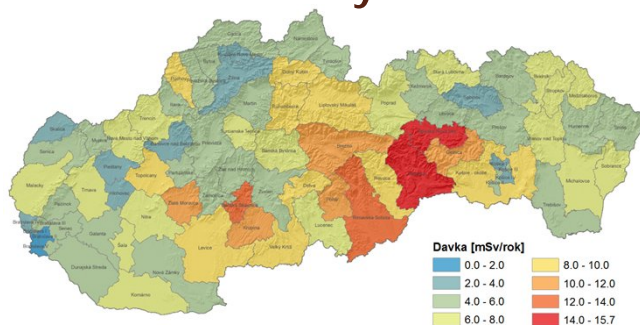
Radiačná záťaž obyvateľstva

Efektívna dávka obyvateľstva stanovená podľa ICRP 65 (pôvodná) a ICRP 115 (navrhovaná) s použitím OAR z predchádzajúcich prieskumov



	Počet obyvateľov	Efektívna dávka [mSv/rok]					
		ICRP65 (pôvodná)			ICRP115 (navrhovaná)		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
Bratislavský kraj	629228	1.45	0.08	33.33	3.18	0.18	73.33
Trnavský kraj	559187	2.30	0.07	22.24	5.06	0.16	48.92
Trečiansky kraj	590584	2.63	0.06	30.61	5.78	0.14	67.33
Nitriansky kraj	683725	3.44	0.07	23.81	7.57	0.16	52.38
Žilinský kraj	690442	3.27	0.06	18.24	7.19	0.13	40.13
Banskobystrický kraj	654192	3.64	0.02	37.09	8.00	0.04	81.61
Prešovský kraj	820337	2.64	0.11	45.88	5.82	0.23	100.94
Košický kraj	796108	4.60	0.06	35.71	10.11	0.14	78.57
Slovensko	5423801	3.06	0.02	45.88	6.73	0.04	100.94

Radiačná záťaž obyvateľstva



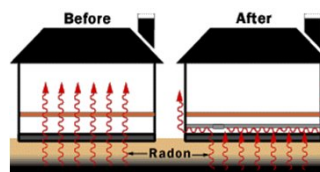
Okres	Počet obyvateľov	Efektívna dávka [mSv/rok]					
		ICRP65 (pôvodná)			ICRP115 (navrhovaná)		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
Bratislava II	112628	0.51	0.09	2.26	1.13	0.2	4.96
Bratislava V	110945	0.62	0.08	4.54	1.37	0.19	10
Bánovce nad Bebravou	36788	0.96	0.19	2.41	2.12	0.43	5.29
.....							
Rimavská Sobota	84665	5.71	0.34	37.09	12.56	0.75	81.61
Rožňava	62788	7.03	0.06	25.21	15.48	0.14	55.47
Spíšká Nová Ves	99018	7.12	0.24	22.79	15.65	0.52	50.14

Riešenie radónovej problematiky v pobytových priestoroch

Zaviest' národný radónový program

23

- Vyhľadať objekty s vysokou koncentráciou Rn pomocou dlhodobých integrálnych metód merania OAR
- Nájsť zdroj Rn a cesty jeho prenikania do objektu pomocou krátkodobých metód stanovenia OAR
- Zavádzať ozdravné opatrenia
 - ⊘ Nové stavby : stanoviť radónové riziko pozemku a podľa potreby, už pri projektovaní plánovať protiradónové izolácie
 - ⊘ Existujúce objekty:
 - izolovanie podlahy najnižšieho podlažia
 - podtlakové odvetranie
 - zvýšenie atmosférického tlaku v suteréne
 - ⊘ V bytoch vetrať, vetrať, vetrať !!!



Ďakujeme za pozornosť



Táto práca bola podporená aj realizáciou projektu „Centrum excelentnosti environmentálneho zdravia“ ITMSč.24240120033, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj, financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja