

Radón v materských škôlkach na Slovensku – 1. etapa

Patricia Kureková^{1*}
Školiteľ: Monika Müllerová^{1†}

¹Katedra jadrovej fyziky a biofyziky, FMFI UK, Mlynská Dolina, 842 48 Bratislava

Abstrakt

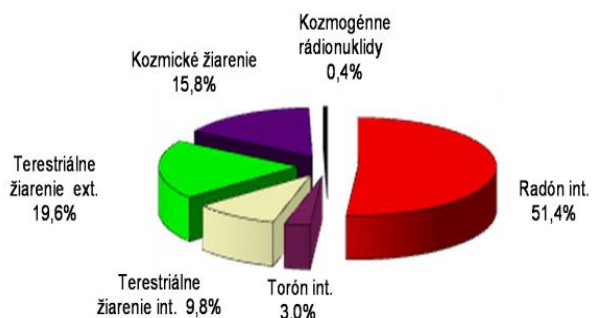
Problematike radónu v materských školách je vo svete venovaná veľká pozornosť. Táto práca je zameraná na analýzu výsledkov radónového prieskumu vo vybraných materských školách na Slovensku. Vybraných bolo 17 materských škôl na základe geologického podložja, z oblastí stredného a vysokého radónového rizika podložja. Na meranie boli použité stopové detektory, ktoré boli exponované 3 mesiace v miestnostiach, v ktorých sa deti zdržovali. Z výsledkov prvej etapy meraní boli nájdené škôlky, v ktorých objemová aktivita radónu prekročila až 1000Bq/m³.

Kľúčové slová: objemová aktivita radónu (OAR), materské školy, stopové detektory

1 Úvod

Problematika radiačnej záťaže obyvateľstva je v súčasnosti predmetom zvýšeného záujmu. Príčinou tejto záťaže sú prírodné alebo umelé zdroje ionizujúceho žiarenia. Vďaka nežiaducim účinkom na ľudský organizmus sa touto problematikou zaoberajú dve inštitúcie, ktoré ju i zastrešujú. Sú to Vedecký výbor Spojených národov pre účinky atómového žiarenia (UNSCEAR) a Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu (ICRP).

Prírodná rádioaktivita pochádza z extraterestriálnych zdrojov a terestriálneho žiarenia. Na obr. 1 je znázornený príspevok od jednotlivých zdrojov prírodného ionizujúceho žiarenia k celkovej radiačnej záťaži obyvateľstva.



Obr. 1: Podiel zdrojov ionizujúceho žiarenia na celkovej radiačnej záťaži

Z daného grafu je vidieť, že radón prispieva k radiačnej záťaži zo všetkých zložiek najviac a teda potreba sa ním zaoberať je opodstatnená. Predchádzajúce screeningové štúdie ukazujú, že Slovensko je krajinou, kde je najvyšší percentuálny počet budov s objemovou aktivitou radónu väčšou ako 400 Bq/m³ v rámci celej Európskej únie [Dubios, 2005].

2 Radón

Radón je rádioaktívny plyn s protónovým číslom 86. Je prítomný na celom zemskom povrchu a je ľudskými zmyslami neidentifikovateľný. Teda je to prírodný plyn bez vône, chuti, farby a zápachu. V prírode je zastúpený tromi izotopmi a to ²²²Rn (radón), ²¹⁹Rn (aktión) a ²²⁰Rn (torón). Z hľadiska doby polpremeny a účinkov na ľudský organizmus je najzávažnejší a najzaujímavejší na skúmanie ²²²Rn. Ten vzniká ako dcérskeho produktu alfa premeny rádia (²²⁶Ra), ktorý vzniká pri rádioaktívnej premene uránového radu začínajúceho ²³⁸U. Radón sa ďalej premieňa a jeho krátkožijúce produkty premeny (²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi a ²¹⁴Po) prispievajú k radiačnej záťaži. Tieto sú, na rozdiel od radónu, kovy a majú schopnosť viazať sa na aerosóloch a po vdýchnutí sa zachytávajú na povrchu dýchacích ciest, kde ožarujú pľúcne tkanivo. U detí je citlivosť pľúcneho tkaniva na radiačné poškodenie vyššia.

2.1 Únik ²²²Rn do prostredia

Radón je inertný plyn, ktorý môže ľahko difundovať do okolitého prostredia. Preto je možné ho nájsť vo všetkých prírodných zložkách, ako sú geologické podložja, podzemné priestory a teda aj pobytové priestory ľudí. Tento výskyt ²²²Rn podlieha denným a sezónnym variáciám [Vičanová, 2003].

Únik radónu do životného prostredia sa uskutočňuje 3 mechanizmami, a to:

1. emanáciou
2. difúziou
3. exhaláciou

Emanácia je jav pri ktorom atómy prenikajú do pórov a trhlin v materiáli. Druhá možnosť je schopnosť radónu difundovať z pevných materiálov

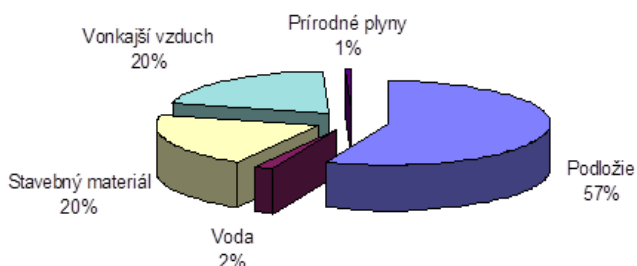
* kurekova.patricia.fyz@gmail.com

† Monika.Mullerova@fmph.uniba.sk

samovoľnou alebo vynútenou difúziou. Exhalácia alebo konvekcia, teda prúdenie je posledným mechanizmom, ktorý je možnosťou transportu tohto plynu pomocou pôdneho vzduchu cez trhliny a póry hornín a pórovitých materiálov [UNSCEAR, 1998].

2.2 ^{222}Rn v pobytových priestoroch

Výskyt ^{222}Rn v pobytových priestoroch závisí od viacerých parametrov, ako sú konštrukcia stavby, režim bývania, atmosférické a sezónne vplyvy. Zdrojmi sú pôda, stavebný materiál a voda. Obr. 2 zobrazuje podiel jednotlivých zdrojov prísunu radónu do budov [UNSCEAR, 1993].



Obr. 2: Podiel prísunu radónu do budovy z jednotlivých zdrojov

Prenikanie radónu je spôsobené tým, že tento plyn je schopný prenikať cez rôzne malé škáry a trhliny v budove. Taktiež môže prejsť cez stavebný materiál, kanalizáciu a spojmi v podlahe.

Podľa Vyhlášky Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky 528/2007 Z. z. sa za pobytový priestor považuje priestor určený pre pobyt dlhší ako 1000 hodín počas kalendárneho roka, teda sem spadá i materská škola. Zákon ďalej definuje smernú hodnotu na vykonanie opatrení, ako hodnotu po ktorej prekročení by sa malo uvažovať o vykonaní opatrení na obmedzenie žiarenia. Táto hodnota pre objemovú aktivitu radónu v existujúcich stavbách s pobytovými priestormi je 400 Bq/m^3 v priemere za rok. Pri projektovaní nových stavieb je táto hodnota 200 Bq/m^3 . Najvyššia prípustná hodnota pre pobytové priestory je objemová aktivita radónu 4000 Bq/m^3 v priemere za rok [Vyhláška 528, 2007].

3 Metodika práce

Materské školy boli zvolené na základe geologického podložia a to konkrétne z oblastí so stredného a vysokého radónového rizika. Integrované merania sú uskutočňované exponovaním stopových detektorov, konkrétne RAMARN [Thinová, 2008] (viď obr. 3) a RSKS [RSKS] detektorov (viď obr. 4).



Obr. 3: RAMARN detektor



Obr. 4: RSKS detektor

Naším cieľom je získať priemernú ročnú hodnotu radónu vo vybraných škôlkach exponovaním detektorov v štyroch etapách po 3 mesiacoch. 1. etapa merania trvala od októbra 2015 do decembra 2015. V každej materskej škole sme rozmiestnili tieto detektory do rôznych miestností, kde sa najčastejšie zdržujú deti. Zastúpené sú triedy i spálne, ktoré sa nachádzajú na prízemí aj poschodí.

4 Teoretický model

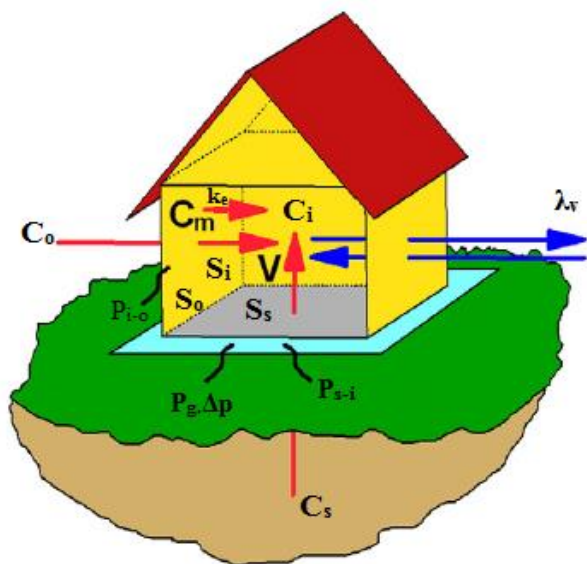
Model, ktorý vhodne popisuje objemovú aktivitu radónu vo vnútornom ovzduší navrhol Jelle [Jelle, 2011]. Zahŕňa v sebe dôležité parametre, ako je napríklad koncentrácia radónu v podlaží stavby a vonkajšej atmosfére, difúziu cez radónové bariéry, permeabilitu podlažia, tlakové diferencie medzi vonkajšou a vnútornou atmosférou, či rôzne ventilačné rýchlosti a iné. Daný model môžeme vyjadriť nasledujúcim vzťahom:

$$C_i = C_o + P_{i-o} (C_o - C_i) \frac{S_o}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v} + k_s (C_m - C_i) \frac{S_i}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v} + P_{s-i} (C_s - C_i) \frac{S_s}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v} + P_g \cdot \Delta p (C_s - C_i) \frac{S_s}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v} \quad (1)$$

kde C_i je objemová aktivita radónu v pobytových priestoroch; $C_i = [\text{Bq/m}^3]$, C_o je objemová aktivita radónu vo vonkajšom vzduchu; $C_o = [\text{Bq/m}^3]$, C_m je objemová aktivita radónu v konštrukčných

materiáloch; C_m =[Bq/m³], C_s je objemová aktivita radónu v podlaží; C_s =[Bq/m³], P_{i-o} je radónová difúzna priepustnosť medzi vnútorným a vonkajším vzduchom; P_{i-o} =[m/s], P_{s-i} je radónová difúzna priepustnosť cez podlahovú/základovú konštrukciu; P_{s-i} =[m/s], k_e je exhalačný koeficient zo stavebných materiálov; k_e =[m/s], P_g je permeancia podlažia; P_g =[m³/m²hPa], Δp je tlaková diferencia medzi vonkajšou a vnútornou atmosférou na úrovni podlahy; Δp =[Pa], S_o je plocha vonkajších stien miestnosti; S_o =[m²], S_i je plocha vnútorných stien obsahujúci stavebný materiál; S_i =[m²], S_s je plocha podlahy miestnosti/budovy; S_s =[m²], V je objem miestnosti/budovy; V =[m³], λ_v je ventilačná rýchlosť; λ_v =[h⁻¹].

Na obr. 5 sú znázornené premenné a parametre vystupujúce vo vzťahu (1), ktoré stanovujú koncentráciu radónu vo vnútornom ovzduší budovy.



Obr. 5: Rôzne premenné a parametre stanovujúce koncentráciu radónu vo vnútornom ovzduší budovy

Za normálnych podmienok je objemová aktivita radónu vo vonkajšej atmosfére blízka nule, teda $C_o \sim 0$. Taktiež pri niektorých prípadoch môže nastať, že objemová aktivita radónu v stavebných materiáloch je minimálna, čo znamená, že $C_m \sim 0$. V takýchto prípadoch dochádza k absorpcii radónu stavebnými materiálmi a preto platí, že $k_e \sim 0$. Ďalej môžeme uvažovať, že koncentrácia radónu v podlaží je oveľa vyššia ako je koncentrácia vo vnútornej atmosfére, teda $C_s \gg C_i$. Na základe týchto predpokladov dostaneme zjednodušený vzťah (1):

$$C_i \sim \frac{1}{1 + P_{i-o} \frac{S_o}{V \cdot \lambda_v}} \left[(P_{s-i} + P_g \cdot \Delta p) \frac{S_s}{V \cdot \lambda_v} \right] C_s \quad (2)$$

Ďalšími predpokladmi sú, že radónové difúzne prípustnosti sú malé či blízke nule, t.j. $P_{i-o} \sim 0$ a $P_{s-i} \sim 0$, vzťah (1) nadobudne tento tvar:

$$C_i = k_e (C_m - C_i) \frac{S_i}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v} + P_g \cdot \Delta p (C_s - C_i) \frac{S_s}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v} \quad (3)$$

Ak $k_e (C_m - C_i)$ označíme ako $E_s \cdot S_i$, pričom E_s je plošná exhalačná rýchlosť, dostaneme pre objemovú aktivitu radónu v pobytových priestoroch v závislosti od obsahu radónu v podlaží finálny vzťah:

$$C_i = \frac{1}{V \cdot \lambda_v} [E_s \cdot S_i + P_g \cdot \Delta p \cdot C_s \cdot S_s] \quad (4)$$

Plošnú exhalačnú rýchlosť z rovnice (4), môžeme vypočítať na základe vzťahu:

$$E_s = \lambda_{Rn} \cdot A_{m,Ra} \cdot \rho \cdot k_e \cdot L \cdot \tanh\left(\frac{d}{2L}\right) \quad (5)$$

kde λ_{Rn} je konštanta premeny radónu; λ_{Rn} =[s⁻¹], $A_{m,Ra}$ je hmotnostná aktivita rádia v materiáli; $A_{m,Ra}$ =[Bq/m³], ρ je hustota materiálu; ρ =[kg/m³], k_e je emanačný koeficient radónu L , je difúzna dĺžka radónu; L =[m], d je hrúbka materiálu; d =[m].

Objemová aktivita radónu značne závisí aj od tlakovej diferencie medzi vonkajšou a vnútornou atmosférou na úrovni podlahy, označenie Δp . Danú hodnotu vieme odhadnúť na základe nasledujúceho vzťahu:

$$\Delta p = \frac{M \cdot p_{1atm} \cdot g \cdot h}{R_{gas}} \left[\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right] \quad (6)$$

kde M je mólová hmotnosť vzduchu; $M=28,97$ g/mol, p_{1atm} je tlak vzduchu pri 1 atmosfére; $p_{1atm}=101325$ Pa, g je gravitačné zrýchlenie; $g=9,81$ m/s², h je rovnovážna tlaková výška medzi vonkajšou atmosférou a vnútorným ovzduším, R_{gas} je plynová konštanta; $R_{gas}=8,31451$ J/kmol, T_e je vonkajšia teplota a T_i je vnútorná teplota.

5 Výsledky a diskusia

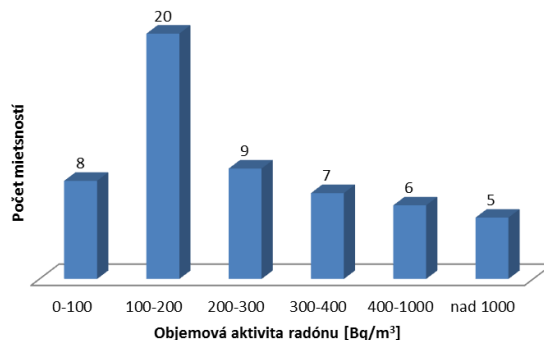
Výsledky prvej etapy merania objemovej aktivity radónu (OAR) sú spracované v tab. 1.

Materská škôlka	OAR [Bq/m ³]	Neistota [Bq/m ³]
č. 1	101	4
	123	5
č. 2	2440	230
	1010	120
č. 3	85	3
	93	3
č. 4	340	10
	114	4
	292	9
	273	8
	130	4

č. 5	310	9
č. 6	140	4
	153	5
	90	4
č. 7	1333	40
	1303	39
	1183	36
č. 8	260	70
	240	50
	250	80
č. 9	292	9
	366	11
	290	8
	210	6
	176	5
č. 10	100	40
	70	35
	470	70
	580	125
č. 11	370	60
	400	70
	310	60
	160	50
č. 12	310	60
	220	60
	130	40
č. 13	160	40
	160	40
č. 14	120	60
	120	30
	170	30
	150	40
č. 15	400	70
	440	60
	160	40
č. 16	140	40
	80	40
	300	60
	470	80
č. 17	80	40
	84	30
	80	30
	110	30
	120	45

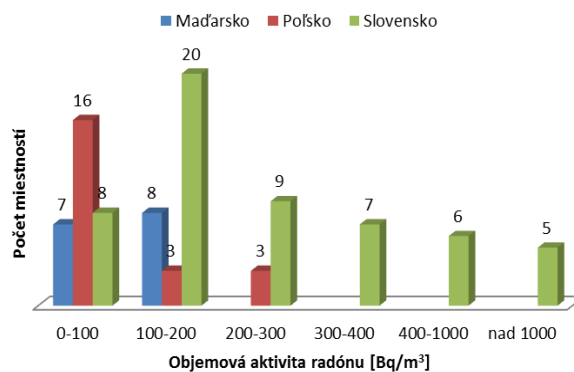
Tab. 1: Objemová aktivita radónu (OAR) v skúmaných materských školách v prvej etape merania

Grafické zobrazenie počtu miestností s príslušnými intervalmi OAR je znázornené na obr. 6.



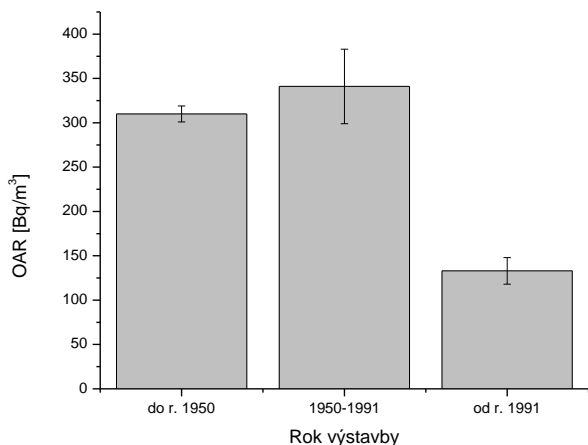
Obr. 6: Počet miestností s OAR v príslušnom intervale

Rovnaké integrálne meranie objemovej aktivity radónu v materských školách prebieha zároveň i v Maďarsku a Poľsku. V porovnaní s týmito krajinami sú zvýšené hodnoty objemovej aktivity radónu namerané len na Slovensku. Najlepšie na tom sú materské školy v Maďarsku, čo je znázornené na obr. 7. V maďarských materských školách objemová aktivita radónu nepresiahla hodnotu 200 Bq/m³. Nízke hodnoty objemovej aktivity radónu boli pozorované aj v poľských materských školách, kde najvyššia meraná hodnota bola na úrovni 250 Bq/m³.

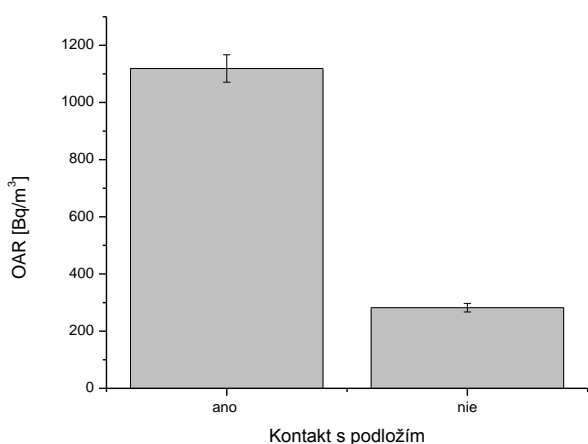


Obr. 7: Porovnanie OAR v skúmaných krajinách

V ďalšom štúdiu sme rozdelili slovenské materské školy podľa roku výstavby a dospeli sme k záveru, že priemerná hodnota OAR je nižšia v novších objektoch, ako v tých starších (viď obr. 8). Najvyššie namerané hodnoty objemovej aktivity radónu (presahujúce 1000 Bq/m³) boli namerané v dvoch materských školách, kde jedna bola postavená v roku 1950 a druhá 1988.



Obr. 8: Priemerná objemová aktivita radónu materských škôlok rozdelená podľa obdobia výstavby daného objektu



Obr. 9: Priemerná objemová aktivita radónu v miestnostiach pri kontakte s podloží a bez kontaktu s podloží

Pri rozdelení miestností na tie, ktoré sú v kontakte s podloží a na tie, ktoré nie sú, sme dospeli k záveru, že priemerná hodnota objemovej aktivity radónu je takmer štvornásobne vyššia v miestnostiach s kontaktom s podloží (viď obr. 9). Z celkového počtu 55 miestností bolo 34 miestností s kontaktom s podloží a 21 bez kontaktu. Daný výsledok štúdia bol očakávateľný, keďže radón vďaka svojim vlastnostiam preniká cez rôzne netesnosti a pukliny priamo do stavieb. Teda v miestnostiach s priamym kontaktom s podloží je objemová aktivita radónu vyššia.

6 Záver

V tejto práci sme vyhodnotili 1. etapu merania objemovej aktivity radónu v 17 vybraných materských škôlkach na Slovensku. Porovnali sme ich s výsledkami z poľských a maďarských materských škôl, ktoré boli exponované v rovnakom čase. Na Slovensku boli namerané najvyššie hodnoty objemovej aktivity radónu

z týchto 3 krajín. Ani jedna z materských škôl nepresiahla najvyššiu prípustnú hodnotu 4000 Bq/m³. Avšak 2 materské školy prekročili hodnotu objemovej aktivity radónu 1000 Bq/m³ a v 3 materských školách boli nájdené miestnosti, kde objemová aktivita radónu prekročila 400 Bq/m³. V monitorovaní vybraných materských škôl budeme pokračovať ešte s ďalšími 3 etapami.

Podakovanie

Chcela by som sa poďakovať mojej školiteľke RNDr. Monike Müllerovej, PhD. za jej snahu, ochotu, pomoc a rady pri príprave tejto práce.

Literatúra

[Dubios, 2005] G. A. G. Dubios: An overview of radon surveys in Europe, Radioactivity Environmental Monitoring, Emissions and Health Unit, Institute for Environment and Sustainability, JRC - European Commission, Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, ISBN 92-79-01066-2, © European Communities, Printed in Italy (2005)

[Jelle,2011] J. P. Jelle: Development of a model for radon concentration in indoor air, Science of the Total Environment 416 (2012) 343-350

[RSKS] Radosys: RSKS detector: http://www.radosys.com/index_htm_files/RSKS_RS_Man82-130129_c.pdf

[UNSCEAR, 1993] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR Report, Vienna (1993)

[UNSCEAR, 1998] UNSCEAR- Report 1988: Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation. United Nation, New York (1988)

[Thinová, 2008] L. Thinová, I. Burian: Effective dose assessment for workers in caves in the Czech Republic: Experiments with passive radon detectors. In: Radiation Protection Dosimetry Vol. 130, No. 1 (2008) pp. 48-51

[Vičanová, 2003] Vičanová M. (2003). Využitie detektorov stôp v pevnej fáze pri riešení radónovej problematiky: Dizertačná práca. Bratislava: FMFI UK 2003.

[Vyhláška 528, 2007] Vyhláška 528/2007, Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky: http://www.ruvzmartin.sk/hzp/legislativa/528_2007_poziad_na_obmedz_oziar.pdf