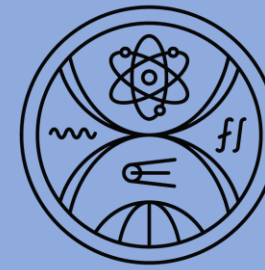




UNIVERZITA
KOMENSKÉHO
V BRATISLAVE



FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY
Univerzita Komenského
v Bratislave

Harmonická analýza objemovej aktivity radónu vo vnútornom ovzduší

Dni radiačnej ochrany 2023

Doc. RNDr. Monika Müllerová, PhD.

Mgr. Viktória Benková

Doc. RNDr. Karol Holý, CSc.

Motivácia

Prečo je dôležité monitorovať objemovú aktivitu radónu v uzavretých priestoroch?

- Radón ako prírodný rádionuklid významne prispieva k radiačnej záťaži populácie (viac ako 50% celkovej ročnej efektívnej dávky jedinca pochádza od radónu)
- Riziko vzniku rakoviny pľúc expozíciou radónom narastá s koncentráciou radónu a dobou, počas ktorej je jedinec vystavený ožiareniu (expozícia s mierne zvýšenou koncentráciou radónu po dlhú dobu môže predstavovať vyššiu radiačnú záťaž ako krátkodobý pobyt v priestore s vysokou koncentráciou radónu)

Východisko:

Právne akty, týkajúce sa radiačnej ochrany pred radónom

Smernica EÚ

Vyhláška SR

- 1) stanovenie referenčnej úrovne radónu v uzavretých priestoroch;
- 2) vypracovanie Národného akčného radónového plánu
- 3) pokrokové monitorovanie ^{222}Rn

Podľa Vyhlášky MZ SR o požiadavkách na obmedzenie ožiarovania z prírodného žiarenia, 528/2007 Z.z., 2007

je priemerná OAR vo vnútorných priestoroch odhadovaná pomocou integrálneho merania počas doby najmenej troch mesiacov za jeden kalendárny rok.

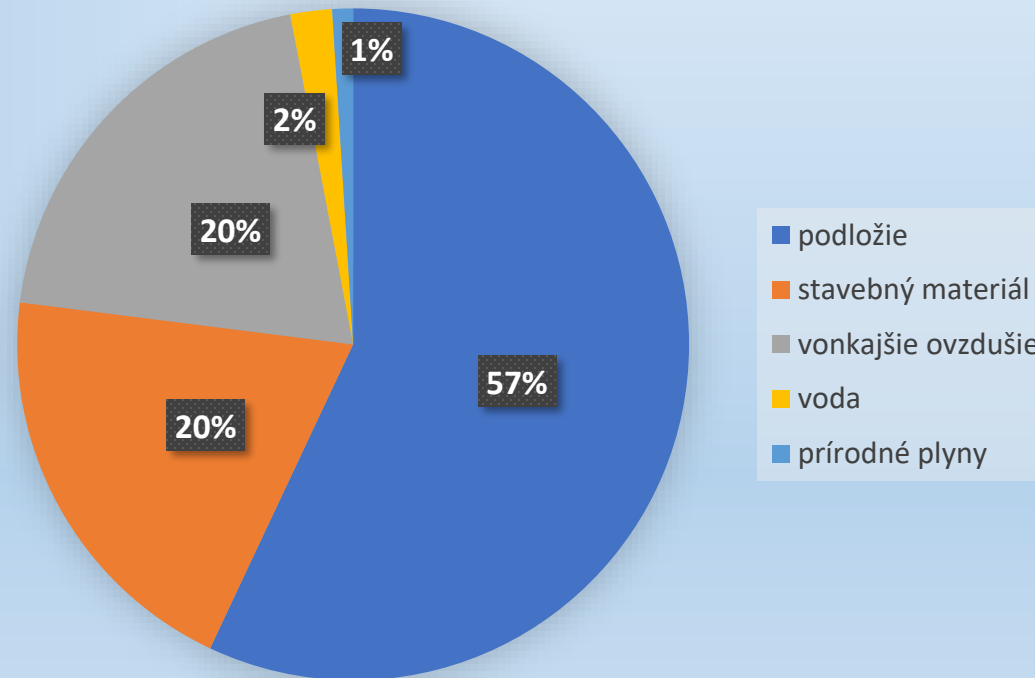
Takto získané údaje nemusia odrážať skutočnú priemernú ročnú OAR, ktorá je ovplyvnená sezónnymi variáciami.



Teoretický úvod

Zdroje radónu vo vnútorných priestoroch

Stavebné podložie (vysoká koncentrácia rádia v pôde kvôli vysokej priepustnosti a netesnosti podložia môže zvýšiť koncentráciu radónu nad povolenú hodnotu); stavebný materiál (rôzny obsah rádia, ktorý zvyšuje množstvo exhalovaného radónu), vonkajší vzduch, voda, prírodné plyny



Obr. 1 Percentuálne zastúpenie jednotlivých zdrojov OAR v bytových priestoroch

Transport radónu vo vnútornej atmosfére

- Vstup radónu do uzavretého priestoru

Difúzia

Konvekcia

OAR vo vnútorných priestoroch je opísaná troma procesmi: rýchlosťou prísunu radónu, násobnosťou výmeny ovzdušia a rádioaktívnym rozpadom radónu.

Množstvo radónu v bytových priestoroch závisí okrem charakteru zdroja od ďalších parametrov, ako sú: **konštrukcia stavby** (izolácia, kanalizácia, netesnosti spojov atď.); režim využívania priestoru (vykurovací a vetrací režim) a atmosférické a sezónne vplyvy (zrážky, teplota, vietor)

Denné a sezónne variácie

Sezónne korekčné faktory

- Motivácia: na určenie radónového rizika je dôležité poznať priemernú hodnotu OAR za rok, ktorá sa dá presnejšie zistiť práve vďaka SCF
- Vo všeobecnosti sú pozorované sezónne variácie objemovej aktivity radónu, s minimálnou hodnotou v lete a maximálnou hodnotou v zime
- Okrem meteorologických vplyvov závisia sezónne korekčné faktory taktiež od geologických faktorov, špecifických pre jednotlivé regióny

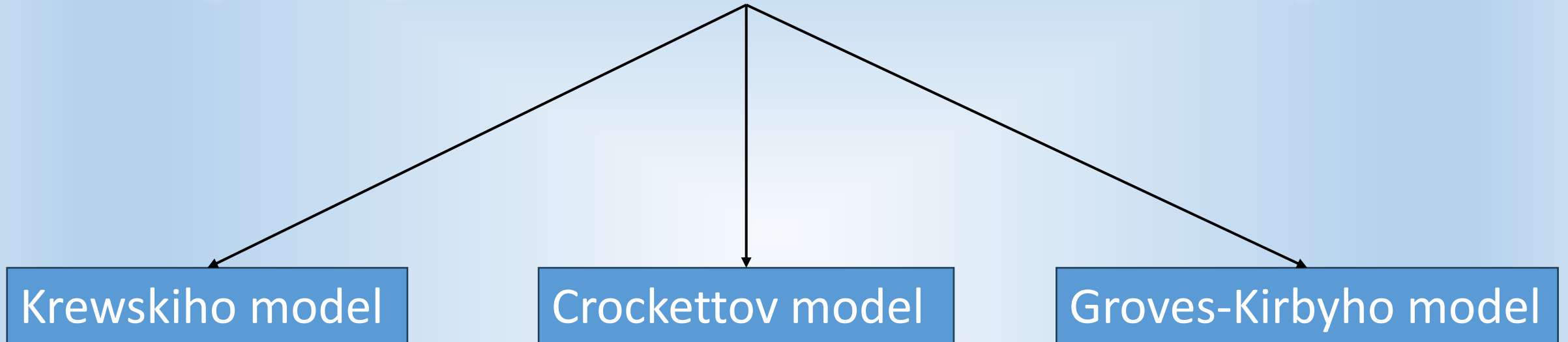
Vzťah na výpočet sezónnych korekčných faktorov (SCF) $SCF_i = \frac{AM_a}{AM_i}$ (1)

Vysvetlivky:

AM_a je priemerná hodnota koncentrácie radónu za rok

AM_i je priemerná hodnota koncentrácie radónu za 3mesačné obdobie, kde i označuje číslo mesiaca, v ktorom meranie začalo

Iné modely OAR vo vnútornej atmosfére využívajúce sezónne korekčné faktory



Experimentálna časť

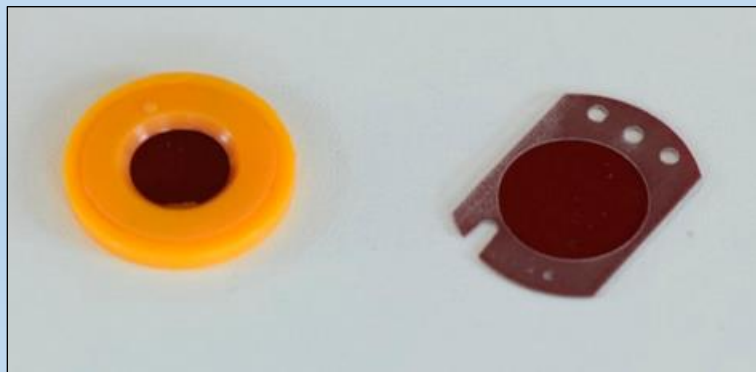
Cieľ výskumu

- 1) Určiť priemernú ročnú objemovú aktivitu radónu na základe harmonickej analýzy priebehu vonkajšej teploty a vnútornej objemovej aktivity radónu
- 2) Porovnať prístup s výsledkami získanými prostredníctvom sezónnych korekčných faktorov

Metóda merania

Detektor RamaRn

- Meracie zariadenie RamaRn patrí medzi pasívne detektory, ktoré sa využívajú na stanovenie priemernej hodnoty OAR
- Hlavnou súčasťou je difúzna komora a stopový detektor KODAK
- Detektor umožňuje selektívne detegovať dopadajúce alfa častice o energiách 1,6 – 4,0 MeV
- Umiestenie detektoru v difúznej komore vedie k potlačeniu vplyvu ^{220}Rn a faktoru nerovnováhy



Obr. 3 Stopový detektor s fóliou KODAK LR115



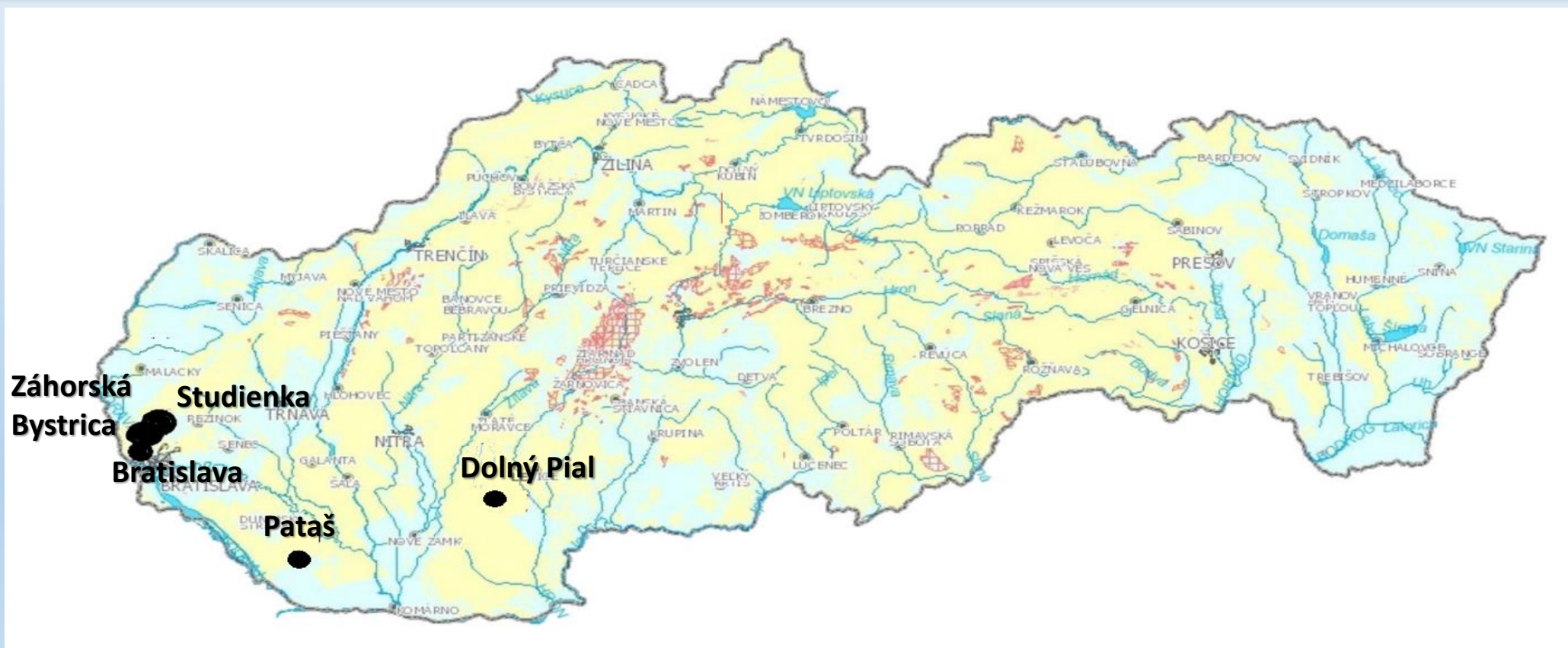
Obr. 2 Integrálny detektor RamaRn

Objem komory	$609,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
Účinnosť detekcie	$2,4 \pm 0,1 \text{ stop} \cdot \text{cm}^{-2} / \text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$
Rozsah merania	$0,08 - 160 \text{ MBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$
Minimálna detekovateľná aktivita	$0,027 \text{ MBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$
Optimálna doba použitia	2 – 14 mesiacov

Tab. 1: Parametre detektoru radónu

Pozorované lokality

- Meranie prebiehalo vo vnútornej atmosfére obývaných domov v západnej a v juhozápadnej časti Slovenska
- Pozorované miesta boli vybrané na základe geologických podmienok a mapy radónového rizika, zostavenej pomocou monitorovania pôdneho radónu
- Meranie prebiehalo v rozsahu okolo jedného roka v trojmesačných alebo mesačných intervaloch



Obr. 4 Mapa radónového rizika (ozn. modrá - nízke radónové riziko, žltá - stredné radónové riziko, červená - vysoké radónové riziko, čierne kruhy - pozorované lokality)

Vzťah medzi priemernými hodnotami OAR a vonkajšou teplotou počas jednotlivých mesiacov

Pre priemerné mesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty môže napísať vzťah: $A_{Rn,m} = A_{Rn,r} \left[1 + A \cos \left(\frac{2\pi}{P} t - \varphi \right) \right]$ (2)

Pre $A_{Rn,m}$ tiež platí vzťah: $A_{Rn,m} = A_{Rn,min} + K \Delta T_i$, (3)

Potom $A_{Rn,r}$ môžeme vyjadriť ako: $A_{Rn,r} = \frac{A_{Rn,min} + K \Delta T_1}{\left[1 + A \cos \left(\frac{2\pi}{P} t - \varphi \right) \right]}$ (4)

Vysvetlivky:

$A_{Rn,m}$ - priemerná 3-mesačná/mesačná hodnota OAR

P - perióda cyklu

t - čas od začiatku cyklu

φ - fáza

Vysvetlivky:

$A_{Rn,min}$ - minimálna priemerná mesačná OAR v roku

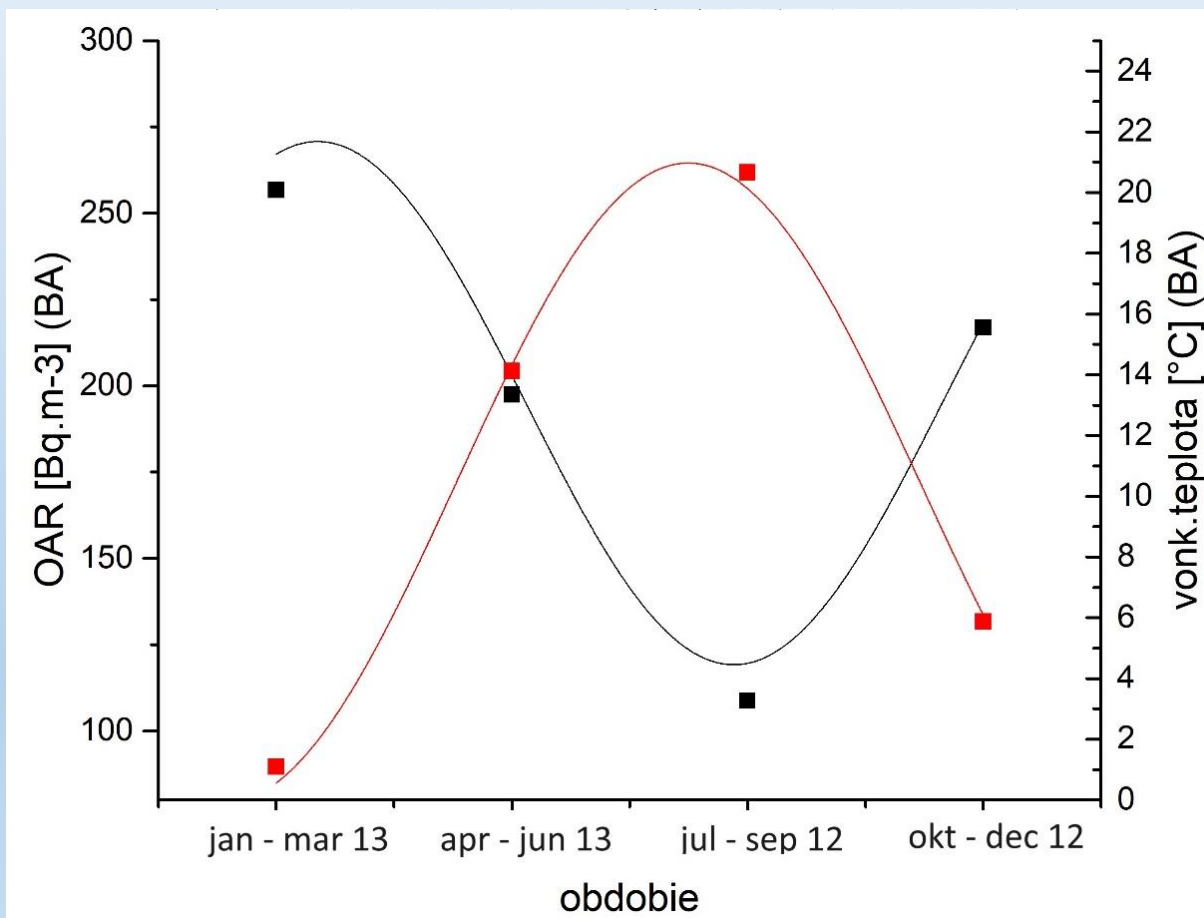
ΔT_i - prírastok teploty

K - koeficient úmernosti

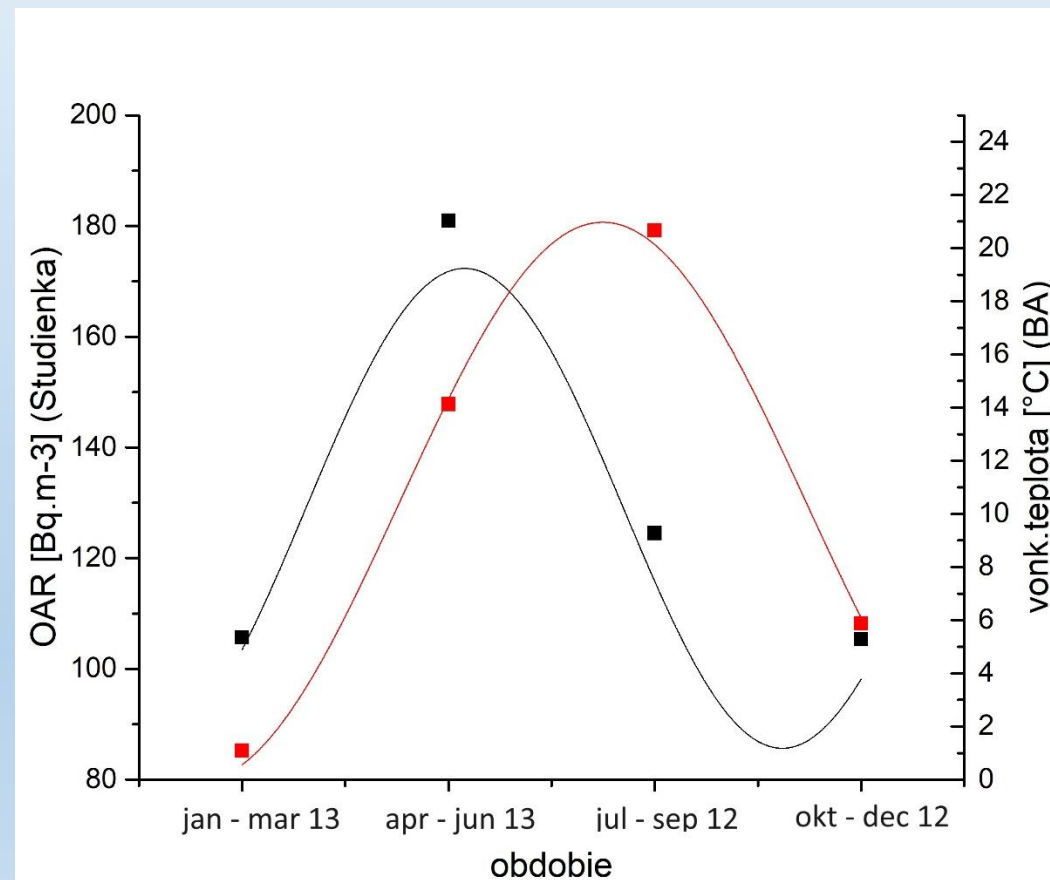
Spracovanie získaných údajov

Priemerná OAR a priemerná vonkajšia teplota analyzovaná vzt'ahom (2)

1) Bratislava



2) Studienka



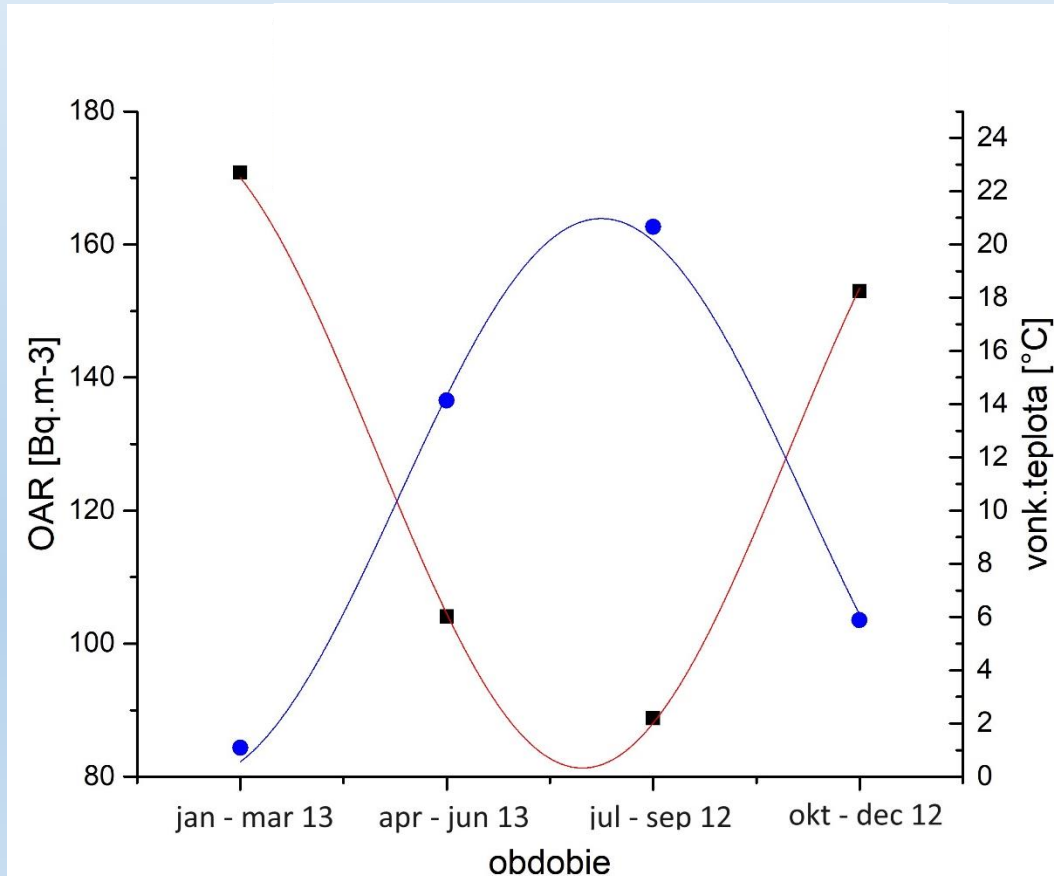
Obr. 5 Priemerné trojmesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

Obr. 6 Priemerné trojmesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

ozn. čierna – OAR, červená – vonkajšia teplota

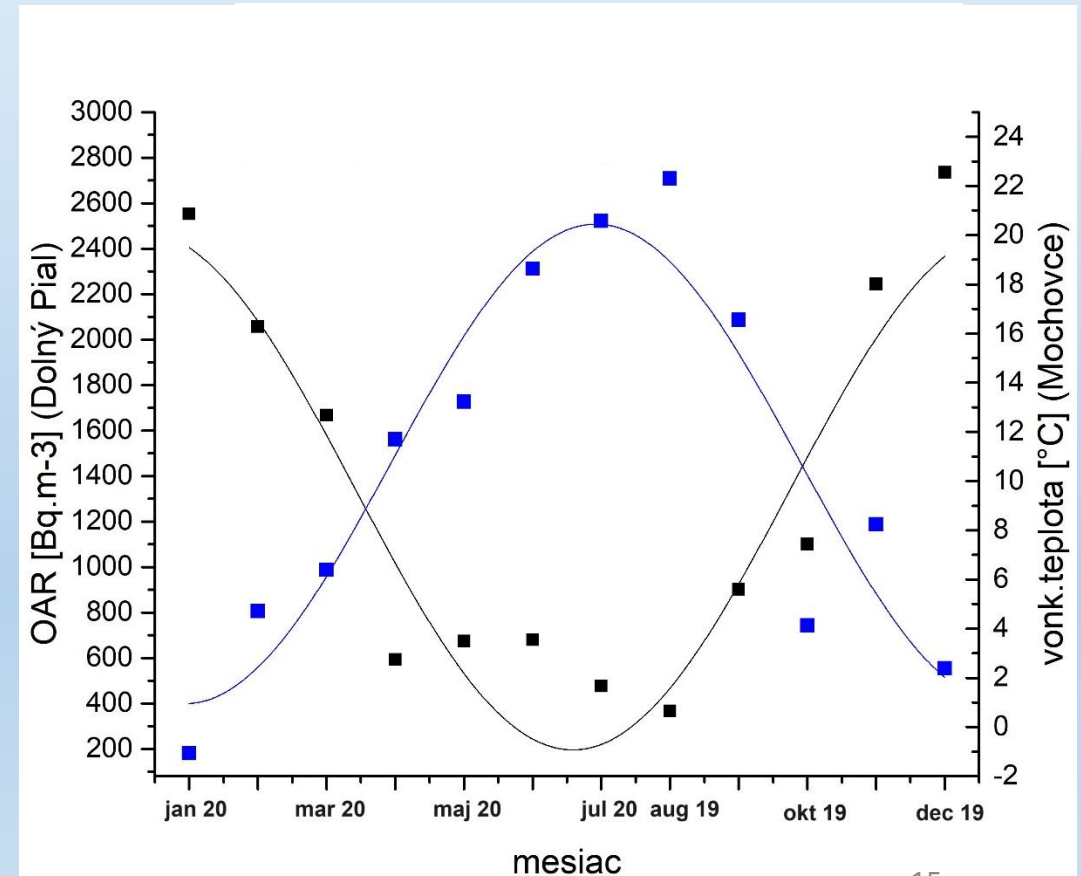
Priemerná OAR a priemerná vonkajšia teplota analyzovaná vztťahom (2)

3) Záhorská Bystrica



Obr. 7 Priemerné trojmesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

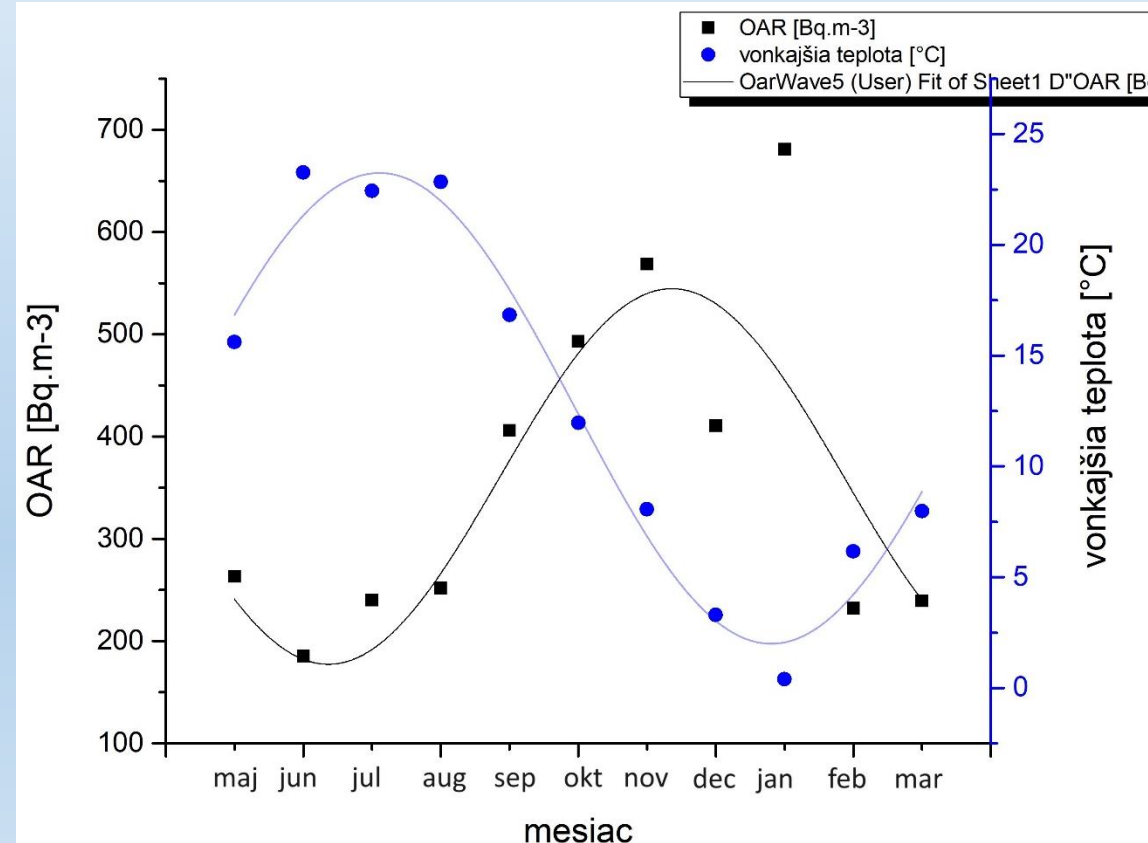
4) Dolný Pial



Obr. 8 Priemerné mesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

Priemerná mesačná OAR a priemerná vonkajšia teplota analyzovaná vzťahom (2) v období máj 2019 až marec 2020

5) Pataš



Obr. 9 Priemerné mesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

Korelačný koeficient OAR (SCF) a vonkajšej teploty

Lokalita	Korelačný koeficient R ²
Bratislava	-0,95±0,05
Studienka	0,51±0,49
Záhorská Bystrica	-0,98±0,01
Dolný Pial	-0,85±0,0004
Pataš	-0,62±0,04

Tab. 2: Korelačný koeficient medzi OAR a vonkajšou teplotou

Získané parametre pomocou analýzy vzťahom (2)

Objemová aktivita radónu

lokality	OAR (ročný priemer) [Bq.m ⁻³]	amplitúda	perióda	fáza	R ²
Bratislava	195±4,5	0,39±0,06	0,29±0,02	5,23±0,43	0,93
Studienka	129±6,82	-0,34±0,09	0,26±0,03	4,24±0,6	0,83
Záhorská Bystrica	129,16±1,89	-0,37±0,01	0,33±0,01	4,16±0,05	0,99
Dolný Pial	1337,4±12,5	0,85±0,1	1,05±0,08	0,13±0,24	0,88
Pataš	361,01±54,2	-0,51±0,12	0,83±0,1	1,49±0,54	0,61

Tab. 3: Získané parametre OAR

Vonkajšia teplota

lokality	Vonkajšia teplota (ročný priemer) [°C]	amplitúda	perióda	fáza	R ²
Bratislava	10,44±0,6	1,01±0,06	0,33±0,01	4,4±0,17	0,99
Dolný Pial	10,7±3,4	0,91±0,11	0,99±0,07	3,64±0,3	0,86
Pataš	12,62±0,5	-0,84±0,05	-0,95±0,03	1,43±0,13	0,97

Tab. 4: Získané parametre vonkajšej teploty

Výpočet koeficientu úmernosti podľa vzťahu (3)

$$K = \frac{A_{Rn,m} - A_{Rn,min}}{\Delta T_1} \quad (3)$$

1) Pataš

Minimálna OAR bola získaná v mesiaci jún
2019: OAR = **185,32 Bq. m⁻³**.

	vonk. teplota [°C]	OAR [Bq/m ³]
jan 20	0,40	680,83
feb 20	6,16	231,88
mar 20	7,98	239,42
maj 19	15,61	263,44
jun 19	23,26	185,32
jul 19	22,43	240,06
aug 19	22,84	252,04
sep 19	16,84	405,84
okt 19	11,96	492,97
nov 19	8,06	568,75
dec 19	3,30	410,55

Tab. 5: Priemerné mesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

mesiac	K [Bq/m ³ (°C)]
jan 20	21,7
feb 20	2,7
mar 20	3,5
maj 19	10,2
jun 19	-
jul 19	66,0
aug 19	158,9
sep 19	34,3
okt 19	27,2
nov 19	25,2
dec 19	11,3

Tab. 6: Vypočítané hodnoty koeficientu úmernosti K

2) Dolný Pial

Minimálna OAR bola získaná v mesiaci august
2019: OAR = **366,5 Bq. m⁻³**.

	vonk. teplota [°C]	OAR [Bq/m ³]	mesiac	K [Bq/m ³ (°C)]
jan 20	-1,1	2553,5	jan 20	93,5
feb 20	4,7	2057,1	feb 20	96,1
mar 20	6,4	1666,5	mar 20	81,8
apr 20	11,7	593,6	apr 20	21,4
maj 20	13,2	674,1	maj 20	33,8
jun 20	18,6	681,0	jun 20	85,0
jul 20	20,6	476,5	jul 20	64,7
aug 19	22,3	366,5	aug 19	-
sep 19	16,6	901,2	sep 19	93,8
okt 19	4,1	1100,2	okt 19	40,3
nov 19	8,2	2243,6	nov 19	133,1
dec 19	2,4	2735,4	dec 19	119,0

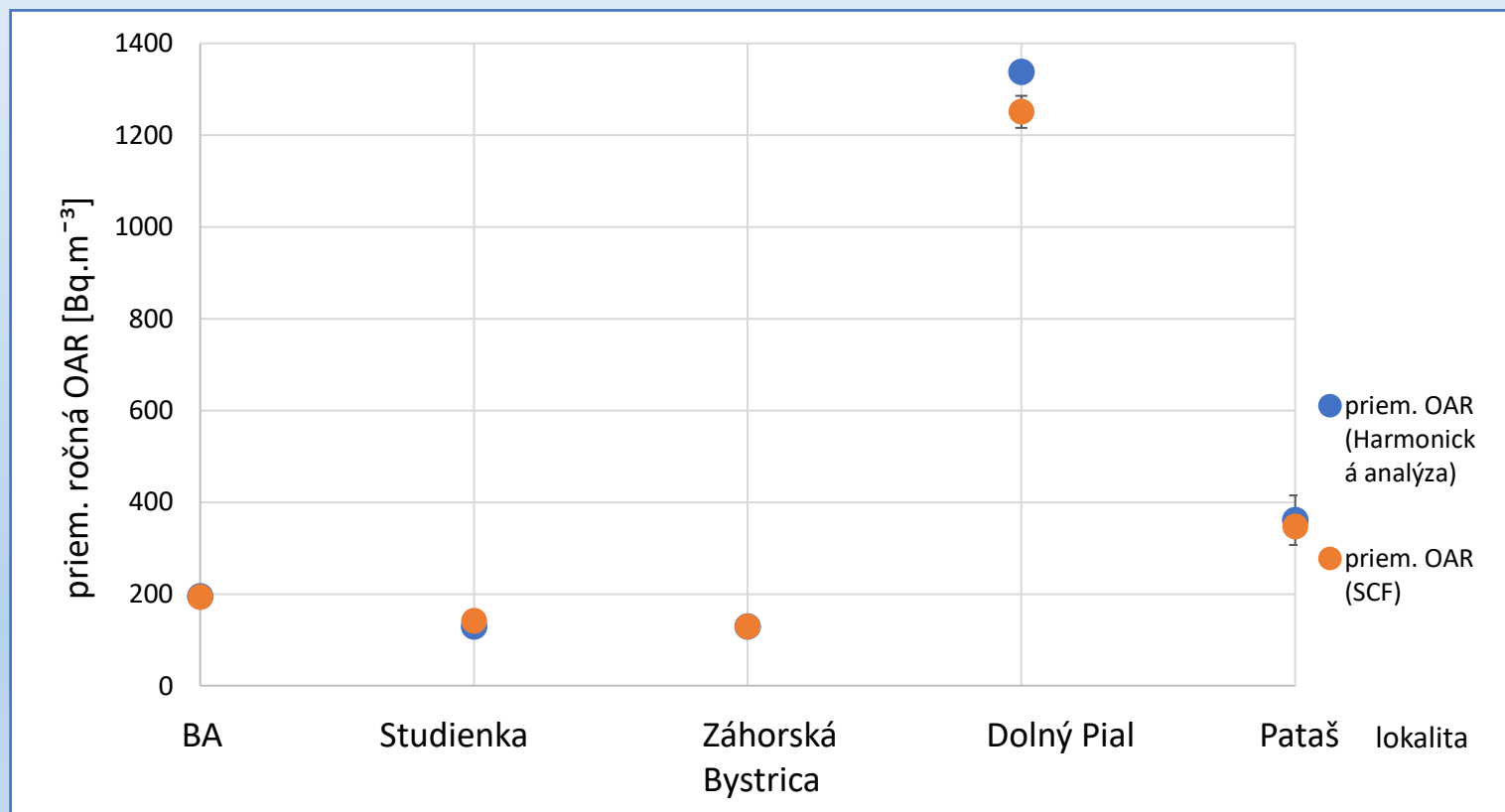
Tab. 7: Priemerné mesačné hodnoty OAR a vonkajšej teploty

Tab. 8: Vypočítané hodnoty koeficientu úmernosti K

Porovnanie priemerných hodnôt OAR získané pomocou SCF a harmonickej analýzy

Lokalita	Priemerná OAR získaná pomocou HA [Bq.m ⁻³]	Priemerná OAR získaná pomocou SCF [Bq.m ⁻³]
Bratislava	195±4,5	193,73±13,9
Studienka	129±6,82	141,34±11,65
Záhorská Bystrica	129,16±1,89	128,96±11,35
Dolný Pial	1337,4±12,5	1250,88±34,89
Pataš	361,01±54,2	347,02±18,59

Tab. 9: Priemerné OAR získané pomocou harmonickej analýzy (HA) a sezónnych korekčných faktorov (SCF)



Obr. 10 Priemerné OAR získané pomocou harmonickej analýzy (HA) a sezónnych korekčných faktorov (SCF)

Zhrnutie

- Na základe mapy radónového rizika sme merali objemovú aktivitu radónu vo vybraných domoch v západnej a juhozápadnej časti Slovenska
- Na základe vlnového priebehu sezónnych variácií OAR a vonkajšej teploty a ich vzájomnej antikorelácie bol nájdený vzťah pre priemernú ročnú hodnotu OAR
- Maximálna hodnota pri meraní OAR bola vo všeobecnosti počas zimy, minimum bolo dosahované v letných mesiacoch
- Pomocou daného vzťahu sme tak mohli zistiť koeficient úmernosti počas jednotlivých mesiacov s minimom vo februári a maximom v auguste v Pataši a s minimom v apríli a maximom v novembri v Dolnom Piali
- Prostredníctvom regresnej analýzy sme získali parametre opisujúce vzťah medzi OAR a vonkajšou teplotou, z ktorých sme ďalej určili priemernú aktivitu za rok
- Porovnaním priemernej hodnoty OAR Za rok získanej z harmonickej analýzy a OAR získanej pomocou sezónnych korekčných faktorov vidíme na niektorých lokalitách (Bratislava, Záhorská Bystrica) pomerne dobrú zhodu (v rámci intervalu neistôt)



Ďakujem za pozornosť