

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



Podsystem 05

**Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí
na území Slovenskej republiky**

Správa za rok 2024

Názov geologickej úlohy:	Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory
Číslo geologickej úlohy:	207
Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy:	RNDr. Peter Ondrus
Riešiteľ podsystemu 05:	RNDr. Igor Zeman
Zástupca zhotoviteľa:	RNDr. Pavel Liščák, CSc.
Štatutárny zástupca:	RNDr. Michal Klaučo, PhD. generálny riaditeľ ŠGÚDŠ

Bratislava október 2025

Zoznam obrázkov:

- Obr. č. 1: Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2024
- Obr. č. 2: Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2024; lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.
- Obr. č. 3: Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2024; lokalita: Teplička
- Obr. č. 4: Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2024; lokality: Hnilec, Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice
- Obr. č. 5: Pôdny radón nad zlomom – lokalizácia meraní OAR
lokalita: Malé Karpaty, obdobie: 2024
- Obr. č. 6: Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2024; lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 7: Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2024; lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 8: Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2024; lokality: Malé Karpaty – pramene Mária, Zbojníčka, Himligárka,; Oravice – pramenisko Jašterčie

Zoznam tabuliek:

- Tab. č. 1: Stanovenie kategórie radónového rizika referenčnej plochy
- Tab. č. 2: Stanovenie plynopriepustnosti pôd
- Tab. č. 3: Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách
- Tab. č. 4: Objemová aktivita radónu v podzemných vodách
- Tab. č. 5: Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2024
- Tab. č. 6: Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2024

Zoznam skratiek legislatívnych predpisov

- Zákon NR SR č. 87/2018 Z. z. – Zákon NR SR č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- Vyhláška MZ SR č. 98/2018 Z. z. – Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 98/2018, Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o obmedzovaní ožiarenia pracovníkov a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia
- Zákon NR SR č. 355/2007 Z. z. – Zákon NR SR č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Obsah

ÚVOD	4
1. METODIKA PRÁC	6
2. PREHĽAD A VÝSLEDKY REALIZOVANÝCH PRÁC	9
2.1. Pôdny radón na referenčných plochách	9
2.2. Pôdny radón na tektonike	21
2.3. Radón vo vodách	22
3. ZÁVERY A ODPORÚČANIA.....	38
LITERATÚRA.....	42

ÚVOD

V životnom prostredí ľudskej populácie je veľa druhov žiarení. Odhaľovanie a sprístupňovanie poznatkov o prírodnej, ale aj umelej (vyvolanej) rádioaktívite však bolo desaťročia potlačované. Urán bol a stále je strategickou surovinou pre jadrový (zbrojný, energetický) priemysel a výsledky prieskumu i vedeckého výskumu z tejto oblasti sa (najmä v období tzv. „studenej vojny“) prísne utajovali. Zdravotné riziká a dopady na obyvateľstvo sa zväčša zamlčovali a zjednodušovali tvrdením, že radón a dcérske produkty jeho nukleárneho rozpadu bezprostredne ohrozujú len baníkov v uránových baniach.

Obavy a pozornosť verejnosti sú dlhodobo zamerané prevažne na umelé zdroje žiarenia (nukleárne zbrane, jadrová energetika, zdravotníctvo, atď.), pričom väčšina obyvateľstva ani netuší, že najvýznamnejšie ožiarenie (mimo období po jadrových pokusoch, haváriách a pod.) spôsobujú práve prírodné zdroje.

Vplyvmi expozície radónom sa v zahraničí zaoberajú viaceré renomované inštitúcie (napr. UNSCEAR – *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, ICRP – *International Commission on Radiological Protection*), ale aj ďalšie organizácie a vedecké pracoviská, z výskumov ktorých vyplýva, že prírodné zdroje rádioaktívneho žiarenia prispievajú takmer tromi štvrtinami (73 %) k celkovej radiačnej záťaži populácie.

Najvýznamnejším zdrojom prírodného žiarenia je radón (^{222}Rn) a rádionuklidy (^{218}Po , ^{214}Po , ^{210}Tl , ^{210}Po , atď.), vznikajúce pri jeho nukleárnom rozpade. Tieto sú pri vdychovaní adsorbované v pľúcach, kde dochádza ku kontaktnému ožarovaniu buniek pľúcneho tkaniva. To môže v konečnom dôsledku viesť až k vzniku karcinómu pľúc.

Rôznymi štúdiami bolo preukázané, že pravdepodobnosť vzniku karcinómu pľúc sa zväčšuje s narastajúcou koncentráciou radónu a jeho rozpadových produktov, ale aj dĺžkou expozície. Skutočnosť, že radón je po fajčení druhou najvýznamnejšou príčinou rakoviny pľúc, uznala aj Svetová zdravotnícka organizácia a v roku 2009 ho klasifikovala ako karcinogén triedy 1A.

Výsledky novších štúdií preukázali, že expozícia radónom má za následok aj ďalšie formy zdravotného poškodenia, ako sú choroby cievneho a tráviaceho ústrojenstva. Pravdepodobnosť zdravotného poškodenia je tak výrazne vyššia, ako sa pôvodne predpokladalo.

Tieto skutočnosti viedli Európsku komisiu (EC), Medzinárodnú komisiu pre radiačnú ochranu (ICRP) a Svetovú zdravotnícku organizáciu (WHO) k prehodnoteniu zdravotného rizika z expozície radónom.

Európska komisia zadefinovala aj nové požiadavky na zvýšenie ochrany obyvateľstva pred nepriaznivými účinkami ionizujúceho žiarenia – vypracovanie legislatívy zameranej na ochranu obyvateľstva a zavádzanie radónových programov, v ktorých informovanosť obyvateľstva patrí medzi priority.

Pri neustále sa zhoršujúcich environmentálnych podmienkach je preto dôležitá aj radiačná ochrana, a to hlavne pred vnútorným ožarovaním prírodnými rádionuklidmi, nakoľko radón a dcérske produkty jeho rozpadu sa na radiačnej expozícii podieľajú v najväčšom rozsahu. Pre objektívne prognózovanie jeho výskytu, šírenia, koncentrácií, krátkodobých i dlhodobých variácií atď., je ich monitorovanie v geologickom prostredí dôležité a opodstatnené.

Hlavným zdrojom prírodného radónu je geologické prostredie, a preto je cieľom monitoringu zdokumentovať a komplexne zhodnotiť krátkodobé (sezónne), ale i dlhodobé (rádovo až desiatky rokov) variácie obsahov radónu v horninovom prostredí a v podzemných vodách.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v podsystéme 05 (*Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*) v sezóne 2024, predstavoval opakované vzorkovania a merania objemovej aktivity radónu (OAR)

v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 13-tich lokalitách: šesť lokalít pre pôdny radón na referenčných plochách (RP), jedna lokalita nad tektonickou poruchou a šesť objektov pre radón v podzemných vodách na území Slovenska, vrátane ich komplexného spracovania, vyhodnotenia, porovnania výsledkov s predchádzajúcimi obdobiami, vypracovania hodnotiacich ročných správ (textová, tabuľková a grafická časť), aktualizovania výsledných databáz, atď. Meranie nad tektonikou na lokalite Dobrá Voda sme nahradili meraním nad listrickým zlomom v Malých Karpatoch, ktoré je v štádiu presného lokalizovania anomálie.

1. METODIKA PRÁC

Prírodné rádionuklidy a produkty ich jadrového rozpadu sú permanentne prítomné vo všetkých zložkách životného prostredia, t.j. v horninách, vodách i v ovzduší. Radón ^{222}Rn (zdroj alfa žiarenia s polčasom rozpadu 3,825 dňa) je inertný prírodný rádioaktívny plyn, vznikajúci samovoľným rozpadom rádia ^{226}Ra (zdroj alfa a gama žiarenia) v rozpadovom rade uránu ^{238}U a patrí medzi tzv. vzácne plyny.

Radón má vyššiu hustotu než vzduch (je najťažším plynom v prírode), je dobre rozpustný vo vode (až 51 % svojho objemu) a ešte lepšie v organických kvapalinách (ropa, olej), je bez farby, chuti a zápachu.

Dobre sa adsorbuje na uhlie (ale aj na parafín a kaučuk) a v prírodnom prostredí, napr. na íly. Rozpustnosť aj adsorpcia radónu rastie s poklesom teploty okolitého prostredia.

Radón pomerne ľahko preniká cez horninové prostredie difúznym a konvekčným prúdením. Hlavným zdrojom prírodného radónu sú niektoré minerály a horniny, ale aj podzemné vody, prechádzajúce horninami so zvýšeným obsahom uránu. Vzhľadom na polčas rozpadu materských prvkov ($^{238}\text{U} \sim 4,5$ mld. rokov, $^{226}\text{Ra} \sim 1600$ rokov) je z geologického prostredia zaistený jeho trvalý prísun.

Radón má výraznú migračnú vlastnosť a jeho obsahy v pôdnom vzduchu i vo vodách nie sú stabilné. Závisia nielen od koncentrácií rádia v hornine, ale aj od ďalších faktorov ovplyvňujúcich jeho šírenie a akumuláciu (meteorologické podmienky – vlhkosť, teplota, tlak, rýchlosť vetra; plynopriepustnosť – porozita, tektonické porušenie hornín a pod.).

Cieľom monitorovacích prác v predmetnej časti projektu je sledovanie zmien koncentrácií radónu, ich celkové vyhodnotenie a posúdenie možných vplyvov.

Monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v zdrojoch podzemných vôd bolo zamerané do oblastí s potvrdeným výskytom zvýšeného (stredného a vysokého) radónového rizika (tab. č. 1). Pri výbere lokalít sa vychádzalo z výsledkov vyhodnotenia starších prieskumných prác, zaoberajúcich sa problematikou prírodnej rádioaktivity, s cieľom zdokumentovať zmeny (variácie) obsahov radónu v rôznych geologických jednotkách.

Tab. č. 1 Stanovenie radónového indexu referenčnej plochy (podľa vyhlášky MZ SR č. 98/2018 Z. z.).

RADÓNOVÝ INDEX POZEMKU	OBJEMOVÁ AKTIVITA RADÓNU c_A [kBq.m ⁻³]		
	Plynová priepustnosť pôd		
	nízka	stredná	vysoká
nízky	$c_A < 30$	$c_A < 20$	$c_A < 10$
stredný	$30 \leq c_A < 100$	$20 \leq c_A < 70$	$10 \leq c_A < 30$
vysoký	$c_A \geq 100$	$c_A \geq 70$	$c_A \geq 30$

Radón v pôdnom vzduchu je na každej lokalite monitorovaný v rámci referenčnej plochy (RP), ktorú tvoria jednotlivé body (sondy pre odber vzoriek pôdného vzduchu) usporiadané v profiloch, resp. v nepravidelnej sieti. Základný počet bodov v rámci RP je 17 sond (16 sond základného merania plus jedna kontrolná sonda), t. j. minimálny štatistický súbor pre zhodnotenie radónového indexu RP pri každom monitorovaní. Pozícia jednotlivých bodov v rámci RP pri opakovaných monitorovacích prácach je porovnateľná.

Referenčné plochy (objekty) sú monitorované minimálne dvakrát ročne. Tri objekty sú monitorované s vyššou frekvenciou (4 až 7 monitorovaní) za účelom lepšieho posúdenia vplyvov meteorologických procesov v období apríl až október.

Pôdny vzduch pre stanovenie OAR sa odoberá cez ručne zatĺkané sondy, ktoré sa

po dosiahnutí hĺbky cca 0,8 m utesnia, zo sondy sa odsaje atmosférický vzduch a vzorka pôdneho vzduchu sa následne nasaje do deemanovanej a evakuovanej scintilačnej Lucasovej komory (LK) o objeme 125 ml.

Lucasova komora je kalibrovaný scintilačný detektor, ktorý sa po napustení pôdnym vzduchom transportuje na meranie a stanovenie OAR v laboratórnych podmienkach. Pri odbere pôdneho radónu sa do terénneho zápisníka (okrem údajov nevyhnutných pre výpočet OAR), zaznamenávajú aj ďalšie doplňujúce údaje: počasie, zrážky, kvalitatívne posúdenie vlhkosti pokryvných útvarov v areáli RP, obtiažnosť hĺbenia sond a odberu pôdneho vzduchu a pod.

Objemová aktivita radónu zdrojov podzemných vôd je sledovaná na známych a turisticky bežne dostupných prameňoch. Vzorky pre stanovenie objemovej aktivity ^{222}Rn vo vode sú odoberané do sklenených vzorkovní so zabrúseným hrdlom, doplna (objem vzorkovnice cca 300 ml), bez vzduchovej bubliny. Pri odbere vzorky vody je meraná okamžitá teplota vody a vzduchu, výdatnosť prameňa, meteorologické podmienky pri odbere, vrátane ďalších údajov potrebných k výpočtu OAR.

V laboratórnych podmienkach je radón z každej vzorkovnice prebublaný cez premývačku do štyroch deemanovaných a evakuovaných LK o objeme 600 ml, ktoré sa následne merajú kalibrovaným meracím zariadením metodikou zhodnou s meraním objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

Za účelom vylúčenia náhodnej chyby sa odoberajú vždy štyri vzorky, pričom výsledným obsahom radónu pre daný odber je stredná hodnota z meraní prvých dvoch vzoriek. Tretia vzorka býva analyzovaná v prípade, ak rozdiel dvojice meraných vzoriek prekročí 10 %. Štvrtá vzorka slúži ako bezpečnostná rezerva pre nepredvídateľné situácie.

Na postup rádiometrických meraní a hodnotenie radónu v geologickom prostredí sa vzťahuje schválená metodika. Spôsob stanovenia objemovej aktivity radónu (OAR; c_A) v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti základových pôd je v súlade s ustanoveniami zákona NR SR č. 355/2007 Z. z. a v zmysle zákona NR SR č. 87/2018 Z. z.

Pri meraní OAR sa používajú kalibrované meracie zariadenie typu LUK-4A, resp. LUK 3R, využívajúce princíp scintilačnej detekcie alfa častíc v Lucasových komorách.

Merania odobratých vzoriek zmesi plynov v LK sú realizované v laboratórnych podmienkach najskôr 3,5 hod. (210 minút) po ich napustení, t. j. po dosiahnutí stavu rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a dcérskymi produktami jeho rozpadu.

Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu c_A , sa počíta podľa vzťahu:

$$c_A = (N_v - N_p) / k \cdot V \cdot R(t_v, t_r) ; [\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}]$$

- kde :
- N_v - nameraný počet impulzov vzorky pôdneho vzduchu za čas t_v
 - N_p - nameraný počet impulzov pozadia za čas t_v
 - k - koeficient účinnosti merania stanovený pri kalibrácii aparatury
 - V - objem vzorky pôdneho vzduchu v LK v litroch
 - $R(t_v, t_r)$ - korekčný faktor zohľadňujúci rádioaktívnu premenu od odberu vzorky po koniec merania a zároveň aj stav posuvnej rádioaktívnej rovnováhy medzi ^{222}Rn a jeho dcérskymi produktmi rozpadu v LK. Pri meraní (3,5 hod. po napustení LK) je dosiahnutý stav rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérskymi produktmi. Zanedbaním poklesu aktivity radónu v priebehu merania (t_v), môžeme dostatočne presne pre $t_r \geq 210$ min a ľubovoľné t_v určiť $R(t_v, t_r)$ zo vzťahu: $R(t_v, t_r) = 3 \cdot t_v \cdot e^{-\lambda t_r}$ (sec)
 - t_v - čas merania vzorky pôdneho vzduchu v LK v sekundách
 - t_r - doba od napustenia vzorky pôdneho vzduchu do LK do začiatku merania v minútach
 - λ - rozpadová konštanta ^{222}Rn ($0,0001258437 \text{ min}^{-1}$)

Radónový index referenčnej plochy je hodnotený v zmysle vyhlášky MZ SR č. 98/2018 Z. z., kde sú stanovené hranice pre tri radónové indexy – nízky, stredný a vysoký – na základe kvantitatívneho posúdenia nameranej objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti miestnych zemín podľa tab. č. 1.

Plynopriepustnosť zemín a hornín sa pre každú referenčnú plochu určila skrátenou granulometrickou analýzou odobratej vzorky zeminy, a to podľa percentuálneho podielu jemnozrnnej frakcie **f** (priemer častíc < 0,063 mm) v zmysle STN 72 1001 z 1. 4. 2010.

Tab. č. 2 Stanovenie plynopriepustnosti pôd

Priepustnosť	Podiel jemných častíc	Trieda podľa STN 72 1001
nízka	f > 65 %	F5, F6, F7, F8
stredná	15 % < f < 65 %	F1, F2, F3, F4, S4, S5, G4, G5
vysoká	f < 15 %	S1, S2, S3, G1, G2, G3

Objemová aktivita radónu vo vode c_A sa počíta podľa vzťahu:

$$c_A = (N_v - N_p) / k \cdot V_v \cdot R(t_v, t_r) \cdot e^{-\lambda t_F} \quad ; \quad [\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}]$$

kde : V_v - objem vzorky vody v premývačke v litroch,
 $e^{-\lambda t_F} = F(t_F)$ - koeficient, vyjadrujúci pokles aktivity ^{222}Rn za dobu t_F (doba od času odberu vzorky v teréne po čas naplnenia LK).

Ostatné položky sú vysvetlené pri vzťahu pre výpočet objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

2. PREHLAD A VÝSLEDKY REALIZOVANÝCH PRÁC

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol v roku 2024 realizovaný v rovnakých oblastiach, ako v predchádzajúcich monitorovacích sezónach.

- pôdny radón na referenčných plochách
- pôdny radón na tektonike
- radón vo vodách

Geografická situácia monitorovaných objektov je schematicky znázornená na obr. č. 1.

2.1. Pôdny radón na referenčných plochách

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referenčných plochách (RP) bol v roku 2024 vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách so stredným až vysokým radónovým indexom:

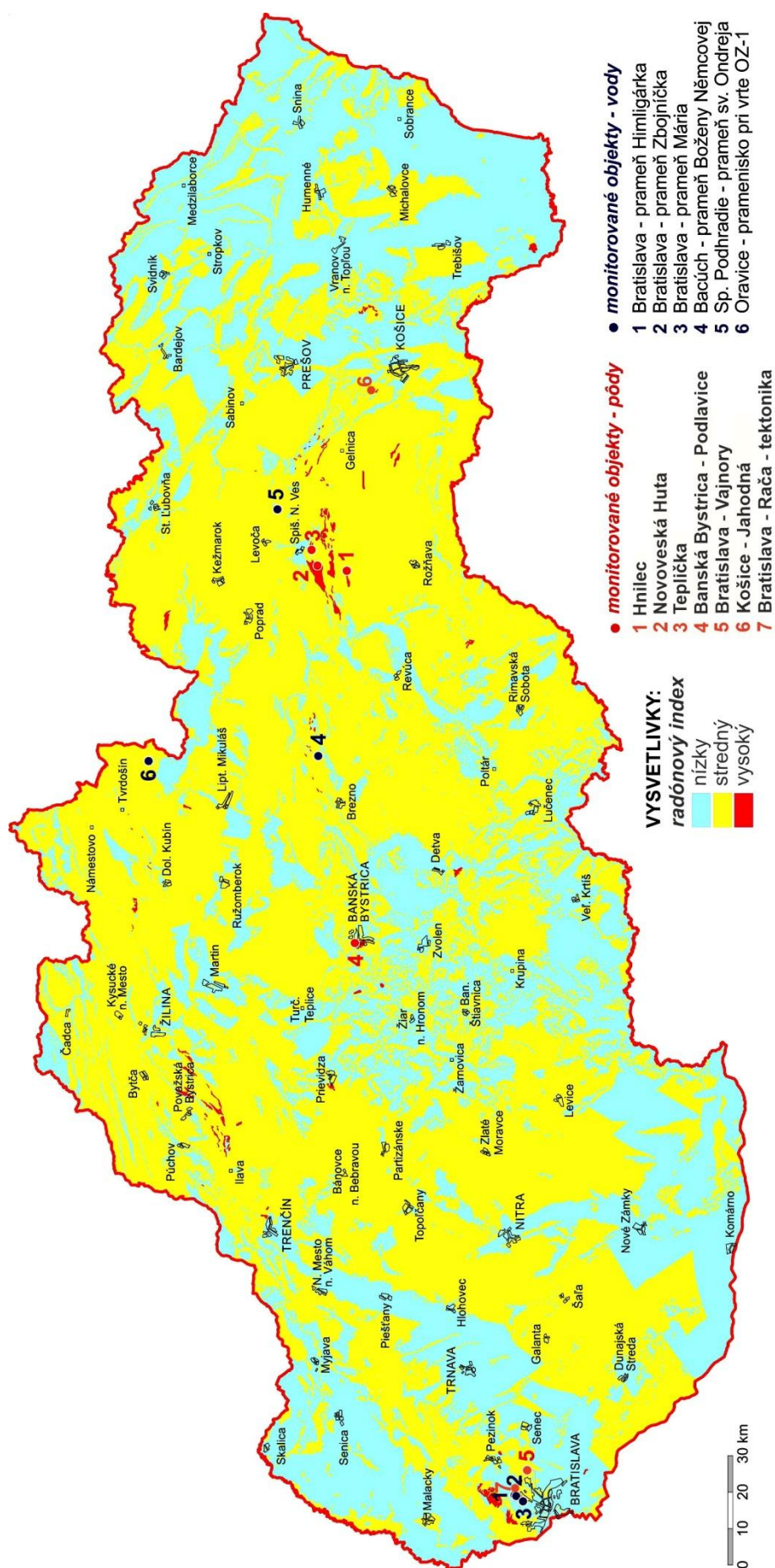
- | | |
|----------------------------------|--|
| ○ RP Hnilec | (4x ročne – apríl až október, každé dva mesiace) |
| ○ RP Novoveská Huta | (7x ročne – apríl až október, každý mesiac) |
| ○ RP Teplička | (7x ročne – apríl až október, každý mesiac) |
| ○ Bratislava – RP Vajnory | (2x ročne – máj a september) |
| ○ Banská Bystrica – RP Podlavice | (2x ročne – máj a september) |
| ○ Košice – Jahodná | (2x ročne – august a október) |

RP Hnilec sa nachádza cca 2,1 km JJZ od centra rovnomennej obce pri štátnej ceste č. 533 Spišská Nová Ves – Gemerská Poloma. Je charakteristická veľmi vysokými hodnotami OAR. Zdrojom radónu je zvetraný stredno- až hrubozrnný gemeridný (tzv. „hnilecký“) granit s anomálnymi obsahmi uránu (podľa terénnej spektrometrie gama ~ 20 ppm eU), ktorý tak radíme k horninám s najvyššou prírodnou rádioaktivitou v Západných Karpatoch.

Monitoring OAR v sezóne 2024 tu bol zrealizovaný v období apríl až október (štyri monitorovania, spolu 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Po doterajšom maxime z roku 2008 (712 kBq.m^{-3}) hodnoty $\text{OAR}_{3,Q}$ (3. kvartil OAR) v pôdnom vzduchu na RP Hnilec v sezónach 2009 až 2013 vykazovali výrazný a systematický pokles (až na 255 kBq.m^{-3}). V roku 2014 bol zaznamenaný nárast $\text{OAR}_{3,Q}$ na 359 kBq.m^{-3} , ale v sezóne 2015 opäť pokles na 334 kBq.m^{-3} . V období 2016 a 2017 stúpili úrovne $\text{OAR}_{3,Q}$ na 407 kBq.m^{-3} , resp. 411 kBq.m^{-3} , ale v roku 2018 tu došlo medziročne k výraznému poklesu pri strednej hodnote iba 282 kBq.m^{-3} . V sezóne 2019 došlo opäť k výraznému nárastu hodnôt $\text{OAR}_{3,Q}$ až na úroveň 416 kBq.m^{-3} , ale v roku 2020 k pomerne výraznému poklesu na 375 kBq.m^{-3} (obr. č. 4; tab. č. 6). V sezóne 2021 sme zaregistrovali mierny nárast OAR na hodnotu 405 kBq.m^{-3} . V roku 2023 stredná hodnota $\text{OAR}_{3,Q}$ – 385 kBq.m^{-3} prakticky potvrdila úroveň 384 kBq.m^{-3} z roku 2022. Hodnota $\text{OAR}_{3,Q}$ pre rok 2024 je 421 kBq.m^{-3} . Trend $\text{OAR}_{2024/2023} = 1,09$ pri priemernej hodnote $\text{OAR}_{3,Q2002-2024} = 439 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvyššia hodnota v jednotlivej sonde $\text{OAR}_{\text{MAX}} = 1\,449 \text{ kBq.m}^{-3}$ bola nameraná v júni 2024.

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 – 2024 graficky prezentujeme na obr. č. 4 a prehľadne v tab. č. 6. Podrobnejšie štatistické údaje za uplynulý rok a porovnanie výsledkov monitorovania s predchádzajúcimi sezónami dokladujeme v tab. č. 3.



Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2024

RP Novoveská Huta II je situovaná v priestore medzi miestnou komunikáciou približne V–Z smeru a cca 25 m sz. od päty veže miestneho kostola sv. Cyrila a Metoda.

Tvorená je tromi profilmi (sieť 5 x 5 m). Založená je – podobne, ako pôvodná RP Novoveská Huta – v prostredí budovanom pestrofarebnými pieskovecami a bridlicami strážanských vrstiev novoveského súvrstvia (perm) strednej plynopriepustnosti s väzbou na dislokácie SSV – JJZ smeru.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu tu bol v sezóne 2024 zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, spolu 114 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu).

V roku 2024 tu medziročne došlo k miernemu nárastu koncentrácií pôdného radónu z hodnoty 105 kBq.m^{-3} (2023) na 109 kBq.m^{-3} v roku 2024. Trend $\text{OAR}_{3,Q} 2024/2023 = 1,04$, pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{3,Q} 2018-2024 = 103 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvyššia priemerná mesačná úroveň $\text{OAR}_{3,Q} = 194 \text{ kBq.m}^{-3}$, a aj $\text{OAR}_{\text{MAX}} = 265 \text{ kBq.m}^{-3}$ v jednotlivéj sonde, boli zaznamenané v septembri 2024.

Grafické znázornenie hodnôt $\text{OAR}_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu v jednotlivých sezónach na monitorovaných objektoch v Nov. Hute, ich vývoj v priebehu sezóny 2024 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2024) dokumentujeme na obr. č. 2. Pre možnosť kvalitatívneho posúdenia úrovni OAR a mesačných zrážkových úhrnov (zdroj: *shmu.sk*) je do obrázku zapracovaná aj príslušná grafická závislosť.

Výsledky štatistického spracovania výsledkov meraní sú prehľadne spracované v tab. č. 3 a sumárne v tab. č. 6.

RP Teplička je lokalizovaná približne 2,8 km južne od centra Spišskej Novej Vsi v lokalite Šulerloch (podľa rovnomennej kóty 646 m n.m.).

Podložie RP budujú sedimenty paleogénu (bridlice, pieskovce) strednej plynopriepustnosti s vyšším podielom ílovitej frakcie. Ílovité vrstvičky s nízkou priepustnosťou síce tvoria pomerne účinnú bariéru pri prenikaní radónu k povrchu, ale tento jav sa prejavuje iba pri zvýšenej vlhkosti horninového prostredia. Opačnú závislosť je možné – do určitej miery – očakávať v obdobiach s nízkymi zrážkovými úhrnmi, kedy plynopriepustnosť miestnych sedimentov (v dôsledku poklesu vlhkosti pokryvných útvarov) významne vzrastá.

V areáli tejto RP od maxima $\text{OAR}_{3,Q}$ z roku 2005 (92 kBq.m^{-3}) dochádzalo postupne k výraznému poklesu koncentrácií pôdného radónu (okrem sezóny 2010 s vysokými úhrnmi zrážok) až na 35 kBq.m^{-3} v roku 2013. V nasledujúcich štyroch sezónach boli priemerné hodnoty $\text{OAR}_{3,Q}$ pomerne vyrovnané a varírovali v rozmedzí 64 až 74 kBq.m^{-3} . V sezóne 2018 tu došlo opäť k výraznému poklesu na $\text{OAR}_{3,Q} = 47 \text{ kBq.m}^{-3}$. V roku 2019 sme tu zaznamenali výrazný nárast na $\text{OAR}_{3,Q} = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$ a v sezóne 2020 mierny pokles na 69 kBq.m^{-3} . V roku 2021 opäť mierny nárast na 74 kBq.m^{-3} a v roku 2022 výrazný pokles na hodnotu $\text{OAR}_{3,Q} = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$. $\text{OAR}_{3,Q} = 60 \text{ kBq.m}^{-3}$ v roku 2023 sa priblížila hodnotou k dlhodobému priemeru – 66 kBq.m^{-3} .

Monitoring v sezóne 2024 bol tradične zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, 119 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu). Stredná hodnota $\text{OAR}_{3,Q}$ pre rok 2024 je 53 kBq.m^{-3} . Maximálna úroveň $\text{OAR}_{3,Q}$ tu bola nameraná v júni 2024 (82 kBq.m^{-3}) a najvyšší obsah pôdného radónu v jednotlivéj sonde ($\text{OAR}_{\text{MAX}} = 125 \text{ kBq.m}^{-3}$) v septembri 2024. Medziročne tu došlo k poklesu koncentrácií pôdného radónu: trend $\text{OAR}_{3,Q} 2024/2023 = 0,88$ pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{3,Q} 2002-2024 = 66 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Priebeh variácií OAR v pôdnom vzduchu dokladujeme na obr. č. 3, kde formou stĺpcového diagramu prezentujeme výsledky monitorovania od roku 2002, vrátane grafu mesačných zrážkových úhrnov (zdroj: *shmu.sk*). Výsledky komplexného štatistického spracovania meraní sú v tab. č. 3 a sumárne v tab. č. 6.

RP Bratislava – Vajnory je založená na sv. okraji rovnomennej mestskej časti Bratislavy, neďaleko Vajnorskej cesty, pozdĺž melioračného kanála približne S-J smeru.

Podložie monitorovaného objektu tvoria fluvialne holocénne sedimenty (piesčité až štrkovité hliny) so strednou až vysokou plynopriepustnosťou.

Na RP Bratislava – Vajnory sa v období 2005 až 2012 (s výnimkou mimoriadne vlhkej sezóny 2010) postupne znižovali priemerné ročné úrovne $OAR_{3,Q}$. V období 2013 – 2014 tu došlo k ich zreteľnému nárastu, a po poklese v roku 2015 zaznamenávame postupný nárast na úroveň $OAR_{3,Q} = 44 \text{ kBq.m}^{-3}$ v roku 2019, ale v sezóne 2020 k výraznému poklesu iba na 29 kBq.m^{-3} . V roku 2021 stúpila $OAR_{3,Q}$ na úroveň 35 kBq.m^{-3} , v roku 2022 výrazne poklesla na hodnotu $OAR_{3,Q} = 27 \text{ kBq.m}^{-3}$ a v roku 2023 opäť mierne stúpila na úroveň 31 kBq.m^{-3} .

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu bol v roku 2024 realizovaný v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu).

Na RP Bratislava – Vajnory došlo medziročne k poklesu hodnôt OAR pôdného radónu na úroveň 25 kBq.m^{-3} (trend $OAR_{3,Q} 2024/2023 = 0,81$), pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2024 = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Najvyššie úrovne OAR v jednotlivých sonde boli zaznamenané pri jesennom monitoringu (65 kBq.m^{-3}). Hodnoty $OAR_{3,Q}$ v sezóne 2024 dosiahli 15 kBq.m^{-3} (jar), resp. 35 kBq.m^{-3} (jeseň). Podrobné informácie a výsledky štatistického spracovania nameraných hodnôt OAR v pôdnom vzduchu po jednotlivých monitorovacích obdobiach sú v tab. č. 3 a 6 a na obr. č. 4.

RP Banská Bystrica – Podlavice je lokalizovaná na sz. okraji Banskej Bystrice (mestská časť Podlavice), po oboch stranách poľnej cesty neďaleko od záhradkárskej (chatovej) kolónie.

Podložie referenčnej plochy je budované ramsauskými dolomitmi (stredný až vrchný trias) s anomálnymi koncentraciami uránu (tzv. „uránové dolomity“).

Na tomto objekte bol od roku 2005 (okrem sezóny 2010, charakterizovanej mimoriadne vysokými zrážkovými úhrnmi) sledovaný postupný a výrazný pokles až na $OAR_{3,Q} 2012 = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch sezónach (2013 – 2015) tu boli zaznamenané vyššie a úrovňou stabilnejšie hodnoty ($56 - 59 \text{ kBq.m}^{-3}$), ale $OAR_{3,Q}$ v roku 2016 dosiahla až 100 kBq.m^{-3} . V sezónach 2017 a 2018 sme tu však zaznamenali pomerne rýchly a výrazný pokles OAR v pôdnom vzduchu až na hodnotu 50 kBq.m^{-3} . V nasledujúcich dvoch rokoch tu došlo k nárastu na $OAR_{3,Q} = 74 \text{ kBq.m}^{-3}$ (2019), resp. 77 kBq.m^{-3} (2020). V roku 2021 merania OAR zaznamenali výrazný nárast hodnoty $OAR_{3,Q2021}$ na úroveň 98 kBq.m^{-3} a v nasledujúcom roku 2022 s výrazným suchom bol zaznamenaný markantný pokles na úroveň 39 kBq.m^{-3} . Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu v sezóne 2023 potvrdilo klesajúci trend hodnôt OAR, hodnota $OAR_{3,Q2023}$ bola 35 kBq.m^{-3} .

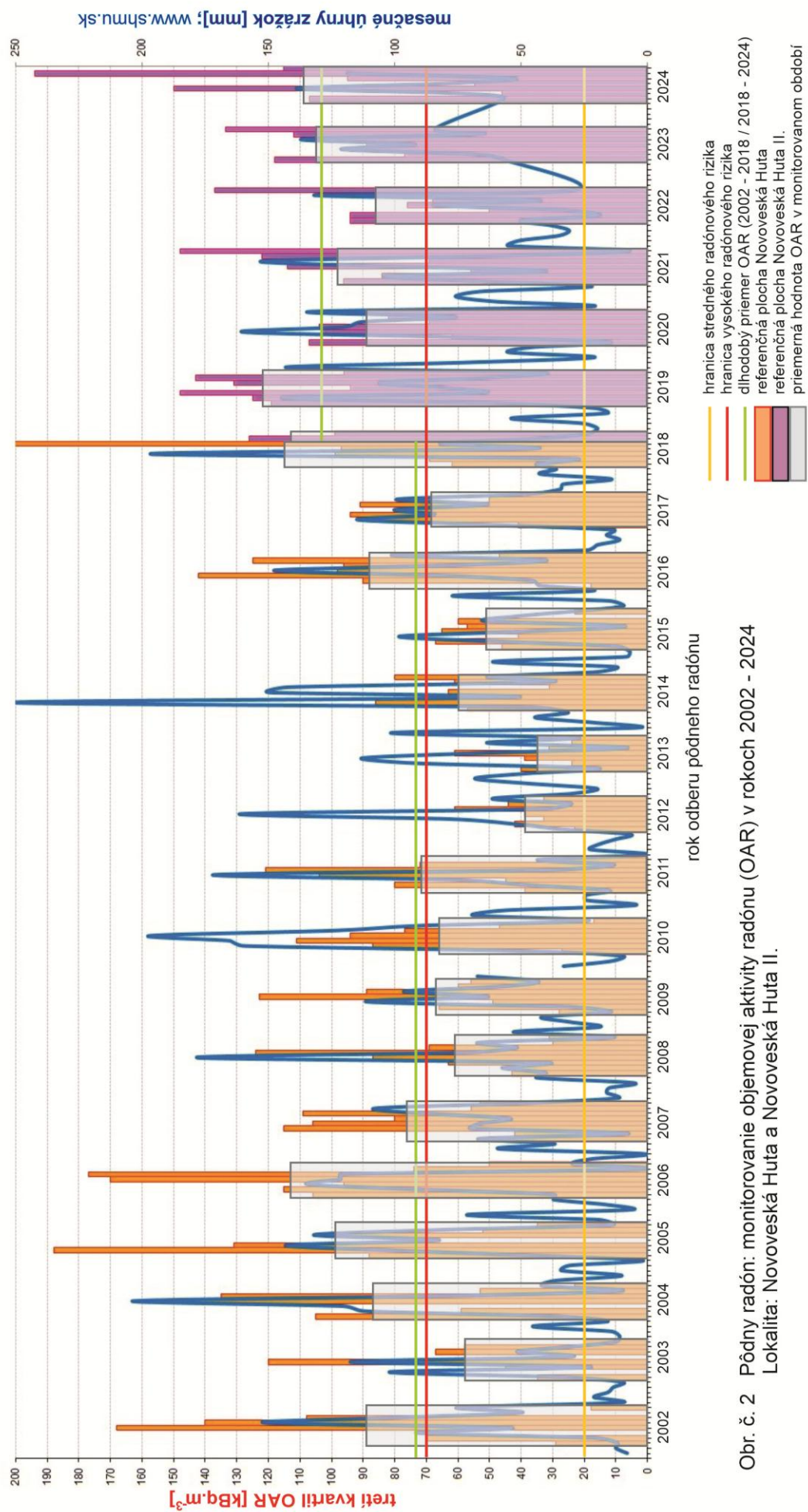
Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2024 uskutočnilo v máji a septembri (dve monitorovania, spolu 34 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu). Medziročne tu bol zaznamenaný výrazný nárast koncentrácií pôdného radónu na úroveň $OAR_{3,Q2024} = 76 \text{ kBq.m}^{-3}$ pri trende $OAR_{3,Q} 2024/2023 = 2,17$ a dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2024 = 70 \text{ kBq.m}^{-3}$. Na jar 2024 ešte pokračoval trend nízkych hodnôt, $OAR_{3,Q} = 40 \text{ kBq.m}^{-3}$. Maximálna OAR v pôdnom vzduchu v jednotlivých sonde dosiahla 156 kBq.m^{-3} (jeseň), s hodnotami $OAR_{3,Q}$ na úrovni až 112 kBq.m^{-3} (jeseň).

Vyhodnotené výsledky monitorovania sú prehľadne spracované v tab. č. 3 a tab. č. 6. Výsledky monitoringu OAR v pôdnom vzduchu na RP Banská Bystrica – Podlavice v sezónach 2005 až 2024 graficky dokumentujeme na obr. č. 4.

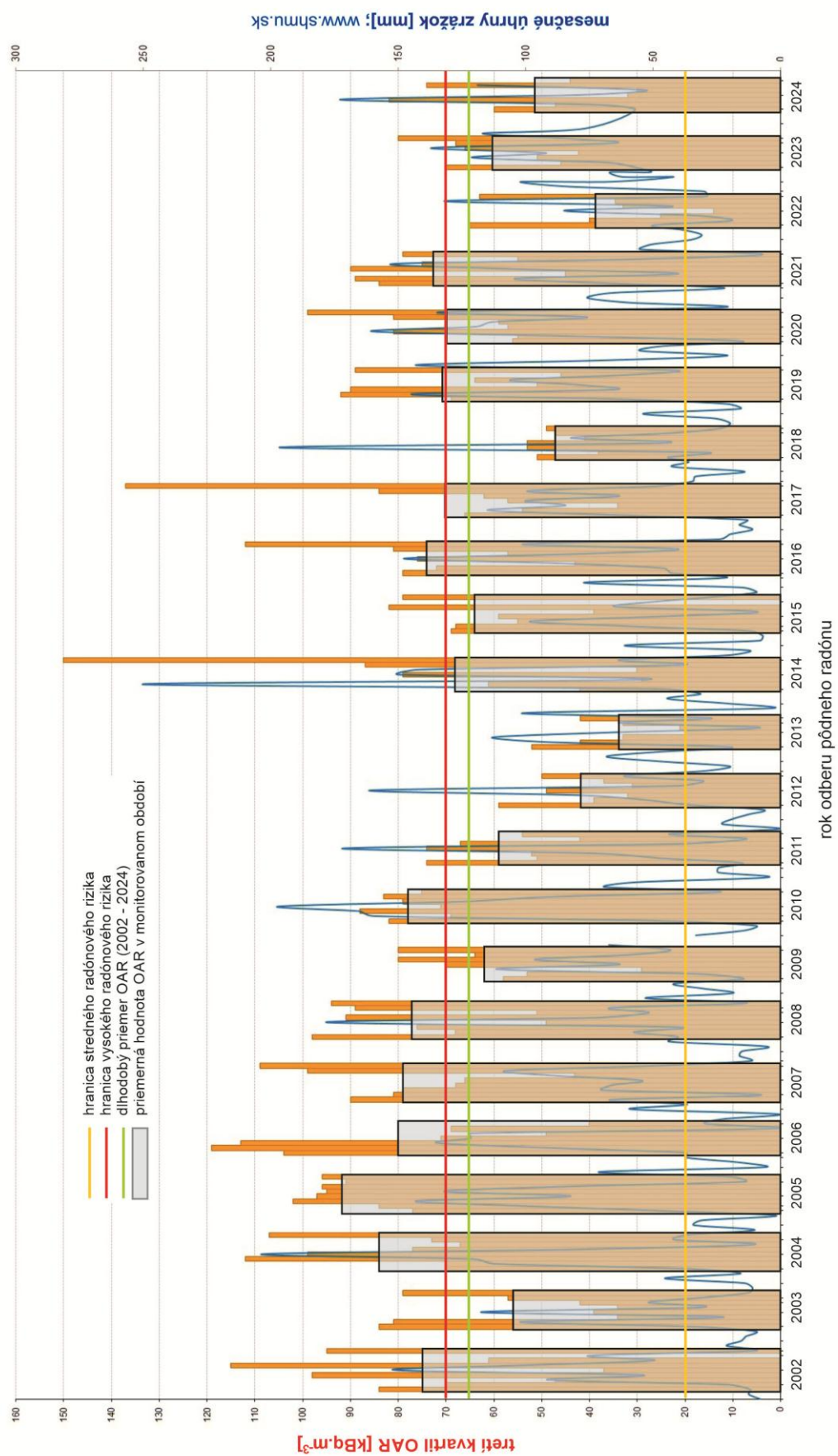
RP Košice – Jahodná

Okrem spomínaných monitorovaní radónu v pôdnom vzduchu sme v sezóne 2024 začali aj monitoring na lokalite Jahodná pri Košiciach. Podľa Geologickej mapy Spišsko-gemerského rudohoria (Grecula et al., 2009) sa jedná o prostredie tvorené horninami z obdobia staršieho permu, konkrétne o metaryolity – metadacity a ich vulkanoklastiká. Lokalita bola vybraná

z dôvodu výskytu hornín s obsahom uránovej rudy. Orientačné merania boli vykonané v júni 2024, kedy sme realizovali odber vzoriek pôdneho vzduchu z dvoch priečných profilov. Po spracovaní a odmeraní v laboratórnych podmienkach v Spišskej Novej Vsi bol potvrdený predpoklad o prítomnosti zdroja emanujúcich rádioaktívnych hornín. Hodnota 3.kvartilu z nameraných hodnôt bola 357 kBq.m^{-3} . Na základe týchto výsledkov boli vykonané merania na referenčnej ploche (17 odberov vzoriek pôdneho vzduchu) v auguste a októbri 2024. Hodnoty 3.kvartilu 292 kBq.m^{-3} resp. 216 kBq.m^{-3} potvrdili vysokú úroveň prírodnej rádioaktivity. Pre stanovenie variability hodnôt OAR navrhujeme pokračovať v monitoringu tejto plochy aj v nasledujúcom období. Do komplexných tabuliek a grafov pre porovnanie hodnôt v čase zaradíme výsledky z RP Košice – Jahodná v nasledujúcom období.

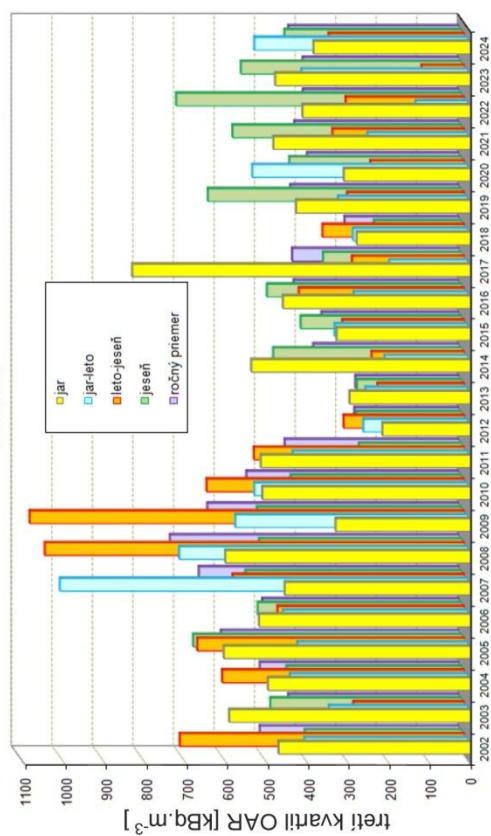


Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2024
Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.

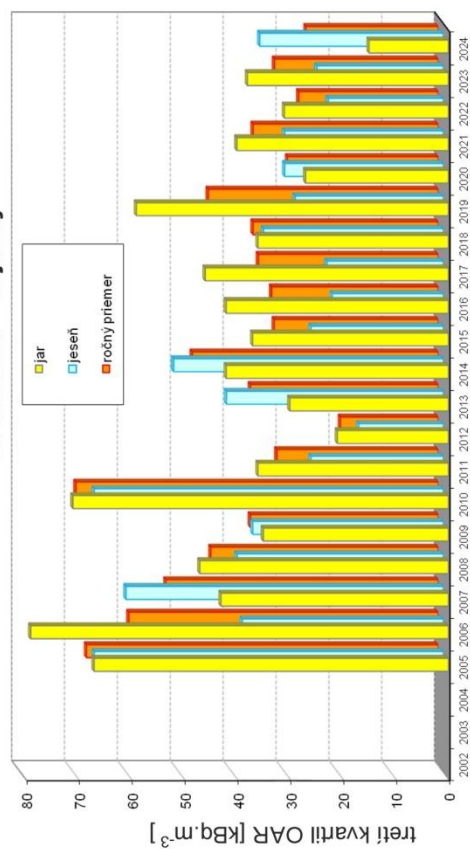


Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2024
Lokalita: Teplička

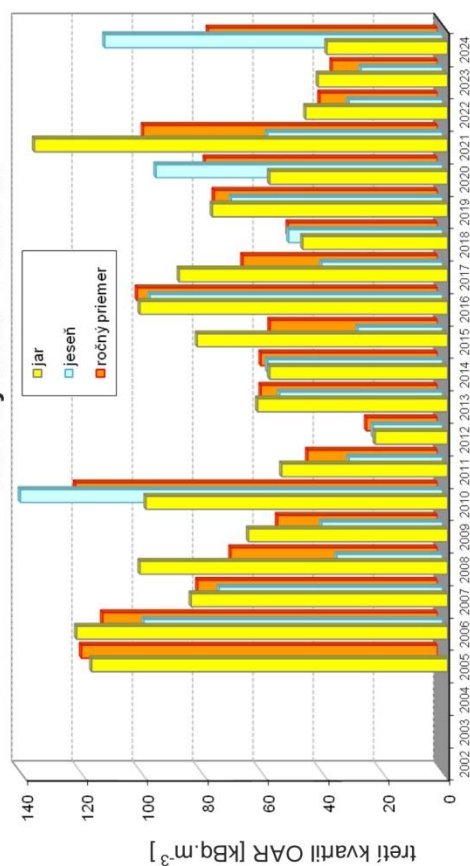
Hnilec



Bratislava - Vajnory



Ban. Bystrica - Podlavice



Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2024
Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice

Tab. č. 3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024												
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							Rn index	Poznámka	
			N	min c _A	max c _A	ϕ c _A	σ c _A	ϕ + σ	3. kvartil c _A			
1	Hnilec	30.04.24	17	4	965	321	247	568	386	III	jasno, teplo, vánok	
2		18.06.24	17	47	1449	460	437	897	525	III	slnečno, teplo, nepokosené, vánok, vlhko	
3		14.08.24	17	44	521	253	148	401	335	III	jasno, teplo, vánok	
4		16.10.24	17	1	1326	319	378	697	437	III	jasno, vánok, nepokosené, vlhko	
		rok 2024	68	1	1449	338	303	641	421	III		
		rok 2023	68	1	1193	265	260	525	385	III		
		rok 2022	67	6	994	251	181	432	384	III		
		rok 2021	68	5	1147	352	300	652	405	III		
		rok 2020	68	4	1047	306	221	527	375	III		
		rok 2019	68	10	1417	334	238	572	416	III		
		rok 2018	68	10	584	214	148	361	282	III		
		rok 2017	68	6	1869	310	241	550	411	III		
		rok 2016	68	36	1327	321	268	589	407	III		
		rok 2015	68	20	878	255	160	415	334	III		
		rok 2014	68	47	969	296	217	513	359	III		
		rok 2013	68	12	734	202	159	361	255	III		
		rok 2012	68	3	712	209	147	355	258	III		
		rok 2011	68	36	1375	384	272	656	430	III		
		rok 2010	67	29	1496	452	312	765	524	III		
		rok 2009	68	32	1735	476	381	857	620	III		
		rok 2008	68	13	1685	550	356	906	712	III		
		rok 2007	68	123	1742	568	331	899	642	III		
		rok 2006	68	150	1262	433	249	682	485	III		
		rok 2005	68	115	1861	509	286	795	587	III		
		rok 2004	68	227	1300	454	211	665	491	III		
		rok 2003	68	87	968	333	156	489	420	III		
		rok 2002	67	84	1157	415	210	625	491	III		

Tab. č. 3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024												
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]						Rn index	Poznámka		
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ				
1	Novoveská Huta II	29.04.24	17	4	139	78	37	115	107	III	jasno, vánok, teplo 20°C	
2		27.05.24	17	1	153	38	40	78	46	III	snečno	
3		18.06.24	17	21	259	96	70	166	150	II	jasno, vánok, pokosené, pôda vlhká	
4		22.07.24	12	10	147	51	36	87	55	III	dlhodobo sucho, občasná búrky, teplo	
5		14.08.24	17	8	123	60	37	97	95	III	jasno, teplo, slabý vietor	
6		23.09.24	17	11	265	150	74	224	194	III	jasno, chladno, po dažďoch	
7		17.10.24	17	1	146	75	49	124	115	III	jasno, bezvetrie, chladno, vlhko	
		rok 2024	114	1	265	78	49	127	109	III		
		rok 2023	117	1	231	81	45	126	105	III		
		rok 2022	117	5	212	66	32	98	86	III		
		rok 2021	119	8	259	78	47	125	98	III		
		rok 2020	119	4	223	66	39	105	89	III		
		rok 2019	118	7	298	94	53	147	122	III		
		rok 2018	34	27	231	84	51	134	113	III		
	Novoveská Huta	rok 2018	68	9	417	76	73	148	82	III		
		rok 2017	117	3	666	69	81	150	68	II-III		
		rok 2016	119	10	430	80	75	155	88	III		
		rok 2015	119	3	370	46	46	91	51	II		
		rok 2014	119	5	173	45	35	80	60	II		
		rok 2013	119	4	181	26	20	47	35	II		
		rok 2012	119	5	240	32	26	58	39	II		
		rok 2011	119	7	396	56	55	111	71	III		
		rok 2010	119	4	387	56	55	111	66	II-III		
		rok 2009	119	4	486	55	60	115	67	II-III		
		rok 2008	136	8	198	47	33	80	61	II-III		
		rok 2007	153	7	577	66	59	125	73	III		
		rok 2006	119	4	670	93	75	168	113	III		
		rok 2005	102	2	668	85	88	173	99	III		
		rok 2004	102	1	439	69	60	129	87	III		
		rok 2003	102	2	379	48	40	88	58	II		
	rok 2002	102	1	515	73	65	138	89	III			

Tab. č. 3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024												
3	Lokalita	Dátum Rok	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							Rn index	Poznámka	
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A			
1	Teplička	29.04.24	17	2	91	44	26	70	60	II	jasno, teplo, dážď pred víkendom	
2		27.05.24	17	19	58	39	11	50	47	II	slnečno	
3		19.06.24	17	17	112	59	32	91	82	III	vysoká tráva, vlhko	
4		22.07.24	17	3	62	24	17	41	32	II	slnečno, dlhodobé horúco	
5		15.08.24	17	6	52	21	13	34	30	II	nepokosené, dlhé sucho	
6		23.09.24	17	23	125	62	28	90	74	III	pokosené, jasno	
7		17.10.24	17	1	85	31	23	54	44	II	jasno, vánok, pokosené, vlhko, babie leto	
			rok 2024	119	1	125	40	21	61	53	II	
			rok 2023	116	1	838	51	48	99	60	II	
			rok 2022	118	2	199	36	21	57	39	II	
			rok 2021	119	5	129	56	26	82	74	III	
			rok 2020	119	7	129	59	22	80	69	II	
			rok 2019	119	6	249	60	30	91	72	II-III	
			rok 2018	119	4	83	38	16	53	47	II	
			rok 2017	109	4	324	54	34	88	71	II-III	
			rok 2016	117	1	154	56	26	82	74	III	
			rok 2015	119	5	101	49	21	70	64	II-III	
			rok 2014	119	1	188	47	30	77	68	II-III	
			rok 2013	119	2	70	27	12	39	35	II	
			rok 2012	119	3	93	32	16	48	42	II	
		rok 2011	119	4	110	44	22	66	59	II		
		rok 2010	119	4	150	59	29	88	78	III		
		rok 2009	119	4	127	49	27	77	62	II-III		
		rok 2008	136	3	118	57	27	84	77	III		
		rok 2007	136	3	137	57	28	85	79	III		
		rok 2006	119	3	157	61	26	87	81	III		
		rok 2005	136	2	196	70	33	103	92	III		
		rok 2004	136	6	120	62	23	85	80	III		
		rok 2003	135	5	144	50	19	69	56	II		
		rok 2002	136	3	143	60	23	83	76	III		

Tab. č. 3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024													
p.č.	Lokalita	Dátum		c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]						Rn index	Poznámka		
		Rok		N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ			3. kvartil c _A	
Tab. 1		1	15.05.24	17	10	52	28	14	42	40	II	po dažďoch, vlhko, pohoľasno pohoľasno, teplo 25°C	
		2	18.09.24	17	16	156	80	40	120	112	III		
			rok 2024	34	10	156	54	27	81	76	III		
			rok 2023	34	1	138	29	24	53	35	II		
			rok 2022	34	5	182	37	31	68	39	II		
			rok 2021	33	11	278	76	64	139	98	III		
			rok 2020	34	12	310	70	53	122	77	III		
			rok 2019	34	6	283	67	56	123	74	III		
			rok 2018	17	13	124	43	32	75	50	II		
			rok 2017	34	4	215	50	45	95	65	II-III		
			rok 2016	34	6	262	75	71	145	100	III		
			rok 2015	34	14	248	54	44	98	56	II		
			rok 2014	34	1	167	49	45	93	59	II		
			rok 2013	34	9	121	44	27	71	59	II		
			rok 2012	34	4	79	19	18	37	24	II		
			rok 2011	34	5	129	33	26	58	43	II		
			rok 2010	34	13	265	102	61	163	120	III		
			rok 2009	34	6	157	38	33	71	53	II		
			rok 2008	34	0	154	50	28	78	69	II-III		
			rok 2007	34	13	219	64	38	102	80	III		
			rok 2006	34	18	272	90	53	143	111	III		
			rok 2005	18	30	193	98	44	142	118	III		
			rok 2004	objekt nebol monitorovaný									
			rok 2003										
			rok 2002										
Vysvetlivky:				c _A	objemová aktivita radónu (OAR) v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							II	
				N	počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)							II	
				min c _A	minimálna hodnota OAR z N							II	
				max c _A	maximálna hodnota OAR z N							III	
				φ c _A	stredná hodnota OAR z N meraných hodnôt c _A								
				σ a _v	štandardná odchýlka OAR z N meraných hodnôt c _A								
3. kvartil c _A				tretí kvartil z N hodnôt c _A									
Rn index				I – nízky, II – stredný, III – vysoký									

2.2. Pôdny radón na tektonike

Monitoring koncentrácií pôdneho radónu nad tektonickou dislokáciou na lokalite Dobrá Voda (cca 26 km severne od Tmavy) skončil v roku 2023. Zhodnotenie výsledkov bolo vykonané v správe za rok 2023.

V sezóne 2024 sme vykonali orientačné merania nad listrickým zlomom v Malých Karpatoch pri Bratislave. V lesoch nad mestskou štvrťou Rača bol zrealizovaný súbor orientačných meraní OAR (sieť 5 x 10 m, 48 sond). Podobne ako v prípade tektoniky pri Dobrej Vode sme vychádzali z predpokladu zvýšených hodnôt OAR nad poruchou. Vzhľadom k nameraným hodnotám, ktoré naznačili len nepatrne prítomnosť geologického zlomu a tiež meteorologickým podmienkam – dlhodobé sucho, navrhujeme tento areál zmerať aj v nasledujúcej sezóne 2025 vo vhodnejších podmienkach.



Obr. č. 5 Schéma meraní OAR na mieste predpokladaného listrického zlomu v Malých Karpatoch

2.3. Radón vo vodách

Práce a činnosti, vykonávané pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd, boli v roku 2024 zrealizované s rôznou frekvenciou na šiestich objektoch:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| ○ Malé Karpaty, prameň Mária | (2x ročne – jar a jeseň) |
| ○ Malé Karpaty, prameň Zbojnička | (2x ročne – jar a jeseň) |
| ○ Malé Karpaty, prameň Himligárka | (2x ročne – jar a jeseň) |
| ○ Bacúch, prameň Boženy Němcovej | (8x ročne – interval 1 až 2 mesiace) |
| ○ Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja | (12x ročne – každý mesiac) |
| ○ Oravice, pramenisko pri vrte OZ-1 | (2x ročne – jar a jeseň) |

Výstupy stanovení OAR v podzemných vodách boli štatisticky spracované a dokladujeme ich formou tabuľkových výstupov (tab. č. 4, 5 a 6). Výsledky meraní na uvedených lokalitách za obdobie 2002 (2006) až 2024 sú prezentované formou prehľadných stĺpcových grafov na obr. č. 6, 7 a 8.

V tab. č. 4 sú zhrnuté základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za rok 2024, vrátane doplňujúcich údajov (teplota vzduchu a vody, výdatnosť zdroja). V tabuľke sú uvedené aj vybrané údaje monitoringu OAR vo vodách z predošlých období. Výsledky štatistického spracovania nameraných obsahov radónu a výdatností sledovaných vodných zdrojov za obdobie 2002 (2006) až 2024 uvádzame v tab. č. 5. Prehľadný súhrn výsledkov monitorovania za uplynulé sezóny je v tab. č. 6.

V oblasti **Malých Karpát** (severne od centra Bratislavy) boli v máji a septembri 2024 monitorované pramene **Mária** (Máriin prameň), **Zbojnička** a **Himligárka**. Zachytené a stavebne upravené pramene sú viazané na kyslé prostredie kryštalinika Malých Karpát (leukokratné muskovitické a dvojsľudné granity, granodiority; bratislavský typ) a na porušené zóny s podmienkami vhodnými na akumuláciu a transport radónu.

Na prameni Mária bol medziročne zaznamenaný mierny nárast koncentrácií radónu: trend $OAR_{2024/2023} = 1,13$; priemerná ročná hodnota $OAR_{2024} = 27 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobý priemer $OAR_{2002-2024} = 33 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Výrazný pokles úrovne OAR v podzemných vodách bol medziročne zaznamenaný na prameni Zbojnička (trend $OAR_{2024/2023} = 0,39$), pri strednej úrovni $OAR_{2024} = 85 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2024} = 249 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Pokles obsahov radónu bol zaznamenaný aj na prameni Himligárka: trend $OAR_{2024/2023} = 0,81$ pri hodnote $OAR_{2024} = 79 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2024} = 166 \text{ Bq.l}^{-1}$. Koeficienty variácií OAR (v R_n) v sezóne 2024 sú premenlivé, dosiahli 3 % (prameň Mária) resp. 74 % (prameň Zbojnička) a 60% (prameň Himligárka; tab. 4). Pripisujeme to vplyvu výrazného rozdielu množstva zrážok medzi jarným a jesenným odberom vzoriek vody v sezóne 2024. Jesenný odber v septembri 2024 bol vykonaný pár dní po výdatných zrážkach, ktoré spôsobili na území v blízkom okolí Malých Karpát lokálne povodne.

Priemerné výdatnosti monitorovaných prameňov v sezóne 2024: $Q_{\text{Mária}} = 0,65 \text{ l.s}^{-1}$, $Q_{\text{Zbojnička}} = 1,055 \text{ l.s}^{-1}$ a $Q_{\text{Himligárka}} = 2,11 \text{ l.s}^{-1}$ (tab. č. 5). Tieto údaje svedčia o veľkých rozdieloch v hodnotách zrážok na jar v máji, resp. na jeseň v septembri 2024.

Korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou zdrojov podzemných vôd nebola do sezóny 2023 zistená. Výsledky meraní v máji 2023 ukázali a v septembri 2024 tesne po výdatných dažďoch potvrdili, že extrémny prísun vody z dažďových zrážok znížil hodnotu OAR. Zreteľne je to opäť ako v roku 2023 vidno v prípade prameňa Himligárka, keď pri výdatnosti prameňa $4,0 \text{ l.s}^{-1}$ bola hodnota OAR len 45 Bq.l^{-1} . V prípade prameňa Zbojnička je rozdiel výrazný v porovnaní májových vs. septembrových odberov a meraní. Pri májovej výdatnosti $0,45 \text{ l.s}^{-1}$ bola OAR 129 Bq.l^{-1} a pri septembrovej výdatnosti $1,66 \text{ l.s}^{-1}$ klesla OAR na hodnotu 40 Bq.l^{-1} . Podrobnejšie informácie sú v tab. č. 4 a 5 a na obr. č. 8.

Prameň Boženy Němcovej je lokalizovaný severne od obce Bacúch a v sezóne 2024 bol monitorovaný 8x (v období január až apríl každý mesiac, zvyšok sezóny každý druhý mesiac). Zachytený a stavebne upravený prameň vyviera na povrch v prostredí granáticko-muskoviticko-biotitických pararúl, svorových rúl až svorov. Zdrojom radónu sú pravdepodobne porušené, emanačne schopné zóny kryštalinika Nízkych Tatier.

Maximum objemovej aktivity radónu (234 Bq.l^{-1}) bolo zaznamenané v júni a minimum (98 Bq.l^{-1}) v auguste 2024 (tab. č. 4, obr. č. 7); trend $\text{OAR}_{2024/2023} = 0,83$; stredná hodnota $\text{OAR}_{2024} = 182 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2024} = 274 \text{ Bq.l}^{-1}$ (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2024 dosiahla $0,026 \text{ l.s}^{-1}$, pri koeficiente variácie $V_Q = 15 \%$; (tab. č. 5). Aj v porovnaní s predošlými monitorovacími sezónami ide o dlhodobu relatívne stabilnú úroveň: v rokoch 2002 až 2024 sa výdatnosti pohybovali v rozmedzí $0,020 - 0,027 \text{ l.s}^{-1}$, pri pomerne nízkej variabilite ($V_Q = 7 - 17 \%$). Na tomto prameni nebola zistená korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou zdroja.

Prameň sv. Ondreja pri Spišskom Podhradí, je situovaný v areáli lokality Sivá Brada pri štátnej ceste č. 18 (E 50) Poprad – Prešov. Zachytený a stavebne upravený prameň, vyvierajúci z travertínovej kopy v oblasti budovanej hlinito-kamenitými deluviálnymi sedimentmi, sa monitoruje 12x ročne v mesačných intervaloch.

Priemerný obsah radónu v podzemnej vode dosiahol úroveň $\text{OAR}_{2024} = 155 \text{ Bq.l}^{-1}$ (trend $\text{OAR}_{2024/2023} = 0,84$); dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2024} = 183 \text{ Bq.l}^{-1}$. Najvyššia hodnota OAR = 227 Bq.l^{-1} bola nameraná v januári a najnižšia – 69 Bq.l^{-1} v decembri 2024 (obr. č. 6; tab. č. 4, 5 a 6).

Výdatnosť prameňa sa v roku 2024 pohybovala v rozmedzí $0,028 - 0,054 \text{ l.s}^{-1}$, so strednou hodnotou $0,040 \text{ l.s}^{-1}$ a koeficientom variácie $V_Q = 22 \%$. Priemerná výdatnosť prameňa aj v predošlých monitorovacích sezónach varírovala v relatívne malom rozmedzí $0,033$ až $0,047 \text{ l.s}^{-1}$ ($V_Q = 7 - 30 \%$), bez korelácie na koncentrácie radónu vo vode (tab. č. 5).

Pramenisko Jašterčie, situované cca 1,8 km južne od Oravíc (neďaleko vrtu OZ-1), bolo monitorované v apríli a októbri 2024.

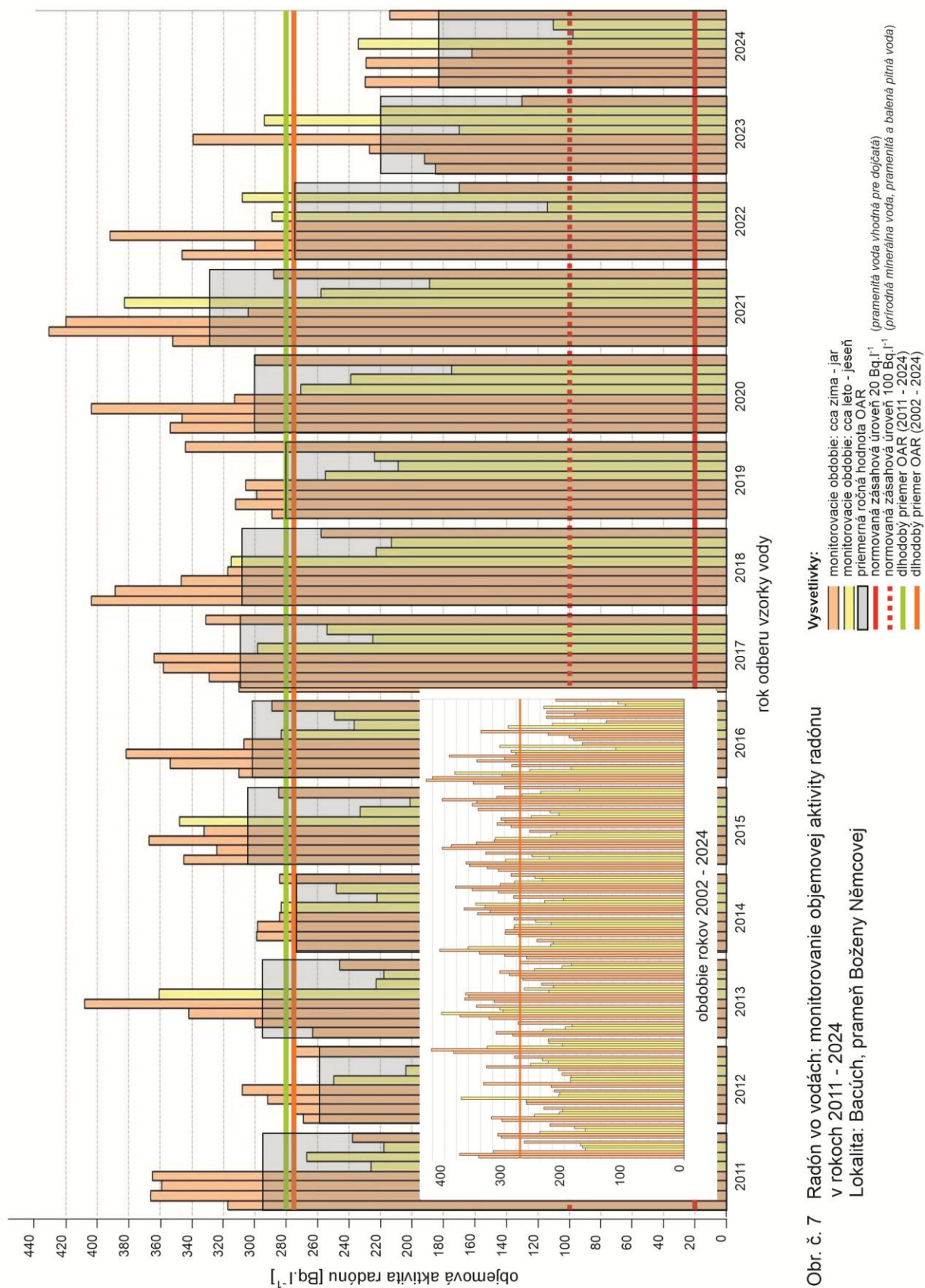
Vody tohto zdroja majú hlboký obeh, viazaný na predterciérne útvary a zóny hlbinných tektonických dislokácií. Zdroj radónu je nielen emanačný (získavaný z prostredia emanujúcich hornín), ale aj autogénny (vznikajúci rozpadom rádia obsiahnutého vo vode).

Počas rádiohydrochemického vzorkovania v sezónach 1998 – 2000 tu boli zaregistrované hodnoty objemovej aktivity rádia v rozmedzí $0,49 - 1,21 \text{ Bq.l}^{-1}$, t.j. mierne zvýšená ($0,1 - 0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$) až vysoká (nad $1,0 \text{ Bq.l}^{-1}$) objemová aktivita ^{226}Ra .

V tomto prírodnom termálnom vývere podzemných vôd (na povrch vyvierajú v prostredí glacifluviálnych sedimentov) sú dlhodobu zaznamenávané doposiaľ najvyššie známe OA ^{222}Rn v prírodných podzemných vodách v rámci územia Slovenska.

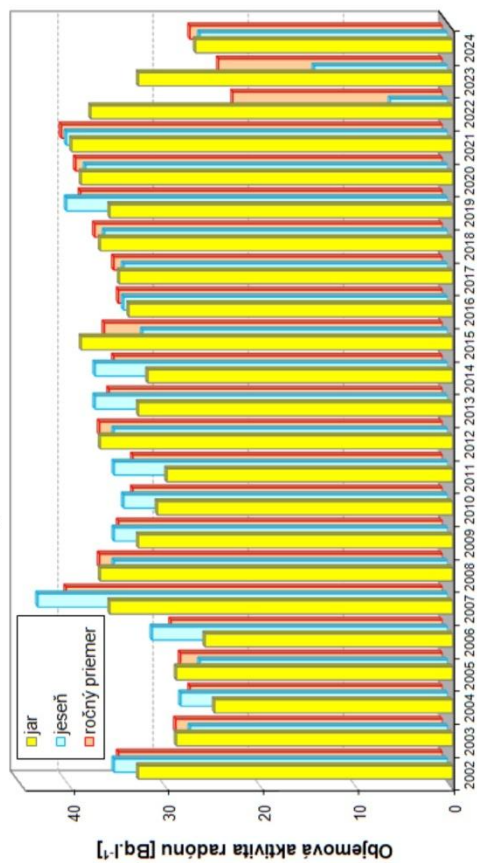
Potvrdili to aj výsledky meraní v roku 2024, kedy boli namerané hodnoty OAR = 935 Bq.l^{-1} na jar a 547 Bq.l^{-1} na jeseň (trend $\text{OAR}_{2024/2023} = 0,76$), pri strednej ročnej úrovni $\text{OAR}_{2024} = 741 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2006-2024} = 1\,054 \text{ Bq.l}^{-1}$. Treba poznamenať, že hodnoty OAR, namerané v rokoch 2006 (536 Bq.l^{-1}), 2019 (791 Bq.l^{-1}) a 2024 (741 Bq.l^{-1}), sa výrazne odlišujú od bežných hodnôt nameraných na tomto zdroji.

Vzhľadom na charakter monitorovaného zdroja – pramenisko so starým poškodeným zberným objektom – nie je možné (bez pomerne náročných technických prác) určiť jeho výdatnosť.

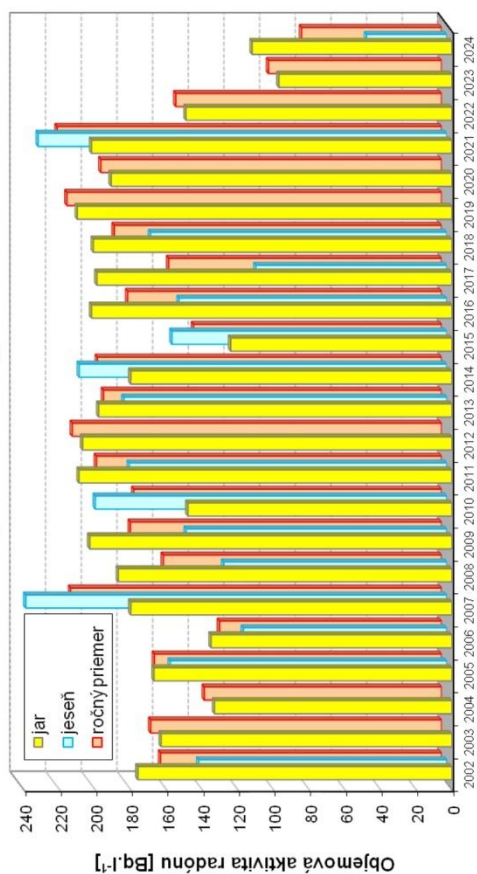


Obr. č. 7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2011 - 2024
Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej

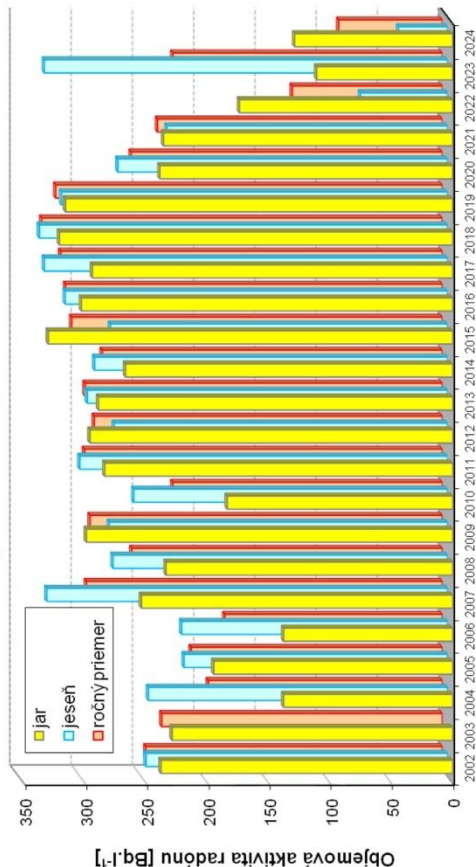
prameň Mária



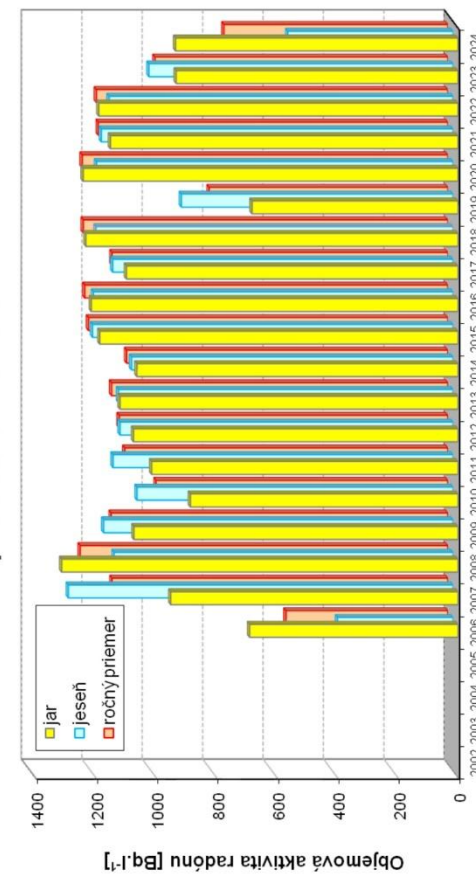
prameň Himligárka



prameň Zbojníčka



pramenisko Jašterčie



Obr. č. 8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2024
Lokality: Bratislava - pramene Mária, Zbojníčka, Himligárka; Oravice - pramenisko Jašterčie

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024											
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t.voda [°C]	t.vzduch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]	
1	Bratislava - prameň Mária	15.05.24	27	0,300	9	12					
2		18.09.24	26	>1,0	11	13					
		2024					26	27	27	3	
		2023					14	33	21	64	
		2022					12	38	25	74	
		2021					40	40	40	0	
		2020					38	39	39	2	
		2019					36	40	38	7	
		2018					36	37	37	2	
		2017					34	35	35	8	
		2016					34	34	34	0	
		2015					32	39	36	14	
		2014					32	37	35	10	
		2013					33	37	35	8	
		2012					35	37	36	4	
		2011					30	35	33	11	
		2010					31	34	33	7	
		2009					33	35	34	4	
		2008					35	37	36	4	
		2007					36	43	40	12	
		2006					26	31	29	9	
		2005					26	30	28	7	
		2004					25	28	27	6	
		2003					27	29	28	5	
		2002					33	35	34	4	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024											
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzduch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]	
1	Bratislava - prameň Zbojnička	15.05.24	129	0,450	9	12					
2		18.09.24	40	1,660	12	14					
		2024					40	129	85	74	
		2023					111	329	220	70	
		2022					71	174	123	59	
		2021					229	236	233	2	
		2020					239	269	254	8	
		2019					315	316	316	0	
		2018					321	333	327	3	
		2017					294	329	312	8	
		2016					303	312	308	2	
		2015					275	330	303	13	
		2014					267	288	278	5	
		2013					289	294	292	1	
		2012					272	296	284	6	
		2011					287	300	294	3	
		2010					184	256	220	23	
		2009					276	299	288	6	
		2008					234	273	254	11	
		2007					254	327	291	18	
		2006					138	217	178	22	
		2005					195	215	205	5	
		2004					138	244	191	28	
		2003					229	230	230	0	
		2002					238	246	242	2	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách										
Radón v podzemných vodách - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024										
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn	Q	t.voda	t.vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[°C]	[°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]
1	Bratislava - prameň Himligárka	15.05.24	112	0,220	8	12				
2		18.09.24	45	4,000	11	14				
		2024					45	112	79	60
		2023					97	97	97	-
		2022					149	149	149	-
		2021					202	202	202	-
		2020					191	191	191	-
		2019					210	210	210	-
		2018					166	201	184	13
		2017					107	199	153	43
		2016					150	202	176	21
		2015					124	154	139	15
		2014					180	206	193	10
		2013					181	198	190	6
		2012					207	207	207	-
		2011					178	209	194	11
		2010					148	197	173	20
		2009					146	203	175	23
		2008					125	187	156	28
		2007					180	236	208	19
		2006					114	135	125	8
		2005					155	167	161	4
		2004					133	133	133	-
		2003					163	163	163	-
		2002					139	176	158	17

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024											
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzduch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	φ Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]	
1	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	29.01.24	230	0,029	6	3					
2		21.02.24	183	0,023	8	4					
3		19.03.24	229	0,029	8	4					
4		18.04.24	162	0,029	9	8					
5		17.06.24	234	0,031	10	23					
6		12.08.24	98	0,023	11	26					
7		14.10.24	110	0,025	11	8					
8		10.12.24	214	0,020	8	1					
			2024					98	234	183	30
			2023					130	339	220	31
			2022					114	392	275	33
			2021					189	431	328	26
			2020					175	404	300	24
			2019					209	344	280	17
			2018					213	404	308	23
			2017					225	364	309	16
			2016					118	382	280	29
			2015					201	367	305	20
			2014					222	299	274	10
			2013					218	408	295	24
		2012					188	308	258	16	
		2011					218	366	295	22	
		2010					302	405	344	12	
		2009					187	314	250	20	
		2008					203	422	299	31	
		2007					210	330	257	17	
		2006					189	335	222	23	
		2005					207	372	256	22	
		2004					203	322	254	18	
		2003					165	311	238	26	
		2002					165	375	259	35	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách											
Radón v podzemných vodách - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024											
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzduch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	φ Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]	
1	Oravice: pramenisko Jašterčie - pri vrte OZ-1	Rok									
2		25.04.24	935	nemerateľná	18	5					
		14.10.24	547	nemerateľná	18	8					
		2024					547	935	741	37	
		2023					933	1006	970	5	
		2022					1138	935	1164	3	
		2021					1151	1164	1158	1	
		2020					1180	1241	1211	4	
		2019					682	899	791	19	
		2018					1182	1232	1207	3	
		2017					1098	1126	1112	2	
		2016					1190	1214	1202	1	
		2015					1186	1193	1190	0	
		2014					1063	1064	1064	0	
		2013					1107	1119	1113	1	
		2012					1074	1102	1088	2	
		2011					1014	1125	1070	7	
		2010					886	1046	966	12	
		2009					1073	1156	1115	5	
		2008					1122	1312	1217	11	
	2007					951	1273	1112	20		
	2006					382	690	536	29		
	2005										
	2004										
	2003										
	2002										
objekt nebol monitorovaný											

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2024, porovnanie 2002 - 2024										
p.č.	Lokalita	Dátum	^{222}Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	ϕ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[°C]	[°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]
1	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	29.01.24	227	0,041	6	-2				
2		21.02.24	189	0,033	7	9				
3		19.03.24	84	0,028	8	6				
4		17.04.24	182	0,050	10	9				
5		22.05.24	171	0,040	10	19				
6		17.06.24	117	0,034	12	23				
7		17.07.24	168	0,054	15	22				
8		12.08.24	112	0,032	13	21				
9		24.09.24	177	0,050	14	10				
10		14.10.24	174	0,040	12	9				
11		20.11.24	189	0,032	10	7				
12		14.12.24	69	0,050	8	-2				
		2024					69	227	155	31
		2023					89	264	184	29
		2022					73	272	199	32
		2021					107	269	213	22
		2020					137	265	208	20
		2019					133	271	222	18
		2018					96	283	206	27
		2017					120	269	206	21
		2016					143	259	197	18
		2015					148	229	191	16
		2014					146	215	183	12
		2013					106	211	172	20
		2012					136	237	187	15
		2011					147	270	195	17
		2010					97	238	188	20
		2009					132	260	187	20
		2008					123	293	198	26
		2007					97	246	180	22
		2006					86	210	140	25
		2005					110	188	154	17
		2004					117	205	156	18
		2003					93	215	143	27
		2002					81	220	137	33

Vysvetlivky:	^{222}Rn	objemová aktivita radónu (OAR) vo vode c _a [Bq.l ⁻¹]		
	Q	výdatnosť vodného zdroja [l.s ⁻¹]		
	t-voda	teplota vody [°C]		
	t-vzduch	teplota vzduchu [°C]		
	Rn _{min}	minimálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l ⁻¹]		
	Rn _{max}	maximálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l ⁻¹]		
	ϕ Rn	stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l ⁻¹]		
	v Rn	variálny koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]		

p.č.	Lokalita	Obdobie	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]				Výdatnosť' Q [l.s ⁻¹]			
			φ Rn	σ Rn	v Rn [%]	φ Q	σ Q	v Q [%]		
		2024	155	47,9	31	0,040	0,009	22		
		2023	184	53,3	29	0,047	0,006	13		
		2022	199	63,0	32	0,046	0,006	13		
		2021	213	46,5	22	0,044	0,004	9		
		2020	208	40,6	20	0,046	0,005	10		
		2019	222	40,1	18	0,047	0,006	13		
		2018	206	55,4	27	0,038	0,006	14		
		2017	206	43,7	21	0,036	0,005	13		
		2016	197	35,5	18	0,040	0,004	11		
		2015	191	30,1	16	0,040	0,003	7		
		2014	183	22,5	12	0,037	0,003	9		
		2013	172	34,1	20	0,037	0,007	18		
		2012	187	27,4	15	0,041	0,005	11		
		2011	195	33,5	17	0,036	0,006	17		
		2010	188	38,0	20	0,038	0,005	13		
		2009	187	37,3	20	0,039	0,004	11		
		2008	198	51,1	26	0,042	0,005	12		
		2007	180	40,4	22	0,040	0,008	20		
		2006	140	35,0	25	0,041	0,006	14		
		2005	154	26,0	17	0,044	0,006	13		
		2004	156	28,6	18	0,039	0,006	14		
		2003	143	39,1	27	0,033	0,006	19		
		2002	137	44,8	33	0,034	0,010	30		
		2002	34	1,4	4	0,239	0,130	33		
2	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja									
5										

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2024											
p.č.	Lokalita	Obdobie	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]			Výdatnosť Q [l.s ⁻¹]					
			φ Rn	σ Rn	v Rn [%]	φ Q	σ Q	v Q [%]			
6	Oravice - pramenisko Jašterčie OZ-1	2024	741	274,4	37				nemerateľná		
		2023	970	51,6	5						
		2022	1164	36,1	3						
		2021	1158	9,2	1						
		2020	1211	43,1	4						
		2019	791	153,4	19						
		2018	1207	35,4	3						
		2017	1112	19,8	2						
		2016	1202	17,0	1						
		2015	1190	4,9	0						
		2014	1066	4,2	0						
		2013	1113	8,5	1						
		2012	1088	19,8	2						
		2011	1070	78,5	7						
		2010	966	113,1	12						
		2009	1115	58,7	5						
		2008	1217	134,4	11						
		2007	1112	227,7	20						
		2006	536	155,4	29						
		2005	objekt nebol monitorovaný								
		2004									
		2003									
		2002									

Kde:	^{222}Rn - objemová aktivita radónu (OAR) vo vode c _A [Bq.l ⁻¹]	Q	výdatnosť vodného zdroja [l.s ⁻¹]	
	φ Rn - stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l ⁻¹]	φ Q	priemerná výdatnosť Q za hodnotené obdobie [l.s ⁻¹]	
	σ Rn - štandardná odchýlka OAR za hodnotené obdobie [Bq.l ⁻¹]	σ Q	smerodajná odchýlka Q za hodnotené obdobie [l.s ⁻¹]	
	v Rn - variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]	v Q	variačný koeficient Q za hodnotené obdobie [%]	

3. ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Riešenie projektu „*Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*“, ktorý je jedným z podsystémov úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, pokračovalo v roku 2024 v zmenenom formáte ale porovnateľnom rozsahu s predchádzajúcimi sezónami.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsystéme v sezóne 2024, predstavoval opakované vzorkovania a merania OAR v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 13-tich lokalitách (šesť lokalít pre pôdny radón na RP, jeden nový objekt nad tektonikou a šesť objektov pre radón v podzemných vodách) v rámci územia Slovenska (obr. č. 1), vrátane ich komplexného spracovania, vyhodnotenia, porovnania výsledkov s predchádzajúcimi obdobiami, vypracovania jednotlivých ročných správ (textová, tabuľková a grafická časť), aktualizovania výsledných databáz, atď.

Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu na RP bolo v sezóne 2024 vykonávané s rôznou frekvenciou v období apríl až október na lokalitách so stredným a vysokým radónovým indexom: Bratislava – RP Vajnory, Banská Bystrica – RP Podlavice, Spišská Nová Ves – RP Novoveská Huta a RP Teplička a RP Hnilec. Nová RP pribudla na lokalite v lesoch pri Košiciach – Jahodnej.

Najintenzívnejšie monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu (v čo možno najširšom spektre meteorologických podmienok), prebehlo na objektoch RP Novoveská Huta II a RP Teplička (po 7x za rok), resp. na lokalite RP Hnilec (4x v roku). Ostatné lokality boli monitorované dvakrát ročne, a to v jarom a jesennom termíne. Nová lokalita Košice – Jahodná bola meraná prvú sezónu v relatívne krátkom časovom rozpätí august – október. Nasledujúcu sezónu plánujeme prvé meranie vykonať v júni a druhé v októbri 2025.

Merania OAR nad tektonickou dislokáciou na lokalite Dobrá Voda boli dočasne prerušené a nahradené meraniami nad listrickým zlomom v Malých Karpatoch nad Bratislavou. Vykonané boli v auguste 2024.

Objemová aktivita radónu v zdrojoch podzemných vôd bola v sezóne 2024 sledovaná v troch prameňoch v oblasti Malých Karpát v extraviláne Bratislavy (pramene Mária, Zbojníčka a Himligárka – každý 2x v roku), v prameni sv. Ondreja na Sivej Brade pri Spišskom Podhradí (12x ročne), v prameni Boženy Němcovej pri Bacúchu (8x za rok) a na pramenisku Jašterčie pri Oraviciach (2x v priebehu roka).

Získané výsledky boli vyhodnotené, štatisticky spracované a v predkladanej ročnej správe ich prezentujeme formou prehľadných tabuliek, grafov a sprievodného textu. Priebežne sú aktualizované databázy (dátové súbory) v schválenej štruktúre a fyzickej náplni.

Výsledky monitorovania dlhodobo potvrdzujú skutočnosť, že priebeh sezónnych variácií OAR v pôdnom vzduchu významne závisí od meteorologických a klimatických faktorov, vlhkosti a plynopriepustnosti miestnych zemín a hornín, ale v nezanedbateľnom rozsahu aj na samotnej štruktúrno-geologickej stavbe a litologickej charakteristike geologického prostredia v areáli konkrétnej lokality.

Klimatické a meteorologické podmienky boli v uplynulých monitorovacích sezónach pre akumuláciu a možnosti šírenia radónu v geologickom prostredí výrazne odlišné.

V rokoch 2004 – 2006 boli dlhšie zimy a častejšie a výdatnejšie zrážky na jar pozitívne ovplyvňovali vlhkosť pôdy a teda aj podmienky pre akumuláciu radónu v horninách.

O niečo iná situácia nastala v sezónach 2007 – 2009, keď zima i jar boli zrážkovo podpriemerné a menej zrážok bolo aj v letnom období (prevažne iba lokálne zrážky a búrky).

Veľmi vysoké priemery atmosférických zrážok boli zaznamenané v roku 2010, kedy

úhrn zrážok predstavoval až 1 255 mm (najviac od roku 1937 = 1 015 mm).

V sezóne 2011 došlo naopak k výraznému poklesu množstva zrážok, ktoré dosiahli iba 656 mm (doposiaľ najnižšie úhrny zrážok pri monitoringu OAR v pôdnom vzduchu na RP boli zaznamenané v roku 2003 = 573 mm). Záver roka 2011 sa dokonca stal jedným z najsuchších období za ostatných viac ako 100 rokov.

Atmosférické zrážky na území Slovenska v sezóne 2012 boli prakticky na úrovni dlhodobého priemeru a dosiahli 747 mm, v roku 2013 potom 864 mm a v roku 2014 až 957 mm. Sezóna 2014 bola zároveň jednou z najteplejších od roku 1881, kedy sa začalo so systematickými meraniami teplôt ovzdušia na našom území.

V roku 2015 došlo k pomerne výraznému poklesu zrážkových úhrnov, ktoré dosiahli 719 mm (98 % dlhodobého priemeru), ale v sezóne 2016 naopak k značnému nárastu až na 924 mm (124 % dlhodobého priemeru). Podľa hodnotenia SHMÚ bol rok 2016 „mimoriadne teplý a veľmi bohatý na atmosférické zrážky“.

V úvode a závere roka 2017 boli atmosférické zrážky nízke, čo bolo vykompenzované v letnom a jesennom období. Táto sezóna bola síce zrážkovo výrazne pod úrovňou predošlého roka, v priemere však bolo dosiahnutých 768 mm (108 % dlhodobého priemeru).

Aj v sezóne 2018 boli zrážky v úvode a závere roka nízke, ale počas neskorej jari až skorej jesene došlo k ich nárastu na ročný úhrn 673 mm, odpovedajúci 90 % dlhodobého priemeru.

V sezóne 2019 boli zrážky nadpriemerné (111% dlhodobého priemeru) a tento trend potvrdil aj rok 2020 s úhrnom zrážok 901 mm, čo predstavuje 117 % dlhodobého priemeru. Výrazné daždivý bol október 2020, kedy boli na území Slovenska zaznamenané rekordné úhrny zrážok s výskytom lokálnych povodní.

V roku 2021 boli zrážkové úhrny na úrovni 761 mm (99 % dlhodobého priemeru), pričom najvyššie zrážky (152 mm) boli zaznamenané v auguste a najnižšie (7 mm) v októbri.

Monitorovacia sezóna v roku 2022 bola podľa nameraných zrážok (tab. č. 6) rekordne suchá – v absolútnych hodnotách (619 mm) druhá najsuchšia po roku 2003, čo predstavuje 75 % dlhodobého priemeru.

Zrážky na území Slovenska za rok 2023 boli na úrovni 137 % dlhodobého priemeru, čo v absolútnych číslach predstavuje hodnotu 1003 mm. Je to od roku 2002, kedy je systematické monitorovanie radónu na území SR zaznamenávané, druhá najvyššia hodnota. Vyššia bola len v roku 2010 s úhrnom zrážok 1255 mm. Prehľad priemerných ročných zrážkových úhrnov pre územie SR za obdobie 2002 – 2024 uvádzame v tab. č. 6 (zdroj: www.shmu.sk).

Rok 2024 z pohľadu meteorológie začal pomerne výdatnými snehovými, resp. dažďovými zrážkami, ktoré boli ale nepravidelne rozložené. Na západe a východe Slovenska ich spadlo menej ako na strednom Slovensku. Neskôr sa rozdiely vyrovnali a v lete, hlavne v druhej polovici bolo extrémne suchu, predovšetkým na západe Slovenska. To sa prejavilo hlavne v prípade meraní OAR v pôdnom vzduchu ako viditeľné zníženie hodnoty OAR. Veľmi zaujímavý a výrazný efekt mali zrážky v polovici septembra v okolí Bratislavy, ktoré dosiahli extrémne hodnoty, až 311 % dlhodobého priemeru pre západné Slovensko (zdroj: <https://milanlapin.estranky.sk/clanky/tabulka-mesacnych-uhrnov-zrazok-na-slovensku.html>). Tie sa prejavili podobne a výrazne „zriedili“ prítomnosť radónu vo vodách malokarpatských prameňov Mária, Zbojníčka a Himligárka.

Všeobecne sa predpokladá, že pôdna vlhkosť „pozitívnym“ spôsobom ovplyvňuje koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu, pretože vyššia vlhkosť pokryvných útvarov v oblasti monitorovaného objektu viac alebo menej účinne spomaľuje prenikanie radónu k povrchu a ďalej do ovzdušia. To vedie k nárastu jeho obsahov v pôdnom vzduchu a naopak – pri poklese pôdnej vlhkosti spravidla klesajú aj hodnoty OAR.

Táto interakcia medzi OAR v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosťou (vlhkosťou) miestnych zemín bola pozorovateľná aj v sezóne 2024, keď boli na troch monitorovaných

objektoch (Hnilec, Novoveská Huta II, Podlavice) zaznamenané pozitívne trendy v rozmedzí $OAR_{3,Q\ 2024/2023} = 1,04$ (RP Novoveská Huta II) až $OAR_{3,Q\ 2024/2023} = 2,17$ (RP Podlavice). Monitorovaná plocha, na ktorej bol zaznamenaný negatívny trend, bola RP v Tepličke a vo Vajnorochoch. Pri hodnotení trendu 2024/2023 treba mať na pamäti to, že rok 2023 bol charakteristický výraznými zrážkami (137% dlhodobého priemeru), kým rok 2024 sa priblížil k priemeru (108 % dlhodobého priemeru).

Aj keď sa doterajšie zistenia nedajú v plnom rozsahu zovšeobecňovať, v sezónach (resp. dlhších obdobiach) s nízkymi atmosférickými zrážkami je možné očakávať viac alebo menej výrazný pokles obsahov pôdneho radónu a naopak, pri zvýšených zrážkach je možné očakávať nárast hodnôt OA pôdneho radónu.

Sezónne variácie OAR v pôdnom vzduchu závisia nielen od vlhkosti (plynopriepustnosti) miestnych zemín a hornín, ale v nezanedbateľnej miere aj od samotnej geologickej stavby a litologickej charakteristiky konkrétnej lokality. Z toho vyplýva, že aj pri rovnakých meteorologických podmienkach, ale v rôznom geologickom prostredí, nemusí byť charakter variácií zhodný. Tento poznatok je jedným z významných zistení pri sledovaní variácií OAR v pôdnom vzduchu v rámci predmetného projektu.

Príkladom toho sú výsledky monitoringu OAR v pôdnom vzduchu na objektoch v Novoveskej Hute (homogénne permské sedimenty strednej plynopriepustnosti) a RP Teplička (paleogénne sedimenty so strednou až nízkou plynopriepustnosťou, so zvýšeným podielom ílovitej frakcie). Lokality sú relatívne blízko seba (cca 5 km), približne v rovnakej klimatickej oblasti, ale s odlišným geologickým profilom, v ktorom je akumulácia a šírenie radónu sledované.

Obe tieto lokality boli v sezóne 2024 monitorované v ten istý deň (t. j. v zrovnateľných meteorologických podmienkach), ale výsledky meraní OAR v pôdnom vzduchu vykazujú odlišný priebeh. Dlhodobo sledovaný charakter variačných závislostí je tu však pozorovateľný aj v uplynulej sezóne. Sú však viac alebo menej výrazne skreslené variabilitou atmosférických zrážok.

Po zhodnotení výsledkov monitorovania OAR v pôdnom vzduchu za uplynulé sezóny (tab. č. 6) môžeme konštatovať, že na:

- **RP Hnilec** po doterajšom maxime $OAR_{3,Q\ 2008} = 712\ \text{kBq.m}^{-3}$ obsahy pôdneho radónu do roku 2013 vykazovali veľmi výrazný a systematický pokles až na úroveň $OAR_{3,Q\ 2013} = 255\ \text{kBq.m}^{-3}$. V období 2016 a 2017 došlo k výraznému nárastu $OAR_{3,Q}$ na 407 kBq.m^{-3} (rok 2016), resp. 411 kBq.m^{-3} (rok 2017). V sezóne 2018 nastal výrazný pokles na 282 kBq.m^{-3} , ale v roku 2019 nárast na 416 kBq.m^{-3} , resp. 375 kBq.m^{-3} v sezóne 2020. V roku 2021 došlo medziročne k nárastu na 405 kBq.m^{-3} , v roku 2022 k poklesu na 384 kBq.m^{-3} ktorý sa prakticky nezmenil ani v sezóne 2023, keď dosiahol hodnotu 385 kBq.m^{-3} . V sezóne 2024 hodnota $OAR_{3,Q}$ narástla na 421 kBq.m^{-3} , t. j. mierne pod úroveň dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q\ 2002-2024} = 439\ \text{kBq.m}^{-3}$.
- **RP Novoveská Huta** od maxima $OAR_{3,Q\ 2006} = 113\ \text{kBq.m}^{-3}$ došlo postupne k poklesu obsahov pôdneho radónu až na $OAR_{3,Q\ 2013} = 35\ \text{kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch rokoch obsahy pôdneho radónu vzrástli až na 88 kBq.m^{-3} , (rok 2016), ale v sezóne 2017 opäť poklesli na 68 kBq.m^{-3} . V sezóne 2018 opäť stúpili na 82 kBq.m^{-3} .
- V areáli **RP Novoveská Huta II** bola v roku 2018 dosiahnutá hodnota OAR 113 kBq.m^{-3} (iba dva monitoringy), v sezóne 2019 zaznamenali OAR na úrovni 122 kBq.m^{-3} . V roku 2020 tu došlo k zreteľnému poklesu na 89 kBq.m^{-3} a v roku 2021 k miernemu nárastu na 98 kBq.m^{-3} . V roku 2022 bol zaznamenaný pokles na 86 kBq.m^{-3} a v roku 2023 naopak výrazný nárast na 105 kBq.m^{-3} . To sa potvrdilo aj v roku 2024, keď hodnota $OAR_{3,Q}$ bola 109 kBq.m^{-3} , čo je nad úroveň dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q\ 2018-2024} = 103\ \text{kBq.m}^{-3}$.

- **RP Teplička** od maxima $OAR_{3,Q 2005} = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$ (okrem mimoriadne daždivého roka 2010) pozorujeme pokles koncentrácií radónu v pôde až na $OAR_{3,Q 2013} = 35 \text{ kBq.m}^{-3}$. V sezónach 2014 až 2016 došlo k nárastu koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu na 74 kBq.m^{-3} (2016), v roku 2017 ale poklesli na 70 kBq.m^{-3} . Ešte výraznejší pokles nastal v sezóne 2018 (47 kBq.m^{-3}), ale v roku 2019 sme registrovali nárast na 72 kBq.m^{-3} . V roku 2020 došlo k miernemu poklesu na 69 kBq.m^{-3} , resp. k miernemu nárastu na úroveň 74 kBq.m^{-3} v sezóne 2021. V roku 2022 bol zaznamenaný výrazný pokles na hodnotu 39 kBq.m^{-3} . V roku 2023 hodnota OAR vzrástla na 60 kBq.m^{-3} a v roku 2024 opäť mierne klesla na hodnotu 53 kBq.m^{-3} . Je to stále pod dlhodobým priemerom $OAR_{3,Q 2002-2024} = 66 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **RP Bratislava – Vajnory** z úrovne $OAR_{3,Q 2005} = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$ (okrem roka 2010) došlo postupne k poklesu až na $OAR_{3,Q 2012} = 19 \text{ kBq.m}^{-3}$. V sezónach 2015 – 2018 boli OAR pomerne vyrovnané ($31 - 35 \text{ kBq.m}^{-3}$), ale v roku 2019 stúpili na 44 kBq.m^{-3} . V sezóne 2020 bol zaznamenaný výrazný pokles – iba 29 kBq.m^{-3} a v roku 2021 mierny nárast na 35 kBq.m^{-3} . V sezóne 2022 podobne ako v prípade predchádzajúcich lokalít sme zaznamenali významný pokles na úroveň 27 kBq.m^{-3} a v roku 2023 bol registrovaný mierny nárast na hodnotu 31 kBq.m^{-3} . V roku 2024 bola zaregistrovaná druhá najnižšia hodnota $OAR_{3,Q 2024} = 25 \text{ kBq.m}^{-3}$ pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q 2005-2024} = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **RP Banská Bystrica – Podlavice** z hodnoty $OAR_{3,Q 2005} = 118 \text{ kBq.m}^{-3}$ (s výnimkou sezóny 2010) došlo k poklesu až na $OAR_{3,Q 2012} = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch monitorovacích obdobiach boli koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu dosť stabilné a pohybovali sa v rozmedzí $56 - 59 \text{ kBq.m}^{-3}$. V sezóne 2016 hodnoty OAR výrazne stúpili až na 100 kBq.m^{-3} , ale v rokoch 2017 – 2018 poklesli na 65 kBq.m^{-3} (2017), resp. iba 48 kBq.m^{-3} (2018). V sezóne 2019 naopak výrazne narástli na 74 kBq.m^{-3} a mierny nárast na úroveň 77 kBq.m^{-3} registrujeme aj v sezóne 2020. V roku 2021 tu došlo k výraznému nárastu hodnôt OAR až na 97 kBq.m^{-3} . Sezóna 2022 bola význačná veľkým poklesom hodnôt OAR na 39 kBq.m^{-3} . V sezóne 2023 bol na rozdiel od ostatných lokalít zaznamenaný ďalší pokles hodnoty $OAR_{3,Q}$ na úroveň 35 kBq.m^{-3} . Hodnota $OAR_{3,Q 2024} = 76 \text{ kBq.m}^{-3}$ narástla oproti roku 2023 viac než dvakrát a dostala sa nad úroveň dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q 2005-2024} = 70 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- Hodnoty $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu, zaznamenané v roku 2024, sú v porovnaní s dlhodobým priemerom zväčša znížené (s výnimkou Novoveskej Huty II a Podlavíc).

Výsledky monitorovania OAR v pôdnom vzduchu dlhodobo dokumentujú variabilitu jeho obsahov v pripovrchových častiach horninového prostredia v priebehu roka, ale aj v období viacerých monitorovaných sezón. Potvrdzuje sa pomerne významná závislosť úrovni OAR na meteorologických, resp. klimatických podmienkach, ale s nejednoznačným efektom na jednotlivých lokalitách, čo je zrejme aj dôsledkom ich odlišných štruktúrno-geologických a litologických charakteristík.

Merania OAR v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou v areáli lokality **Dobrá Voda** sme v sezóne 2024 nerealizovali. Nahradili sme ich meraniami v Malých Karpatoch nad Bratislavou v mieste predpokladaného listrického zlomu. Doterajšie merania výrazne neodlíšili anomálnu zónu nad tektonikou oproti bežnému prostrediu. Merania boli ovplyvnené aj výrazným suchom, preto ich chceme zopakovať v sezóne 2025.

Po analýze výsledkov monitorovania OAR v podzemných vodách za uplynulé sezóny je možné konštatovať, že:

- **prameň Mária** (Malé Karpaty) má priemerný obsah radónu dlhodobo v pomerne úzkom rozmedzí (variabilita $OAR_{2002-2024} = 24 - 40 \text{ Bq.l}^{-1}$), s dlhodobým priemerom na úrovni 33 Bq.l^{-1} .

- **prameň Zbojnička** (Malé Karpaty) dosiahol priemernú ročnú úroveň $OAR_{2024} = 85 \text{ Bq.l}^{-1}$, stredné hodnoty $OAR_{2002-2024} = 85 - 327 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol 249 Bq.l^{-1} .
- **prameň Himligárka** (Malé Karpaty): v uplynulej sezóne dosiahol priemernú ročnú úroveň $OAR_{2024} = 79 \text{ Bq.l}^{-1}$ pri variabilite $OAR_{2002-2024} = 79 - 210 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer je na úrovni 166 Bq.l^{-1} .
- **prameň Boženy Němcovej** (Bacúch): v roku 2024 došlo opäť k poklesu až na 182 Bq.l^{-1} (absolútne minimum), priemerné ročné úrovne $OAR_{2002-2024}$ varírujú v širokom rozmedzí $182 - 344 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer $OAR_{2002-2024} = 274 \text{ Bq.l}^{-1}$.
- **prameň sv. Ondreja** (Spišské Podhradie): v roku 2024 tu dosiahla OAR úroveň 155 Bq.l^{-1} , variabilita $OAR_{2002-2024} = 137 - 222 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer 183 Bq.l^{-1} .
- **pramenisko Jašterčie** (Oravice) – objekt vykazuje najvyššiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka $\sigma_{2006-2024} = 183 \text{ Bq.l}^{-1}$). Na tejto lokalite sú dosahované najvyššie známe OAR v prírodných podzemných vodách, priemerné ročné úrovne $OAR_{2006-2024}$ sa pohybujú v intervale $536 - 1\,217 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer je na úrovni $1\,054 \text{ Bq.l}^{-1}$.
- Na žiadnom z monitorovaných objektov nebola zistená korelačná závislosť medzi objemovou aktivitou radónu vo vode a výdatnosťou zdroja; merania v roku 2023 a 2024 (septembrové zrážky v okolí Bratislavy) na prameňoch Mária, Zbojnička a Himligárka poukazujú, že v prípade extrémnych výdatností zdroja môže nastať zníženie obsahu radónu v podzemných vodách vplyvom zvýšenia podielu infiltrujúcej vody z extrémnych meteorologických udalostí.
- Obsahy radónu v podzemných vodách, zaznamenané v sezóne 2024, boli – v porovnaní s dlhodobými priermi u všetkých prameňov znížené a trend $OAR_{2024-2023}$ sa pohyboval v rozmedzí 39 % (prameň Zbojnička) až po 84 % (prameň Sv. Ondreja pri Spiš. Podhradí). Výnimkou je prameň Mária, kde bol zaznamenaný nárast oproti sezóne 2023 o 13 %. Treba ale zdôrazniť, že hodnota OAR na tomto prameni v roku 2023 bola najnižšia zo všetkých meraní, čiže nárast v roku 2024 priblížilo hodnotu OAR k priemernej hodnote.
- Variácie objemovej aktivity radónu v sledovaných zdrojoch podzemných vôd majú skôr sezónny charakter a v priebehu monitorovania počas viacerých sezón vykazujú určitú vlnovú, resp. „sinusoidálnu“ pravidelnosť (obr. č. 6 a 7).
Téza, že na rozdiel od pôdneho radónu nie sú natoľko ovplyvňované náhodnými javmi resp. zmenami v atmosfére a nie sú tak „citlivé“ na rôzne krátkodobé zmeny počasia (teplota, atmosférický tlak, zrážky), platila do mája 2023. Vtedy bol monitoring zhodou okolností vykonaný tesne po výdatných dažďoch a hodnoty OAR boli výrazne nižšie oproti podmienkam s priemernými hodnotami výdatnosti. Podobný efekt sme zaznamenali v septembrových odberoch a meraniach radónu vo vodách malokarpatských prameňov, ktoré boli vykonané pár dní po extrémnych zrážkach.
Maximálne úrovne OAR v podzemných vodách sú zaznamenávané spravidla v zime, resp. na jar a minimálne hodnoty v letných a jesenných mesiacoch.

Z praktického hľadiska majú doposiaľ získané poznatky nezanedbateľný význam, pretože poukazujú napríklad na možnosť aj významného podhodnotenia, resp. nadhodnotenia radónového indexu (napr. *stavebného pozemku*) pri meraniach realizovaných za nevhodných meteorologických podmienok (*obdobia s nízkymi alebo vysokými zrážkovými úhrnmi, výrazné teplotné rozdiely medzi atmosférou a pokryvnými sedimentmi – hlavne skoro na jar, neskoro na jeseň, prípadne v zime*). Nevyhnutným sa javí aj dôkladné posúdenie geologického prostredia (hlavne vo zvrstvených sedimentoch so zvýšeným/vysokým podielom ílovitej frakcie, prítomnosť tektonických dislokácií a pod.) pri vyhodnocovaní výsledkov týchto meraní.

Zhodnotenie výsledkov monitorovania OAR v geologickom prostredí z roku 2024,

ale aj z predchádzajúcich sezón, dokumentuje skutočnosť, že zmeny (variácie) jeho obsahov sú jednak pravidelné (sezónne), ale aj náhodné (miestne, časové, ...). Postupne získavané a zhromažďované poznatky o variabilite obsahov radónu v horninovom prostredí a v podzemných vodách, ich vyhodnotenie, spracovanie a sprístupnenie výsledkov monitoringu prostredníctvom sofistikovaných informačných systémov ŠGÚDŠ, sú jednoznačne prínosom pre možnosť objektívnejšieho hodnotenia radónového rizika z geologického prostredia.

Hodnovernejšie výsledky je možné získať zhodnotením dlhodobo realizovaných monitorovacích systémov, výstupy ktorých môžu dávať relevantné podklady pre prijímanie obecných záverov v danej oblasti. Tento zámer sleduje aj realizácia predmetného projektu.

LITERATÚRA

- Barnet, I., Kulajta, V., Neznal, M., Matolín, M., Prokop, P., 1992: Hodnocení základových půd z hlediska vnikání radonu do bytů, *Geologický průzkum* 4, str. 114-115.
- Cabánková, H., Nikodemová, D., 2013: Usmerňovanie ožiarenie obyvateľstva radónom v bytových priestoroch, Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava
- Čížek, P., Gluch, A., Smolárová, H., 2001: Atlas geofyzikálnych máp a profilov; textová príloha D 3 – prírodná rádioaktivita, Geofond Bratislava.
- Gluch, A., Liščák, P., Zeman, I.: Monitoring the Volumetric Activity of Radon in the Geological Environment of the Slovak Republic, *Slovak Geological Magazine* 2/2017, 49-62.
- Grecula, P., Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., Németh, Z., Hraško, Ľ., Novotný, L., Maglay, J., 2009: Geologická mapa Spišsko-gemerského rudohoria. ŠGÚDŠ, Bratislava, ISBN 978-80-89343-05-8.
- Klukanová, A., Iglárová, Ľ., Wagner, P., Hrašna, M., Cipciar, A., Frankovská, J., Mikita, S., Bajtoš, P., Smolárová, H., Gluch, A., Vlčko, J., Bodiš, D., Ondrášik, M., Ondrejka, P., Liščák, P., Paudits, P., Petro, Ľ., Dananaj, I., Hagara, R., Moczo, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferienc, D., Vanko, J., Kováčiková, M., Záhorová, Ľ., Matys, M., Gajdoš, V., Masarovičová, M., Slávik, I., Vybíral, V., Rapant, S., Greif, V., Brček, M., Kordík, J., Slaninka, I., 2011: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory, správa za obdobie 2002 – 2009, čiastková záverečná správa. MŽP SR, ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Smolárová, H., 2001: Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR, záverečná správa za obdobie 1993 – 2000, archív ŠGÚDŠ.
- Smolárová, H., 2002: Monitorovanie radónu v geologickom prostredí. In: *Geologické práce, správy* 106, ŠGÚDŠ Bratislava, str. 139-145, archív ŠGÚDŠ.
- Zákon NR SR č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.
- Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 98/2018 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o obmedzovaní ožiarenia pracovníkov a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia.
- Zákon NR SR č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.