

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 2023

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:	Ing. Radovan Piško generálny riaditeľ ŠGÚDŠ

Bratislava október 2024

Zoznam obrázkov:

- Obr. č. 1: Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2023
- Obr. č. 2: Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2023; Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.
- Obr. č. 3: Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2023; Lokalita: Teplička
- Obr. č. 4: Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2023; Lokalita: Hnilec, Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice
- Obr. č. 5: Pôdny radón nad zlomom – detailizácia anomálie OAR
Lokalita: Dobrá Voda. Obdobie: 2020 – 2023
- Obr. č. 6: Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2023; Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 7: Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2023; Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 8: Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2023; Lokalita: Malé Karpaty – pramene Mária, Himligárka, Zbojníčka; 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 – 2023
- Tab. č. 6: Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2023

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. PREHLAD 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	23
3. ZÁVERY A ODPORÚČANIA.....	32
LITERATÚRA.....	38

ÚVOD

V životnom prostredí ľudskej populácie je veľa druhov žiarení. Odhaľovanie a sprístupňovanie poznatkov o prírodnej, ale aj umelej (vyvolanej) rádioaktivitě 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 2023, predstavoval opakované vzorkovania a merania objemovej aktivity radónu (OAR) v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 12-tich lokalitách: päť lokalít pre pôdny radón na referenčných plochách (RP), jeden objekt nad tektonikou 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.

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 parafrín 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 [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]		
	<i>Plynová priepustnosť pôd</i>		
	<i>nízka</i>	<i>stredná</i>	<i>vysoká</i>
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 pôdneho 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 vzorkovnic 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; CA) 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 CA , sa počíta podľa vzťahu:

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

- kde :
- Nv - nameraný počet impulzov vzorky pôdneho vzduchu za čas t_v
 - Np - 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 $t_r \geq 210 \text{ min}$ 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 $< 0,063 \text{ mm}$) 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:

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

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 2023 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

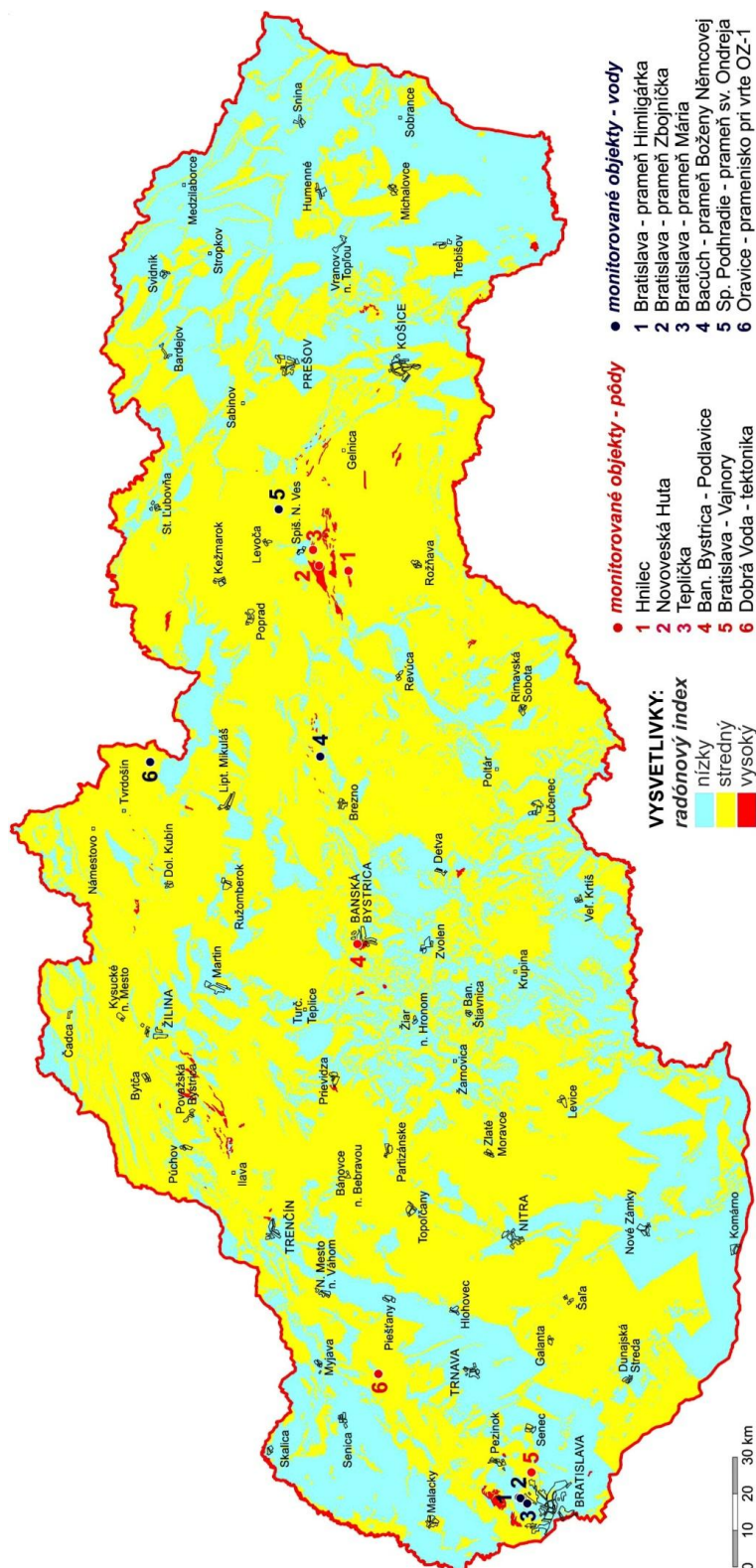
Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referenčných plochách (RP) bol v roku 2023 vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách so stredným až vysokým radónovým indexom:

- | | |
|----------------------------------|--|
| ○ 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) |

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 2023 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. Trend $\text{OAR}_{2023/2022} = 1,00$ pri priemernej hodnote $\text{OAR}_{3,Q2002-2023} = 442 \text{ kBq.m}^{-3}$.



Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2023

Najvyššia hodnota v jednotlivjej sonde $OAR_{MAX} = 1193 \text{ kBq.m}^{-3}$ bola nameraná v auguste 2023.

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 – 2023 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.

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 emanometrickými profilmi (sieť 5 x 5 m). Založená je – obdobne, 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 2023 zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, spolu 117 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu).

V roku 2023 tu medziročne došlo k zjavnému nárastu koncentrácií pôdného radónu (trend $OAR_{3,Q} 2022/2023 = 1,22$), pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2018-2023 = 102 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvyššia priemerná mesačná úroveň $OAR_{3,Q} = 134 \text{ kBq.m}^{-3}$, a aj $OAR_{MAX} = 231 \text{ kBq.m}^{-3}$ v jednotlivej sonde, boli zaznamenané v októbri 2023.

Grafické znázornenie hodnôt $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu v jednotlivých sezónach na monitorovaných objektoch v Nov. Hute, ich vývoj v priebehu sezóny 2023 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2023) 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 – do určitej miery – možné očakávať v obdobiach s nízkymi zrážkovými úhrnmi, kedy plynopriepustnosť miestnych sedimentov (v dôsledku poklesu vlhkosti pokryvných útvarov) významne vzrastie.

V areáli tejto RP od maxima $OAR_{3,Q}$ 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 $OAR_{3,Q}$ pomerne vyrovnané a varírovali v rozmedzí 64 až 74 kBq.m^{-3} . V sezóne 2018 tu došlo opäť k výraznému poklesu na $OAR_{3,Q} = 47 \text{ kBq.m}^{-3}$. V roku 2019 sme tu zaznamenali výrazný nárast na $OAR_{3,Q} = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$ 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 $OAR_{3,Q} = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Monitoring v sezóne 2023 tu bol zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, 116 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu). Maximálna úroveň $OAR_{3,Q}$ tu bola nameraná v októbri (80 kBq.m^{-3}) a najvyšší obsah pôdného radónu v jednotlivej sonde ($OAR_{MAX} = 838 \text{ kBq.m}^{-3}$) v máji 2023. Medziročne tu došlo k výraznému nárastu koncentrácií pôdného radónu: trend $OAR_{3,Q} 2023/2022 = 1,54$ pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2002-2023 = 66 \text{ kBq.m}^{-3}$.

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 fluviálne 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 $\text{OAR}_{3,Q} = 44 \text{ kBq.m}^{-3}$ v roku 2019, ale v sezóne 2020 k výraznému poklesu iba na 29 kBq.m^{-3} . V roku 2021 sme zaznamenali nárast $\text{OAR}_{3,Q}$ na úroveň 35 kBq.m^{-3} , v roku 2022 výrazný pokles na hodnotu $\text{OAR}_{3,Q} = 27 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu bol v roku 2023 zrealizovaný v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na RP Bratislava – Vajnory došlo medziročne k nárastu hodnôt OAR pôdneho radónu (trend $\text{OAR}_{3,Q} 2023/2022 = 1,15$), pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{3,Q} 2005-2023 = 40 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Najvyššie úrovne OAR v jednotlivých sonda boli zaznamenané pri jarňom monitoringu (45 kBq.m^{-3}). Hodnoty $\text{OAR}_{3,Q}$ v sezóne 2023 dosiahli 38 kBq.m^{-3} (jar), resp. 24 kBq.m^{-3} (jeseň).

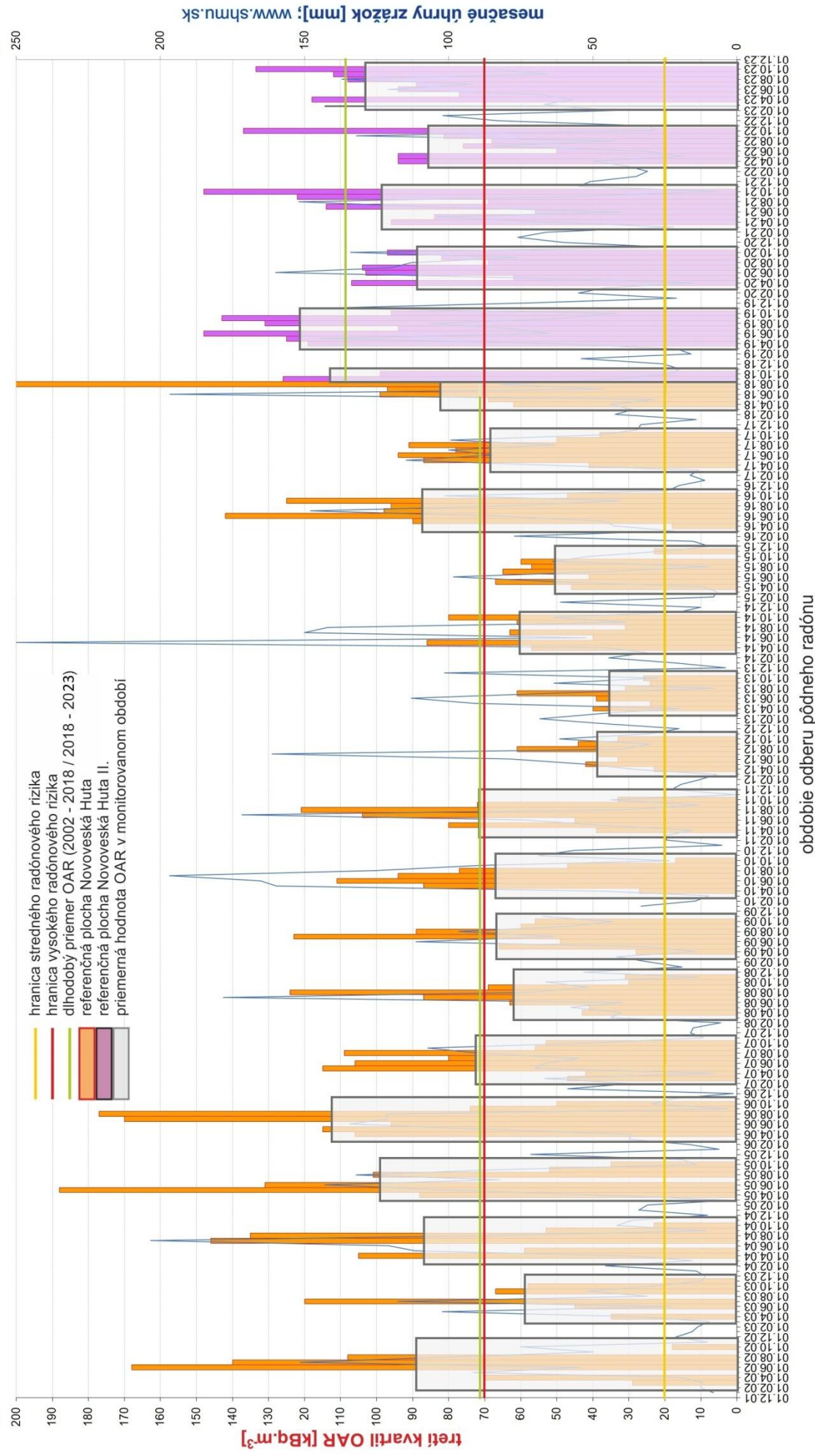
Podrobné informácie a výsledky štatistického spracovania nameraných hodnôt OAR v pôdnom vzduchu po jednotlivých monitorovacích obdobiach sú v tab. č. 3 a 6 a na obr. č. 4. **RP Banská Bystrica – Podlavice** je lokalizovaná na sz. okraji Banskej Bystrice (mestská časť Podlavice), po oboch stranách poľnej cesty neďaleko od záhradkárskej (chatovej) kolónie.

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

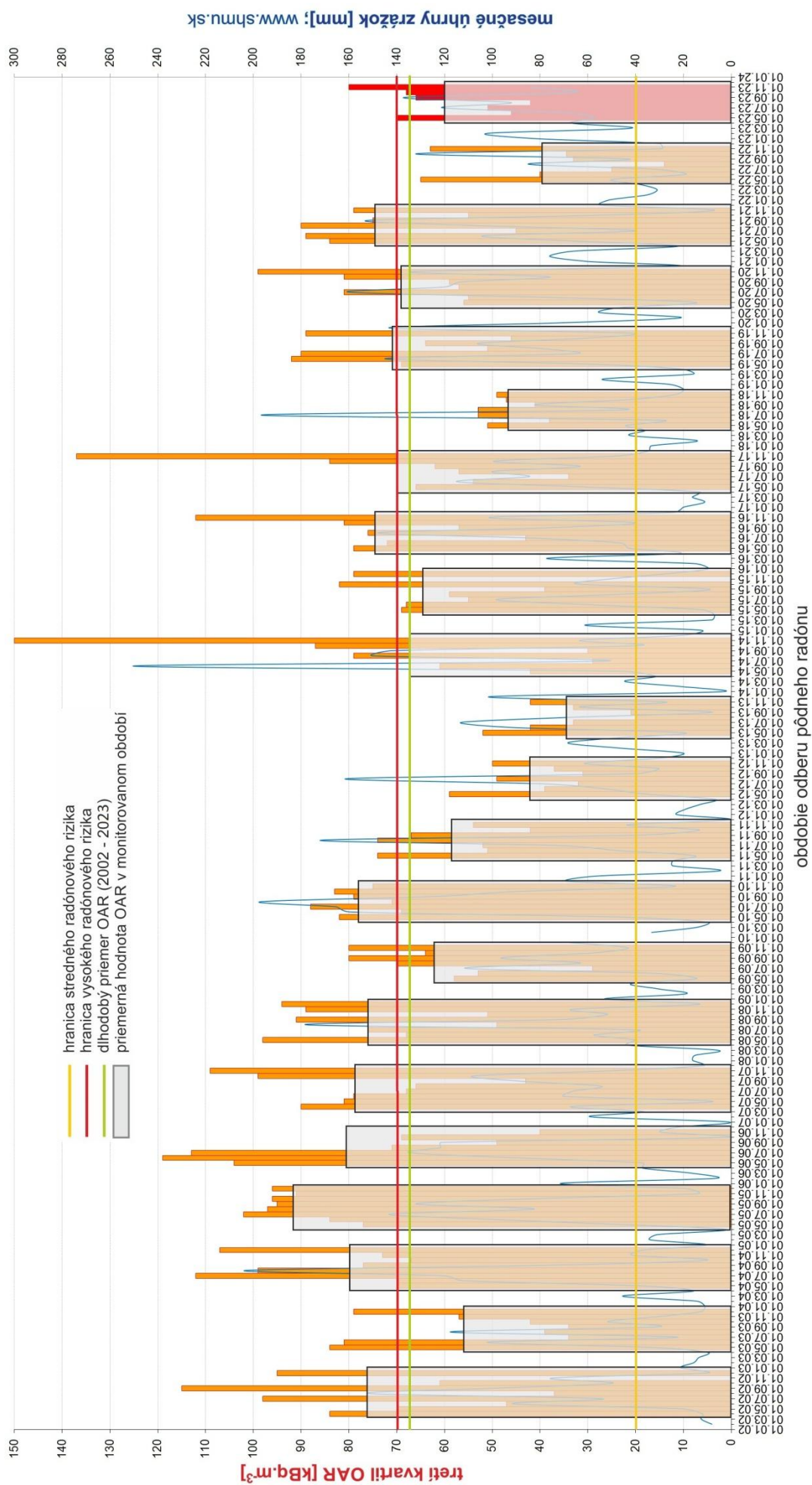
Na tomto objekte bol od roku 2005 (okrem sezóny 2010, charakterizovanej mimoriadne vysokými zrážkovými úhrňmi) sledovaný postupný a výrazný pokles až na $\text{OAR}_{3,Q} 2012 = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch sezónach (2013 – 2015) tu boli zaznamenané vyššie a úrovňou stabilnejšie hodnoty ($56 - 59 \text{ kBq.m}^{-3}$), ale $\text{OAR}_{3,Q}$ 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 $\text{OAR}_{3,Q} = 74 \text{ kBq.m}^{-3}$ (2019), resp. 77 kBq.m^{-3} (2020). V roku 2021 merania OAR zaznamenali výrazný nárast hodnoty $\text{OAR}_{3,Q} 2021$ 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 sa v sezóne 2023 uskutočnilo v máji a septembri (dve monitorovania, spolu 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Medziročne tu bol zaznamenaný opätovný pokles koncentrácií pôdneho radónu na úroveň $\text{OAR}_{3,Q} 2023 = 35 \text{ kBq.m}^{-3}$ pri trende $\text{OAR}_{3,Q} 2023/2022 = 0,90$ a dlhodobom priemere $\text{OAR}_{3,Q} 2005-2023 = 70 \text{ kBq.m}^{-3}$. Maximálna OAR v pôdnom vzduchu v jednotlivých sonda dosiahla 138 kBq.m^{-3} (jar), s hodnotami $\text{OAR}_{3,Q}$ na úrovni 43 kBq.m^{-3} (jar), resp. 27 kBq.m^{-3} (jeseň).

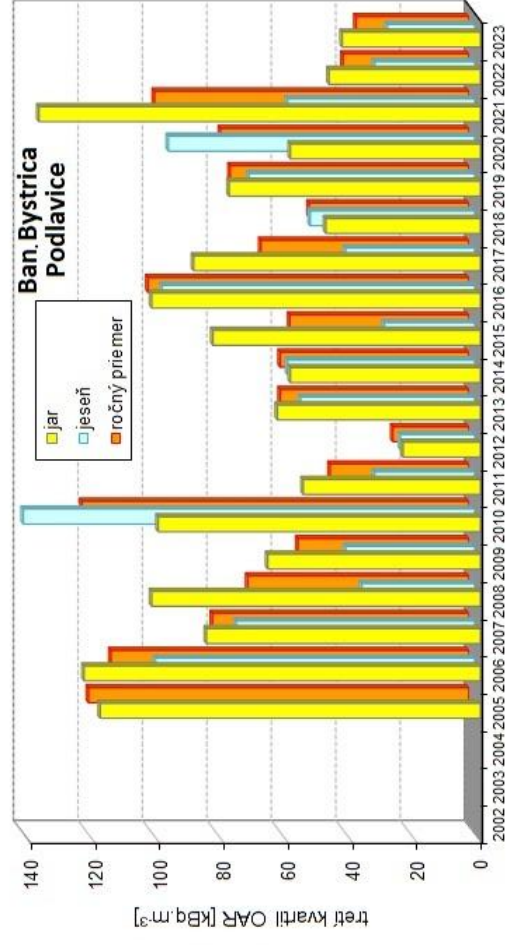
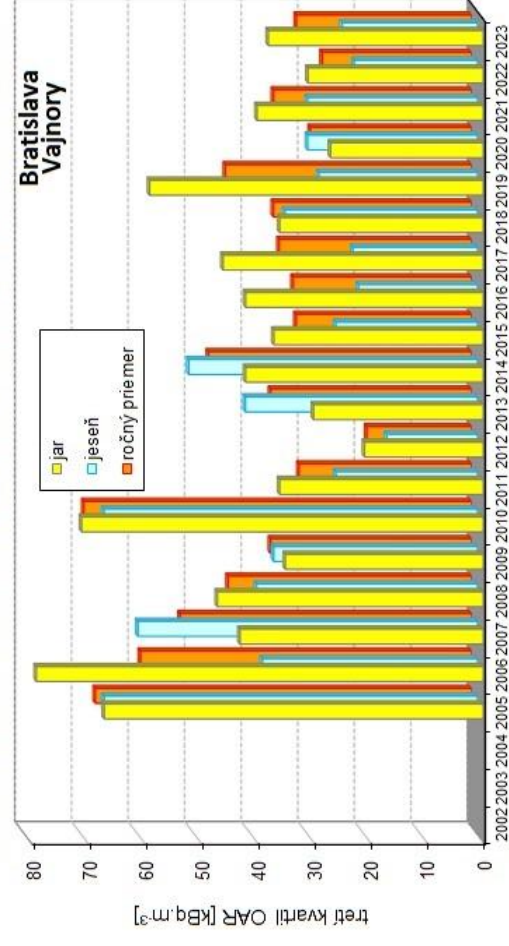
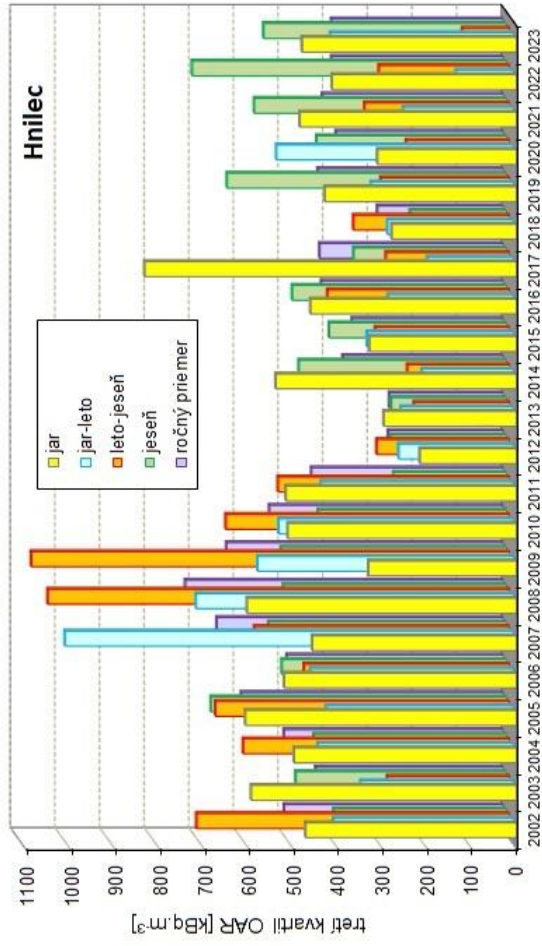
Vyhodnotené výsledky monitorovania sú prehľadne spracované v tab. č. 3 a tab. č. 6. Výsledky monitoringu OAR v pôdnom vzduchu na RP Banská Bystrica – Podlavice v sezónach 2005 až 2023 graficky dokumentujeme na obr. č. 4.



Obr. č. 2 Pódny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2023
Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.



Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2023
 Lokalita: Teplička



Obr. č 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2023
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 2023, porovnanie 2002 - 2023											
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	Hnilec	19.04.23	17	75	762	361	235	596	480	III	zamračené, po daždi, vlhko
2		14.06.23	17	18	684	256	207	463	409	III	polojasno, teplo, v noci chladnejšie, vlhko
3		07.08.23	17	1	1193	113	284	397	106	III	oblačno, veterno, po výdatných dažďoch
4		17.10.23	17	44	1045	330	313	643	544	III	jasno, chladno, rosa, bezvetrie
		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 2023, porovnanie 2002 - 2023													
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	C _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ³]							Poznámka			
			N	min C _A	max C _A	φ C _A	σ C _A	φ + σ	3. kvartil C _A		Rn index		
1	Novoveská Huta II	18.04.23	17	2	198	85	49	134	118	III	oblačno, čerstvý vietor, vlhko		
2		18.05.23	17	1	138	51	40	91	77	III	dážď		
3		13.06.23	17	12	142	69	33	102	94	II	čerstvý vietor, chladno, vlhká pôda		
4		18.07.23	17	16	176	65	48	113	89	III	jasno, vietor		
5		07.08.23	17	7	203	92	47	139	108	III	oblačno, po výdatných dažďoch		
6		22.09.23	16	15	197	93	46	139	112	III	jasno až poloblačno		
7		17.10.23	16	39	231	110	53	163	134	III	jasno, vlhko - rosa, bezvetrie, chladno		
		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 2023, porovnanie 2002 - 2023												
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	Teplica	18.04.23	17	7	95	46	25	71	70	II-III	polojasno, vlhko, slabý vietor	
2		18.05.23	17	1	838	78	198	276	46	II	dážď	
3		13.06.23	17	15	63	44	13	57	51	II	oblačno, vlhko, do 15 stupňov	
4		18.07.23	16	1	57	31	17	48	42	II	jasno	
5		07.08.23	15	3	77	43	26	69	66	II	oblačno, pred odberom zrážky	
6		22.09.23	17	22	143	58	27	85	68	II	zamračené, mierny vietor	
7		17.10.23	17	16	128	56	30	86	80	II-III	jasno, bezvetrie, chladno, vlhko - voda	
		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	II		
		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 2023, porovnanie 2002 - 2023

[illegible]

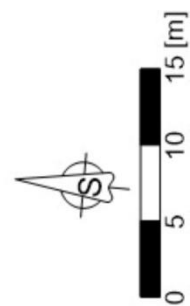
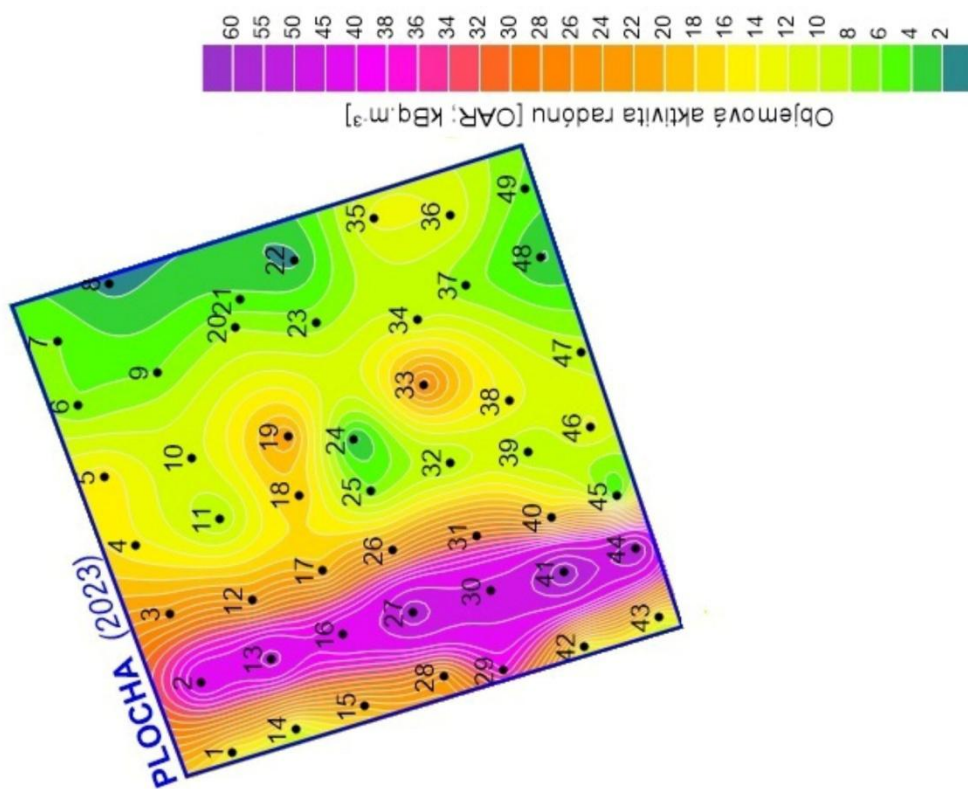
2.2. Pôdny radón na tektonike

Pri mapovaní koncentrácií pôdneho radónu nad tektonickou dislokáciou na lokalite Dobrá Voda (cca 26 km severne od Trnavy), bola v roku 2023 overovaná anomália obsahov pôdneho radónu v mieste prieniku plôch P2, P3, D1, D1.1 a D1.2 preskúmaných v predošlých monitorovacích obdobiach (obr. č. 5).

Nad poruchovou zónou, vysledovanou vo wettersteinských dolomitoch (stredný trias), prekrytou fluviálnymi nivnými sedimentmi, sa v sezóne 2023 zrealizoval súbor meraní OAR (sieť 5 x 5 m) s $OAR_{MAX} = 61 \text{ kBq.m}^{-3}$, v normálnom poli $\sim 5 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Celkový rozsah prác pri monitorovaní OAR nad tektonikou v roku 2023 predstavoval 49 sond so zhodným počtom odobraných, zmeraných a vyhodnotených vzoriek pôdneho vzduchu.

Výsledkami meraní za obdobie 2013 až 2023 sa identifikovala existencia anomálnej koncentrácie OAR nad tektonickou dislokáciou. V ďalšom období budú monitorovacie merania na lokalite dočasne pozastavené. Po získaní nevyhnutného prístrojového vybavenia na kontinuálne meranie OAR a vybudovaní monitorovacieho objektu (pozorovací vrt) tu do budúcnosti predpokladáme prepojenie podsystémov 05 a 02 (*Tektonická a seizmická aktivita územia*).



Obr. č. 5 Pôdny radón nad zlomom - detailizácia anomálie OAR

Lokalita: Dobrá Voda

Obdobie: 2023

2.3. Radón vo vodách

Práce a činnosti, vykonávané pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd, boli v roku 2023 zrealizované s rôznou frekvenciou na šiestich objektoch:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| ○ Malé Karpaty, prameň Mária | (2x ročne – jar a jeseň) |
| ○ Malé Karpaty, prameň Zbojníčka | (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 2023 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 2023, 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 2023 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 2023 monitorované pramene **Mária** (Máriin prameň), **Zbojníčka** a **Himligárka**. Zachytené a stavebne upravené pramene sú viazané na kyslé prostredie kryštalinika Malých Karpát (leukokrátne 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 len malý pokles koncentrácií radónu: trend $OAR_{2023/2022} = 0,96$; priemerná ročná hodnota $OAR_{2023} = 24 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobý priemer $OAR_{2002-2023} = 33 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Výrazný nárast úrovne OAR v podzemných vodách bol medziročne zaznamenaný na prameni Zbojníčka (trend $OAR_{2023/2022} = 1,79$), pri strednej úrovni $OAR_{2023} = 220 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2023} = 256 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Výrazný pokles obsahov radónu bol zaznamenaný na prameni Himligárka: trend $OAR_{2023/2022} = 0,65$, pri hodnote $OAR_{2023} = 97 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2023} = 170 \text{ Bq.l}^{-1}$. Pri jesennom monitoringu nebolo možné opakovanne na tomto prameni korektne odobrať vzorky vody.

Koeficienty variácií OAR (v R_n) v sezóne 2023 sú vysoké, dosiahli 64 % (prameň Mária) resp. 70 % (prameň Zbojníčka) (tab. 4). Pripisujeme to vplyvu výrazného rozdielu množstva zrážok medzi jarným a jesenným odberom vzoriek vody v sezóne 2023.

Priemerné výdatnosti monitorovaných prameňov v sezóne 2023: $Q_{\text{Mária}} = 0,53 \text{ l.s}^{-1}$, $Q_{\text{Zbojníčka}} = 0,71 \text{ l.s}^{-1}$ a z jedného odberu v máji $Q_{\text{Himligárka}} = 3,257 \text{ l.s}^{-1}$ (tab. č. 5). Tieto údaje svedčia o nezvyčajne rozdielnych hodnotách zrážok na jar v máji, resp. na jeseň v septembri 2023.

Korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou zdrojov podzemných vôd nebola do sezóny 2023 zistená. Výsledky meraní v máji 2023, tesne po výdatných dažďoch, však ukázali, že extrémny prísun vody z dažďových zrážok znížil hodnotu OAR. Zreteľne je to vidno v prípade prameňa Himligárka, keď pri výdatnosti prameňa $3,257 \text{ l.s}^{-1}$ bola hodnota OAR len 97 Bq.l^{-1} . V prípade prameňa Zbojníčka je rozdiel zjavný v porovnaní májových vs. septembrových odberov a meraní. Pri májovej výdatnosti $1,36 \text{ l.s}^{-1}$ bola OAR 111 Bq.l^{-1} a pri septembrovej výdatnosti $0,066 \text{ l.s}^{-1}$ narástla OAR na hodnotu 329 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 2023 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 (339 Bq.l^{-1}) bolo zaznamenané v apríli a minimum (130 Bq.l^{-1}) v decembri 2023 (tab. č. 4, obr. č. 7); trend $\text{OAR}_{2023/2022} = 0,80$; stredná hodnota $\text{OAR}_{2023} = 220 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2023} = 279 \text{ Bq.l}^{-1}$ (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2023 dosiahla $0,025 \text{ l.s}^{-1}$, pri koeficiente variácie $V_Q = 8 \%$; (tab. č. 5). Aj v porovnaní s predošlými monitorovacími sezónami ide o dlhodobu relatívne stabilnú úroveň: v rokoch 2002 až 2023 sa výdatnosti pohybovali v rozmedzí iba $0,020 - 0,027 \text{ l.s}^{-1}$, 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 $\text{OAR}_{2023} = 184 \text{ Bq.l}^{-1}$ (trend $\text{OAR}_{2023/2022} = 0,92$); dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2023} = 184 \text{ Bq.l}^{-1}$. Najvyššia hodnota $\text{OAR} = 264 \text{ Bq.l}^{-1}$ bola nameraná v marci a najnižšia – 89 Bq.l^{-1} v auguste 2023 (obr. č. 6; tab. č. 4, 5 a 6).

Výdatnosť prameňa sa v roku 2023 pohybovala v rozmedzí $0,038 - 0,060 \text{ l.s}^{-1}$, so strednou hodnotou $0,047 \text{ l.s}^{-1}$ a koeficientom variácie $V_Q = 13 \%$. 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 2023.

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).

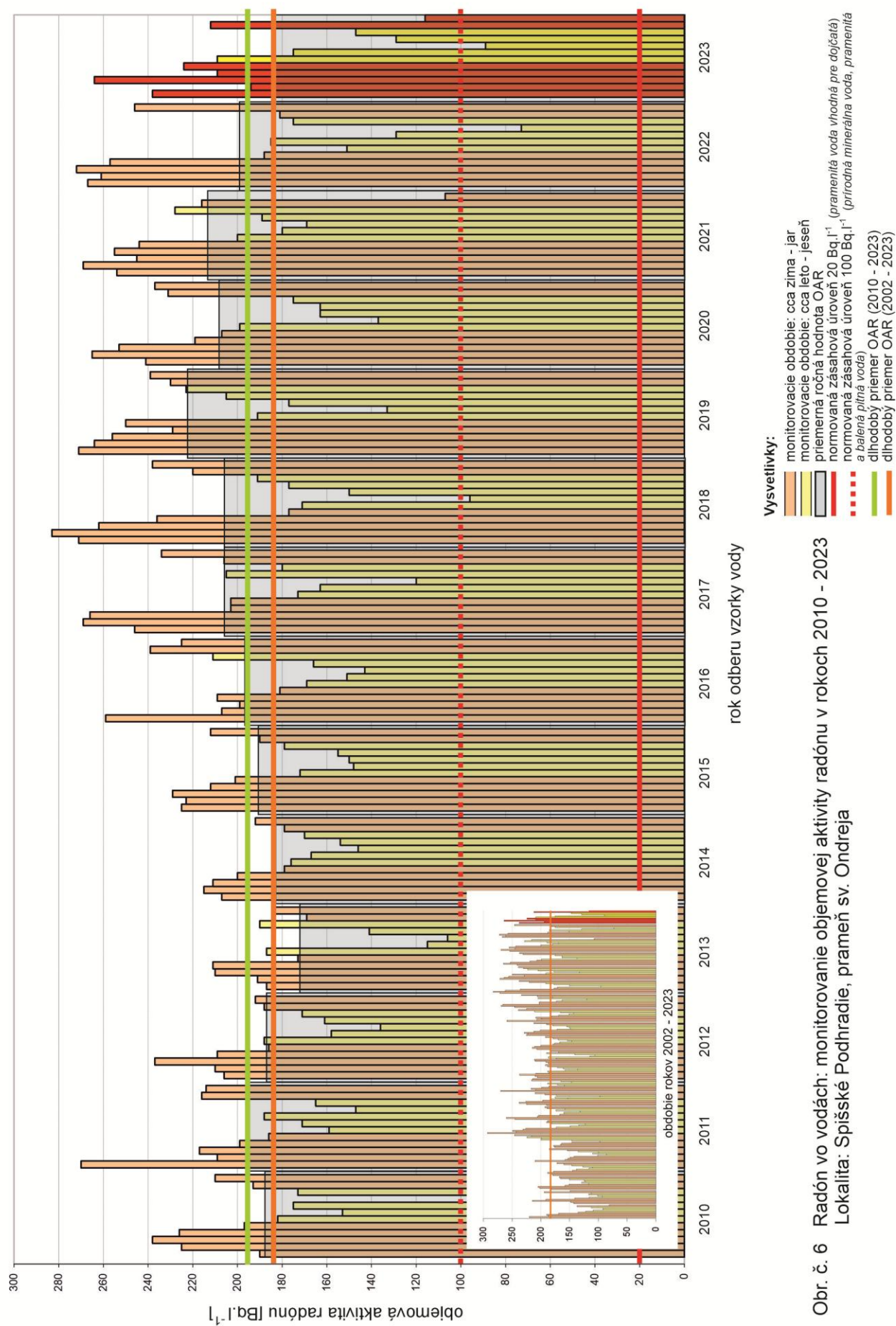
Počas rádiohydrochemického vzorkovania v sezónach 1998 – 2000 tu boli zaregistrované hodnoty objemovej aktivity rádia v rozmedzí $0,49 - 1,21 \text{ Bq.l}^{-1}$, t.j. mierne zvýšená ($0,1 - 0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$) až vysoká (nad $1,0 \text{ Bq.l}^{-1}$) objemová aktivita ^{226}Ra .

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.

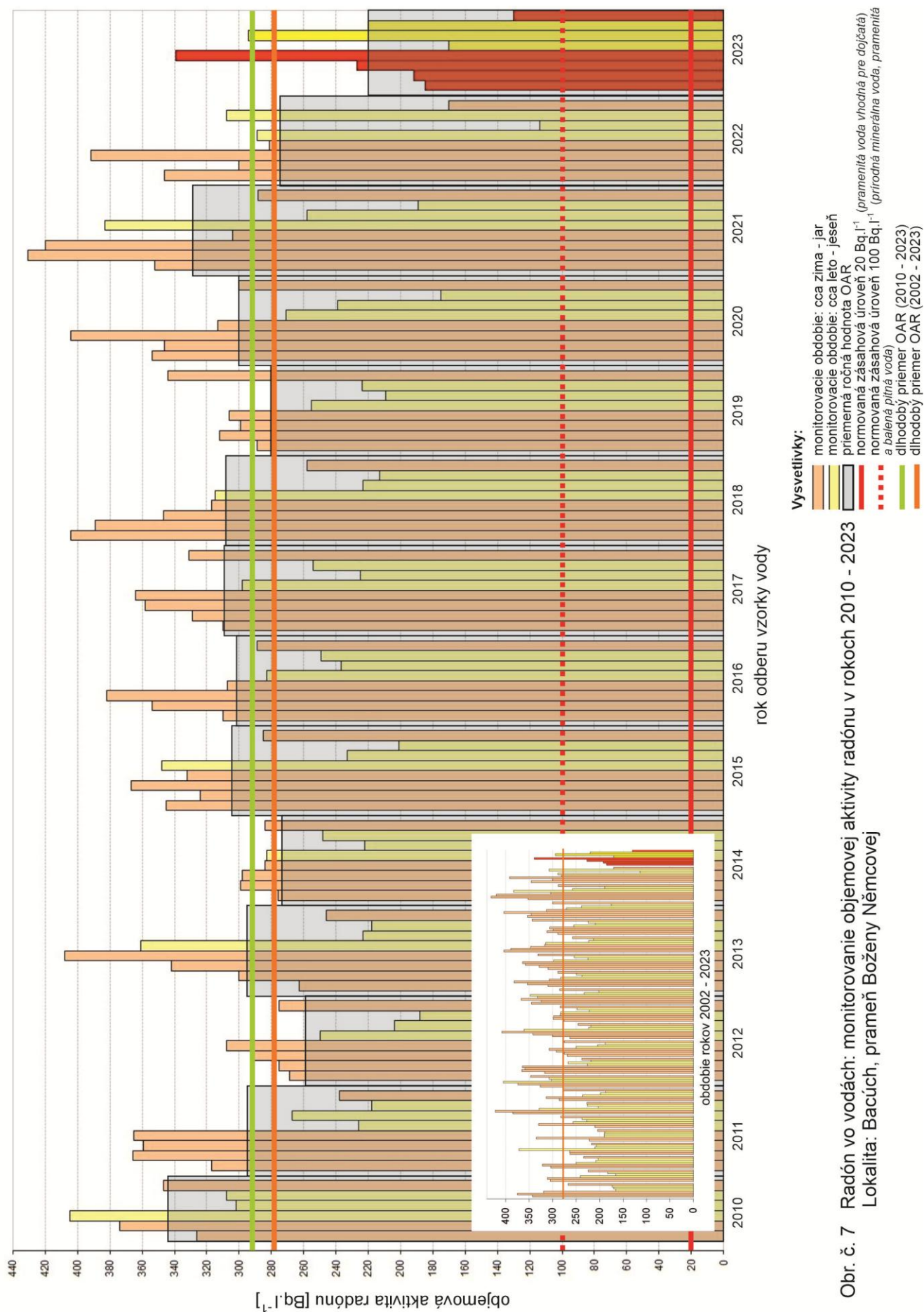
Potvrdili to aj výsledky meraní v roku 2023, kedy boli namerané hodnoty $\text{OAR} = 933 \text{ Bq.l}^{-1}$ na jar a 1006 Bq.l^{-1} na jeseň (trend $\text{OAR}_{2023/2022} = 0,83$), pri strednej ročnej úrovni $\text{OAR}_{2023} = 970 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2006-2023} = 1071 \text{ Bq.l}^{-1}$. Treba poznamenať, že hodnoty OAR, namerané v rokoch 2006 (536 Bq.l^{-1}) a 2019 (791 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.

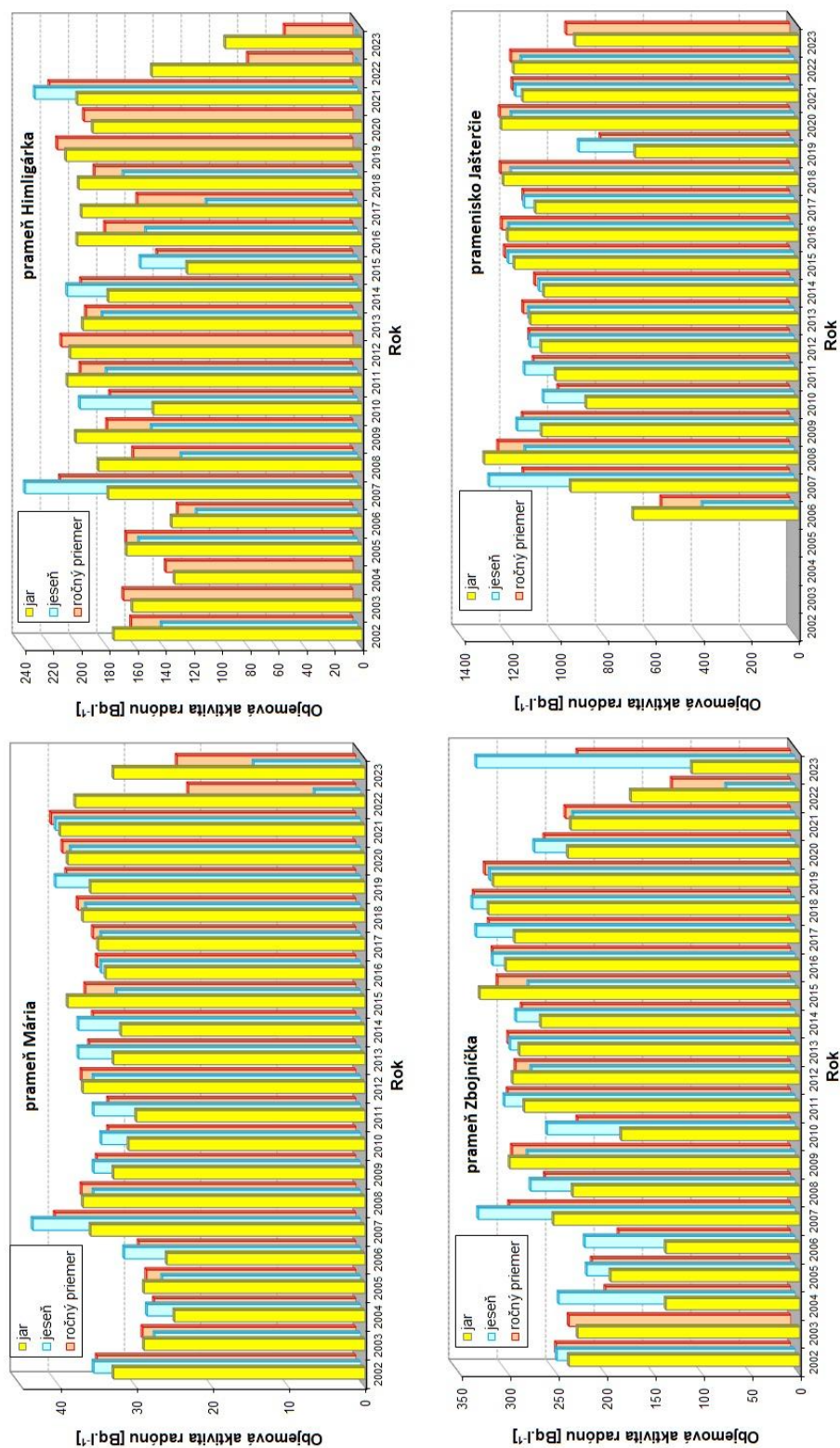
Získané údaje prezentujeme v tab. č. 4, 5, 6 a na obr. č. 8.



Obr. č. 6 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2010 - 2023
Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja



Obr. č. 7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2010 - 2023
Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej



Obr. č. 8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2023
Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojníčka; Oravice - pramenisko Jašterčie

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách												
Radón v podzemných vodách - monitoring 2023, porovnanie 2002 - 2023												
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	Bratislava - prameň Mária	Rok										
2		22.05.23	33	1,000	8	15						
		18.09.23	14	0,055	11	16						
		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 2023, porovnanie 2002 - 2023												
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	Δ Rn	v Rn		
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	°C]	°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]		
1	Bratislava - prameň Zbojnička	22.05.23	111	1,360	8	14						
2		18.09.23	329	0,066	10	16						
		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 2023, porovnanie 2002 - 2023											
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	Bratislava - prameň Himligárka	22.05.23	97	3,257	8	14					
2		18.09.23	nebolo možné korektne odobrať vzorku vody								
		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. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2023									
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	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					
					</				

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 2023 v rozsahu porovnateľnom s predchádzajúcimi sezónami.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsystéme v sezóne 2023, predstavoval opakované vzorkovania a merania OAR v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 12-tich lokalitách (päť lokalít pre pôdny radón na RP, jeden 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 2023 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.

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.

Merania OAR nad tektonickou dislokáciou na lokalite Dobrá Voda boli zrealizované v auguste 2023.

Objemová aktivita radónu v zdrojoch podzemných vôd bola v sezóne 2023 sledovaná v troch prameňoch v oblasti Malých Karpát v extraviláne Bratislavy (pramene Mária, Zbojnička 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 1255 mm (najviac od roku 1937 = 1015 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 – 2023 uvádzame v tab. č. 6 (zdroj: www.shmu.sk).

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 je pozorovateľná aj v sezóne 2023, keď boli na troch monitorovaných objektoch (Novoveská Huta II, Teplička, Vajnory) zaznamenané pozitívne trendy v rozmedzí $OAR_{3,Q\ 2023/2022} = 1,15$ (RP Vajnory) až $OAR_{3,Q\ 2023/2022} = 1,54$ (RP Teplička). Na RP Hnilec nebol zaznamenaný prakticky žiaden trend. Jediná monitorovaná plocha, na ktorej bol zaznamenaný negatívny trend, bola RP v Podlaviciach. Pri hodnotení trendu 2023/2022 treba mať na pamäti to, že rok 2022 bol charakteristický opačným extrémom, teda suchom. Preto možno nárast hodnôt OAR v pôdnom vzduchu v sezóne 2023 zhodnotiť ako trend priblíženia sa k dlhodobému 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 nezanedbateľnom rozsahu 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 2023 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 $407\ \text{kBq.m}^{-3}$ (rok 2016), resp. $411\ \text{kBq.m}^{-3}$ (rok 2017). V sezóne 2018 nastal výrazný pokles na $282\ \text{kBq.m}^{-3}$, ale v roku 2019 nárast na $416\ \text{kBq.m}^{-3}$, resp. $375\ \text{kBq.m}^{-3}$ v sezóne 2020. V roku 2021 došlo medziročne k nárastu na $405\ \text{kBq.m}^{-3}$, v roku 2022 k poklesu na $384\ \text{kBq.m}^{-3}$ ktorý sa prakticky nezmenil ani v sezóne 2023, keď dosiahol hodnotu $385\ \text{kBq.m}^{-3}$, t. j. pod úrovňou dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q\ 2002-2023} = 440\ \text{kBq.m}^{-3}$.
- **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 $88\ \text{kBq.m}^{-3}$, (rok 2016), ale v sezóne 2017 opäť poklesli na $68\ \text{kBq.m}^{-3}$. V sezóne 2018 opäť stúpili na $82\ \text{kBq.m}^{-3}$.
- V areáli **RP Novoveská Huta II** bola v roku 2018 dosiahnutá hodnota OAR $113\ \text{kBq.m}^{-3}$ (iba dva monitoringy), v sezóne 2019 zaznamenali OAR na úrovni $122\ \text{kBq.m}^{-3}$. V roku 2020 tu došlo k zreteľnému poklesu na $89\ \text{kBq.m}^{-3}$ a v roku 2021 k miernemu nárastu na $98\ \text{kBq.m}^{-3}$. V roku 2022 bol zaznamenaný pokles na $86\ \text{kBq.m}^{-3}$ a v roku 2023 naopak výrazný nárast na $105\ \text{kBq.m}^{-3}$, čo je nad úrovňou dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q\ 2018-2023} = 102\ \text{kBq.m}^{-3}$.
- **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 $74\ \text{kBq.m}^{-3}$ (2016), v roku 2017 ale poklesli na $70\ \text{kBq.m}^{-3}$. Ešte výraznejší pokles nastal v sezóne 2018 ($47\ \text{kBq.m}^{-3}$), ale v roku 2019 sme registrovali nárast na $72\ \text{kBq.m}^{-3}$. V roku 2020 došlo k miernemu poklesu na $69\ \text{kBq.m}^{-3}$, resp. k miernemu nárastu na úroveň $74\ \text{kBq.m}^{-3}$ v sezóne 2021. V roku 2022 bol zaznamenaný výrazný pokles na hodnotu $39\ \text{kBq.m}^{-3}$. V roku 2023 hodnota OAR vzrástla na $60\ \text{kBq.m}^{-3}$, čo je blízko dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q\ 2002-2023} = 66\ \text{kBq.m}^{-3}$.
- **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 $44\ \text{kBq.m}^{-3}$.

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 pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q\ 2005-2023} = 40\text{ kBq.m}^{-3}$.

- **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 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. Dlhodobý priemer $OAR_{3,Q\ 2005-2023} = 70\text{ kBq.m}^{-3}$.
- Hodnoty $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu, zaznamenané v roku 2023, sú v porovnaní s dlhodobým priemerom zväčša znížené (s výnimkou Novoveskej Huty II) a pohybujú sa v rozmedzí od 50 % (RP Podlavice) po 91 % (RP Teplička).

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** jednoznačne potvrdzujú výskyt porušenej zóny, pozitívne ovplyvňujúcej akumuláciu a transport radónu k povrchu z väčších hĺbok. Hodnoty OAR tu dosahujú anomálne úrovne, rádovo prevyšujúce pozadie.

Objem prác, ktoré sme vykonávali na radónovej ploche v mieste tektonickej línie na lokalite Dobrá Voda, plánujeme v ďalšom období realizovať na mieste predpokladanej tektonickej poruchy – listrický zlom v priestore Malých Karpát nad mestskou časťou Bratislava-Rača.

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 $OAR_{2002-2023} = 24 - 40\text{ Bq.l}^{-1}$), s dlhodobým priemerom na úrovni 33 Bq.l⁻¹.
- **prameň Zbojníčka** (Malé Karpaty) dosiahol priemernú ročnú úroveň $OAR_{2023} = 220\text{ Bq.l}^{-1}$, stredné hodnoty $OAR_{2002-2023} = 123 - 327\text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol 256 Bq.l⁻¹.
- **prameň Himligárka** (Malé Karpaty): v uplynulej sezóne dosiahol priemernú ročnú úroveň $OAR_{2023} = 97\text{ Bq.l}^{-1}$ pri variabilite $OAR_{2002-2023} = 97 - 210\text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer je na úrovni 170 Bq.l⁻¹.
- **prameň Boženy Němcovej** (Bacúch): v roku 2023 došlo opäť k poklesu až na 220 Bq.l⁻¹ (absolútne minimum) , priemerné ročné úrovne $OAR_{2002-2023}$ varirujú v širokom rozmedzí 220 – 344 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer $OAR_{2002-2023} = 279\text{ Bq.l}^{-1}$.
- **prameň sv. Ondreja** (Spišské Podhradie): v roku 2023 tu dosiahla OAR úroveň

184 Bq.l⁻¹, variabilita OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₃ = 137 – 222 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer 184 Bq.l⁻¹.

- **pramenisko Jašterčie** (Oravice) – objekt vykazuje najvyššiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka $\sigma_{2006-2023}$ = 172 Bq.l⁻¹). Na tejto lokalite sú dosahované najvyššie známe OAR v prírodných podzemných vodách, priemerné ročné úrovne OAR₂₀₀₆₋₂₀₂₃ sa pohybujú v intervale 536 – 1217 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer je na úrovni 1071 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 na prameňoch Zbojníčka 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 2023, boli – v porovnaní s dlhodobými priermi – prevažne znížené a trend OAR₂₀₂₃₋₂₀₂₂ sa pohyboval v rozmedzí 65 % (prameň Himligárka) až po 96 % (prameň Mária). Výnimkou je prameň Zbojníčka, kde bol zaznamenaný výrazný nárast oproti sezóne 2022 o 79 %. Treba ale zdôrazniť, že hodnota OAR na tomto prameni v roku 2022 zaznamenala výrazný pokles, čiže extrémny nárast v roku 2023 vrátilo hodnotu OAR viac-menej na priemernú hodnotu.
- 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. 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 2023, ale aj z predchádzajúcich sezón, dokumentujú 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 dlhodobu realizovaných monitorovacích systémov, výstupy ktorých môžu dávať relevantné podklady pre prijímanie obcejších 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 pobytových 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
- 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, správa 106, ŠGÚDŠ Bratislava, str. 139-145, archív ŠGÚDŠ
- 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
- 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