

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 2021

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. Igor Slaninka, PhD. <i>generálny riaditeľ ŠGÚDŠ</i>

Bratislava september 2022

Zoznam obrázkov:

- Obr. č. 1** - Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2021
- Obr. č. 2** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2021; Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.
- Obr. č. 3** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2021; Lokalita: Teplička
- Obr. č. 4** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2021; Lokality: Hnilec, Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice
- Obr. č. 5** - Pôdny radón nad zlomom – detailizácia anomálie OAR
Lokalita: Dobrá Voda. Obdobie: 2020 – 2021
- Obr. č. 6** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2021; Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 7** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2021; Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 8** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2021; Lokality: 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 – 2021
- Tab. č. 6** - Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2021

OBSAH

	Zoznam obrázkov a tabuliek	1
	Obsah	3
1.	Úvod	5
2.	Metodika prác	6
3.	Prehľad a výsledky realizovaných prác	10
3.1	Pôdny radón na referenčných plochách	10
3.2	Pôdny radón na tektonike	23
3.3	Radón vo vodách	25
4.	Záver a odporúčania	43
5.	Literatúra	51

1. 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. „studenéj 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 podsysteme 05 (*Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*) v sezóne 2021, 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.

2. 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 č. 98/2018 Z.z.).

RADÓNOVÝ INDEX POZEMKU	OBJEMOVÁ AKTIVITA RADÓNU c_A [kBq.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 vzorkovníč so zabruseným 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 č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a v zmysle Zákona č. 87/2018 Z.z., ktorým sa stanovujú podrobnosti o radiačnej ochrane.

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:

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

- 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 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.

3. PREHLAD A VÝSLEDKY REALIZOVANÝCH PRÁC

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol v roku 2021 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.

3.1 Pôdny radón na referenčných plochách

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referenčných plochách (RP) bol v roku 2021 vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách v strednom až vysokom (na lokalite RP Hnilec až v extrémne vysokom) radónovom indexe (riziku):

- | | |
|----------------------------------|--|
| ○ 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 násobne prekročeným vysokým radónovým indexom. Zdrojom radónu je zvetraný stredno až hrubozrnný gemeridný (tzv. „hnilacký“) 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 2021 tu bol zrealizovaný v období apríl až október (štyri monitorovania, spolu 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Po doterajšom maxime z roku 2008 ($712 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) 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 $255 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$). V roku 2014 bol zaznamenaný nárast $\text{OAR}_{3,Q}$ na $359 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, ale v sezóne 2015 opäť pokles na $334 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. V období 2016 a 2017 stúpili úrovne $\text{OAR}_{3,Q}$ na $407 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, resp. $411 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, ale v roku 2018 tu došlo medziročne k výraznému poklesu pri strednej hodnote iba $282 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. V sezóne 2019 došlo opäť k výraznému nárastu hodnôt $\text{OAR}_{3,Q}$ až na úroveň $416 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, ale v roku 2020 k pomerne výraznému poklesu na $375 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. č. 4; tab. č. 6).

V sezóne 2021 tu došlo k miernemu nárastu OAR (trend $\text{OAR}_{2021/2020} = 1,08$). Stredná hodnota $\text{OAR}_{3,Q}$ v roku 2021 dosiahla $405 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2002-2021} = 445 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. V jednotlivjej sonde bola v apríli 2021 nameraná $\text{OAR}_{\text{MAX}} = 1147 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 – 2021 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.

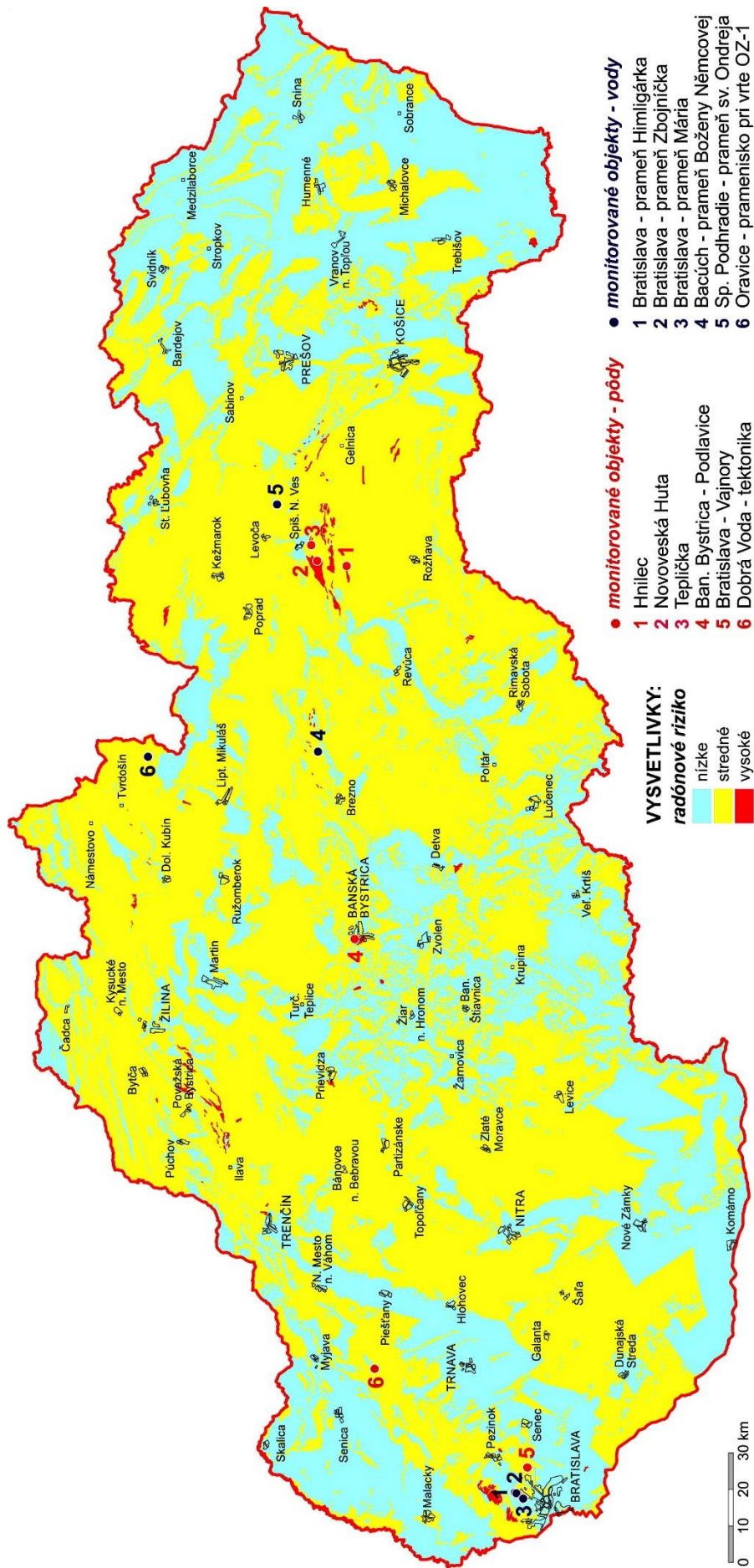
RP Novoveská Huta II je situovaná v priestore medzi miestnou komunikáciou približne V–Z smeru a cca 25 m sz. od päty veže miestneho kostola sv. Cyrila a Metoda. Tvorená je tromi emanometrickými profilmi (sieť 5 x 5 m). Založená je – obdobne, ako pôvodná RP Novoveská Huta – v prostredí budovanom pestrofarebnými 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 2021 zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, spolu 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

V roku 2021 tu medziročne došlo k miernemu nárastu koncentrácií pôdneho radónu (trend $OAR_{3,Q} 2021/2020 = 1,10$), pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2018-2021 = 106 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvyššia priemerná mesačná úroveň $OAR_{3,Q} = 148 \text{ kBq.m}^{-3}$, a aj $OAR_{MAX} = 259 \text{ kBq.m}^{-3}$ v jednotlivých sonde, boli zaznamenané v októbri 2021.

Grafické znázornenie hodnôt $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu v jednotlivých sezónach na monitorovaných objektoch v Nov. Hute, ich vývoj v priebehu sezóny 2021 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2021) 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.



Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2021

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 snízkou 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 pôdneho 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} .

Monitoring v sezóne 2021 tu bol zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Maximálna úroveň $OAR_{3,Q}$ tu bola nameraná v júli (90 kBq.m^{-3}) a najvyšší obsah pôdneho radónu v jednotlivjej sonde ($OAR_{MAX} = 129 \text{ kBq.m}^{-3}$) v máji 2021. Medziročne tu došlo k miernemu nárastu koncentrácií pôdneho radónu: trend $OAR_{3,Q} 2021/2020 = 1,07$ pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2002-2021 = 68 \text{ kBq.m}^{-3}$.

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 $OAR_{3,Q} = 44 \text{ kBq.m}^{-3}$ v roku 2019, ale v sezóne 2020 k výraznému poklesu iba na 29 kBq.m^{-3} .

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu tu bol v roku 2021 zrealizovaný v mesiacoch máj

a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na RP Bratislava – Vajnory došlo medziročne k výraznému nárastu obsahov pôdneho radónu (trend $OAR_{3,Q} 2021/2020 = 1,21$), pri strednej hodnote $OAR_{3,Q} = 35 \text{ kBq.m}^{-3}$ a dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2021 = 41 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Najvyššie úrovne OAR v jednotlivjej sonde sa zaznamenali pri jarnom monitoringu (57 kBq.m^{-3}). Hodnoty $OAR_{3,Q}$ v sezóne 2021 dosiahli 40 kBq.m^{-3} (jar), resp. 30 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 (časť Podlavice), po oboch stranách poľnej cesty neďaleko od záhradkárskej (chatovej) kolónie.

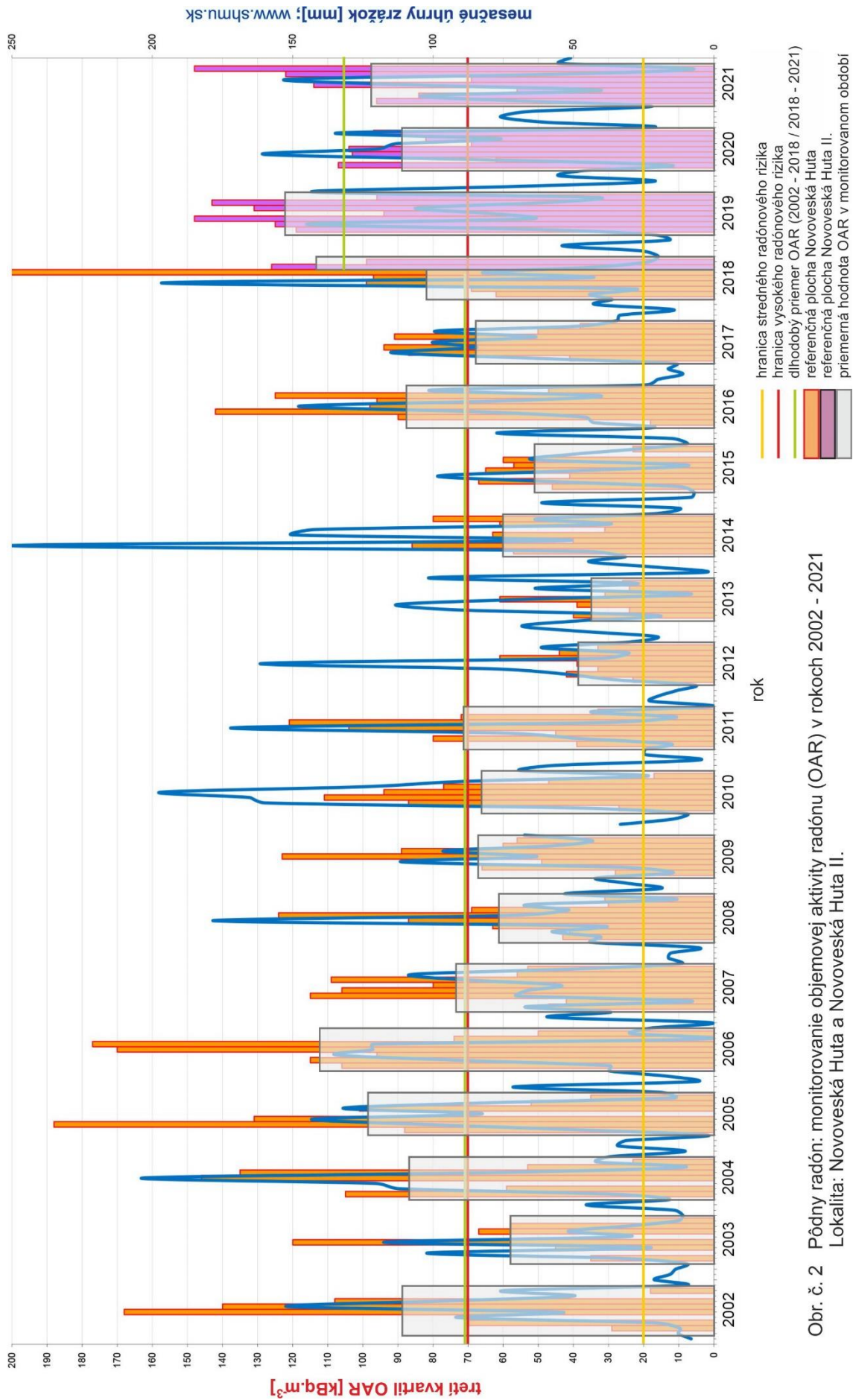
Podložie referenčnej plochy je budované ramsauskými dolomitmi (stredný až vrchný trias) s anomálnymi koncentraciami uránu (tzv. „uránové dolomity“).

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).

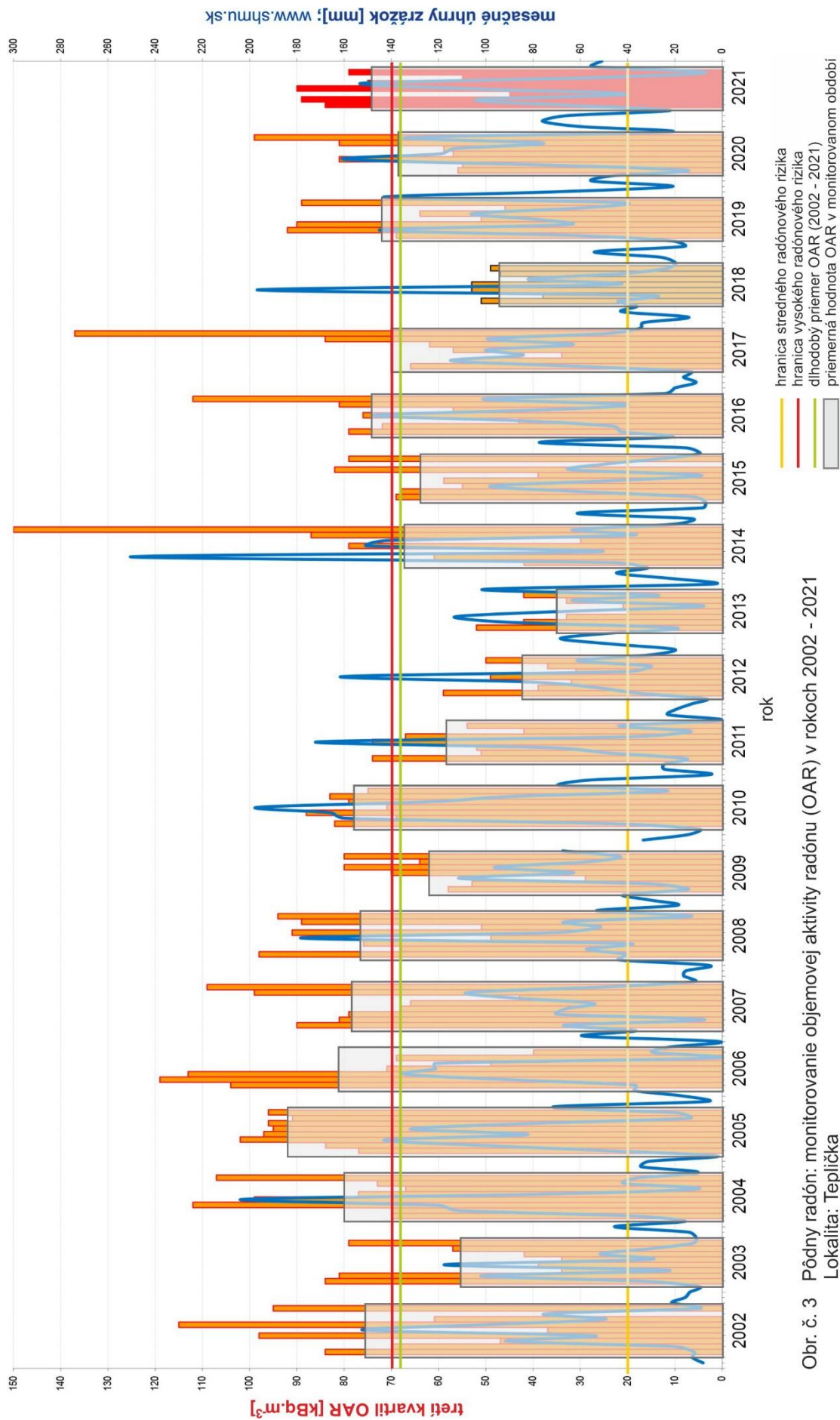
Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2021 uskutočnilo v máji a septembri (dve monitorovania, spolu 33 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Medziročne tu bol zaznamenaný pomerne výrazný nárast koncentrácií pôdneho radónu na úroveň $OAR_{3,Q} 2021 = 98 \text{ kBq.m}^{-3}$ pri trende $OAR_{3,Q} 2021/2020 = 1,27$ a dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2021 = 74 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Maximálna OAR v pôdnom vzduchu v jednotlivjej sonde dosiahla 278 kBq.m^{-3} (jar), s hodnotami $OAR_{3,Q}$ na úrovni 137 kBq.m^{-3} (jar), resp. 58 kBq.m^{-3} (jeseň).

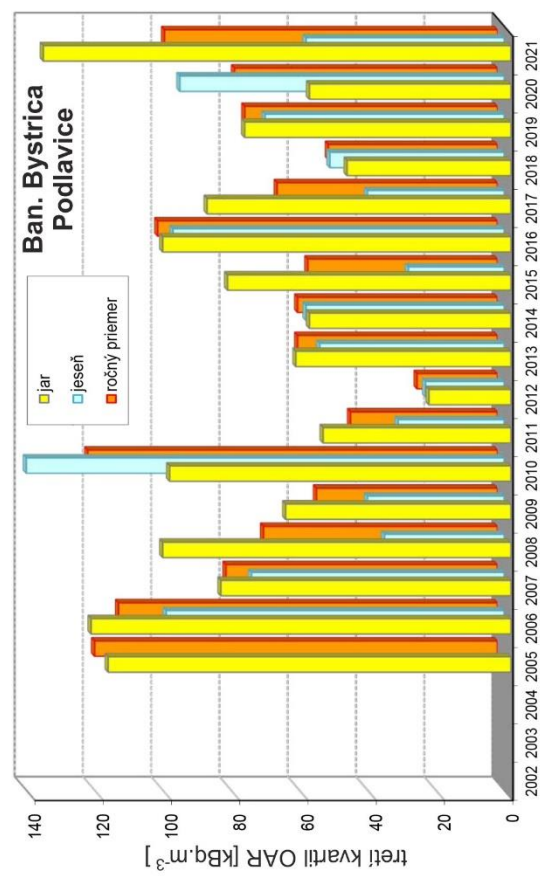
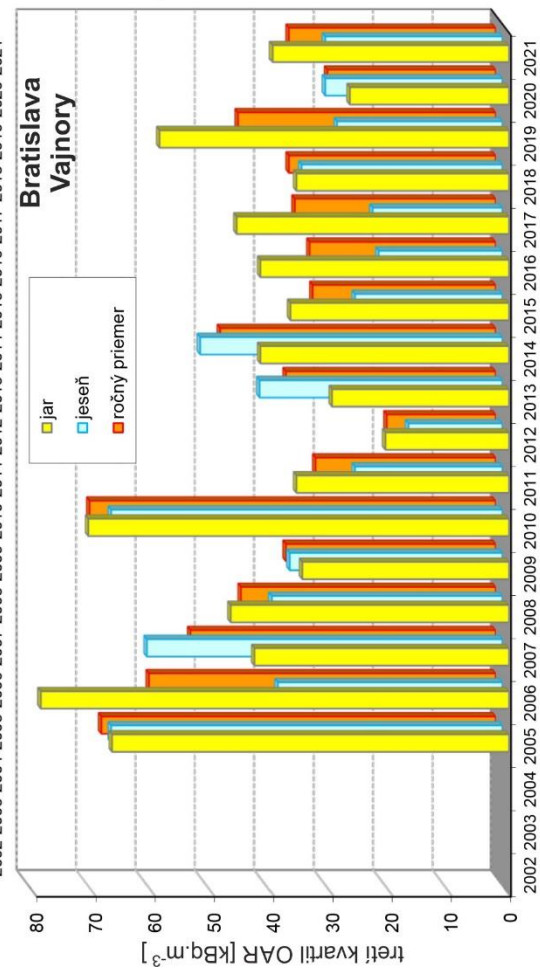
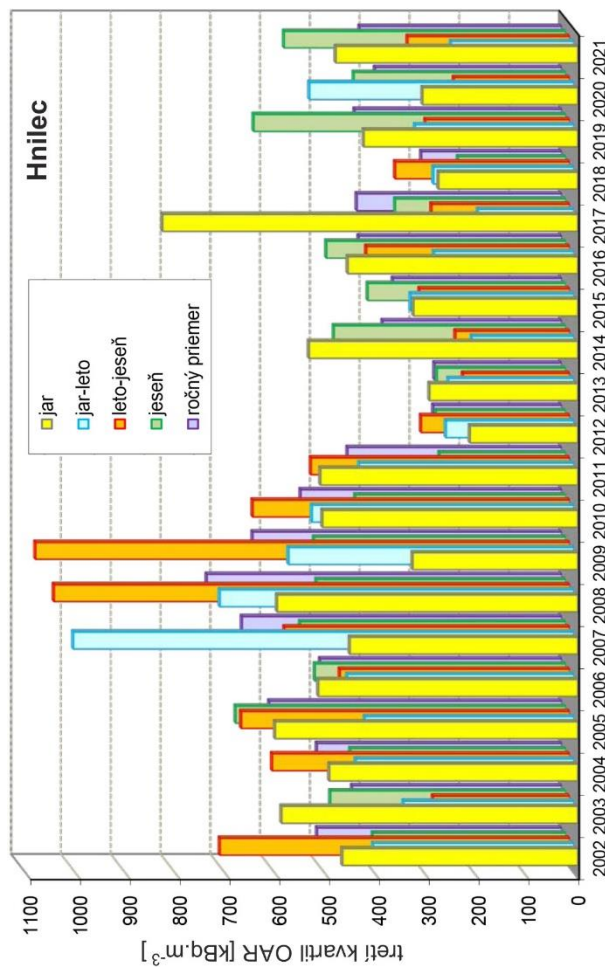
Vyhodnotené výsledky monitorovania sú prehľadne spracované v tab. č. 3 a tab. č. 6. Výsledky monitoringu OAR v pôdnom vzduchu na RP Banská Bystrica – Podlavice v sezónach 2005 až 2021 graficky dokumentujeme na obr. č. 4.



Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2021
 Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.



Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2021
 Lokalita: Teplička



Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2021
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 2021, porovnanie 2002 - 2021												
p.č.	Lokalita	Dátum		c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]								Poznámka
		Rok	Rok	N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A	Rn index	
1		21.04.21		17	22	1147	392	316	708	485	III	mokro
2		15.06.21		17	31	1132	311	315	626	246	III	sucho
3		10.08.21		17	5	873	275	279	554	325	III	sucho / vlhko
4		14.10.21		17	75	1049	430	288	718	565	III	vlhko
		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	

Hnilec

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021													
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				
1	Novoveská Huta II	21.04.21	17	8	195	86	54	140	96	III	mokro		
2		13.05.21	17	28	252	80	61	141	84	III	mokro		
3		15.06.21	17	18	80	41	21	62	56	II	sucho		
4		20.07.21	17	20	167	75	50	125	114	III	vlhko		
5		10.08.21	17	11	194	59	46	105	69	II-III	sucho		
6		29.09.21	17	30	149	94	33	127	122	III	sucho		
7		13.10.21	17	30	259	111	62	173	148	III	vlhko		
		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			
		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			
	Novoveská Huta												

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021													
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				
1		21.04.24	17	6	106	54	38	92	84	III	mokro		
2		13.05.21	17	14	129	65	33	98	89	III	mokro		
3		15.06.21	17	17	74	34	17	51	45	II	sucho		
4		20.07.21	17	5	122	66	35	101	90	III	vlhko		
5		10.08.21	17	26	107	57	24	81	75	III	sucho		
6		29.09.21	17	25	86	48	17	65	55	II	sucho		
7		13.10.21	17	35	99	65	19	84	79	III	vlhko		
		rok 2021	119	5	129	56	26	82	74	II			
		rok 2020	119	7	129	59	22	80	70	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			

Teplička

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021													
p.č.	Lokalita	Dátum		c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]								Rn index	Poznámka
		Rok	Rok	N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A			
1	Bratislava - Vajnory	20.05.21		17	1	57	30	15	45	40	II	vlhko / mokro	
2		24.09.21		17	7	36	21	9	30	30	II		
		rok 2021		34	1	57	26	12	38	35	II	sucho	
		rok 2020		34	5	42	23	9	32	29	II		
		rok 2019		34	1	80	34	14	48	44	II		
		rok 2018		33	7	46	28	10	38	35	II		
		rok 2017		34	4	99	27	15	41	34	II		
		rok 2016		34	3	69	26	12	38	32	II		
		rok 2015		34	8	44	23	9	32	31	II		
		rok 2014		34	8	61	37	14	51	47	II		
		rok 2013		34	2	75	29	14	43	36	II		
		rok 2012		34	4	56	17	8	25	19	I-II		
		rok 2011		34	6	49	25	10	35	31	II		
		rok 2010		34	4	100	50	27	76	69	II-III		
	rok 2009		34	13	52	28	11	39	36	II			
	rok 2008		34	2	61	34	13	47	43	II			
	rok 2007		34	4	64	41	13	54	52	II			
	rok 2006		34	10	98	41	20	61	59	II			
	rok 2005		34	20	122	50	22	72	67	II-III			
	rok 2004										objekt nebol monitorovaný		
	rok 2003												
	rok 2002												

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021													
p.č.	Lokalita	Dátum		c_A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m^{-3}]							Poznámka		
		Rok	N	min c_A	max c_A	ϕ c_A	σ c_A	$\phi + \sigma$	3. kvartil c_A	Rn index			
1	Banská Bystrica - Podlavice	12.05.21	16	11	278	94	75	169	137	III	Sucho		
2		28.09.21	17	11	180	57	52	109	58	II	Sucho		
		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	objekt nebol monitorovaný											
	rok 2002	objekt nebol monitorovaný											

Vysvetlivky:

- c_A objemová aktivita radónu (OAR) v pôdnom vzduchu [kBq.m^{-3}]
N počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)
min c_A minimálna hodnota OAR z N
max c_A maximálna hodnota OAR z N
 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
Atm. tlak [hPa]

3.2 Pôdny radón na tektonike

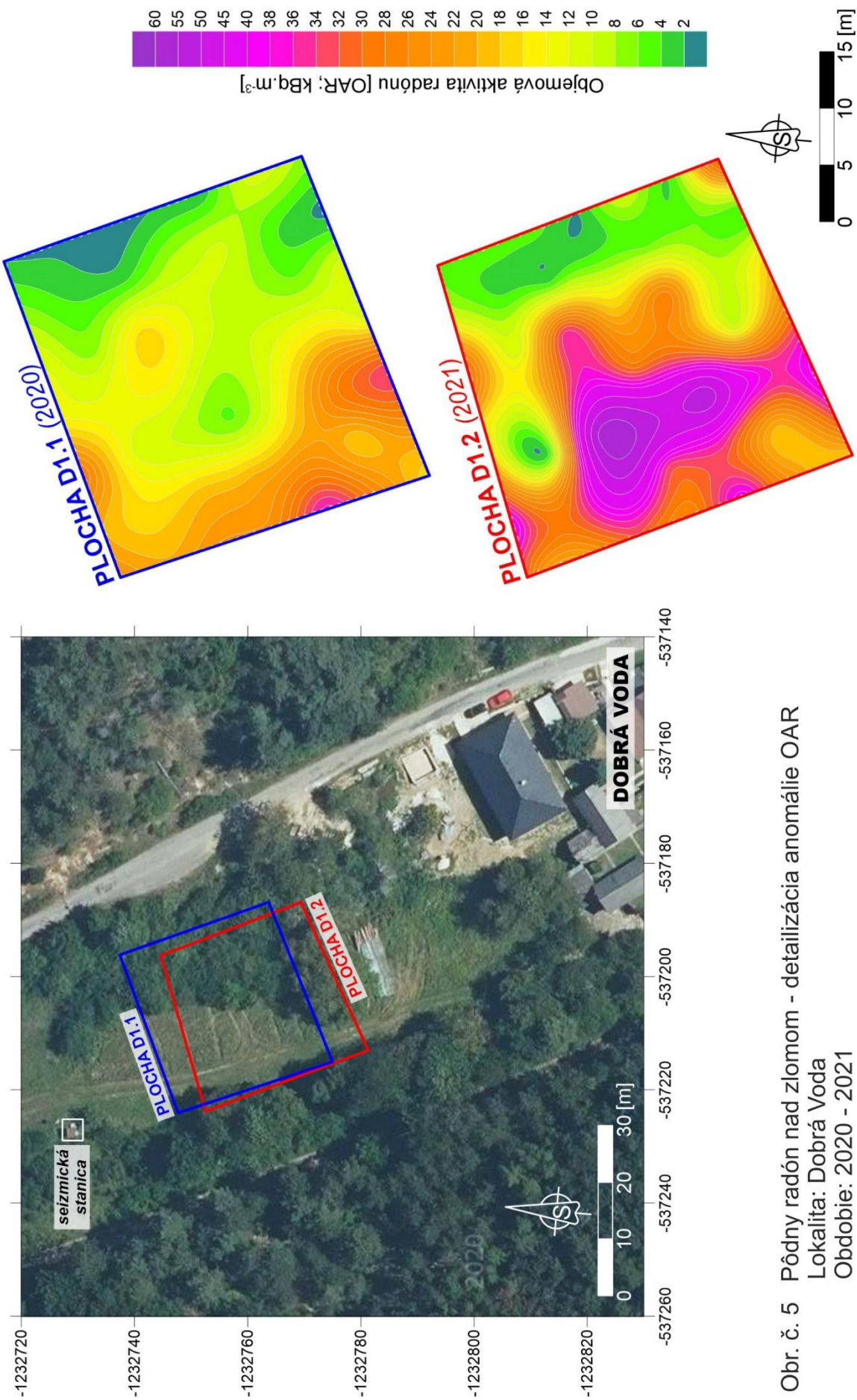
Pri mapovaní koncentrácií pôdneho radónu nad tektonickou dislokáciou na lokalite Dobrá Voda (cca 26 km severne od Trnavy), bola na ploche D1.2 overovaná a detailizovaná výrazná anomália obsahov pôdneho radónu v mieste prieniku plôch P2, P3, D1 a D1.1 preskúmaných v predošlých monitorovacích obdobiach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

Nad poruchovou zónou, vysledovanou vo wettersteinských dolomitoch (stredný trias), prekrytou fluviálnymi nivnými sedimentmi, sa v sezóne 2021 zrealizoval súbor meraní OAR (sieť 5x5 m) s $OAR_{MAX} = 56 \text{ kBq.m}^{-3}$, v normálnom poli $\sim 5 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Celkový rozsah prác pri monitorovaní OAR nad tektonikou v roku 2021 činil 49 sond so zhodným počtom odobraných, zmeraných a vyhodnotených vzoriek pôdneho vzduchu.

Vymedzený areál (obr. č. 5) sa bude detailne sledovať aj v nasledujúcich monitorovacích sezónach.

Po získaní nevyhnutného prístrojového vybavenia na kontinuálne meranie OAR a vybudovaní monitorovacieho objektu (pozorovací vrt) tu do budúca 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: 2020 - 2021

3.3 Radón vo vodách

Práce a činnosti, vykonávané pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd, boli v roku 2021 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 2021 graficky prezentujeme formou prehľadných stĺpcových grafov na obr. č. 6, 7 a 8.

V tab. č. 4 prezentujeme základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za rok 2021, 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 2021 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 2021 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 vysledovaný len malý nárast koncentrácií radónu: trend $OAR_{2021/2020} = 1,03$; priemerná ročná hodnota $OAR_{2021} = 40 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobý priemer $OAR_{2002-2021} = 34 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Mierny pokles obsahov radónu v podzemných vodách bol medziročne zaznamenaný na prameni Zbojníčka (trend $OAR_{2021/2020} = 0,90$), pri strednej úrovni $OAR_{2021} = 229 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2021} = 265 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Malý nárast obsahov radónu v podzemných vodách bol vysledovaný v prameni Himligárka (trend $OAR_{2021/2020} = 1,06$), pri hodnote $OAR_{2021} = 202 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2021} = 175 \text{ Bq.l}^{-1}$. Pri jesennom monitoringu nebolo možné na tomto prameni korektne odobrať vzorky vody.

Koeficienty variácií OAR (v R_n) v sezóne 2021 sú nízke a dosiahli max. 2 % (tab. 4).

Priemerné výdatnosti monitorovaných prameňov v sezóne 2021: $Q_{\text{Mária}} = 0,033 \text{ l.s}^{-1}$, $Q_{\text{Zbojnička}} = 0,290 \text{ l.s}^{-1}$ a z jedného odberu $Q_{\text{Himligárka}} = 0,370 \text{ l.s}^{-1}$ (tab. č. 5).

Korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou zdrojov podzemných vôd nebola zistená. 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 2021 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 (431 Bq.l^{-1}) bolo zaznamenané vo februári a minimum (189 Bq.l^{-1}) v októbri 2021 (tab. č. 4, obr. č. 7); trend $\text{OAR}_{2021/2020} = 1,09$; stredná hodnota $\text{OAR}_{2021} = 328 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2021} = 282 \text{ Bq.l}^{-1}$ (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2021 dosiahla $0,024 \text{ l.s}^{-1}$, pri pomerne nízkom koeficiente variácie ($V_Q = 10 \%$; tab. č. 5). Aj v zrovnaní s predošlými monitorovacími sezónami sa jedná o dlhodobo relatívne stabilnú úroveň: v rokoch 2002 až 2021 sa výdatnosti pohybovali v rozmedzí iba $0,020 - 0,027 \text{ l.s}^{-1}$, pri pomerne nízkej variabilite ($V_Q = 7 - 17 \%$). Ani 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 $\text{OAR}_{2021} = 213 \text{ Bq.l}^{-1}$ (trend $\text{OAR}_{2021/2020} = 1,02$); dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2021} = 183 \text{ Bq.l}^{-1}$. Najvyššia hodnota $\text{OAR} = 269 \text{ Bq.l}^{-1}$ bola nameraná vo februári a najnižšia (107 Bq.l^{-1}) v decembri 2021 (obr. č. 6; tab. č. 4, 5 a 6).

Výdatnosť prameňa sa v roku 2021 pohybovala v rozmedzí $0,036 - 0,0491 \text{ l.s}^{-1}$, so strednou hodnotou $0,044 \text{ l.s}^{-1}$ a koeficientom variácie $V_Q = 9 \%$. 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 2021.

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).

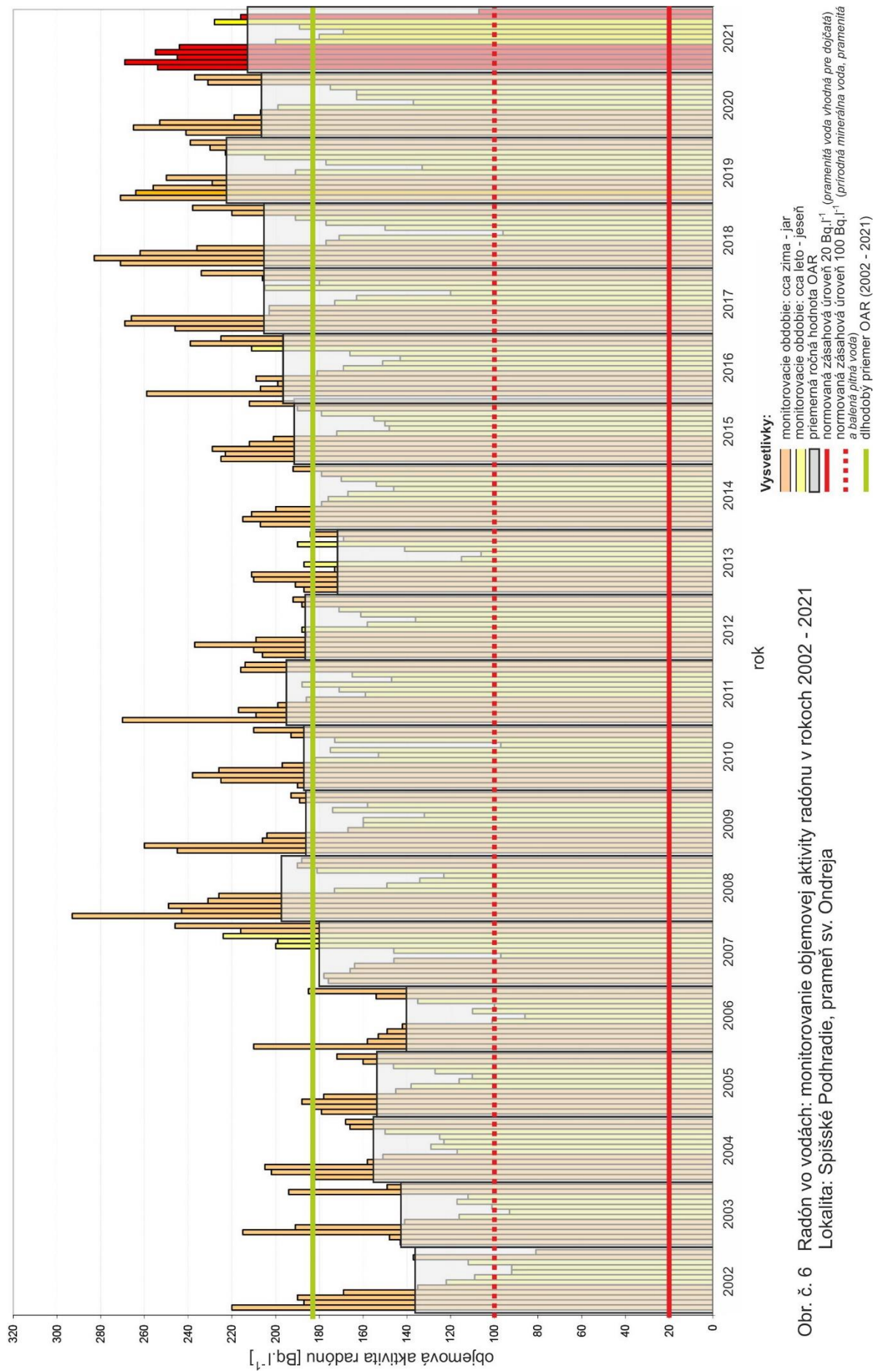
Počas rádiohydrochemického vzorkovania v sezónach 1998 – 2000 tu boli zaregistrované hodnoty objemovej aktivity rádia v rozmedzí 0,49 – 1,21 Bq.l⁻¹, t.j. mierne zvýšená (0,1 – 0,5 Bq.l⁻¹) až vysoká (nad 1,0 Bq.l⁻¹) objemová aktivita ²²⁶Ra.

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

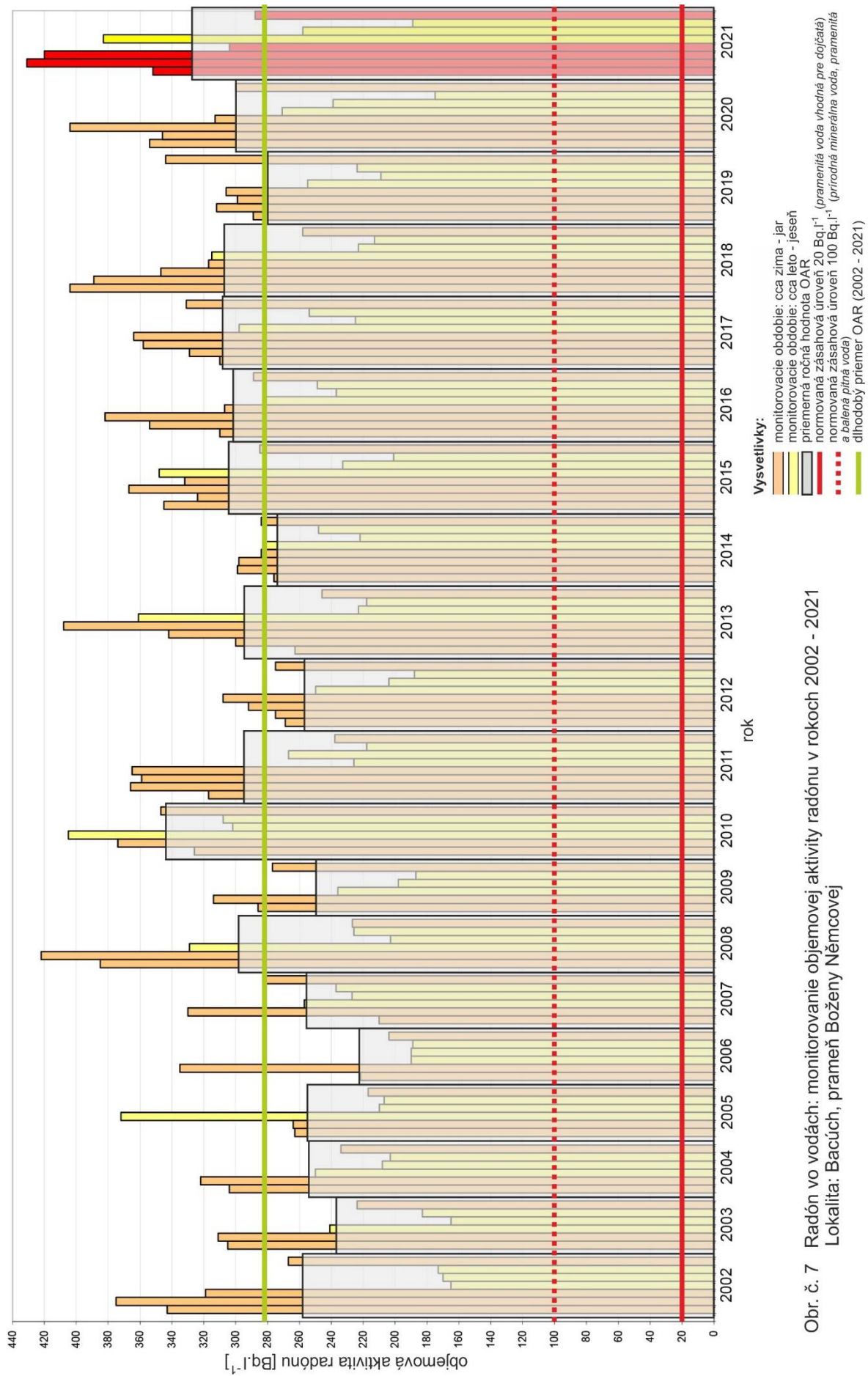
Potvrdzujú to aj výsledky meraní v roku 2021, kedy boli namerané hodnoty OAR = 1151 Bq.l⁻¹ na jar a 1164 Bq.l⁻¹ na jeseň (trend $OAR_{2021/2020} = 0,96$), pri strednej ročnej úrovni $OAR_{2021} = 1158$ Bq.l⁻¹ a dlhodobom priemere $OAR_{2006-2019} = 1072$ Bq.l⁻¹. Treba poznamenať, že hodnoty OAR, namerané v rokoch 2006 (536 Bq.l⁻¹) a 2019 (791 Bq.l⁻¹), sa výraznými poklesmi vymykajú z intervalu 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.

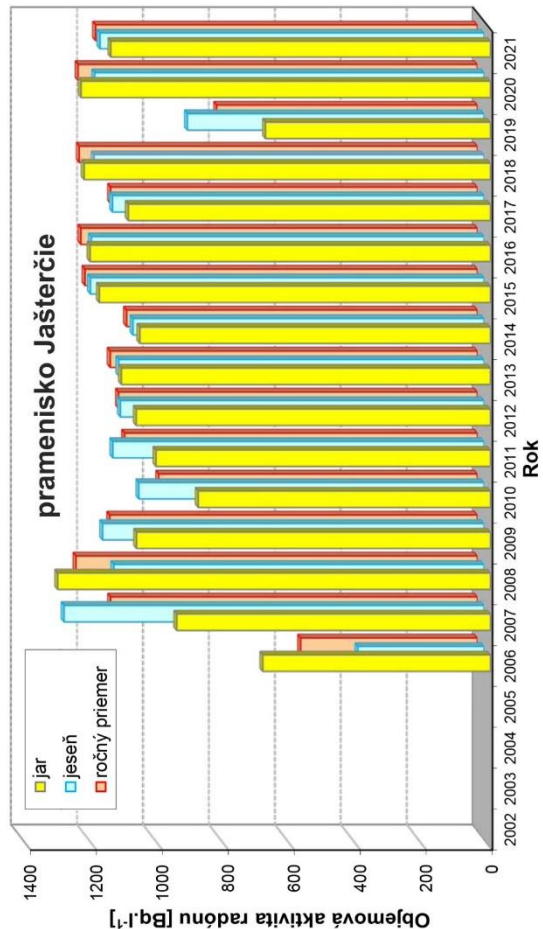
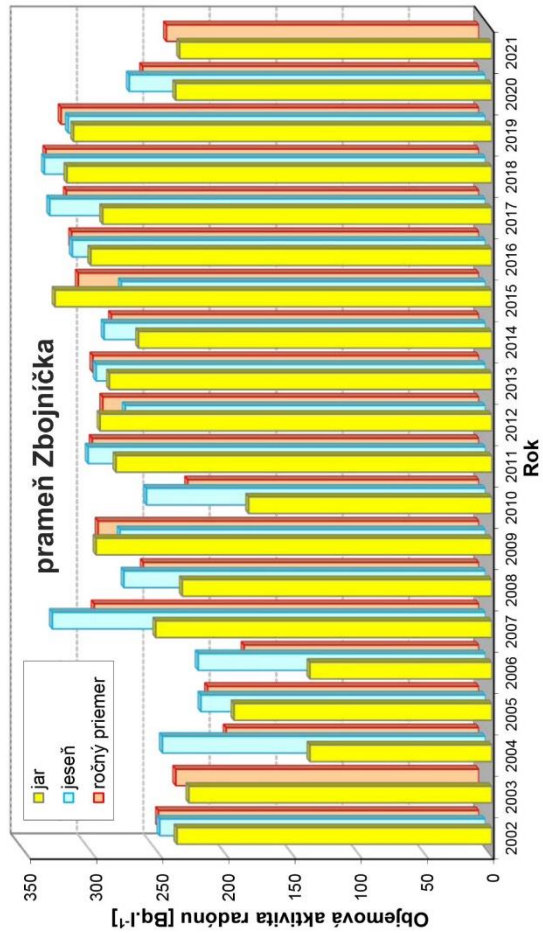
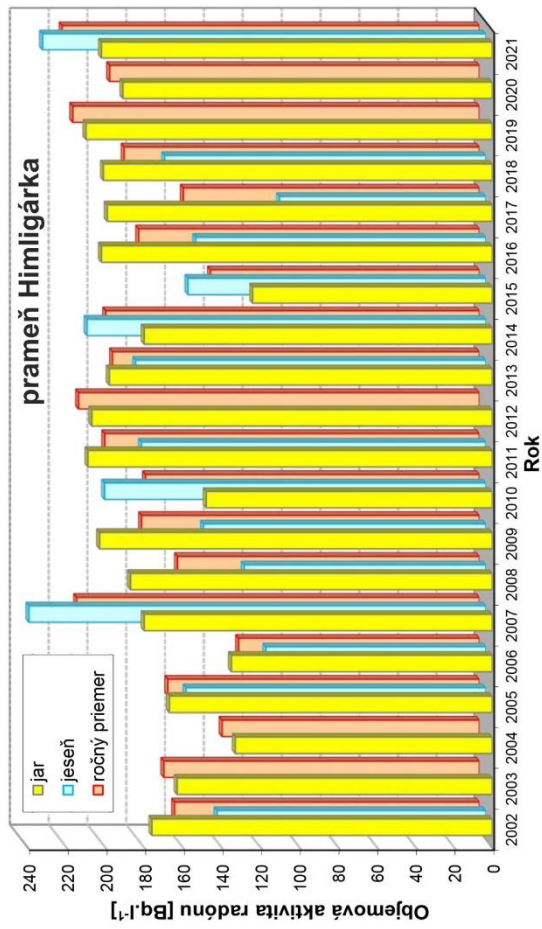
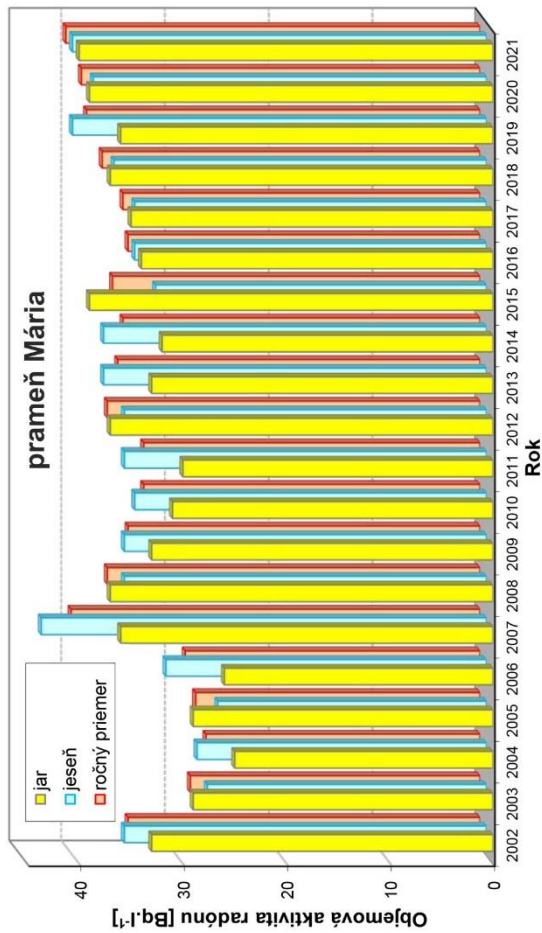
Získané údaje prezentujeme v tab. č. 4, 5, 6 a na obr. č. 8.



Obr. č. 6 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2021
 Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja



Obr. č. 7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2021
Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej



Obr. č. 8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2021
 Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021												
p.č.	Lokalita	Dátum		^{222}Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzdľuch		Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	φ Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]
		Rok					°C	°C				
1		12.05.21		40	0.029	8	15					
2		28.09.21		40	0.037	11	15					
		2021						40	40	40	40	0
		2020						38	39	39	39	2
		2019						36	40	40	38	7
		2018						36	37	37	37	2
		2017						34	35	35	35	8
		2016						34	34	34	34	0
		2015						32	39	36	36	14
		2014						32	37	35	35	10
		2013						33	37	35	35	8
		2012						35	37	36	36	4
	Bratislava - prameň Mária	2011						30	35	33	33	11
		2010						31	34	33	33	7
		2009						33	35	34	34	4
		2008						35	37	36	36	4
		2007						36	43	40	40	12
		2006						26	31	29	29	9
		2005						26	30	28	28	7
		2004						25	28	27	27	6
		2003						27	29	28	28	5
		2002						33	35	34	34	4

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021												
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]	[Bq.l ⁻¹]	[%]	
1		12.05.21	236	0.500	8	14						
2		28.09.21	229	0.080	10	15						
		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		

Bratislava - prameň Zbojnička

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021												
p.č.	Lokalita	Dátum	^{222}Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzdúch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	φ Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]		
											2021	202
1		12.05.21	202	0.370	8	14						
2		28.09.21	<i>nebolo možné korekčne odobrať vzorku vody</i>									
		2021					202	202	202	202	-	
		2020					191	191	191	191	-	
		2019					210	210	210	210	-	
		2018					166	201	184	184	13	
		2017					107	199	153	153	43	
		2016					150	202	176	176	21	
		2015					124	154	139	139	15	
		2014					180	206	193	193	10	
		2013					181	198	190	190	6	
		2012					207	207	207	207	-	
		2011					178	209	194	194	11	
		2010					148	197	173	173	20	
		2009					146	203	175	175	23	
		2008					125	187	156	156	28	
		2007					180	236	208	208	19	
		2006					114	135	125	125	8	
		2005					155	167	161	161	4	
		2004					133	133	133	133	-	
		2003					163	163	163	163	-	
		2002					139	176	158	158	17	

Bratislava - prameň Himligárka

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021												
p.č.	Dátum	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzdľuch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	φ Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]			
Lokalita	Rok											
1	13.01.21	352	0.025	6	-2							
2	16.02.21	431	0.027	5	-5							
3	08.03.21	420	0.027	6	4							
4	20.04.21	304	0.025	6	11							
5	08.06.21	383	0.026	8	19							
6	03.08.21	258	0.022	10	16							
7	12.10.21	189	0.022	9	7							
8	09.12.21	288	0.021	7	-1							
	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			

Bacúch -
prameň Boženy Němcovej

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021												
p.č.	Lokalita	Dátum	^{222}Rn [Bq.l ⁻¹]	Q [l.s ⁻¹]	t-voda [°C]	t-vzdľuch [°C]	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	φ Rn [Bq.l ⁻¹]	v Rn [%]		
1		13.01.21	254	0.036	7	-3						
2		25.02.21	269	0.047	6	1						
3		16.03.21	245	0.042	6	4						
4		20.04.21	255	0.044	7	8						
5		07.05.21	244	0.047	8	8						
6		08.06.21	200	0.039	10	15						
7		06.07.21	180	0.049	12	19						
8		03.08.21	169	0.043	14	16						
9		06.09.21	189	0.046	13	9						
10		07.10.21	228	0.048	13	10						
11		05.11.21	216	0.040	10	2						
12		09.12.21	107	nemerateľná	9	-5						
		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		
	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja											

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2021, porovnanie 2002 - 2021											
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	20.04.21	1151	nemerateľná	19	7					
2		12.10.21	1164	nemerateľná	18	8					
		2020						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											

Kde:

- ^{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 variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2021

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 [%]
1	Bratislava - prameň Mária	2021	40	0.0	0	0.033	0.006	17
		2020	39	0.7	2	0.053	0.030	56
		2019	38	2.8	2	0.124	0.113	91
		2018	37	0.7	2	0.069	0.064	91
		2017	35	0.7	2	0.203	0.247	122
		2016	34	0.0	0	0.178	0.173	98
		2015	36	4.9	14	0.134	0.143	107
		2014	35	3.5	10	1.044	1.097	105
		2013	35	2.8	8	0.227	0.100	63
		2012	36	1.4	4	0.171	0.165	97
		2011	33	3.5	11	0.362	0.069	20
		2010	33	2.1	7	0.926	0.178	19
		2009	34	1.4	4	0.127	0.074	59
		2008	36	1.4	4	0.118	0.024	20
2007	40	4.9	12	0.183	0.019	10		
2006	29	2.5	9	0.613	0.498	81		
2005	28	2.0	7	0.396	0.271	68		
2004	27	1.5	6	0.536	0.465	87		
2003	28	1.4	5	0.128	0.139	109		
2002	34	1.4	4	0.299	0.158	53		

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2021

p.č.	Lokalita	Obdobie	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]				Výdatnosť Q [l.s ⁻¹]			
			φ Rn	σ Rn	v Rn [%]	v Rn [%]	φ Q	σ Q	v Q [%]	v Q [%]
2	Bratislava - prameň Zbojnička	2021	233	4.9	2	2	0.290	0.297	102	102
		2020	254	21.2	8	8	0.223	0.063	28	28
		2019	316	0.7	0	0	0.175	0.169	97	97
		2018	327	8.5	3	3	0.264	0.171	65	65
		2017	312	24.7	8	8	0.389	0.467	120	120
		2016	308	6.4	2	2	0.261	0.296	113	113
		2015	303	38.9	13	13	0.162	0.166	103	103
		2014	278	14.8	5	5	1.026	1.095	107	107
		2013	292	3.5	1	1	0.248	0.199	80	80
		2012	284	17.0	6	6	0.207	0.233	113	113
		2011	294	9.2	3	3	0.303	0.044	14	14
		2010	220	50.9	23	23	2.073	1.782	86	86
		2009	288	16.3	6	6	0.114	0.092	81	81
		2008	254	27.6	11	11	0.243	0.233	96	96
		2007	291	51.6	18	18	0.265	0.068	26	26
2006	178	39.5	22	22	1.431	1.425	100	100		
2005	205	10.0	5.0	5.0	0.463	0.338	73	73		
2004	191	53.0	28	28	0.577	0.535	93	93		
2003	230	0.7	0.3	0.3	0.096	0.121	127	127		
2002	242	5.7	2	2	0.276	0.050	18	18		

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2021

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 [%]
3	Bratislava - prameň Himligárka	2021	202	-	-	0.370	-	-
		2020	191	-	-	0.047	-	-
		2019	210	-	-	0.286	-	-
		2018	184	24.7	13	0.108	0.115	106
		2017	153	65.1	43	0.235	0.326	139
		2016	176	36.8	21	0.154	0.187	121
		2015	139	21.2	15	0.147	0.187	128
		2014	193	18.4	10	0.979	1.246	127
		2013	190	12.0	6	0.171	0.200	117
		2012	207	-	-	0.168	-	-
		2011	194	21.9	11	0.193	0.047	25
		2010	173	34.6	20	1.203	0.870	72
		2009	175	40.3	23	0.056	0.056	101
		2008	156	43.8	28	0.130	0.146	113
2007	208	39.6	19	0.093	0.031	33		
2006	125	10.5	8	0.719	0.709	100		
2005	161	6.0	4	0.259	0.229	88		
2004	133	-	-	0.263	0.263	100		
2003	163	-	-	0.091	0.128	141		
2002	158	26.2	17	0.311	0.001	0.2		

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2021

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 [%]		
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	2021	328	83.7	26	0.024	0.002	10		
		2020	300	71.9	24	0.024	0.003	12		
		2019	280	46.4	17	0.022	0.003	11		
		2018	308	71.9	23	0.024	0.003	11		
		2017	309	48.6	16	0.022	0.002	7		
		2016	301	48.9	16	0.021	0.002	7		
		2015	305	60.1	20	0.020	0.002	9		
		2014	274	26.4	10	0.022	0.003	13		
		2013	295	69.6	24	0.022	0.002	7		
		2012	258	41.8	16	0.022	0.003	12		
		2011	295	64.6	22	0.027	0.003	11		
		2010	344	40.0	12	0.027	0.003	11		
		2009	250	51.0	20	0.024	0.002	8		
		2008	299	92.9	31	0.021	0.002	9		
2007	257	43.6	17	0.024	0.003	13				
2006	222	52.0	23	0.027	0.003	9				
2005	256	57.0	22	0.026	0.004	17				
2004	254	45.2	18	0.020	0.002	10				
2003	238	60.6	25	0.021	0.002	9				
2002	259	89.7	35	0.026	0.004	16				

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2021

p.č.	Lokalita	Obdobie	^{222}Rn [Bq.l ⁻¹]				Výdatnosť Q [l.s ⁻¹]			
			ϕ Rn	σ Rn	v Rn [%]	v Rn [%]	ϕ Q	σ Q	v Q [%]	v Q [%]
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	2021	213	46.5	22	22	0.044	0.004	9	9
		2020	208	40.6	20	20	0.046	0.005	10	10
		2019	222	40.1	18	18	0.047	0.006	13	13
		2018	206	55.4	27	27	0.038	0.006	14	14
		2017	206	43.7	21	21	0.036	0.005	13	13
		2016	197	35.5	18	18	0.040	0.004	11	11
		2015	191	30.1	16	16	0.040	0.003	7	7
		2014	183	22.5	12	12	0.037	0.003	9	9
		2013	172	34.1	20	20	0.037	0.007	18	18
		2012	187	27.4	15	15	0.041	0.005	11	11
		2011	195	33.5	17	17	0.036	0.006	17	17
		2010	188	38.0	20	20	0.038	0.005	13	13
		2009	187	37.3	20	20	0.039	0.004	11	11
		2008	198	51.1	26	26	0.042	0.005	12	12
2007	180	40.4	22	22	0.040	0.008	20	20		
2006	140	35.0	25	25	0.041	0.006	14	14		
2005	154	26.0	17	17	0.044	0.006	13	13		
2004	156	28.6	18	18	0.039	0.006	14	14		
2003	143	39.1	27	27	0.033	0.006	19	19		
2002	137	44.8	33	33	0.034	0.010	30	30		

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2021

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	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								
2004								
2003								
2002								
			objekt nebol monitorovaný					

nemerateľná

Kde: ^{222}Rn - objemová aktivita radónu (OAR) vo vode c_A [Bq.l⁻¹]
 ϕ Rn - stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l⁻¹]
 σ Rn - štandardná odchýlka OAR za hodnotené obdobie [Bq.l⁻¹]
v Rn - variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]

Q výdatnosť vodného zdroja [l.s⁻¹]
 ϕ Q priemerná výdatnosť Q za hodnotené obdobie [l.s⁻¹]
 σ Q smerodajná odchýlka Q za hodnotené obdobie [l.s⁻¹]
v Q variačný koeficient Q za hodnotené obdobie [%]

4. ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Riešenie projektu „*Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*“, ktorý je jedným z podsystémov významnej úlohy „**Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky**“, pokračovalo v roku 2021 v rozsahu porovnateľnom s predchádzajúcimi sezónami.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsystéme v sezóne 2021, 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 sa v sezóne 2021 vykonávalo 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, resp. až s extrémnym radónovým indexom na RP Hnilec.

Najrozsiahlejšie 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 jarnom a jesennom termíne.

Merania OAR nad tektonickou dislokáciou na lokalite Dobrá Voda (plocha D1.2) boli zrealizované v auguste 2021.

Objemová aktivita radónu v zdrojoch podzemných vôd bola v sezóne 2021 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 značne 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 napršalo 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 najteplejšou 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.

Prehľad priemerných ročných zrážkových úhrnov pre územie SR za obdobie 2002 – 2021 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 2021, keď boli na všetkých monitorovaných objektoch zaznamenané pozitívne trendy v rozmedzí $OAR_{3,Q\ 2021/2020} = 1,07$ (RP Teplička) až $OAR_{3,Q\ 2021/2020} = 1,26$ (RP Podlavice).

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.

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 2021 monitorované v ten istý deň (t.j. v zrovnateľných meteorologických podmienkach), ale výsledky meraní OAR v pôdnom vzduchu vykazujú odlišný priebeh. Dlhodobý 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} , t.j. pod úrovňou dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q 2002-2021} = 445 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **RP Novoveská Huta** (*RP Novoveská Huta II*) 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} (RP Nov. Huta), resp. 113 kBq.m^{-3} (*RP Nov. Huta II* – iba dva monitoringy).
- V areáli **RP Novoveská Huta II** sme 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} , čo je tesne pod úrovňou dlhodobého priemeru $OAR_{3,Q 2018-2021} = 106 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **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. Dlhodobý priemer $OAR_{3,Q 2002-2021} = 68 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **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} , pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q 2005-2021} = 41 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **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. Dlhodobý priemer OAR_{3,Q} 2005-2021 = 74 kBq.m⁻³.

- Hodnoty OAR_{3,Q} v pôdnom vzduchu, zaznamenané v roku 2021, sú v porovnaní s dlhodobým priemerom prevažne znížené a pohybujú sa v rozmedzí od 85 % (RP Vajnory) po 131 % (RP Podlavice).

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. Potvrďuje 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.

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 OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₁ = 27 – 40 Bq.l⁻¹), s dlhodobým priemerom na úrovni 34 Bq.l⁻¹.
- **prameň Zbojnička** (Malé Karpaty) dosiahol priemernú ročnú úroveň OAR₂₀₂₁ = 229 Bq.l⁻¹, stredné hodnoty OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₁ = 178 – 327 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol 265 Bq.l⁻¹.
- **prameň Himligárka** (Malé Karpaty): v uplynulej sezóne dosiahol priemernú ročnú úroveň OAR₂₀₂₁ = 202 Bq.l⁻¹ pri variabilite OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₁ = 125 – 210 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer je na úrovni 175 Bq.l⁻¹.
- **prameň Boženy Němcovej** (Bacúch): v roku 2021 došlo k nárastu až na 328 Bq.l⁻¹, priemerné ročné úrovne OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₁ varírujú v pomerne širokom rozmedzí 222 – 344 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₁ = 282 Bq.l⁻¹.
- **prameň sv. Ondreja** (Spišské Podhradie): v roku 2021 tu dosiahla OAR úroveň 213 Bq.l⁻¹, variabilita OAR₂₀₀₂₋₂₀₂₁ = 137 – 222 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer 183 Bq.l⁻¹.

- **pramenisko Jašterčie** (Oravice) – objekt vykazuje najvyššiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka $\sigma_{2006-2021} = 193 \text{ Bq.l}^{-1}$). Na tejto lokalite sú dosahované najvyššie známe OAR v prírodných podzemných vodách, priemerné ročné úrovne $\text{OAR}_{2006-2021}$ sa pohybujú v intervale 536 – 1217 Bq.l^{-1} , dlhodobý priemer je na úrovni 1072 Bq.l^{-1} .
- Na žiadnom z monitorovaných objektov nebola zistená korelačná závislosť medzi objemovou aktivitou radónu vo vode a výdatnosťou zdroja.
- Obsahy radónu v podzemných vodách, zaznamenané v sezóne 2021, boli – v zrovnaní s dlhodobými priemerami – prevažne zvýšené a pohybovali sa v rozmedzí 86 % (prameň Zbojnička) až po 116 % (pramene Mária, Himligárka, Boženy Němcovej a sv. Ondreja).
- 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).

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).

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 napr. 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 2021, ale aj z predchádzajúcich sezón, dokumentujú skutočnosť, že zmeny (variácie) jeho obsahov sú jednak pravidelné (sezónne), ale aj náhodné (miestne, časové, ...). Postupne získavané a zhrmažďované 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.

Tab. č. 6 Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2021

p.č.	LOKALITA	Rok												Dlhodobý priemer	σ	Podiel c _a 2021 / 2020	Trend 2021 / 2020										
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013					2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
		3.Q c _a [kBq.m ⁻³]																									
Pôdny radón na referenčných plochách																											
1	Hniliec	491	420	491	587	485	642	712	620	524	430	258	255	359	334	407	411	282	416	375	405	445	288	1358	1.08	↔	
2	Novoveská Huta	89	58	87	99	113	73	61	67	66	71	39	35	60	51	88	68	82	113	122	89	98	106	51	390	1.10	↔
3	Novoveská Huta II.	76	56	80	92	81	79	77	62	78	59	42	35	68	64	74	70	47	72	69	74	68	31	2957	1.07	↔	
4	Teplička				67	59	52	43	36	69	31	19	36	47	31	32	34	35	44	29	35	41	18	577	1.21	↔	
5	Bratislava - Vajnory				118	111	80	69	53	120	43	24	59	59	56	100	65	50	74	77	97	74	53	560	1.26	↔	
5	Banská Bystrica - Podlavice																										
Pôdny radón na tektonike																											
1	Grajnář	18	10	13	24	20	16	20	16															17	17	1022	
2	Grajnář II.											15												15	16	70	
3	Dobrá Voda, profil DV-1											6												6	7	18	
4	Dobrá Voda, profil DV-2																							3	4	60	
5	Dobrá Voda, plocha P1											3												10	7	60	
6	Dobrá Voda, plocha P2												10											19	14	60	
7	Dobrá Voda, plocha P3													19										36	15	37	
8	Dobrá Voda, plocha P4														36									10	6	60	
9	Dobrá Voda, plocha P5															10								11	5	54	
10	Dobrá Voda, plocha D1																11							22	9	60	
11	Dobrá Voda, plocha D1.1																22							20	9	49	
12	Dobrá Voda, plocha D1.2																							32	15	49	
		c _a [Bq.l ⁻¹]																									
Priemerné úhrny zrážok na Slovensku v [mm] a [%] dlhodobého priemeru																											
861	573	851	938	776	894	860	890	1255	656	747	864	957	719	924	768	673	848	901	761	761	99	99	761	761	99	99	
106	75	112	125	101	122	112	122	157	80	98	122	119	98	124	108	90	111	117	117	117	99	99	99	99	99	99	
3.Q c_a [Bq.l⁻¹]																											
Radón vo vodách																											
34	28	27	28	29	40	36	34	33	33	33	36	35	35	36	34	35	37	38	39	39	40	34	4	80	1.03	↔	
242	230	191	205	178	291	254	288	220	294	284	292	278	303	308	312	327	316	254	229	265	229	265	49	79	0.90	↘	
158	163	133	161	125	208	156	175	173	194	207	190	193	139	176	153	184	210	191	202	175	202	175	32	68	1.06	↔	
259	238	254	256	222	257	299	250	344	295	258	295	274	305	301	309	308	280	300	328	282	300	328	65	285	1.09	↔	
137	143	156	154	140	180	198	187	188	195	187	172	183	191	197	206	222	208	213	183	183	208	213	45	485	1.02	↔	
					536	1112	1217	1115	966	1070	1088	1113	1064	1190	1202	1112	1207	791	1211	1158	1072	193	2	65	0.96	↘	
					12	17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	2	18		

Kde:

3.Q c_a stredná hodnota tretieho kvartilu OAR v pôdnom vzduchu za hodnotený rok

c_a stredná hodnota OAR v podzemnej vode za hodnotený rok

N celkový počet meraní OAR na lokalite za obdobie monitorovania

σ štandardná odchýlka OAR z N

↔ v danom roku nebol objekt monitorovaný

↘ monitorovanie na objekte dočasne prerušené

↗ monitorovanie objektu ukončené

5. 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
- 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
- Klukanová, A., Iglárová, E., 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., Paudítš, P., Petro, L., Dananaj, I., Hagara, R., Moczo, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferianc, D., Vanko, J., Kováčiková, M., Záhorová, E., 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. 88/2018 Z.z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 98/2018 o podrobnostiach 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, archív ŠGÚDŠ