

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 2020

Názov geologickej úlohy:	<b>Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory</b>
Číslo geologickej úlohy:	<b>207</b>
Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy:	<b>RNDr. Peter Ondrus</b>
Riešiteľ podsystemu 05:	<b>RNDr. Igor Zeman</b>
Spolupracoval:	<b>RNDr. Augustín Gluch</b>
Zástupca zhotoviteľa:	<b>RNDr. Pavel Liščák, CSc.</b>
Štatutárny zástupca:	<b>RNDr. Igor Slaninka, PhD.</b> <i>generálny riaditeľ ŠGÚDŠ</i>

Bratislava september 2021



### **Zoznam obrázkov:**

- Obr. č. 1** - Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2020
- Obr. č. 2** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2020; Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.
- Obr. č. 3** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2020; Lokalita: Teplička
- Obr. č. 4** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2020; Lokality: Hnilec, Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice
- Obr. č. 5** - Pôdny radón nad zlomom – detailizácia anomálie OAR  
Lokalita: Dobrá Voda, plochy D1 (rok 2019) a D1.1 (rok 2020)
- Obr. č. 6** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2020; Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 7** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2020; Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 8** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 – 2020; 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 – 2020
- Tab. č. 6** - Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2020





## **OBSAH**

	Zoznam obrázkov a tabuliek	3
	Obsah	5
1.	Úvod	7
2.	Metodika prác	8
3.	Prehľad a výsledky realizovaných prác	12
3.1	Pôdny radón na referenčných plochách	12
3.2	Pôdny radón na tektonike	25
3.3	Radón vo vodách	28
4.	Záver a odporúčania	45
5.	Literatúra	51



## 1. ÚVOD

V prostredí okolo nás je veľa druhov žiarenia. Odhaľovanie poznatkov o prírodnej, ale aj umelej (vyvolanej) rádioaktívite však bolo desaťročia potláčané. 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 ( $^{222}\text{Rn}$ ) a rádionuklidy ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Tl}$ ,  $^{210}\text{Po}$ , atď.) vznikajúce pri jeho nukleárnom rozpade. Tieto sú adsorbované dýchaním do pľúc, 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 – spracovanie 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 koncentrácií 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 2020, 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  $^{222}\text{Rn}$  (zdroj alfa žiarenia s polčasom rozpadu 3,825 dňa) je inertný prírodný rádioaktívny plyn, vznikajúci samovoľným rozpadom rádia  $^{226}\text{Ra}$  (zdroj alfa a gama žiarenia) v rozpadovom rade uránu  $^{238}\text{U}$  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 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 obsah v pôdnom vzduchu i vo vodách nie sú stabilné. Závisia nielen od koncentrácií rádia v hornine, ale aj od ďalších faktorov ovplyvňujúcich jeho šírenie (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; tab. č. 1) radónového rizika. Pri výbere lokalít sa vychádzalo z výsledkov hodnotenia starších prieskumných prác, zaoberajúcich sa problematikou prírodnej rádioaktivity, s cieľom zdokumentovať zmeny resp. 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 $c_A$ [ $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		
	<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, 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 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, atmosférický tlak, kvalitatívne posúdenie vlhkosti pokryvu RP, obtiažnosť hĺbenia sond a odberu pôdneho vzduchu, ...

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

V laboratórnych podmienkach je radón z každej vzorkovnice prebublávaný 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;  $\text{ca}$ ) 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:

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

- kde :  $N_v$  - nameraný počet impulzov vzorky pôdneho vzduchu za čas  $t_v$   
 $N_p$  - nameraný počet impulzov pozadia za čas  $t_v$   
 $k$  - koeficient účinnosti merania stanovený pri kalibrácii aparatury  
 $V$  - objem vzorky pôdneho vzduchu v LK v litroch  
 $R(t_v, t_r)$  - korekčný faktor zohľadňujúci rádioaktívnu premenu od odberu vzorky po koniec merania a zároveň aj stav posuvnej rádioaktívnej rovnováhy medzi  $^{222}\text{Rn}$  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  
 $\lambda$  - rozpadová konštanta  $^{222}\text{Rn}$  ( $0,0001258437 \text{ min}^{-1}$ )

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 zemín podľa tab. č. 1.

**Plynopriepustnosť miestnych 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:

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

- kde :  $V_v$  - objem vzorky vody v premývačke v litroch  
 $e^{-\lambda t_F} = F(t_F)$  - koeficient, vyjadrujúci pokles aktivity  $^{222}\text{Rn}$  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. PREHĽAD A VÝSLEDKY REALIZOVANÝCH PRÁČ

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol v roku 2020 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 2020 vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách v strednom až vysokom (na lokalite RP Hnilec až v extrémne vysokom) radónovom 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)

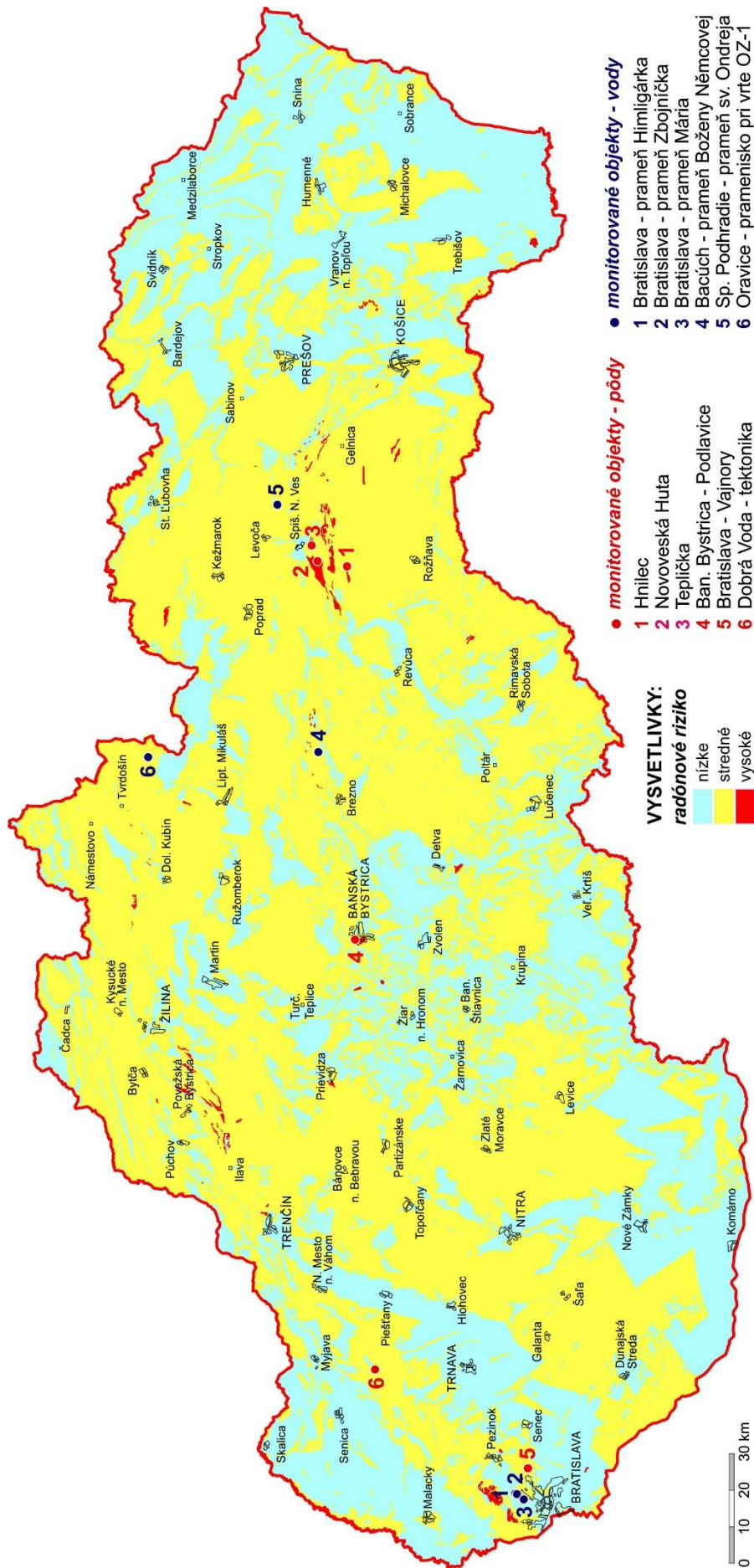
**RP Hnilec**, nachádzajúca sa cca 2,1 km JJZ od centra rovnomennej obce pri štátnej ceste č. 533 Spišská Nová Ves – Gemerská Poloma, je charakteristická až extrémne vysokým radónovým rizikom. Zdrojom radónu je zvetraný stredno-hrubozrnný gemeridný (tzv. „hnilacký“) granit s anomálnymi obsahmi uránu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

Monitoring OAR v sezóne 2020 tu bol zrealizovaný v období apríl až október (štyri monitorovania, spolu 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

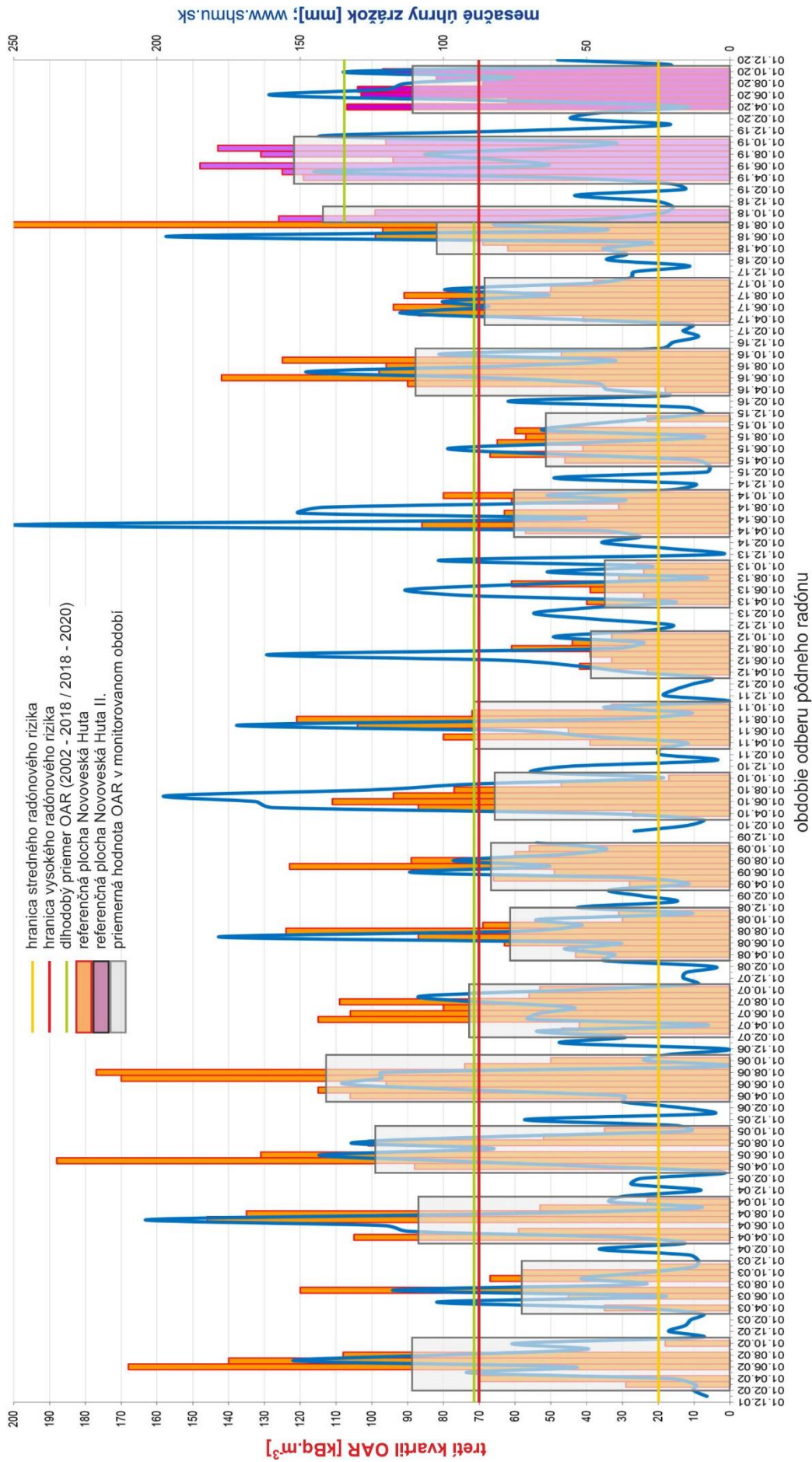
Po doterajšom maxime z roku 2008 (712 kBq.m<sup>-3</sup>) hodnoty OAR<sub>3,Q</sub> (3. kvartil OAR) v pôdnom vzduchu na RP Hnilec v sezónach 2009 až 2013 vykazovali výrazný a systematický pokles (až na 255 kBq.m<sup>-3</sup>). V roku 2014 bol zaznamenaný nárast OAR<sub>3,Q</sub> na 359 kBq.m<sup>-3</sup>, ale v sezóne 2015 opäť pokles na 334 kBq.m<sup>-3</sup>. V období 2016 a 2017 stúpili úrovne OAR<sub>3,Q</sub> na 407 kBq.m<sup>-3</sup>, resp. 411 kBq.m<sup>-3</sup>, ale v roku 2018 tu došlo medziročne k výraznému poklesu pri strednej hodnote iba 282 kBq.m<sup>-3</sup>. V sezóne 2019 došlo opäť k výraznému nárastu hodnôt OAR<sub>3,Q</sub> až na úroveň 416 kBq.m<sup>-3</sup> (obr. č. 4).

V sezóne 2020 došlo k pomerne výraznému poklesu OAR (trend OAR<sub>2020/2019</sub> = 0,90). Stredná hodnota OAR<sub>3,Q</sub> v roku 2020 dosiahla 375 kBq.m<sup>-3</sup> pri dlhodobom priemere OAR<sub>2002-2020</sub> = 447 kBq.m<sup>-3</sup>. V jednotlivjej sonde bola v júni 2020 nameraná OAR<sub>MAX</sub> = 1047 kBq.m<sup>-3</sup>.



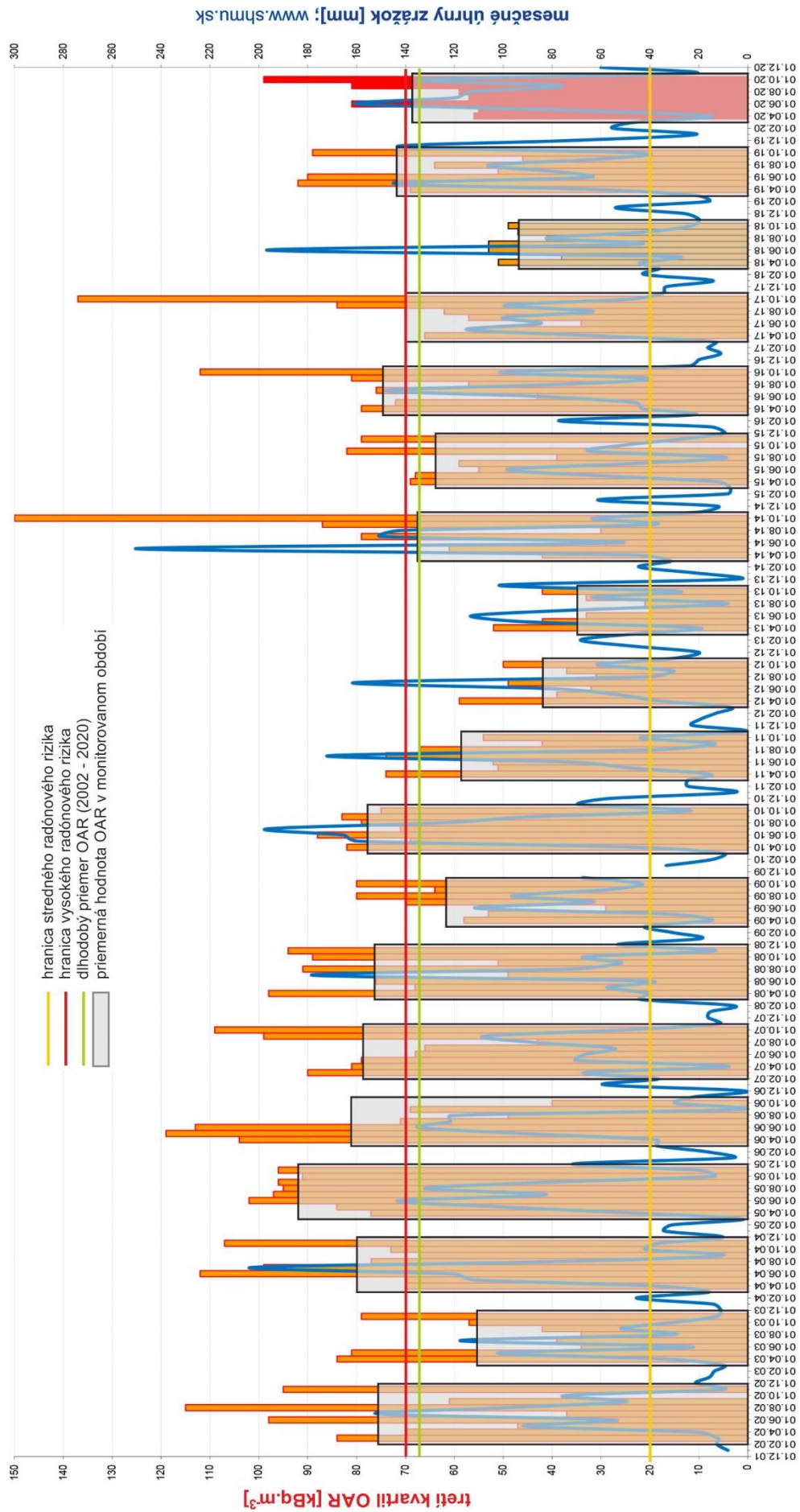


Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2020



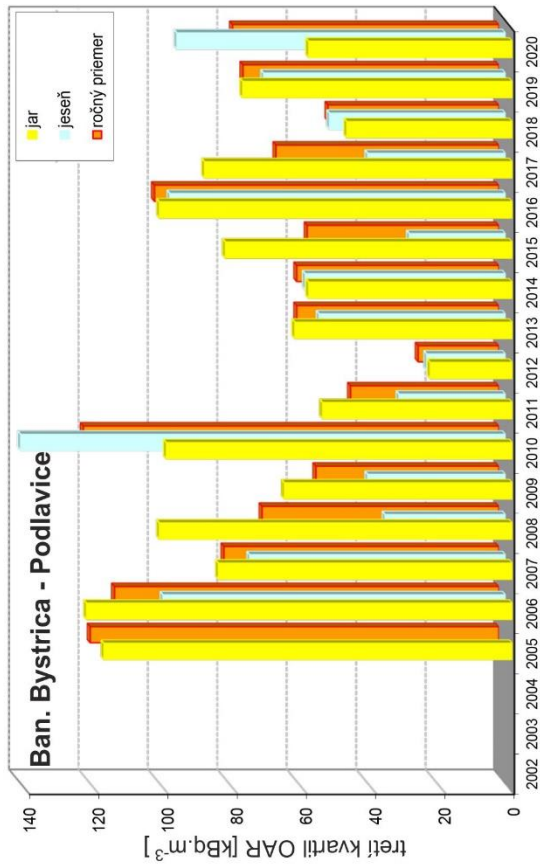
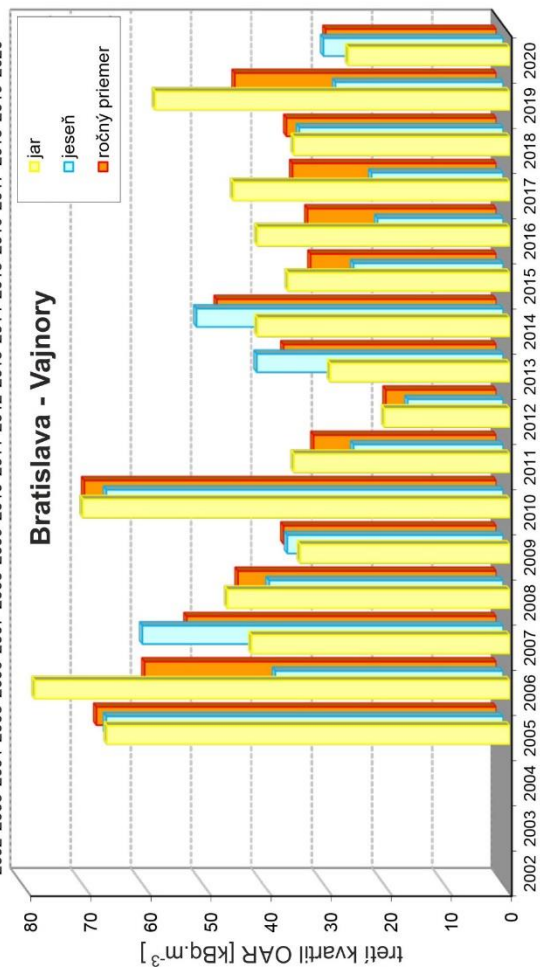
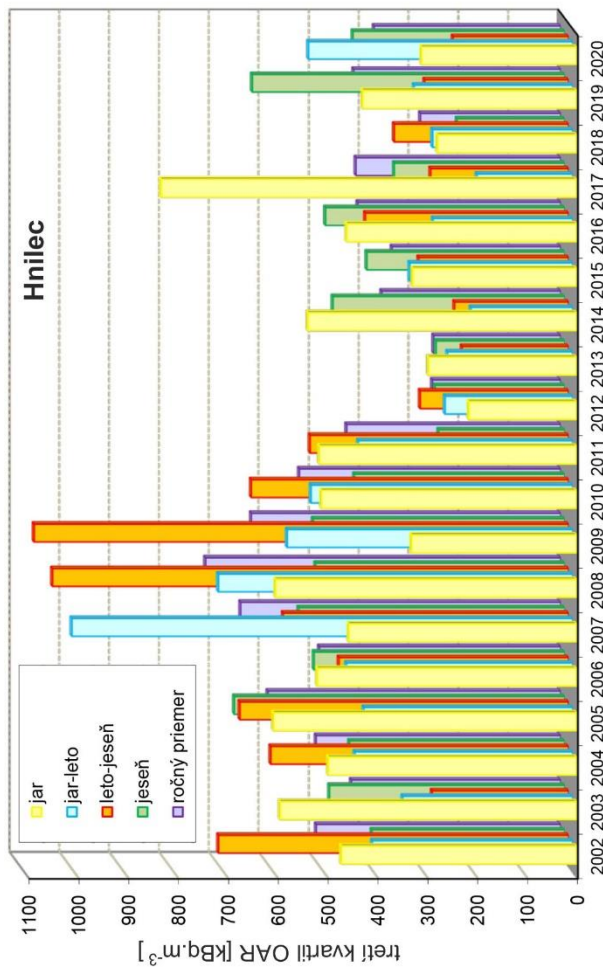
Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2020  
Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.





obdobie odberu pôdneho radónu

Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2020  
Lokalita: Teplička



Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2020  
 Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 – 2020 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 2020 zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, spolu 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

V roku 2020 tu medziročne došlo k významnému poklesu koncentrácií pôdneho radónu (trend  $OAR_{3,Q} 2020/2019 = 0,73$ ), pri dlhodobom priemere  $OAR_{3,Q} 20018-2020 = 108 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Najvyššia priemerná mesačná úroveň  $OAR_{3,Q} = 107 \text{ kBq.m}^{-3}$  bola zaznamenaná v apríli a v jednotlivej sonde  $OAR_{MAX} = 223 \text{ kBq.m}^{-3}$  v auguste 2020.

Grafické znázornenie hodnôt  $OAR_{3,Q}$  v pôdnom vzduchu v jednotlivých sezónach na monitorovaných objektoch v Nov. Hute, ich vývoj v priebehu sezóny 2020 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2020) 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).

Podložie RP budujú sedimenty paleogénu (bridlice, pieskovce) strednej plynopriepustnosti s vyšším podielom ílovitej frakcie. Ílovité vrstvičky s malou 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 ( $92 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) dochádzalo postupne k výraznému poklesu koncentrácií pôdneho radónu (okrem sezóny 2010 s vysokými úhrnmi zrážok) až na  $35 \text{ kBq.m}^{-3}$  (rok 2013). V nasledujúcich štyroch sezónach boli priemerné hod-

noty  $OAR_{3,Q}$  pomerne vyrovnané a varírovali v rozmedzí 64 až 74  $\text{kBq.m}^{-3}$ . 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  $OAR_{3,Q} = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

Monitoring v sezóne 2020 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 októbri (99  $\text{kBq.m}^{-3}$ ). Najvyšší obsah pôdneho radónu v jednotlivej sonde bol zaznamenaný taktiež v októbri ( $OAR_{MAX} = 129 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Medziročne tu došlo k miernemu poklesu koncentrácií pôdneho radónu: trend  $OAR_{3,Q} 2020/2019 = 0,96$  pri dlhodobom priemere  $OAR_{3,Q} 2002-2020 = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

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

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

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

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu tu bol v roku 2020 zrealizovaný v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na RP Bratislava – Vajnory došlo medziročne k výraznému poklesu obsahov pôdneho radónu (trend  $OAR_{3,Q} 2020/2019 = 0,66$ ), pri strednej hodnote  $OAR_{3,Q} = 29 \text{ kBq.m}^{-3}$  a dlhodobom priemere  $OAR_{3,Q} 2005-2020 = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

Najvyššie úrovne OAR v jednotlivej sonde sa zistili pri jesennom monitoringu (42  $\text{kBq.m}^{-3}$ ). Hodnoty  $OAR_{3,Q}$  tu boli v sezóne 2020 pomerne vyrovnané a dosiahli 27  $\text{kBq.m}^{-3}$  (jar), resp. 30  $\text{kBq.m}^{-3}$  (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 úroveň OAR až  $100 \text{ kBq.m}^{-3}$ . V rokoch 2017 a 2018 sme tu však zaznamenali pomerne rýchly a výrazný pokles OAR v pôdnom vzduchu až na hodnotu  $50 \text{ kBq.m}^{-3}$ . V sezóne 2019 došlo k nárastu na  $OAR_{3,Q} = 74 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2020 uskutočnilo v máji a septembri (dve monitorovania, spolu 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Medziročne tu bol zaznamenaný iba mierny nárast koncentrácií pôdneho radónu z hodnoty  $OAR_{3,Q2019} = 74 \text{ kBq.m}^{-3}$  na hodnotu  $OAR_{3,Q2020} = 77 \text{ kBq.m}^{-3}$  pri trende  $OAR_{3,Q 2020/2019} = 1,04$  a dlhodobom priemere  $OAR_{3,Q 2005-2020} = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

Maximálna OAR v pôdnom vzduchu v jednotlivej sonde dosiahla  $310 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jeseň), s hodnotami  $OAR_{3,Q}$  na úrovni  $59 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jar), resp.  $95 \text{ kBq.m}^{-3}$  (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 2020 graficky dokumentujeme na obr. č. 4.

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum	c <sub>A</sub> - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [KBq.m <sup>-3</sup> ]							Rn riziko	Poznámka	
			N	min c <sub>A</sub>	max c <sub>A</sub>	φ c <sub>A</sub>	σ c <sub>A</sub>	φ + σ	3. kvartil c <sub>A</sub>			
1		29.04.20	17	45	685	258	163	421	311	III	sucho	
2		16.06.20	17	48	1047	385	271	656	530	III	vlhko / mokro	
3		06.08.20	17	4	609	195	168	363	232	III	vlhko	
4		23.10.20	17	46	887	387	280	667	425	III	vlhko	
		<b>rok 2020</b>	<b>68</b>	<b>4</b>	<b>1047</b>	<b>306</b>	<b>221</b>	<b>527</b>	<b>375</b>	<b>III</b>		
		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 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum	c <sub>A</sub> - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m <sup>-3</sup> ]						φ + σ	3. kvartil c <sub>A</sub>	Rn riziko	Poznámka
			N	min c <sub>A</sub>	max c <sub>A</sub>	φ c <sub>A</sub>	σ c <sub>A</sub>	c <sub>A</sub>				
1	Novoveská Huta II	29.04.20	17	17	210	75	47	122	107	III	sucho	
2		19.05.20	17	6	88	43	24	67	62	II	sucho	
3		16.06.20	17	7	126	61	39	100	103	III	vlhko / mokro	
4		13.07.20	17	17	140	73	38	111	104	III	vlhko	
5		05.08.20	17	21	223	64	51	115	69	II	vlhko	
6		17.09.20	17	12	147	65	35	100	82	III	sucho	
7		26.10.20	17	4	138	80	40	120	97	III	mokro	
		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 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum	c <sub>A</sub> - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m <sup>-3</sup> ]						Rn riziko	Poznámka		
			N	min c <sub>A</sub>	max c <sub>A</sub>	φ c <sub>A</sub>	σ c <sub>A</sub>	φ + σ			3. kvartil c <sub>A</sub>	
1		29.04.20	17	24	64	47	13	60	56	II	sucho	
2		19.05.20	17	10	81	45	19	64	55	II	sucho	
3		16.06.20	17	15	113	63	25	88	81	III	vlhko / mokro	
4		13.07.20	17	16	86	49	20	69	57	II	vlhko	
5		05.08.20	17	20	83	47	19	66	59	II	vlhko	
6		17.09.20	17	25	95	84	22	106	81	III	sucho	
7		26.10.20	17	7	129	77	33	110	99	III	mokro	
		<b>rok 2020</b>	<b>119</b>	<b>7</b>	<b>129</b>	<b>59</b>	<b>22</b>	<b>80</b>	<b>70</b>	<b>II</b>		
		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 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum	$c_A$ - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m <sup>-3</sup> ]						Rh riziko	Poznámka		
			N	min $c_A$	max $c_A$	$\phi$ $c_A$	$\sigma$ $c_A$	$\phi + \sigma$			3. kvartil $c_A$	
1	Banská Bystrica - Podlavice	18.05.20	17	12	91	42	24	66	59	II	sucho	
2		16.09.20	17	28	310	97	81	178	95	II	sucho	
		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<sup>-3</sup>]

N počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)

min  $c_A$  minimálna hodnota OAR z N

max  $c_A$  maximálna hodnota OAR z N

$\phi$   $c_A$  stredná hodnota OAR z N meraných hodnôt  $c_A$

$\sigma$   $c_A$  štandardná odchýlka OAR z N meraných hodnôt  $c_A$

3. kvartil  $c_A$  tretí kvartil z N hodnôt  $c_A$

Rn riziko I – nízke, II – stredné, III – vysoké

Atm. tlak [hPa]

### 3.2 Pôdny radón na tektonike

Prvé orientačné emanačné merania na lokalite **Dobrá Voda** boli zrealizované v sezóne 2012 na profile DV-1, založenom cca 1,1 km SSZ od centra rovnomennej obce. Profil mal smer približne SV–JZ, dĺžku 80 m a krok odberu vzoriek pôdneho radónu 5 m.

Poruchová zóna, vysledovaná vo wettersteinských dolomitoch (stredný trias) a prekrytá fluviálnymi nivnými sedimentmi, sa prejavila výrazným nárastom koncentrácií pôdneho radónu s  $OAR_{MAX} = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$  v normálnom poli o úrovni pod  $2 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

V sezóne 2013 boli merania OAR v pôdnom vzduchu vykonané na geofyzikálnom profile DV-2, situovanom cca 80 m SZ od profilu DV-1. Plynometria bola zrealizovaná zároveň s geoelektrickým prieskumom metódou odporovej tomografie (ERT – multikábel) s krokom merania 5,5 m (obr. č. 5 v ročnej správe za rok 2013).

Sledovaná poruchová zóna bola aj na tomto profile indikovaná výrazným nárastom koncentrácií pôdneho radónu s  $OAR_{MAX} = 20 \text{ kBq.m}^{-3}$  v normálnom poli cca  $1 \text{ kBq.m}^{-3}$  a tiež výrazným poklesom rezistivity z úrovne presahujúcej 3.000 ohm.m v slabo porušených, zvetraných (?) wettersteinských dolomitoch až k hodnote pod 300 ohm.m nad samotnou tektonickou dislokáciou.

V sezónach 2014 a 2015 boli vykonané detailné merania koncentrácií pôdneho radónu na plochách P1, resp. P2 (zhodne po 6 emanometrických profilov, sieť 5 x 10 m), založených v okolí, resp. južne od emanačnej anomálie vysledovanej v roku 2012 na profile DV-1 (obr. č. 5 v ročnej správe za rok 2018).

Poruchová zóna sa aj v sezóne 2015 na ploche P2 výrazne prejavila anomálnym zvýšením koncentrácií pôdneho radónu  $OAR_{MAX} = 48 \text{ kBq.m}^{-3}$ , v normálnom poli cca  $7 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

V sezóne 2016 sa detailným radónovým prieskumom pokračovalo j.jv. smerom na ploche P3 (obr. č. 5) – päť emanometrických profilov v sieti 2-5 x 5-10 m (podľa priechodnosti terénom). Poruchová zóna tu bola indikovaná doposiaľ najvyššími koncentraciami pôdneho radónu:  $OAR_{MAX} = 62 \text{ kBq.m}^{-3}$ , v normálnom poli pod  $10 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

Pokračovanie tektonickej dislokácie južným smerom v areáli plochy P4 (3 profily, sieť 5x5 m; spolu 60 sond) v sezóne 2017 nebolo zaznamenané ( $OAR_{MAX} = 28 \text{ kBq.m}^{-3}$ , v normálnom poli  $\sim 5 \text{ kBq.m}^{-3}$  (obr. č. 5 v RS za rok 2018).

V sezóne 2018 boli detailné merania OAR nad tektonikou zrealizované na ploche P5 (sieť cca 5x5 m), ale pokračovanie sledovanej štruktúry južným smerom nebolo indikované:  $OAR_{MAX} = 34 \text{ kBq.m}^{-3}$ , normálne pole  $\sim 6 \text{ kBq.m}^{-3}$  (obr. č. 5 v RS za rok 2018). V sezóne 2019 bola na ploche D1 overovaná a detailizovaná výrazná anomália obsahov pôdneho radónu v mieste prieniku plôch P2 a P3, preskúmaných v predošlých monitorovacích obdobiach

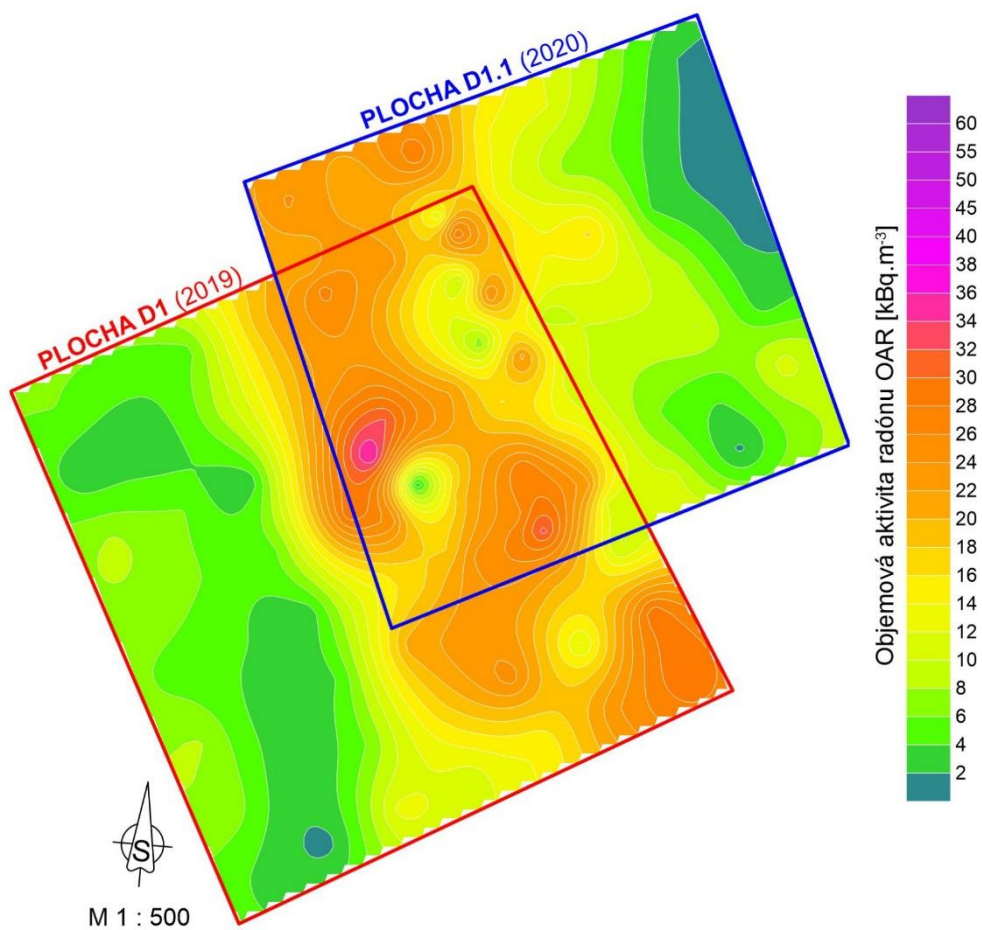
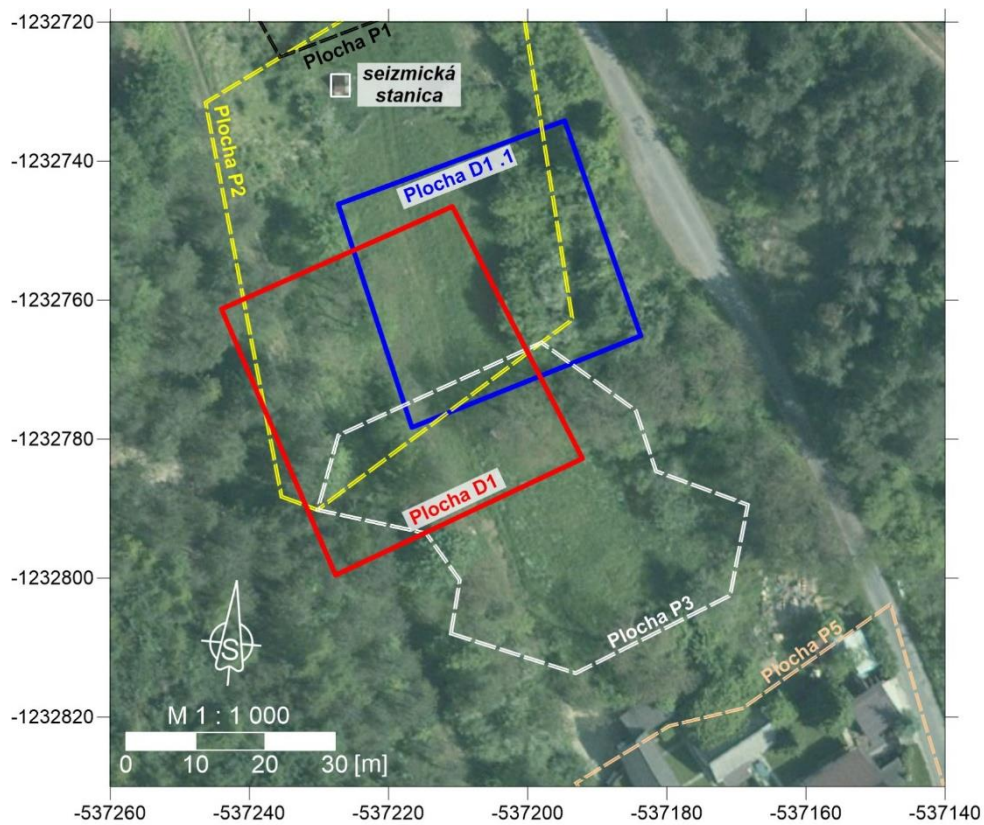
(obr. 5). Zrealizovaný tu bol súbor meraní OAR (sieť 5x5 m) pri  $OAR_{MAX} = 32 \text{ kBq.m}^{-3}$ , v normálnom poli  $\sim 4 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Obdobie s pomerne nízkymi zrážkami sa tu prejavilo na poklese OAR, čím sa aj na tejto lokalite potvrdila závislosť medzi vlhkosťou pokryvných útvarov a koncentraciami pôdneho radónu. Areál plochy D1 sme navrhli v ďalších rokoch pravidelne monitorovať aj v obdobiach po významnejších zrážkach.

V roku 2020 bola na ploche D1.1 (obr. č. 5) overovaná a detailizovaná výrazná anomália obsahov pôdneho radónu v mieste prieniku plôch P2, P3 a D1, preskúmaných v predošlých monitorovacích obdobiach. Zrealizovaný tu bol súbor meraní OAR (sieť 5x5 m) pri  $OAR_{MAX} = 37 \text{ kBq.m}^{-3}$ , v normálnom poli  $\sim 5 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

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*).

Oblasť poruchovej zóny v areáli lokality Dobrá Voda sa jednoznačne prejavuje zvýšením koncentrácií pôdneho radónu. Vysledovaná tektonická dislokácia pozitívne ovplyvňuje transport radónu do pripovrchových častí aj z väčších hĺbok, takže obsahy radónu v pôdnom vzduchu tu dosahujú anomálne hodnoty, rádovo prevyšujúce pozadie.





Obr. č. 5 Pôdny radón nad zlomom - detailizácia anomálie OAR  
 Lokalita: Dobrá Voda, plochy D1 (rok 2019) a D1.1 (rok 2020)

### 3.3 Radón vo vodách

Práce a činnosti, vykonávané pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd, boli v roku 2020 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 meraní 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 2020 graficky prezentujeme formou prehľadných stĺpcových grafov na obr. č. 6, 7 a 8.

V tab. č. 4 uvádzame základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za obdobie sezóny 2020, 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 koncentrácií radónu a výdatností sledovaných vodných zdrojov za obdobie 2002 (2006) až 2020 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 2020 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 malý nárast koncentrácií radónu: trend  $OAR_{2020/2019} = 1,03$ ; priemerná ročná hodnota  $OAR_{2020} = 39 \text{ Bq.l}^{-1}$ ; dlhodobý priemer  $OAR_{2002-2020} = 34 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

Zreteľný pokles obsahov radónu v zdrojoch podzemných vôd bol medziročne zaznamenaný na prameni Zbojníčka (trend  $OAR_{2020/2019} = 0,80$ ), pri strednej ročnej úrovni  $OAR_{2020} = 254 \text{ Bq.l}^{-1}$  a dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2020} = 267 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

Pokles OAR v podzemných vodách bol v roku 2020 medziročne zaznamenaný aj v prameni Himligárka (trend  $OAR_{2020/2019} = 0,91$ ) pri hodnote  $OAR_{2020} = 191 \text{ Bq.l}^{-1}$  a dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2020} = 173 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Pri jesennom monitoringu nebolo možné na tomto prameni korektne odobrať vzorku vody.



Koeficienty variácií OAR ( $V_{Rn}$ ) v sezóne 2020 sú nízke a dosiahli max. 8 % (tab. 4).

Priemerné výdatnosti monitorovaných prameňov v sezóne 2020:  $Q_{Mária} = 0,053 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $Q_{Zbojnička} = 0,223 \text{ l.s}^{-1}$  a z jedného odberu  $Q_{Himligárka} = 0,047 \text{ l.s}^{-1}$ .

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**, lokalizovaný severne od obce Bacúch, bol v uplynulej sezóne 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 ( $404 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) bolo zaznamenané v marci a minimum ( $175 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) v októbri 2020 (tab. č. 4, obr. č. 7); trend  $OAR_{2020/2019} = 1,07$ ; stredná hodnota  $OAR_{2020} = 300 \text{ Bq.l}^{-1}$  a dlhodobý priemer  $OAR_{2002-2020} = 279 \text{ Bq.l}^{-1}$  (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2020 dosiahla  $0,024 \text{ l.s}^{-1}$ , pri pomerne nízkom koeficiente variácie ( $V_Q = 12 \%$ ) (tab. č. 5). Aj v porovnaní s predošlými monitorovacími sezónami sa jedná o dlhodobo relatívne stabilnú úroveň: v sezónach 2002 až 2020 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  $OAR_{2020} = 208 \text{ Bq.l}^{-1}$  (trend  $OAR_{2020/2019} = 0,94$ ), čo je pokles oproti roku 2019; dlhodobý priemer  $OAR_{2002-2020} = 182 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Najvyššia hodnota  $OAR = 265 \text{ Bq.l}^{-1}$  bola nameraná vo februári a najnižšia ( $137 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) v júli 2020 (obr. č. 6; tab. č. 4, 5 a 6).

Výdatnosť prameňa sa v roku 2020 pohybovala v rozmedzí  $0,034 - 0,051 \text{ l.s}^{-1}$ , so strednou hodnotou  $0,046 \text{ l.s}^{-1}$  a koeficiente variácie  $V_Q = 10 \%$ . 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 obce Oravice (neďaleko vrtu OZ-1), bolo monitorované v apríli a októbri 2020.

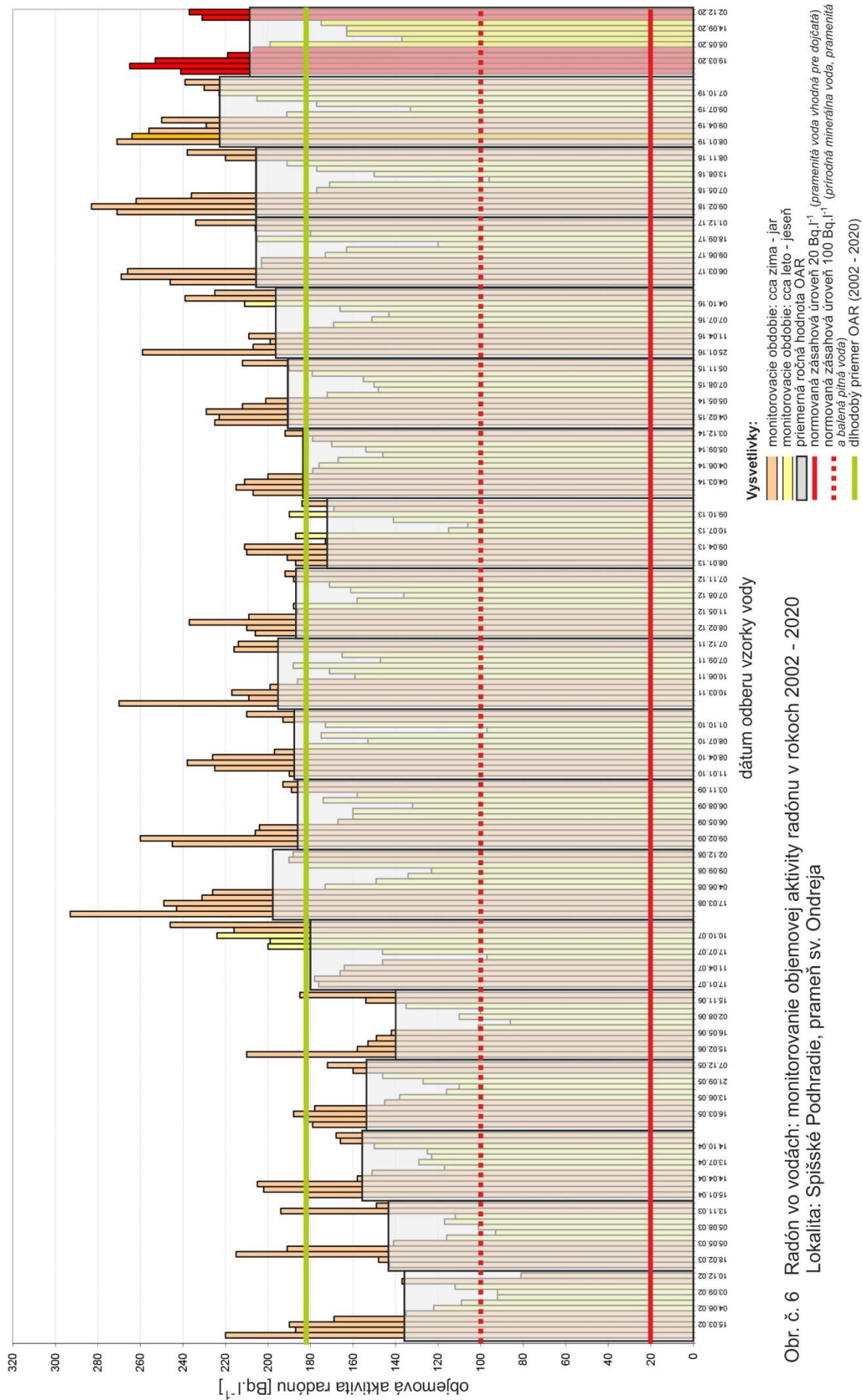
Vody tohto zdroja majú hlboký obeh, viazaný na predterciérne útvary a zóny hlbíných tektonických dislokácií. Zdroj radónu je nielen emanačný (získavaný z prostredia emanujúcich hornín), ale aj autogénny (vznikajúci rozpadom rádia obsiahnutého vo vode).

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

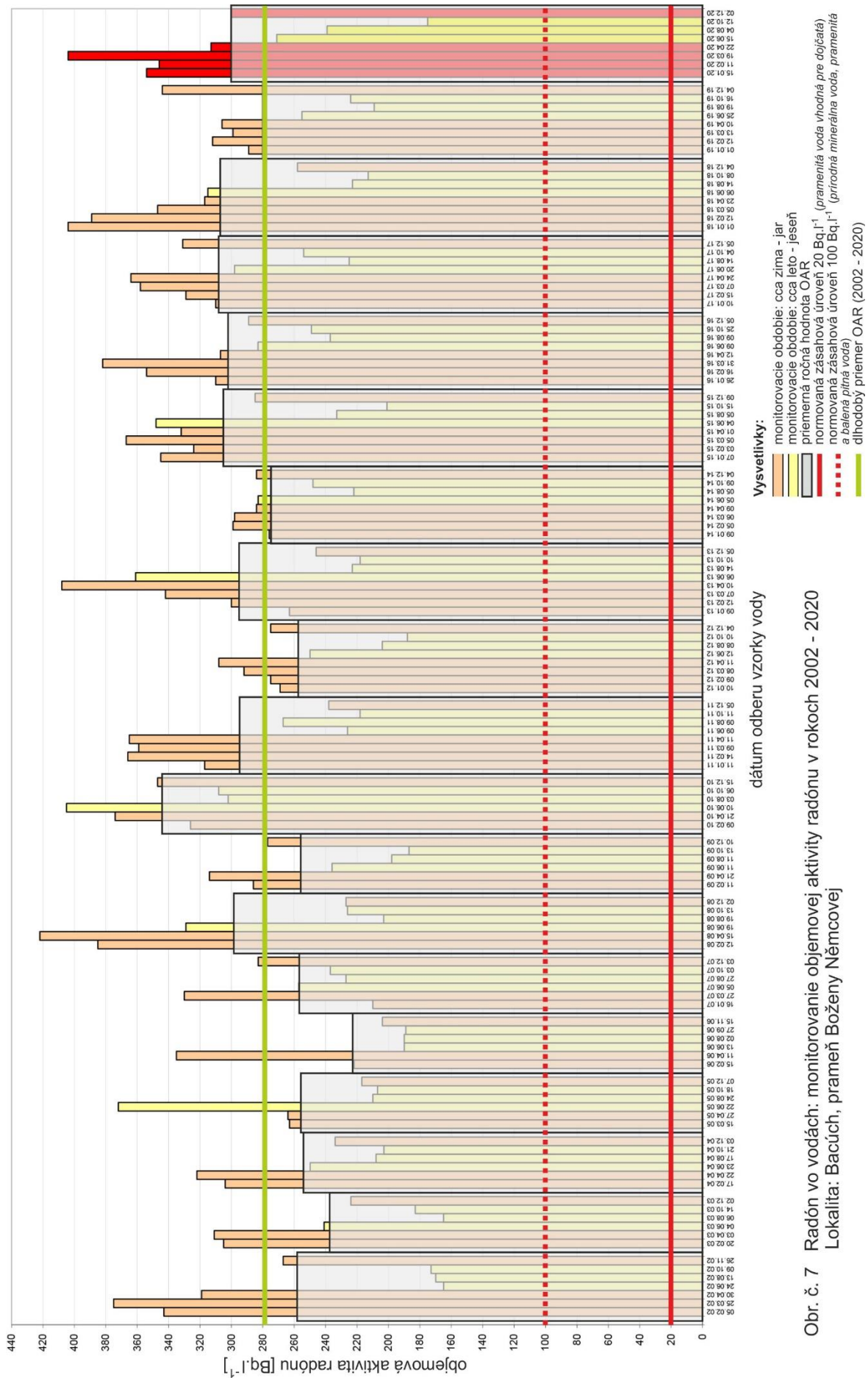
Potvrdzujú to aj výsledky meraní v roku 2020, kedy boli namerané hodnoty  $OAR = 1241 \text{ Bq.l}^{-1}$  na jar a  $1180 \text{ Bq.l}^{-1}$  na jeseň (trend  $OAR_{2020/2019} = 1,53$ ), pri strednej ročnej úrovni  $OAR_{2020} = 1211 \text{ Bq.l}^{-1}$  a dlhodobom priemere  $OAR_{2006-2019} = 1066 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Treba poznamenať, že hodnoty namerané v roku 2019 podobne ako v roku 2006 sa výraznými poklesmi vymykajú z intervalu bežných hodnôt nameraných na tomto zdroji.

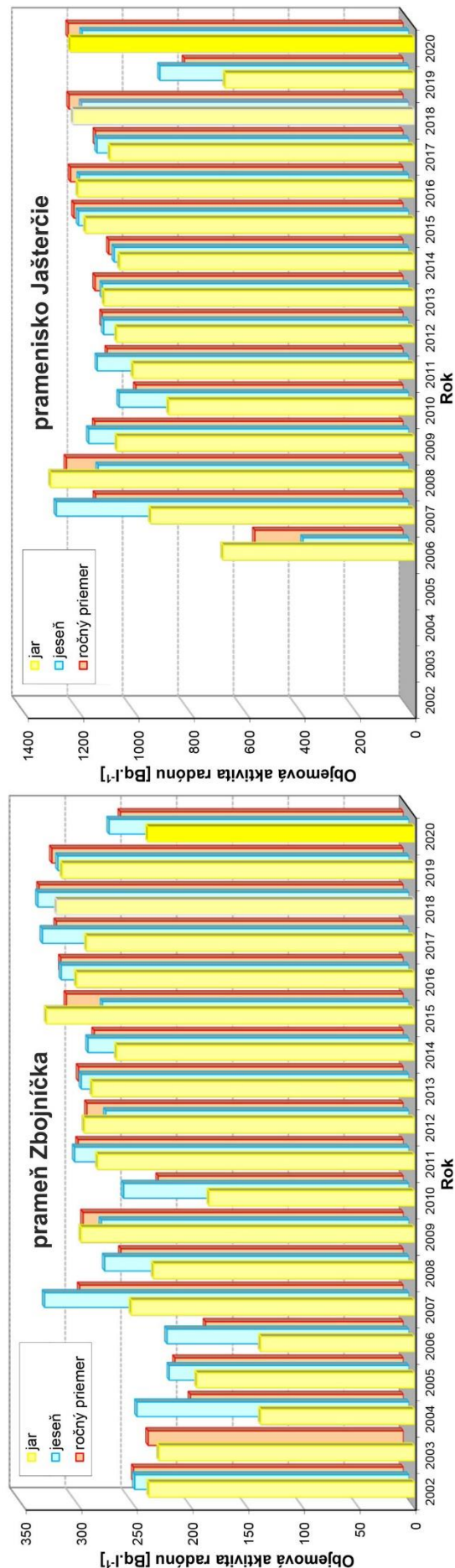
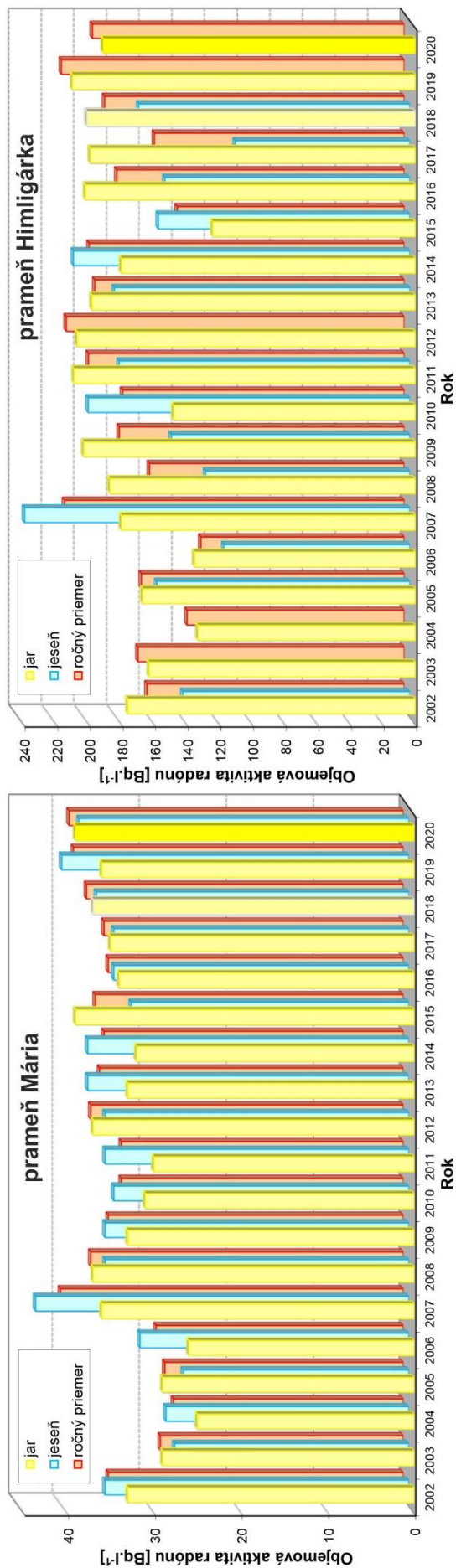
Vzhľadom na charakter zdroja – pramenisko so starým poškodeným zberným objektom – nie je možné (bez pomerne náročných technických prác) určiť jeho výdatnosť.

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 - 2020  
 Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja





Obr. č. 8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2020  
 Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum		<sup>222</sup> Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Q [l.s <sup>-1</sup> ]	t-voda [°C]	t-vzduch [°C]	Rn <sub>min</sub> [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Rn <sub>max</sub> [Bq.l <sup>-1</sup> ]	φ Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]	v Rn [ % ]	
		Rok										
1	Bratislava - prameň Mária	18.05.20		39	0.074	8	8					
2		16.09.20		38	0.038	11	17					
		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 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn		
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]		
1		18.05.20	239	0.118	8	8						
2		16.09.20	269	0.067	11	18						
		<b>2020</b>					<b>239</b>	<b>269</b>	<b>254</b>	<b>8</b>		
		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 Zbojníčka



tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	<sup>222</sup> Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Q [l.s <sup>-1</sup> ]	t-voda [°C]	t-vzduch [°C]	Rn <sub>min</sub> [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Rn <sub>max</sub> [Bq.l <sup>-1</sup> ]	φ Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]	v Rn [%]		
1		18.05.20	191	0.047	7	8						
2		16.09.20	<i>nebolo možné korektne odobrať vzorku vody</i>									
		<b>2020</b>	<b>191</b>				-	-	<b>191</b>	-		
		2019					-	-	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	-		
		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	-	-	-		
		2002					139	176	158	17		

Bratislava - prameň Himligárka

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2019, porovnanie 2002 - 2020											
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn	
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]	
1	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	15.01.20	354	0.023	6	-3					
2		11.02.20	346	0.025	6	1					
3		19.03.20	404	0.030	7	16					
4		22.04.20	313	0.025	8	14					
5		15.06.20	271	0.023	8	18					
6		04.08.20	239	0.021	10	20					
7		12.10.20	175	0.023	10	11					
8		02.12.20	300	0.022	7	-3					
			<b>2020</b>					<b>175</b>	<b>404</b>	<b>300</b>	<b>24</b>
			2019					209	344	280	17
			2018					213	404	308	23
		2017					225	364	309	16	
		2016					118	382	280	29	
		2015					201	367	305	20	
		2014					222	299	274	10	
		2013					218	408	295	24	
		2012					188	308	258	16	
		2011					218	366	295	22	
		2010					302	405	344	12	
		2009					187	314	250	20	
		2008					203	422	299	31	
		2007					210	330	257	17	
		2006					189	335	222	23	
		2005					207	372	256	22	
		2004					203	322	254	18	
		2003					165	311	238	26	
		2002					165	375	259	35	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2019, porovnanie 2002 - 2020												
p.č.	Lokalita	Dátum Rok	<sup>222</sup> Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Q [l.s <sup>-1</sup> ]	t-voda [°C]	t-vzduch [°C]	Rn <sub>min</sub> [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Rn <sub>max</sub> [Bq.l <sup>-1</sup> ]	φ Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]	v Rn [%]		
1		15.01.20	241	0.050	7	-5						
2		11.02.20	265	0.048	6	2						
3		19.03.20	253	0.048	7	7						
4		21.04.20	219	0.045	8	-2						
5		11.05.20	207	0.051	9	10						
6		05.06.20	199	0.043	10	16						
7		09.07.20	137	0.043	13	17						
8		06.08.20	163	0.046	14	21						
9		14.09.20	163	0.045	14	13						
10		07.10.20	175	0.050	13	9						
11		05.11.20	231	0.043	11	8						
12		02.12.20	237	0.034	8	-5						
		<b>2020</b>					<b>137</b>	<b>265</b>	<b>208</b>	<b>20</b>		
		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		
	<b>Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja</b>											

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2019, porovnanie 2002 - 2020											
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn	
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[%]	
1	Oravice: pramenisko Jašterčie - pri vrte OZ-1	22.04.20	1241	nemerateľná	18	9					
2		12.10.20	1180	nemerateľná	18	10					
		2020		1180				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:

<sup>222</sup>Rn objemová aktivita radónu (OAR) vo vode c<sub>A</sub> [Bq.l<sup>-1</sup>]

Q výdatnosť vodného zdroja [l.s<sup>-1</sup>]

t-voda teplota vody [°C]

t-vzduch teplota vzduchu [°C]

Rn<sub>min</sub> minimálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]

Rn<sub>max</sub> maximálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]

φ Rn stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]

v Rn variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2020

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



tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2020

p.č.	Lokalita	Obdobie	$^{222}\text{Rn}$ [Bq.l <sup>-1</sup> ]			Výdatnosť Q [l.s <sup>-1</sup> ]		
			φ Rn	σ Rn	v Rn [%]	φ Q	σ Q	v Q [%]
3	Bratislava - prameň Himligárka	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
		4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	2020	300	71.9	24	0.024
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 - 2020

p.č.	Lokalita	Obdobie	<sup>222</sup> Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]			Výdatnosť Q [l.s <sup>-1</sup> ]			
			φ Rn	σ Rn	v Rn [%]	φ Q	σ Q	v Q [%]	
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	2020	208	40.6	20	0.046	0.005	10	
		2019	222	40.1	18	0.047	0.006	13	
		2018	206	55.4	27	0.038	0.006	14	
		2017	206	43.7	21	0.036	0.005	13	
		2016	197	35.5	18	0.040	0.004	11	
		2015	191	30.1	16	0.040	0.003	7	
		2014	183	22.5	12	0.037	0.003	9	
		2013	172	34.1	20	0.037	0.007	18	
		2012	187	27.4	15	0.041	0.005	11	
		2011	195	33.5	17	0.036	0.006	17	
		2010	188	38.0	20	0.038	0.005	13	
		2009	187	37.3	20	0.039	0.004	11	
		2008	198	51.1	26	0.042	0.005	12	
		2007	180	40.4	22	0.040	0.008	20	
		2006	140	35.0	25	0.041	0.006	14	
		2005	154	26.0	17	0.044	0.006	13	
		2004	156	28.6	18	0.039	0.006	14	
		2003	143	39.1	27	0.033	0.006	19	
		2002	137	44.8	33	0.034	0.010	30	
		6	Oravice - pramenisko Jašterčie OZ-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:**  $^{222}\text{Rn}$  - objemová aktivita radónu (OAR) vo vode  $c_A$  [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]  
 $\phi$   $\text{Rn}$  - stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]  
 $\sigma$   $\text{Rn}$  - štandardná odchýlka OAR za hodnotené obdobie [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]  
 $v$   $\text{Rn}$  - variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]

$Q$  výdatnosť vodného zdroja [ $\text{l.s}^{-1}$ ]  
 $\phi$   $Q$  priemerná výdatnosť  $Q$  za hodnotené obdobie [ $\text{l.s}^{-1}$ ]  
 $\sigma$   $Q$  smerodajná odchýlka  $Q$  za hodnotené obdobie [ $\text{l.s}^{-1}$ ]  
 $v$   $Q$  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 2020 v rozsahu porovnateľnom s predchádzajúcimi sezónami.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsystéme v sezóne 2020, 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 2020 vykonávalo s rôznou frekvenciou v období apríl až október na lokalitách v strednom a vysokom radónovom riziku: Bratislava – RP Vajnory, Banská Bystrica – RP Podlavice, Spišská Nová Ves – RP Novoveská Huta a RP Teplička, resp. až v extrémnom radónovom riziku 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 D1.1) boli zrealizované v auguste 2020.

Objemová aktivita radónu v zdrojoch podzemných vôd bola sledovaná v troch prameňoch v oblasti Malých Karpát v extraviláne Bratislavy (pramene Mária, Zbojníčka a Himli-gárka – 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. Prehľad priemerných ročných zrážkových úhrnov pre územie SR za obdobie 2002 – 2020 uvádzame v tab. č. 6 (zdroj: [www.shmu.sk](http://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 sa v sezóne 2020 na monitorovaných lokalitách prakticky neprejavila (trendy  $OAR_{3,Q\ 2020/2019} = 0,66$  na RP Vajnory až  $0,96$  na RP Teplička; tab. č. 6). Výnimkou, potvrdzujúcou doterajšiu skúsenosť, je iba RP Podlavice s trendom  $OAR_{3,Q\ 2020/2019} = 1,04$ .

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.

Nejednoznačnou sa doposiaľ javí závislosť zvýšenia úrovne OAR v pôdnom vzduchu v sezónach s vysokými zrážkovými úhrnmi, ktorá bude vyžadovať dlhodobejšie sledovanie.

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 2020 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 pomerne 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 radónu v pôdnom vzduchu 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  $282 \text{ kBq.m}^{-3}$ , v roku 2019 nárast na  $416 \text{ kBq.m}^{-3}$  a v roku 2020 opäť pokles na  $375 \text{ kBq.m}^{-3}$ , čo je pomerne výrazne pod úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{3,Q 2002-2020} = 447 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).
- **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  $88 \text{ kBq.m}^{-3}$ , (rok 2016), ale v sezóne 2017 opäť poklesli na  $68 \text{ kBq.m}^{-3}$ . V sezóne 2018 opäť stúpili na  $82 \text{ kBq.m}^{-3}$  (RP Nov. Huta), resp.  $113 \text{ kBq.m}^{-3}$  (RP Nov. Huta II – iba dva monitorinky). V areáli **RP Novoveská Huta II** došlo v sezóne 2019 k nárastu  $OAR_{3,Q 2019} = 122 \text{ kBq.m}^{-3}$  a v roku 2020 naopak k zreteľnému poklesu na  $89 \text{ kBq.m}^{-3}$ .
- **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 úroveň  $69 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Dlhodobý priemer  $OAR_{3,Q 2002-2020} = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$ .
- **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 úrovne OAR pomerne vyrovnané ( $31 - 35 \text{ kBq.m}^{-3}$ ), ale v roku 2019 stúpili na  $44 \text{ kBq.m}^{-3}$ . V roku 2020 bol zaznamenaný výrazný pokles na hodnotu  $29 \text{ kBq.m}^{-3}$  pri dlhodobom priemere  $OAR_{3,Q 2005-2020} = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$ .
- **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  $100 \text{ kBq.m}^{-3}$ , ale v rokoch 2017 – 2018 poklesli na  $65 \text{ kBq.m}^{-3}$  (2017), resp. iba  $48 \text{ kBq.m}^{-3}$  (2018). V sezóne 2019 naopak výrazne narástli na  $74 \text{ kBq.m}^{-3}$  a mierny nárast na úroveň  $77 \text{ kBq.m}^{-3}$  registrujeme aj v sezóne 2020. Dlhodobý priemer  $OAR_{3,Q 2005-2020} = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

- Hodnoty  $OAR_{3,Q}$  v pôdnom vzduchu, zaznamenané v roku 2020, sú v porovnaní s dlhodobým priemerom prevažne znížené a pohybujú sa v rozmedzí od 70 % (RP Vajnory) po 106 % (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 úrovní 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 na lokalite **Dobrá Vođa** jednoznačne potvrďujú výskyt porušenej zóny, pozitívne ovplyvňujúcej transport radónu k povrchu z väčších hĺbok. Obsahy pôdneho radónu tu dosahujú anomálne hodnoty, 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  $OAR_{2002-2020} = 27 - 40 \text{ Bq.l}^{-1}$ ), s dlhodobým priemerom  $34 \text{ Bq.l}^{-1}$ .
- **prameň Zbojnička** (Malé Karpaty) dosiahol priemernú ročnú úroveň  $OAR_{2020} = 254 \text{ Bq.l}^{-1}$ , stredné hodnoty  $OAR_{2002-2020} = 178 - 327 \text{ Bq.l}^{-1}$ , dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol  $267 \text{ Bq.l}^{-1}$ .
- **prameň Himligárka** (Malé Karpaty): v uplynulej sezóne dosiahol priemernú ročnú úroveň  $OAR_{2020} = 191 \text{ Bq.l}^{-1}$  pri variabilite  $OAR_{2002-2020} = 125 - 210 \text{ Bq.l}^{-1}$ , dlhodobý priemer je na úrovni  $173 \text{ Bq.l}^{-1}$ .
- **prameň Boženy Němcovej** (Bacúch): v roku 2020 došlo k nárastu až na  $300 \text{ Bq.l}^{-1}$ , priemerné ročné úrovne  $OAR_{2002-2020}$  varírujú v pomerne širokom rozmedzí  $222 - 344 \text{ Bq.l}^{-1}$ , dlhodobý priemer  $OAR_{2002-2019} = 279 \text{ Bq.l}^{-1}$ .
- **prameň sv. Ondreja** (Spišské Podhradie): v roku 2020 tu dosiahla OAR úroveň  $208 \text{ Bq.l}^{-1}$  (druhá najvyššia hodnota od sezóny 2002), variabilita  $OAR_{2002-2020} = 137 - 222 \text{ Bq.l}^{-1}$ , dlhodobý priemer  $182 \text{ Bq.l}^{-1}$ .
- **pramenisko Jašterčie** (Oravice): objekt vykazuje najvyššiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka  $\sigma_{2006-2020} = 198 \text{ Bq.l}^{-1}$ ). Po výraznom poklese v roku 2019 ( $791 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) dosiahla v roku 2020 OAR druhú naj-



vyššiu hodnotu 1211 Bq.l<sup>-1</sup>. Na tejto lokalite sú dosahované najvyššie známe OAR v prírodných podzemných vodách, priemerné ročné úrovne OAR<sub>2006-2020</sub> sa pohybujú v intervale 536 – 1217 Bq.l<sup>-1</sup>, dlhodobý priemer je 1066 Bq.l<sup>-1</sup>.

- na žiadnom z monitorovaných objektov nebola zistená korelačná závislosť medzi objemovou aktivitou radónu vo vode a výdatnosťou prameňa.
- obsahy radónu v podzemných vodách, zaznamenané v sezóne 2020, boli v porovnaní s dlhodobými priemermi prevažne zvýšené a pohybovali sa v rozmedzí 95 % (prameň Zbojnička) až po 115 % (prameň Mária a výver Oravice).
- 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 podhodnotenia, resp. nadhodnotenia radónového rizika 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 2020, ale aj z predchádzajúcich sezón, dokumentujú skutočnosť, že zmeny (variácie) jeho koncentrácií sú jednak pravidelné (sezónne), ale aj náhodné (miestne, časové, ...). Postupne získavané a zhromažďované poznatky o variabilite obsahov radónu v horninovom prostredí a 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.

## 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 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
- 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, L., 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., Pauditš, P., Petro, L., Dananaj, I., Hagara, R., Moczo, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferianc, D., Vanko, J., Kováčiková, M., Záhorová, L., 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