

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 2018

Názov geologickej úlohy: **oblastný monitorovací systém Geologické faktory**

číslo geologickej úlohy: **207**

Zodpovedný riaditeľ geologickej úlohy: **RNDr. Pavel Liška, CSc.**

Zodpovedný riaditeľ geologickej úlohy: **RNDr. Augustín Gluch**

Spoluriaditeľ : **RNDr. Igor Zeman**

Zástupca zhotoviteľa a geologických prác: **RNDr. Pavel Liška, CSc.**

Štátny zástupca zhotoviteľa a geologických prác: **Ing. Branislav Fieč, CSc.**
generálny riaditeľ ŠGÚ

Bratislava september 2019

OBSAH

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Metodika prác	2
3.	Prehľad a výsledky realizovaných prác	6
3.1	Pôdny radón na referenčných plochách	6
3.2	Pôdny radón na tektonike	19
3.3	Radón vo vodách	21
4.	Záver a odporúčania	38
5.	Literatúra	44

1. ÚVOD

ľudská populácia je všeobecne vystavená úinkom rôznych druhov žiarení. Problematika prírodnej, ale aj umelej (vyvolanej) rádioaktivity však bola desa roia prakticky štabuõ. Urán bol strategickou surovinou pre jadrový (zbrojný, energetický) priemysel a výsledky prieskumu i vedeckého výskumu z tejto oblasti sa (najmä v období tzv. študenej vojnyõ) prísne utajovali. Zdravotné riziká a dopady na obyvateľstvo sa zväa bagatelizovali a často sa usudzovalo, že radón a dcérske produkty jeho nukleárneho rozpadu bezprostredne ohrozujú len baníkov v uránových baniach.

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

Vplyvmi expozície radónom sa v zahraničí zaoberajú viaceré renomované inštitúcie (napr. UNSCEAR o *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, ICRP o *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 , ...) vznikajúce pri jeho nukleárnom rozpade. Tieto sú adsorbované v dýchacích cestách ľloveka, kde dochádza ku kontaktnému ošarovaniu buniek púčného tkaniva, o čom môže v konečnom dôsledku viesť k vzniku zhubného karcinómu púč.

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

Výsledky nových epidemiologických štúdií preukázali, že expozícia radónom má za následok aj ďalšie formy zdravotného poškodenia, ako sú choroby cievneho a tráviaceho ústrojenstva. Pravdepodobnosť zdravotného poškodenia je zrejme 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 úinkami ionizujúceho žiarenia o spracovanie legislatívy zameranej na ochranu obyvateľstva a zavádzanie radónových programov, v ktorých informovanosť obyvateľstva patrí medzi priority.

Pri neustále sa zhoršujúcich environmentálnych podmienkach je dôležitá aj radiačná ochrana, a to hlavne pred vnútorným ošarovaním prírodnými rádionuklidmi, nako ko radón a dcérske produkty jeho rozpadu sa na radiačnej expozícii podieajú 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 aľ desiatky rokov) variácie koncentrácií 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 2018 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 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 PRÁČ

Celý rad prírodných rádionuklidov a produktov ich jadrového rozpadu je permanentne prítomných vo všetkých zložkách životného prostredia, t. j. v horninách, vodách i v ovzduší. Radón ^{222}Rn (zdroj alfa žiarenia s polčasom rozpadu 3,825 d) 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 veľmi nízku hustotu neľ vzduch (je najľahším plynom v prírode), je dobre rozpustný vo vode (aľ 51 % svojho objemu) a ľte ľpšie 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 adsorbcia radónu rastie s poklesom teploty prostredia.

Radón pomerne ľahko preniká horninovým prostredím, pri čom sa šíri difúznym

a konvekčným prúdením. Hlavným zdrojom prírodného radónu je geologické prostredie, t. j. niektoré minerály a horniny ale aj podzemné vody prechádzajúce horninami so zvýšeným obsahom uránu. Vzhľadom na polčas rozpadu materských prvkov (^{238}U ~ 4,5 mld. rokov, ^{226}Ra ~ 1600 rokov) je z geologického prostredia zaistený jeho trvalý prísun.

Radón má výrazné migračné vlastnosti a jeho obsahy v pôdnom vzduchu i vo vodách nie sú stabilné. Závisia nielen od koncentrácií rádia v hornine, ale aj od ďalších faktorov ovplyvujúcich jeho šírenie (meteorologické podmienky ako vlhkosť, teplota, tlak, rýchlosť vetra; plynopriepustnosť a 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. 1) radónového rizika. Pri výbere lokalít sa vychádzalo z výsledkov hodnotenia starších geologických prác, zaoberajúcich sa problematikou prírodnej rádioaktivity, s cieľom zadokumentovať zmeny, resp. variácie obsahov radónu v rôznych geologických jednotkách.

Tab. 1 Stanovenie kategórie radónového rizika referenčnej plochy

KATEGÓRIA RADÓNOVÉHO RIZIKA	3. kvartil - OBJEMOVÁ AKTIVITA RADÓNU [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]		
	<i>Plynopriepustnosť zeminy</i>		
	<i>malá</i>	<i>stredná</i>	<i>dobrá</i>
nízke I	< 30	< 20	< 10
stredné II	30 až 100	20 až 70	10 až 30
vysoké III	> 100	> 70	> 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, na ploche do cca 400 m². 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 rizika 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 zatkané 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 scintilovej Lucasovej komory o objeme 125 ml.

Lucasova komora (LK) je kalibrovaný scintilový 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: poasiť, 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}Rn vo vode sú odobierané do sklenených vzorkovníčok so zabrušeným hrdlom, do plna (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 vzorkovníčky 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 %. Tretia 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 v znení neskorších predpisov a v zmysle vyhlásenia Ministerstva zdravotníctva SR č. 528/2007 Z. z., ktorou sa stanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ošetrovania z prírodného ošetrovania.

Pri meraní OAR sa používa kalibrované a metrologicky overené meracie zariadenie typu LUK-4A, vyvíjajúce princíp scintilovej 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 aparatúry
 - 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 dostať nepresne pre $t_r \times 210$ min a približne 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
 - rozpadová konštanta ^{222}Rn ($0,0001258437 \text{ min}^{-1}$)

Radónové riziko referenčnej plochy je hodnotené v zmysle novelizovanej Smernice MfP SR (prebieha jej schvaľovanie) a podľa prílohy č. 6 k vyhláske MZ SR č. 528/2007 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ošetrovania z prírodného ošetrovania, kde sú doporučené hranice pre stanovenie troch kategórií radónového rizika (nízke, stredné a vysoké) na základe kvantitatívneho posúdenia nameranej objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti zemín podľa tab. č. 1 (verzie vyhotovené tabuľky dokladujeme v prílohe **TABUĽKA KY predkladanej správy**).

Plynopriepustnosť miestnych zemín a hornín sa pre každú referenčnú plochu určila skrátenou granulometrickou analýzou odoberatej vzorky zeminy, a to podľa percentuálneho podielu jemných častíc f (priemer častíc $< 0,06 \text{ mm}$) v zmysle tab. č. 2.

Tab. č. 2 Stanovenie plynopriepustnosti pôd

Priepustnosť	Podiel jemných častíc	Trieda podľa STN 73 1001
malá	$f > 65 \%$	F5, F6, F7, F8
stredná	$15 \% < f < 65 \%$	F1, F2, F3, F4, S4, S5, G4, G5
Dobrá	$f < 15 \%$	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 prevývačke v litroch
 - $e^{-\lambda t_F}$ = $F(t_F)$ - koeficient, vyjadrujúci pokles aktivity ^{222}Rn za dobu t_F (doba od

asu odberu vzorky v teréne po as naplnenia LK)
ostatné poloflky sú vysvetlené pri vz ahu pre výpo et objemovej aktivity radó-
nu v pôdnom vzduchu.

3. PREH AD A VÝSLEDKY REALIZOVANÝCH PRÁC

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol v roku 2018 reali-
zovaný (podobne ako v predchádzajúcich monitorovacích sezónach) v oblastiach:

- pôdny radón na referen ných plochách,
- pôdny radón na tektonike,
- radón vo vodách.

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

3.1 Pôdny radón na referen ných plochách

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referen ných plochách (RP) bol v roku 2018
vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách v strednom afl vysokom (na lokalite
RP Hnilec afl v extrémnom) radónovom riziku:

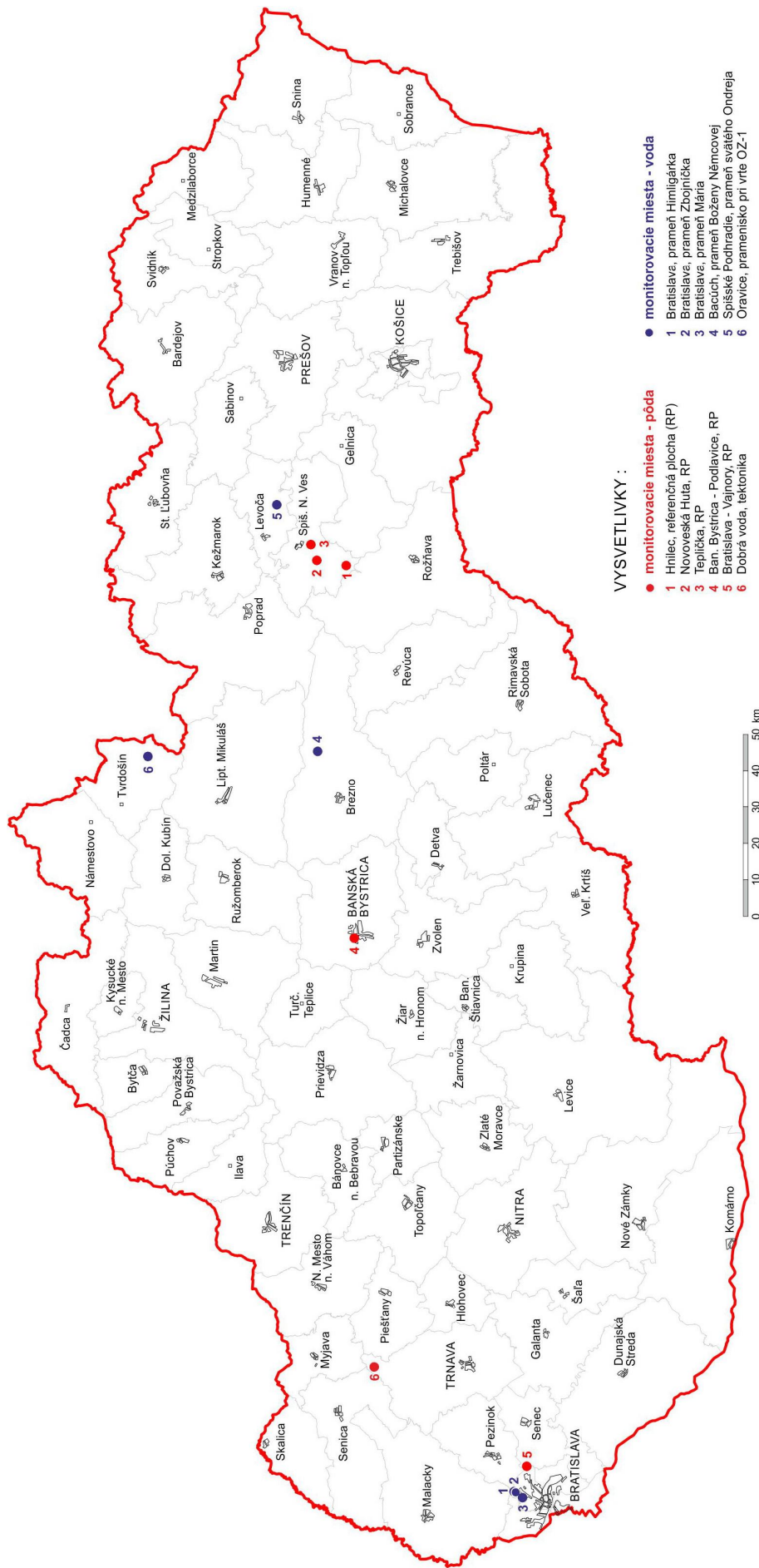
- RP Hnilec (4x ro ne ó apríl afl október, kaflde dva mesiace)
- RP Novoveská Huta (7x ro ne ó apríl afl október, kaflký mesiac)
- RP Teplí ka (7x ro ne ó apríl afl október, kaflký mesiac)
- Bratislava ó RP Vajnory (2x ro ne ó máj a september)
- Banská Bystrica ó RP Podlavice (2x ro ne ó máj a september)

RP Hnilec nachádzajúca sa cca 2,1 km JJZ od centra rovnomennej obce pri -tátnej
ceste . 533 Spi-ská Nová Ves ó Gemerská Poloma je charakteristická afl extrémnym radó-
novým rizikom. Zdrojom radónu je zvetraný stredno-hrubozrnný gemeridný (tzv. šhnilecký)ô
granit s anomálnymi obsahmi uránu (pod a terénnej spektrometrie gama ~ 20 ppm eU), ktorý
tak radíme k horninám s najvy-ou prírodnou rádioaktivitou v Západných Karpatoch.

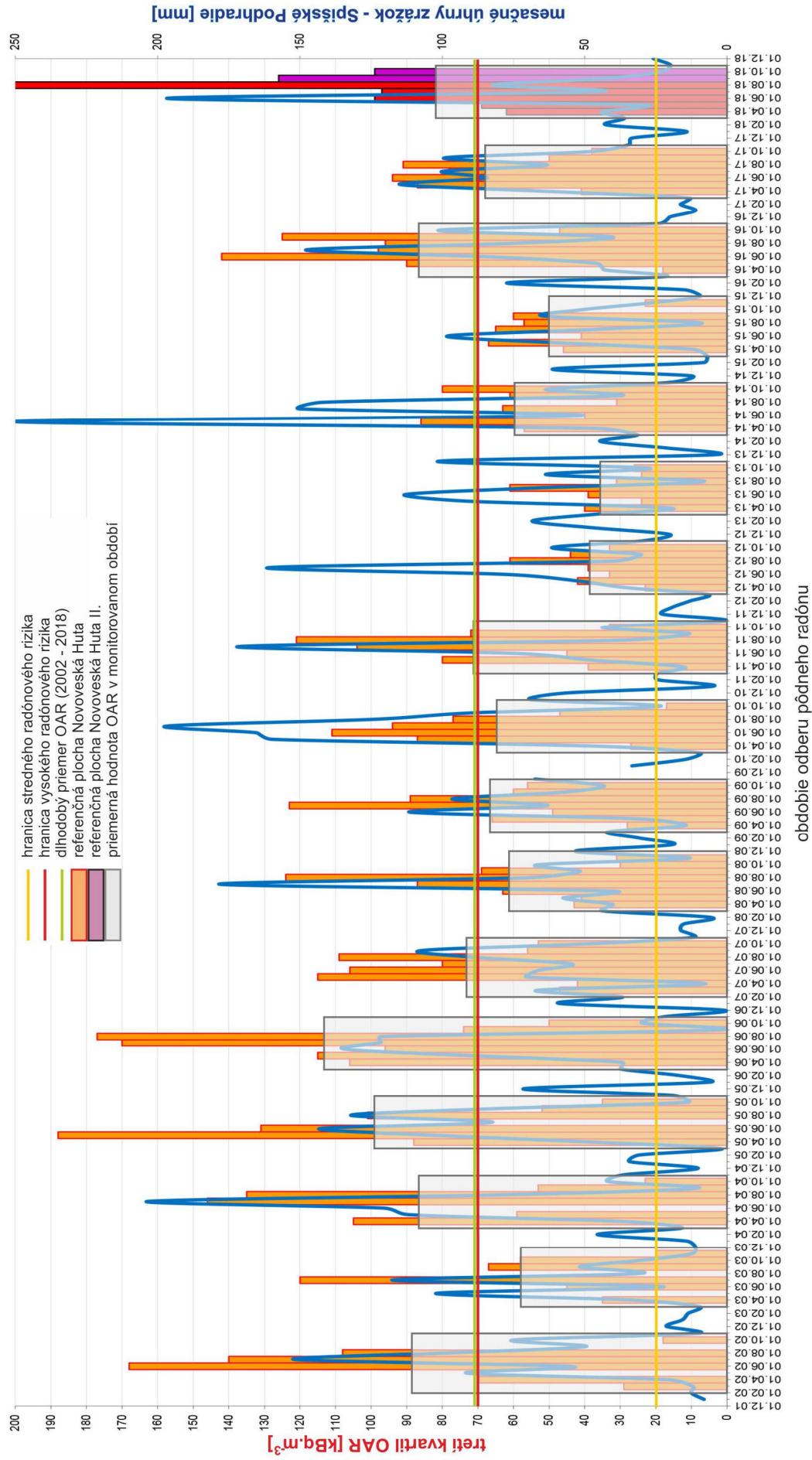
Monitoring OAR v sezóne 2018 tu bol zrealizovaný v období apríl afl október (-tyri
monitorovania, spolu 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Po doteraj-om maxime z roku 2008 (712 kBq.m^{-3}) hodnoty $\text{OAR}_{3,Q}$ (3. kvartil OAR)
v pôdnom vzduchu na RP Hnilec v sezónach 2009 afl 2013 vykazovali výrazný a systematic-
ký pokles (afl na 255 kBq.m^{-3}). V roku 2014 bol zaznamenaný nárast $\text{OAR}_{3,Q}$ na 359 kBq.m^{-3} ,
ale v sezóne 2015 opä pokles na 334 kBq.m^{-3} . V období 2016 a 2017 stúpili úrovne $\text{OAR}_{3,Q}$
na 407 kBq.m^{-3} , resp. 411 kBq.m^{-3} (obr. . 4).

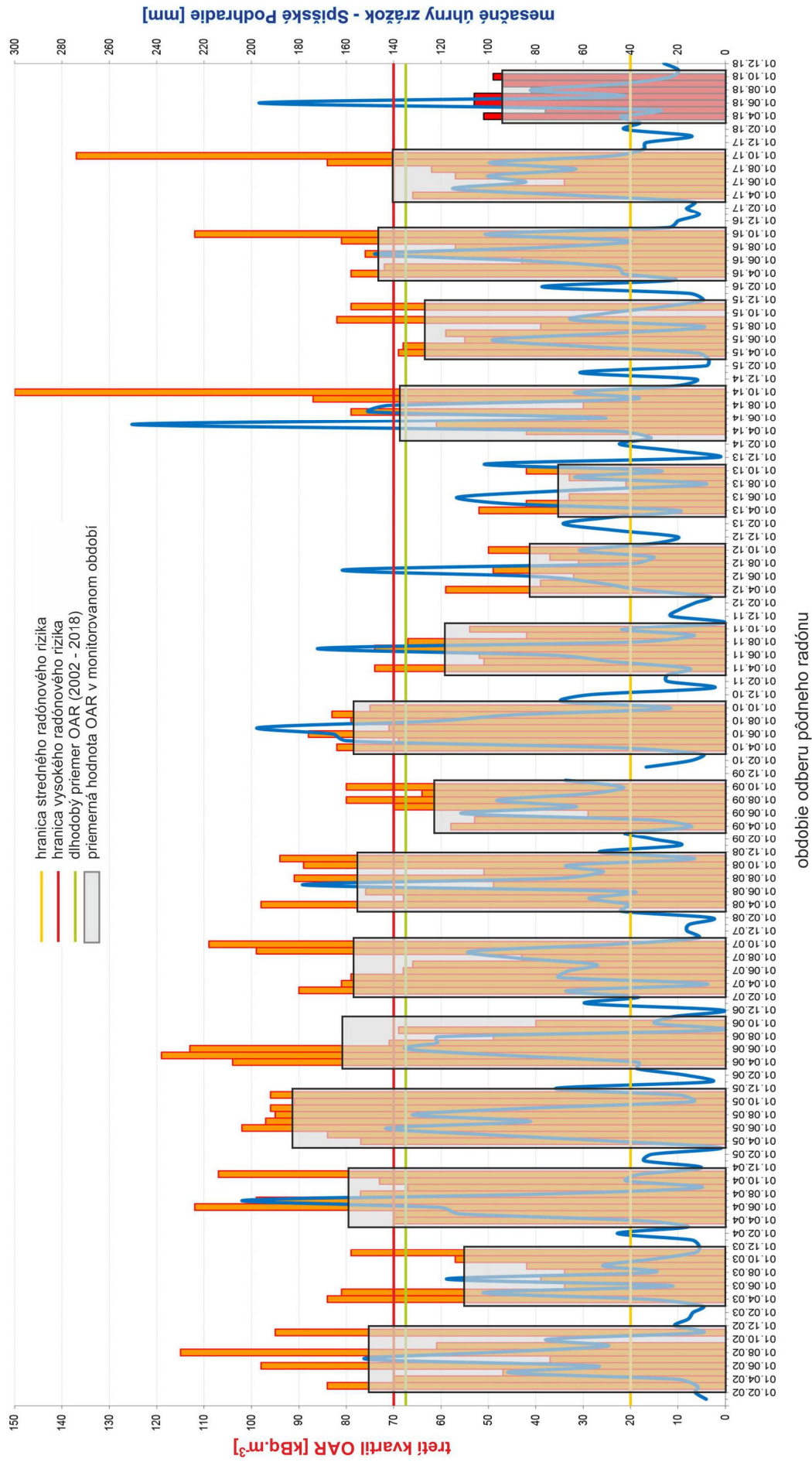
V sezóne 2018 tu medzi ro ne do-lo k výraznému poklesu hodnôt OAR v pôdnom
vzduchu (trend $\text{OAR}_{2018/2017} = 0,69$). Stredná hodnota $\text{OAR}_{3,Q}$ v roku 2018 dosiahla iba 282
 kBq.m^{-3} , pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2002-2018} = 453 \text{ kBq.m}^{-3}$. V jednej sonde bola v apríli



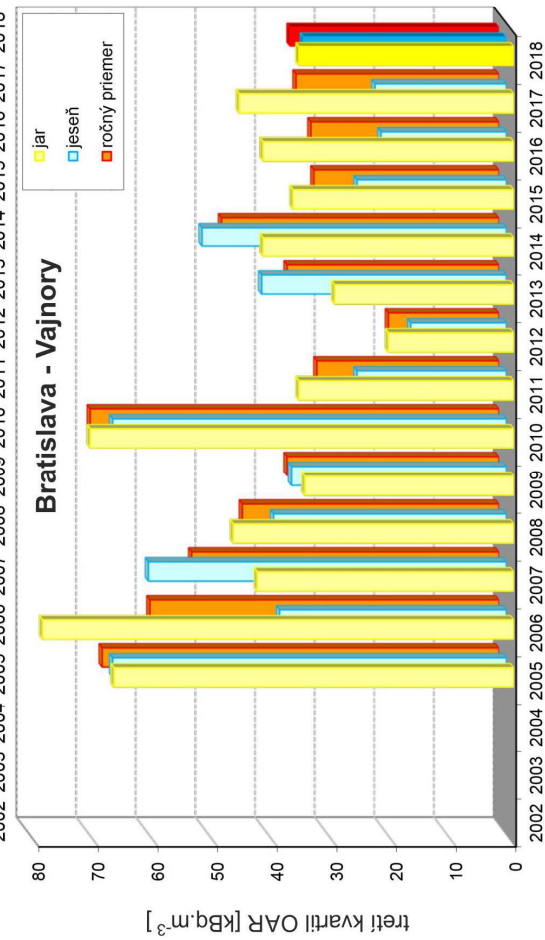
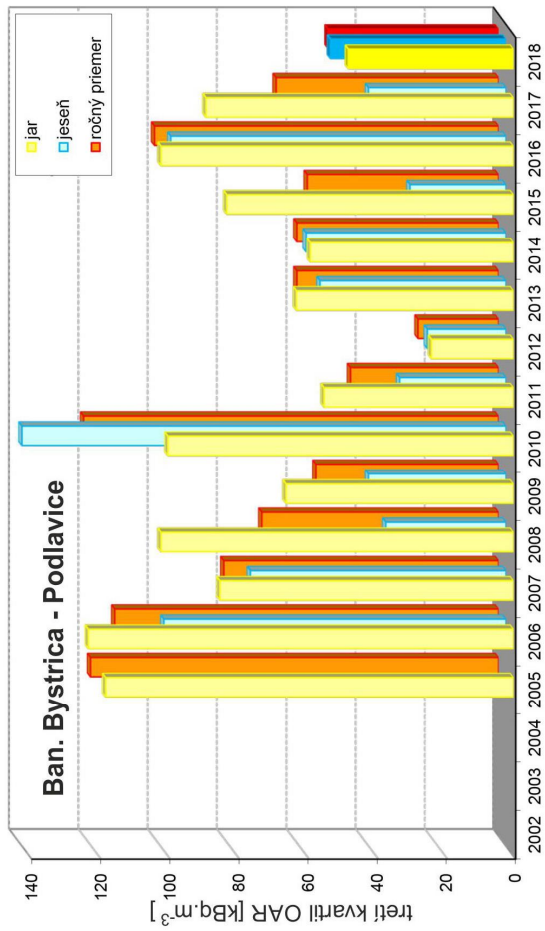
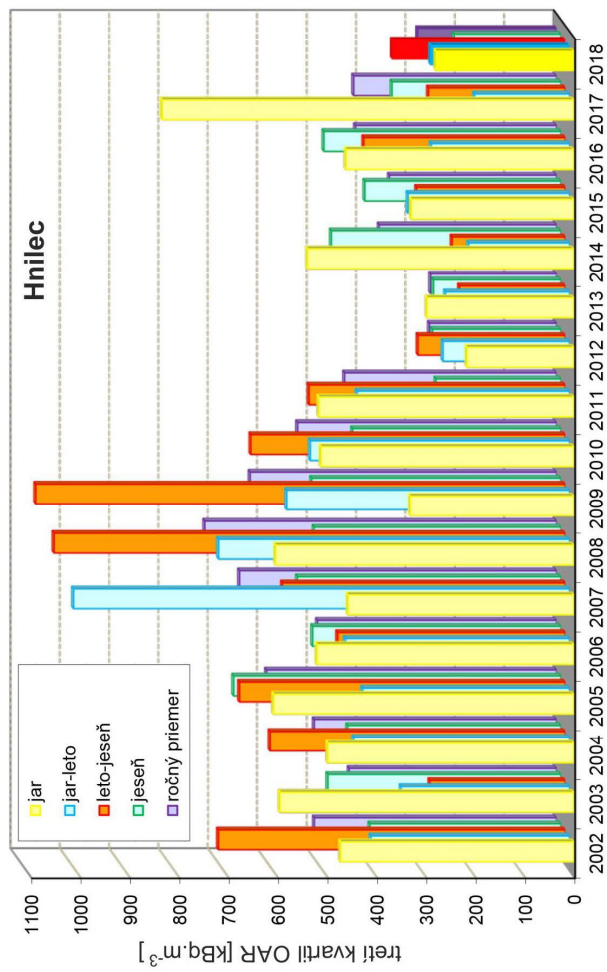
Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2018



Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2018
Lokalita: Novoveská Huta a Novoveská Huta II.



Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2018
 Lokalita: Teplica



Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2018
 Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice

2018 nameraná $OAR_{MAX} = 584 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 ó 2018 graficky prezentujeme na obr. . 4 a preh adne v tab. . 6. Podrobnej-ie –tatistické údaje za uplynulý rok a porovnanie výsledkov monitorovania s predchádzajúcimi sezónami dokladujeme v tab. . 3.

RP Novoveská Huta je situovaná na jz. okraji rovnomennej obce pozd fl miestnej obecnej komunikácie od kostola smerom na Rybníky. Zalofená je v prostredí budovanom pestrofarebnými pieskovecami a bridlicami stráflanských vrstiev novoveského súvrstvia (perm) strednej plynopriepustnosti s väzbou na dislokácie SSV ó JJZ smeru.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu tu bol v sezóne 2018 zrealizovaný v období apríl afl august (pä monitorovaní, spolu 85 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

V oblasti predmetnej RP od maxima $OAR_{3,Q}$ z roku 2006 (113 kBq.m^{-3}) dochádzalo postupne k poklesu koncentrácií pôdneho radónu afl na 35 kBq.m^{-3} v roku 2013, pri om v sezóne 2014 tu do–lo k nárastu na 60 kBq.m^{-3} , v sezóne 2015 k poklesu na 51 kBq.m^{-3} , ale v roku 2016 k nárastu afl na 88 kBq.m^{-3} a v sezóne 2017 opä k poklesu na 68 kBq.m^{-3} .

V roku 2018 tu do–lo medziro ne k pomerne výraznému nárastu: trend $OAR_{3,Q} 2018/2017 = 1,21$; dlhodobý priemer $OAR_{3,Q} 2002-2018 = 71 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvy—ia priemerná mesa ná úroveň $OAR_{3,Q} = 99 \text{ kBq.m}^{-3}$ (jún 2018) a v jednotlivej sonde $OAR_{MAX} = 417 \text{ kBq.m}^{-3}$ (jún 2018).

Grafické znázornenie hodnôt $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu v jednotlivých monitorovacích sezónach na tejto lokalite, ich vývoj v priebehu sezóny 2018 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 ó 2018) dokumentujeme na obr. . 2. Pre mofnos kvalitatívneho posúdenia úrovni OAR a mesa ných zráflkových úhrnov zo stanice Spi–ské Podhradie (zdroj: *shmu.sk*) je do obrázku zapracovaná aj príslu–ná grafická závislos .

Výsledky –tatistického spracovania výsledkov meraní sú preh adne spracované v tab. . 3 a sumárne v tab. . 6.

V druhej polovici sezóny 2018 **bola RP Novoveská Huta znefunk nená** výstavbou nového rodinného domu. Posledný monitoring (august 2018) sa tu zrealizoval s asti ufl vo výkope pre základovú dosku stavebného objektu, o sa prejavilo aj výrazným nárastom $OAR_{3,Q} = 249 \text{ kBq.m}^{-3}$ (v jednotlivej sonde $OAR_{MAX} = 1061 \text{ kBq.m}^{-3}$). V dôsledku závaflnej zmeny geometrie meraní nebol výsledok tohto monitoringu zaradený do –tatistiky spracovania výsledkov.

Zalofená bola nová referen ná plocha **Novoveská Huta II.**, situovaná v priestore medzi miestnou komunikáciou približne VÓZ smeru a cca 25 m sz. od päty vefle miestneho kostola sv. Cyrila a Metoda. Tvorená je tromi plynometrickými profilmi (sie 5 x 5 m) a zalofená

je v rovnakom geologickom prostredí ako RP Novoveská Huta.

V sezóne 2018 tu boli zrealizované iba dva monitorings s výsledkom $OAR_{3,Q} = 126 \text{ kBq.m}^{-3}$ (september), resp. 99 kBq.m^{-3} (október), t. j. vysoké radónové riziko. V jednotlivej sonde tu bola zaznamenaná $OAR_{MAX} = 231 \text{ kBq.m}^{-3}$ (október 2018).

RP Tepláka je lokalizovaná približne 2,8 km južne od centra Spišskej Novej Vsi v lokalite Tŕlerloch (pod a rovnomennej kóty 646 m).

Podloffe RP budujú sedimenty paleogénu (bridlice, pieskovce) strednej plynopriepustnosti s výšim podielom ílovitej frakcie. Ílovité vrstvi ky s malou priepustnos ou síce tvoria pomerne ú innú bariéru pri prenikaní radónu k povrchu, ale tento jav sa prejavuje iba pri zvýšenej vlhkosti horninového prostredia. Opa nú závislos je ó do ur ítej miery ó moŕné o akáva v obdobiach s nízkymi zráfkovými úhrnmi, kedy plynopriepustnos miestnych sedimentov (v dôsledku poklesu vlhkosti pokravných 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 zráflok) aŕ na 35 kBq.m^{-3} (rok 2013). V nasledujúcich štyroch sezónach boli priemerné hodnoty $OAR_{3,Q}$ pomerne vyrovnané a varírovali v rozmedzí 64 aŕ 74 kBq.m^{-3} .

Monitoring v sezóne 2018 tu bol zrealizovaný v období apríl aŕ október (sedem monitorovaní, 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Maximálna úrove bola zaznamenaná v júni a júli $OAR_{3,Q} = 53 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvyššia koncentrácia pôdneho radónu v jednotlivej sonde bola zaznamenaná v septembri ($OAR_{MAX} = 83 \text{ kBq.m}^{-3}$). Medziro ne tu došlo k výraznému poklesu nameraných hodnôt: trend $OAR_{3,Q} 2018/2017 = 0,67$ pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2002-2018 = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Priebeh variácií OAR v pôdnom vzduchu dokladujeme na obr. . 3, kde formou st p cového diagramu prezentujeme výsledky monitorovania od roku 2002, vrátane grafu mesa ných zráfkových úhrnov zo zráfkomernej stanice v Spišskom Podhradí. Výsledky komplexného štatistického spracovania meraní sú v tab. . 3 a sumárne v tab. . 6.

RP Bratislava ó Vajnory je zaloŕená na SV okraji rovnomennej mestskej ásti Bratislavy ne aleko Vajnorskej cesty, pozd fl meliora ného kanála približne S-J smeru.

Podloffe monitorovaného objektu tvoria fluviaálne holocénne sedimenty (pies íté aŕ írkovité hliny) so strednou aŕ dobrou plynopriepustnos ou.

Na RP Bratislava ó Vajnory sa v období 2005 aŕ 2012 (s výnimkou mimoriadne vlhkej sezóny 2010) postupne zniflovali priemerné ro né úrove $OAR_{3,Q}$. V období 2013 ó 2014 tu došlo k ich miernemu nárastu, ale od roka 2015 zaznamenávame mierny pokles na úrove

$OAR_{3,Q} = 31 \text{ ó } 34 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu tu bol v roku 2018 zrealizovaný v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na RP Bratislava ó Vajnory došlo medziročne iba k malému nárastu obsahov pôdneho radónu (trend $OAR_{3,Q} 2018/2017 = 1,03$), pri strednej hodnote $OAR_{3,Q} = 35 \text{ kBq.m}^{-3}$ a dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2018 = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Najvyššie koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu v jednotlivých sondách sa zistili pri jeseňnom monitoringu (46 kBq.m^{-3}). Hodnoty $OAR_{3,Q}$ v sezóne 2018 boli pomerne nízke a dosiahli 44 kBq.m^{-3} (jar), resp. 46 kBq.m^{-3} (jeseň).

Podrobné informácie a výsledky štatistického spracovania nameraných hodnôt OAR v pôdnom vzduchu po jednotlivých monitorovacích obdobiach dokladujeme v tab. 3 a 6 a graficky na obr. 4.

RP Banská Bystrica ó Podlavice je lokalizovaná na SZ okraji Banskej Bystrice (časť Podlavice), po oboch stranách po nej cesty neďaleko od záhradkárskej (chatovej) kolónie.

Podlomie referenčnej plochy je budované ramsauskými dolomitmi (stredný a horný vrchný trias) s anomálnymi koncentraciami uránu (tzv. šuránové dolomity).

Na tomto objekte bol od roku 2005 (okrem sezóny 2010, charakterizovanej mimoriadne vysokými zrážkovými priemermi) sledovaný postupný a výrazný pokles $OAR_{3,Q}$ a až na $OAR_{3,Q} 2012 = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch sezónach (2013 ó 2015) tu boli zaznamenané vyššie a úrovňovo stabilnejšie hodnoty ($56 \text{ ó } 59 \text{ kBq.m}^{-3}$), ale $OAR_{3,Q}$ v roku 2016 dosiahla úroveň až 100 kBq.m^{-3} . Odvtedy tu však zaznamenávame pomerne rýchly a výrazný pokles koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu.

Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2018 uskutočnilo v máji a septembri (dve monitorovania, spolu 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Medziročne tu bol zaznamenaný výrazný pokles koncentrácií pôdneho radónu $OAR_{3,Q} = 50 \text{ kBq.m}^{-3}$, pri trende $OAR_{3,Q} 2018/2017 = 0,77$ a dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2018 = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Maximálny obsah pôdneho radónu v jednotlivých sondách dosiahol 177 kBq.m^{-3} (jeseň), s priemernými hodnotami $OAR_{3,Q}$ na úrovni 48 kBq.m^{-3} (jar), resp. 51 kBq.m^{-3} (jeseň).

Vyhodnotené výsledky monitorovania sú prehľadne spracované v tab. 3 a tab. 6. Výsledky monitoringu OAR v pôdnom vzduchu na RP Banská Bystrica ó Podlavice v sezónach 2005 až 2018 graficky dokumentujeme na obr. 4.

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018													
p.č.	Lokalita	Dátum	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							Rn riziko	Atm. tlak [hPa]	Poznámka	
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A				
1	Hnilec	25.04.18	17	34	584	249	161	410	279	III	1018	pomerne sucho	
2		13.06.18	17	36	436	191	125	316	281	III	1012	vlhko	
3		15.08.18	17	10	527	224	167	391	350	III	1023	vlhko	
4		10.10.18	17	22	497	190	137	327	216	III		pomerne sucho	
		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 2018, porovnanie 2002 - 2018													
p.č.	Lokalita	Dátum	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]						Rn riziko	Atm. tlak [hPa]	Poznámka		
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ				3. kvartil c _A	
1	Novoveská Huta	25.04.18	17	9	228	56	59	115	62	II	1018	pomerne sucho	
2		23.05.18	17	9	238	64	63	127	69	II-III	1025	sucho	
3		13.06.18	17	32	417	99	103	202	99	III	1012	pomerne sucho	
4		11.07.18	17	12	278	83	66	149	97	III	1023	pomerne sucho	
5		15.08.18	17	14	1061	246	337	583	249	III	1034	zmenená geometria merania / vlhko	
6	Novoveská Huta II	27.09.18	17	29	193	89	51	140	126	III		vlhko	
7	Novoveská Huta II	10.10.18	17	27	231	78	50	128	99	III		sucho	
	Novoveská Huta	rok 2018	68	9	417	76	73	148	82	III			
	Novoveská Huta II	rok 2018	34	27	231	84	51	134	113	III			
	Novoveská Huta	rok 2017	117	3	666	69	81	150	68	II-III			
		rok 2016	119	10	430	80	75	155	88	III			
		rok 2015	119	3	370	46	46	91	51	II			
		rok 2014	119	5	173	45	35	80	60	II			
		rok 2013	119	4	181	26	20	47	35	II			
		rok 2012	119	5	240	32	26	58	39	II			
		rok 2011	119	7	396	56	55	111	71	III			
		rok 2010	119	4	387	56	55	111	66	II-III			
		rok 2009	119	4	486	55	60	115	67	II-III			
		rok 2008	136	8	198	47	33	80	61	II-III			
		rok 2007	153	7	577	66	59	125	73	III			
		rok 2006	119	4	670	93	75	168	113	III			
		rok 2005	102	2	668	85	88	173	99	III			
	rok 2004	102	1	439	69	60	129	87	III				
	rok 2003	102	2	379	48	40	88	58	II				
	rok 2002	102	1	515	73	65	138	89	III				

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018													
p.č.	Lokalita	Dátum	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							Rn riziko	Atm. tlak [hPa]	Poznámka	
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A				
1		25.04.18	17	10	63	42	15	57	51	II	1018	sucho	
2		23.05.18	17	11	59	31	13	44	38	II	1025	sucho	
3		13.06.18	17	20	77	38	19	57	53	II	1012	pomerne sucho	
4		11.07.18	17	5	71	43	18	61	53	II	1019	sucho	
5		15.08.18	17	13	53	32	12	44	41	II	1023	pomerne sucho	
6		27.09.18	17	4	83	37	19	56	47	II	1034	sucho	
7		10.10.18	17	12	58	41	13	54	49	II		sucho	
		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 2018, porovnanie 2002 - 2018												
p.č.	Lokalita	Dátum	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							Rn riziko	Atm. tlak [hPa]	Poznámka
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A			
1	Bratislava - Vajnory	11.05.18	17	14	44	31	8	39	36	II		
2		21.09.18	16	7	46	25	12	37	34	II	vlhko	
		rok 2018	33	7	46	28	10	38	35	II	sucho	
		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										
	rok 2003											
	rok 2002											

objekt nebol monitorovaný

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018												
p.č.	Lokalita	Dátum	c_A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]						Rn riziko	Atm. tlak		Poznámka
			N	min c_A	max c_A	ϕ c_A	σ c_A	$\phi + \sigma$		3. kvartil c_A	[hPa]	
1	Banská Bystrica - Podlavice	10.05.18	17	13	124	43	32	75	48	II	1016	vlhko
2		19.09.18	17	9	177	46	40	86	51	II	1027	sucho
		rok 2018	17	13	124	43	32	75	50	II		
		rok 2017	34	4	215	50	45	95	65	II-III		
		rok 2016	34	6	262	75	71	145	100	III		
		rok 2015	34	14	248	54	44	98	56	II		
		rok 2014	34	1	167	49	45	93	59	II		
		rok 2013	34	9	121	44	27	71	59	II		
		rok 2012	34	4	79	19	18	37	24	II		
		rok 2011	34	5	129	33	26	58	43	II		
		rok 2010	34	13	265	102	61	163	120	III		
		rok 2009	34	6	157	38	33	71	53	II		
		rok 2008	34	0	154	50	28	78	69	II-III		
		rok 2007	34	13	219	64	38	102	80	III		
		rok 2006	34	18	272	90	53	143	111	III		
		rok 2005	18	30	193	98	44	142	118	III		
		rok 2004	objekt nebol monitorovaný									
	rok 2003											
	rok 2002											

Vysvetlivky:

c_A objemová aktivita radónu (OAR) v pôdnom vzduchu [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]

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 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 SVóJZ, dĺžku 80 m a krok odberu vzoriek pôdneho radónu 5 m (obr. 5).

Poruchová zóna, vysledovaná vo wettersteinských dolomitoch (stredný trias) a prekrytá fluviaálnymi nivnými sedimentmi, sa prejavila výrazným nárastom koncentrácií pôdneho radónu s $OAR_{MAX} = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$ v normálnom poli o úrovni pod 2 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 s multikábel) s krokom merania 5,5 m (obr. 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 kBq.m^{-3} a tak tiež výrazným poklesom merných odporov 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 sa urobili detailné merania koncentrácií pôdneho radónu na plochách P1, resp. P2 (zhodne po 6 emanometrických profilov, sieť $5 \times 10 \text{ m}$), založených v okolí, resp. južne od emanačnej anomálie vysledovanej v roku 2012 na profile DV-1.

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 kBq.m^{-3} .

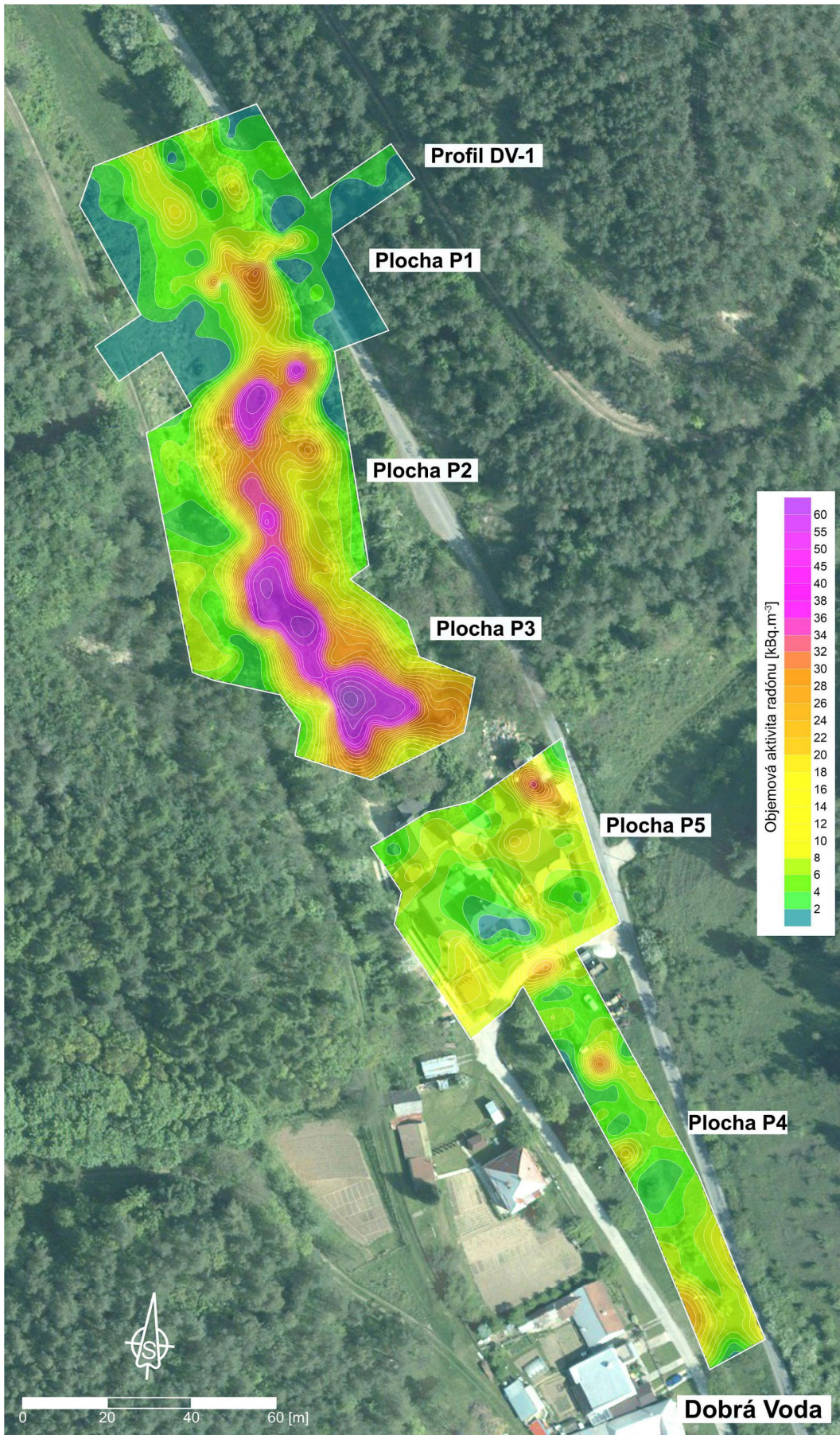
V sezóne 2016 sa detailným radónovým prieskumom pokračovalo JJV smerom na plochu P3 (obr. 5) s päť emanometrických profilov v sieti $2-5 \times 5-10 \text{ m}$ (podľa dostupnosti terénu). Poruchová zóna tu bola indikovaná doposiaľ najvyššími koncentraciami pôdneho radónu: $OAR_{MAX} = 62 \text{ kBq.m}^{-3}$ v normálnom poli pod 10 kBq.m^{-3} .

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

V sezóne 2018 boli detailné merania OAR nad tektonikou zrealizované na ploche P5 (sieť cca $5 \times 5 \text{ m}$), ale pokračovanie sledovanej štruktúry južným smerom nebolo indikované ($OAR_{MAX} = 34 \text{ kBq.m}^{-3}$ normálne pole $\sim 6 \text{ kBq.m}^{-3}$).

Na základe doposiaľ získaných výsledkov detailnej plynometrickej prospekcie v oblasti Dobrej Vody navrhujeme ďalšie práce ukončiť.

Po získaní nevyhnutného prístrojového vybavenia na kontinuálne meranie OAR



Obr. č. 5 Pôdny radón nad zlomom: monitorovanie OAR v rokoch 2014 - 2018
 Lokalita: Dobrá Voda, profil DV-1 a plochy: P1 až P5

a

vybudovaní monitorovacieho objektu (pozorovací vrt) tu do budúca predpokladáme prepojenie podsystémov 05 a 02 (*Tektonická a seizmická aktivita územia*).

Na realizáciu pozorovacieho objektu odporúame miesto v tesnej blízkosti sondy s $OAR_{MAX} = 62 \text{ kBq.m}^{-3}$ v areáli plochy P3 (obr. . 5). Pretože pozícia (aj amplitúda) emanej anomálie sa môže s časom v určitom rozmedzí meniť, považujeme za vhodné tu krátko (max. 1 až 2 mesiace) pred hĺbkovým vrtom zrealizovať detailizáciu anomálie OAR v sieti 2x2 m na ploche 10x10 m (15x15 m).

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

3.3 Radón vo vodách

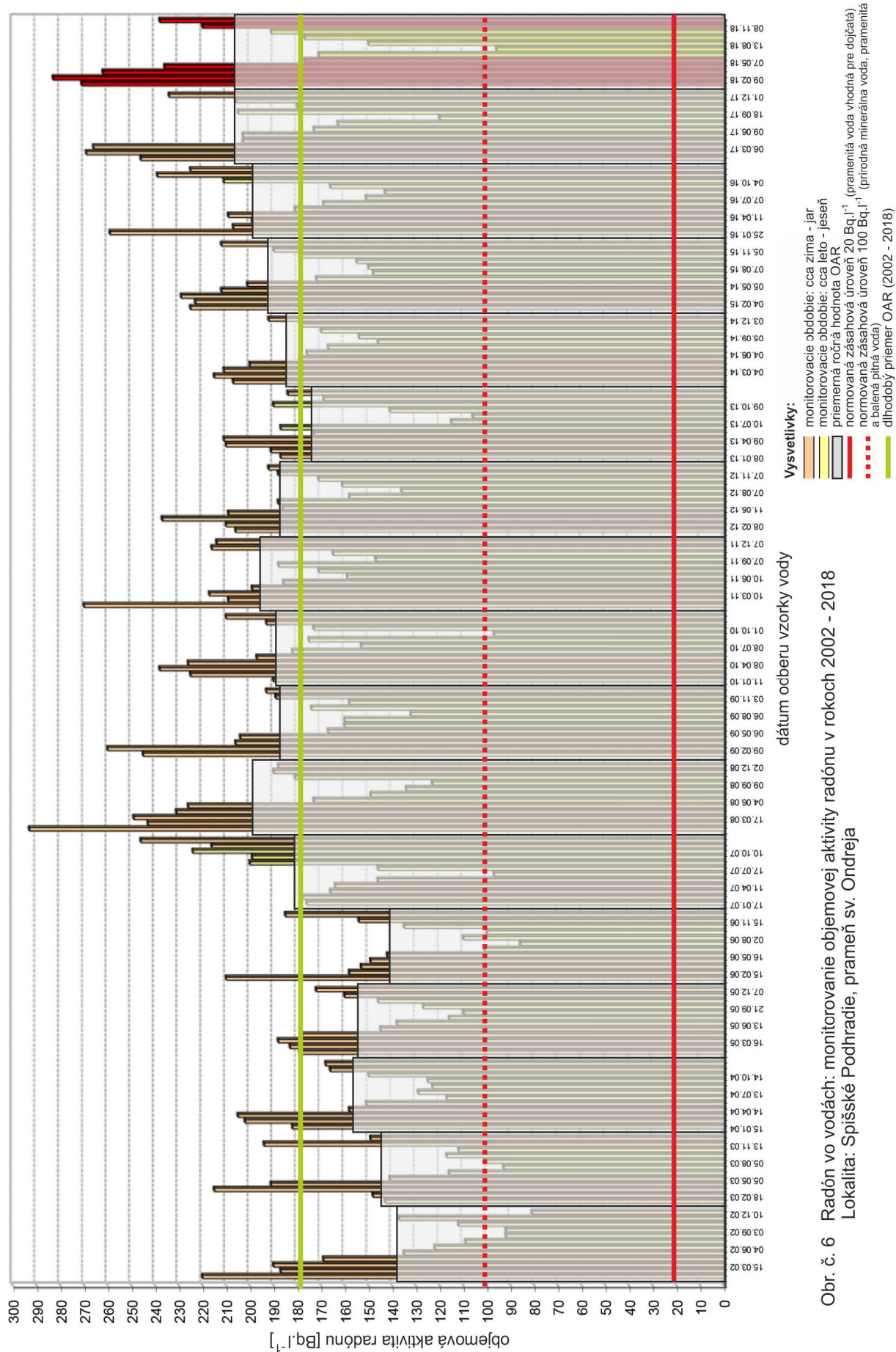
Práce a činnosti, vykonávané pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd, boli v roku 2018 zrealizované s rôznou frekvenciou na miestach objektoch:

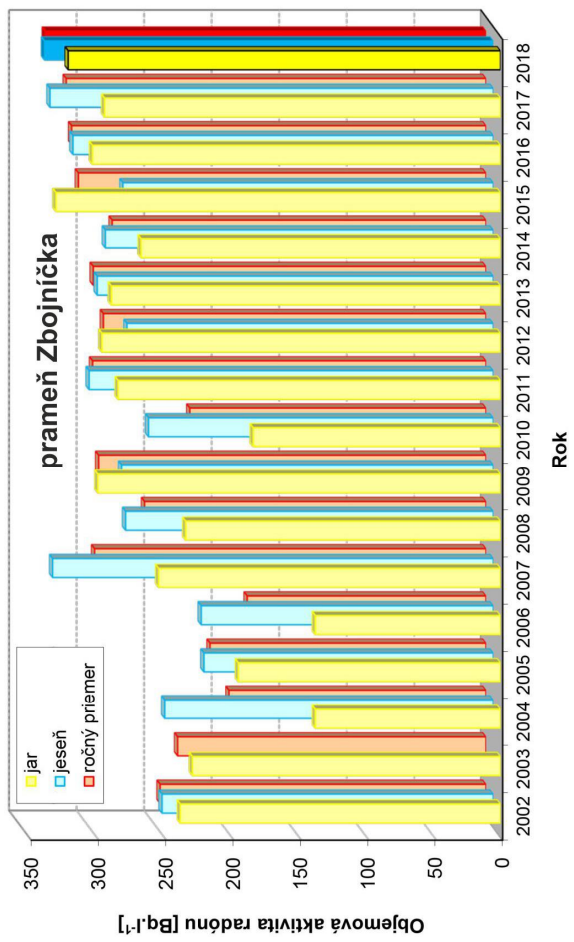
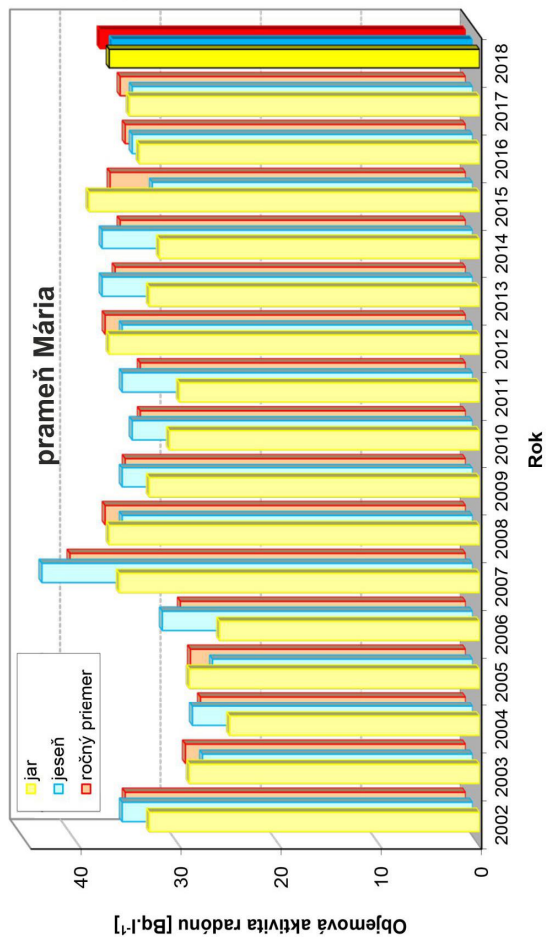
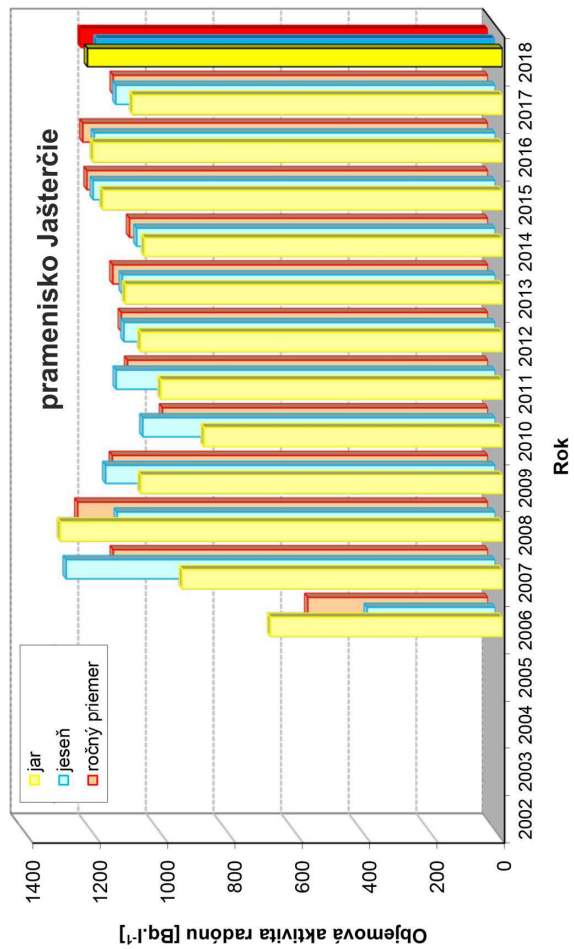
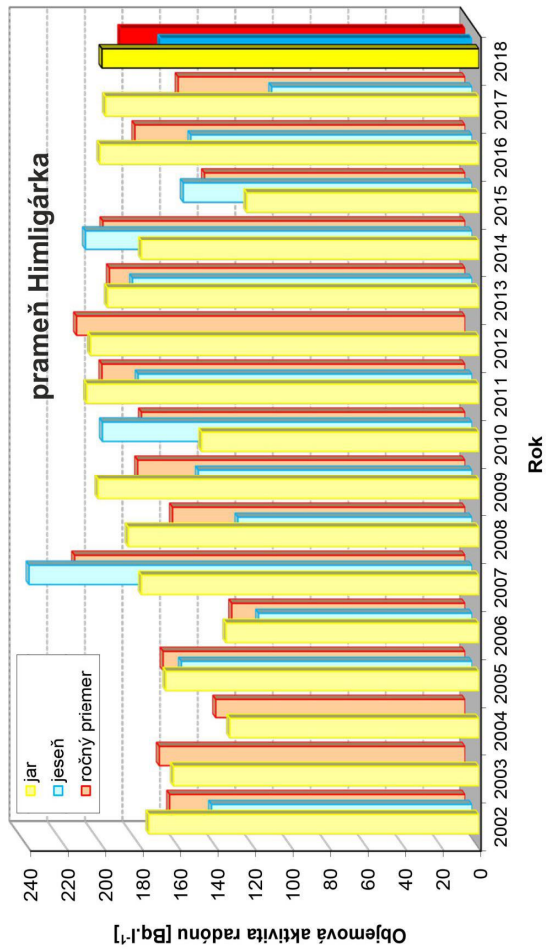
- Malé Karpaty, prameň Mária (2x ročne o jar a jeseň)
- Malé Karpaty, prameň Zbojná ka (2x ročne o jar a jeseň)
- Malé Karpaty, prameň Himligárka (2x ročne o jar a jeseň)
- Bacúch, prameň Boľeny Námcovej (8x ročne o interval 1 až 2 mesiace)
- Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja (12x ročne o každý mesiac)
- Oravice, pramenisko pri vrte OZ-1 (2x ročne o jar a jeseň)

Výstupy meraní OAR v podzemných vodách boli štatisticky spracované a dokladujeme ich formou tabuliekových výstupov (tab. . 4, 5 a 6). Výsledky meraní na predmetných lokalitách za obdobie 2002 (2006) až 2018 graficky prezentujeme formou prehľadných štatistických grafov na obr. . 6, 7 a 8.

V tab. . 4 uvádzame základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za obdobie sezóny 2018, vrátane doplňujúcich údajov (teplota vzduchu a vody, výdatnosť zdroja). V tabulke sú uvedené aj vybrané údaje monitoringu OAR vo vodách z predchádzajúcich období. Výsledky štatistického spracovania nameraných koncentrácií radónu a výdatností sledovaných vodných zdrojov za obdobie 2002 (2006) až 2018 uvádzame v tab. . 5. Prehľadný súhrn výsledkov monitorovania za uvedené sezóny je v tab. . 6.

V oblasti **Malých Karpát** (severne od centra Bratislavy) boli v máji a septembri 2018 monitorované pramene **Mária** (Máriin prameň), **Zbojná ka** a **Himligárka**. Zachytené a štruktúrne upravené pramene sú viazané na kyslé prostredie kryštalinika Malých Karpát (leuko-





Obr. č. 8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2018
 Lokality: Bratislava - prameň Mária, Himligárka, Zbojníčka; Oravice - pramenisko Jašterčie

krátne muskovitické a dvojs udné granity, granodiority; bratislavský typ) a na poru—ené zóny s podmienkami vhodnými na akumuláciu a transport radónu.

Na prameni Mária bol medzi ro ne vysledovaný malý nárast koncentrácií radónu: trend $OAR_{2018/2017} = 1,06$; priemerná ro ná hodnota $OAR_{2018} = 37 \text{ Bq.l}^{-1}$; dlhodobý priemer $OAR_{2002\text{ }2018} = 34 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Malý vzostup obsahov radónu v zdrojoch podzemných vôd v tejto oblasti bol medzi ro ne zistený aj na prameni Zbojní ka (trend $OAR_{2018/2017} = 1,05$), pri strednej ro nej úrovni $OAR_{2018} = 327 \text{ Bq.l}^{-1}$ (najvy—ia hodnota od roku 2002) a dlhodobom priemere $OAR_{2002\text{ }2018} = 265 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Najvy—í nárast OAR v podzemných vodách bol v roku 2018 medzi ro ne zaznamenaný v prameni Himligárka (trend $OAR_{2018/2017} = 1,20$) pri priemernej ro nej hodnote $OAR_{2018} = 184 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002\text{ }2018} = 170 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Koeficient variácie OAR (V_{Rn}) v sezóne 2018 je nízky na prame och Mária (2 %) a Zbojní ka (3 %) a zvý—ený na prameni Himligárka (13 %; tab. . 4).

Priemerné výdatnosti monitorovaných prame ov v sezóne 2018 dosiahli: $Q_{\text{Mária}} = 0,069 \text{ l.s}^{-1}$, $Q_{\text{Zbojní ka}} = 0,264 \text{ l.s}^{-1}$ a $Q_{\text{Himligárka}} = 0,108 \text{ l.s}^{-1}$. Korela ná závislos medzi OAR a výdatnos ou zdrojov podzemných vôd nebola zistená. Podrobnej—ie informácie sú v tab. . 4 a 5 a na obr. . 8.

Prame Bofeny N mcovej lokalizovaný severne od obce Bacúch bol v uplynulej sezóne monitorovaný 8x (v období január afl apríl každý mesiac, zvy—ok sezóny každý druhý mesiac). Zachytený a stavebne upravený prame vyviera na povrch v prostredí granáticko-muskoviticko-biotitických pararúl, svorových rúl afl svorov. Zdrojom radónu sú pravdepodobne poru—ené, emana ne schopné zóny kry—talinika Nízkyh Tatier.

Maximum objemovej aktivity radónu (404 Bq.l^{-1}) bolo zaznamenané v januári a minimum (213 Bq.l^{-1}) v októbri 2018 (tab. . 4, obr. . 7); trend $OAR_{2018/2017} = 1,00$; stredná hodnota $OAR_{2018} = 308 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002\text{ }2018} = 278 \text{ Bq.l}^{-1}$ (tab. . 6).

Priemerná výdatnos prame a v roku 2018 dosiahla $0,024 \text{ l.s}^{-1}$ pri pomerne nízkom koeficiente variácie ($V_Q = 11 \%$). Aj v porovnaní s predo—ými monitorovacími sezónami sa jedná o dlhodobo relatívne stabilnú úrove : v sezónach 2002 afl 2018 sa výdatnosti pohybovali v rozmedzí iba $0,020$ ó $0,027 \text{ l.s}^{-1}$, pri pomerne nízkej variabilite ($V_Q = 7$ ó 17%). Ani na tomto prameni nebola zistená korela ná závislos medzi OAR a výdatnos ou.

Prame sv. Ondreja pri Spi—skom 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 $OAR_{2018} = 206 \text{ Bq.l}^{-1}$ (trend $OAR_{2018/2017} = 1,00$); čo je najvyššia hodnota od roku 2002; dlhodobý priemer $OAR_{2002-2018} = 178 \text{ Bq.l}^{-1}$. Najvyššia hodnota $OAR = 283 \text{ Bq.l}^{-1}$ bola nameraná vo februári a najnižšia (96 Bq.l^{-1}) v júli 2018 (obr. 6, tab. 4, 5 a 6).

Výdatnosti prameňa sa v roku 2018 pohybovali v rozmedzí $0,028$ – $0,043 \text{ l.s}^{-1}$, so strednou hodnotou $0,038 \text{ l.s}^{-1}$ a koeficiente variácie $V_Q = 14 \%$. Priemerná výdatnosť prameňa aj v predchádzajúcich monitorovacích sezónach varíovala v relatívne malom rozmedzí $0,033$ až $0,044 \text{ l.s}^{-1}$ ($V_Q = 7$ – 30%), bez korelácie na koncentrácie radónu vo vode (tab. 5).

Pramenisko Jačterie, situované cca 1,8 km južne od obce Oravice (neďaleko vrtu OZ-1), bolo monitorované v apríli a októbri 2018.

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).

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 2018, kedy boli namerané hodnoty $OAR = 1232 \text{ Bq.l}^{-1}$ na jar a 1182 Bq.l^{-1} na jeseň (trend $OAR_{2018/2017} = 1,09$), pri strednej ročnej úrovni $OAR_{2018} = 1207 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2006-2018} = 1076 \text{ Bq.l}^{-1}$.

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

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

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018												
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 [%]	
		Rok	Rok									
1	Bratislava - prameň Mária	10.05.18		37	0.021	8	16					
2		19.09.18		36	0.097	11	15					
		2018							36	37	37	2
		2017							34	35	35	2
		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 2018, porovnanie 2002 - 2018												
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 [%]	
		Rok	Rok									
1	Bratislava - prameň Zbojnička	10.05.18		321	0.385	9	15					
2		19.09.18		333	0.143	11	14					
			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	0.3	
		2002						238	246	242	2	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018												
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 [%]	
		Rok	Rok									
1	Bratislava - prameň Himigárka	10.05.18		201	0.189	9	15					
2		19.09.18		166	0.027	11	14					
			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	16.6	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018												
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 [%]	
		Rok										
1	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	09.01.18		404	0.025	6	0					
2		12.02.18		389	0.025	6	0					
3		05.03.18		347	0.027	5	3					
4		23.04.18		317	0.027	7	17					
5		06.06.18		315	0.023	9	17					
6		14.08.18		223	0.020	10	24					
7		08.10.18		213	0.022	10	16					
8		04.12.18		258	0.022	7	1					
			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 2018, porovnanie 2002 - 2018												
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 [%]	
		Rok										
1	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	08.01.18		271	0.043	7	4					
2		09.02.18		283	0.037	7	-2					
3		09.03.18		262	0.029	4	-1					
4		09.04.18		236	0.028	7	8					
5		07.05.18		177	nemerateľná	10	7					
6		05.06.18		171	0.042	12	15					
7		10.07.18		96	nemerateľná	12	15					
8		13.08.18		150	0.041	14	13					
9		06.09.18		177	0.037	14	12					
10		16.10.18		191	0.043	12	1					
11		08.11.18		220	0.041	11	1					
12		11.12.18		238	0.041	8	-4					
		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	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2018, porovnanie 2002 - 2018												
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 [%]	
		Rok										
1	Oravice: pramenisko Jašterčie - pri vrte OZ-1	23.04.18		1232	nemerateľná	18	18					
2		08.10.18		1182	nemerateľná	18	13					
		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 - 2018

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	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
2	Bratislava - prameň Zbojníčka	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 - 2018

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	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	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 - 2018

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 [%]
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	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	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						

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 - smerodatná odchýlka Q za hodnotené obdobie [l.s^{-1}]
 v Q - variačný koeficient Q za hodnotené obdobie [%]

Tab. č. 6 Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v podnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2018

p.č.	LOKALITA	Rok																	Dlhodobý priemer	N	σ	Podiel c _A 2018 / 2017	Trend 2018 / 2017	
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018						
		3.Q c _A [kBq.m ⁻³]																						
Pôdny radón na referenčných plochách																								
1	Hnielec	491	420	491	587	485	642	712	620	524	430	258	255	359	334	407	411	282	453	1154	291	0.69	↘	
2	Novoveská Huta	89	58	87	99	113	73	61	67	66	71	39	35	60	51	88	68	82	113	1952	69	1.21	↗	
3	Novoveská Huta II																		113	34	49	-	-	
3	Teplička	76	56	80	92	81	79	77	62	78	59	42	35	68	64	74	70	47	67	2600	31	0.67	↘	
4	Bratislava - Vajnory				67	59	52	43	36	69	31	19	36	47	31	32	34	35	42	475	19	1.03	↗	
5	Banská Bystrica - Podlavice				118	111	80	69	53	120	43	24	59	59	56	100	65	50	72	459	51	0.77	↘	
Pôdny radón na tektonike																								
1	Grajnár	18	10	13	24	20	16	20	16										17	1022	17	-	-	
2	Grajnár II.											15							15	70	16	-	-	
3	Dobrá Voda, profil DV-1										6								6	18	7	-	-	
4	Dobrá Voda, profil DV-2										3								3	60	4	-	-	
5	Dobrá Voda, plocha P1											10							10	60	7	-	-	
6	Dobrá Voda, plocha P2												19						19	60	14	-	-	
7	Dobrá Voda, plocha P3														36				36	37	15	-	-	
8	Dobrá Voda, plocha P4														10				10	60	6	-	-	
9	Dobrá Voda, plocha P5															11			11	54	5	-	-	
		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								
106	75	112	125	101	122	112	122	157	80	98	122	119	98	124	108	90								
Radón vo vodách																								
		c _A [Bq.l ⁻¹]																						
p.č.	LOKALITA	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Dlhodobý priemer	N	σ	Podiel c _A 2018 / 2017	Trend 2018 / 2017	
Radón vo vodách																								
1	Bratislava - prameň Mária	34	28	27	28	29	40	36	34	33	33	36	35	35	36	34	35	37	34	68	4	1.06	↗	
2	Bratislava - prameň Zbojnička	242	230	191	205	178	291	254	288	220	294	284	292	278	303	308	312	327	265	68	51	1.05	↗	
3	Bratislava - prameň Himigárka	158	163	133	161	125	208	156	175	173	194	207	190	193	139	176	153	184	170	62	32	1.20	↗	
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	259	238	254	256	222	257	299	250	344	295	258	295	274	305	301	309	308	278	237	64	1.00	-	
5	Spíšské Podhradie - prameň sv. Ondreja	137	143	156	154	140	180	198	187	188	195	187	172	183	191	197	206	206	178	413	43	1.00	-	
6	Oravice - pramenisko Jašterčie						536	1112	1217	1115	966	1070	1088	1113	1064	1190	1202	1112	1076	53	192	1.09	↗	
7	Zemplín - vrt Ladmovce						12	17	15	15	15								15	18	2	-	-	

Kde:

3.Q c_A - stredná hodnota tretieho kvartil OAR v podnom 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 alebo objekt monitorovaný

↗ - monitorovanie na objekte dočasne prerušené

4. ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Realizácia projektu *Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*, ktorý je jedným z podsystemov významnej úlohy **šiatkového monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky**, pokračovala v roku 2018 v rozsahu porovnateľnom so sezónou 2017.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsysteme v sezóne 2018, 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. 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 2018 vykonávalo s rôznou frekvenciou v období apríl až október na lokalitách v strednom a vysokom radónovom riziku: Bratislava a RP Vajnory, Banská Bystrica a RP Podlavice, Spišská Nová Ves a RP Novoveská Huta a RP Teplá, resp. aj v extrémnom radónovom riziku na RP Hnilec.

Najrozsiahlejšie monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu (všetko možno najčastejšie spektrálne meteorologických podmienok) prebehlo na objektoch RP Novoveská Huta a RP Teplá (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 boli zrealizované v druhej polovici augusta 2018.

Objemová aktivita radónu v zdrojoch podzemných vôd bola sledovaná v troch prameňoch v oblasti Malých Karpát v extraviláne Bratislavy (pramene Mária, Zbojná a Himliagárka a každý 2x v roku), v prameni sv. Ondreja na Sivej Brade pri Spišskom Podhradí (12x ročne), v prameni Boľeny Námcovej pri Bacúchu (8x za rok) a na pramenisku Jačterie 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 dlhodobu potvrdzujú skutočnosť, že priebeh sezónnych variácií OAR v pôdnom vzduchu významne závisí od meteorologických a klimatických fakto-

rov, vlhkosti a plynopriepustnosti miestnych zemín a hornín, ale v nezanedbate nom rozsahu aj na samotnej –truktúrno-geologickej stavbe a litologickej charakteristike geologického prostredia v areáli konkrétnej lokality.

Klimatické a meteorologické podmienky boli v uplynulých monitorovacích sezónach pre akumuláciu a možnosti –írenia radónu v geologickom prostredí zna ne odli–né.

V rokoch 2004 ó 2006 boli dlh–ie zimy a astej–ie a výdatnej–ie zrážky na jar pozitívne ovplyv ovali vlhkos pôdy a teda aj podmienky pre akumuláciu radónu v horninách.

O nie o iná situácia nastala v sezónach 2007 ó 2009, ke zima i jar boli zrážkovo podpriemerné a menej zrážok bolo aj v letnom období (prevafne iba lokálne zrážky a búrky).

Ve mi vysoké priemery atmosférických zrážok boli zaznamenané v roku 2010, kedy napr–alo afl 1255 mm (najviac od roku 1937 = 1015 mm).

V sezóne 2011 do–lo naopak k výraznému poklesu mnofstva zrážok, ktoré dosiahli iba 656 mm (doposia najniž–ie 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 najsuch–ích 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 afl 957 mm. Sezóna 2014 bola zároveň najteplej–ou od roka 1881, kedy sa za alo so systematickými meraniami teplôt ovzdu–ia na na–om území. Uvedené údaje sú pre potreby rie–enia projektu iba orienta né. Do budúcnosti predpokladáme získa podklady o zrážkach, teplotách a atmosférickom tlaku z najbliž–ej stanice SHMÚ.

V roku 2015 do–lo k pomerne výraznému poklesu zrážkových úhrnov, ktoré dosiahli 719 mm (98 % dlhodobého priemeru), ale v sezóne 2016 naopak k zna nému nárastu afl na 924 mm (124 % dlhodobého priemeru). Pod a hodnotenia SHMÚ bol rok 2016 šmimoriadne teplý a ve mi bohatý na atmosférické zrážky.

V úvide a závere roka 2017 boli atmosférické zrážky nízke, o bolo vykompenzované v letnom a jesennom období. Táto sezóna bola síce zrážkovo výrazne pod úrov ou predo–lého roka, v priemere v–ak bolo dosiahnutých 768 mm (108 % dlhodobého priemeru).

Aj v sezóne 2018 boli zrážky v úvide a závere roka nízke, ale po as neskorej jari afl skorej jesene do–lo k ich nárastu na ro ný úhrn 673 mm, odpovedajúci 90 % dlhodobého priemeru.

Preh ad priemerných ro ných zrážkových úhrnov pre územie SR za obdobie 2002 ó 2018 uvádzame v tab. . 6 (zdroj: www.shmu.sk).

Všeobecne sa predpokladá, že pôdna vlhkosť špozitívnym spôsobom ovplyvuje 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) sa v sezóne 2018 prejavila iba na lokalitách Novoveská Huta (trend $OAR_{3,Q\ 2018/2017} = 1,21$) a Vajnory (trend $OAR_{3,Q\ 2018/2017} = 1,03$). Na zvyšných troch lokalitách však došlo k výrazným poklesom od trendu $OAR_{3,Q\ 2018/2017} = 0,74$ (Podlavice) až po 0,67 (Tepláka).

Aj keď sa doterajšie zistenia nedajú v plnom rozsahu zovšeobecňovať, v sezónach (resp. dlhších obdobiach) s nízkymi atmosférickými zrážkami je možné, že akákoľvek viac alebo menej výrazný pokles obsahov pôdneho radónu.

Nejednoznačnosť sa doposiaľ javí závislosťou medzi zvýšením úrovne OAR v pôdnom vzduchu v sezónach s vysokými zrážkovými priermi, ktorá bude vyžadovať dlhodobšie 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 RP Novoveská Huta (homogénne permské sedimenty strednej plynopriepustnosti) a RP Tepláka (paleogénne sedimenty so strednou až nízkou plynopriepustnosťou, so zvýšeným podielom ílovitej frakcie), ktoré 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 2018 monitorované v ten istý deň (t. j. v zrovnateľných meteorologických podmienkach), ale výsledky meraní OAR v pôdnom vzduchu vykazujú odlišný priebeh. Dlhodobo sledovaný charakter variácií závislostí je tu však pozorovateľný aj v sezóne 2018. Sú však pomerne výrazne skreslené variabilitou atmosférických zrážok.

Po zhodnotení výsledkov monitorovania OAR v pôdnom vzduchu za uplynulé sezóny (tab. 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 ve mi výrazný a systematický pokles afl na úrove $OAR_{3,Q} 2013 = 255 \text{ kBq.m}^{-3}$. V období 2016 a 2017 do-šo k výraznému nárastu $OAR_{3,Q}$ na 407 kBq.m^{-3} (rok 2016) resp. 411 kBq.m^{-3} (rok 2017). V sezóne 2018 ale nastal výrazný pokles na 282 kBq.m^{-3} , o je výrazne pod úrov ou dlhodobého priemeru ($OAR_{3,Q} 2002-2018 = 453 \text{ kBq.m}^{-3}$).
- **RP Novoveská Huta** od maxima $OAR_{3,Q} 2006 = 113 \text{ kBq.m}^{-3}$ do-šo postupne k poklesu obsahov pôdneho radónu afl na $OAR_{3,Q} 2013 = 35 \text{ kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch rokoch obsahy pôdneho radónu vzrástli afl na 88 kBq.m^{-3} (rok 2016), ale v sezóne 2017 opä poklesli na 68 kBq.m^{-3} . V roku 2018 opä stúpili na 82 kBq.m^{-3} , o je ufl nad úrov ou dlhodobého priemeru ($OAR_{3,Q} 2002-2018 = 71 \text{ kBq.m}^{-3}$).
- **RP Novoveská Huta II.** bola doposia monitorovaná iba 2x a to v závere sezóny 2018 s priemernou hodnotou $OAR_{3,Q} 2018 = 113 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **RP Teplá** od maxima $OAR_{3,Q} 2005 = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$ (okrem mimoriadne daľdivého roka 2010) pozorujeme pokles koncentrácií radónu v pôde afl na $OAR_{3,Q} 2013 = 35 \text{ kBq.m}^{-3}$. V sezónach 2014 afl 2016 do-šo k nárastu koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu na 74 kBq.m^{-3} (2016), v roku 2017 ale poklesli na 70 kBq.m^{-3} . E-še výraznejší pokles nastal v sezóne 2018 (47 kBq.m^{-3}) pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2002-2018 = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **RP Bratislava ó Vajnory** z úrovne $OAR_{3,Q} 2005 = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$ (okrem roka 2010) do-šo postupne k poklesu iba na $OAR_{3,Q} 2012 = 19 \text{ kBq.m}^{-3}$. V sezónach 2013 ó 2018 do-šo k nárastu OAR na 31 ó 47 kBq.m^{-3} , pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2018 = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- **RP Banská Bystrica ó Podlavice** z hodnoty $OAR_{3,Q} 2005 = 118 \text{ kBq.m}^{-3}$ (s výnimkou sezóny 2010) do-šo k poklesu afl na $OAR_{3,Q} 2012 = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$. V nasledujúcich troch monitorovacích obdobiach boli koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu dos stabilné a pohybovali sa v rozmedzí 56 ó 59 kBq.m^{-3} . V sezóne 2016 hodnoty OAR výrazne stúpili afl na 100 kBq.m^{-3} , ale v rokoch 2017 ó 2018 výrazne poklesli na 65 kBq.m^{-3} (2017), resp. iba 48 kBq.m^{-3} (2018), pri dlhodobom priemere $OAR_{3,Q} 2005-2018 = 72 \text{ kBq.m}^{-3}$.
- hodnoty $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu, zaznamenané v roku 2018, sú prevaľne znížené a pohybujú sa v rozmedzí: 62 % (Hnilec) afl 115 % (Nov. Huta) dlhodobých priemerov.

Výsledky monitorovania OAR v pôdnom vzduchu dlhodobo dokumentujú variabilitu jeho obsahov v pripovrchových astiach 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 tŕukturno-geologických a litologických charakteristík.

Merania OAR v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou na lokalite **Dobrá Vo-da** jednoznačne a kontrastne potvrďujú výskyt porušenej zóny, pozitívne ovplyvňuje 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): v ostatných 11-tich monitorovacích sezónach sa priemerné obsahy radónu pohybujú v rozmedzí 33 až 37 Bq.l⁻¹, variabilita $OAR_{2002-2018} = 27 \text{ až } 40 \text{ Bq.l}^{-1}$, pri dlhodobom priemere 34 Bq.l⁻¹.
- **prameň Zbojnianska** (Malé Karpaty): dosiahol priemernú ročnú úroveň $OAR_{2018} = 327 \text{ Bq.l}^{-1}$ (najvyššia hodnota od sezóny 2002), stredné hodnoty $OAR_{2002-2018} = 178 \text{ až } 327 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol 265 Bq.l⁻¹.
- **prameň Himligárka** (Malé Karpaty): po výraznom poklese OAR v sezóne 2008 (156 Bq.l⁻¹) tu došlo v nasledujúcich piatich rokoch postupne k nárastu až na 207 Bq.l⁻¹ (rok 2012), v nasledovných dvoch sezónach opäť k miernemu poklesu, v sezóne 2015 k výraznejšiemu poklesu iba na 139 Bq.l⁻¹, v roku 2016 k výraznému nárastu až na 176 Bq.l⁻¹, ale v sezóne 2017 opäť k poklesu na 153 Bq.l⁻¹. V roku tu OAR vo vode dosiahla úroveň 184 Bq.l⁻¹; variabilita $OAR_{2002-2018} = 125 \text{ až } 208 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer 170 Bq.l⁻¹.
- **prameň Bofeny Námčovej** (Bacúch): z maxima $OAR_{2010} = 344 \text{ Bq.l}^{-1}$ došlo v roku 2018 k poklesu na 308 Bq.l⁻¹, priemerné ročné úrovne $OAR_{2002-2018}$ varírujú v pomerne širokom rozmedzí 222 až 344 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer $OAR_{2002-2018} = 278 \text{ Bq.l}^{-1}$.
- **prameň sv. Ondreja** (Spišské Podhradie): od sezóny 2007 sa výrazne zvýšili priemerné ročné koncentrácie radónu: $OAR_{2002-2006} = 146 \text{ Bq.l}^{-1}$, ale $OAR_{2007-2018} = 191 \text{ Bq.l}^{-1}$, priemerné ročné hodnoty OAR sú v rozmedzí 137 Bq.l⁻¹ (rok 2002) až 206 Bq.l⁻¹ (rok 2018, čo je zároveň najvyššia hodnota od sezóny 2002), dlhodobý priemer 178 Bq.l⁻¹.

- **pramenisko Ja-ter ie** (Oravice): objekt vykazuje najvyšiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka $\sigma_{2006-2017} = 192 \text{ Bq.l}^{-1}$); dosahované sú tu najvyšie známe OAR v prírodných podzemných vodách, priemerné ročné úrovne $\text{OAR}_{2006-2018} = 536 \text{ ó } 1217 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer 1076 Bq.l^{-1} .
- na hľadnom z monitorovaných objektov nebola zistená korelácia závislosť medzi objemovou aktivitou radónu vo vode a výdatnosťou prameňa.
- obsahy radónu v podzemných vodách, zaznamenané v sezóne 2018, sú prevažne zvýšené a pohybujú sa v rozmedzí 108 % (prameň Himligárka) až 124 % (prameň Zbojník) dlhodobého priemeru.

Variácie objemovej aktivity radónu v sledovaných zdrojoch podzemných vôd majú skôr sezónny charakter a v priebehu monitorovania počas viacerých sezón vykazujú určitú vlnovú, resp. šinusoidálnu pravidelnosť (obr. 6 a 7). Na rozdiel od pôdneho radónu nie sú natoľko ovplyvňované náhodnými javmi, resp. zmenami v atmosfére a nie sú tak šcitlivé na rôzne krátkodobé zmeny počas (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 2018, 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 **TMGÚD™** 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 dať relevantné podklady pre prijímanie obec-

nejších 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 p d z hlediska vnikání radonu do byt , Geologický pr zkum 4, str. 114-115
- Cabáneková, H., Nikodemová, D., 2013: Usmer ovanie ofliarenie obyvate stva radónom v pobytových priestoroch, Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava
- íflek, P., Gluch, A., Smolárová, H., 2001: Atlas geofyzikálnych máp a profilov; textová príloha D 3 ó prírodná rádioaktivita, Geofond Bratislava
- Smolárová, H., 2001: Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR, závere ná správa za obdobie 1993 ó 2000, archív TĚGÚD™
- Smolárová, H., 2002: Monitorovanie radónu v geologickom prostredí. In: Geologické práce, správy 106, TĚGÚD™ Bratislava, str. 139-145, archív TĚGÚD™
- Klukanová, A., Iglárová, ., Wagner, P., Hra-na, M., Cipciar, A., Frankovská, J., Mikita, S., Bajto-, P., Smolárová, H., Gluch, A., Vl ko, J., Bodi-, D., Ondrá-ik, M., Ondrejka, P., Li-ák, P., Paudit-, P., Petro, ., Dananaj, I., Hagara, R., Moczo, P., Labák, P., Kristeková, M., Ferienc, D., Vanko, J., Ková iková, M., Záhorová, ., Matys, M., Gajdo-, V., Masarovi ová, M., Slávik, I., Vybíral, V., Rapant, S., Greif, V., Br ek, M., Kordík, J., Slaninka, I., 2011: iastkový monitorovací systém ó geologické faktory, správa za obdobie 2002 ó 2009, iastková závere ná správa. MfP SR, TĚGÚD™ Bratislava
- Vyhlá-ka Ministerstva zdravotníctva SR . 528/2007 o podrobnostiach a pofliadavkách na obmedzenie ofliarenia z prírodného ffiarenia, archív TĚGÚD™
- Zákon NR SR . 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov, archív TĚGÚD™