

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
BRATISLAVA
regionálne centrum Spišská Nová Ves



ČIASTKOVÝ MONITOROVACÍ SYSTÉM
GEOLOGICKÝCH FAKTOROV ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí
na území Slovenskej republiky

Správa za obdobie: rok 2012

Zodpovedný riešiteľ: RNDr. Pavel Liščák, CSc.

Správu vypracoval: RNDr. Augustín Gluch

September 2013

Zoznam obrázkov:

- Obr. č. 1** - Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2012
- Obr. č. 2** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2012; Lokalita: Novoveská Huta
- Obr. č. 3** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2012; Lokalita: Teplička
- Obr. č. 4** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2012; Lokality: Hnilec, Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice
- Obr. č. 5** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2012; Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 6** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2012; Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 7** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2012; 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 – 2012
- Tab. č. 6** - Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2012

OBSAH

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Metodika prác	2
3.	Prehľad a výsledky urobených prác	5
3.1	Pôdny radón na referenčných plochách	5
3.2	Pôdny radón na tektonike	8
3.3	Radón vo vodách	9
4.	Záver a odporúčania	12
5.	Literatúra	17

1. ÚVOD

Napriek skutočnosti, že ľudská populácia je permanentne vystavená účinkom ionizujúceho žiarenia, problematika prírodnej aj umelej (vyvolanej) rádioaktivity, bola desaťročia prakticky „tabu“. Urán bol 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 bagatelizovali a vo všeobecnosti sa usudzovalo, že radón a dcérske produkty jeho jadrového rozpadu bezprostredne ohrozujú len baníkov v uránových baniach.

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. Zo záverov ich výskumov vyplýva, že prírodné zdroje rádioaktívneho žiarenia prispievajú viac než tromi štvrtinami 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 človeka, kde dochádza ku kontaktnému ožarovaniu buniek pľúcneho tkaniva, čo môže v konečnom dôsledku viesť až k vzniku zhubného karcinómu pľúc.

Pozornosť a obavy verejnosti sú dlhodobo zamerané prevažne na umelé zdroje žiarenia (nukleárne zbrane, jadrová energetika, zdravotníctvo a p.), pričom väčšina populácie zväčša ani netuší, že najvýznamnejšie ožiarenie (mimo období po jadrových pokusoch, haváriách, ...) spôsobujú práve prírodné zdroje.

Pri neustále sa zhoršujúcich environmentálnych podmienkach je 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 (...) 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 podsysteme 05 v sezóne 2012, predstavoval opakované vzorkovania a merania objemovej aktivity radónu (OAR) v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 12-tich lokalitách (šesť lokalít pre pôdny ra-

dón – z toho jedna nad tektonikou a šesť objektov pre radón v podzemných vodách) na území Slovenska, vrátane ich komplexného spracovania, vyhodnotenia a porovnania výsledkov s predchádzajúcimi obdobiami, vypracovania hodnotiacich ročných správ (textová, tabuľková a grafická časť), aktualizovania výsledných databáz, atď.

2. METODIKA PRÁC

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 dňa) je inertný prírodný rádioaktívny plyn, vznikajúci samovoľným rozpadom rádia ^{226}Ra (zdroj alfa a gama žiarenia) v rozpadovom rade uránu ^{238}U a patrí medzi tzv. vzácne plyny. Má vyššiu hustotu než vzduch, je rozpustný v kvapalinách a je bez farby, chuti a zápachu.

Radón pomerne ľahko preniká horninovým prostredím pričom 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 cca 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 ovplyvňujúcich jeho šírenie (meteorologické podmienky – vlhkosť, teplota, tlak, rýchlosť vetra; plynopriepustnosť – porozita, tektonické porušenie hornín, ...). Cieľom monitorovacích prác v predmetnej časti projektu je sledovanie zmien koncentrácií radónu, ich celkové vyhodnotenie a posúdenie možných vplyvov.

Monitorovanie objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a v zdrojoch podzemných vôd bolo zamerané na oblasti s potvrdeným výskytom zvýšeného (stredného a vysokého) radónového rizika. Pri výbere lokalít sa vychádzalo z výsledkov hodnotenia starších prieskumných prác, zaoberajúcich sa problematikou prírodnej rádioaktivity, so zámerom zdokumentovať zmeny resp. variácie obsahov radónu v rôznych geologických jednotkách.

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. Po-

zícia jednotlivých bodov v rámci RP pri opakovaných monitorovacích prácach je zrovnateľná.

Referenčné plochy (objekty) sú monitorované minimálne dvakrát ročne. Tri objekty sú monitorované s vyššou frekvenciou (4 až 7 monitorovaní) za účelom lepšieho posúdenia 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 utesnenia, zo sondy sa odsaje atmosférický vzduch a vzorka pôdneho vzduchu sa nasaje do deemanovanej a evakuovanej scintilačnej Lucasovej komory o objeme 125 ml. Lucasova komora (LK) 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 určenie OAR) zaznamenávajú aj ďalšie doplňujúce údaje: počasie, zrážky, teplota pôdy v hĺbke 10 cm, pri zemi a vo vzduchu vo výške 1 m, atmosférický tlak, kvalitatívne posúdenie vlhkosti pokryvu v areáli RP, obtiažnosť hĺbenia sond a odberu vzoriek 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 odoberané do sklenených vzorkovnic so zabrušeným hrdlom, doplna (objem cca 300 ml), bez vzduchovej bubliny. Pri odbere vzorky vody je meraná okamžitá hodnota teploty vody a vzduchu, výdatnosť zdroja, atmosférický tlak, meteorologické podmienky pri odbere (...), vrátane ďalších údajov, potrebných pri výpočte 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.

Postup rádiometrických meraní a hodnotenie radónu v geologickom prostredí je určene schválenou metodikou. Spôsob stanovenia objemovej aktivity radónu (c_A) v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti základových pôd je v súlade s ustanoveniami zákona č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a v zmysle vyhlášky Ministerstva zdra-

votníctva SR č. 528/2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia.

Pri meraní OAR sa používa kalibrované a metrologicky overené meracie zariadenie typu LUK-4A, 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 jeho dcérskymi produktmi 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 na základe kalibrácie meracieho systému
 - V - objem vzorky pôdneho vzduchu v LK v litroch
 - $R(t_v, t_r)$ - korekčný faktor zohľadňujúci rádioaktívnu premenu od odberu vzorky po koniec merania a zároveň aj stav posuvnej rádioaktívnej rovnováhy medzi ^{222}Rn a jeho dcérskymi produktmi rozpadu v LK. Pri meraní (3,5 hod. po napustení LK) je dosiahnutý stav rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérskymi produktmi. Zanedbaním poklesu aktivity radónu v priebehu merania (t_v), môžeme dostatočne presne pre $t_r \geq 210$ min a ľubovoľné t_v určiť $R(t_v, t_r)$ zo vzťahu: $R(t_v, t_r) = 3 \cdot t_v \cdot e^{-\lambda t_r}$ (sec)
 - t_v - čas merania vzorky pôdneho vzduchu v LK v sekundách
 - t_r - doba od napustenia vzorky pôdneho vzduchu do LK do začiatku merania v minútach
 - λ - rozpadová konštanta ^{222}Rn ($0,000125884 \text{ min}^{-1}$)

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

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

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}Rn za dobu t_F (doba od času odberu vzorky v teréne po čas naplnenia LK)

k - koeficient účinnosti merania stanovený na základe kalibrácie meracieho systému

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

3. PREHLAD A VÝSLEDKY UROBENÝCH PRÁČ

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol v roku 2012 realizovaný (podobne ako v predchádzajúcich monitorovacích obdobiach) v oblastiach:

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

Geografická situácia monitorovaných objektov je schematicky znázornená na obr. č. 1 (všetky vyhotovené obrázky prezentujeme v časti **OBRÁZKY tejto správy**).

3.1 Pôdny radón na referenčných plochách

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referenčných plochách (RP) bol v roku 2012 vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách v strednom až vysokom (na lokalite RP Hnilec vo vysokom až extrémnom) radónovom riziku:

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

RP Hnilec, založená cca 2,1 km JJZ od centra rovnomennej obce pri štátnej ceste č. 533 Spišská Nová Ves – Gemerská Poloma, sa nachádza vo vysokom až extrémnom radónovom riziku, litologicky viazanom na zvetraný stredno-hrubozrnný gemeridný (tzv. „hnilecký“) granit s anomálnymi obsahmi uránu (podľa spektrometrie gama cca 20 ppm eU) a vyznačuje sa najvyššou prírodnou rádioaktivitou hornín Západných Karpát.

Monitoring OAR na RP Hnilec bol v sezóne 2012 zrealizovaný 4x a to v období apríl až október (štyri monitorovania, spolu 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

V sezóne 2012 tu medziročne došlo k veľmi výraznému poklesu hodnôt OAR v pôdnom vzduchu (trend $\text{OAR}_{2012/2011} = 0,60$). Stredná hodnota $\text{OAR}_{3,Q}$ (3. kvartil OAR) v roku 2012 dosiahla iba $258 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, čo je najmenej od začiatkov monitorovania na tejto lokalite v júli 1998. Dlhodobý priemer $\text{OAR}_{2002-2012} = 515 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Po doterajšom maxime z roku 2008 ($712 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) hodnoty $\text{OAR}_{3,Q}$ v pôdnom vzdu-

chu na RP Hnilec v sezónach 2009 až 2012 vykazujú výrazný a systematický pokles. V jednotlivej sonde bola zaznamenaná $OAR_{max} = 712 \text{ kBq.m}^{-3}$ (apríl 2012).

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 – 2012 prezentujeme na obr. č. 4 a prehľadne v tab. č. 6. Podrobnejšie štatistické údaje za uplynulý rok a porovnanie výsledkov monitorovania z predchádzajúcich sezón prezentujeme v tab. č. 3.

RP Novoveská Huta je situovaná na JZ okraji rovnomennej obce pozdĺž miestnej obecnej komunikácie od kostola smerom na Rybníky. Založená je v prostredí budovanom pestrofarebnými pieskovecami a bridlicami – strážanské vrstvy novoveského súvrstvia (perm) strednej plynopriepustnosti s väzbou na zlomovú líniu SSV – JJZ smeru.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu tu bol v sezóne 2012 zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, spolu 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na objekte RP Novoveská Huta došlo k veľmi výraznému poklesu priemernej ročnej hodnoty $OAR_{3,Q} = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$, čo je najnižšia hodnota od začiatku monitorovania (sezóna 1998), pri trende $OAR_{2012/2011} = 0,55$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2012} = 75 \text{ kBq.m}^{-3}$. Najvyššia priemerná mesačná úroveň bola zaregistrovaná v auguste ($OAR_{3,Q} = 61 \text{ kBq.m}^{-3}$) a v jednotlivej sonde $OAR_{max} = 240 \text{ kBq.m}^{-3}$ v apríli 2012.

Grafické znázornenie hodnôt $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu v jednotlivých monitorovacích sezónach na tejto lokalite, ich vývoj v priebehu sezóny 2012 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2012) dokumentujeme na obr. č. 2. Pre kvalitatívne posúdenie úrovni OAR a mesačných zrážkových úhrnov (oblasť východného Slovenska, obdobie 2004 – 2012; zdroj www.shmu.sk) je do obrázku zapracovaná príslušná grafická závislosť.

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

V letných mesiacoch sú na RP Novoveská Huta dlhodobo zisťované zvýšené a na jar a jeseň znížené $OAR_{3,Q}$. Výrazný pokles koncentrácií pôdneho radónu (niekedy až na úroveň nízkeho radónového rizika), často zaznamenaný pri monitoringu na tejto lokalite pri prvých jesenných mrazoch, v sezóne 2012 nebol zaregistrovaný. Je to zrejme dôsledok nezvyčajne teplej jesene (prvé ranné mrazíky sa tu zaznamenali až v novembri) a všeobecne veľmi nízkych hodnôt OAR v pôdnom vzduchu, zisťovaných v priebehu celej sezóny 2012.

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

Podložie objektu (RP) budujú sedimenty paleogénu (bridlice, pieskovce) strednej prie-

pustnosti s vyšším podielom ílovitej frakcie. Ílovité vrstvičky s malou plynopriepustnosťou síce tvoria pomerne účinnú bariéru pri prenikaní radónu k povrchu, ale tento jav sa prejavuje iba pri zvýšenej vlhkosti horninového prostredia. Opačnú závislosť je – v určitej miere – možné očakávať v obdobiach s nízkymi zrážkovými úhrnmi, kedy plynopriepustnosť miestnych sedimentov v dôsledku poklesu vlhkosti pokryvných útvarov významne vzrastie.

Monitoring na tejto lokalite bol zrealizovaný v mesačných intervaloch v období apríl až október (sedem monitorovaní, 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Minimum bolo namerané v auguste ($OAR_{3,Q} = 31 \text{ kBq.m}^{-3}$) a maximum v apríli ($OAR_{3,Q} = 59 \text{ kBq.m}^{-3}$). Najvyšší obsah pôdneho radónu v jednotlivkej sonde bol zaznamenaný v júli ($OAR_{\max} = 93 \text{ kBq.m}^{-3}$).

V oblasti RP Teplička od maxima OAR z roku 2005 (92 kBq.m^{-3}) dochádza (s výnimkou sezóny 2010 s extrémnymi zrážkovými úhrnmi) k výraznému poklesu koncentrácií pôdneho radónu iba na $OAR_{3,Q} = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$ v roku 2012. Jedná sa o najnižšiu hodnotu nielen od extrémne suchého roka 2003 (56 kBq.m^{-3}), ale aj od začiatku monitorovania v roku 1998. Medziročný trend $OAR_{2012/2011} = 0,71$; dlhodobý priemer $OAR_{2002-2012} = 71 \text{ kBq.m}^{-3}$.

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 pre oblasť východného Slovenska od roku 2004. 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.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na tejto lokalite bol v roku 2012 zrealizovaný dvakrát – v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na RP Bratislava – Vajnory došlo medziročne k veľmi výraznému poklesu obsahov pôdneho radónu (trend $OAR_{2012/2011} = 0,61$), pričom na tejto lokalite bola v sezóne 2012 vyšetovaná najnižšia stredná hodnota $OAR_{3,Q} = 19 \text{ kBq.m}^{-3}$ od roku 2005, čo je významne pod úroveň dlhodobého priemeru $OAR_{2005-2012} = 47 \text{ kBq.m}^{-3}$. Objekt tak spadá už len do kategórie nízkeho radónového rizika (obr. č. 4).

Najvyššie koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu v jednotlivkej sonde sa tu zistili pri jesennom monitoringu (56 kBq.m^{-3}). Stredné hodnoty $OAR_{3,Q}$ v sezóne 2012 boli nízke a do-

siahli 21 kBq.m^{-3} (jar) a iba 16 kBq.m^{-3} (jeseň).

Na RP Bratislava – Vajnory sa v období 2005 až 2012 (s výnimkou mimoriadne vlhkej sezóny 2010) postupne znižujú priemerné ročné úrovne $\text{OAR}_{3,Q}$. Od roku 2005 (67 kBq.m^{-3}) došlo v roku 2012 k poklesu iba na 19 kBq.m^{-3} (tab. č. 6), čo je zároveň doposiaľ vôbec najnižší ročný priemer $\text{OAR}_{3,Q}$, ktorý tu bol zaznamenaný.

Podrobné informácie a výsledky štatistického spracovania nameraných hodnôt OAR v pôdnom vzduchu po jednotlivých monitorovacích obdobiach dokladujeme v tab. č. 3 a súhrnný prehľad v tab. č. 6.

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

Geologické podložie referenčnej plochy je budované ramsauskými dolomitmi s anomálnymi koncentraciami uránu (tzv. „uránové dolomity“).

Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2012 uskutočnilo dvakrát a to v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, spolu 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Maximálna OAR v jednotlivkej sonde dosiahla 79 kBq.m^{-3} pri jesennom monitoringu, so strednými hodnotami $\text{OAR}_{3,Q}$ na úrovni iba 24 kBq.m^{-3} (jar), resp. 23 kBq.m^{-3} (jeseň).

Na tomto objekte od roku 2005 (okrem sezóny 2010, charakterizovanej mimoriadne vysokými zrážkovými priemerami) sledujeme postupný a výrazný pokles úrovni $\text{OAR}_{3,Q}$, kedy z úrovne 118 kBq.m^{-3} v roku 2005 došlo v roku 2012 k poklesu iba na 24 kBq.m^{-3} (trend $\text{OAR}_{2012/2005} = 0,20$) pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2005-2012} = 77 \text{ kBq.m}^{-3}$.

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 2012 dokumentujeme na obr. č. 4.

3.2 Pôdny radón na tektonike

PF Grajnár II sú situované cca 2,1 km východne od obce Hnilec, asi 400 m východne od kóty Holičky (1086 m). Dva pôvodné monitorovacie profily (smer SZ–JV) prebiehajú nad tektonickým kontaktom (smer Z–V) metabazaltových tufov a tufitov sykavského súvrstvia s kremennými fylitmi, s metamorfovanými pieskovecami smrečianskeho súvrstvia (Slovenské rudohorie, rakovecká skupina).

Nakoľko prístup na pôvodné monitorovacie profily je už tri roky po sebe (sezóny 2010 až 2012) znefunkčnený v dôsledku rozsiahlej ťažby dreva v skúmanej oblasti, vybudovaný bol nový monitorovací areál – **Grajnár II**, ktorý je posunutý o cca 50 m SV smerom.

Upravený bol počet profilov z dvoch na tri, dĺžka jednotlivých profilov na 210 m (spolu 630 m) a počet odobraných vzoriek pôdneho vzduchu na 70. Vzďialenosť profilov (10 m) aj krok vzorkovania (10 m) ostali zachované.

Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu na profiloch nad tektonickou dislokáciou na lokalite Grajnár II bolo zrealizované v auguste 2012.

Výsledky monitorovania jednoznačne a kontrastne potvrdzujú výskyt dislokácie, ktorá pozitívne ovplyvňuje transport radónu k povrchu aj z väčších hĺbok, takže koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu nad zlomom dosahujú anomálne hodnoty, niekedy aj rádovo prevyšujúce pozadie (obr. č. 5, tab. č. 6).

Pretože v predmetnej oblasti sa – podľa dostupných informácií – v blízkej budúcnosti ukončenie ťažby dreva neočakáva, počnúc rokom 2013 bude ťažisko monitorovania OAR nad tektonikou presunuté do oblasti Dobrej vody.

PF Dobrá voda je založený cca 1,1 km SSZ od centra rovnomennej obce. V sezóne 2012 tu boli zrealizované orientačné merania OAR v pôdnom vzduchu nad zlomom. Geofyzikálny profil má smer približne SV–JZ, dĺžku 80 m a krok odberu pôdneho radónu 5 m.

Výsledovaná tektonická dislokácia vo wettersteiských dolomitoch, prekrytá fluvialnymi nivnými sedimentmi, sa prejavila výrazným nárastom koncentrácií pôdneho radónu s $OAR_{max} = 24 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ v normálnom poli pod $2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. č. 6).

V sezóne 2013 tu budú vykonané ďalšie doplňujúce (MULTIKÁBEL, podľa možnosti GEORADAR) a detailné plošné, resp. profilové merania koncentrácií pôdneho radónu.

Po získaní nevyhnutného prístrojového vybavenia na kontinuálne meranie OAR a vybudovaní pozorovacieho objektu (vrt) tu do budúcnosti predpokladáme prepojenie podsystémov 05 a 02 (*Tektonická a seizmická aktivita územia*).

3.3 Radón vo vodách

Práce a činnosti, vykonávané pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd, boli v roku 2012 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 dokladuje-

me ich formou tabuľkových výstupov (tab. č. 4, 5 a 6). Výsledky meraní na vybraných lokalitách za obdobie 2002 – 2012 graficky prezentujeme formou prehľadných stĺpcových grafov na obr. č. 7, 8 a 9.

V tab. č. 4 dokladujeme základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za obdobie sezóny 2012, 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 až 2012 uvádzame v tab. č. 5. Prehľadný súhrn výsledkov monitorovania za uvedené sezóny je v tab. č. 6.

V oblasti **Malých Karpát** (severne od centra Bratislavy) boli v máji a septembri 2012 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, v ktorých sú dobré podmienky na vznik a šírenie radónu.

Mierny nárast OAR v podzemných vodách bol v roku 2012 zaznamenaný v prameni Mária (trend $OAR_{2012/2011} = 1,09$) pri priemernej ročnej hodnote $OAR_{2012} = 36 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2002-2012} = 33 \text{ Bq.l}^{-1}$.

O niečo nižší nárast koncentrácií radónu bol medziročne zistený na prameni Himligárka (trend $OAR_{2012/2011} = 1,07$) pri strednej ročnej úrovni $OAR_{2012} = 207 \text{ Bq.l}^{-1}$, čo je len o málo menej, než doposiaľ najvyššia priemerná $OAR = 208 \text{ Bq.l}^{-1}$ z roku 2007. Dlhodobý priemer $OAR_{2002-2012} = 168 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Naopak k miernemu poklesu došlo na prameni Zbojníčka (trend $OAR_{2012/2011} = 0,97$), stredná ročná hodnota $OAR = 284 \text{ Bq.l}^{-1}$, dlhodobý priemer $OAR_{2002-2012} = 243 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Vyššie obsahy radónu v podzemných vodách boli zaznamenané v jarnom termíne na prameňoch Mária a Zbojníčka, ale prameň Himligárka bol v jesennom monitorovacom termíne vyschnutý. Koeficienty variácie OAR (V_{Rn}) v sezóne 2012 boli nízke a pohybovali sa v rozmedzí iba 4 % (prameň Mária) až 6 % (prameň Zbojníčka) – tab. č. 4.

Na všetkých troch prameňoch v oblasti Malých Karpát došlo medziročne k viac alebo menej výraznému poklesu priemerných výdatností prameňov ($Q_{Mária} = 0,171 \text{ l.s}^{-1}$, $Q_{Zbojníčka} = 0,207 \text{ l.s}^{-1}$ a $Q_{Himligárka} = 0,168 \text{ l.s}^{-1}$, ktorý bol pri jesennom monitorovaní vyschnutý). Korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou zdrojov podzemných vôd nebola zistená. Podrobnejšie informácie uvádzame v tab. č. 4 a 5 a na obr. č. 9.

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 (308 Bq.l^{-1}) bolo zaznamenané v apríli a minimum (188 Bq.l^{-1}) v októbri 2012 (tab. č. 4 a 5, obr. č. 8).

Na lokalite došlo medziročne k poklesu koncentrácií radónu v podzemných vodách (trend $\text{OAR}_{2012/2011} = 0,87$), pri strednej hodnote $\text{OAR}_{2012} = 258 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2002-2012} = 267 \text{ Bq.l}^{-1}$ (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2012 dosiahla $0,022 \text{ l.s}^{-1}$, pri pomerne nízkom koeficiente variácie ($V_Q = 12 \%$). Aj v porovnaní s predošlými monitorovacími sezónami sa jedná o pomerne stabilnú úroveň: v sezónach 2002 až 2012 sa výdatnosti pohybovali v rozmedzí iba $0,020 - 0,027 \text{ l.s}^{-1}$, pri pomerne nízkej variabilite ($V_Q = 8 - 17 \%$). Ani na tomto prameni nebola zistená korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou.

Prameň sv. Ondreja pri Spišskom Podhradí, je lokalizovaný 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.

V uplynulej sezóne tu medziročne došlo iba k malému poklesu priemerných obsahov radónu (trend $\text{OAR}_{2012/2011} = 0,96$), pri dlhodobom priemere $\text{OAR}_{2002-2012} = 170 \text{ Bq.l}^{-1}$. Najvyššia hodnota OAR = 237 Bq.l^{-1} bola zaznamenaná v marci a najnižšia (136 Bq.l^{-1}) v auguste sezóny 2012 (obr. č. 7, tab. č. 4, 5 a 6).

Výdatnosti prameňa sa v roku 2012 pohybovali v rozmedzí $0,031 - 0,048 \text{ l.s}^{-1}$, so strednou hodnotou $0,041 \text{ l.s}^{-1}$ a koeficiente variácie $V_Q = 11 \%$. Priemerná výdatnosť prameňa aj v predošlých monitorovacích sezónach varíovala v pomerne úzkom rozmedzí $0,033$ až $0,044 \text{ l.s}^{-1}$ ($V_Q = 11 - 30 \%$), bez korelácie na koncentrácie radónu vo vode.

Pramenisko Jašterčie, situované cca 1,8 km južne od obce Oravice (neďaleko vrtu OZ-1), bolo monitorované v apríli a októbri 2012.

Vody tohto zdroja majú hlboký obeh, viazaný na predterciérne útvary a zóny hlbinných tektonických dislokácií. Zdroj radónu je nielen emanačný (získavaný z prostredia emajúcich 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 dosahované doposiaľ najvyššie známe objemové aktivity radónu v prírodných podzemných vodách v rámci územia SR. Potvrdzujú to aj výsledky meraní v roku 2012, kedy boli namerané hodnoty $OAR = 1074 \text{ Bq.l}^{-1}$ (jar) a 1102 Bq.l^{-1} na jeseň (trend $OAR_{2012/2011} = 1,02$), pri strednej ročnej úrovni $OAR_{2012} = 1088 \text{ Bq.l}^{-1}$ a dlhodobom priemere $OAR_{2006-2012} = 1015 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Vzhľadom na charakter zdroja – pramenisko so starým poničeným 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. 9.

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 2012 v rozsahu porovnateľnom so sezónou 2011.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsystéme v roku 2012, predstavoval opakované vzorkovania a merania OAR v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 12-tich lokalitách (šesť lokalít pre pôdny radón – z toho jedna nad tektonikou a šesť objektov pre radón v podzemných vodách) v rámci územia Slovenska (obr. č. 1), vrátane ich komplexného spracovania, vyhodnotenia a 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 2012 vykonávalo s rôznou frekvenciou odberov a meraní v období apríl až október na lokalitách v strednom a vysokom radónovom riziku: Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice, Novoveská Huta a Teplička, resp. v až 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 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 období.

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 horninového prostredia v oblasti 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. Prehľad priemerných zrážkových úhrnov pre územie SR za obdobie 2002 – 2012 uvádzame v tab. č. 6 (zdroj: *www.shmu.sk*).

Atmosférické zrážky na území Slovenska v sezóne 2012 boli prakticky na úrovni dlhodobého priemeru (98 %) a dosiahli 747 mm.

Všeobecne sa predpokladá, že pôdna vlhkosť „pozitívnym“ spôsobom ovplyvňuje koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu, pretože vyššia vlhkosť pokryvných útvarov v areáli 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 závislosť medzi OAR v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosťou (vlhkosťou) sa v sezóne 2012 nepotvrdila ani na jednej z monitorovaných RP. Napriek atmosférickým zrážkam na úrovni dlhodobého priemeru (747 mm, t.j. 98 % dlhodobého priemeru; tab. č. 6) –

došlo k veľmi výraznému poklesu obsahov pôdneho radónu (trendy $OAR_{2012/2011} = 0,55 - 0,71$) a zaznamenané boli vôbec najnižšie koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu na hodnotených RP od počiatkov monitorovania v roku 1998.

Popisovaný jav mal v uplynulej sezóne zrejme regionálny (celoslovenský) charakter. V retrospektívnom pohľade je dlhodobo zrejماً pomerne významná závislosť medzi množstvom atmosférických zrážok a OAR v pôdnom vzduchu. Na akumuláciu a transport radónu v pôdnom vzduchu má zrejme významný vplyv doposiaľ neznámy činiteľ, ktorého identifikácia si vyžiada ďalšie práce a dlhodobejšie sledovanie. Túto anomáliu je však možné zaradiť medzi dôležité výsledky monitorovania OAR v pôdnom vzduchu.

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

Nejednoznačnou sa predbežne javí závislosť medzi zvýšením úrovne OAR v pôdnom vzduchu v sezónach s vysokými zrážkovými priemerami, ktorá bude vyžadovať dlhodobejšie sledovanie.

Sezónne variácie OAR v pôdnom vzduchu závisia nielen od vlhkosti (plynopriepustnosti) miestnych zemín a hornín, ale 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 Teplička (paleogénne sedimenty so strednou až nízkou plynopriepustnosťou, so zvýšeným podielom ílovitej frakcie), ktoré sú relatívne blízko seba (cca 5 km), približne v rovnakej klímatickej oblasti, ale s odlišným geologickým profilom, v ktorom je akumulácia a šírenie radónu sledované.

Obe tieto lokality boli v sezóne 2012 monitorované v ten istý deň (t.j. v zrovnateľných meteorologických podmienkach), ale výsledky meraní OAR v pôdnom vzduchu vykazujú odlišný priebeh.

Aj keď boli v uplynulej sezóne (zrejme v dôsledku vyšších zrážkových úhrnov v letných mesiacoch) výraznejšie ovplyvnené výsledky meraní hlavne v areáli RP Teplička, dlhodobo sledovaný charakter variačných závislostí je pozorovateľný aj v roku 2012 – v letných mesiacoch boli na RP Novoveská Huta vysledované zvýšené a na RP Teplička (okrem júla 2012) znížené koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu. Na jar a jeseň naopak: Novoveská

Huta nízke a Teplička vysoké OAR.

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

- **RP Hnilec** po doterajšom maxime $OAR_{2008} = 712 \text{ kBq.m}^{-3}$ obsahu radónu v pôdnom vzduchu v nasledujúcich sezónach vykazujú veľmi výrazný a systematický pokles ($OAR_{2012} = 258 \text{ kBq.m}^{-3}$), pri trende $OAR_{2012/2008} = 0,36$
- **RP Novoveská Huta** od maxima $OAR_{2006} = 113 \text{ kBq.m}^{-3}$ došlo postupne k poklesu koncentrácií pôdneho radónu na $OAR_{2012} = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$, trend $OAR_{2012/2006} = 0,35$
- **RP Teplička** od maxima $OAR_{2005} = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$ (okrem mimoriadne daždivého roku 2010) pozorujeme pokles koncentrácií radónu v pôde na $OAR_{2012} = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$, trend $OAR_{2012/2005} = 0,46$
- **RP Bratislava – Vajnory** z úrovne $OAR_{2005} = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$ (okrem roku 2010) dochádza postupne k poklesu obsahov radónu v pôdnom vzduchu na $OAR_{2012} = 19 \text{ kBq.m}^{-3}$, trend $OAR_{2012/2005} = 0,28$
- **RP Banská Bystrica – Podlavice** z hodnoty $OAR_{2005} = 118 \text{ kBq.m}^{-3}$ (s výnimkou sezóny 2010) je zrejmy postupný a výrazný pokles koncentrácií pôdneho radónu iba na $OAR_{2012} = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$, trend $OAR_{2012/2005} = 0,20$

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

Monitoring koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou v oblasti lokality Grajnár bol v ostatných troch sezónach prerušený v dôsledku blokovania areálu rozsiahlou ťažbou dreva, resp. krátenia finančných prostriedkov na riešenie projektu. V roku 2012 bol preto vybudovaný nový monitorovací areál – Grajnár II.

Výsledky monitoringu na tejto lokalite (v oboch skúmaných areáloch) dlhodobo, jednoznačne a kontrastne potvrdzujú výskyt dislokácie, ktorá pozitívne ovplyvňuje transport radónu k povrchu z väčších hĺbok, takže koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu nad zlomom dosahujú anomálne hodnoty (niekedy aj rádovo prevyšujúce pozadie).

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

- **prameň Mária** (Malé Karpaty): v posledných piatich monitorovacích sezónach sa koncentrácie radónu ustálili v rozmedzí 33 – 36 Bq.l⁻¹, variabilita OAR₂₀₀₂₋₂₀₁₂ = 27 – 40 Bq.l⁻¹, pri dlhodobom priemere 33 Bq.l⁻¹
- **prameň Zbojnička** (Malé Karpaty): dosiahol priemernú ročnú úroveň OAR₂₀₁₂ = 284 Bq.l⁻¹, čo je iba o niečo menej, ako doposiaľ najvyššia hodnota zo sezóny 2011 (294 Bq.l⁻¹), stredné hodnoty OAR₂₀₀₂₋₂₀₁₂ = 178 – 294 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol 243 Bq.l⁻¹
- **prameň Himligárka** (Malé Karpaty): za posledných päť monitorovacích období vykazuje rastúci trend obsahov radónu – v sezóne OAR₂₀₁₂ = 207 Bq.l⁻¹ – t.j. prakticky na úrovni doposiaľ najvyššej hodnoty OAR₂₀₀₇ = 208 Bq.l⁻¹, variabilita OAR₂₀₀₂₋₂₀₁₂ = 125 – 208 Bq.l⁻¹, pri dlhodobom priemere 168 Bq.l⁻¹
- **prameň Boženy Němcovej** (Bacúch): z maxima OAR₂₀₁₀ = 344 Bq.l⁻¹ došlo v roku 2012 k poklesu na 258 Bq.l⁻¹, priemerné ročné úrovne OAR₂₀₀₂₋₂₀₁₂ varujú v pomerne širokom rozmedzí 222 – 344 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer OAR₂₀₀₂₋₂₀₁₂ = 267 Bq.l⁻¹
- **prameň sv. Ondreja** (Sp. Podhradie): od sezóny 2007 sa výrazne zvýšili priemerné ročné koncentrácie radónu: OAR₂₀₀₂₋₂₀₀₆ = 146 Bq.l⁻¹, ale OAR₂₀₀₇₋₂₀₁₂ = 189 Bq.l⁻¹, priemerné ročné hodnoty OAR₂₀₀₂₋₂₀₁₂ = 137 – 198 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer 170 Bq.l⁻¹
- **pramenisko Jašterčie** (Oravice): zdroj vykazuje najvyššiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka $\sigma_{2006-2012}$ = 239 Bq.l⁻¹) a dosahované sú tu najvyššie známe OAR v prírodných podzemných vodách, priemerné ročné úrovne OAR₂₀₀₆₋₂₀₁₂ = 536 – 1217 Bq.l⁻¹, dlhodobý priemer 1015 Bq.l⁻¹
- na žiadnom z monitorovaných objektov nebola zistená korelačná závislosť medzi objemovou aktivitou radónu vo vode a výdatnosťou prameňa.

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. 7 a 8). 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 získané poznatky nezanedbateľný význam, pretože poukazujú napr. na možnosť podhodnotenia, alebo naopak nadhodnotenia radónového rizika stavebného pozemku pri meraniach realizovaných za nevhodných meteorologických podmienok (obdobia s nízkymi / vysokými zrážkovými úhrnmi, výrazné teplotné rozdiely medzi atmosférou a pokryvnými sedimentmi – hlavne skoro na jar, neskoro na jeseň, prípadne v zime). Nevyhnutné je 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 2012, 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, sprístupnenie výsledkov monitoringu prostredníctvom služieb internetu (...) 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 daného projektu.

Objem finančných prostriedkov, čerpaných pri realizácii výkonov a činností v podsysteme 05 – Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky, v roku 2012 dosiahol čiastku 16.690 €.

5. LITERATÚRA

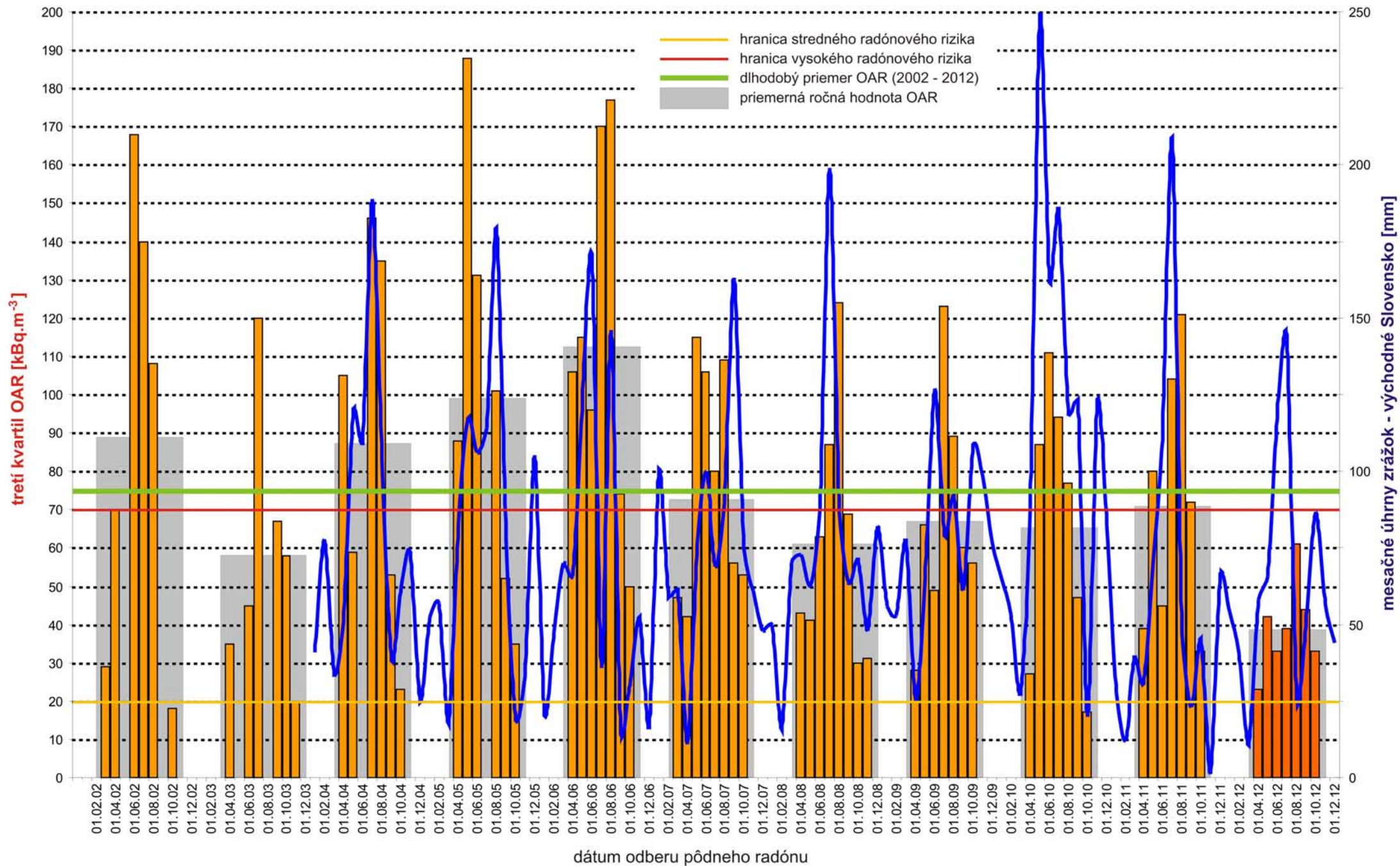
- Barnet, I., Kulajta, V., Neznal, M., Matolín, M., Prokop, P., 1992: Hodnocení základových pŕd z hlediska vnikání radonu do bytŕ, Geologický prŕzkum 4, str.114-115, archív ŠGÚDŠ
- Čížek, P., Gluch, A., Smolárová, H., 2001: Atlas geofyzikálních máp a profilov; textová príloha D 3 – prírodná rádioaktivita, 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
Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 528/2007 o podrobnostiach a požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia, archív ŠGÚDŠ
Zákon NR SR č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov, archív ŠGÚDŠ

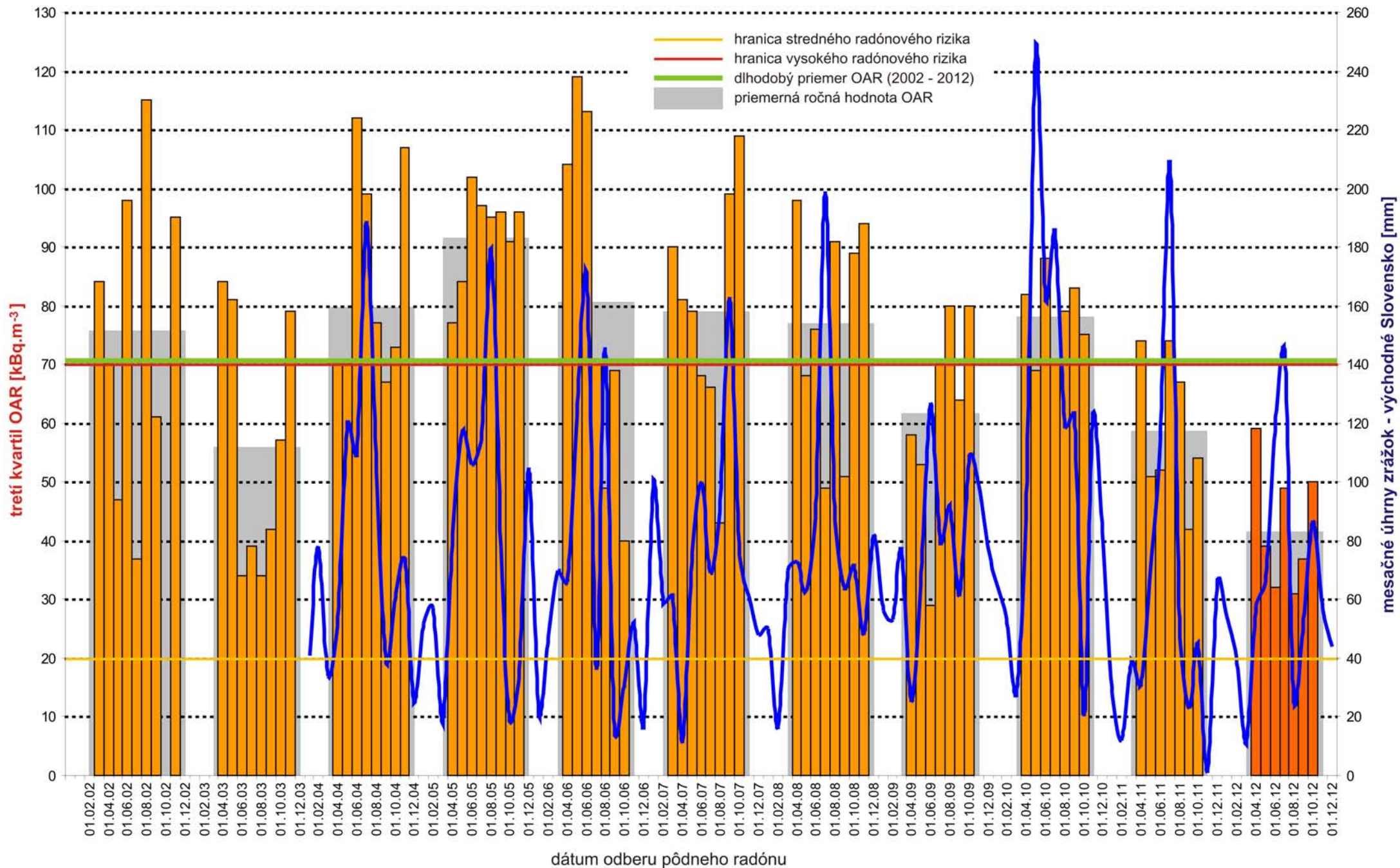
O B R Á Z K Y



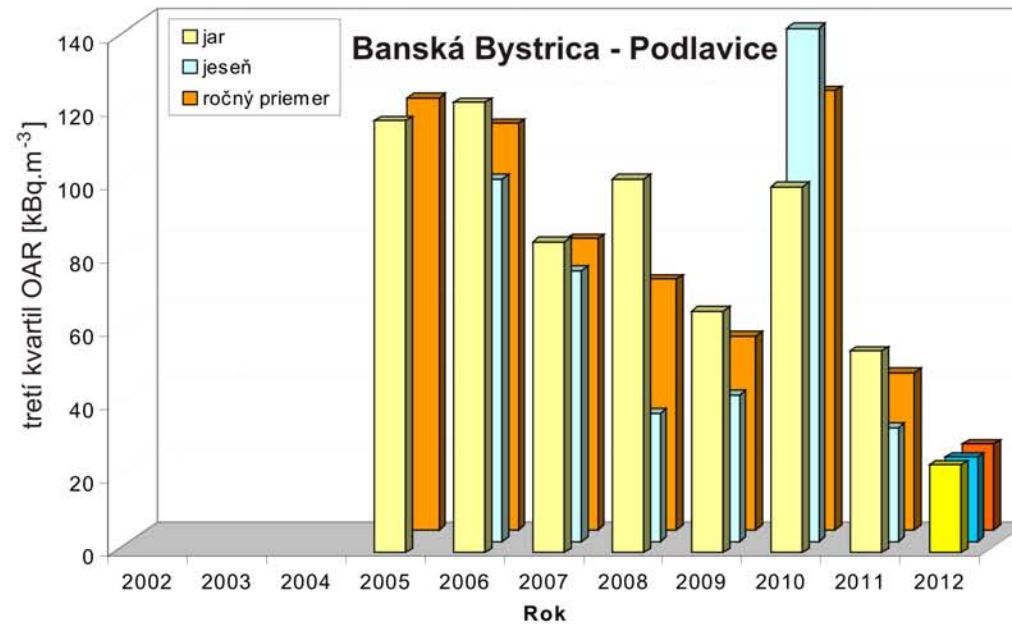
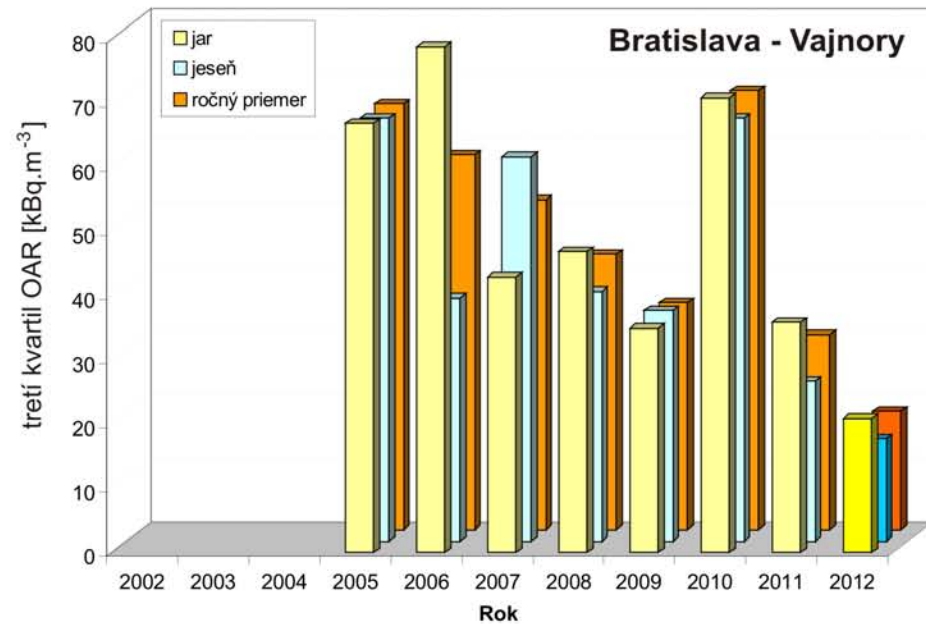
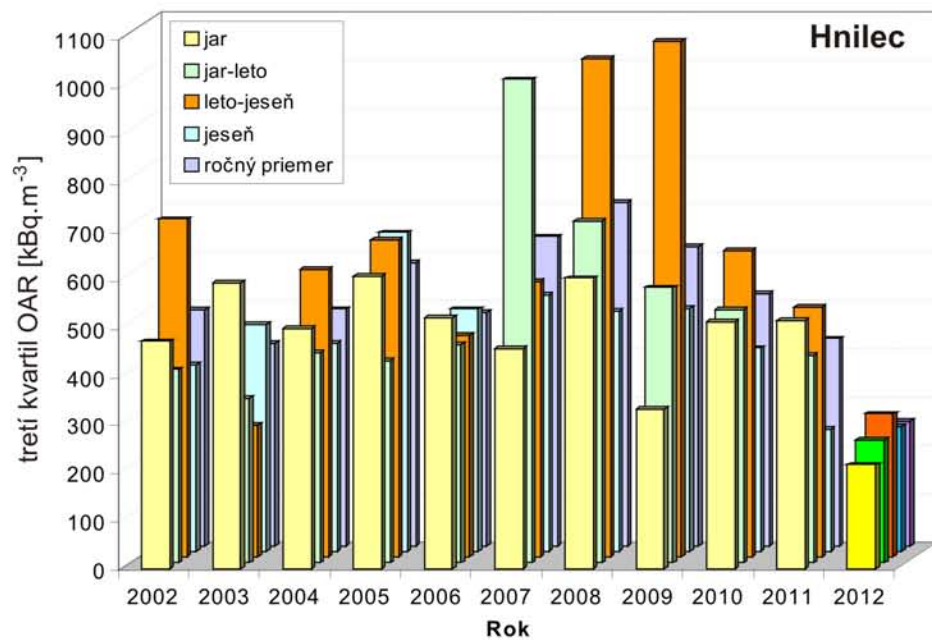
Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2012



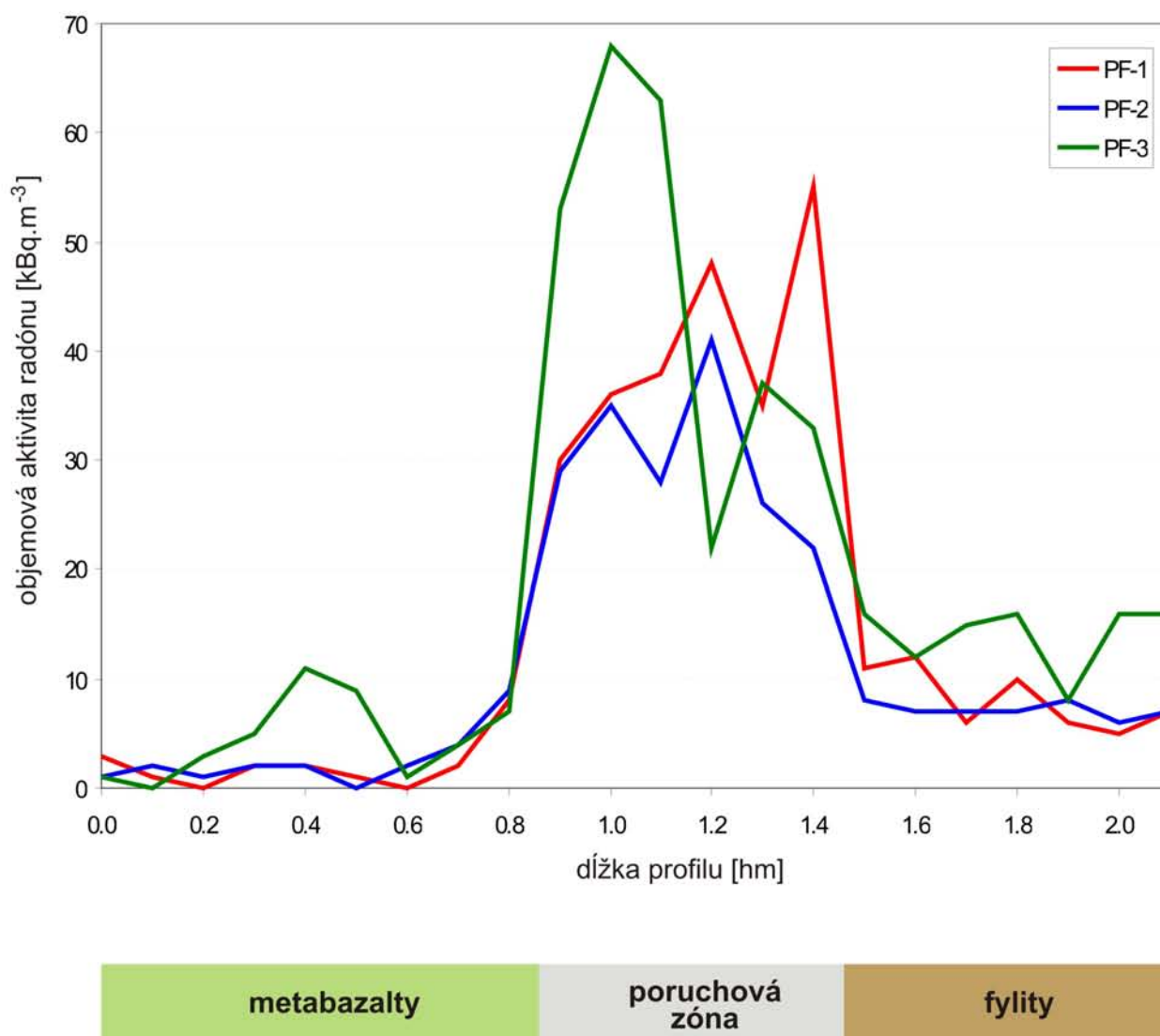
Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2012
 Lokalita: Novoveská Huta



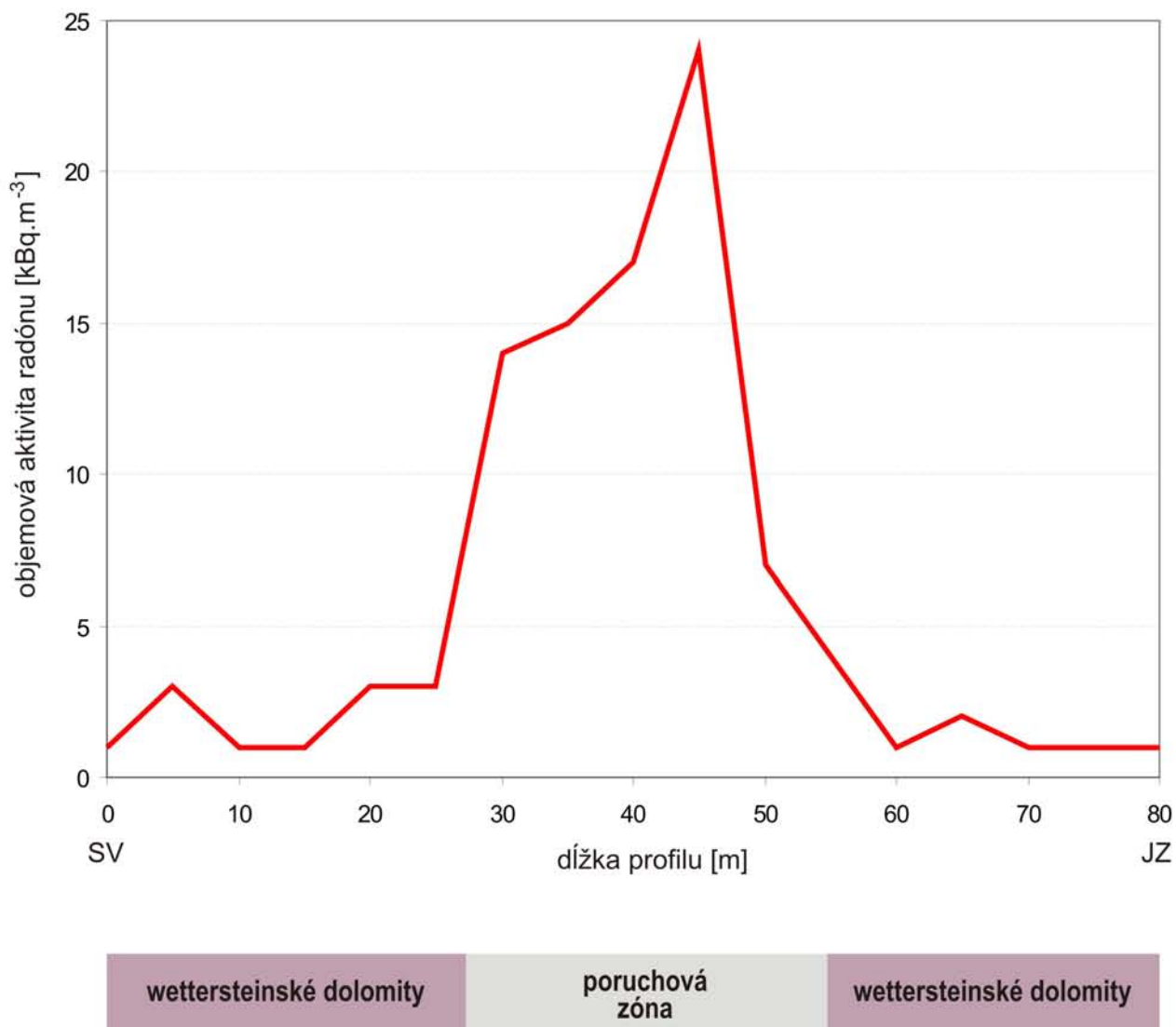
Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2012
 Lokalita: Teplica



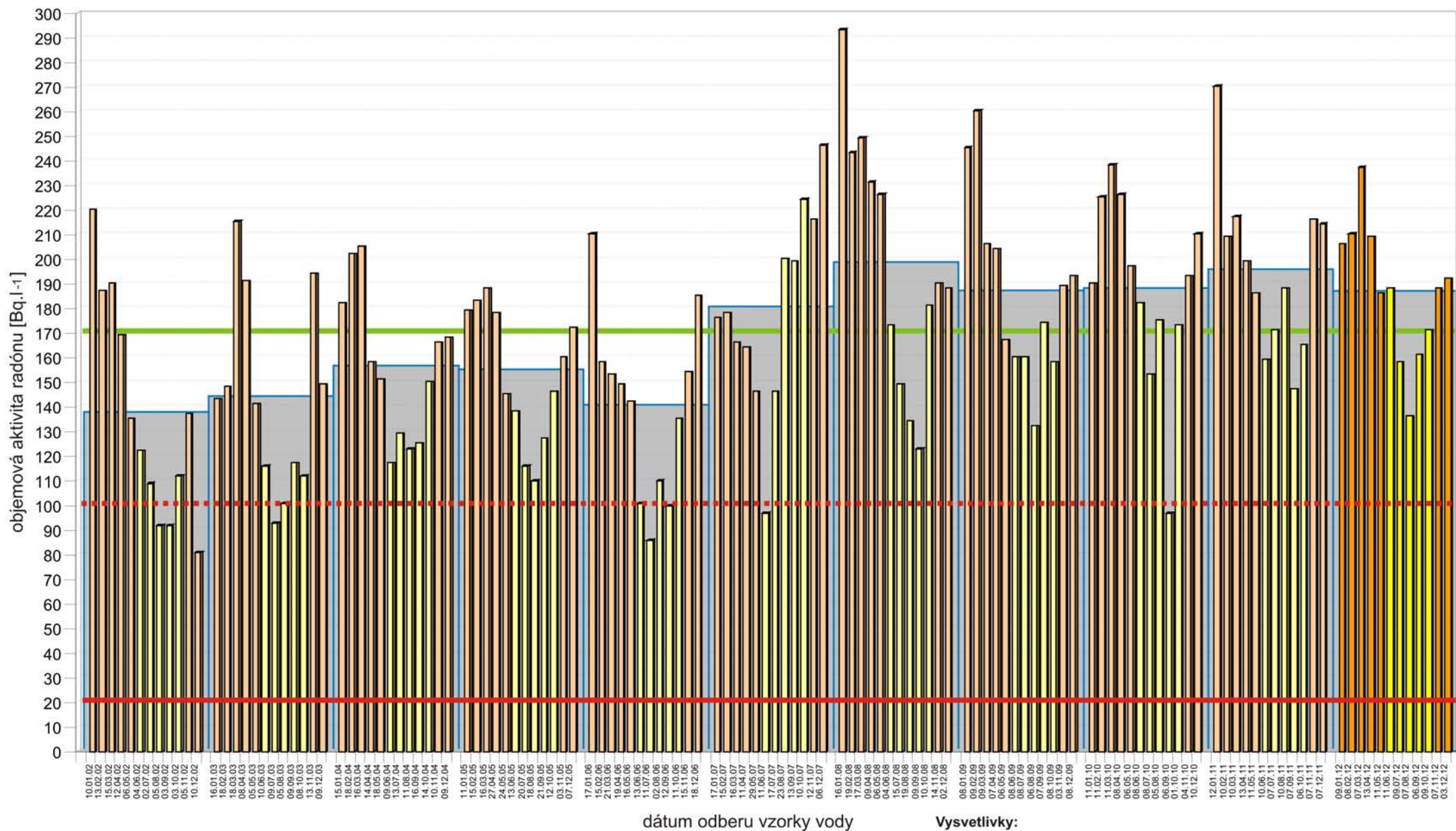
Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2012
 Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice



Obr. č. 5 Pôdny radón nad zlomom: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v roku 2012
Lokalita: Grajnár II



Obr. č. 6 Pôdny radón nad zlomom: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v roku 2012
Lokalita: Dobrá voda

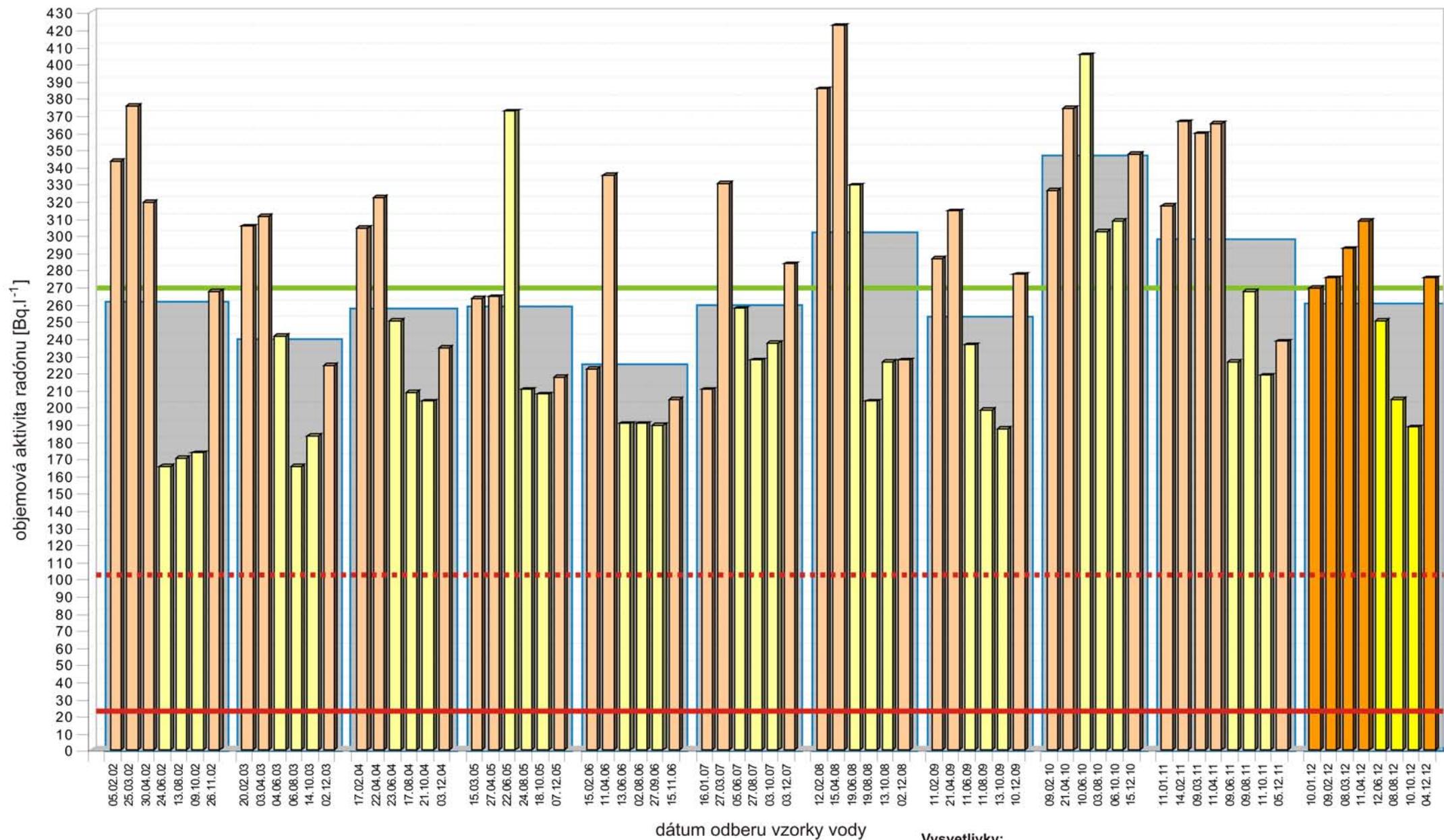


Vysvetlivky:

- monitorovacie obdobie: cca zima - jar
- monitorovacie obdobie: cca leto - jeseň
- priemerná ročná hodnota OAR
- normovaná zásahová úroveň 20 Bq.l⁻¹ (pramenitá voda vhodná pre dojčatá)
- normovaná zásahová úroveň 100 Bq.l⁻¹ (prirodná minerálna voda, pramenitá a balená pitná voda)
- dlhodobý priemer OAR (2002 - 2012)

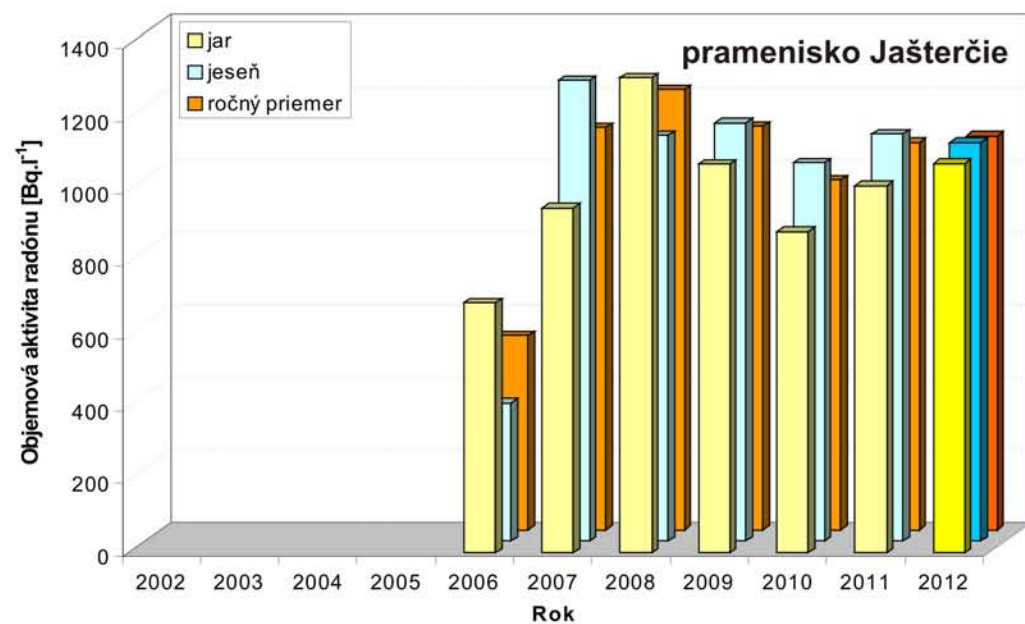
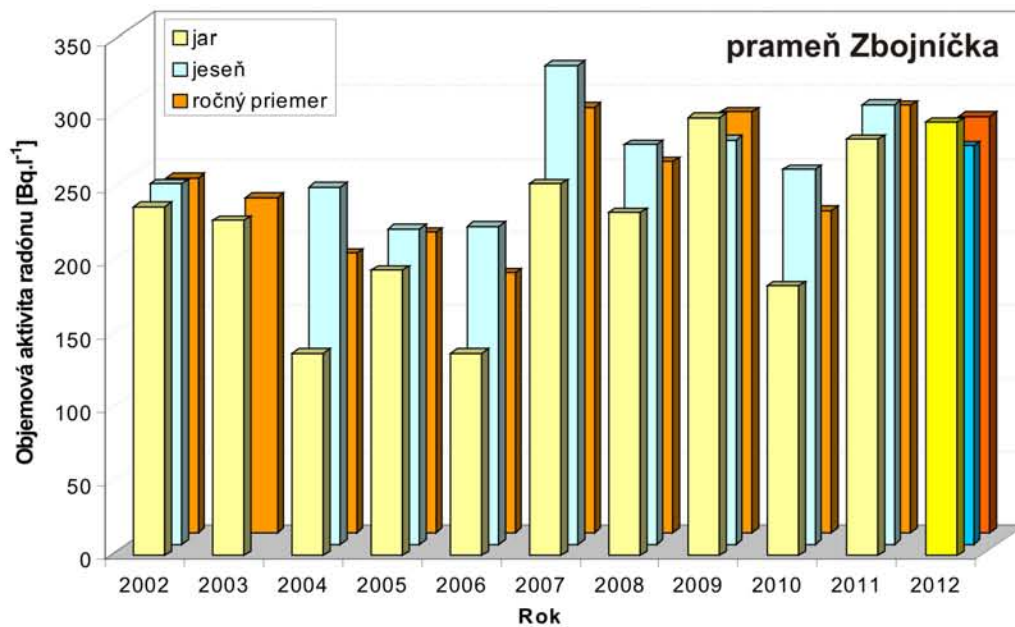
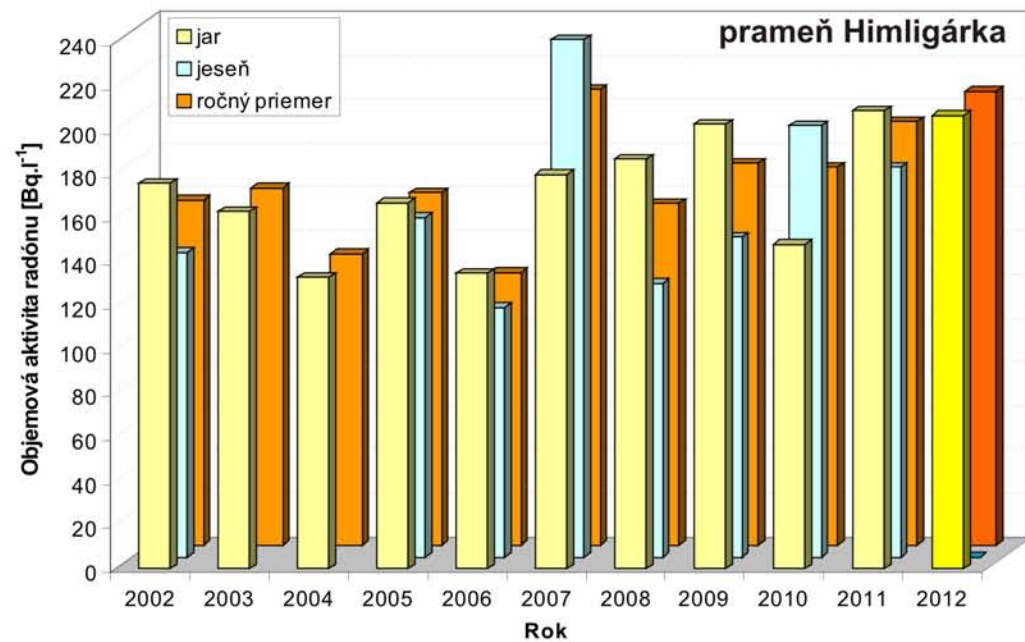
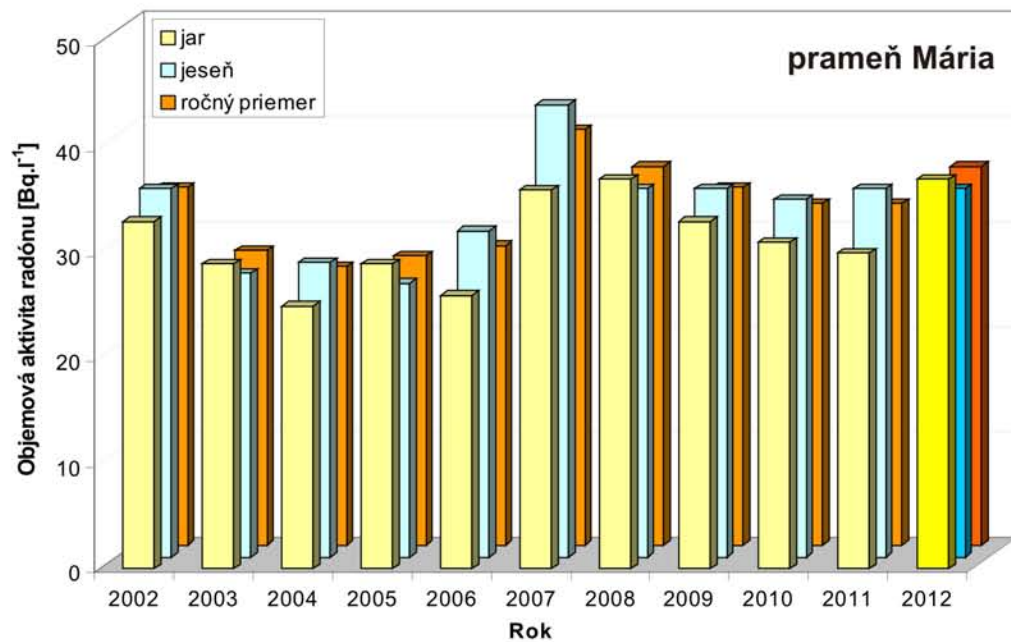
Obr. č. 7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2012

Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja



Obr. č. 8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2012

Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej



Obr. č. 9 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2012
 Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie

T A B U Ź K Y

Tab. č.: 1 Stanovenie kategórie radónového rizika referenčnej plochy

KATEGÓRIA RADÓNOVÉHO RIZIKA	3. kvartil - OBJEMOVÁ AKTIVITA RADÓNU [kBq.m⁻³]		
	<i>Plynopriepustnosť zeminy</i>		
	<i>malá</i>	<i>stredná</i>	<i>dobrá</i>
nízke – I	< 30	< 20	< 10
stredné – II	30 – 100	20 – 70	10 – 30
vysoké – III	> 100	> 70	> 30

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

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2012, porovnanie 2002 - 2012															
p.č.	Lokalita	Dátum	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]								Teplota [°C]			Atm. tlak [hPa]	Poznámka
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A	Rn riziko	vzduch	pri zemi	pôda		
1	Hnilec	26.04.12	17	46	712	222	199	421	216	III	16	15	11	1015	pomerne sucho
2		27.06.12	17	3	446	174	134	308	256	III	21	18	14	1019	pomerne sucho
3		22.08.12	17	33	476	244	129	373	298	III				1017	sucho
4		24.10.12	17	43	476	194	125	319	260	III				1020	vlhko
		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						
1	Novoveská Huta	26.04.12	17	9	240	32	55	87	23	II	15	11	7	1015	vlhko / predtým dlho sucho
2		28.05.12	17	8	76	30	19	49	42	II				1013	dážď, búrka
3		27.06.12	17	7	65	26	18	44	33	II	18	15	14	1019	pomerne sucho
4		24.07.12	17	5	79	30	19	49	39	II	20	18	15	1023	vlhko
5		22.08.12	17	9	119	42	31	73	61	II-III	26	21	16	1017	sucho
6		25.09.12	17	12	68	33	17	50	44	II	11			1004	dážď / predtým dlhšie sucho
7		24.10.12	17	11	95	31	23	54	33	II				1020	vlhko
		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 2012, porovnanie 2002 - 2012															
p.č.	Lokalita	Dátum	c _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]								Teplota [°C]			Atm. tlak [hPa]	Poznámka
			N	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	3. kvartil c _A	Rn riziko	vzduch	pri zemi	pôda		
1	Teplička	26.04.12	17	3	78	32	27	59	59	II	9	8	6	1015	vlhko / predtým sucho!
2		28.05.12	17	10	57	30	14	44	39	II	17	14	10	1013	pomerne vlhko
3		27.06.12	17	8	43	25	9	34	32	II	16	12	13	1019	pomerne sucho
4		24.07.12	17	3	93	35	25	60	49	II	19	17	15	1023	vlhko / po dažďoch
5		22.08.12	17	8	48	25	11	36	31	II	23	20	17	1017	sucho
6		25.09.12	17	14	51	32	10	42	37	II	13			1004	dážď / predtým sucho
7		24.10.12	17	21	74	43	14	57	50	II				1020	vlhko
		rok 2012	119	3	93	32	16	47	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						
1	Bratislava - Vajnory	23.05.12	17	9	31	18	5	23	21	II	31	25	21	1014	sucho
2		19.09.12	17	4	56	16	11	27	16	I	17	17	18	1011	sucho
		rok 2012	34	4	56	17	8	25	19	I-II					
		rok 2011	34	6	49	25	10	35	31	II					
		rok 2010	34	4	100	50	27	76	69	II-III					
		rok 2009	34	13	52	28	11	39	36	II					
		rok 2008	34	2	61	34	13	47	43	II					
		rok 2007	34	4	64	41	13	54	52	II					
		rok 2006	34	10	98	41	20	61	59	II					
		rok 2005	34	20	122	50	22	72	67	II-III					
		rok 2004	objekt nebol monitorovaný												
	rok 2003	objekt nebol monitorovaný													
	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 2012, porovnanie 2002 - 2012																	
p.č.	Lokalita	Dátum	c_A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]								Teplota [$^{\circ}\text{C}$]			Atm. tlak	Poznámka		
			N	min c_A	max c_A	ϕc_A	σc_A	$\phi + \sigma$	3. kvartil c_A	Rn riziko	vzduch	pri zemi	pôda	[hPa]			
1	Banská Bystrica - Podlavice	23.05.12	17	4	69	19	19	38	24	II	24	19	15	1012	sucho		
2		19.09.12	17	7	79	18	17	35	23	II	18	20	16	1011	sucho		
		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

ϕc_A stredná hodnota OAR z N meraných hodnôt c_A

σc_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

Teplota vo vzduchu, pri zemi, v pôde [$^{\circ}\text{C}$]

Atm. tlak [hPa]

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2012, porovnanie 2002 - 2012											
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	φ Rn	v Rn	
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[°C]	[°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]	
1	Bratislava - prameň Mária	24.05.12	37	0.288	8	16					
2		20.09.12	35	0.054	11	9					
		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
1	Bratislava - prameň Zbojníčka	24.05.12	296	0.372	8	16					
2		20.09.12	272	0.042	10	8					
		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 2012, porovnanie 2002 - 2012										
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[°C]	[°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]
1	Bratislava - prameň Himligárka	24.05.12	207	0.168	8	16				
2		20.09.12	prameň suchý							
		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
1		Bacúch - prameň Boženy Němcovej	10.01.12	269	0.021	5	-4			
2	09.02.12		275	0.021	4	-12				
3	08.03.12		292	0.022	4	-7				
4	11.04.12		308	0.027	6	8				
5	12.06.12		250	0.022	9	13				
6	08.08.12		204	0.020	11	15				
7	10.10.12		188	0.018	9	8				
8	04.12.12		275	0.021	7	-6				
	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 2012, porovnanie 2002 - 2012										
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[°C]	[°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]
1	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	09.01.12	206	0.040	6	2				
2		08.02.12	210	nemerateľné	4	-15				
3		07.03.12	237	nemerateľné	4	-13				
4		13.04.12	209	0.041	6	3				
5		11.05.12	186	0.042	9	11				
6		11.06.12	188	0.048	11	14				
7		09.07.12	158	0.040	14	21				
8		07.08.12	136	0.031	14	19				
9		06.09.12	161	0.038	14	13				
10		09.10.12	171	0.047	12	-1				
11		07.11.12	188	0.042	10	-4				
12		03.12.12	192	0.041	9	0				
		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 2012, porovnanie 2002 - 2012											
p.č.	Lokalita	Dátum	²²² Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn _{min}	Rn _{max}	φ Rn	v Rn	
		Rok	[Bq.l ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[°C]	[°C]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[Bq.l ⁻¹]	[%]	
1	Oravice: pramenisko Jašterčie - pri vrte OZ- 1	11.04.12	1074	nemerateľná	18	3					
2		10.10.12	1102	nemerateľná	18	6					
		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	objekt nebol monitorovaný								
		2004									
		2003									
		2002									

- Kde:
- ²²²Rn 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 - 2012

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	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 Zbojnička	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
3	Bratislava - prameň Himligárka	2012	207			0.168		
		2011	194	21.9	11	0.193	0.047	25
		2010	173	34.6	20	1.203	0.870	72
		2009	175	40.3	23	0.056	0.056	101
		2008	156	43.8	28	0.130	0.146	113
		2007	208	39.6	19	0.093	0.031	33
		2006	125	10.5	8	0.719	0.709	100
		2005	161	6.0	4	0.259	0.229	88
		2004	133	-	-	0.263	0.263	100
		2003	163	-	-	0.091	0.128	141
		2002	158	26.2	17	0.311	0.001	0.2

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2012

p.č.	Lokalita	Obdobie	²²² Rn [Bq.l ⁻¹]			Výdatnosť Q [l.s ⁻¹]		
			ϕ Rn	σ Rn	v Rn [%]	ϕ Q	σ Q	v Q [%]
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	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
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	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	2012	1088	19.8	2	nemerateľné		
		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						

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 pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2012

p.č.	LOKALITA	Rok											Dlhodobý priemer	σ	Podiel c_A 2012 / 2011	Trend 2012 / 2011
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012				
Pôdny radón na referenčných plochách																
1	Hnilec	491	420	491	587	485	642	712	620	524	430	258	515	303	0.60	↘
2	Novoveská Huta	89	58	87	99	113	73	61	67	66	71	39	75	70	0.55	↘
3	Teplička	76	56	80	92	81	79	77	62	78	59	42	71	30	0.71	↘
4	Bratislava - Vajnory				67	59	52	43	36	69	31	19	47	21	0.61	↘
5	Banská Bystrica - Podlavice				118	111	80	69	53	120	43	24	77	52	0.56	↘
Pôdny radón na tektonike																
1	Grajnár	18	10	13	24	20	16	20	16		*)		17	18	-	-
2	Grajnár II.											15		16	-	-
3	Dobrá voda											6		7	-	-

Priemerné úhrny zrážok na Slovensku v [mm] a [%] dlhodobého priemeru	861	573	851	938	776	894	860	890	1255	656	747	[mm]
	106	75	112	125	101	122	112	122	157	80	98	[%]

p.č.	LOKALITA	Rok											Dlhodobý priemer	σ	Podiel c_A 2012 / 2011	Trend 2012 / 2011
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012				
Radón vo vodách																
1	Bratislava - prameň Mária	34	28	27	28	29	40	36	34	33	33	36	33	5	1.09	↗
2	Bratislava - prameň Zbojnička	242	230	191	205	178	291	254	288	220	294	284	243	50	0.97	↘
3	Bratislava - prameň Himligárka	158	163	133	161	125	208	156	175	173	194	207	168	33	1.07	↗
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	259	238	254	256	222	257	299	250	344	295	258	267	66	0.87	↘
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	137	143	156	154	140	180	198	187	188	195	187	170	44	0.96	↘
6	Oravice - pramenisko Jašterčie					536	1112	1217	1115	966	1070	1088	1015	239	1.02	↗
7	Zemplín - vrt Ladmovce					12	17	15	15	15		*)	15	2		

Kde:

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

c_A stredná hodnota OAR v podzemnej vode za hodnotený rok

σ štandardná odchýlka OAR zo všetkých jednotlivých meraných hodnôt celého súboru

 v danom roku nebol objekt monitorovaný

*) monitorovanie na objekte dočasne prerušené