

**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 2011**

Zodpovedný riešiteľ: RNDr. Pavel Liščák, CSc.

Správu vypracoval: RNDr. Augustín Gluch

Marec 2012

### **Zoznam obrázkov:**

- Obr. č. 1** - Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2011
- Obr. č. 2** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2011; Lokalita: Novoveská Huta
- Obr. č. 3** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2011; Lokalita: Teplička
- Obr. č. 4** - Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2011; Lokality: Hnilec, Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Podlavice
- Obr. č. 5** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2011; Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja
- Obr. č. 6** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2011; Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 7** - Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 – 2011; 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 – 2011
- Tab. č. 6** - Vývoj hodnôt objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách za obdobie 2002 – 2011

## 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	9
3.3	Radón vo vodách	9
4.	Záver a odporúčania	11
5.	Literatúra	17

## 1. ÚVOD

Radiačná záťaž obyvateľstva patrí medzi významné faktory v širokom spektre oblastí s viac alebo menej výrazným negatívnym dopadom na ľudský organizmus.

Ľudská populácia je permanentne vystavená pôsobeniu ionizujúceho žiarenia, avšak problematika prírodnej a umelej rádioaktivity bola u nás, ale aj vo svete, prakticky „tabu“. Urán bol desaťročia 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 priamo ohrozuje len baníkov v uránových baniach.

Význam pôsobenia radónu na živé organizmy a dôsledky jeho vplyvu na zdravie populácie sledujú renomované vedecké inštitúcie, ktorých závery a odporúčania sú všeobecne akceptované. Zo záverov výskumu vyplýva, že aj v súčasnosti prírodné zdroje rádioaktívneho žiarenia prispievajú viac než tromi štvrtinami k celkovému ožiareniu obyvateľstva planéty a najvýznamnejším zdrojom prírodného žiarenia je radón a rádionuklidy, vznikajúce pri jeho jadrovom rozpade. Tieto sú adsorbované v dýchacích cestách, kde dochádza ku kontaktnému ožarovaniu buniek pľúcneho tkaniva a to môže v konečnom dôsledku viesť až k vzniku zhubných nádorov.

Pozornosť a obavy laickej verejnosti sú dlhodobo zamerané skôr na umelé zdroje žiarenia (jadrová energetika, nukleárne zbrane a p.), pričom väčšina populácie ani netuší, že najvýznamnejšie ožiarenie (mimo jadrových havárií, ...) spôsobujú práve prírodné zdroje. Získavanie relevantných informácií o rádioaktivite z prírodných zdrojov aj na našom území je preto nevyhnutné.

Pri neustále sa zhoršujúcich environmentálnych podmienkach je dôležitá aj ochrana pred účinkami rádioaktivity 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 jednotky až desiatky rokov) variácie koncentrácií radónu v horninovom prostredí a v podzemných vodách.

Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí (v pôdnom vzduchu a podzemných vodách) v sezóne 2011 pokračoval v o niečo menšom rozsahu, než v roku 2010,

spôsobeného znížením finančného krytia geologickej úlohy o cca 10 %.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v podsysteme 05 v sezóne 2011, predstavoval opakované vzorkovania a merania OAR v terénnych aj laboratórnych podmienkach na celkom 11-tich lokalitách (päť lokalít pre pôdny radón a šesť objektov pre radón v podzemných vodách) v rámci územia SR, 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  $^{222}\text{Rn}$  (zdroj alfa žiarenia s polčasom rozpadu 3,825 dňa) je inertný prírodný rádioaktívny plyn, vznikajúci samovoľným rozpadom rádia  $^{226}\text{Ra}$  (zdroj alfa a gama žiarenia) v rozpadovom rade uránu  $^{238}\text{U}$  a patrí medzi tzv. vzácne plyny. 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 ( $^{238}\text{U} = 4,47 \cdot 10^9$  rokov,  $^{226}\text{Ra} = 1600$  rokov), je zaistený jeho trvalý prísun z geologického prostredia.

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 geologickej úlohy 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) usporia-

dané v profiloch, resp. v nepravidelnej sieti, na ploche do cca 400 m<sup>2</sup>. 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 zrovnateľná.

Referenčné plochy sú monitorované minimálne dvakrát ročne. Tri RP sú monitorované s vyššou frekvenciou (4 až 7 monitorovaní) za účelom lepšieho posúdenia meteorologických procesov v období apríl až október.

Pôdny vzduch pre stanovenie objemovej aktivity radónu (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 na stanovenie hodnoty 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 v areáli RP, obtiažnosť hĺbenia sond a odberu pôdneho vzduchu (...).

Objemová aktivita radónu zdrojov podzemných vôd je sledovaná na známych prameňoch. Vzorky pre stanovenie objemovej aktivity <sup>222</sup>Rn vo vode sú odoberané do sklenených vzorkovníc so zabruseným hrdlom, doplna (objem cca 300 ml), bez vzduchovej bubliny. Pri odbere vzorky 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 dvoch vzoriek. Tretia vzorka býva analyzovaná v prípade, že 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 urč-

ný 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 zdravotníctva 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 LK-4, 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  $c_A$**  (predtým označovaná aj  $a_v$ ), sa vypočítava podľa vzťahu:

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

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  $^{222}\text{Rn}$  a jeho dcérskymi produktmi rozpadu v LK. Pri meraní (3,5 hod. po napustení LK) je dosiahnutý stav rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérskymi produktmi. Zanedbaním poklesu aktivity radónu v priebehu merania ( $t_v$ ), môžeme dostatočne presne pre  $t_r \geq 210$  min a ľubovoľné  $t_v$  určiť  $R(t_v, t_r)$  zo vzťahu:  $R(t_v, t_r) = 3 \cdot t_v \cdot e^{-\lambda t_r}$  (sec)

$t_v$  - čas merania vzorky pôdneho vzduchu v LK v sekundách

$t_r$  - doba od napustenia vzorky pôdneho vzduchu do LK do začiatku merania v minútach

$\lambda$  - rozpadová konštanta  $^{222}\text{Rn}$  ( $0,000125884 \text{ min}^{-1}$ )

Radónové riziko referenčnej plochy je hodnotené v zmysle novelizovanej Smernice MŽP SR (v súčasnosti prebieha jej schvaľovanie) a podľa prílohy č. 7 k nariadeniu vlády SR č. 350/2006, 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  $< 0,06$  mm) v zmysle tab. č. 2.

**Objemová aktivita radónu vo vode  $c_A$**  (resp.  $a_v$ ) sa počíta podľa vzťahu:

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

kde :  $V_v$  - objem vzorky vody v premývačke v litroch

$e^{-\lambda t_F}$  =  $F(t_F)$  - koeficient, vyjadrujúci pokles aktivity  $^{222}\text{Rn}$  za dobu  $t_F$  (doba od času odberu vzorky v teréne po čas naplnenia LK)

$k$  - koeficient účinnosti merania stanovený na základe kalibrácie meracieho systému

Poznámka: Ostatné symboly sú vysvetlené pri vzťahu pre výpočet objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

Z dôvodu vylúčenia vplyvu náhodnej chyby pri odbere vzorky vody, resp. aj pri jej meraní, je monitorovaný objekt hodnotený na základe výsledkov stanovení z dvojice vzoriek vôd. Zaručená je tak väčšia objektivita a vyššia reprezentatívnosť výsledku.

### 3. PREHLAD A VÝSLEDKY UROBENÝCH PRÁČ

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol v roku 2011 realizovaný (podobne ako v predchádzajúcich monitorovacích obdobiach) v tematických celkoch:

- 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 2011 vykonávaný s rôznou frekvenciou na piatich lokalitách v strednom až vysokom (na lokalite Hnilec v extrémnom) radónovom riziku:

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

### **Lokalita: RP Hnilec**

Referenčná plocha Hnilec, založená cca 2,1 km jz. od centra rovnomennej obce pri štátnej ceste č. 533 Spišská Nová Ves – Gemerská Poloma, sa nachádza v extrémne vysokom radónovom riziku, litologicky viazanom na zvetraný stredno-hrubozrnný gemeridný (tzv. „hnilecký“) granit s anomálnymi obsahmi uránu (podľa spektrometrie gama cca 20 ppm eU).

Monitoring OAR na RP Hnilec bol v sezóne 2011 zrealizovaný 4x, a to v období apríl až október (štyri monitorovania, 68 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

V oblasti lokality došlo v sezóne 2011 k pomerne výraznému poklesu úrovne OAR v pôdnom vzduchu (trend  $OAR_{2011/2010} = 0,82$ ). Stredná hodnota  $OAR_{3,Q}$  (3. kvartil OAR) v roku 2011 dosiahla  $430 \text{ kBq.m}^{-3}$ , t.j. tesne nad minimom  $OAR_{3,Q}$  z roku 2003 ( $420 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a významne pod úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{2002-2011} = 540 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Po doterajšom maxime z roku 2008 ( $712 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) hodnoty  $OAR_{3,Q}$  v pôdnom vzduchu na RP Hnilec v sezónach 2009 až 2011 vykazujú výrazný a systematický pokles. Napriek tomu sa v sezóne 2011 v jednotlivých sondách namerali obsahy radónu nad  $1000 \text{ kBq.m}^{-3}$  ( $OAR_{\max} = 1375 \text{ kBq.m}^{-3}$ , apríl 2011).

Výsledky monitoringu na RP Hnilec v období 2002 – 2011 uvádzame na obr. č. 4 a prehľadne v tab. č. 6. Podrobnejšie štatistické údaje za uplynulý rok a porovnanie výsledkov monitorovania z predchádzajúcich sezón na RP Hnilec prezentujeme v tab. č. 3.

### **Lokalita: RP Novoveská Huta**

Referenčná plocha Novoveská Huta je situovaná na jz. okraji rovnomennej obce pozdĺž miestnej obecnej komunikácie a založená je v prostredí budovanom permskými sedimentmi strednej plynopriepustnosti.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu bol v sezóne 2011 na RP Novoveská Huta zrealizovaný v období apríl až október (sedem monitorovaní, spolu 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na objekte Novoveská Huta došlo v sezóne 2011 k miernemu nárastu strednej hodnoty  $OAR_{3,Q} = 71 \text{ kBq.m}^{-3}$ , pri dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2011} = 78 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Najvyššia priemerná úroveň bola zaregistrovaná v auguste ( $OAR_{3,Q} = 121 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a v jednotlivej sonde  $396 \text{ kBq.m}^{-3}$  (júl 2011). Ide o jediný objekt z monitorovaných RP v sezóne 2011, na ktorej bol medziročne zaznamenaný pozitívny trend  $OAR_{2011/2010} = 1,08$ .

Grafické znázornenie hodnôt  $OAR_{3,Q}$  v pôdnom vzduchu v jednotlivých monitorovacích sezónach na tejto lokalite, ich vývoj v priebehu sezóny 2011 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2011) dokumentujeme na obr. č. 2. Výsledky štatistického vyhod-

notenia 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, sa v sezóne 2011 výraznejšie neprejavil. Je to zrejme aj dôsledok miernejšej (teploty pod bodom mrazu sa vyskytovali iba ojedinele) a suchej jesene.

### **Lokalita: RP Teplička**

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

Podložie referenčnej plochy budujú sedimenty paleogénu (bridlice, pieskovce) strednej plynopriepustnosti, s vyšším podielom ílovitej frakcie. Ílovité vrstvičky s malou priepustnosťou síce tvoria pomerne účinnú bariéru pri prenikaní radónu k povrchu, ale tento jav sa prejavuje iba pri zvýšenej vlhkosti horninového prostredia. Opačnú závislosť je možné očakávať v obdobiach s nízkymi zrážkovými úhrnmi, kedy plynopriepustnosť miestnych sedimentov v dôsledku poklesu vlhkosti pokryvných útvarov významne vzrastie, čo sa potvrdilo aj v sezóne 2011.

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 vysledované v septembri ( $OAR_{3,Q} = 42 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Maximálne hodnoty  $OAR_{3,Q}$  sme zaznamenali v apríli a júli (zhodne  $74 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Pri monitorovaniach (s výnimkou septembra) boli v jednotlivých sondách namerané koncentrácie pôdneho radónu nad hranicou vysokého radónového rizika ( $OAR_{\max} = 77$  až  $102 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Na RP Teplička došlo medziročne k výraznému poklesu obsahov pôdneho radónu (trend  $OAR_{2011/2010} = 0,76$ ), spôsobenému zrejme poklesom vlhkostí pokryvných útvarov.

Grafické znázornenie variácií  $OAR$  v pôdnom vzduchu dokladujeme na obr. č. 3, kde formou stĺpcového diagramu prezentujeme výsledky monitorovania od roku 2002. Výsledky komplexného štatistického spracovania meraní sú v tab. č. 3 a sumárne v tab. č. 6.

### **Lokalita: RP Bratislava – Vajnory**

Referenčná plocha Vajnory je založená na sv. okraji rovnomennej mestskej časti Bratislavy, neďaleko Vajnorskej cesty, pozdĺž melioračného kanála približne s. – j. smeru.

Podložie RP tvoria pomerne dobre priepustné fluvialne sedimenty (pliocénne štrky; stredná až dobrá plynopriepustnosť).

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na tejto lokalite bol v roku 2011 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  $OAR_{2011/2010} = 0,45$ ), pričom na tejto lokalite bola v sezóne 2011 vy-sledovaná zároveň aj najnižšia stredná hodnota  $OAR_{3,Q} = 31 \text{ kBq.m}^{-3}$  od roku 2005 (t.j. výz-namne pod úrovňou dlhodobého priemeru  $OAR_{2005-2011} = 51 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Najvyššie koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu v jednotlivjej sonde sa tu zistili pri jarnom monitoringu ( $49 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Stredné hodnoty  $OAR_{3,Q}$  v sezóne 2011 boli nízke a do-siahli  $36 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jar) a iba  $25 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jeseň). Obsahy pôdneho radónu sa v tejto oblasti už pohybujú v blízkosti hranice medzi nízkym a stredným radónovým rizikom (obr. č. 4).

Na RP Bratislava – Vajnory sa v období 2005 až 2011 (s výnimkou mimoriadne vlhkej sezóny 2010) postupne znižujú priemerné ročné úrovne  $OAR_{3,Q}$ . Od roku 2005 ( $67 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) došlo v roku 2011 k poklesu iba na  $31 \text{ kBq.m}^{-3}$  (tab. č. 6), čo je zároveň doposiaľ najnižšia hodnota  $OAR_{3,Q}$ , ktorá tu bola zaznamenaná. Predpokladáme, že to bolo spôsobené hlavne významným poklesom vlhkosti sedimentov v oblasti RP.

Podrobné informácie a výsledky štatistického spracovania nameraných hodnôt obje-movej aktivity radónu v pôdnom vzduchu po jednotlivých monitorovacích obdobiach dokla-dujeme v tab. č. 3 a prehľadne v tab. č. 6.

### **Lokalita: RP Banská Bystrica – Podlavice**

Monitorovaná RP 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 ano-málnymi koncentraciami uránu (tzv. „uránové dolomity“).

Monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2011 uskutočnilo dvakrát, a to v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, spolu 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Maximálna OAR v jednotlivjej sonde dosiahla  $129 \text{ kBq.m}^{-3}$  pri jarnom monitoringu, so strednými hodnotami  $OAR_{3,Q}$  na úrovni  $55 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jar), resp. iba  $31 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jeseň).

Na tomto objekte dochádza od roku 2005 (s výnimkou sezóny 2010, charakterizovanej mimoriadne vysokými zrážkovými priemerami) k postupnému a výraznému poklesu úrovni  $OAR_{3,Q}$ , kedy z maximálnej úrovne  $118 \text{ kBq.m}^{-3}$  v roku 2005 došlo v roku 2011 k poklesu iba na  $43 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Trend  $OAR_{2011/2010} = 0,36$  je zároveň najvyšším medziročným poklesom kon-centrácií pôdneho radónu zo všetkých monitorovaných RP a odpovedá významnému poklesu

pôdnej vlhkosti, spôsobenej veľmi suchou sezónou 2011.

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 2011 dokumentujeme na obr. č. 4.

### 3.2 Pôdny radón na tektonike: PF Grajnár

Lokalita je situovaná cca 2,1 km východne od obce Hnilec, asi 400 m východne od kóty Holičky (1086 m). Dva monitorovacie profily prebiehajú nad kontaktom chloriticko-sericitických fylitov s metabazaltami Spišsko-gemerského Rudohoria.

Monitoring koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou v oblasti lokality Grajnár bol v sezóne 2011 dočasne prerušený v dôsledku krátenia finančných prostriedkov na riešenie geologickej úlohy.

### 3.3 Radón vo vodách

Rozsah prác a činností pri monitorovaní OAR v zdrojoch podzemných vôd v roku 2011 bol v porovnaní s rokom predošlým mierne upravený – o dva sa navýšil počet monitorovaní v období zima – jar na lokalite Bacúch (prameň Boženy Němcovej) a pre nedostatočné finančné krytie projektu bol prerušený monitoring na objekte Ladmovce (preliv vrtu):

- 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).

Výsledky meraní OAR v podzemných vodách boli štatisticky spracované a prezentujeme ich formou tabuľkových výstupov (tab. č. 4, 5 a 6). Výsledky meraní na vybraných lokalitách za obdobie 2002 – 2011 sú vizualizované formou prehľadných stĺpcových grafov na obr. č. 5, 6 a 7.

V tab. č. 4 dokladujeme základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za obdobie sezóny 2011, 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 2011 uvádzame v tab. č. 5.

Z výsledkov monitorovania OAR v zdrojoch podzemných vôd v sezóne 2011 je zrejmé, že stredné hodnoty koncentrácií radónu sú na rovnakej úrovni, resp. vyššie než v roku

2010 (trendy  $OAR_{2011/2010} = 1,00$  až  $1,34$ ). Medziročne bol zaznamenaný pokles iba na objekte Bacúch – prameň Boženy Němcovej (trend  $OAR_{2011/2010} = 0,86$ ).

V oblasti **Malých Karpát** (severne od centra Bratislavy) boli v máji a septembri sezóny 2011 monitorované pramene: **Mária**, **Zbojnička** a **Himligárka**. Zachytené a stavebne upravené pramene vyvierajú na povrch v prostredí leukokratických muskovitických a dvojsľudných granitov, granodioritov (bratislavský typ).

Najvýraznejší nárast OAR v podzemných vodách bol v roku 2011 zaznamenaný v prameni Zbojnička (trend  $OAR_{2011/2010} = 1,34$ ) pri strednej hodnote  $OAR_{2011} = 294 \text{ Bq.l}^{-1}$ , čo je zároveň najvyššia hodnota od sezóny 2002 (dlhodobý priemer  $OAR_{2002-2011} = 239 \text{ Bq.l}^{-1}$ ).

Na prameni Mária je úroveň OAR zrovnateľná so sezónou 2010 ( $OAR_{2011/2010} = 1,00$ ), ale na prameni Himligárka bol medziročne zistený mierny nárast  $OAR_{2011/2010} = 1,12$ .

Vyššie OAR v podzemných vodách boli zaznamenané v jesennom termíne na prameňoch Mária a Zbojnička, ale na prameni Himligárka naopak – pri jarom monitorovaní. Koeficienty variácie OAR ( $V_{Rn}$ ) v roku 2011 sú pomerne nízke a pohybujú sa v rozmedzí 3 % (prameň Zbojnička) až 11 % (pramene Mária a Himligárka) – tab. č. 4.

Na všetkých troch prameňoch v oblasti Malých Karpát došlo medziročne k značnému poklesu výdatností ( $Q_{Mária} = 0,362 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $Q_{Himligárka} = 0,193 \text{ l.s}^{-1}$  a  $Q_{Zbojnička} = 0,303 \text{ l.s}^{-1}$ ), spôsobených zrejme nízkymi zrážkovými úhrnmi na jar a veľmi suchým jesenným obdobím sezóny 2011. Korelačná závislosť medzi OAR vo vodách a výdatnosťou zdrojov podzemných vôd nebola zistená. Podrobnejšie informácie uvádzame v tab. č. 4 a 5 a na obr. č. 7.

**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.

Maximum objemovej aktivity radónu ( $366 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) bolo zaznamenané v polovici februára a minimum ( $218 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) v októbri 2011 (tab. č. 4 a 5, obr. č. 6).

Na lokalite došlo medziročne k poklesu koncentrácií radónu v podzemných vodách (trend  $OAR_{2011/2010} = 0,86$ ), pri strednej hodnote  $OAR_{2011} = 295 \text{ Bq.l}^{-1}$  a dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2011} = 267 \text{ Bq.l}^{-1}$  (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2011 dosiahla  $0,027 \text{ l.s}^{-1}$ , pri pomerne nízkom koeficiente variácie ( $V_Q = 11 \%$ ). Aj v porovnaní s predošlými monitorovacími sezónami ide o stabilnú úroveň: v sezónach 2002 až 2010 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 situovaný v oblasti lokality Sivá Bra-da 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 sezóne 2011 tu medziročne došlo k miernemu nárastu stredných hodnôt koncentrácií radónu (trend  $OAR_{2011/2010} = 1,04$ ), pri dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2011} = 168 \text{ Bq.l}^{-1}$  (obr. č. 5, tab. č. 6). Najvyššia hodnota  $OAR = 270 \text{ Bq.l}^{-1}$  bola zaznamenaná v januári a najnižšia ( $147 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) v septembri uplynulej sezóny (obr. č. 5, tab. č. 4 a 5).

Výdatnosti prameňa sa v roku 2011 pohybovali v rozmedzí  $0,025 - 0,044 \text{ l.s}^{-1}$ , so strednou hodnotou  $0,036 \text{ l.s}^{-1}$  a koeficientom variácie  $V_Q = 17 \%$ . Priemerná výdatnosť prameňa aj v predošlých monitorovacích sezónach varírovala 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 južne od obce Oravice (neďaleko vrtu OZ-1), bolo monitorované v apríli a októbri 2011.

V tomto prírodnom termálnom prameni (pramenisko), vyvierajúcom na povrch 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 2011, kedy boli namerané hodnoty  $OAR = 1014 \text{ Bq.l}^{-1}$  (jar) a  $1125 \text{ Bq.l}^{-1}$  na jeseň (trend  $OAR_{2011/2010} = 1,11$ ), pri strednej hodnote  $OAR_{2011} = 1070 \text{ Bq.l}^{-1}$ , pri dlhodobom priemere  $OAR_{2006-2011} = 1003 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

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

Získané údaje prezentujeme v tab. č. 4, 5, 6 a na obr. č. 7.

#### 4. ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Riešenie úlohy „*Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*“, ktorá je jedným z podsystémov významnej geologickej úlohy „*Čiastkový monitorovací systém (ČMS) geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky*“, pokračovalo v sezóne 2011 v o niečo menšom rozsahu, než v roku 2010.

O dva bol navýšený počet monitorovaní v období zima – jar na lokalite Bacúch (pra-

meň Boženy Němcovej), ale v dôsledku zníženia finančného krytia geologickej úlohy sa pre-  
rušilo monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou v oblasti lokality  
Grajnár a taktiež monitoring koncentrácií radónu v podzemných vodách na objekte Ladmovce  
(preliv vrtu).

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v tomto podsysteme v roku 2011,  
predstavoval opakované vzorkovania a merania OAR v terénnych aj laboratórnych podmien-  
kach na celkom 11-tich lokalitách (päť lokalít pre pôdny radón a šesť objektov pre radón v  
podzemných vodách) v rámci územia Slovenska (obr. č. 1), vrátane ich komplexného spraco-  
vania, 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 referenčných plochách (RP) sa v sezóne  
2011 vykonávalo s rôznou frekvenciou odberov a meraní v období apríl až október na lokali-  
tách v strednom a vysokom radónovom riziku: Bratislava – Vajnory, Banská Bystrica – Pod-  
lavice, Novoveská Huta a Teplička, resp. v extrémnom radónovom riziku na RP Hnilec.

Najrozsiahlejšie monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu (v čo možno najširšom spek-  
tre meteorologických podmienok) prebehlo na lokalitách Novoveská Huta a Teplička (po 7x  
za rok), resp. na lokalite 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 prame-  
ňoch 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. Priebež-  
ne sú aktualizované databázy ( dátové súbory) v schválenej štruktúre a fyzickej náplni.

Výsledky monitorovania dlhodobo potvrdzujú skutočnosť, že priebeh sezónnych va-  
riácií OAR v pôdnom vzduchu významne závisí od meteorologických a klimatických fakto-  
rov, vlhkosti a plynopriepustnosti miestnych zemín a hornín, ale v nezanedbateľnom rozsahu  
aj na samotnej štruktúrno-geologickej stavbe a litologickej charakteristike horninového pro-  
stredia 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 priemerné úhrny atmosférických zrážok pre územie Slovenska boli zaznamenané v roku 2010, kedy napršalo až 1,255 mm (najviac od roku 1937 = 1,015 mm).

V sezóne 2011 došlo naopak k výraznému poklesu priemerného úhrnu atmosférických zrážok pre územie Slovenska, ktoré dosiahli iba 656 mm (doposiaľ najnižšie zrážky v priebehu monitorovania 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 – 2011 uvádzame v tab. č. 6 (zdroj: [www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)).

Atmosférické zrážky na území Slovenska boli v sezóne 2011 najnižšie od roku 2003 a mimoriadne vlhký rok 2010 bol tak bezprostredne nasledovaný veľmi suchým rokom 2011, aj keď v letných mesiacoch (jún, júl) boli na niektorých lokalitách zaznamenané výdatnejšie zrážky. Mimoriadne suchá bola najmä jeseň sezóny 2011.

Všeobecne sa predpokladá, že pôdna vlhkosť „pozitívnym“ spôsobom ovplyvňuje koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu, pretože vyššia vlhkosť pokryvných útvarov 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 klesajú aj hodnoty OAR, čo sa v uplynulom roku potvrdilo na väčšine monitorovaných lokalít.

Vôbec najnižšie obsahy pôdneho radónu od sezóny 2005 sme v uplynulom roku namerali na RP Bratislava – Vajnory ( $OAR_{2011} = 31 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a RP Banská Bystrica – Podlavice ( $OAR_{2011} = 43 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Len nepatrne nad doposiaľ najnižšími úrovňami OAR v pôdnom vzduchu zo sezóny 2003 boli aj koncentrácie radónu na RP Hnilec ( $OAR_{2011} = 430 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a RP Teplička ( $OAR_{2011} = 59 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Na týchto štyroch lokalitách sa potvrdila predpokladaná závislosť medzi poklesom pôdnej vlhkosti a znížením hodnôt OAR v pôdnom vzduchu.

Na RP Novoveská Huta sa očakávaný pokles obsahov pôdneho radónu neprejavil a medziročne došlo naopak k miernemu nárastu jeho koncentrácií (trend  $OAR_{2011/2010} = 1,08$ ).

Aj keď sa uvedené 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 úhrnmi, ktorá bude vyžadovať dlhodobejšie sledovanie.

Sezónne variácie OAR v pôdnom vzduchu závisia nielen od vlhkosti a 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 predmetnej úlohy.

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), prakticky v rovnakej klimatickej oblasti, ale s odlišným geologickým profilom, v ktorom je akumulácia a šírenie radónu sledované.

Obe tieto lokality boli v sezóne 2011 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 pomerne vysokých zrážkových úhrnov v letných mesiacoch) výrazne ovplyvnené výsledky meraní hlavne v oblasti RP Teplička, dlhodobo sledovaný charakter variačných závislostí je pozorovateľný aj v roku 2011 – v letných mesiacoch boli na RP Novoveská Huta vysledované zvýšené a na RP Teplička (okrem vyššie spomenutých extrémov) znížené koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu. Na jar a jeseň naopak: Novoveská Huta nízke a Teplička vysoké OAR.

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

- RP Novoveská Huta: od roku 2008 ( $OAR = 61 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) sledujeme postupný mierny nárast koncentrácií pôdneho radónu až na úroveň  $OAR_{2011} = 71 \text{ kBq.m}^{-3}$ ,
- RP Hnilec: po doterajšom maxime  $OAR_{2008} = 712 \text{ kBq.m}^{-3}$  obsahy radónu v pôdnom vzduchu vykazujú výrazný a systematický pokles ( $OAR_{2011} = 430 \text{ kBq.m}^{-3}$ ), výsledky meraní OAR v priebehu ostatných 10-tich sezón dosahujú najvyššiu variabilitu zo všetkých sledovaných objektov: štandardná odchýlka  $\sigma = 305 \text{ kBq.m}^{-3}$ ,
- RP Teplička: od maxima  $OAR_{2005} = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$  (okrem mimoriadne daždivého roku 2010) pozorujeme pokles koncentrácií radónu v pôde,  $OAR_{2011} = 59 \text{ kBq.m}^{-3}$ ,
- RP Bratislava – Vajnory: od sezóny 2005 (okrem roku 2010) dochádza postupne k

poklesu obsahov radónu v pôdnom vzduchu,  $OAR_{2011} = 31 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ,

- RP Banská Bystrica – Podlavice: od roku 2005 (s výnimkou sezóny 2010) je zrejmy postupný a výrazný pokles hodnôt,  $OAR_{2011} = 43 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

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

Monitoring koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou v oblasti lokality Grajnár bol v sezóne 2011 dočasne prerušený v dôsledku krátenia finančných prostriedkov na riešenie geologickej úlohy. Predpokladáme, že v ďalších sezónach bude možné v monitorovaní OAR v pôdnom vzduchu nad tektonikou pokračovať.

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

- prameň Boženy Němcovej (Bacúch): z maxima  $OAR_{2010} = 344 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$  došlo medziročne k poklesu na  $295 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , priemerné ročné úrovne  $OAR_{2002-2011}$  varujú v pomerne širokom rozmedzí  $222 - 344 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , dlhodobý priemer  $OAR_{2002-2011} = 267 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,
- prameň Mária (Malé Karpaty): za posledné tri monitorovacie sezóny sa obsahy radónu ustálili na úrovni  $33 - 34 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , variabilita  $OAR_{2002-2011} = 27 - 40 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , pri dlhodobom priemere  $32 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,
- prameň Zbojníčka dosiahol doposiaľ najvyššiu hodnotu  $OAR_{2011} = 294 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$  od sezóny 2002, stredné hodnoty  $OAR_{2002-2011} = 178 - 294 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , dlhodobý priemer za hodnotené obdobie dosiahol  $239 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,
- prameň Himligárka za posledné štyri monitorovacie obdobia vykazuje rastúci trend obsahov radónu, v uplynulej sezóne  $OAR_{2011} = 194 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , t.j. relatívne významne nad dlhodobým priemerom  $OAR_{2002-2011} = 165 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,
- prameň sv. Ondreja (Sp. Podhradie) od sezóny 2007 sa výrazne zvýšili priemerné ročné koncentrácie radónu:  $OAR_{2002-2006} = 146 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , ale  $OAR_{2007-2011} = 190 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,
- pramenisko Jašterčie (Oravice) vykazuje najvyššiu variabilitu OAR z monitorovaných zdrojov podzemných vôd (štandardná odchýlka  $\sigma_{2006-2011} = 255 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ) a dosahované sú tu najvyššie známe hodnoty OAR v prírodných podzemných vodách v rámci územia SR,
- ani na jednom 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. „sínusoidálnu“ pravidelnosť (obr. č. 5 a 6). 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.

Zhodnotenie výsledkov monitorovania OAR v geologickom prostredí z roku 2011, ale aj z predchádzajúcich sezón, dokumentuje 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 štatistickým spracovaním dlhodobo realizovaných monitorovacích systémov, výstupy ktorých môžu dávať relevantné podklady pre prijímanie obecných záverov v tejto oblasti. Tento zámer sleduje aj realizácia daného projektu.

Na základe komplexného zhodnotenia doterajších výsledkov odporúčame:

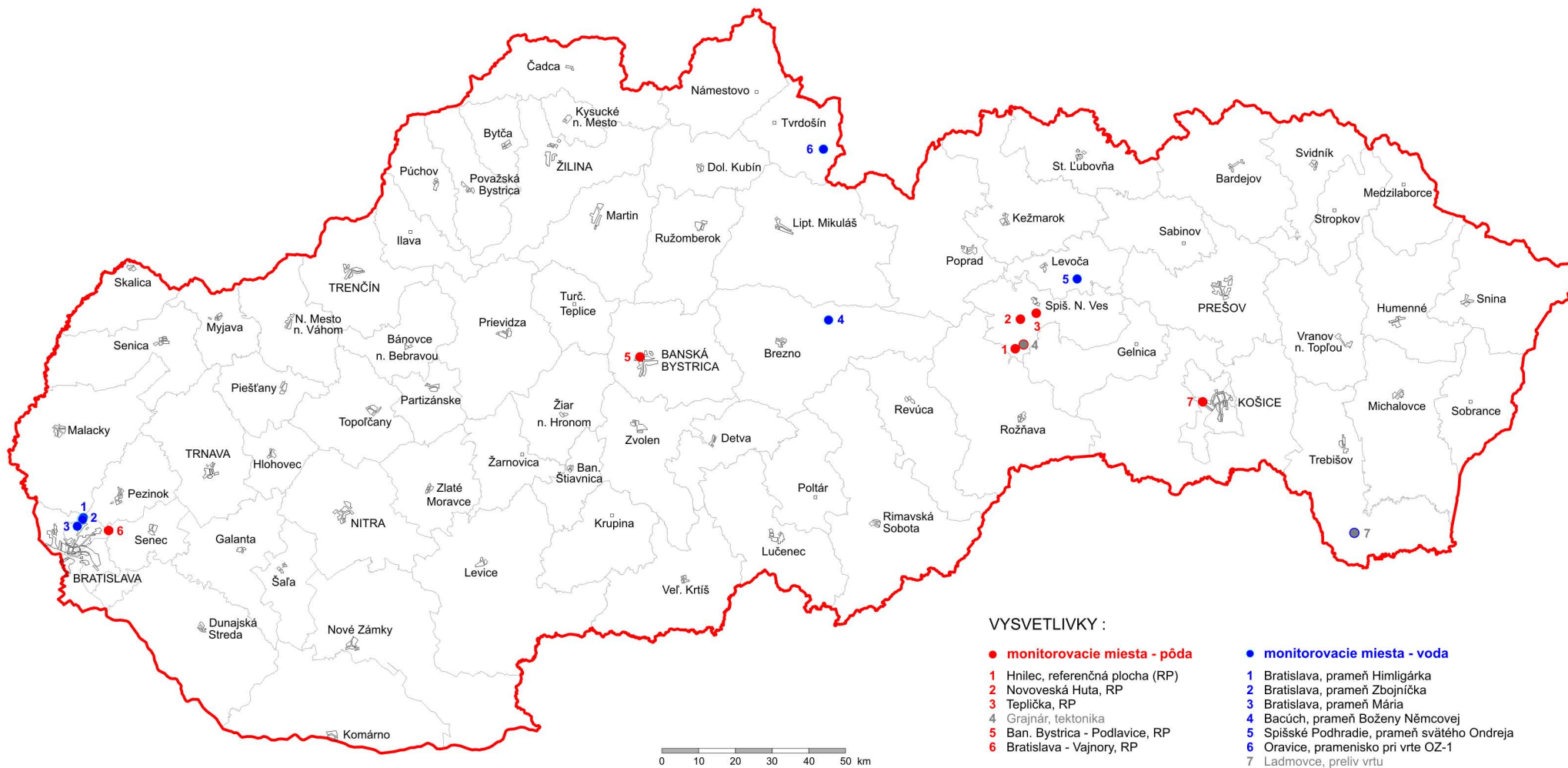
- pokračovať v častejšom monitorovaní prameňa Boženy Němcovej pri Bacúchu v období zima – jar,
- prerušiť monitorovanie na objekte Ladmovce – preliv vrtu.

Objem finančných prostriedkov, čerpaných pri realizácii prác a činností v podsystéme 05 – Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky, v roku 2011 dosiahol čiastku 14.924 € (449,6 tis. Sk).

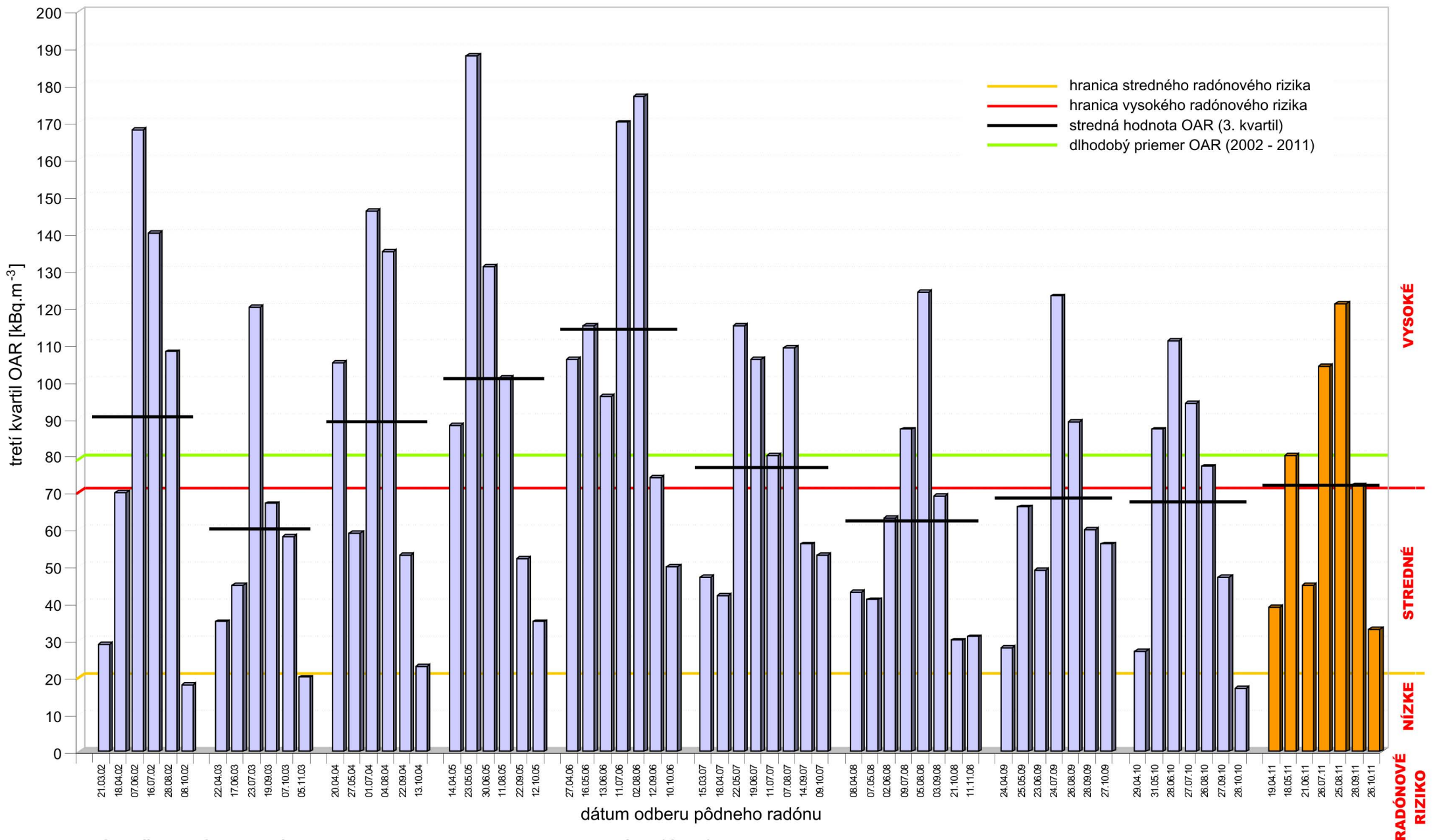
## 5. LITERATÚRA

- Barnet, I., Kulajta, V., Neznal, M., Matolín, M., Prokop, P., 1992: Hodnocení základových pŮd z hlediska vnikání radonu do bytů, Geologický průzkum 4, str.114-115, archiv ŠGÚDŠ
- Čížek, P., Gluch, A., Smolárová, H., 2001: Atlas geofyzikálních máp a profilov; textová príloha D 3 – prírodná rádioaktivita, odbor Geofondu Bratislava
- Smolárová, H., 2001: Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR, záverečná správa za obdobie 1993 – 2000, archiv ŠGÚDŠ
- Smolárová, H., 2002: Monitorovanie radónu v geologickom prostredí. In: Geologické práce, správy 106, ŠGÚDŠ Bratislava, str. 139-145, archiv ŠGÚDŠ
- Smolárová, H., Gluch, A., 2010: Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky, záverečná správa za obdobie 2002 – 2009, archiv ŠGÚDŠ
- Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 528/2007 o podrobnostiach a požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia, archiv ŠGÚDŠ
- Zákon NR SR č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov, archiv ŠGÚDŠ

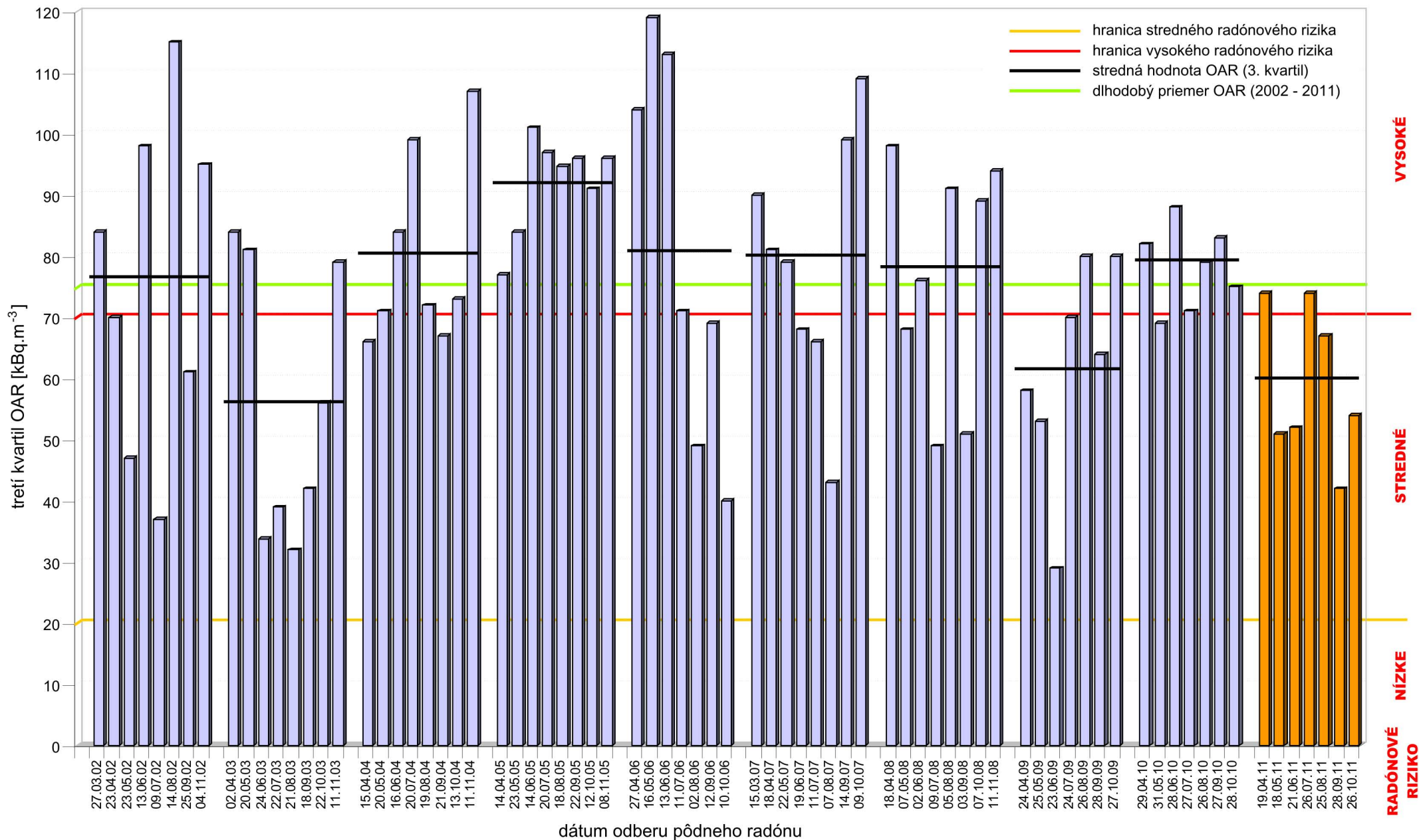
## **OBRÁZKY**



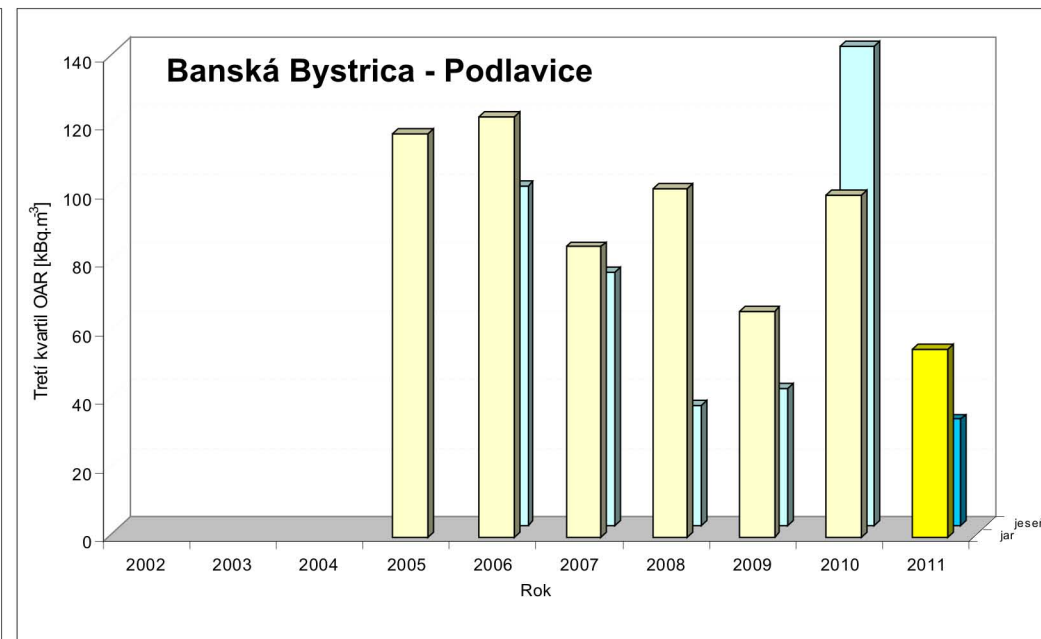
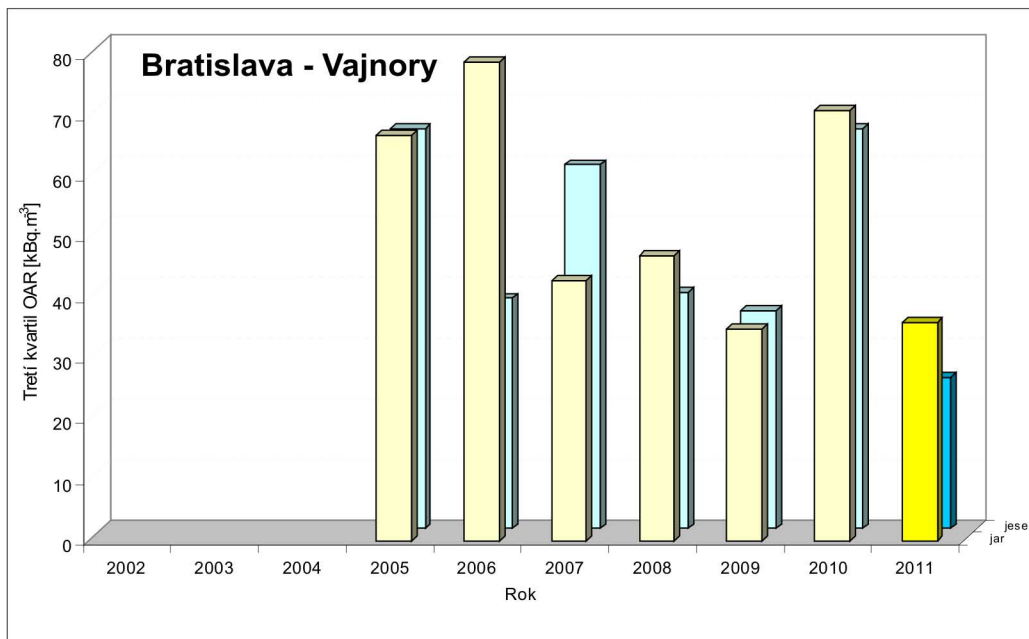
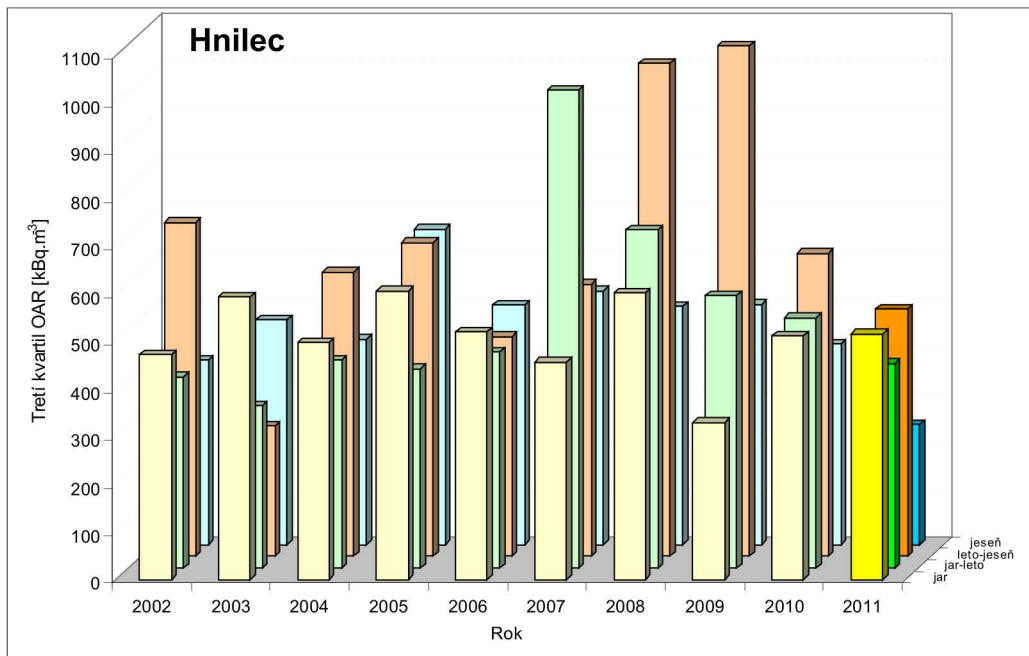
Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2011



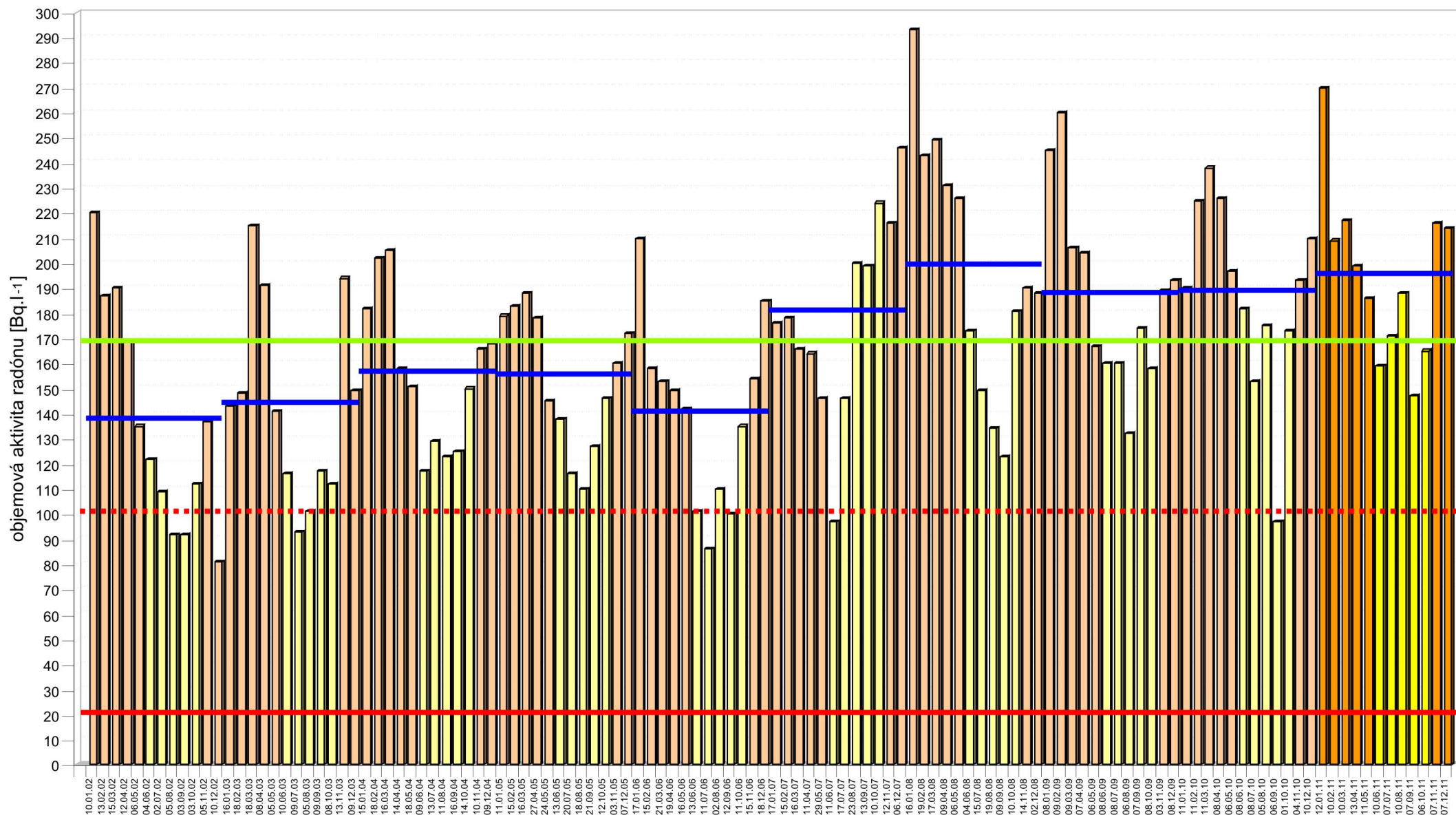
Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2011  
 Lokalita: Novoveská Huta



Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2011  
Lokalita: Teplička



Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2011  
 Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice



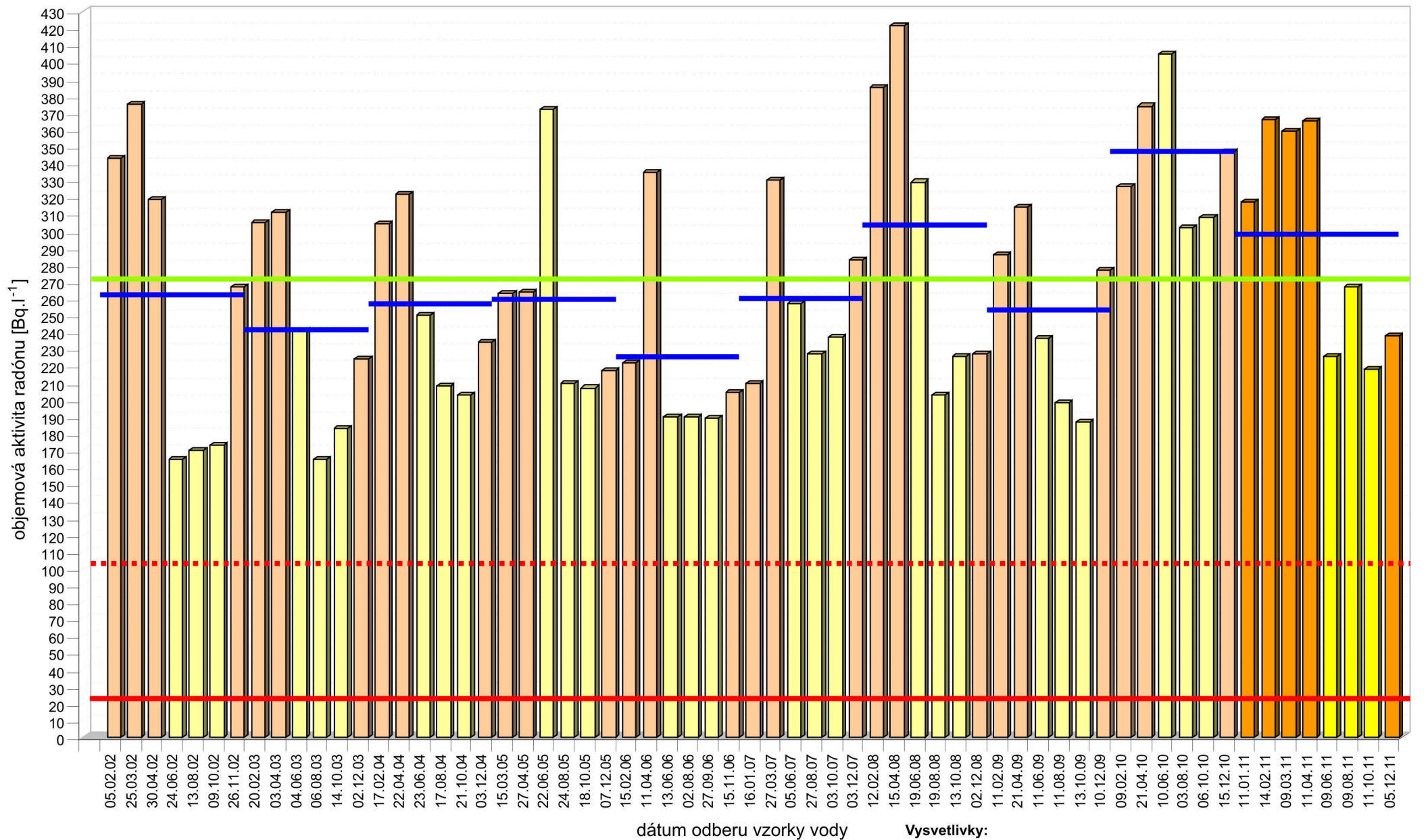
dátum odberu vzorky vody

**Vysvetlivky:**

- monitorovacie obdobie: cca zima - jar
- monitorovacie obdobie: cca leto - jeseň
- stredná hodnota OAR v danom roku
- normovaná zásahová úroveň 20 Bq.l<sup>-1</sup> (pramenitá voda vhodná pre dožitá)
- normovaná zásahová úroveň 100 Bq.l<sup>-1</sup> (prírodná minerálna voda, pramenitá a balená pitná voda)
- dlhodobý priemer OAR (2002 - 2011)

Obr. č. 5 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2011

Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja

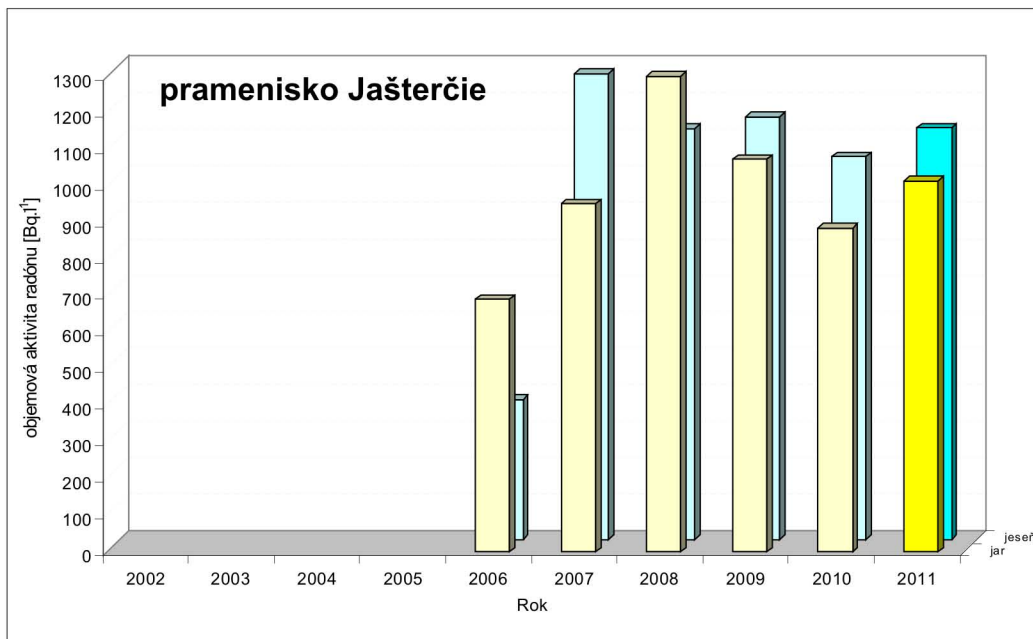
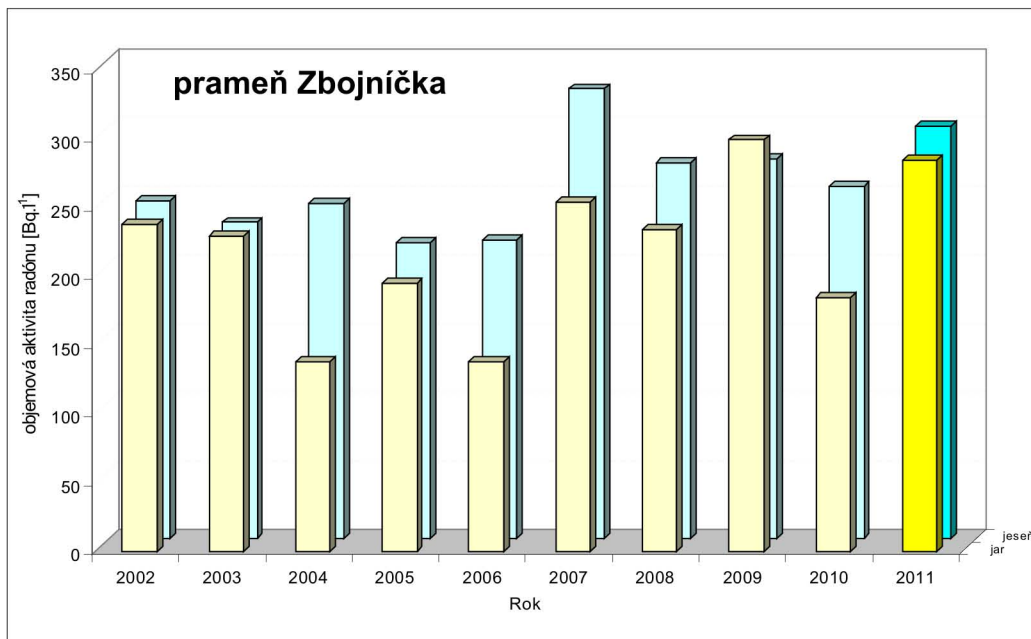
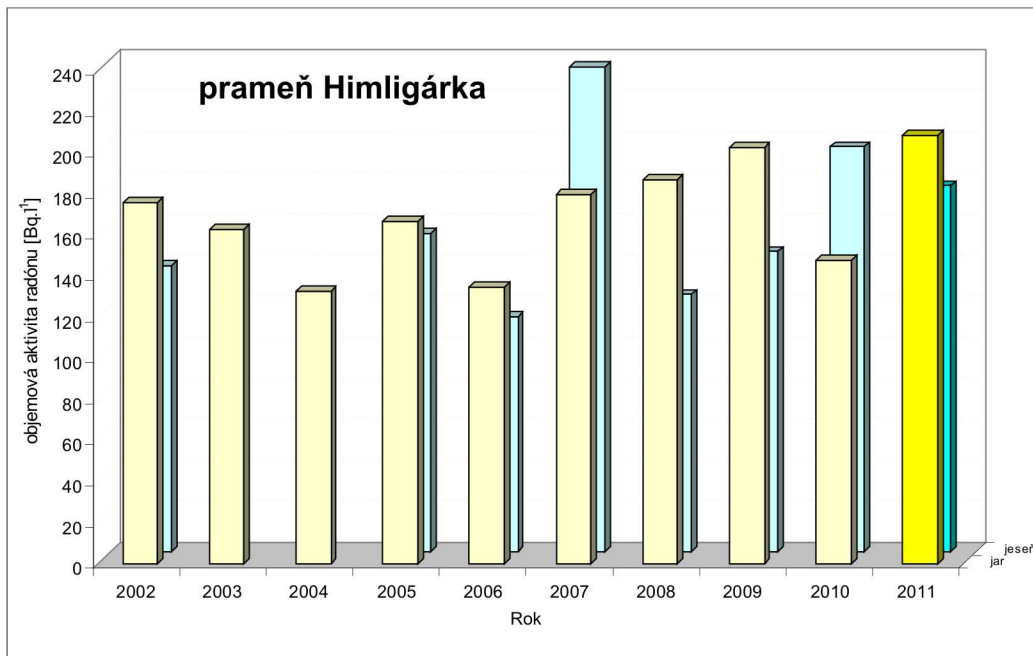
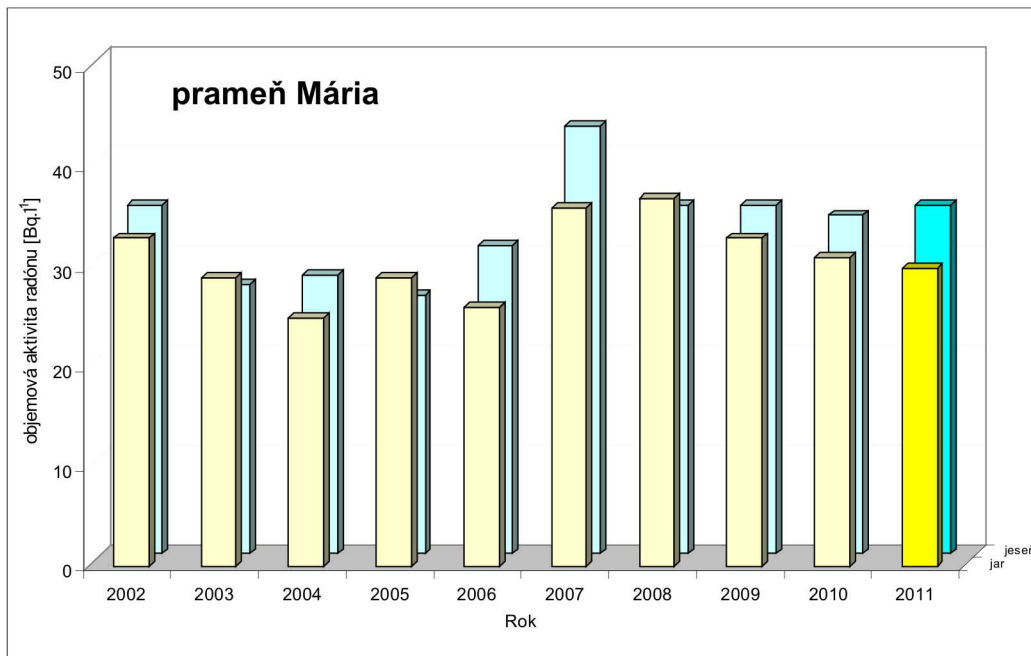


**Vysvetlivky:**

- monitorovacie obdobie: cca zima - jar
- monitorovacie obdobie: cca leto - jeseň
- stredná hodnota OAR v danom roku
- normovaná zásahová úroveň 20 Bq.l<sup>-1</sup> (pramenitá voda vhodná pre dojčatá)
- normovaná zásahová úroveň 100 Bq.l<sup>-1</sup> (prírodná minerálna voda, pramenitá a balená pitná voda)
- dlhodobý priemer OAR (2002 - 2011)

Obr. č. 6 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2011

Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej



Obr. č. 7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2011  
 Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie

## **TABULKY**

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

<b>KATEGÓRIA RADÓNOVÉHO RIZIKA</b>	<b>3. kvartil - OBJEMOVÁ AKTIVITA RADÓNU [kBq.m<sup>-3</sup>]</b>		
	<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

<b>Priepustnosť</b>	<b>Podiel jemných častíc</b>	<b>Trieda podľa STN 73 1001</b>
<b>malá</b>	<b>f &gt; 65 %</b>	F5, F6, F7, F8
<b>stredná</b>	<b>15 % &lt; f &lt; 65 %</b>	F1, F2, F3, F4, S4, S5, G4, G5
<b>dobrá</b>	<b>f &lt; 15 %</b>	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 2011, porovnanie 2002 - 2011															
p.č.	Lokalita	Dátum	c <sub>A</sub> - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m <sup>-3</sup> ]								Teplota [°C]			Atm. tlak [hPa]	Poznámka
			N	min c <sub>A</sub>	max c <sub>A</sub>	φ c <sub>A</sub>	σ c <sub>A</sub>	φ + σ	3. kvartil c <sub>A</sub>	Rn riziko	vzduch	pri zemi	pôda		
1	Hnilec	18.4.2011	17	45	1375	505	372	877	516	III	8	6	2	1024	vlhko
2		21.6.2011	17	73	1160	385	288	673	430	III	18			1017	sucho
3		25.8.2011	17	160	829	394	218	612	519	III	29	25	17	1018	mokro
4		26.10.2011	17	36	938	251	211	462	253	III				1021	vlhko
		<b>rok 2011</b>	<b>68</b>	<b>36</b>	<b>1375</b>	<b>384</b>	<b>272</b>	<b>656</b>	<b>430</b>	<b>III</b>					
		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	19.4.2011	17	8	139	33	35	68	39	II	13	13	5	1019	pomerne sucho
2		18.5.2011	17	9	146	43	39	82	80	III	19	14	10	1021	sucho
3		21.6.2011	17	7	205	47	44	91	45	II	19			1017	sucho
4		26.7.2011	17	23	396	92	86	178	104	III	16	16	15	1010	mokro
5		25.8.2011	17	10	229	83	72	155	121	III	25	21	17	1018	mokro
6		28.9.2011	17	13	253	64	61	125	72	III	17	16	12	1027	sucho
7		26.10.2011	17	9	199	32	45	77	33	II				1021	vlhko
		<b>rok 2011</b>	<b>119</b>	<b>7</b>	<b>396</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	<b>111</b>	<b>71</b>	<b>III</b>					
		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 2011, porovnanie 2002 - 2011															
p.č.	Lokalita	Dátum	$c_A$ - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m <sup>-3</sup> ]								Teplota [°C]			Atm. tlak	Poznámka
			N	min $c_A$	max $c_A$	$\phi$ $c_A$	$\sigma$ $c_A$	$\phi + \sigma$	3. kvartil $c_A$	Rn riziko	vzduch	pri zemi	pôda	[hPa]	
1	B. Bystrica - Podlavice	23.5.2011	17	10	129	40	36	76	55	II	21	17	15	1021	sucho
2		12.9.2011	17	5	67	25	15	40	31	II				1013	sucho
		<b>rok 2011</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>129</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>58</b>	<b>43</b>	<b>II</b>					
		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													
		rok 2003													
	rok 2002														

**Vysvetlivky:**

$c_A$  objemová aktivita radónu (OAR) v pôdnom vzduchu [kBq.m<sup>-3</sup>]

N počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)

min  $c_A$  minimálna hodnota OAR z N

max  $c_A$  maximálna hodnota OAR z N

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

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

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

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

Teplota vo vzduchu, pri zemi, v pôde [°C]

Atm. tlak [hPa]

Tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2011, porovnanie 2002 - 2011										
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]
1	Bratislava - prameň Mária	24.5.2011	30	0,400	7	20				
2		13.9.2011	35	0,303	10	16				
		<b>2011</b>					<b>30</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>11</b>
		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 Zbojnička	24.5.2011	287	0,334	8	19				
2		13.9.2011	300	0,272	10	16				
		<b>2011</b>					<b>287</b>	<b>300</b>	<b>294</b>	<b>3</b>
		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 2011, porovnanie 2002 - 2011										
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]
1	Bratislava - prameň Himligárka	24.5.2011	209	0,226	8	19				
2		13.9.2011	178	0,159	9	17				
		<b>2011</b>					<b>178</b>	<b>209</b>	<b>194</b>	<b>11</b>
		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	11.1.2011	317	0,028	6	2				
2		14.2.2011	366	0,028	5	-3				
3		9.3.2011	359	0,027	4	-9				
4		11.4.2011	365	0,029	6	11				
5		9.6.2011	226	0,027	8	18				
6		9.8.2011	267	0,031	10	16				
7		11.10.2011	218	0,023	9	9				
8		5.12.2011	238	0,022	7	6				
		<b>2011</b>					<b>218</b>	<b>366</b>	<b>295</b>	<b>22</b>
		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 2011, porovnanie 2002 - 2011										
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]
1	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	12.1.2011	270	nemerateľná	6	2				
2		10.2.2011	209	0,042	5	-5				
3		10.3.2011	217	0,044	5	-6				
4		13.4.2011	199	nemerateľná	6	4				
5		11.5.2011	186	0,041	8	5				
6		10.6.2011	159	0,040	11	14				
7		7.7.2011	171	0,040	12	11				
8		10.8.2011	188	0,034	14	8				
9		7.9.2011	147	0,033	13	9				
10		6.10.2011	165	0,035	13	10				
11		7.11.2011	216	0,029	9	-4				
12		7.12.2011	214	0,025	7	-6				
		<b>2011</b>					<b>147</b>	<b>270</b>	<b>195</b>	<b>17</b>
		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 2011, porovnanie 2002 - 2011										
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]
1	Oravice - pramenisko Jašterčie OZ- 1	11.4.2011	1014	nemerateľná	18	2				
2		11.10.2011	1125	nemerateľná	18	10				
		<b>2011</b>					<b>1014</b>	<b>1125</b>	<b>1070</b>	<b>7</b>
		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									

Kde:

- <sup>222</sup>Rn objemová aktivita radónu (OAR) vo vode c<sub>A</sub> [Bq.l<sup>-1</sup>]
- Q výdatnosť vodného zdroja [l.s<sup>-1</sup>]
- t-voda teplota vody [°C]
- t-vzduch teplota vzduchu [°C]
- Rn<sub>min</sub> minimálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]
- Rn<sub>max</sub> maximálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]
- φ Rn stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]
- v Rn variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]

Tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 2002 - 2011

p.č.	Lokalita	Obdobie	<sup>222</sup> Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]			Výdatnosť Q [l.s <sup>-1</sup> ]		
			ϕ Rn	σ Rn	v Rn [%]	ϕ Q	σ Q	v Q [%]
1	Bratislava - prameň Mária	<b>2011</b>	<b>33</b>	<b>3,5</b>	<b>11</b>	<b>0,362</b>	<b>0,069</b>	<b>20</b>
		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	<b>2011</b>	<b>294</b>	<b>9,2</b>	<b>3</b>	<b>0,303</b>	<b>0,044</b>	<b>14</b>
		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	<b>2011</b>	<b>194</b>	<b>21,9</b>	<b>11</b>	<b>0,193</b>	<b>0,047</b>	<b>25</b>
		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 - 2011

p.č.	Lokalita	Obdobie	<sup>222</sup> Rn [Bq.l <sup>-1</sup> ]			Výdatnosť Q [l.s <sup>-1</sup> ]		
			φ Rn	σ Rn	v Rn [%]	φ Q	σ Q	v Q [%]
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	<b>2011</b>	<b>295</b>	<b>64,6</b>	<b>22</b>	<b>0,027</b>	<b>0,003</b>	<b>11</b>
		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	<b>2011</b>	<b>195</b>	<b>33,5</b>	<b>17</b>	<b>0,036</b>	<b>0,006</b>	<b>17</b>
		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	<b>2011</b>	<b>1070</b>	<b>78,5</b>	<b>7</b>	nemerateľné		
		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:** <sup>222</sup>Rn - objemová aktivita radónu (OAR) vo vode c<sub>A</sub> [Bq.l<sup>-1</sup>]  
 φ Rn - stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l<sup>-1</sup>]  
 σ Rn - štandardná odchýlka OAR za hodnotené obdobie [ Bq.l<sup>-1</sup>]  
 v Rn - variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]

Q výdatnosť vodného zdroja [l.s<sup>-1</sup>]  
 φ Q priemerná výdatnosť Q za hodnotené obdobie [l.s<sup>-1</sup>]  
 σ Q smerodatná odchýlka Q za hodnotené obdobie [l.s<sup>-1</sup>]  
 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 – 2011

p.č.	LOKALITA	Rok										Dlhodobý priemer	$\sigma$	Podiel $c_A$ 2011 / 2010	Trend 2011 / 2010	
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011					
<b>3.Q <math>c_A</math> [kBq.m<sup>-3</sup>]</b>																
<b><i>Pôdny radón na referenčných plochách</i></b>																
1	Hnilec	491	420	491	587	485	642	712	620	524	430	540	305	0,82	↓	
2	Novoveská Huta	89	58	87	99	113	73	61	67	66	71	78	73	1,08	↗	
3	Teplička	76	56	80	92	81	79	77	62	78	59	74	30	0,76	↓	
4	Bratislava - Vajnory				67	59	52	43	36	69	31	51	21	0,45	↓	
5	Banská Bystrica - Podlavice				118	111	80	69	53	120	43	85	52	0,36	↓	
<b><i>Pôdny radón na tektonike</i></b>																
1	Grajnár	18	10	13	24	20	16	20	16	*	**	17	18			

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

p.č.	LOKALITA	Rok										Dlhodobý priemer	$\sigma$	Podiel $c_A$ 2011 / 2010	Trend 2011 / 2010	
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011					
<b><i>Radón vo vodách</i></b>																
1	Bratislava - prameň Mária	34	28	27	28	29	40	36	34	33	33	32	5	1,00	-	
2	Bratislava - prameň Zbojnička	242	230	191	205	178	291	254	288	220	294	239	50	1,34	↗	
3	Bratislava - prameň Himligárka	158	163	133	161	125	208	156	175	173	194	165	33	1,12	↗	
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	259	238	254	256	222	257	299	250	344	295	267	69	0,86	↓	
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	137	143	156	154	140	180	198	187	188	195	168	45	1,04	↗	
6	Oravice - pramenisko Jašterčie OZ-1					536	1112	1217	1115	966	1070	1003	255	1,11	↗	
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

$\sigma$  štandardná odchýlka OAR zo všetkých jednotlivých meraných hodnôt celého súboru

☐ v danom roku nebol objekt monitorovaný

\*) monitorovaná lokalita Grajnár dočasne neprístupná (skládka dreva)

\*\*\*) monitorovanie na objekte dočasne prerušené