

**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 2010**

Zodpovedný riešiteľ: RNDr. Pavel Liščák, CSc.

Správu vypracoval: RNDr. Augustín Gluch

Marec 2011

## **OBSAH**

1.	Úvod	1
2.	Metodika prác	2
3.	Prehľad a výsledky urobených prác	5
3.1	Pôdny radón na referenčných plochách – zvýšené radónové riziko vybraných miest	5
3.2	Pôdny radón na tektonike	10
3.3	Radón vo vodách	11
4.	Záver a odporúčania	13
5.	Literatúra	18

## 1. ÚVOD

Radiačná záťaž populácie patrí medzi významné faktory v širokom spektre oblastí s viac alebo menej výrazným negatívnym dopadom na ľudský organizmus. Problematika prírodnej aj umelej rádioaktivity, radónu, (...) bola desaťročia (hlavne v období tzv. „studenej vojny“) u nás, ale aj vo svete, prakticky „tabu“. Urán bol strategickou surovinou pre jadrový (zbrojný, energetický) priemysel a výsledky prieskumu i vedeckého výskumu z tejto oblasti sa prísne utajovali. Zdravotné dopady na obyvateľstvo sa väčšinou bagatelizovali a obmedzovali na názor, že radón priamo ohrozuje len baníkov v uránových baniach.

Nové poznatky v hodnotení vplyvov ionizujúceho žiarenia potvrdzujú, že k radiačnej záťaži obyvateľstva vo významnej miere prispieva aj rádioaktivita z geologického prostredia. V relevantných zdrojoch sa uvádza, že viac ako 80 % radiačnej záťaže populácie pochádza práve z prírodných zdrojov, pričom najväčší príspevok z celkovej radiačnej expozície (cca 50 %) pochádza práve z inhalácie radónu a produktov jeho rozpadu.

Je preto nevyhnutné – v súčasnosti i do budúca – získavať hodnoverné informácie o rádioaktivite z prírodných zdrojov aj na našom území. 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 najvyššej miere, pre objektívne prognózovanie jeho výskytu, šírenia, koncentrácií, krátkodobých i dlhodobých variácií (...) je monitorovanie koncentrácií radónu v geologickom prostredí dôležité a opodstatnené.

Monitoring objemovej aktivity radónu (OAR) v geologickom prostredí (v pôdnom vzduchu a podzemných vodách) aj v sezóne 2010 pokračoval v zmysle schválenej koncepcie, v rozsahu zrovnateľnom so sezónou 2009.

Súbor geofyzikálnych prác a činností, realizovaných v podsysteme „Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky“, predstavuje opakované vzorkovanie a meranie OAR v teréne a v laboratórnych podmienkach na celkom 14-tich lokalitách (po siedmich lokalitách pre radón v pôdnom vzduchu aj radón v podzemných vodách) v rámci územia Slovenska, vrátane ich komplexného spracovania, vyhodnotenia a porovnania výsledkov s predchádzajúcimi obdobiami, vypracovania jednotlivých ročných správ (textová, tabuľková a grafická časť), aktualizovania výsledných databáz, atď.

V sezóne 2010 nebolo možné zrealizovať merania nad tektonikou na lokalite Grajnár (pozri ďalší text), takže monitorovaných bolo iba 13 lokalít.

## 2. METODIKA PRÁC

Prírodné rádionuklidy a produkty ich nukleárneho rozpadu sú trvalo prítomné vo všetkých zložkách životného prostredia, t.j. v horninách, vodách i v ovzduší. Radón  $^{222}\text{Rn}$  (zdroj alfa žiarenia s polčasom rozpadu 3,825 dňa) je inertný prírodný rádioaktívny plyn, vznikajúci samovoľným rozpadom rádia  $^{226}\text{Ra}$  (zdroj alfa a gama žiarenia) v rozpadovom rade uránu  $^{238}\text{U}$  a patrí medzi tzv. vzácne plyny. 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 sa 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,  $^{226}\text{Ra} = 1602$  rokov), je zaistený jeho trvalý a dlhodobý 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 zadokumentovať 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 o rozlohe 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 za rok. Tri RP sú

monitorované s vyššou frekvenciou (4 až 7 monitorovaní) za účelom lepšieho posúdenia meteorologických procesov v období skorá jar (marec / apríl) až neskorá jeseň (október / november).

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 následne sa realizuje odber vzorky pôdneho vzduchu do deemanovanej a evakuovanej scintilačnej Lucasovej komory (LK) o objeme 125 ml. Lucasova komora je kalibrovaný scintilačný detektor, ktorý sa po napustení pôdnym vzduchom transportuje na meranie a stanovenie OAR v laboratórnych podmienkach. Pri odbere pôdneho radónu sa do terénneho zápisníka (okrem údajov nevyhnutných 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 podzemných vôd je sledovaná na známych prameňoch. Vzorky pre stanovenie objemovej aktivity  $^{222}\text{Rn}$  vo vode sú odoberané do sklenených vzorkovníc so zabrúseným 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 prebublaný cez premývačku do štyroch deemanovaných a evakuovaných LK o objeme 600 ml, ktoré sa následne merajú kalibrovaným meracím zariadením metodikou zhodnou s meraním objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

Za účelom vylúčenia náhodnej chyby sa odoberajú vždy štyri vzorky, pričom výsledným obsahom radónu pre daný odber je stredná hodnota z meraní 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 určený 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 ožiarovania 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 pôdneho vzduchu v LK sú realizované v laboratórnych podmienkach najskôr 3,5 hod. po ich napustení, t.j. po dosiahnutí stavu rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérsnymi 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 vzduchu ( $V = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ )

$R(t_v, t_r)$  - korekčný faktor zohľadňujúci rádioaktívnu premenu od odberu vzorky po koniec merania a zároveň aj stav posuvnej rádioaktívnej rovnováhy medzi  $^{222}\text{Rn}$  a jeho dcérsnymi produktmi rozpadu v LK. Pri meraní (3,5 hod. po napustení LK) je dosiahnutý stav rádioaktívnej rovnováhy medzi radónom a jeho dcérsnymi produktmi. Zanedbaním poklesu aktivity radónu v priebehu merania ( $t_v$ ), môžeme dostatočne presne pre  $t_r \geq 210 \text{ min}$  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)

$t_v$  - časový interval merania LK v sekundách (obvykle 400 sec)

$t_r$  - 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 vzájomného zhodnotenia nameranej objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti zemín podľa tab. č. 1. Všetky tabuľky dokladujeme v časti **TABUĽKY** predkladanej správy (po ťuknutí na zvýraznený text sa v elektronickej podobe tejto správy – napr. z archívneho CD-ROM – otvorí predmetná tabuľka, resp. obrázok).

Plynopriepustnosť miestnych zemín 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:

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

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

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 sanovení z dvojice vzoriek vôd odobraných naraz v jeden monitorovací deň. Zaručená je tak väčšia objektivita a vyššia reprezentatívnosť výsledku.

### 3. PREHLAD A VÝSLEDKY UROBENÝCH PRÁČ

Monitoring OAR v geologickom prostredí na území Slovenska bol aj v roku 2010 realizovaný (podobne ako v predchádzajúcich monitorovacích obdobiach) v oblastiach:

- pôdny radón na referenčných plochách (RP) – zvýšené radónové riziko vybraných miest,
- pôdny radón na tektonike,
- radón vo vodách.

Situácia monitorovaných lokalít (objekty) je schematicky znázornená na obr. č. 1.

#### 3.1 Pôdny radón na referenčných plochách – zvýšené radónové riziko vybraných miest

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referenčných plochách bol v roku 2010 vykonávaný s rôznou frekvenciou monitorovania na šiestich lokalitách v strednom až

vysokom (na lokalite Hnilec v extrémnom) radónovom riziku, v rozsahu zrovnateľnom so sezónou 2009:

- Hnilec (4x ročne – každé dva mesiace: jar až jeseň),
- Novoveská Huta (7x ročne – každý mesiac: skorá jar až neskorá jeseň),
- Teplička (7x ročne – každý mesiac: skorá jar až neskorá jeseň),
- Bratislava – Vajnory (2x ročne – jar a jeseň),
- Banská Bystrica – Podlavice (2x ročne – jar a jeseň),
- Košice – KVP (2x ročne – jar a jeseň).

**POZNÁMKA:** ak túto správu prezeráte v elektronickej podobe (napr. z archívneho optického média CD-ROM) a na svojom osobnom počítači máte nainštalovanú aplikáciu „**GoogleEarth**“, po ťuknutí na zvýraznený názov lokality sa zobrazí jej reálna geografická pozícia.

### **Lokalita: RP Hnilec**

Referenčná plocha Hnilec, založená cca 2,1 km jjz. 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 2010 zrealizovaný 4x a to v období apríl až október (štyri monitorovania, 67 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

V predmetnej lokalite došlo v sezóne 2010 k pomerne výraznému poklesu úrovne OAR v pôdnom vzduchu. Stredná hodnota  $OAR_{3,Q}$  (3. kvartil OAR) v roku 2010 dosiahla iba  $524 \text{ kBq.m}^{-3}$ , t.j. už pod úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{2002-2010} = 552 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Výsledky monitoringu na RP Hnilec v sezónach 2002 až 2010 uvádzame na obr. č. 4 a prehľadne v tab. č. 6. Podrobnejšie štatistické údaje za uplynulý rok a porovnanie výsledkov monitorovania na RP Hnilec od roku 2001 dokladujeme v tab. č. 3.

Aj keď zatiaľ nie sú k dispozícii všetky potrebné údaje, už teraz je možné konštatovať, že úhrn zrážok na Slovensku v roku 2010 presiahne 1200 mm. Je to najviac od roku 1937, kedy priemerný úhrn zrážok dosiahol 1015 mm (zdroj: [www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)).

Pôdna vlhkosť „pozitívnym“ spôsobom ovplyvňuje obsahy radónu v pôdnom vzduchu – zvýšená saturácia horninového prostredia vodou viac alebo menej účinne spomaľuje prenikanie radónu k povrchu a ďalej do ovzdušia, čo vedie k nárastu jeho obsahov v pôdnom vzduchu. Po doterajšom maxime z roku 2008 ( $712 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) však priemerné hodnoty OAR v pôdnom vzduchu na tejto RP v rokoch 2009 ( $620 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a 2010 ( $524 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) vykazujú



pomerne výrazný a systematický pokles. Na lokalite Hnilec bol v sezóne 2010 medziročne zaznamenaný najvyšší pokles koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu ( $OAR_{2010 / 2009} = 0,85$ ) zo všetkých šiestich lokalít monitorovaných na území Slovenska.

S prihliadnutím k uvedeným skutočnostiam je trend OAR na RP Hnilec určitým spôsobom paradox a je zrejmé, že koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu tu sú ovplyvňované aj inými faktormi, ktorých vysledovanie a objasnenie bude vyžadovať dlhodobejšie sledovanie.

Pri všetkých monitorovaniach sezóny 2010 boli v jednotlivých sondách zaznamenané obsahy radónu v pôdnom vzduchu nad  $1000 \text{ kBq.m}^{-3}$  ( $OAR_{\max} = 1496 \text{ kBq.m}^{-3}$ , august 2010).

### **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 2010 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 2010 k nevýznamnému poklesu strednej hodnoty  $OAR_{3,Q} = 66 \text{ kBq.m}^{-3}$ , pričom v roku 2009 to bolo  $67 \text{ kBq.m}^{-3}$  ( $OAR_{2010 / 2009} = 0,99$ ) pri dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2010} = 79 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Najvyššia priemerná hodnota  $OAR_{3,Q}$  tu bola nameraná v júni ( $OAR = 111 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a v jednotlivej sonde  $387 \text{ kBq.m}^{-3}$  (august 2010).

Grafické znázornenie hodnôt  $OAR_{3,Q}$  v pôdnom vzduchu v jednotlivých monitorovacích sezónach na tejto lokalite, ich vývoj v priebehu sezóny 2010 a porovnanie s predchádzajúcimi obdobiami (2002 – 2010) dokumentujeme na obr. č. 2. Výsledky štatistického vyhodnotenia výsledkov meraní sú prehľadne spracované v tab. č. 3 a sumárne v tab. č. 6.

V letných mesiacoch boli na RP Novoveská Huta vysledované zvýšené a na jar a jeseň znížené OAR. Vysoké zrážkové úhrny sezóny 2010 sa tu na koncentráciách radónu v pôdnom vzduchu neprejavili.

Jav prudkého a výrazného poklesu hodnôt OAR (niekedy až na úroveň nízkeho radónového rizika), často zaznamenávaného pri monitoringu na tejto lokalite v predchádzajúcich monitorovacích obdobiach pri prvých jesenných mrazoch, sa v roku 2010 podarilo vysledovať koncom októbra, kedy hodnota  $OAR_{3,Q}$  poklesla iba na  $17 \text{ kBq.m}^{-3}$  (nízke radónové riziko).

### **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 tvoria zrejme pomerne účinnú bariéru pri prenikaní radónu k povrchu, takže sa tento plyn v geologickom prostredí viac zadržiava a hromadí a to najmä pri zvýšenej vlhkosti pokryvných sedimentov, čo sa tu v sezóne 2010 aj potvrdilo.

Monitoring radónu na tejto RP bol zrealizovaný v mesačných intervaloch v období apríl až október (sedem monitorovaní, 119 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu). Minimum bolo vysledované v máji ( $OAR_{3,Q} = 69 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Maximálne hodnoty  $OAR_{3,Q}$  sme zaregistrovali v júni ( $88 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) a septembri ( $83 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Pri všetkých siedmich monitoringoch boli v jednotlivých sondách namerané obsahy pôdneho radónu nad úrovňou vysokého radónového rizika ( $OAR_{\text{max}} = 95$  až  $150 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Na RP Teplička došlo v monitorovacej sezóne 2010 k výraznému vyrovnaniu priebehu variácií OAR v pôdnom vzduchu (pokles OAR v letných mesiacoch nebol zaznamenaný). Rozdiel medzi min. a max.  $OAR_{3,Q}$  v priebehu roka činil iba  $19 \text{ kBq.m}^{-3}$ , pri strednej hodnote  $78 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Obdobný priebeh variačnej závislosti je možné sledovať napr. aj v roku 2005, ktorý bol zrážkovo veľmi vlhký (123 % normálu; zdroj: *www.shmu.sk*). Medziročne tu došlo k pomerne výraznému nárastu koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu ( $OAR_{2010 / 2009} = 1,26$ ), spôsobeného zrejme zvýšenou vlhkosťou pokryvných sedimentov.

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 fluviaálne sedimenty (pliocénne štrky; stredná až dobrá plynopriepustnosť).

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na tejto lokalite bol v roku 2010 zrealizovaný dvakrát – v mesiacoch máj a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdneho vzduchu).

Na RP Bratislava – Vajnory došlo medziročne k výraznému nárastu obsahov pôdneho radónu ( $OAR_{2010 / 2009} = 1,92$ ), pričom na tejto lokalite bola v sezóne 2010 vysledovaná zároveň aj najvyššia stredná hodnota  $OAR_{3,Q} = 69 \text{ kBq.m}^{-3}$  od roku 2005, čo je už významne nad úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{2005-2010} = 54 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Maximálne koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu v jednotlivkej sonde tu boli zaznamenané pri jarnom aj jesennom monitoringu (zhodne  $100 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Stredné hodnoty  $OAR_{3,Q}$  v sezóne 2010 boli relatívne vysoké a dosiahli  $71 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jar) a  $66 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jeseň). Koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu sa tu pohybujú tesne okolo hranice medzi stredným a vysokým radónovým rizikom (obr. č. 4).

Na RP Bratislava – Vajnory dochádzalo v období 2005 až 2009 k postupnému znižovaniu priemerných ročných hodnôt OAR v pôdnom vzduchu, kedy od roku 2005 ( $67 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) došlo v roku 2009 k poklesu iba na  $36 \text{ kBq.m}^{-3}$  (tab. č. 6) čo je doposiaľ najnižšia hodnota OAR zaznamenaná od počiatku monitorovania v tejto lokalite.

Až v roku 2010 – v období vysokých sezónnych zrážkových úhrnov – došlo k „pozitívnej“ zmene a OAR v pôdnom vzduchu výrazne vzrástli (obr. č. 4) na najvyššiu úroveň ( $OAR_{3,Q} = 69 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) od roku 2006.

Podrobné informácie a výsledky štatistického spracovania nameraných hodnôt objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu po jednotlivých monitorovacích obdobiach dokladujeme 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 tvoria ramsauské dolomity s anomálnymi koncentraciami uránu (tzv. „uránové dolomity“).

Monitorovanie obsahov radónu v pôdnom vzduchu sa v sezóne 2010 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  $265 \text{ kBq.m}^{-3}$  pri jesennom monitoringu, so strednými hodnotami  $OAR_{3,Q}$  v pôdnom vzduchu na úrovni  $100 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jar), resp.  $140 \text{ kBq.m}^{-3}$  (jeseň).

Na tejto RP dochádzalo k postupnému a pomerne výraznému poklesu hodnôt  $OAR_{3,Q}$ , kedy z maxima v roku 2005 ( $118 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) došlo v roku 2009 k poklesu iba na  $53 \text{ kBq.m}^{-3}$ .

V sezóne 2010 však došlo medziročne k najvýraznejšiemu nárastu koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu ( $OAR_{2010 / 2009} = 2,26$ ) zo všetkých monitorovaných RP na území

Slovenska. Na predmetnej RP bola v danom roku zaregistrovaná zároveň aj najvyššia stredná hodnota  $OAR_{3,Q} = 120 \text{ kBq.m}^{-3}$  od roku 2005, pri dlhodobom priemere  $OAR_{2005-2010} = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Predpokladáme, že tento trend bol spôsobený najmä vysokou vlhkosťou horninového prostredia, v ktorom je šírenie radónu sledované.

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 2010 dokumentujeme na obr. č. 4.

### **Lokalita. RV Košice-KVP**

Referenčná plocha Košice – KVP (sídliisko Košického vládneho programu) je založená na západnom okraji uvedeného sídliska, pozdĺž Klimkovičovej ulice. Oblasť je budovaná deluviálnymi sedimentmi (piesčité a piesčito-hlinité štrky) so strednou plynopriepustnosťou.

Monitoring objemovej aktivity radónu v roku 2010 tu bol zrealizovaný dvakrát a to v mesiacoch jún a september (dve monitorovania, 34 odberov a meraní vzoriek pôdného vzduchu). Maximum OAR v jednotlivých sondách ( $60 \text{ kBq.m}^{-3}$ ) bolo vysledované v júnovom termíne. Pri oboch monitorovaniach boli vysledované pomerne nízke hodnoty OAR v pôdnom vzduchu (od  $3 \text{ kBq.m}^{-3}$  do max.  $60 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Z hľadiska radónového rizika je RP Košice – KVP na dolnej hranici stredného radónového rizika (stredná hodnota  $OAR_{2010} = 22 \text{ kBq.m}^{-3}$ ). Zaznamenaný tu bol pokles obsahov radónu v pôdnom vzduchu ( $OAR_{2010} / 2009 = 0,96$ ) i napriek zvýšenej vlhkosti pokryvu.

Výsledky štatistického spracovania meraní OAR v pôdnom vzduchu, vrátane porovnania jednotlivých monitorovacích období, dokladujeme v tab. č. 3 a tab. č. 6. Prehľad výsledkov monitorovania za sezóny 2006 – 2009 prezentujeme na obr. č. 4.

### **3.2 Pôdny radón na tektonike: PF Grajnár**

Lokalita je situovaná východne od obce Hnilec, cca 400 m východne od kóty Holičky (1086 m). Monitorovacie profily sú založené nad kontaktom chloriticko-sericitických fylitov s metabazaltami Spišsko-gemerského Rudohoria.

Merania objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou na Grajnári v roku 2010 nebolo možné zrealizovať, nakoľko si v predmetnej oblasti pracovníci Mestských lesov (?) vybudovali dočasnú skládku dreva.

Predpokladáme, že po jej odstránení, bude možné v roku 2011 v monitoringu OAR nad tektonikou v tejto oblasti pokračovať.

### 3.3 Radón vo vodách

Rozsah prác a činností pri monitoringu objemovej aktivity radónu v podzemných vodách v roku 2010 bol porovnateľný s rokom predošlým. Vzorkovanie a meranie OAR vo vybraných zdrojoch podzemných vôd prebiehalo na rovnakých lokalitách a v zrovnateľných termínoch, ako v sezóne 2009:

- 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 (6x ročne – každý druhý mesiac),
- Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja (12x ročne – každý mesiac),
- Oravice, pramenisko pri vrte OZ-1 (2x ročne – jar a jeseň),
- Ladmovce, výron vody z vrtu (2x ročne – jar a jeseň).

Výsledky meraní OAR v podzemných vodách boli štatisticky spracované a prezentujeme ich formou tabuľkových výstupov (tab. č. 4, tab. č. 5 a v sumárnom prehľade v tab. č. 6). Výsledky meraní na vybraných lokalitách sú za obdobie 2002 – 2010 prehľadne vizualizované formou prehľadných stĺpcových grafov na obr. č. 5, obr. č. 6 a obr. č. 7.

V tab. č. 4 dokladujeme základné výsledky monitoringu OAR vo vodách za obdobie sezóny 2010, 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 1998 až 2010 uvádzame v tab. č. 5.

V oblasti **Malých Karpát** (severne od centra Bratislavy) boli v máji a septembri sezóny 2010 monitorované pramene: **Mária**, **Zbojníčka** a **Himligárka**. Zachytené a stavebne upravené pramene vyvierajú na povrch v prostredí leukokrátnych muskovitických a dvojsľudných granitov, granodioritov (bratislavský typ).

Najvýraznejší pokles OAR v podzemných vodách tu bol v roku 2010 medziročne zaznamenaný v prameni Zbojníčka ( $OAR_{2010} / 2009 = 0,76$ ) pri strednej hodnote  $OAR_{2010} = 220 \text{ Bq.l}^{-1}$ , t.j. pod úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{2002-2010} = 233 \text{ Bq.l}^{-1}$ ).

V ďalších dvoch prameňoch monitorovaných v oblasti Malých Karpát, bol

vysledovaný nevýznamný pokles obsahov radónu na úrovni  $OAR_{2010 / 2009} = 0,97$  (prameň Mária), resp.  $OAR_{2010 / 2009} = 0,99$  (prameň Himligárka).

Vyššie OAR v podzemných vodách boli pri monitoringu zaznamenané v jesennom termíne pri všetkých týchto prameňoch. Koeficient variácie OAR ( $V_{Rn}$ ) pre prameň Mária bol pomerne nízky (7 %), ale pre pramene Himligárka ( $V_{Rn} = 20$  %) a Zbojnička ( $V_{Rn} = 23$  %) boli dosiahnuté jedny z najvyšších úrovní od počiatku monitorovania (tab. č. 4).

Na všetkých troch prameňoch v oblasti Malých Karpát boli v sezóne 2010 dosiahnuté vôbec najvyššie priemerné výdatnosti od začiatku monitorovania (2008):  $Q_{Mária} = 0,926 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $Q_{Himligárka} = 1,203 \text{ l.s}^{-1}$  a  $Q_{Zbojnička} = 2,073 \text{ l.s}^{-1}$ . Vysoké výdatnosti boli zrejme spôsobené vodami plytkého obehu, dotovanými vysokými zrážkami v uplynulej sezóne. Korelačná závislosť medzi OAR vo vodách a výdatnosťou zdrojov podzemných vôd nebola zistená.

Podrobnejšie informácie prezentujeme v tab. č. 4 a tab. č. 5 a na obr. č. 7.

**Prameň Boženy Němcovej**, lokalizovaný severne od obce Bacúch, bol v uplynulej sezóne monitorovaný 6x (pravidelne každý druhý mesiac) v období február až december. Zachytený a stavebne upravený prameň vyviera na povrch v prostredí tvorenom granáticko-muskoviticko-biotitickými pararulami, svorovými rulami až svormi.

Maximum objemovej aktivity radónu ( $405 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) bolo zaznamenané v prvej dekáde júna a minimum ( $302 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) v auguste 2010 (tab. č. 4 a tab. č. 5, obr. č. 6).

V sezóne 2010 tu medziročne došlo k najvyššiemu nárastu koncentrácií radónu v podzemných vodách ( $OAR_{2010 / 2009} = 1,38$ ) zo všetkých nami monitorovaných prameňov v rámci územia Slovenska. Zároveň bola nameraná aj najvyššia stredná hodnota OAR ( $344 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) od roku 2001, pri dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2010} = 264 \text{ Bq.l}^{-1}$  (tab. č. 6).

Priemerná výdatnosť prameňa v roku 2010 dosiahla  $0,027 \text{ l.s}^{-1}$ , pri pomerne nízkom koeficiente variácie ( $V_Q = 11$  %). V porovnaní s predošlými monitorovacími sezónami sa jedná o stabilnú úroveň, nakoľko aj v sezónach 2001 až 2009 sa výdatnosti pohybovali v rozmedzí iba  $0,020 - 0,030 \text{ l.s}^{-1}$  s pomerne nízkou variabilitou ( $V_Q = 8 - 18$  %). Ani na tomto prameni nebola zistená korelačná závislosť medzi OAR a výdatnosťou.

**Prameň sv. Ondreja** pri Spišskom Podhradí, je situovaný v lokalite 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 sezóne 2010 tu došlo medziročne k nevýznamnému nárastu stredných hodnôt

$OAR_{2010/2009} = 1,01$ , pri dlhodobom priemere  $OAR_{2002-2010} = 165 \text{ Bq.l}^{-1}$  (obr. č. 5, tab. č. 6). Najvyššia hodnota  $OAR = 238 \text{ Bq.l}^{-1}$  (obr. č. 5, tab. č. 4 a tab. č. 5) bola zaznamenaná v marci a najnižšia ( $97 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) v septembri uplynulej sezóny.

Výdatnosti prameňa sa v roku 2010 pohybovali v rozmedzí  $0,032 - 0,050 \text{ l.s}^{-1}$ , so strednou hodnotou  $0,038 \text{ l.s}^{-1}$  a koeficiente variácie  $V_Q = 13 \%$ . Priemerná výdatnosť prameňa aj v predošlých monitorovacích sezónach varíovala v pomerne úzkom rozmedzí  $0,033$  až  $0,044 \text{ l.s}^{-1}$ , bez korelácie na koncentrácie radónu vo vode.

**Pramenisko Jašterčie**, situované južne od obce Oravice (neďaleko vrtu OZ-1), bolo monitorované v apríli a októbri 2010.

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. Dokumentujú to aj výsledky meraní v roku 2010, kedy boli zaznamenané hodnoty  $OAR = 886 \text{ Bq.l}^{-1}$  (jar) a  $1.046 \text{ Bq.l}^{-1}$  na jeseň (medziročný pokles  $OAR_{2010/2009} = 0,87$ ), pri strednej hodnote  $OAR_{2010} = 966 \text{ Bq.l}^{-1}$ , t.j. už pod úrovňou dlhodobého priemeru  $OAR_{2006-2010} = 989 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

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

Súbor získaných údajov prezentujeme v tab. č. 4, tab. č. 5, tab. č. 6 a na obr. č. 7.

**Monitorovaný vrt** s prelivom, lokalizovaný cca  $0,8 \text{ km}$  ssv. od Ladmoviec (pri miestnej komunikácii Ladmovce – Zemplín), bol v sezóne 2010 monitorovaný v apríli a septembri. Odvrtaný je v prostredí na povrchu tvorenom lavicovitými, masívnymi, miestami brekciovitými dolomitmi.

Objemové aktivity radónu v monitorovanom prelive sú dlhodobo pomerne nízke a ani v sezóne 2010 neprekročili limitnú úroveň  $20 \text{ Bq.l}^{-1}$  ( $13 \text{ Bq.l}^{-1}$  na jar, resp.  $16 \text{ Bq.l}^{-1}$  na jeseň). Koncentrácie radónu sa tu v posledných troch sezónach držia v priemere na úrovni  $15 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

Stredné výdatnosti zdroja sú relatívne nízke ( $Q = 0,056 - 0,086 \text{ l.s}^{-1}$ ), ale v sezóne 2010 dosiahla najvyššiu hodnotu od roku 2007 ( $Q = 0,086 \text{ l.s}^{-1}$ ), pri hodnote  $V_Q = 25 \%$ .

Ďalšie údaje a podklady sú uvedené v tab. č. 4, tab. č. 5 a sumárne v tab. č. 6.

#### 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“, aj v sezóne 2010 pokračovalo v zmysle schválenej koncepcie, v rozsahu zrovnateľným s rokom 2009.

Súbor geologicko-geofyzikálnych prác a činností realizovaných v tomto podsystéme, predstavuje opakované vzorkovania a merania objemovej aktivity radónu (OAR) v terénnych aj laboratórnych podmienkach na 14-tich lokalitách (po siedmich lokalitách pre radón v pôdnom vzduchu a radón v podzemných vodách) v rámci územia Slovenska (obr. č. 1), vrátane ich komplexného spracovania, vyhodnotenia, porovnania výsledkov s predchádzajúcimi obdobiami, vypracovania hodnotiacich ročných správ, aktualizovania výsledných databáz, atď.

V roku 2010 nebolo možné zrealizovať merania nad tektonickou dislokáciou na lokalite Grajnár, takže monitorovaných bolo iba 13 lokalít.

Monitorovanie OAR v geologickom prostredí bolo zamerané – rovnako, ako v predošlých monitorovacích obdobiach – do troch oblastí: pôdny radón miest so zvýšeným radónovým rizikom, pôdny radón na zlomoch a radón v podzemných vodách.

Monitoring OAR v pôdnom vzduchu na referenčných plochách sa v sezóne 2010 uskutočnil 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, Teplička a Košice – KVP a v extrémnom radónovom riziku na RP Hnilec.

Najrozsiahlejšie monitorovanie OAR v pôdnom vzduchu (v čo možno najširšom spektre meteorologických podmienok), bolo zrealizované 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.

Merania objemovej aktivity radónu nad tektonickou dislokáciou na lokalite Grajnár v sezóne 2010 nebolo možné uskutočniť, nakoľko monitorovaný objekt nebol prístupný (skládka dreva).

Objemová aktivita radónu v zdrojoch podzemných vôd bola sledovaná v prameňoch v oblasti Malých Karpát v extraviláne Bratislavy (pramene Mária, Zbojnička a Himligárka – každý 2x v roku), v prameni sv. Ondreja na Sivej Brade pri Spišskom Podhradí (12x ročne), v prameni Boženy Němcovej pri Bacúchu (6x za rok), na pramenisku Jašterčie pri Oraviciach a na prelive vody z vrtu pri obci Ladmovce (oba zdroje po 2x v priebehu roka).



Získané výsledky sú vyhodnotené, štatisticky spracované a v predkladanej ročnej správe prezentované formou prehľadných tabuliek a grafov. Priebežne sa aktualizujú databázy ( dátové súbory) v schválenej štruktúre a fyzickej náplni.

Výsledky monitorovania dlhodobo potvrdzujú skutočnosť, že priebeh sezónnych variácií OAR v pôdnom vzduchu významne závisí nielen od meteorologických a klimatických faktorov, ale aj od vlhkosti a plynopriepustnosti miestnych zemín a hornín, a 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 sezónach pre akumuláciu a možnosti šírenia radónu v geologickom prostredí (pôdny vzduch, podzemné vody) významne odlišné.

V rokoch 2004 – 2006 boli dlhšie zimy a častejšie a výdatnejšie zrážky na jar pozitívne ovplyvňovali vlhkosť pôdy a teda aj podmienky pre hromadenie radónu v horninách (hodnoty OAR v tomto období dosahovali pomerne vysoké úrovne).

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).

Významne odlišná situácia nastala v roku 2010. Doposiaľ síce nie sú k dispozícii všetky potrebné údaje, ale už teraz je možné konštatovať, že priemerný úhrn zrážok na území Slovenska v tomto roku prekročí 1.200 mm. Je to najviac od roku 1937, kedy zrážkové úhrny dosiahli 1.015 mm (zdroj: [www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)).

Všeobecne sa predpokladá, že pôdna vlhkosť „pozitívnym“ spôsobom ovplyvňuje koncentrácie radónu v pôdnom vzduchu, pretože vyššia vlhkosť pokryvných útvarov viac alebo menej účinne spomaľuje prenikanie radónu k povrchu a ďalej do ovzdušia, čo vedie k nárastu jeho obsahov v pôdnom vzduchu.

Tento predpoklad sa (napriek extrémnym zrážkam v sezóne 2010) na všetkých monitorovaných lokalitách nepotvrdil. Aj keď je na väčšine sledovaných lokalít zrejмый nárast OAR: Banská Bystrica – Podlavice, Bratislava – Vajnory (v sezóne 2010 tu boli zaznamenané najvyššie úrovne OAR od roku 2005) a Teplička, resp. iba mierny pokles: Novoveská Huta a Košice – KVP, v oblasti RP Hnilec bol paradoxne medziročne zaznamenaný pomerne výrazný pokles koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu (tab. č. 6).

Je známe – a výsledky monitorovania to dlhodobo potvrdzujú – že sezónne variácie objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu významne závisia nielen od meteorologických

a klimatických faktorov, ale aj od plynopriepustnosti a vlhkosti miestnych zemín a hornín, teda aj na samotnej geologickej stavbe a litologickej charakteristike konkrétnej lokality. Z toho vyplýva, že aj pri rovnakých meteorologických podmienkach, ale v rôznom geologickom prostredí, nemusí byť charakter variácií zhodný.

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 šírenie radónu sledované.

Obe tieto lokality boli v sezóne 2010 monitorované v ten istý deň (t.j. v zrovnateľných meteorologických podmienkach), ale výsledky meraní OAR v pôdnom vzduchu vykazujú odlišný priebeh.

V letných mesiacoch sú na RP Novoveská Huta zaznamenávané zvýšené a na jar a jeseň znížené OAR, pričom tu v sezóne 2010 došlo iba k nepatrnému medziročnému poklesu hodnôt ( $OAR_{2010/2009} = 0,99$ ).

Na RP Teplička v monitorovacej sezóne 2010 došlo (zrejeme v dôsledku vysokej vlhkosti pokryvných útvarov) k výraznému vyrovnaniu úrovni OAR v pôdnom vzduchu (pokles OAR v letných mesiacoch nebol zaznamenaný). Rozdiel medzi min. a max.  $OAR_{3,Q}$  v priebehu roka činil iba  $19 \text{ kBq.m}^{-3}$  (koeficient variácie len 8,8 %) pri strednej hodnote  $78 \text{ kBq.m}^{-3}$  (obdobný charakter variačnej závislosti je možné sledovať aj v roku 2005, ktorý bol zrážkovo veľmi vlhký: *123 % normálu*, zdroj: *www.shmu.sk*). Na RP Teplička došlo medziročne k značnému nárastu OAR, ktoré dosiahli úroveň  $OAR_{2010/2009} = 1,26$ .

Na RP Vajnory došlo medziročne k významnému nárastu obsahov pôdneho radónu ( $OAR_{2010/2009} = 1,92$ ), pričom na tejto lokalite bola v sezóne 2010 vysledovaná zároveň aj najvyššia stredná hodnota  $OAR_{3,Q} = 69 \text{ kBq.m}^{-3}$  od roku 2005, t.j. už značne nad úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{2005-2010} = 54 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Na RP Banská Bystrica – Podlavice sa v sezóne 2010 zistil medziročne najvyšší nárast koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu ( $OAR_{2010/2009} = 2,26$ ) zo všetkých monitorovaných objektov na území SR. Na predmetnej lokalite bola v tomto roku nameraná najvyššia stredná hodnota  $OAR_{3,Q} = 120 \text{ kBq.m}^{-3}$  od roku 2005, pri dlhodobom priemere  $OAR_{2005-2010} = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$ . Predpokladáme, že tento trend bol spôsobený najmä vysokou vlhkosťou horninového prostredia, v ktorom je akumulácia radónu sledovaná.

Referenčná plocha Košice – KVP sa hodnotami viacero sezón po sebe pohybuje v blízkosti hranice nízke / stredné radónové riziko (stredná hodnota  $OAR_{2010} = 22 \text{ kBq.m}^{-3}$ ).

Napriek zvýšenej vlhkosti pokryvu tu medziročne došlo k miernemu poklesu obsahu radónu v pôdnom vzduchu ( $OAR_{2010/2009} = 0,96$ ).

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

Merania objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu nad tektonickou dislokáciou na lokalite Grajnár v roku 2010 nebolo možné zrealizovať, nakoľko si v predmetnej oblasti pracovníci Mestských lesov (?) vybuďovali dočasnú skládku dreva. Predpokladáme, že po jej odstránení bude možné v ďalších sezónach v monitorovaní pokračovať.

Porovnanie výsledkov monitorovania OAR v podzemných vodách (tab. č. 6) dokumentuje skutočnosť, že v sezóne 2010 iba dva zo sledovaných objektov (prameň Boženy Němcovej pri Bacúchu a prameň sv. Ondreja pri Spišskom Podhradí) vykazovali rastúci trend  $OAR_{2010/2009} = 1,38$  resp. 1,01. Pri väčšine monitorovaných prameňov bol zaznamenaný pokles ( $OAR_{2010/2009} = 0,76 - 0,99$ ), resp. koncentrácie radónu v podzemných vodách odpovedajú výsledkom predchádzajúcej sezóny (vrt Ladmovce:  $OAR_{2010/2009} = 1,00$ ).

Najvýraznejší pokles OAR v podzemných vodách v oblasti Malých Karpát bol v sezóne 2010 medziročne zaznamenaný v prameni Zbojníčka ( $OAR_{2010/2009} = 0,76$ ). Pri ďalších dvoch prameňoch tu bolo zistené len malé zníženie obsahov radónu vo vode:  $OAR_{2010/2009} = 0,97$  (prameň Mária), resp.  $OAR_{2010/2009} = 0,99$  (prameň Himligárka).

V uplynulom roku došlo medziročne k najvyššiemu nárastu koncentrácií radónu vo vodách na prameni Boženy Němcovej pri Bacúchu ( $OAR_{2010/2009} = 1,38$ ). Zároveň tu bola nameraná aj najvyššia stredná hodnota OAR ( $344 \text{ Bq.l}^{-1}$ ) od roku 2001. Nevýznamný nárast stredných hodnôt OAR bol zaznamenaný aj na prameni sv. Ondreja pri Spišskom Podhradí ( $OAR_{2010/2009} = 1,01$ ).

Na pramenisku Jašterčie pri Oraviciach bol zistený pokles obsahov radónu vo vode ( $OAR_{2010/2009} = 0,87$ ) so strednou hodnotou  $OAR_{2010} = 966 \text{ Bq.l}^{-1}$ , t.j. už pod úrovňou dlhodobého priemeru ( $OAR_{2006-2010} = 989 \text{ Bq.l}^{-1}$ ).

Objemové aktivity radónu v monitorovanom prelive vrtu pri Ladmovciach sú dlhodobo pomerne nízke a ani v sezóne 2010 neprekročili limitnú úroveň  $20 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Priemerné

OAR sa tu v posledných troch sezónach držia na úrovni  $15 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

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. 5 a obr. č. 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 2010, ale aj z predchádzajúcich sezón, dokumentujú skutočnosť, že zmeny (variácie) jeho koncentrácií sú jednak pravidelné (sezónne), ale aj náhodné (miestne a 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 dlhodobu realizovaných monitorovacích systémov, výstupy ktorých môžu dávať relevantné podklady pre prijímanie obecných záverov v tejto oblasti. Tento zámer sleduje aj realizácia daného projektu.

Objem finančných prostriedkov, čerpaných pri realizácii prác a činností v podsysteme 05 – Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky, v roku 2010 dosiahol čiastku 16 599,- € (500,1 tis. Sk).

Na základe komplexného zhodnotenia doterajších výsledkov a v zmysle záverov vypracovanej Záverečnej správy (Smolárová H., Gluch A., 2010) odporúčame:

- ukončiť monitorovanie na lokalite Košice – KVP,
- zaviesť priame meranie plynopriepustnosti miestnych zemín a hornín na každej referenčnej ploche zariadením JOK,
- na lokalite Grajnár znížiť počet meraných bodov v oblasti normálneho poľa o 20 – 30 %,

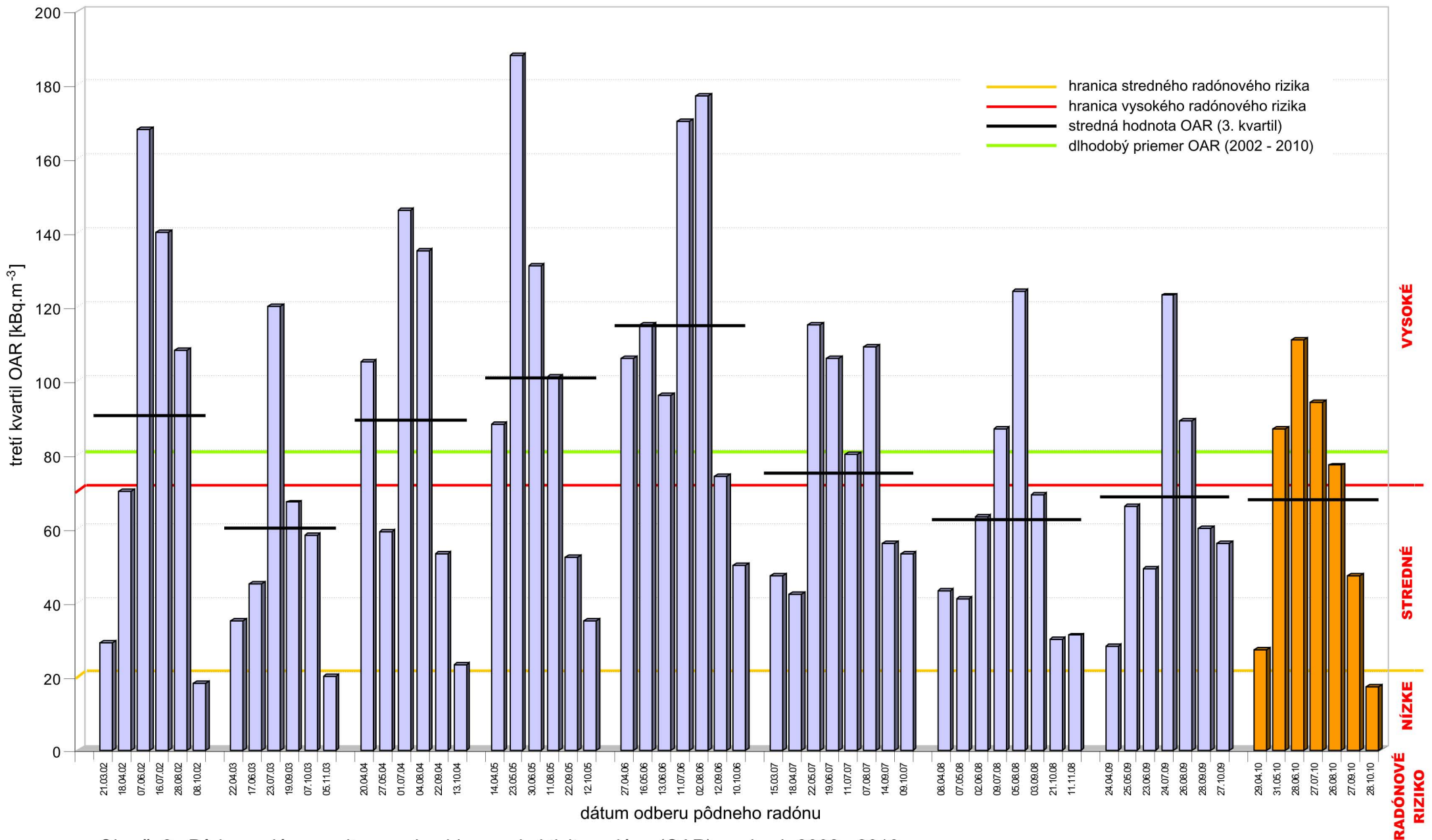
- meranie radónu nad tektonikou prepojiť, resp. zaradiť do podsystemu „Tektonická a seizmická aktivita územia“ (*anomálne koncentrácie radónu sprevádzajú seizmickú aktivitu*),
- doplniť monitoring na lokalite Bacúch v období zima – jar o dve ďalšie monitorovania v priebehu roka.

## 5. LITERATÚRA

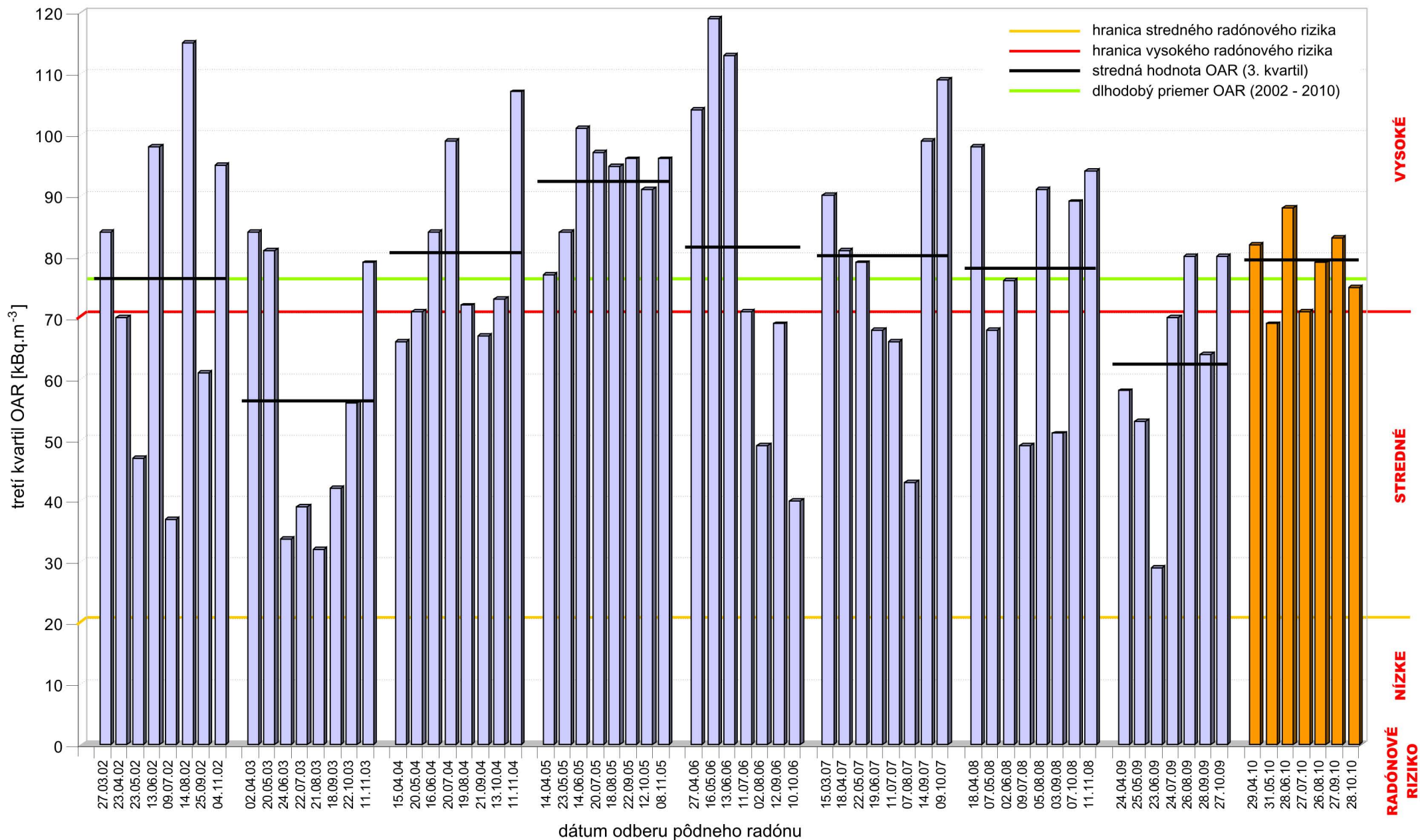
- Barnet I., Kulajta V., Neznal M., Matolín M., Prokop P., 1992: Hodnocení základových půd z hlediska vnikání radonu do bytů, Geologický průzkum 4, str.114-115, archív ŠGÚDŠ
- Čížek P., Gluch A., Smolárová H., 2001: Atlas geofyzikálních map a profilov; textová príloha D 3 – prírodná rádioaktivita, odbor Geofondu Bratislava
- Smolárová H., 2001: Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR, záverečná správa za obdobie 1993 – 2000, archív ŠGÚDŠ
- Smolárová H., 2002: Monitorovanie radónu v geologickom prostredí. In: Geologické práce, správy 106, ŠGÚDŠ Bratislava, str. 139-145, archív ŠGÚDŠ
- Smolárová H., Gluch A., 2010: Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky, záverečná správa za obdobie 2002 – 2009, archív ŠGÚDŠ
- 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



Obr. č. 1 Situačná schéma objektov monitorovaných v roku 2010

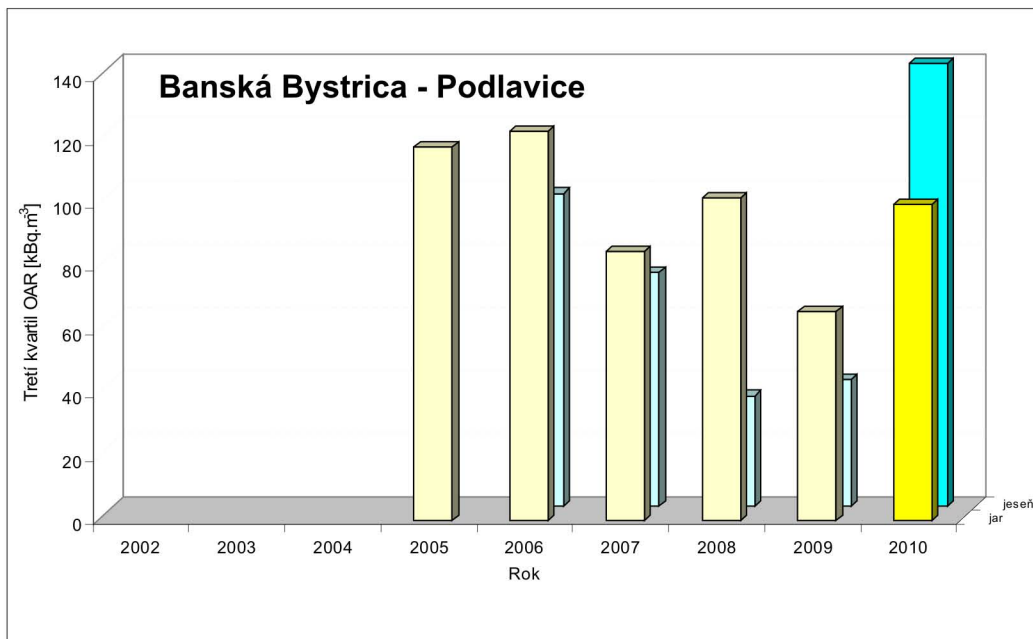
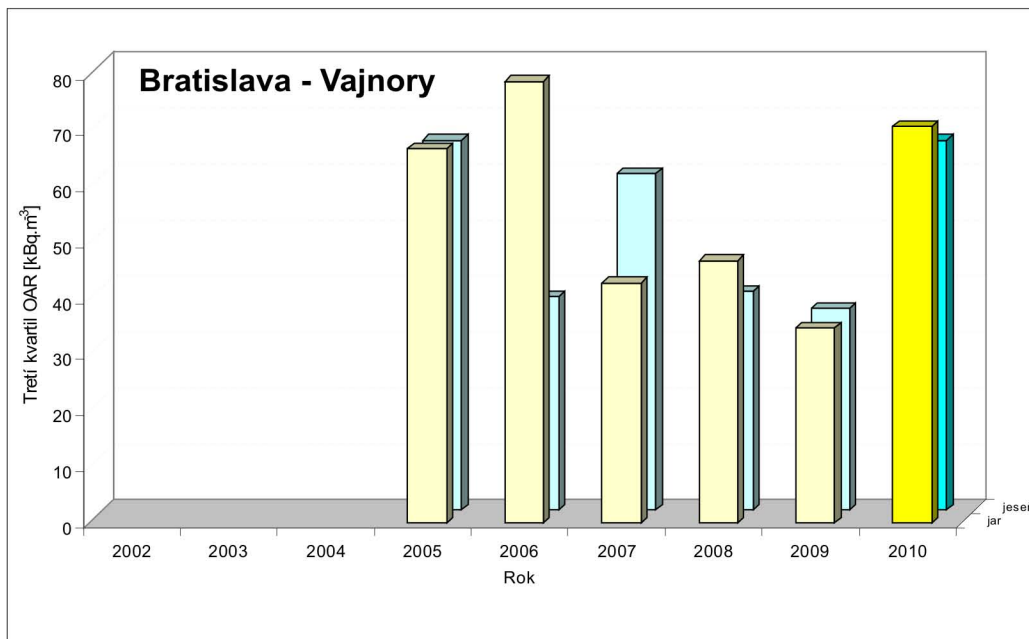
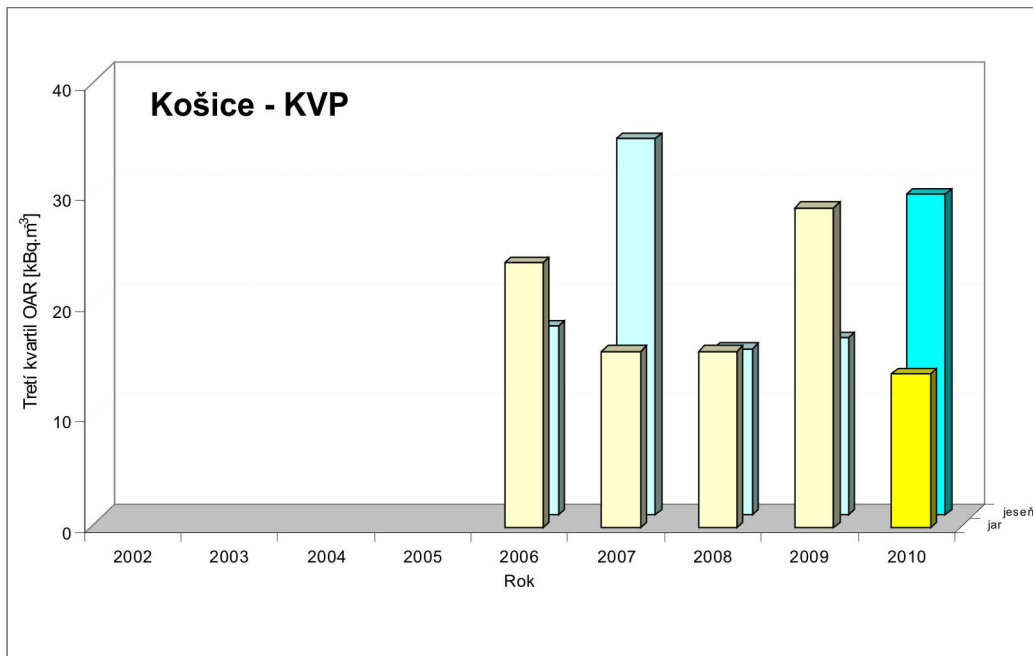
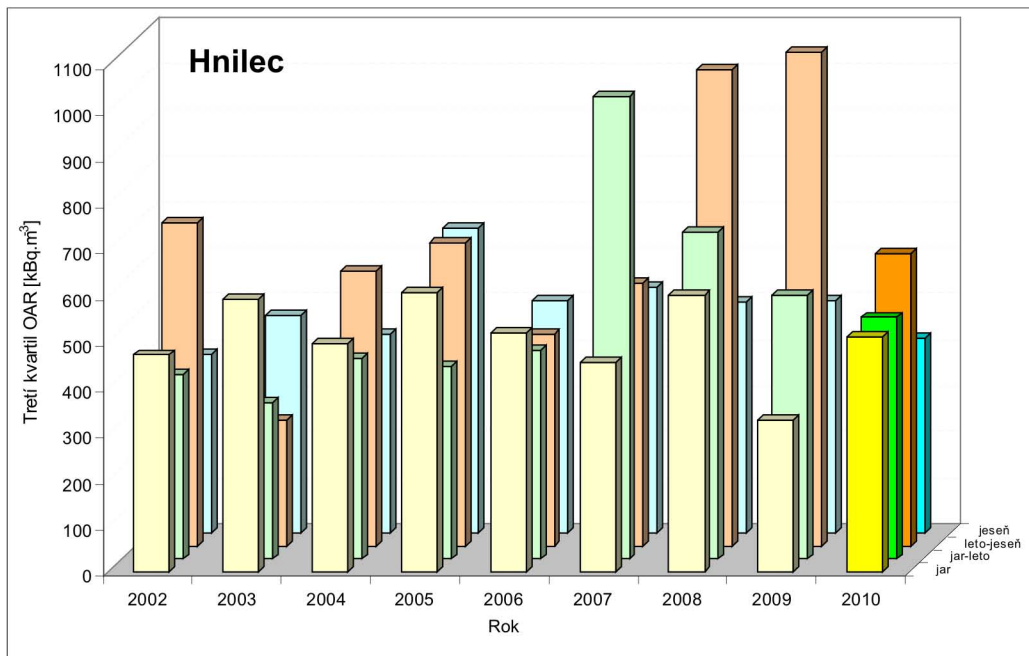


Obr. č. 2 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2010  
Lokalita: Novoveská Huta

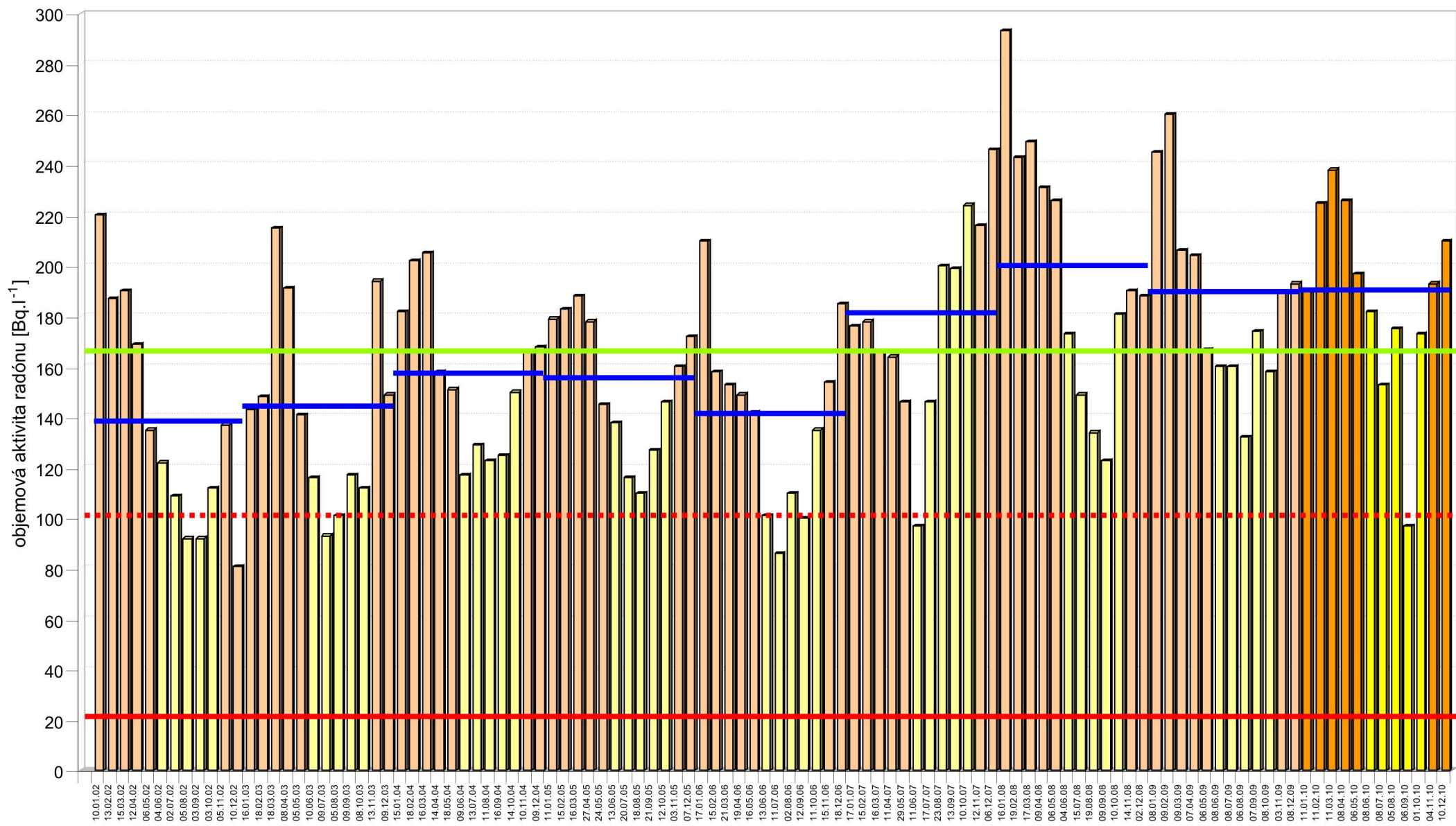


Obr. č. 3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2010  
 Lokalita: Teplička





Obr. č. 4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2010  
 Lokality: Hnilec, Košice - KVP, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice

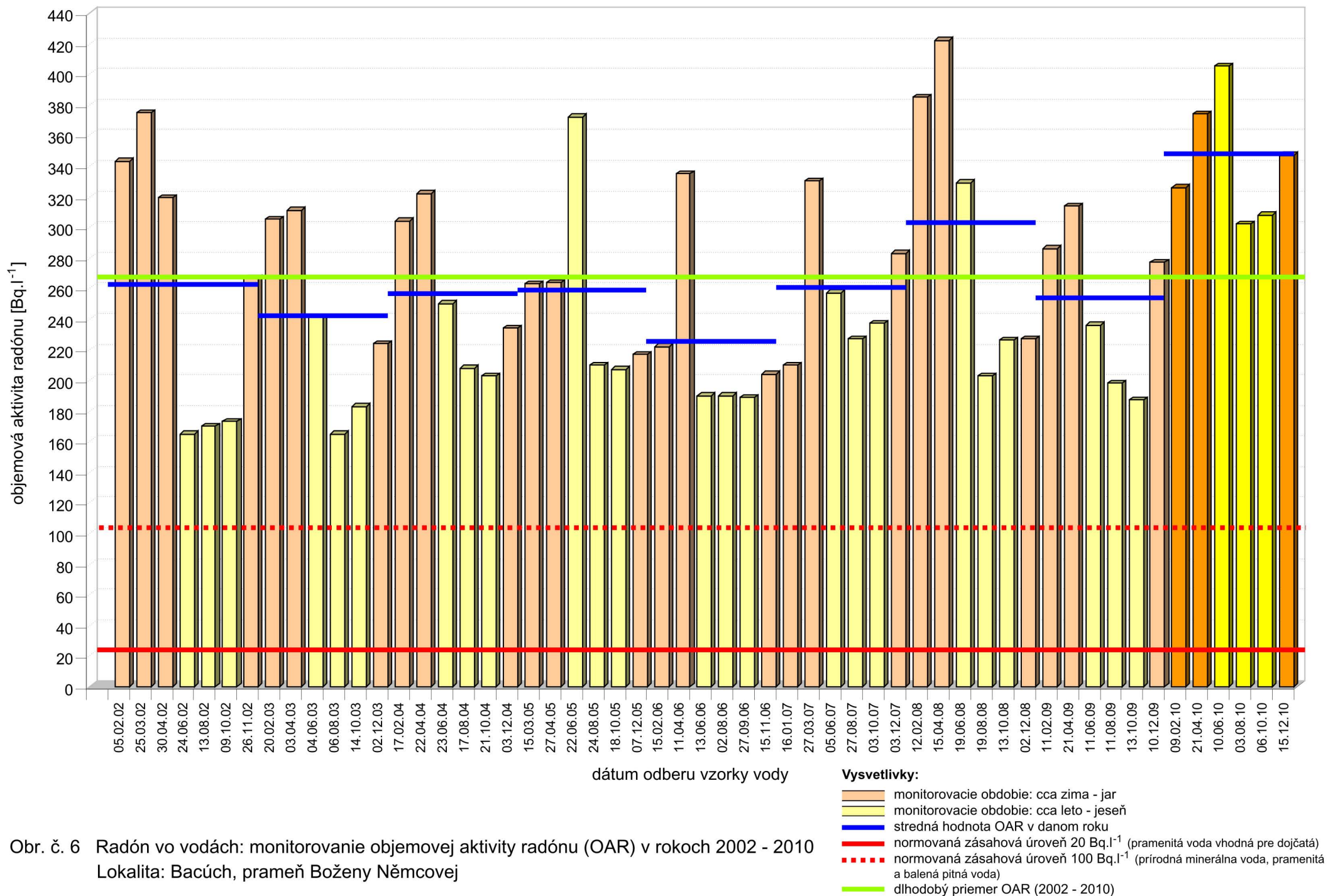


dátum odberu vzorky vody

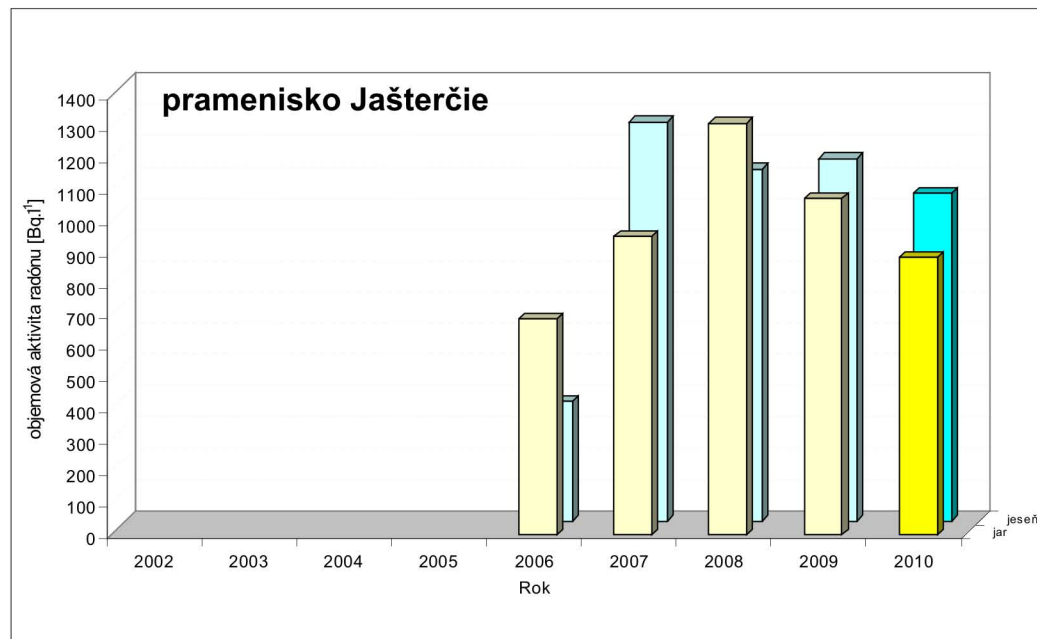
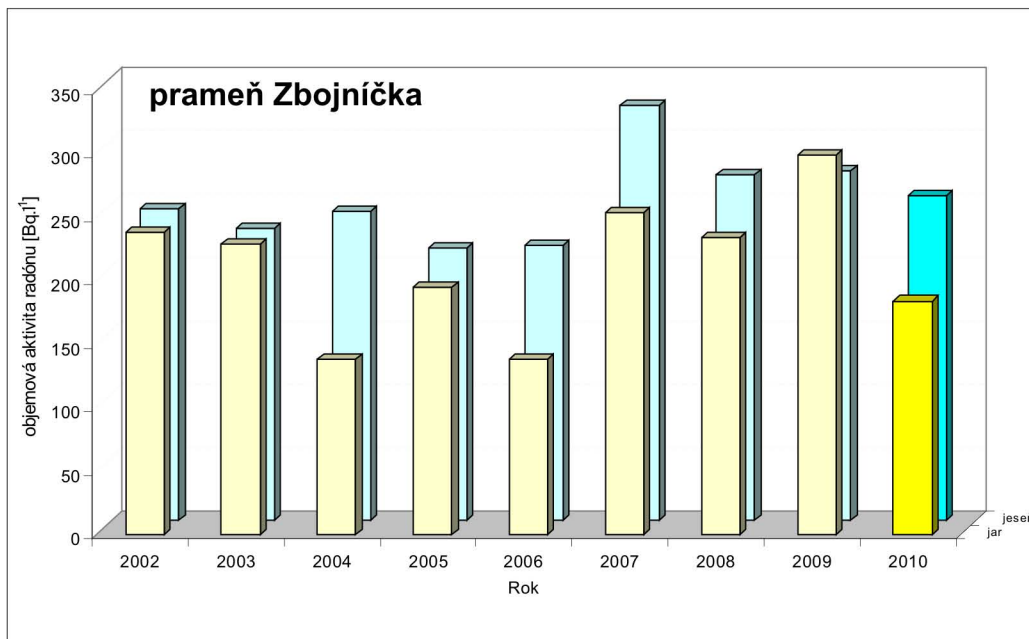
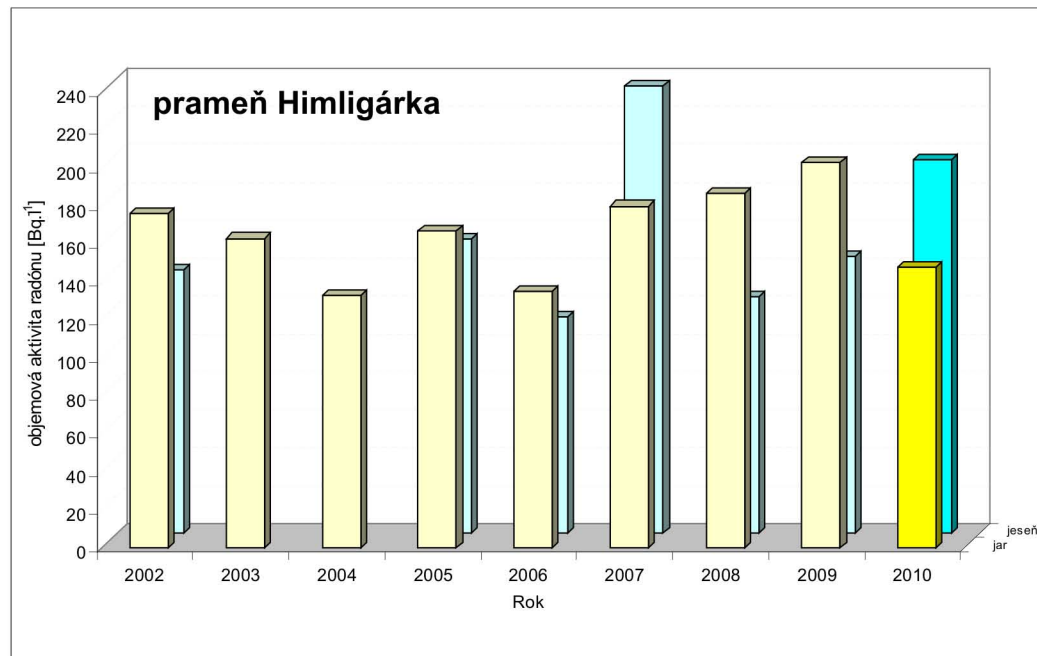
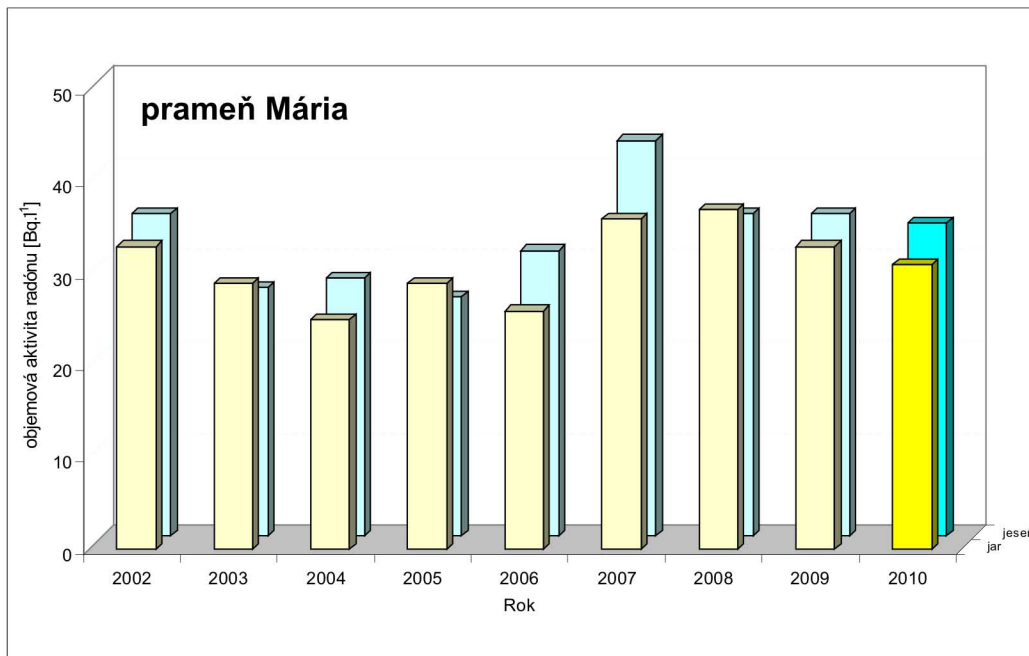
**Vysvetlivky:**

- 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 - 2010)

Obr. č. 5 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2010  
 Lokality: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja



Obr. č. 6 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2010  
Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej



Obr. č. 7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2010  
 Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie

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 2010, porovnanie 2001 - 2010															
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	29.4.2010	17	132	1105	429	243	672	512	III	15	13	6	1023	suchšie
2		28.6.2010	17	29	1147	425	313	738	525	III	10	19	17	1017	vlhko, čerstvý vietor
3		24.8.2010	17	47	1496	566	387	953	636	III	21	21	17	1010	suchšie, veterno
4		28.10.2010	16	146	1331	389	306	695	422	III	4	-2	2	1025	prízemný mrazík
		<b>rok 2010</b>	<b>67</b>	<b>29</b>	<b>1496</b>	<b>452</b>	<b>312</b>	<b>765</b>	<b>524</b>	<b>III</b>					
		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					
		rok 2001	67	236	1399	504	268	772	584	III					
1	Novoveská Huta	29.4.2010	17	9	70	23	16	39	27	II	14	10	8	1023	vlhko, ťažšie odbery
2		31.5.2010	17	6	122	56	37	93	87	III	15	16	14	1001	mokro
3		28.6.2010	17	9	329	93	96	189	111	III	20	19	15	1017	vlhko
4		27.7.2010	17	10	237	72	58	130	94	III	15	16	16	1011	mokro
5		26.8.2010	17	14	387	77	88	165	77	III	16	14	15	1017	vlhko
6		27.9.2010	17	14	337	55	77	132	47	II	10	11	12	1003	mokro, veterno
7		28.10.2010	17	4	41	17	13	30	17	I	0	-1	4	1025	prízemný mrazík
		<b>rok 2010</b>	<b>119</b>	<b>4</b>	<b>387</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	<b>111</b>	<b>66</b>	<b>II-III</b>					
		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-III						
	rok 2002	102	1	515	73	65	138	89	III						
	rok 2001	136	1	657	71	73	144	100	III						

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2010, porovnanie 2001 - 2010															
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	Teplička	29.4.2010	17	12	107	62	24	86	82	III	11	6	6	1023	vlhko, ťažšie odbery
2		31.5.2010	17	19	150	52	36	88	69	II-III	18	19	13	1001	mokro, ťažšie odbery
3		28.6.2010	17	14	104	67	26	93	88	III	18	17	12	1017	vlhko
4		27.7.2010	17	4	95	48	30	78	71	III	16	17	18	1011	mokro, slabý dážď
5		26.8.2010	17	34	108	69	22	91	79	III	13	13	13	1017	
6		27.9.2010	17	9	115	56	39	95	83	III	9	11	13	1003	mokro, ťažšie odbery
7		28.10.2010	17	6	116	59	28	87	75	III	5	1	2	1025	vlhko
		<b>rok 2010</b>	<b>119</b>	<b>4</b>	<b>150</b>	<b>59</b>	<b>29</b>	<b>88</b>	<b>78</b>	<b>III</b>					
		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						
	rok 2001	136	20	151	56	29	85	57	II-III						
1	Bratislava - Vajnory	25.5.2010	17	4	100	45	30	75	71	III	21	20	16	1007	mokro, ťažšie odbery
2		13.9.2010	17	9	100	54	23	77	66	II-III	25	21	18	1019	mokro, ťažšie odbery
		<b>rok 2010</b>	<b>34</b>	<b>4</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>27</b>	<b>76</b>	<b>69</b>	<b>II-III</b>					
		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-III					
		rok 2005	34	20	122	50	22	72	67	II-III					
	rok 2001	16	11	155	67	45	112	101	III						
1	B. Bystrica - Podlavice	25.5.2010	17	13	202	81	52	133	100	III	15	17	14	1007	mokro
2		13.9.2010	17	30	265	122	70	192	140	III	17	19	16	1019	mokro, ťažšie odbery
		<b>rok 2010</b>	<b>34</b>	<b>13</b>	<b>265</b>	<b>102</b>	<b>61</b>	<b>163</b>	<b>120</b>	<b>III</b>					
		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 2001	17	6	189	55	51	106	67	II-III						

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

Radón v pôdnom vzduchu - monitoring 2010, porovnanie 2001 - 2010																
p.č.	Lokalita	Dátum	$c_A$ - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [ $\text{kBq.m}^{-3}$ ]									Teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]			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	Košice - KVP	8.6.2010	17	3	60	13	15	28	14	I	23	20	19	1012	vlhko	
2		23.9.2010	17	3	57	25	14	39	29	II	15	14	15	1024	vlhko	
		<b>rok 2010</b>	<b>34</b>	<b>3</b>	<b>60</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>34</b>	<b>22</b>	<b>II</b>						
		rok 2009	34	2	47	18	12	30	23	II						
		rok 2008	34	3	42	14	8	22	16	I						
		rok 2007	34	4	48	16	12	28	25	II						
		rok 2006	34	4	47	16	8	24	21	II						

**Vysvetlivky:**

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

**N** počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)

**min  $c_A$**  minimálna hodnota OAR z N

**max  $c_A$**  maximálna hodnota OAR z N

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

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

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

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

**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 2010, porovnanie 1998 - 2010											
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	26.5.2010	31	1,053	8	14					
2		14.9.2010	34	0,800	10	13					
		<b>2010</b>						<b>31</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>7</b>
		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
		1998-2003						26	63	36	22
1	Bratislava - prameň Zbojnička	26.5.2010	184	3,333	8	14					
2		14.9.2010	256	0,813	10	12					
		<b>2010</b>						<b>184</b>	<b>256</b>	<b>220</b>	<b>23</b>
		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
		1998-2003						168	361	260	20
1	Bratislava - prameň Himligárka	26.5.2010	148	1,818	7	13					
2		14.9.2010	197	0,588	9	12					
		<b>2010</b>						<b>148</b>	<b>197</b>	<b>173</b>	<b>20</b>
		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	-
		1998-2003						126	284	186	26

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2010, porovnanie 1998 - 2010											
p.č.	Lokalita	Dátum	<sup>222</sup> Rn	Q	t-voda	t-vzduch	Rn <sub>min</sub>	Rn <sub>max</sub>	φ Rn	v Rn	
		Rok	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[l.s <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[Bq.l <sup>-1</sup> ]	[ % ]	
1	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	9.2.2010	326	0,022	5	-4					
2		21.4.2010	374	0,026	7	13					
3		10.6.2010	405	0,029	8	17					
4		3.8.2010	302	0,024	10	14					
5		7.10.2010	308	0,029	9	13					
6		15.12.2010	347	0,029	6	-15					
		<b>2010</b>						<b>302</b>	<b>405</b>	<b>344</b>	<b>12</b>
		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
	1998-2003						165	613	286	35	
1	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	11.1.2010	190	0,050	6	2					
2		11.2.2010	225	0,040	5	-3					
3		11.3.2010	238	0,032	5	-1					
4		8.4.2010	226	0,040	7	10					
5		6.5.2010	197	0,043	9	11					
6		8.6.2010	182	0,037	12	27					
7		8.7.2010	153	0,034	12	12					
8		5.8.2010	175	0,038	14	16					
9		6.9.2010	97	nemerateľná	13	8					
10		1.10.2010	173	0,037	12	6					
11		4.11.2010	193	0,035	9	3					
12		10.12.2010	210	0,036	7	-5					
		<b>2010</b>						<b>97</b>	<b>238</b>	<b>188</b>	<b>20</b>
	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	
	1998-2003						80	312	166	35	

tab. č. 4 Objemová aktivita radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring 2010, porovnanie 1998 - 2010										
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	21.4.2010	886	nemerateľné	18	8				
2		6.10.2010	1046	nemerateľné	18	7				
		<b>2010</b>					<b>886</b>	<b>1046</b>	<b>966</b>	<b>12</b>
		2009					1073	1156	1115	5
		2008					1122	1312	1217	11
		2007					951	1273	1112	20
		2006					382	690	536	29
		2001					588	744	666	12
1	Zemplín - vrt Ladmovce	8.4.2010	13	0,070	15	12				
2		9.9.2010	16	0,100	17	15				
		<b>2010</b>					<b>13</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
		2009					14	15	15	5
		2008					13	17	15	19
		2007					16	17	17	4
		2006					11	12	12	4
		2001					8	12	10	20

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 1998 - 2010

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>2010</b>	<b>33</b>	<b>2,1</b>	<b>7</b>	<b>0,926</b>	<b>0,178</b>	<b>19</b>
		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
		2001	30	4,9	17	0,531	0,663	125
		1998-2000	46	10,1	22	0,192	0,187	97
		1998-2003	36	8,1	22	0,236	0,311	132
2	Bratislava - prameň Zbojníčka	<b>2010</b>	<b>220</b>	<b>50,9</b>	<b>23</b>	<b>2,073</b>	<b>1,782</b>	<b>86</b>
		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
		2001	189	29,0	15	0,198	0,163	83
		1998-2000	300	36,0	12	0,085	0,097	115
		1998-2003	260	51,7	20	0,155	0,121	78
3	Bratislava - prameň Himligárka	<b>2010</b>	<b>173</b>	<b>34,6</b>	<b>20</b>	<b>1,203</b>	<b>0,870</b>	<b>72</b>
		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
		2001	154	15,6	10	0,434	0,565	130
		1998-2000	209	52,3	25	0,069	0,092	133
		1998-2003	186	47,4	26	0,209	0,265	127

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 1998 - 2010

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>2010</b>	<b>344</b>	<b>40,0</b>	<b>12</b>	<b>0,027</b>	<b>0,003</b>	<b>11</b>
		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
		2001	270	53,0	20	0,030	0,005	16
		1998-2000	345	124,2	36	0,028	0,002	8
1998-2003	286	99,0	35	0,026	0,005	18		
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	<b>2010</b>	<b>188</b>	<b>38,0</b>	<b>20</b>	<b>0,038</b>	<b>0,005</b>	<b>13</b>
		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
		2001	129	21,3	16	0,034	0,009	26
		1998-2000	192	63,4	33	0,036	0,009	26
1998-2003	166	52,3	35	0,035	0,009	25		
6	Oravice - pramenisko Jašterčie OZ-1	<b>2010</b>	<b>966</b>	<b>113,1</b>	<b>12</b>	nemerateľné		
		2009	1115	58,7	5			
		2008	1217	134,4	11			
		2007	1112	227,7	20			
		2006	536	155,4	29			
		2001	666	79,9	12			
		1998-2000	1212	181,8	15			

tab. č. 5 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách za obdobie 1998 - 2010

p.č.	Lokalita	Obdobie	$^{222}\text{Rn}$ [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]			Výdatnosť Q [ $\text{l.s}^{-1}$ ]		
			$\phi$ Rn	$\sigma$ Rn	v Rn [%]	$\phi$ Q	$\sigma$ Q	v Q [%]
7	Zemplín - vrt Ladmovce	2010	15	2,1	15	0,085	0,021	25
		2009	15	0,7	5	0,068	0,001	1
		2008	15	2,8	19	0,056	0,008	14
		2007	17	0,7	4	0,059	0,001	17
		2006	12	0,5	4	nemerateľné		
		2001	10	2,0	20			
		1998-2000	13	3,4	26			

Kde:

- $^{222}\text{Rn}$  objemová aktivita radónu (OAR) vo vode  $c_A$  [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]
- $\phi$  Rn stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]
- $\sigma$  Rn štandardná odchýlka OAR za hodnotené obdobie [ $\text{Bq.l}^{-1}$ ]
- v Rn variačný koeficient OAR za hodnotené obdobie [%]
- Q výdatnosť vodného zdroja [ $\text{l.s}^{-1}$ ]
- $\phi$  Q priemerná výdatnosť Q za hodnotené obdobie [ $\text{l.s}^{-1}$ ]
- $\sigma$  Q smerodatná odchýlka Q za hodnotené obdobie [ $\text{l.s}^{-1}$ ]
- 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 – 2010

p.č.	LOKALITA	Rok									Dlhodobý priemer	Podiel $c_A$ 2010 / 2009	Trend 2010 / 2009
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010			
		3.Q $c_A$ [kBq.m <sup>-3</sup> ]											
<b>Pôdny radón na referenčných plochách</b>													
1	Hnilec	491	420	491	587	485	642	712	620	524	552	0,85	↓
2	Novoveská Huta	89	58	87	99	113	73	61	67	66	79	0,99	↓
3	Teplička	76	56	80	92	81	79	77	62	78	76	1,26	↗
4	Bratislava - Vajnory				67	59	52	43	36	69	54	1,92	↗
5	Banská Bystrica - Podlavice				118	111	80	69	53	120	92	2,26	↗
6	Košice - KVP					21	25	16	23	22	21	0,96	↓
<b>Pôdny radón na tektonike</b>													
1	Grajnár	18	10	13	24	20	16	20	16	*)	17		

p.č.	LOKALITA	Rok									Dlhodobý priemer	Podiel $c_A$ 2010 / 2009	Trend 2010 / 2009
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010			
		$c_A$ [Bq.l <sup>-1</sup> ]											
<b>Radón vo vodách</b>													
1	Bratislava - prameň Mária	34	28	27	28	29	40	36	34	33	32	0,97	↓
2	Bratislava - prameň Zbojníčka	242	230	191	205	178	291	254	288	220	233	0,76	↓
3	Bratislava - prameň Himligárka	158	163	133	161	125	208	156	175	173	161	0,99	↓
4	Bacúch - prameň Boženy Němcovej	259	238	254	256	222	257	299	250	344	264	1,38	↗
5	Spišské Podhradie - prameň sv. Ondreja	137	143	156	154	140	180	198	187	188	165	1,01	↗
6	Oravice - pramenisko Jašterčie OZ-1					536	1112	1217	1115	966	989	0,87	↓
7	Zemplín - vrt Ladmovce					12	17	15	15	15	15	1,00	-

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

☐ v danom roku nebol objekt monitorovaný

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