

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}Rn (zdroj alfa žiarenia s polčasom rozpadu 3,825 dňa) je inertný prírodný rádioaktívny plyn, vznikajúci samovoľným rozpadom rádia ^{226}Ra (zdroj alfa a gama žiarenia) v rozpadovom rade uránu ^{238}U a patrí medzi tzv. vzácne plyny. Má vyššiu hustotu než vzduch, je rozpustný v kvapalinách a je bez farby, chuti a zápachu.

Radón pomerne ľahko preniká horninovým prostredím pričom sa šíri 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 m². Základný počet bodov v rámci RP je 17 sond (16 sond základného merania plus jedna kontrolná sonda), t.j. minimálny štatistický súbor pre zhodnotenie radónového rizika RP pri každom monitorovaní. Pozícia jednotlivých bodov v rámci RP pri opakovaných monitorovacích prácach je 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 utesnia, 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}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 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 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 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}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 $t_r \geq 210 \text{ min}$ 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

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

Radónové riziko referenčnej plochy je hodnotené v zmysle novelizovanej Smernice MŽP SR (v súčasnosti prebieha jej schvaľovanie) a podľa prílohy č. 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}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 kBq.m^{-3} , t.j. už pod úroveň 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).

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 kBq.m^{-3}) však priemerné hodnoty OAR v pôdnom vzduchu na tejto RP v rokoch 2009 (620 kBq.m^{-3}) a 2010 (524 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 kBq.m^{-3} ($OAR_{\text{max}} = 1496 \text{ kBq.m}^{-3}$, 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 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 jednotlivjej sonde 387 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 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 kBq.m^{-3}) a septembri (83 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 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 kBq.m^{-3} , pri strednej hodnote 78 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 fluvialne 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 jednotlivjej sonde tu boli zaznamenané pri jarnom aj jesennom monitoringu (zhodne 100 kBq.m^{-3}). Stredné hodnoty $OAR_{3,Q}$ v sezóne 2010 boli relatívne vysoké a dosiahli 71 kBq.m^{-3} (jar) a 66 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 kBq.m^{-3}) došlo v roku 2009 k poklesu iba na 36 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 jednotlivjej sonde dosiahla 265 kBq.m^{-3} pri jesennom monitoringu, so strednými hodnotami $OAR_{3,Q}$ v pôdnom vzduchu na úrovni 100 kBq.m^{-3} (jar), resp. 140 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 kBq.m^{-3}) došlo v roku 2009 k poklesu iba na 53 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 kBq.m^{-3}) bolo vysledované v júnovom termíne. Pri oboch monitorovaniach boli vysledované pomerne nízke hodnoty OAR v pôdnom vzduchu (od 3 kBq.m^{-3} do max. 60 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 prameň 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 Bq.l^{-1}) bolo zaznamenané v prvej dekáde júna a minimum (302 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 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 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 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 Bq.l^{-1} (13 Bq.l^{-1} na jar, resp. 16 Bq.l^{-1} na jeseň). Koncentrácie radónu sa tu v posledných troch sezónach držia v priemere na úrovni 15 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).

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 kBq.m^{-3} (koeficient variácie len 8,8 %) pri strednej hodnote 78 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 Zbojnička ($OAR_{2010/2009} = 0,76$). 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 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 Bq.l^{-1} . Priemerné

OAR sa tu v posledných troch sezónach držia na úrovni 15 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 příloha D 3 – přírodní radioaktivita, 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