

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA
BRATISLAVA
regionálne centrum Spišská Nová Ves



**MONITORING OBJEMOVEJ AKTIVITY
RADÓNU V GEOLOGICKOM PROSTREDÍ
NA ÚZEMÍ SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA za obdobie 2002 – 2009

Zodpovedný riešiteľ: RNDr. Alena Klukanová, CSc.

Správu vypracovala: RNDr. Helena Smolárová

Spolupracoval: RNDr. Augustín Gluch

August 2010

ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. č. 05.1 Radiačná záťaž obyvateľstva
- Obr. č. 05.2 Situačná schéma objektov monitorovania objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2009
- Obr. č. 05.3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokalita: Novoveská Huta
- Obr. č. 05.4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokalita: Teplička
- Obr. č. 05.5 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice, Košice - KVP
- Obr. č. 05.6 Pôdny radón nad zlomom: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokalita: Grajnár, profily PF-1 a PF-2
- Obr. č. 05.7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie
- Obr. č. 05.8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej
- Obr. č. 05.9 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009, Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja

ZOZNAM TABULIEK

- Tab. č. 05.1 Štatistické spracovanie meraní radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách
- Tab. č. 05.2 Štatistické spracovanie meraní radónu na tektonike
- Tab. č. 05.3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách
- Tab. č. 05.4 Komplexné štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách v rokoch 2002 - 2009

OBSAH

	Zoznam obrázkov	
	Zoznam tabuliek	
1.05	Úvod	3
2.05	Monitorovanie objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí	3
2.05.1	Základná charakteristika monitorovacej siete	5
2.05.2	Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia	6
2.05.3	Spôsob a frekvencia zberu údajov	9
2.05.4	Výsledky monitorovania	10
2.05.4.01	Lokalita Hnilec	10
2.05.4.02	Lokalita Novoveská Huta	11
2.05.4.03	Lokalita Teplička	12
2.05.4.04	Lokalita Košice - KVP	13
2.05.4.05	Lokalita Banská Bystrica - Podlavice	14
2.05.4.06	Lokalita Bratislava - Vajnory	15
2.05.4.07	Lokalita Grajnár	15
2.05.4.08	Lokalita Bratislava - prameň Himligárka	16
2.05.4.09	Lokalita Bratislava - prameň Zbojníčka	17
2.05.4.10	Lokalita Bratislava - prameň Mária	18
2.05.4.11	Lokalita Bacúch - Prameň Boženy Němcovej	19
2.05.4.12	Lokalita Spišské Podhradie - Prameň sv. Ondreja	20
2.05.4.13	Lokalita Oravice - pramenisko Jašterčie	21
2.05.4.14	Lokalita Ladmovce - preliv vrtu	22
3.05	Vyhodnotenie kvality súhrnných ukazovateľov v rámci Európy	27
4.05	Záver	27
5.05	Literatúra	28

1.05 ÚVOD

Rádioaktivita nesporne patrí medzi dôležité rizikové faktory životného prostredia. Zhubné dôsledky pôsobenia rádioaktívneho žiarenia na zdravie ľudí sú všeobecne známe a preto je správne, že tento negatívny faktor životného prostredia je neustále predmetom rôznych výskumov viacerých vedeckých inštitúcií v mnohých krajinách. Sú to hlavne dve renomované svetové ustanovizne (UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation a ICRP - International Commission on Radiological Protection), ktorých závery a odporúčania sú všeobecne akceptované a boli využívané aj na Slovensku pri tvorbe relevantnej legislatívy.

Subprojekt „Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR“ v období 2002 - 2005 bol realizovaný ako podsystém 13 v hlavnom projekte „Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR“. Od roku 2005 pokračoval podľa schválenej koncepcie tejto úlohy pre obdobie 2005 - 2010 v podsystéme 05.

2.05 MONITOROVANIE OBJEMOVEJ AKTIVITY RADÓNU V GEOLOGICKOM PROSTREDÍ

Vedecký výbor OSN pre účinky atómového žiarenia (UNSCEAR) zverejnil, že v súčasnosti prírodné zdroje rádioaktívneho žiarenia prispievajú viac než tromi štvrtinami k celkovému ožiareniu svetovej populácie, pričom najvýznamnejším zdrojom prírodného žiarenia je práve radón ^{222}Rn a jeho dcérske produkty rádioaktívnej premeny [3]. Je preto paradoxom, že obavy verejnosti sú zamerané hlavne na umelé zdroje žiarenia (zvlášť na jadrové zariadenia) a väčšina ľudí netuší, že úplne najväčšie ožiarenie v období mimo jadrových havárií spôsobujú práve prírodné zdroje (obr. č. 05.1).

Radón ^{222}Rn je prírodný inertný rádioaktívny plyn, má väčšiu hustotu než vzduch a je rozpustný v kvapalinách. Je to plyn bez farby, chuti, zápachu a tým je zmyslami človeka nepostihnuteľný. Hlavným zdrojom radónu ^{222}Rn sú niektoré horniny, ale aj podzemné vody, prechádzajúce prostredím so zvýšeným obsahom rádia. Radón v podzemných vodách môže pochádzať z materského prvku (rádium) obsiahnutého vo vode (rádioaktívny rozpad rádia ^{226}Ra), ale aj z procesu emanácie hornín obohatením podzemných vôd počas ich cirkulácie horninami so zvýšenou emanačnou schopnosťou. Vzhľadom na veľmi dlhý polčas rozpadu materských prvkov (^{238}U

$4,5 \cdot 10^9$ rokov, ^{226}Ra 1620 rokov), je jeho prísun z geologického prostredia trvalý.

Radón je prvok s výraznými migračnými schopnosťami, jeho obsahy v horninovom prostredí i vo vodách nie sú stabilné a závisia nielen od koncentrácií rádia v hornine, ale aj ďalších faktorov ovplyvňujúcich jeho šírenie (priepustnosť, tektonické porušenie a klimatické resp. meteorologické podmienky ako vlhkosť, teplota, tlak, ...).

Radón pomerne ľahko preniká geologickým prostredím, šíri sa difúznym a konvekčným prúdením, pričom difúzia je ovplyvňovaná fyzikálnymi vlastnosťami prostredia a to hlavne pórovitosťou a vlhkosťou. Transport radónu konvekciou je rádovo vyšší než difúziou a spôsobujú ho zmeny fyzikálnych podmienok prostredia (teplotné a tlakové gradienty). Najvýznamnejší prejav konvekcie je na tektonicky porušených zónach, ktoré sú dobrými komunikačnými cestami pre plyny. Radón vo voľnej prírode sa rýchlo riedi atmosférickým vzduchom, ale v uzavretých priestoroch sa môže nahromadiť vo vysokých, zdraviu škodlivých koncentráciách.

Úroveň celkovej prírodnej rádioaktivity na Slovensku presahuje globálny priemer s prognózou stredného radónového rizika na približne polovičnej rozlohe územia SR. Prognóza výskytu vysokého radónového rizika na území SR je na úrovni cca 3 až 4 % [2].

Miera radónového rizika v jednotlivých oblastiach Slovenska je determinovaná ich geologickou a štruktúrno-tektonickou stavbou, ako aj prítomnosťou ložísk uránových rúd. Zvýšená úroveň radónového rizika je hlavne v oblastiach budovaných jadrovými pohoriami, akumuláciami uránových rúd v Spišsko-gemerskom rudohorí, ale aj v oblastiach neogénnych nížin, kde emanácie radónu pochádzajú z podlažia, odkiaľ vystupujú k povrchu pozdĺž tektonických zlomov.

Výsledky výskumov Ústavu preventívnej a klinickej medicíny (ÚPKM) z posledných rokov v oblasti radiačnej záťaže obyvateľov SR, ktoré boli cielené do oblastí s prognózou vysokého radónového rizika, potvrdili hypotézu, že v niektorých regiónoch Slovenska môže byť radón druhou najvýznamnejšou príčinou vzniku rakoviny pľúc [3].

Uvedené fakty podporujú potrebu venovať pozornosť tomuto fenoménu životného prostredia a aj preto bol monitoring radónu v geologickom prostredí zaradený do systému monitorovania geologických faktorov životného prostredia na území Slovenskej republiky, s cieľom zdokumentovať a komplexne zhodnocovať zmeny koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách.

Geologické práce, realizované v rámci podsystemu „Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR“, predstavujú opakované vzorkovania a geofyzikálne merania v terénnych a laboratórnych podmienkach na 14-tich lokalitách rozložených po celom území Slovenska a tiež ich komplexné vyhodnotenie a porovnanie s výsledkami predchádzajúcich období.

2.05.1 Základná charakteristika monitorovacej siete

Monitoring objemovej aktivity radónu na území Slovenska je zameraný na:

- pôdny radón na referenčných plochách (RP),
- pôdny radón na tektonike,
- radón v podzemných vodách.

Monitorovanie objemovej aktivity radónu v pôde a v zdrojoch podzemných vôd je celené do oblastí s potvrdeným výskytom vyššieho radónového rizika. Výber lokalít bol urobený na základe hodnotenia starších prieskumných prác zaoberajúcich sa problematikou prírodnej rádioaktivity.

S prihliadnutím na zistené výsledky o radónovom riziku na území Slovenska, bol monitoring zameraný na pôdny radón vo vybraných mestách v blízkosti obytných zón s prognózou zvýšeného radónového rizika, do oblastí s predpokladom prítomnosti tektoniky a na radón v dostupných prameňoch s prekročenou zásahovou úrovňou objemovej aktivity radónu v zmysle platných noriem. Pri výbere konkrétnych lokalít bolo zohľadnené aj kritérium – zachytiť prípadné zmeny objemovej aktivity radónu v rôznych geologických jednotkách s najväčším výskytom radónu.

Najviac lokalít bolo vytypovaných v oblasti Spišsko–gemerského rudohoria (SGR), nakoľko tento región má najvyšší podiel zistených vysokých obsahov radónu v pôde v rámci Slovenska a je to zároveň oblasť s pomerne hojným výskytom uránovej mineralizácie, resp. uránových ložísk.

Okrem toho bol výber lokalít pre účely meraní koncentrácií pôdneho radónu na referenčných plochách (RP) zameraný aj do blízkosti väčších mestských aglomerácií. Boli vybrané mestá a obce: Bratislava, Košice, Banská Bystrica, Spišská Nová Ves (Novoveská Huta, Teplička) a Hnilec.

Pre meranie obsahov radónu vo vodách boli vytypované: prímestská oblasť Bratislavy (pramene Mária, Zbojníčka, Himligárka), Spišské Podhradie (prameň sv. Ondreja), Bacúch (prameň Boženy Němcovej), Šumiac, Oravice (prameň Jašterčie,

vrt OZ-2), Zemplín (preliv vrtu pri Ladmovciach) a pre účely monitoringu objemovej aktivity radónu v tektonicky porušenej zóne lokalita Grajnár v SGR.

Monitorovanie niektorých vybraných lokalít bolo prerušené resp. predčasne ukončené, prípadne upravené v dôsledku znefunkčnenia monitorovacích miest nepredvídanou antropogénnou činnosťou (terénne úpravy, výstavba, znečisťovanie plôch divokým skládkovaním odpadov a pod.).

Po určitej zmene, resp. úprave monitorovacích podmienok bol monitoring radónu časom obnovený na viacerých lokalitách. Na lokalite Bratislava - Vajnory a Banská Bystrica - Podlavice v roku 2005, v Košiciach - KVP boli v roku 2006 obnovené merania radónu na mierne posunutých referenčných plochách (posun do 50 m). V roku 2006 boli tiež obnovené monitorovacie merania radónu zdrojov podzemných vôd na objektoch Oravice - Jašterčie a vrt Ladmovce. Nepodarilo sa obnoviť monitoring radónu vôd na objekte Oravice - vrt OZ-2 (vrt napája miestne kúpalisko, je neprístupný) a Šumiacký potok - pamenisko (ťažbou dreva je pramenisko zničené, odber vzoriek vody nie je možný). Všetky ostatné lokality uvedené v projekte ČMS (Konceptia pre roky 2005 - 2010) sú monitorované v súlade s projektom, čo predstavuje celkom 14 lokalít v rámci celého územia Slovenska.

Situácia monitorovacích miest je schematicky znázornená na obr. č. 05.2.

2.05.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia

Monitorovanie koncentrácií radónu v geologickom prostredí obsahuje sledovanie zadefinovaných dôležitých ukazovateľov v nasledovnej štruktúre:

Obsah radónu v mestách so zvýšeným radónovým rizikom - pôdny radón na referenčných plochách (RP)

Monitorované ukazovatele:

- objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu,
- počet meraných sond na referenčnej ploche,
- priepustnosť,
- radónové riziko,
- odvodená zásahová úroveň.

Obsah radónu v tektonicky porušených zónach - pôdny radón na profiloch

Monitorované ukazovatele:

- objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu,
- počet a dĺžka profilov,

- krok merania a počet sond.

Obsah radónu vo vodných zdrojoch - radón v odobratých vzorkách vôd

Monitorované ukazovatele:

- objemová aktivita radónu vo vode,
- výdatnosť vodného zdroja,
- odvodená zásahová úroveň.

Okrem toho sú pri monitorovaní pôdneho radónu v teréne zaznamenávané údaje o počasí, zrážkach, teplote pôdy v hĺbke cca 5 - 10 cm, pri zemi a vo vzduchu vo výške 1 m a atmosférický tlak, poznámky o obtiažnosti hĺbenia sond a odberu vzoriek pôdneho vzduchu. Pri odbere vzorky vody, okrem výdatnosti vodného zdroja je súčasne zaznamenávaná vonkajšia teplota, teplota vody a poznámky o počasí.

Hlavná záujmová veličina tejto časti projektu **je objemová aktivita radónu (OAR ^{222}Rn)**. Pri jej meraní sa používajú okalibrované a metrologicky overené meracie zariadenia typu LK-1, LK-2 a LK-4, ktoré využívajú princíp scintilačnej detekcie žiarenia alfa v Lucasových komorách.

Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu c_A sa vypočíta podľa vzťahu:

$$c_A = (N_v - N_p) / k \cdot V \cdot R(t_v, t_r); \text{ [kBq} \cdot \text{m}^{-3} \text{] } \quad \mathbf{[6]}$$

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 ($0,000125884 \text{ min}^{-1}$)

Objemová aktivita radónu vo vode c_A sa počíta podľa vzťahu :

$$c_A = (N_v - N_p) / k \cdot V_v \cdot R(t_v, t_r) \cdot e^{-\lambda t_F} ; [\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}] \quad [6]$$

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 prebublania – 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.

Postupy terénnych a laboratórných rádiometrických meraní a hodnotenie radónu v geologickom prostredí sú určené v príručke kvality. Stanovenie objemovej aktivity radónu (c_A) v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti základových pôd je tiež v súlade s prílohou č. 6 vyhlášky Ministerstva zdravotníctva SR č. 528/2007 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia. Vyhláška definuje **odvodené zásahové úrovne** na vykonanie opatrení proti prenikaniu **radónu z podlažia**, ako objemovú aktivitu radónu v pôdnom vzduchu:

- a.) **10** kBq.m⁻³ v dobre priepustných základových pôdach,
- b.) **20** kBq.m⁻³ v stredne priepustných základových pôdach,
- c.) **30** kBq.m⁻³ v slabo priepustných základových pôdach.

Ak je stanovená objemová aktivita radónu nižšia ako uvedené hodnoty, radónové riziko sa považuje za nízke [7, 8].

Priepustnosť zemín pre plyny sa určuje pre každú referenčnú plochu granulometrickým rozborom vzorky zeminy, podľa percentuálneho podielu jemných častíc f (priemer častíc < 0,06 mm) v suchej zemine: **malá** priepustnosť ($f > 65$ %), **stredná** priepustnosť ($f = 15 - 65$ %), **dobrá** priepustnosť ($f < 15$ %).

Radónové riziko referenčnej plochy sa stanovuje na základe zhodnotenia meranej objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti zemín (riziko I – nízke, riziko II – stredné, riziko III – vysoké).

Pre malú priepustnosť: riziko I (< 30 kBq.m⁻³), riziko II (30 - 100 kBq.m⁻³), riziko III (> 100 kBq.m⁻³).

Pre strednú priepustnosť: riziko I (< 20 kBq.m⁻³), riziko II (20 - 70 kBq.m⁻³), ri-

ziko III ($> 70 \text{ kBq.m}^{-3}$).

Pre dobrú priepustnosť: riziko I ($< 10 \text{ kBq.m}^{-3}$), riziko II ($10 - 30 \text{ kBq.m}^{-3}$), riziko III ($> 30 \text{ kBq.m}^{-3}$) [1].

Pri hodnotení radónového rizika je využívaný aj parameter - tretí kvartil c_A (75% percentil) súboru hodnôt c_A .

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 528/2007 Z.z., tiež definuje **smerné hodnoty** pre vykonanie opatrení na zníženie obsahu prírodných rádionuklidov v dodávanej vode - podľa prílohy č. 4 tejto vyhlášky je odvodená zásahová úroveň objemovej aktivity radónu ^{222}Rn **pre dodávanú vodu 20 Bq.l^{-1}** (pramenitá voda „vhodná na prípravu stravy pre dojčatá“), **100 Bq.l^{-1}** (prírodná minerálna voda, pramenitá voda, balená pitná voda).

2.05.3 Spôsob a frekvencia zberu údajov

Monitorovaným objektom **objemovej aktivity pôdneho radónu v mestách** je referenčná plocha (RP), ktorú tvoria body (sondy pre odber vzoriek pôdneho vzduchu) usporiadané v profiloch, či v nepravidelnej sieti s krokom 5 - 20 m, na ploche do cca 400 m^2 . Základný počet bodov v rámci RP je 16, čo predstavuje minimálny štatistický súbor pre zhodnotenie radónového rizika RP. Pozícia jednotlivých bodov v rámci RP pri opakovaných monitorovacích prácach býva zrovnateľná. Jeden bod na v každej RP je kontrolný, v ktorom je realizovaný odber dvoch vzoriek pôdneho vzduchu pre hodnotenie parametrov kvality stanovenia OAR.

RP sú monitorované minimálne dvakrát ročne (jar, jeseň). Vybrané RP (Novoveská Huta, Teplička, Hnilec) sú monitorované s vyššou frekvenciou, za účelom lepšieho posúdenia klimatických vplyvov v priebehu roka, v období cca marec až november. Zimné mesiace boli z monitorovania vylúčené, pretože technické problémy odberu vzduchu v premrznutých pôdach majú negatívny vplyv na objektívne zistenie radónu v tomto prostredí.

Vzorky pôdneho vzduchu pre stanovenie koncentrácií radónu boli odberané prevažne v ranných resp. dopoludňajších hodinách z hĺbky cca 0,8 m do dekontaminovaných a evakuovaných scintilačných Lucasových komôr (LK) o objeme 125 ml.

LK je kalibrovaný, metrologický overený scintilačný detektor, ktorý je po napustení pôdnym vzduchom transportovaný na meranie objemovej aktivity radónu (OAR). Meranie je realizované po dosiahnutí stavu rádioaktívnej rovnováhy medzi ra-

dónom a jeho dcérskymi produktmi rozpadu, najskôr 210 minút a najneskôr 24 hodín po napustení komory.

Monitoring **objemovej aktivity radónu na zlomoch** je realizovaný na lokalite Grajnár raz ročne v období júl – september na dvoch 500 m dlhých súbežných profiloch, s krokom merania 10 m. Metodika odberu pôdneho vzduchu a merania OAR je rovnaká, ako pri monitorovaní miest.

Objekty monitorovania **objemovej aktivity radónu v podzemných vodách** sú verejne prístupné pramene, resp. vrty, z ktorých sú odoberané a analyzované vzorky. Vzorky vody pre stanovenie ^{222}Rn sú odoberané do sklenených vzorkovníc doplna cca 300 ml, natesno uzavretých, bez vzduchovej bubliny. Merania OAR sú realizované najneskôr na tretí deň po odbere v laboratórnych podmienkach, pričom je radón zo vzorkovnice cez premývačku prebubláný do dekontaminovaných a evakuovaných LK o objeme 600 ml, ktoré sú následne merané metodikou zhodnou s meraním objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu.

Z dôvodu vylúčenia vplyvu náhodnej chyby pri odbere vzorky vody, resp. aj pri jej meraní, je monitorovaný objekt - zdroj podzemnej vody - hodnotený na základe výsledkov z dvojice vzoriek vôd odobraných naraz v jeden monitorovací deň. Takto je zaručená väčšia objektivita a vyššia reprezentatívnosť výsledku. Frekvencia zberu je dvakrát za rok (jar, jeseň). Prameň sv. Ondreja - Spišské Podhradie a prameň B. Němcovej - Bacúch sú monitorované s vyššou frekvenciou - 1x za mesiac resp. raz za dva mesiace v priebehu celého roka, čím pokrývajú všetky ročné obdobia a lepšie dokážu vystihnúť obdobie s najnižšími a najvyššími obsahmi radónu vo vodách.

2.05.4 Výsledky monitorovania

a.) pôdny radón - zvýšené radónové riziko vybraných miest

Výsledky monitorovania pôdneho radónu v mestách na referenčných plochách s prognózou zvýšeného radónového rizika (obsahy radónu v pôde a základné charakteristiky jeho štatistického spracovania) sú uvedené po jednotlivých lokalitách v tab. č. 05.1. Štatistické parametre sú hodnotené jednak pre jednotlivé roky monitoringu a tiež súhrnne za celé obdobie 2002 - 2009.

2.05.4.01 Lokalita Hnilec

Referenčná plocha je situovaná v južnej časti obce Hnilec, na jej okraji, vedľa

štátnej cesty č. 533 Spišská Nová Ves - Rožňava. Nachádza sa v extrémne vysokom radónovom riziku, viazanom na zvetraný stredno-hrubozrnný gemeridný (tzv. "hnilecký") granit s anomálnymi obsahmi uránu.

Na lokalite Hnilec bol monitoring realizovaný na identickej referenčnej ploche 30x30 m v sondách s krokom 10 m (16 sond, po 17 odberov vzoriek pôdneho vzduchu pri jednom monitoringu). Monitorovanie prebiehalo nepretržite v celom období 2002 - 2009 a to 4x ročne v mesiacoch apríl až október. Počet odberov pôdneho vzduchu za celé hodnotené obdobie, predstavuje 543 vzoriek.

Merania OAR (C_A) v danej lokalite, vykazujú najvyššie hodnoty pôdneho radónu zaznamenané na Slovensku. Z hľadiska hodnotenia hlavných parametrov v období 2002 - 2009: najvyššie stredné hodnoty OAR (ϕ_{C_A}) a 3. kvartilov OAR ($3.Q_{C_A}$) v rámci danej plochy, boli v rokoch 2007 ($\phi_{C_A} = 568 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{C_A} = 642 \text{ kBq.m}^{-3}$) a 2008 ($\phi_{C_A} = 550 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{C_A} = 712 \text{ kBq.m}^{-3}$). V roku 2005 tu bola zaznamenaná celkovo najvyššia hodnota radónu, kedy OAR nameraná v jednotlivjej sonde dosiahla hodnotu až 1861 kBq.m^{-3} . Je to maximum nielen na tejto lokalite, ale je to doposiaľ najvyššia známa hodnota OAR, aká bola na území Slovenska nameraná.

Najnižšia úroveň OAR v pôdnom vzduchu ($\phi_{C_A} = 333 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{C_A} = 420 \text{ kBq.m}^{-3}$) bola zaznamenaná v roku 2003. Za celé obdobie 2002 - 2009 vykazovala referenčná plocha extrémne vysoké radónové riziko, dlhodobý priemer OAR za túto dobu je: $\phi_{C_A} = 467 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{C_A} = 556 \text{ kBq.m}^{-3}$. Podrobnejší prehľad výsledkov monitoringu OAR na RP Hnilec v sezónach 2002 - 2009 dokladujeme v tab. č. 05.1 a názorne je zdokumentovaný na obr. č. 05.5.

2.05.4.02 Lokalita Novoveská Huta

Referenčná plocha sa nachádza na južnom okraji obce v blízkosti mesta Spišská Nová Ves (cca 7 km). Je situovaná pozdĺž miestnej komunikácie, smerujúcej od kostola smerom na Rybníky. V podloží meranej referenčnej plochy sú permské sedimenty strednej plynopriepustnosti, ktoré sú v záujmovom profile do hĺbky 0,8 m vcelku homogénne.

Referenčná plocha predstavuje dva súbežné profily dlhé cca 70 m, vzájomne vzdialené 10 m. Jednotlivé sondy pre odber pôdneho vzduchu sú realizované s krokom 10 m. RP je monitorovaná v širšom období klimatických zmien v priebehu roka

(marec až november), 6 - 9x za rok. Monitoring radónu na tejto ploche za obdobie rokov 2002 - 2009 predstavuje spolu 935 hĺbených sond s rovnakým počtom odobra-
ných a meraných vzoriek pôdneho vzduchu.

Výsledky meraní koncentrácií radónu na tejto lokalite sú znázornené na obr. č. 05.3. Graf (3. kvartil OAR) má variačný priebeh, ktorý jednoznačne dokumentuje, že obsahy radónu v pôde nie sú stabilné. Charakter variácií OAR na danej lokalite sa mení s určitou podobnosťou v závislosti na ročnom období. Na jar a v jeseni sú namerané hodnoty OAR nižšie ako v lete. Stredná hodnota OAR (3. kvartil) v jednotlivých rokoch je na úrovni vysokého radónového rizika resp. blízko hranice stredné - vysoké radónové riziko. Najvyššie stredné hodnoty OAR (ϕ_{CA}) a 3. kvartilov OAR ($3.Q_{CA}$) v rámci danej plochy boli namerané v rokoch 2005 ($\phi_{CA} = 85 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 99 \text{ kBq.m}^{-3}$) a 2006 ($\phi_{CA} = 93 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 113 \text{ kBq.m}^{-3}$). Najnižšie hodnoty obsahov radónu v pôde ($\phi_{CA} = 48 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 58 \text{ kBq.m}^{-3}$) boli zaznamenané v roku 2003. Nízka úroveň OAR v pôde tu bola registrovaná aj v roku 2008 ($\phi_{CA} = 47 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 61 \text{ kBq.m}^{-3}$). Dlhodobý priemer OAR za celú dobu 2002 - 2009 je: $\phi_{CA} = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 81 \text{ kBq.m}^{-3}$. Podrobný prehľad výsledkov a štatistického spracovania monitoringu OAR je v tab. č. 05.1.

Výsledky monitoringu referenčnej plochy vo vysokom radónovom riziku Spišská Nová Ves - Novoveská Huta patria k najvýznamnejším a najhodnotnejším v tejto úlohe. Dôležitým poznatkom monitorovania radónu v pôde na lokalite je jav prudkého poklesu OAR (niekedy až k hranici nízkeho radónového rizika), ktorý sa opakoval za rovnakých podmienok pri výskyte prvých mrazov v jeseni, prípadne aj prízemných mrazov na jar, pri nepremrznutej pôde. Pri uvedených podmienkach, zrejme v dôsledku zvýšeného gradientu medzi teplotou pôdy a atmosférického vzduchu, je pravdepodobne radón intenzívnejšie odsávaný do atmosféry, čím dochádza k významnému zníženiu jeho obsahov v pokryvných sedimentoch (aj niekoľkonásobne).

2.05.4.03 Lokalita Teplička

Referenčná plocha Teplička je situovaná cca 2,8 km južne od centra Spišskej Novej Vsi v lokalite Šulerloch (podľa rovnomennej kóty 646 m), v blízkosti záhradkár-
skej osady.

Podložie referenčnej plochy budujú sedimenty paleogénu (bridlice, pieskovce) strednej plynopriepustnosti, s vyšším podielom ílovitej frakcie. Ílovité vrstvičky s ma-

lou priepustnosťou tvoria pomerne účinnú bariéru pri prenikaní radónu k povrchu, takže sa tento plyn zadržáva a viac hromadí v pôdnom vzduchu a to najmä pri zvýšenej vlhkosti pokryvných sedimentov.

Monitoring OAR bol realizovaný na referenčnej ploche 30x30 m v sondách s pravidelným krokom 10 m (16 sond, 17 odberov vzoriek pôdneho vzduchu pri každom monitoringu). Monitorovanie prebiehalo nepretržite 8x ročne (marec až november) v celom období 2002 - 2009 v rovnakom čase ako RP v Novoveskej Hute, teda aj v zrovnateľných klimatických podmienkach. Počet meraných vzoriek pôdneho vzduchu za celé obdobie tu dosiahol 1053 odberov.

Napriek tomu, že lokalita bola monitorovaná v rovnakých meteorologických podmienkach (identický monitorovací deň), výsledky meraní OAR majú počas roka celkom odlišný priebeh.

Tento fakt dokazuje významnosť vplyvu geologického zloženia na distribúciu radónu v horninovom prostredí. V letných mesiacoch (jún, júl, august) boli obsahy radónu v pôde na RP Teplička najnižšie a na jar a v jeseni naopak vysoké. Najvyššie stredné hodnoty OAR (ϕ_{CA}) a 3. kvartilov OAR ($3.Q_{CA}$) boli zaznamenané v roku 2005 ($\phi_{CA} = 70 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 92 \text{ kBq.m}^{-3}$). Najnižšie hodnoty obsahov radónu v pôde ($\phi_{CA} = 50 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 56 \text{ kBq.m}^{-3}$) boli v roku 2003. Znížená úroveň OAR v pôde tu bola registrovaná aj v roku 2009 ($\phi_{CA} = 49 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 62 \text{ kBq.m}^{-3}$). Dlhodobý priemer OAR za celú dobu 2002 - 2009 je: $\phi_{CA} = 58 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 75 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Grafické znázornenie priebehu variácií koncentrácií radónu v pôdnom vzduchu v období 2002 - 2009 je na obr. č. 05.4 a podrobný prehľad výsledkov štatistického spracovania meraní OAR je v tab. č. 05.1.

2.05.4.04 Lokalita Košice - KVP

Referenčná plocha Košice - KVP (sídliisko Košického vládneho programu) sa nachádza v blízkosti mestskej časti Myslava, na západnom okraji sídliska, pozdĺž Klimkovičovej ulice v blízkosti zástavky MHD Janigova. Táto plocha je monitorovaná od roku 2006 (stredné radónové riziko). RP je posunutá cca 50 m sv. smerom od pôvodnej plochy (vysoké radónové riziko), na ktorej bol monitoring prerušený v období 2000 - 2005 v dôsledku úplnej devastácie pôvodnej RP divokou skládkou. Oblasť je budovaná deluviálnymi sedimentmi (piesčité a piesčito-hlinité štrky) so strednou plynopriepustnosťou.

V súčasnosti je referenčná plocha monitorovaná 2x za rok (jar, jeseň) s nepravidelným krokom 5 – 10 m (16 sond v identických bodoch, 17 odberov vzoriek pôdneho vzduchu). Celkový počet meraní OAR v hodnotenom období dosiahol 136 vzoriek.

Výsledky štatistického spracovania meraní OAR sú v tab. č. 05.1 a ich grafické znázornenie je na obr. č. 05.5.

Referenčná plocha vykazuje stredné Rn-riziko tesne nad úrovňou nízkeho radónového rizika. Relatívne vyššie hodnoty OAR boli zaznamenané v roku 2007 ($\phi_{CA} = 16 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 25 \text{ kBq.m}^{-3}$) a v roku 2009 ($\phi_{CA} = 18 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 23 \text{ kBq.m}^{-3}$). Najnižšie hodnoty obsahov radónu v pôdnom vzduchu ($\phi_{CA} = 14 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 16 \text{ kBq.m}^{-3}$) tu boli merané v roku 2008. Celkový priemer OAR na tejto lokalite za dobu 2006 - 2009 je: $\phi_{CA} = 16 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 21 \text{ kBq.m}^{-3}$.

2.05.4.05 Lokalita Banská Bystrica - Podlavice

Predmetná referenčná plocha je lokalizovaná na sz. okraji Banskej Bystrice, za objektmi nemocnice, v mestskej časti Podlavice. RP je monitorovaná od roku 2005 a je posunutá cca 30 m severne od pôvodnej plochy, na ktorej bol v období 2002 - 2004 monitoring prerušený (na ploche bola intenzívna poľnohospodárska činnosť). Nová plocha je v blízkosti záhradkárskej osady a je rozložená na dvoch súbežných a jednom priečnom profile, lemujúcich poľnú cestu. Geologické podložie referenčnej plochy tvoria dolomity mladšieho triasu s anomálnymi koncentraciami uránu (tzv. „uránové dolomity“).

Referenčná plocha je monitorovaná 2x za rok (jar - máj, jeseň - september) s nepravidelným krokom 5 – 20 m (16 sond, 17 odberov vzoriek pôdneho vzduchu). Celkový počet meraní OAR v období 2005 - 2009 dosiahol 154 vzoriek.

Je možné konštatovať, že v jarnom období boli registrované vyššie obsahy radónu v pôdnom vzduchu. Najvyššie stredné hodnoty OAR (ϕ_{CA}) a 3. kvartilov OAR ($3.Q_{CA}$) v rámci danej plochy boli v rokoch 2005 ($\phi_{CA} = 98 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 118 \text{ kBq.m}^{-3}$) a 2006 ($\phi_{CA} = 90 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 111 \text{ kBq.m}^{-3}$). Najnižšie hodnoty koncentrácií radónu v pôde ($\phi_{CA} = 38 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 53 \text{ kBq.m}^{-3}$) boli zaznamenané v roku 2009. Celkový priemer OAR za celú obdobie 2005 - 2009 je: $\phi_{CA} = 68 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 86 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Komplexné výsledky štatistického spracovania meraní OAR sú v tab. č. 05.1

a ich grafické znázornenie pre lokalitu B. Bystrica - Podlavice je na obr. č. 05.5.

2.05.4.06 Lokalita Bratislava – Vajnory

Referenčná plocha Vajnory sa nachádza na sv. okraji rovnomennej mestskej časti Bratislavy, pri Vajnorskej ceste, v blízkosti konečnej zástavky mestskej dopravy.

Na pôvodnej ploche bol monitoring prerušený v roku 2001 (intenzívna poľnohospodárska činnosť, založenie poľnej cesty priamo cez monitorovanú plochu). Monitoring tu bol obnovený v roku 2005 na RP, ktorá bola posunutá cca 40 m od pôvodnej plochy, smerom k vajnorskému kanálu. Referenčná plocha kopíruje priebeh vajnorského melioračného kanála približne S-J smeru. Geologické podložie RP tvoria pomerne dobre priepustné fluválne sedimenty (plynopriepustnosť stredná až dobrá).

Monitorovanie OAR tu prebieha 2x za rok (jar, jeseň) v pozične identických sondách, situovaných medzi stĺpmi vysokého napätia, s nepravidelným krokom 5 – 20 m (16 sond, 17 odberov vzoriek pôdneho vzduchu). Celkový počet meraní OAR v období 2005 - 2009 je 170 vzoriek.

Výsledky meraní obsahov radónu v rámci plochy vykazujú stredné až vysoké radónové riziko. Z hľadiska hodnotenia celého obdobia monitorovania dochádza k postupnému znižovaniu priemerných ročných hodnôt OAR v pôdnom vzduchu od maxima v roku 2005 k minimálnej úrovni v roku 2009. Najvyššie stredné hodnoty OAR boli v roku 2005 ($\phi_{CA} = 50 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 67 \text{ kBq.m}^{-3}$) a najnižšie hodnoty obsahov radónu v pôde ($\phi_{CA} = 28 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 36 \text{ kBq.m}^{-3}$) boli zaznamenané v roku 2009. Celkový priemer OAR za roky 2005 až 2009 je: $\phi_{CA} = 39 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 51 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Grafické znázornenie vývoja objemovej aktivity radónu ($3.Q_{CA}$) pre celé obdobie na lokalite Bratislava - Vajnory je na obr. č. 05.5 a komplexné štatistické údaje z hodnotenia výsledkov meraní sú v tab. č. 05.1.

b.) pôdny radón v tektonicky porušených zónach

2.05.4.07 Lokalita Grajnár

Lokalita je situovaná cca 2,5 km jv. od štátnej cesty č. 533 a autobusovej zástavky Grajnár (chata Javor). Monitorované geofyzikálne profily sú cca 2,3 km západne od kóty Pálenica (1115 m) a nachádzajú sa nad kontaktnou zónou chloriticko-

sericitických fylitov s metabazaltami Spišsko-gemerského rudohoria.

Merania objemovej aktivity radónu boli opakovane realizované na dvoch paralelných profiloch P₁, P₂, (vedených pozdĺž lesnej cesty) dlhých 500 m, od seba vzdialených cca 10 m s krokom odberu vzoriek 10 m. Celkový počet odberov a meraní OAR vzoriek v pôdnom vzduchu v období 2002 - 2009 je 749 vzoriek.

Na obr. č. 05.6 je graficky znázornený priebeh koncentrácií radónu pozdĺž týchto profilov pre hodnotené monitorovacie obdobie 2002 - 2009. Grafy názorne dokumentujú hladinu hodnôt OAR a dobrú vzájomnú koreláciu v zlomovej oblasti. Tektonika sa prejavuje výraznými anomálnymi koncentraciami radónu v poruchovej zóne, ktorá je zároveň zónou kontaktu metabazaltov a sericiticko-chloritických fylitov sykavského súvrstvia.

Absolútne hodnoty objemovej aktivity radónu v rámci jednotlivých rokov vykazujú určité rozdiely, avšak celkový priebeh a charakter kriviek sa zachováva. Aj v období extrémneho sucha v lete v roku 2003, ktoré sa podpísalo na meraniach pôdneho radónu výrazne zníženou celkovou hladinou hodnôt OAR ($\phi_{CA} = 9 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 10 \text{ kBq.m}^{-3}$), bola tektonika spoľahlivo registrovaná. Najvyššie obsahy radónu na týchto profiloch boli merané v roku 2005 ($\phi_{CA} = 17 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 24 \text{ kBq.m}^{-3}$). Priemer OAR za celú dobu 2005 - 2009 je: $\phi_{CA} = 14 \text{ kBq.m}^{-3}$; $3.Q_{CA} = 17 \text{ kBq.m}^{-3}$.

Podrobné štatistické spracovanie meraní OAR je v tab. č. 05.2.

c.) radón vo vodných zdrojoch

Výsledky monitorovania radónu v podzemných vodách a štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu a výdatností pre všetky sledované lokality, sú uvedené v tab. č. 05.3. Štatistické charakteristiky sú vyhodnotené jednak pre jednotlivé roky monitoringu a tiež ich súhrn za celé obdobie 2002 - 2009.

2.05.4.08 Lokalita Bratislava - prameň Himligárka

Lokalita sa nachádza v prímestskej časti Bratislavy (Bratislavský lesný park), v oblasti Malých Karpát severne od mestskej časti Bratislava - Rača. Monitorovaný prameň Himligárka je neďaleko (cca 20 m) od tzv. Štefánikovej magistrály, cca 580 m ssv. od kóty Horný Červený Kríž. Zachytený prameň je viazaný na kyslé prostredie kryštalinika Malých Karpát. Tieto podzemné vody majú plytký obeh s väzbou na zónu

porušenia granitov a granodioritov, v ktorej sú dobré podmienky pre vznik radónu.

Monitorovanie na tomto prameni prebieha nepretržite, pravidelne 2x za rok (jar, jeseň). Výsledky štatistického vyhodnotenia (tab. č. 05.3, obr. č. 05.7) dokumentujú variabilitu obsahov radónu v sledovanom období rokov 2002 - 2009, ale aj v rámci porovnania OAR v období jar a jeseň.

Prameň vykazuje výraznejší rozdiel v koncentráciách radónu na jar a v jeseni (19 - 28 %) hlavne v období 2007 až 2009, kým v rokoch 2005 a 2006 bol tento rozdiel len 4 - 12%. Relatívne vyššie obsahy OAR boli registrované predovšetkým počas jarného monitoringu. Stredná hodnota OAR (ϕR_n) v prameni Himligárka dosahuje maximum v rokoch 2007 ($\phi R_n = 208 \text{ Bq.l}^{-1}$) a 2009 ($\phi R_n = 175 \text{ Bq.l}^{-1}$). Najnižšie hodnoty obsahov radónu vo vode boli zaznamenané v roku 2004 ($\phi R_n = 133 \text{ Bq.l}^{-1}$) a v roku 2006 ($\phi R_n = 125 \text{ Bq.l}^{-1}$). Dlhodobý priemer OAR za celú dobu 2002 - 2009 je $160 \pm 29 \text{ Bq.l}^{-1}$; variačný koeficient 17 %.

Priemerné ročné výdatnosti vodného zdroja Himligárka v monitorovanom období 2002 až 2009 boli v rozmedzí $0,056 - 0,719 \text{ l.s}^{-1}$, s maximom v roku 2006 a minimom v rokoch 2003 a 2009. Opakovane boli každý rok pri monitoringu registrované významné zmeny výdatností prameňa na jar a jeseň, ktoré v období 2002 - 2009 charakterizuje stredná hodnota koeficientu variácie 84 %. Pri porovnaní výdatností z jarných a jesenných monitoringov vychádzajú až rádové rozdiely, dokonca v rokoch 2003 a 2004 bol prameň na jeseň úplne suchý.

Najvyššia výdatnosť prameňa bola zaznamenaná na jar roku 2006 ($1,428 \text{ l.s}^{-1}$) a súčasne výdatnosť zdroja pri jesennom monitoringu v rovnakom roku bola až o dva rády nižšia ($0,010 \text{ l.s}^{-1}$). Vplyv týchto významných zmien výdatností na obsahy radónu vo vode zistený nebol.

2.05.4.09 Lokalita Bratislava - prameň Zbojníčka

Lokalita sa nachádza v prímestskej časti Bratislavy (Bratislavský lesný park), v oblasti Malých Karpát severne od mestskej časti Bratislava - Rača. Monitorovaný prameň Zbojníčka je vzdialený cca 780 m od prameňa Himligárka a približne 270 m západne od kóty Horný Červený Kríž. Prameň je zachytený a upravený, geologický je naviazaný na rovnaké prostredie kryštalinika ako je uvedené pri popise prameňa Himligárka.

Monitorovanie prameňa je pravidelné 2x ročne (jar, jeseň), vždy súčasne

s prameňmi Himligárka a Mária. Výsledky štatistického vyhodnotenia sú v tab. č. 05.3. Na obr. č. 05.7 zdokumentovaný variabilný priebeh OAR v sledovanom období rokov 2002 - 2009 a porovnanie OAR na jar a jeseň.

Najvýraznejší rozdiel v koncentráciách radónu na jar a v jeseni v rámci jedného roka bol zaznamenaný v roku 2006 (31 %) a v roku 2004 (28 %). V ostatných rokoch monitorovania bol tento rozdiel charakterizovaný koeficientom variácie v intervale 0,3 až 18 %. Na rozdiel od relatívne blízkeho prameňa Himligárka, vyššie obsahy OAR v prameni Zbojníčka boli registrované pri jesennom monitoringu. Stredná hodnota OAR (ϕR_n) v sledovanom zdroji dosahuje maximum v rokoch 2007 ($\phi R_n = 291 \text{ Bq.l}^{-1}$) a v roku 2009 ($\phi R_n = 288 \text{ Bq.l}^{-1}$). Najnižšie obsahy radónu vo vode boli zaznamenané v roku 2004 ($\phi R_n = 191 \text{ Bq.l}^{-1}$) a v roku 2006 ($\phi R_n = 178 \text{ Bq.l}^{-1}$). Dlhodobý priemer OAR na lokalite za celé obdobie 2002 - 2009 je $235 \pm 28 \text{ Bq.l}^{-1}$ pri variačnom koeficiente 13 %.

Priemerné ročné výdatnosti (ϕQ) vodného zdroja Zbojníčka v monitorovanom období boli minimálne v období extrémneho sucha v roku 2003 ($\phi Q = 0,096 \text{ l.s}^{-1}$) a maximálne v roku 2006 ($\phi Q = 1,431 \text{ l.s}^{-1}$). V rámci hodnotenia jednotlivého roka boli pri monitoringu registrované významné rozdiely výdatností vôd prameňa na jar a jeseň, ktoré v období 2002 - 2009 charakterizuje stredná hodnota koeficientu variácie pre výdatnosť 76 %. Pri porovnaní výdatností z jarých a jesenných monitoringov vychádzajú až rádové rozdiely. Najvyššia výdatnosť na prameni bola zaznamenaná na jar v roku 2006 ($2,857 \text{ l.s}^{-1}$) a výdatnosť zdroja pri jesennom monitoringu v tom istom roku bola len $0,056 \text{ l.s}^{-1}$. Vplyv zmien výdatnosti na obsahy radónu vo vode na tomto prameni zistený nebol.

2.05.4.10 Lokalita Bratislava - prameň Mária

Lokalita sa nachádza v oblasti Malých Karpát v oblasti mestského lesa (Bratislavský lesný park), nad mestskou časťou Bratislava - Krasňany. Monitorovaný prameň Mária je vzdialený cca 1 km a od kóty Krásny vrch (411 m). Prameň je viazaný na rovnaké geologické prostredie (kryštalínium) ako sú pramene Himligárka a Zbojníčka.

Prameň Mária je monitorovaný pravidelné 2x za rok (jar, jeseň), vždy súčasne s prameňmi Himligárka a Zbojníčka. Výsledky štatistického vyhodnotenia sú v tab. č. 05.3. Na obr. č. 05.7 dokumentujeme priebeh OAR v sledovanom období rokov 2002

až 2009 a porovnanie OAR na jar a jeseň.

Tento prameň vykazuje určitú variabilitu koncentrácií radónu vo vodách, no v porovnaní s ostatnými monitorovanými zdrojmi podzemných vôd v rámci tejto úlohy sú tu zmeny OAR najmenšie - koeficient variácie pre radón (VRn) je iba 7 %. Najväčší rozdiel v koncentráciách radónu na jar a v jeseni bol registrovaný v roku 2006 (VRn = 17 %) a v roku 2007 (VRn = 13 %). V ostatných rokoch monitorovania bol koeficient variácie VRn v intervale 3 - 7 %. Stredná hodnota OAR (ϕ Rn) v sledovanom prameni dosahuje maximum v roku 2007 (ϕ Rn = 40 Bq.l⁻¹) a minimum v roku 2004 (ϕ Rn = 27 Bq.l⁻¹). Celkový dlhodobý priemer OAR na lokalite za celú dobu 2002 - 2009 je 32 ± 2 Bq.l⁻¹; variačný koeficient 7 %.

Priemerné ročné výdatnosti (ϕ Q) vodného zdroja Zbojníčka v monitorovanom období boli najmenšie v roku 2003 (ϕ Q = 0,128 l.s⁻¹) a v roku 2008 (ϕ Q = 0,118 l.s⁻¹). Maximum ročnej výdatnosti prameňa bolo v rovnakom roku ako na ostatných prameňoch Malých Karpát a to v roku 2006 (ϕ Q = 0,613 l.s⁻¹).

Pravidelne každý rok boli registrované významné rozdiely výdatností prameňa na jar a jeseň, ktoré v období 2002 - 2009 charakterizuje stredná hodnota koeficientu variácie pre výdatnosť 61 %. Najvyššia výdatnosť na prameni bola zaznamenaná na jar v roku 2006 (1,111 l.s⁻¹), pričom výdatnosť zdroja v rámci jesenného monitorovania v tom istom roku bola len 0,114 l.s⁻¹. Vplyv zmien výdatnosti na obsahy radónu v prameni zistený nebol.

2.05.4.11 Lokalita Bacúch - Prameň Boženy Němcovej

Prameň Boženy Němcovej sa nachádza severne od obce Bacúch - na jej konci, pri horárni. Je to známy pre verejnosť prístupný a upravený minerálny prameň (označovaný ako studená kyselka). Formovanie radónu v týchto vodách je viazané na tektoniku a na porušené, emanačne schopné zóny migmatitov a granitov kryštalinika Nízkych Tatier. Vody dosahujú aj pomerne vysoké obsahy rádia ²²⁶Ra, ktorý bol v období 1998 - 2000 predmetom monitoringu. Koncentrácie rádia neboli stabilné, pohybovali sa v intervale cca 0,5 - 1,8 Bq.l⁻¹ bez priamej korelácie na zmeny obsahov radónu vo vode.

Prameň je monitorovaný počas celého roka pravidelné 6x (každý druhý mesiac). Výsledky štatistického vyhodnotenia meraní sú v tabuľke č. 05.3.

Dlhodobý priemer objemovej aktivity radónu v sledovanom zdroji za celú dobu

2002 - 2009 je pre $254 \pm 62 \text{ Bq.l}^{-1}$. Ročné maximum pre strednú hodnotu OAR ($\phi\text{Rn} = 299 \text{ Bq.l}^{-1}$) bolo v roku 2008. Najnižšie hodnoty obsahov radónu vo vode boli zaznamenané v roku 2003 ($\phi\text{Rn} = 238 \text{ Bq.l}^{-1}$) a v roku 2006 ($\phi\text{Rn} = 222 \text{ Bq.l}^{-1}$). Je to dokumentované na obr. č. 05.8, kde je názorne vyjadrený priebeh variácií radónu v podzemných vodách na lokalite v závislosti od ročnej doby v rokoch 2002 až 2009. Variačný graf má relatívne pravidelný sinusoidný priebeh OAR s maximom na konci zimy až jari (február - apríl), ktoré niekedy dosahujú aj dvojnásobok minimálnych koncentrácií radónu v období leto - jeseň (júl až október). Najväčšie zmeny OAR v priebehu roka boli registrované v rokoch 2002 a 2008, kedy koeficient variácie pre radón (VRn) v danom roku presiahol 30 %. Stredná hodnota koeficientu variácie VRn pre celé obdobie monitoringu (roky 2002 - 2009) je 24 %. Normovaná zásahová úroveň pre objemovú aktivitu radónu vo vode bola prekročená pri každom monitorovaní.

Výdatnosť zdroja má stabilnú úroveň v priebehu roka i medziročne. Priemerné ročné výdatnosti (ϕQ) prameňa Boženy Němcovej v monitorovanom období, boli minimálne v roku 2004 ($\phi\text{Q} = 0,020 \text{ l.s}^{-1}$) a maximálne v roku 2006 ($\phi\text{Q} = 0,027 \text{ l.s}^{-1}$). V rámci hodnotenia jednotlivého roka, boli rozdiely výdatností 8 - 15 %. Stredná hodnota koeficientu variácie pre výdatnosť za celé obdobie 2002 - 2009 je 11 %. Korelácia medzi OAR a výdatnosťou zistená nebola.

2.05.4.12 Lokalita Spišské Podhradie - Prameň sv. Ondreja

Minerálny prameň sv. Ondreja - Spišské Podhradie, je situovaný v oblasti lokality Sivá Brada pri štátnej ceste č. 18 (E 50) Poprad - Prešov. Zachytený a upravený prameň vyviera z travertínovej kopy v oblasti budovanej hlinito-kamenitými deluviálnymi sedimentmi. Jeho vody majú hlbší obeh, preto obsahujú okrem radónu aj rádium ^{226}Ra . Zdrojová oblasť rádioaktivity týchto vôd je zrejme v podloží triasových karbonátov. Podobne ako radón aj koncentrácie rádia vo vodách nie sú stabilné; pri monitoringu v rokoch 1998 - 2001 sa pohybovali v intervale cca 0,2 - 1,78 Bq.l^{-1} bez žiadnej korelácie na obsahy radónu vo vode.

Prameň je monitorovaný počas celého roka 12x (každý mesiac). Výsledky štatistického vyhodnotenia meraní sú v tabuľke č. 05.3. Tieto výsledky jednoznačne potvrdzujú variačný charakter zmien koncentrácií radónu vo vodách. Variačná krivka OAR v sledovanom prameni (obr. č. 05.9) má v priebehu roka sinusoidný priebeh, ktorý sa pravidelne opakuje v celom monitorovanom období. Každý rok v zime

a začiatkom jari (v mesiacoch január - apríl), merané hodnoty objemovej aktivity ^{222}Rn dosahovali maximum, čo bol niekedy až cca trojnásobok minima obsahu radónu vo vode, nameraného v lete - až jeseni (jún - september). Najväčšie zmeny OAR v priebehu roka boli registrované v roku 2002, kedy koeficient variácie pre radón (VRn), v danom roku dosiahol 33 %. Stredná hodnota koeficientu variácie VRn pre celé obdobie monitoringu (roky 2002 až 2009) je 24 %.

Dlhodobý priemer objemovej aktivity radónu v monitorovanom prameni, za celú dobu 2002 - 2009, je $162 \pm 38 \text{ Bq.l}^{-1}$. Najvyššie priemerné ročné koncentrácie radónu boli v posledných rokoch 2007 až 2009 ($180 - 198 \text{ Bq.l}^{-1}$), s maximom v roku 2008. Najnižšie hodnoty obsahov radónu vo vode boli namerané v roku 2002 ($\phi\text{Rn} = 137 \text{ Bq.l}^{-1}$) a v roku 2006 ($\phi\text{Rn} = 140 \text{ Bq.l}^{-1}$). Normovaná zásahová úroveň 20 Bq.l^{-1} pre objemovú aktivitu radónu vo vode bola prekročená pri každom monitorovaní.

Výdatnosť prameňa sv. Ondreja je pomerne stabilná. Priemerná ročná výdatnosť (ϕQ) v monitorovanom období, bola minimálna v roku 2003 ($\phi\text{Q} = 0,033 \text{ l.s}^{-1}$) a maximálna v roku 2005 ($\phi\text{Q} = 0,044 \text{ l.s}^{-1}$). V rámci hodnotenia jednotlivého roka boli rozdiely výdatností do 20 %, len v roku 2002 bol variačný koeficient 29 %. Stredná hodnota koeficientu variácie pre výdatnosť za celé obdobie 2002 - 2009 je 17 %. Korelácia medzi OAR a výdatnosťou nie je.

2.05.4.13 Lokalita Oravice - pramenisko Jašterčie

Termálne pramenisko Jašterčie je situované západne od obce Oravice v Bobroveckej doline. Tento prameň sa nachádza v blízkosti vrtu OZ-1, ktorý zrejme v dôsledku korózie a tlaku v roku 1999 vyrazil uzáver na úvodnej pažnici vrtu s následným silným výronom vody priamo na pramenisko, čo malo za následok znehodnocovanie výsledkov monitorovania. Monitoring bol preto prerušený a obnovený až v roku 2006.

Vody tohto prameňa majú hlboký obeh, sú viazané na predterciérne útvary a zóny hlbinných tektonických zlomov. Zdroj radónu v podzemnej vode je nielen emanačný (získavaný z prostredia emanujúcich hornín), ale aj autigénny (vznikajúci rozpadom rádia obsiahnutého vo vode). Obsahy rádia boli v minulosti do roku 2000 monitorované ($0,49 - 1,68 \text{ Bq.l}^{-1}$).

Pramenisko Jašterčie je monitorované pravidelne 2x za rok (jar, jeseň). Výsledky štatistického vyhodnotenia sú v tabuľke č. 05.3.

Tento prírodný termálny prameň je známy tým, že sú tu zaznamenané doposiaľ najvyššie známe objemové aktivity radónu v prírodných podzemných vodách v rámci územia SR. V roku 1998 tu bola nameraná doposiaľ najvyššia hodnota OAR vo vode na Slovensku ($1407 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$), ktorá bola potvrdená i na kontrolnej vzorke [5]. Dokazujú to aj výsledky nášho monitoringu v období 2006 - 2009, kedy bolo maximum OAR ($1312 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$) namerané pri jarom monitorovaní v roku 2008. Celkový priemer OAR na lokalite za obdobie 2006 - 2009 je $995 \pm 160 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$; variačný koeficient 19 %. Na obr. č. 05.7 je prezentovaný priebeh OAR v období monitorovania (2006 - 2009). Z grafu je vidieť, že najnižšie obsahy radónu vo vodách boli v roku 2006, takmer polovičné ako v nasledujúcom období 2007 až 2009 kedy ročné priemery boli relatívne vyrovnané, pohybovali sa v intervale $1112 - 1217 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$.

Výdatnosť zdroja nie je hodnotená, vzhľadom na charakter zdroja – bez pomerne náročných technických prác výdatnosť prameňa nie je možné merať.

2.05.4.14 Lokalita Ladmovce - preliv vrtu

Monitorovaný vrt s prelivom je situovaný v oblasti Zemplínskeho ostrova, cca 0,8 km ssv. od obce Ladmovce, vedľa miestnej komunikácie, blízko rieky Bodrog. Vody tohto zdroja sú viazané na predterciérne útvary a tektoniku.

Vrt s prelivom je monitorovaný 2x za rok (jar, jeseň); v období 2001 - 2005 bol monitoring prerušený, kvôli neprístupnosti vrtu.

Výsledky štatistického vyhodnotenia sú v tabuľke č. 05.3 a zároveň dokumentujú, že tento prírodný zdroj podzemnej vody nepresahuje normovanú zásahovú úroveň objemovej aktivity radónu ^{222}Rn ($20 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$), aj keď v blízkom okolí sú známe povrchové anomálie prírodnej rádioaktivity. Merané hodnoty OAR boli v rozmedzí 11 - $17 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$. Celkový priemer OAR na lokalite v období 2006 - 2009 je $15 \pm 1,2 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ a koeficient variácie OAR 8 %.

Ročné výdatnosti vodného zdroja Ladmovce - vrt boli pomerne vyrovnané v intervale $0,061 \pm 0,003 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$; koeficient variácie pre výdatnosť v období 2006 - 2009 je iba 6 %.

ZHRNUTIE VÝSLEDKOV

Komplexný prehľad hlavných parametrov štatistického spracovania monitorovania radónu v geologickom prostredí (pôdny radón na referenčných plochách a nad

tektonikou, radón v podzemných vodách) na jednotlivých lokalitách je v tab. č. 05.4.

a.) pôdny radón - zvýšené radónové riziko vybraných miest

Výsledky meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách dokazujú variabilitu obsahov radónu v pôde s určitými rozdielmi v jednotlivých lokalitách.

V sondách každej RP, v rámci jednotlivých monitorovacích dní, boli zaregistrované odchýlky v absolútnych hodnotách objemovej aktivity radónu, avšak pri hodnotení radónového rizika RP bol stupeň rizika väčšinou zachovaný.

Výsledky monitorovania OAR na lokalitách s vyššou frekvenciou meraní (Novoveská Huta, Teplička a čiastočne aj Hnilec) predstavujú štatisticky významné súbory hodnôt. V tabuľke č. 05.1 a č. 05.4 je dokumentované, že variačný koeficient $V_{\phi cA}$ pre stredné hodnoty OAR v rokoch 2002 - 2009, je v lokalite Hnilec 18 % (3,6 - 31,5%), v lokalite Teplička 25 % (6,1 - 41 %) a v Novoveskej Hute až 45 % (33,9 - 57,7%). Podobne aj parameter hodnotiaci radónové riziko monitorovanej plochy má koeficienty variácie za rovnaké obdobie pre dané lokality ešte vyššie. Tieto výsledky jednoznačne dokazujú existenciu variácií radónu v pôde a ich významnosť.

Z vyhodnotenia meraní obsahov radónu v pôdach na RP s 2 meraniami v roku (Bratislava, Košice, Banská Bystrica) tiež vyplýva, že variácie radónu existujú, že nie sú rovnaké na rôznych lokalitách (v dôsledku odlišností klimatických pomerov pri realizácii terénnych prác a rozdielnej geologickej stavby podložja RP), avšak nedá sa dostatočne kvalifikovane posúdiť ich priebeh počas roka. V zásade sa dá povedať, že v týchto lokalitách boli merané hodnoty OAR na jar vyššie ako v jeseni.

Z analýzy výsledkov monitorovania jednotlivých rokov vyplýva spoločný záver takmer pre všetky lokality, že najnižšia úroveň OAR v pôdach bola v roku 2003 a naopak v roku 2005 boli obsahy pôdneho radónu najvyššie. Je to dôsledok klimatických vplyvov, ovplyvňujúcich vlhkosť pôdy, ktorá zase vplyva na šírenie radónu v tomto médiu. Extrémne sucho (nízke zrážky a veľké horúčavy) v roku 2003 v období február až september, bolo podľa meteorológov najväčším suchom na Slovensku za viac než 100 rokov, čo sa odrazilo v znížení OAR o cca 30 - 40%. Dokumentujú to nielen stredné hodnoty OAR za jednotlivé roky, ale tiež hodnoty 3. kvartilu OAR, ktorý určuje stupeň radónového rizika meranej plochy. V lokalite Novoveská Huta a Tep-

lička to spôsobilo dokonca zníženie stupňa kategórie radónového rizika referenčných plôch. Naproti tomu príčina všeobecne zvýšených koncentrácií radónu v pôdach v roku 2005, bola predovšetkým vo zvýšenej vlhkosti zemín v období monitorovania (časté zrážky počas jari a v lete).

Medzi dôležité poznatky monitorovania radónu v pôde patrí jav prudkého poklesu OAR, ktorý bol zaznamenaný na lokalite v Novoveskej Hute a ktorý sa pravidelne opakuje takmer každý rok za rovnakých podmienok pri výskyte prvých mrazov v jeseni, prípadne aj prízemných mrazov na jar, pri nepremrznutej pôde. Pri uvedených podmienkach, v dôsledku zvýšeného gradientu medzi teplotou pôdy a atmosférickým vzduchom, je radón intenzívnejšie odsávaný do atmosféry, čím dochádza k významnému zníženiu hodnôt OAR (aj niekoľkonásobne) až k hranici nízkeho radónového rizika. Aj keď tento faktor prudkého zníženia OAR na danej lokalite je nesporný, zatiaľ ho nie je možné zovšeobecniť, nakoľko monitoring na ďalších lokalitách Teplička a Hnilec pri rovnakých klimaticko-meteorologických podmienkach (merania v ten istý deň) to nepotvrdili. Tento fakt vyžaduje podrobnejšie skúmanie všetkých možných vplyvov, hlavne detailnejšiu analýzu geologického profilu referenčných plôch.

Referenčné plochy Teplička a Novoveská Huta sú podľa platných kritérií zaradené rovnako do strednej priepustnosti. Je však medzi nimi určitý rozdiel v tom, že podiel ílovitej frakcie nemajú celkom zhodný a hlavne, že geologický profil plochy v Novoveskej Hute predstavuje homogénnejšie prostredie na rozdiel od Tepličky, kde sa v paleogénnych sedimentoch strednej priepustnosti vyskytujú tenké ílovité preplástky, ktoré môžu vytvárať bariéru pre radón a tým obmedzovať jeho únik do atmosféry.

Charakter geologického podložia plochy Hnilec je úplne odlišný, nakoľko má vyššiu plynopriepustnosť a primárny zdroj rádioaktivity - hnilecký granit s vysokým obsahom rádia - tu vystupuje až na povrch, čím je zabezpečená rýchla a neustála dotácia radónu do pôdneho vzduchu.

Z analýzy výsledkov monitoringu tiež vyplýva, že pri určení plynopriepustnosti pre radón, treba - okrem stanovenia zrnitosti horniny na základe granulometrickej analýzy - brať do úvahy vertikálny charakter geologického profilu sondy (napr. výskyt nepriepustných ílovitých vrstvičiek v relatívne priepustnom prostredí), teda posúdiť aj homogenitu resp. nehomogénnosť hornín, ktorá ovplyvňuje distribúciu radónu v danom prostredí.

b.) pôdny radón na tektonike

Na sledovaných profiloch v lokalite Grajnár, počas monitorovacieho obdobia 2002 - 2009, je oblasť poruchovej zóny opakovane a jednoznačne zaregistrovaná výraznými anomálnymi koncentraciami OAR v pôdnom vzduchu. Tektonická zóna pozitívne ovplyvňuje transport radónu do pripovrchových častí aj z väčších hĺbok, takže OAR nad zlomom dosahuje anomálne hodnoty, ktoré až takmer 10 násobne preyšujú pozadie. Medziročné zmeny hladiny OAR, ktoré sú dôsledkom zmien klimatických pomerov pri monitorovaní, identifikáciu zlomovej oblasti neovplyvňujú.

c.) radón vo vodných zdrojoch

Z celkovej analýzy výsledkov monitorovania vodných zdrojov vyplýva, že parameter objemovej aktivity ^{222}Rn v podzemných vodách nie je stabilný.

Zmeny OAR, registrované v prameňoch monitorovaných dva razy za rok (jar, jeseň), sú menej výrazné ako variácie radónu v prameňoch, ktoré boli monitorované s väčšou frekvenciou – 1x za mesiac resp. raz za dva mesiace v priebehu celého roka. Monitorovania s väčšou frekvenciou meraní (prameň sv. Ondreja - Spišské Podhradie a prameň Boženy Němcovej - Bacúch) pokryli všetky ročné obdobia, čím dokázali lepšie zachytiť a vystihnúť dobu s najnižšími a najvyššími obsahmi radónu v podzemných vodách.

Výsledky monitoringu dokazujú, že priebeh ročných variácií OAR vo vodách má svoju pravidelnosť v náraste koncentrácií v zime, s maximom na jej konci resp. až na jar, ktoré dosahuje často dvojnásobok minimálnych koncentrácií radónu v lete až jeseni.

Z pohľadu komplexného hodnotenia výsledkov celého obdobia všetkých lokalít vyplýva spoločný záver pre väčšinu monitorovaných lokalít, že najnižšia úroveň OAR v podzemných vodách bola v roku 2006 a naopak v rokoch 2007 a 2008 boli obsahy radónu vo vodách najvyššie (tab. č. 05.4).

Extrémne suchý rok 2003 sa prejavil všeobecným a dosť podstatným znížením výdatností vo všetkých monitorovaných prameňoch, bez odozvy na obsah radónu.

V prameňoch z okolia Bratislavy boli opakovane každý rok registrované významné zmeny výdatností. Pri porovnaní výdatností z jarných a jesenných monitorin-

gov z týchto prameňov v oblasti Malých Karpát vychádzajú až rádové rozdiely, ktoré na jar často presahujú aj 1 l.s^{-1} a v jeseni sa stáva, že výdatnosť je takmer nemerateľná až nulová. V tejto súvislosti treba zdôrazniť, že nebol zistený vplyv týchto zmien na obsahy radónu vo vode resp., že korelácia medzi obsahmi radónu a výdatnosťou tu neexistuje.

ODPORÚČANIA

Na základe komplexného zhodnotenia doterajších výsledkov doporučujeme nasledovné:

a.) pôdny radón - zvýšené radónové riziko vybraných miest

- ukončiť monitorovanie na lokalite Košice - KVP,
- na ostatných lokalitách pokračovať v monitoringu v nezmenenom rozsahu,
- zaviesť priame meranie plynopriepustnosti na každej referenčnej ploche (podobne ako v ČR) – zakúpenie zariadenia JOK.

b.) pôdny radón v tektonicky porušených zónach

- na lokalite Grajnár znížiť počet meraných bodov v oblasti normálneho poľa o 20 - 30 %,
- meranie radónu nad tektonikou prepojiť, resp. zaradiť aj do pod systému „Tektonická a seizmická aktivita územia“, nakoľko je známe, že anomálne koncentrácie radónu sprevádzajú seizmickú aktivitu. Vo svete (napr. v Japonsku) sú pre sledovanie zemetrasení merania seizmických staníc dopĺňované a zrovnávané s meraniami radónu.

c.) radón vo vodných zdrojoch

- doplniť monitoring na lokalite Bacúch v období zima - jar o dve ďalšie monitorovania v priebehu roka,
- ostatné lokality monitorovať v pôvodnom rozsahu.

3.05 VYHODNOTENIE KVALITY SÚHRNNÝCH UKAZOVATEĽOV V RÁMCI EURÓPY

Pri monitorovaní a vyhodnocovaní výsledkov meraní radónu v geologickom prostredí boli používané postupy, ktoré určuje metodika a Príručka kvality ŠGÚDŠ: QA – PRK/01-02, ktorá bola vypracovaná podľa normy Európskej únie EN ISO/IEC 17 025 „Všeobecné požiadavky na spôsobilosť skúšobných a kalibračných laboratórií“ a ktorá bola pre našu organizáciu schválená Úradom pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR.

Merania objemovej aktivity radónu boli realizované pravidelne kalibrovanými a metrologicky overenými zariadeniami v Štátnom metrologickom stredisku (SZU Bratislava). Spôsob stanovenia objemovej aktivity radónu (c_A) v pôdnom vzduchu a priepustnosti základových pôd je tiež v súlade s ustanoveniami zákona č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a podľa Vyhlášky Ministerstva zdravotníctva SR č. 528/2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarovania z prírodného žiarenia. Uvedená vyhláška je základnou právnou normou v záujme ochrany obyvateľstva pred prírodným ionizujúcim žiarením na Slovensku, ktorá vychádza z odporúčaní Medzinárodnej komisie pre rádiologickú ochranu (ICRP) a ktorá tiež definuje odvodené zásahové úrovne pre objemovú aktivitu radónu v pôdnom vzduchu na vykonanie opatrení proti prenikaniu radónu z podlažia.

Dodržiavaním týchto postupov je zaručená kvalitatívna porovnateľnosť v Európskej únii.

4.05 ZÁVER

Doterajšie výsledky monitorovania radónu dokazujú existenciu pomerne významných zmien jeho obsahov v geologickom prostredí. Tieto zmeny - variácie radónu sú jednak pravidelné (sezónne), ale vyskytujú sa aj zmeny náhodné (miestne a časové). Potvrdilo sa, že ich prejav v horninách a vo vodách nie je rovnaký a že je ovplyvňovaný viacerými faktormi.

Výsledky meraní objemovej aktivity radónu dokumentujú variácie jeho koncentrácií v priebehu roka, avšak s určitými odlišnosťami v jednotlivých rokoch, ročných obdobiach a tiež v jednotlivých lokalitách. Ukazuje sa, že obsah radónu v geologickom prostredí závisí od viacerých faktorov, ktoré často pôsobia vo vzájomnej kombinácii. Potvrdzuje sa významnosť vplyvu meteorologických faktorov (najmä zrážky,

ovplyvňujúce vlhkosť pôdy, teplota atmosféry a pôdy) a význam geologického zloženia prostredia, ktorým radón prechádza.

Pri vzájomnom porovnaní výsledkov monitorovania jednotlivých rokov v rámci lokality vyplýva, že charakter variácií obsahov pôdneho radónu v zhodných ročných obdobiach rôznych rokov nemusí byť celkom rovnaký, čo je dôkazom vplyvu meteorologických podmienok na šírenie radónu v geologickom prostredí a tým aj na výsledky meraní objemovej aktivity radónu.

Výsledky vyhodnotenia obsahov pôdneho radónu na referenčných plochách v rôznych lokalitách aj pri relatívne zhodných meteorologických podmienkach dokumentujú, že sú určité odlišnosti variácií radónu v jednotlivých oblastiach. Je to dôsledok rozdielnosti geologického zloženia prostredia, ktorým radón prechádza.

Z analýzy monitorovania radónu v prameňoch vyplýva, že charakter jeho variácií v podzemných vodách sa mierne líši od variácií v horninách resp. pôdach a to hlavne tým, že ich sezónny priebeh je plynulejší a že nie sú tak citlivé na rôzne krátkodobé atmosférické zmeny počasia (teplota, atmosférický tlak).

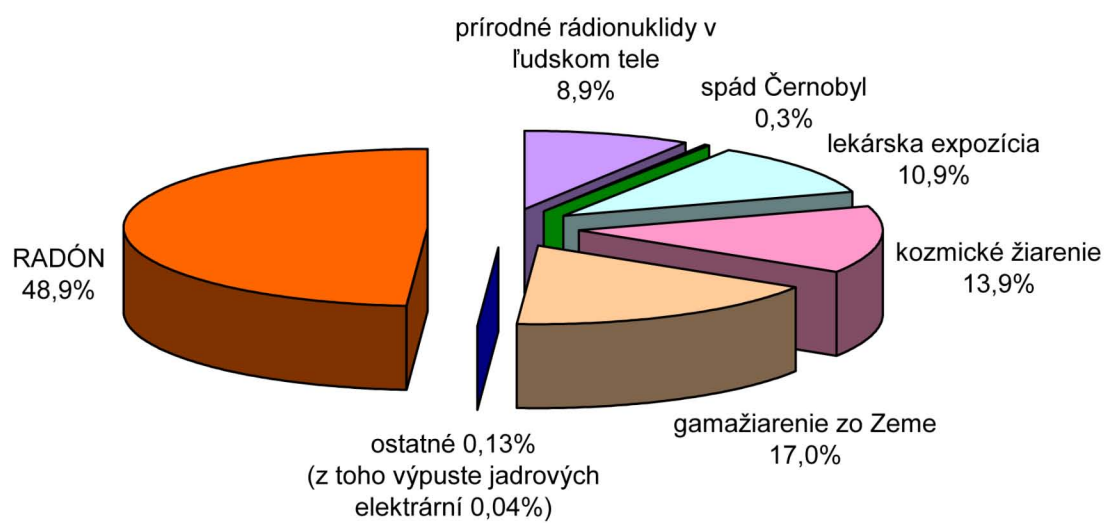
Získané poznatky z monitorovania radónu v geologickom prostredí sú jednoznačne prínosom pre hodnotenie koncentrácií radónu a objektivizáciu hodnotenia radónového rizika.

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 monitoring radónu v geologickom prostredí dôležitý. Pre ďalšie zvyšovanie hodnovernosti a objektívnosti informácií v tejto sfére je potrebné realizovať dlhodobejšie monitorovacie systémy, ktorých štatistické spracovanie môže dať relevantné podklady pre prijatie obcejších záverov a tiež pre rozhodovacie procesy v oblasti zavádzania účinných opatrení na ochranu zdravia ľudí a zvýšenie celkovej kvality života.

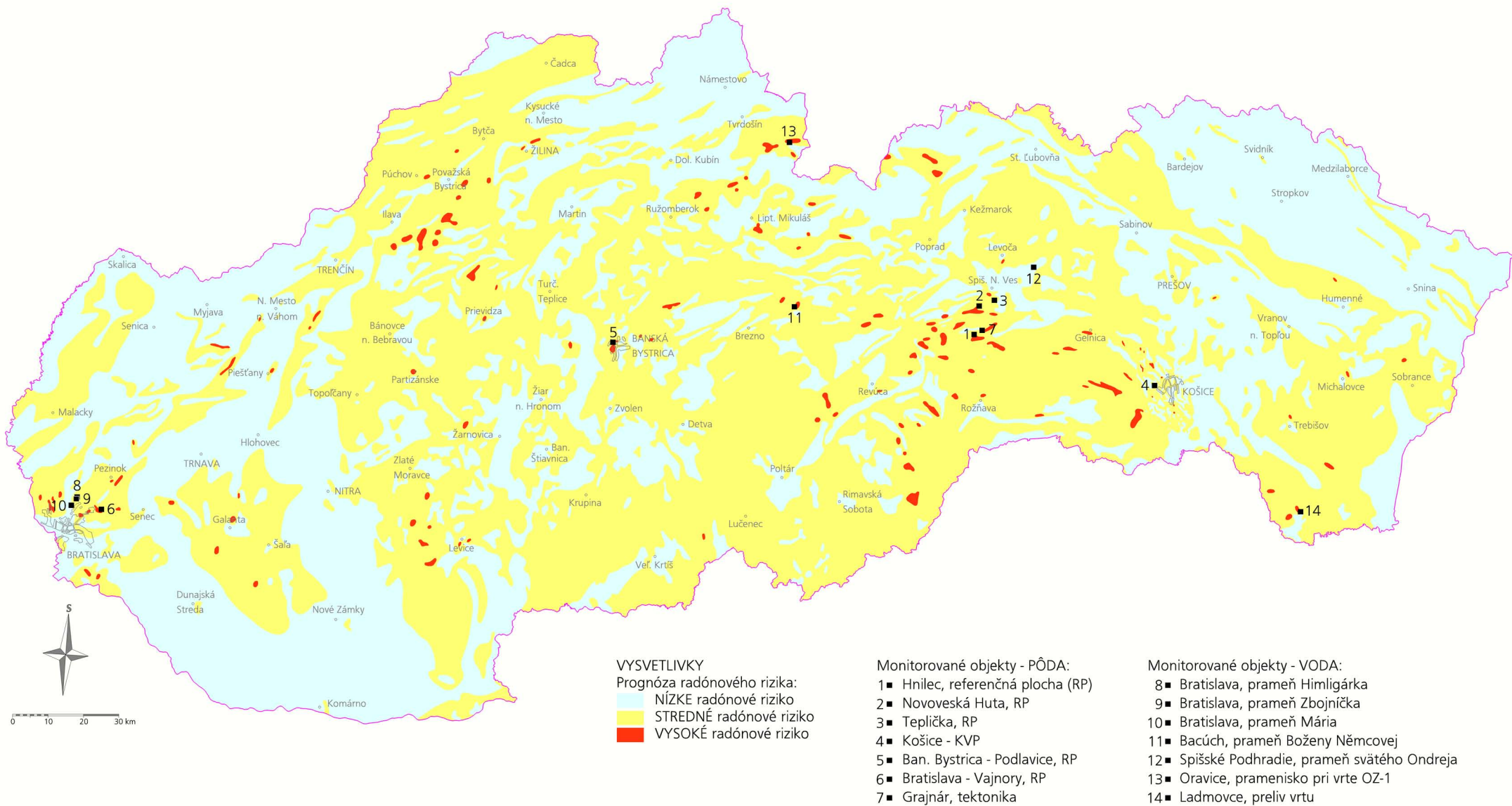
5.05 LITERATÚRA

- [1] Barnet I., Kulajta V., Neznal M., Matolín M., Prokop P., 1992: Hodnocení základových púd z hlediska vnikání radonu do bytů. In: Geologický průzkum 4, s.114-115
- [2] Čížek P., Smolárová H., Gluch A., 1995: Podklady pre digitalizáciu mapy radónového rizika Slovenska v M = 1 : 500 000, záverečná správa, archív Geofondu Bratislava
- [3] Nikodémová D., Pinter I., Vičanová M., 2003: Radón a jeho potenciálne riziko

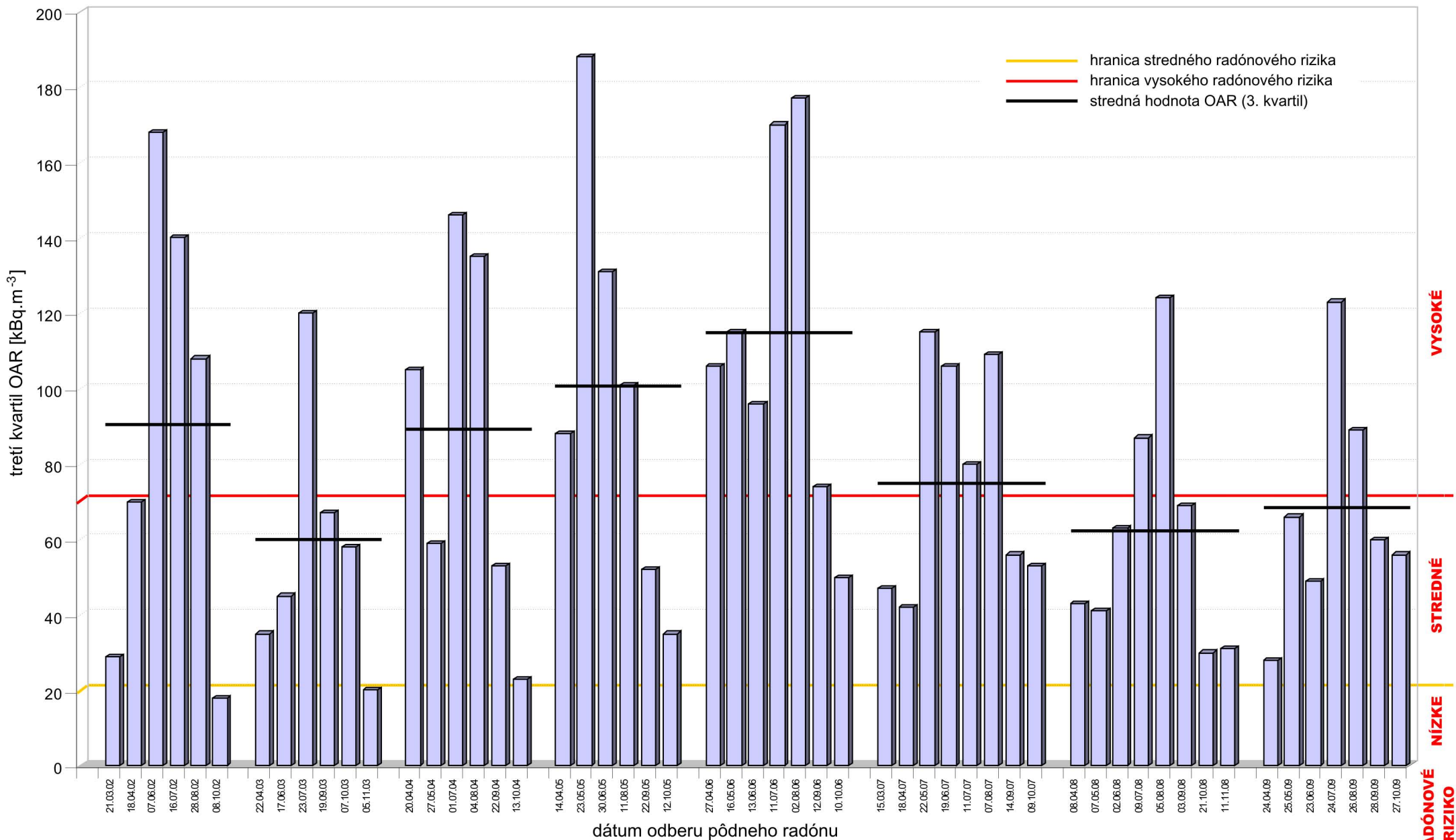
- v Spišsko-gemerskom regióne. In: Životné prostredie č. 3
- [4]** Smolárová H., 2002: Monitorovanie radónu v geologickom prostredí. In: Geologické práce, správy 106, s. 139 - 145
 - [5]** Smolárová H., 2001: Monitorovanie objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území SR. In: Záverečná správa: Klukanová A.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, 1993 - 2000, archív Geofondu Bratislava
 - [6]** Smolárová H., 2001: Príručka kvality QA-PRK/01-02, archív Geofondu Bratislava
 - [7]** Vyhláška ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 528/2007 Z.z. O podrobnostiach a požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia, MZ SR Bratislava
 - [8]** Zákon NR SR č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov, MZ SR Bratislava



Obr. č. 05.1 Radiačná záťaž obyvateľstva (zdroj: www.suro.cz)

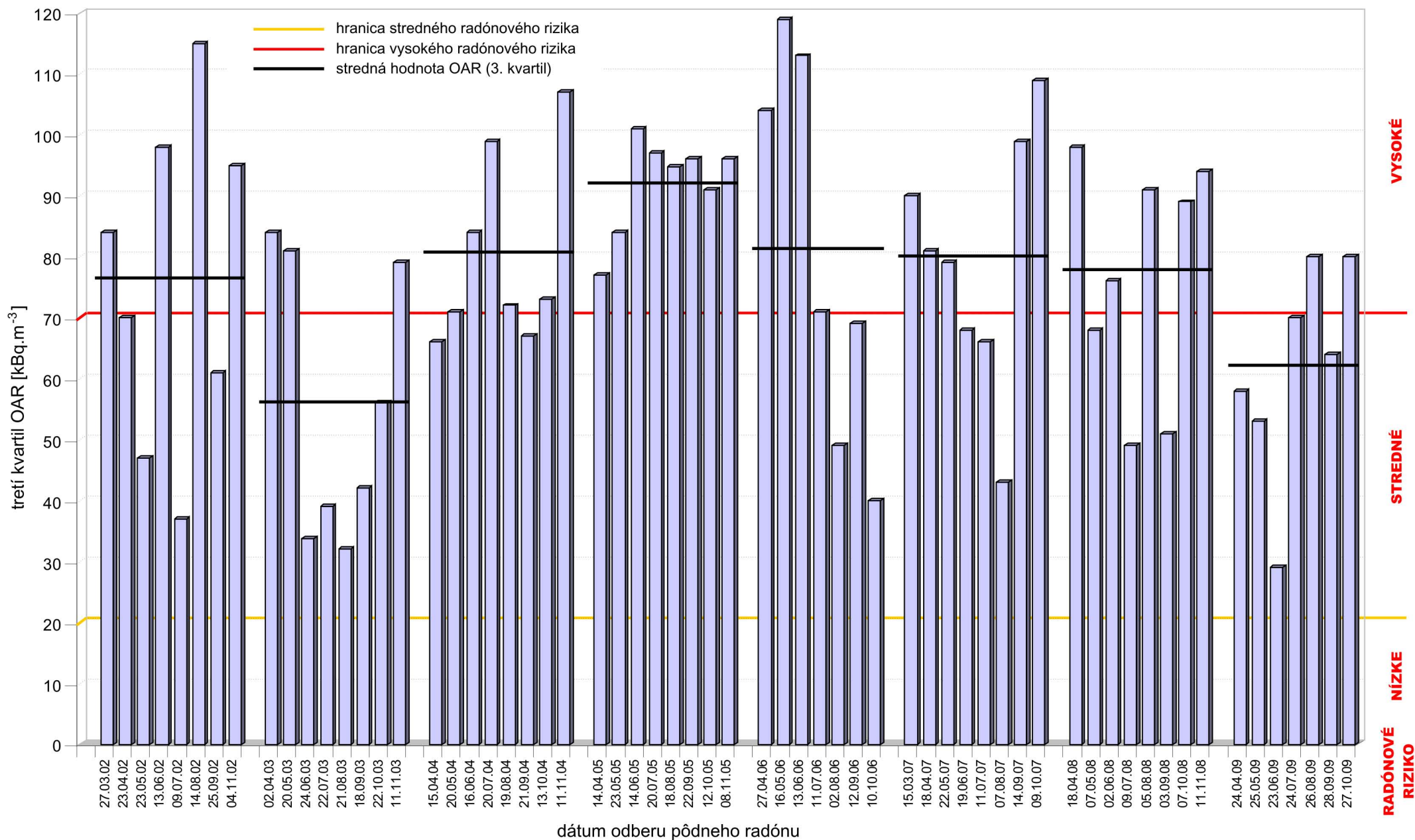


Obr. č. 05.2 Situačná schéma objektov monitorovania objemovej aktivity radónu v rokoch 2002 - 2009

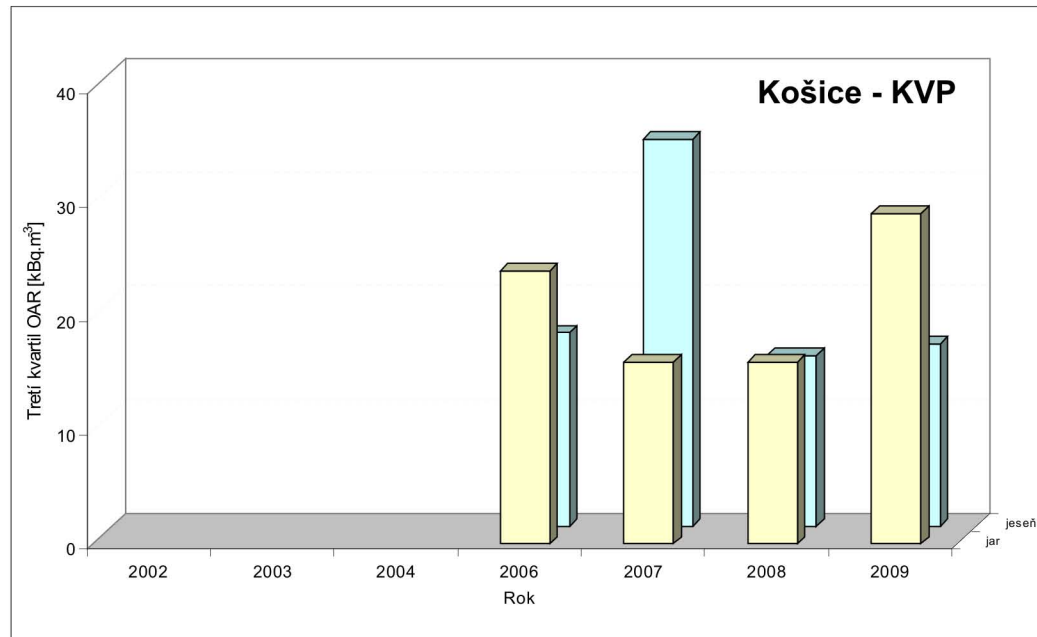
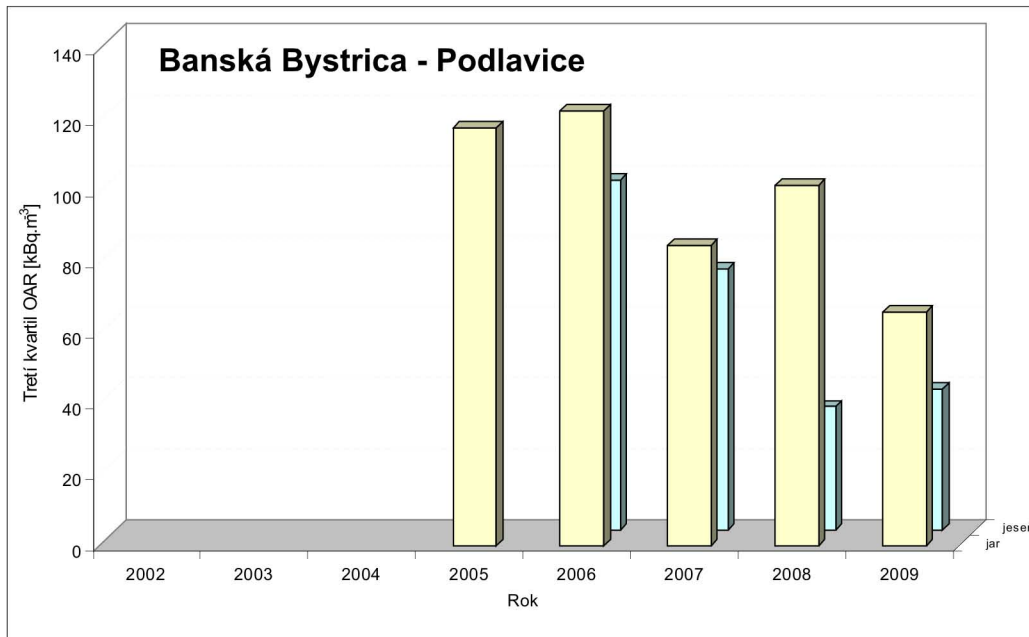
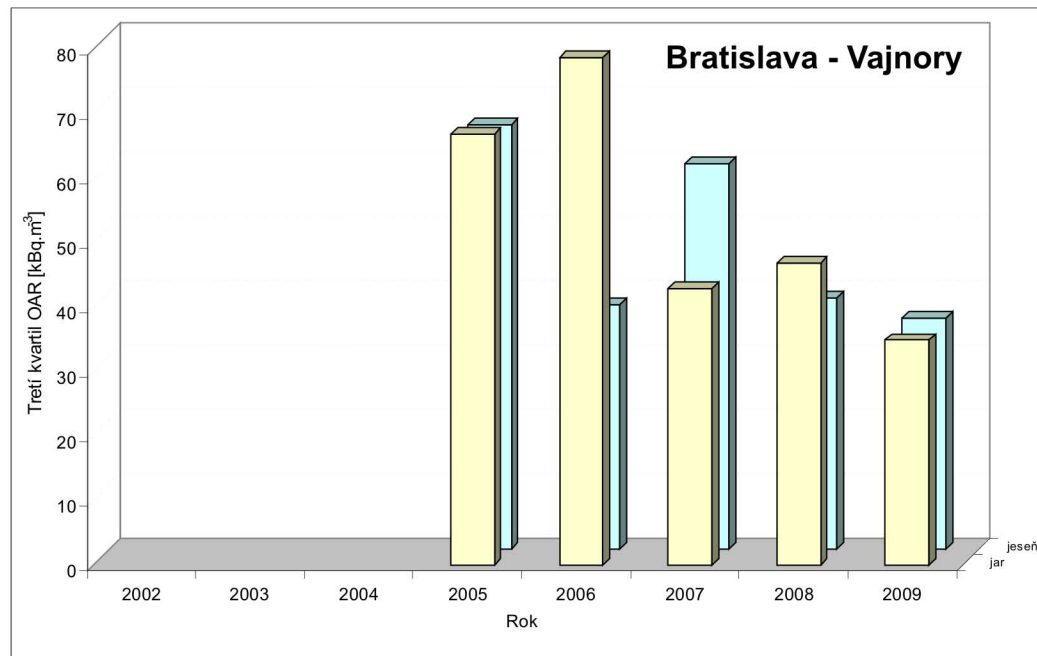
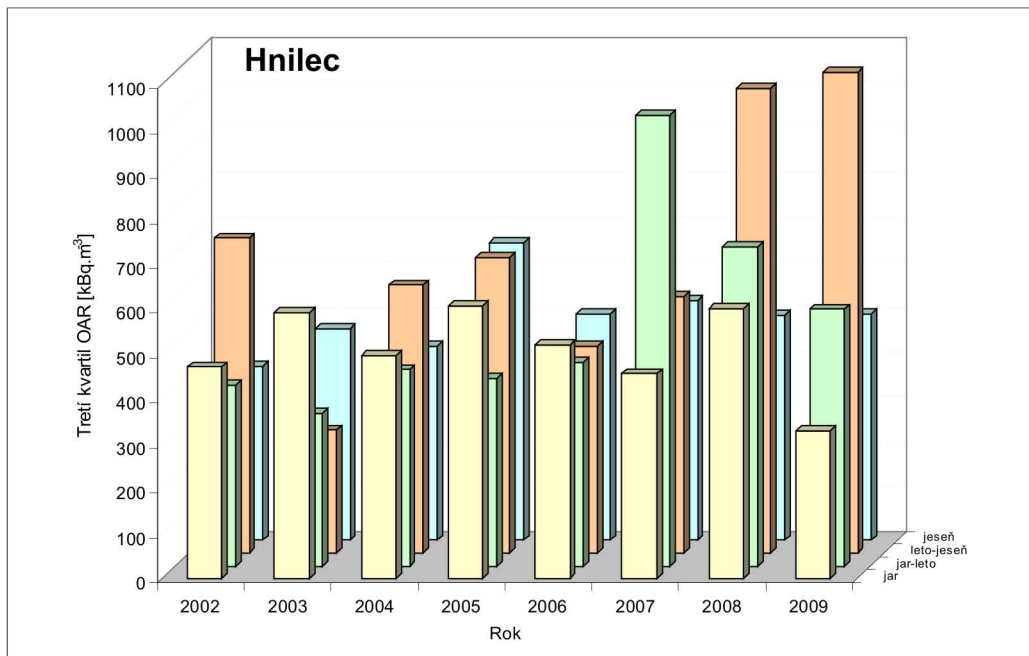


Obr. č. 05.3 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009
 Lokalita: Novoveská Huta

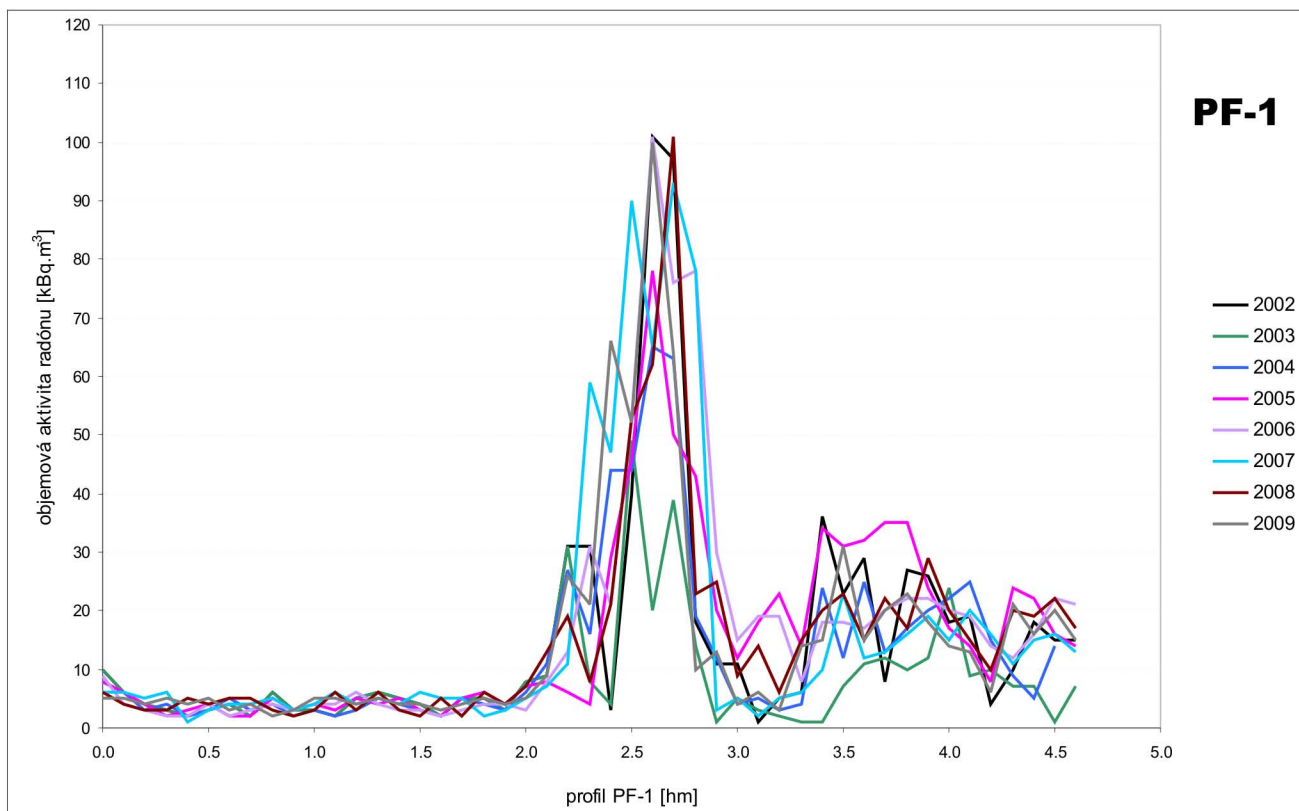
VYSOKÉ
 STREDNÉ
 NIZKÉ
 RADÓNOVÉ RIZIKO



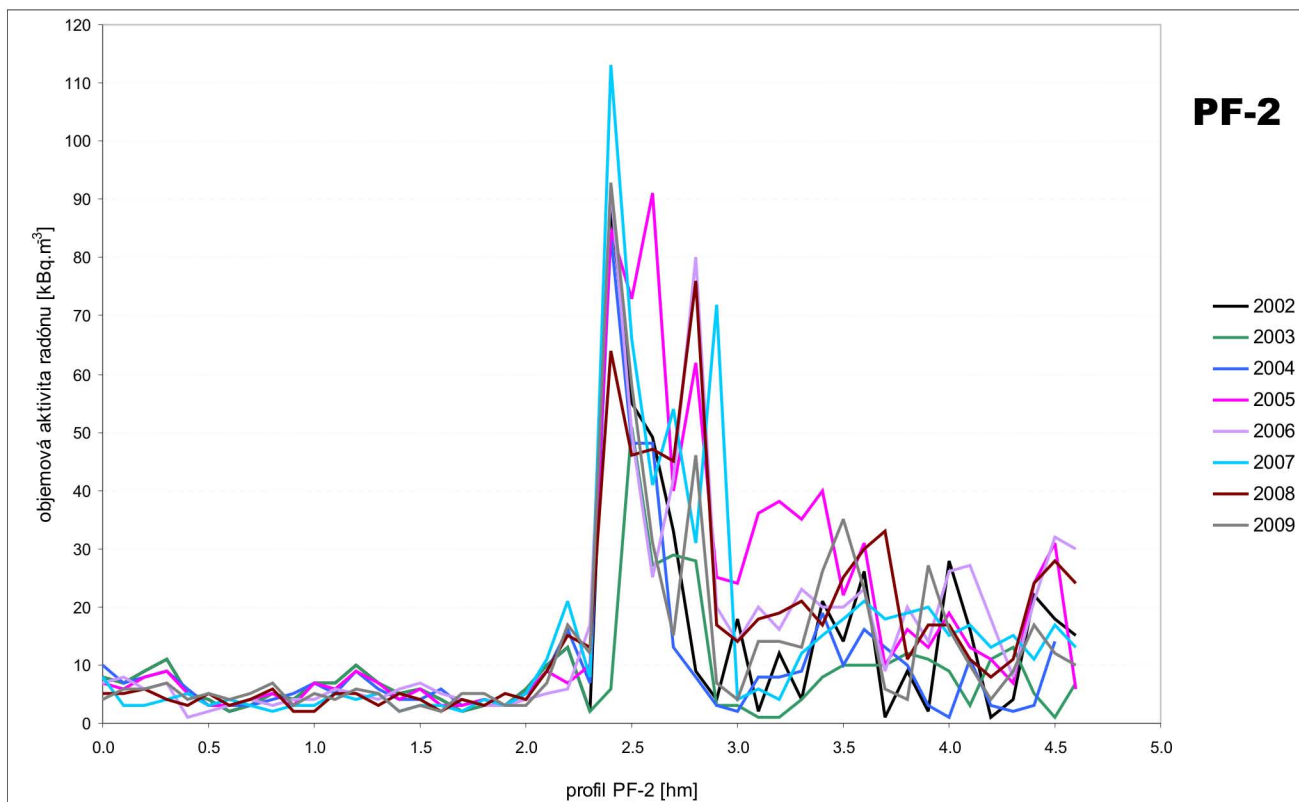
Obr. č. 05.4 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009
 Lokalita: Teplička



Obr. č. 05.5 Pôdny radón: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009
 Lokality: Hnilec, Bratislava - Vajnory, Banská Bystrica - Podlavice, Košice - KVP

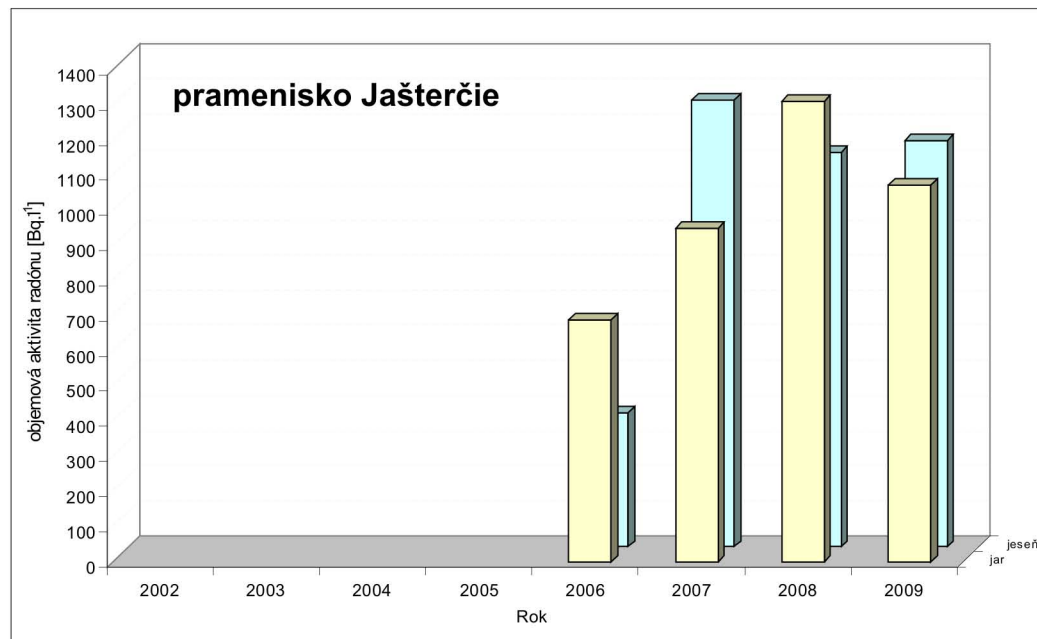
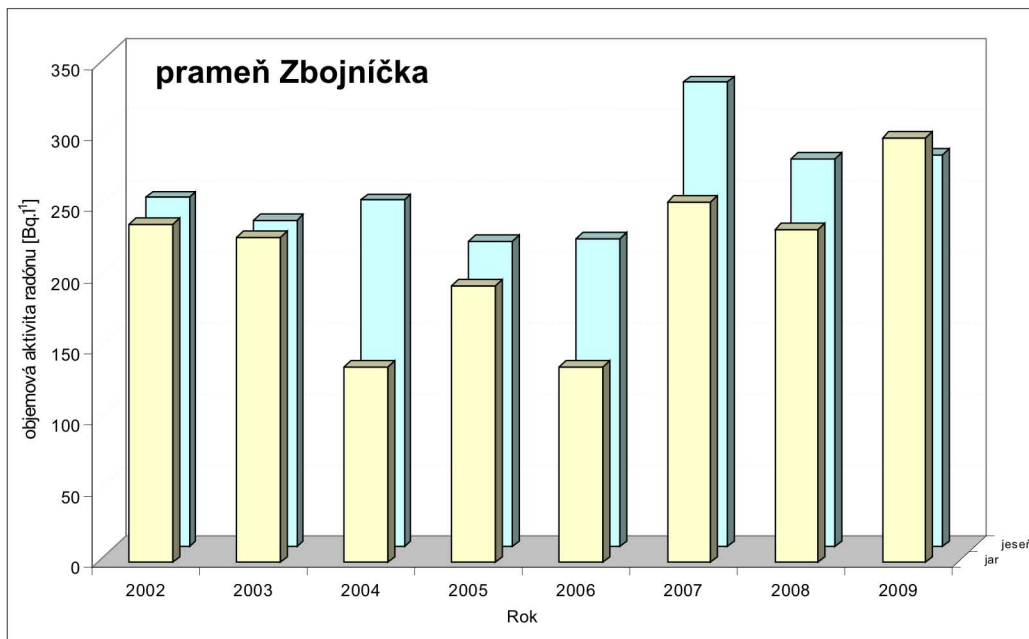
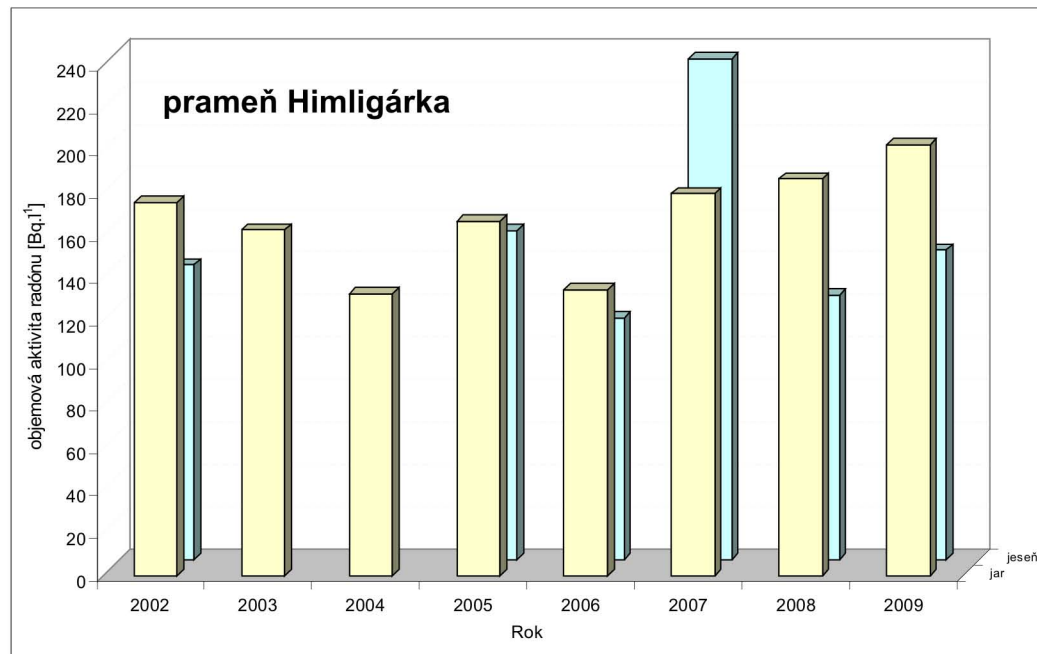
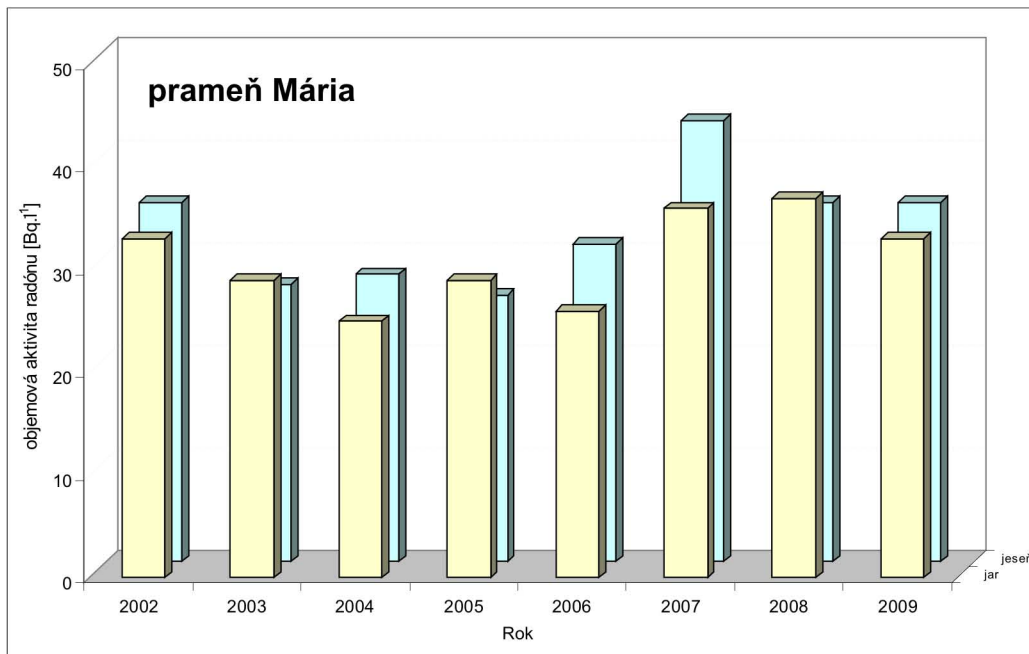


poruchová zóna

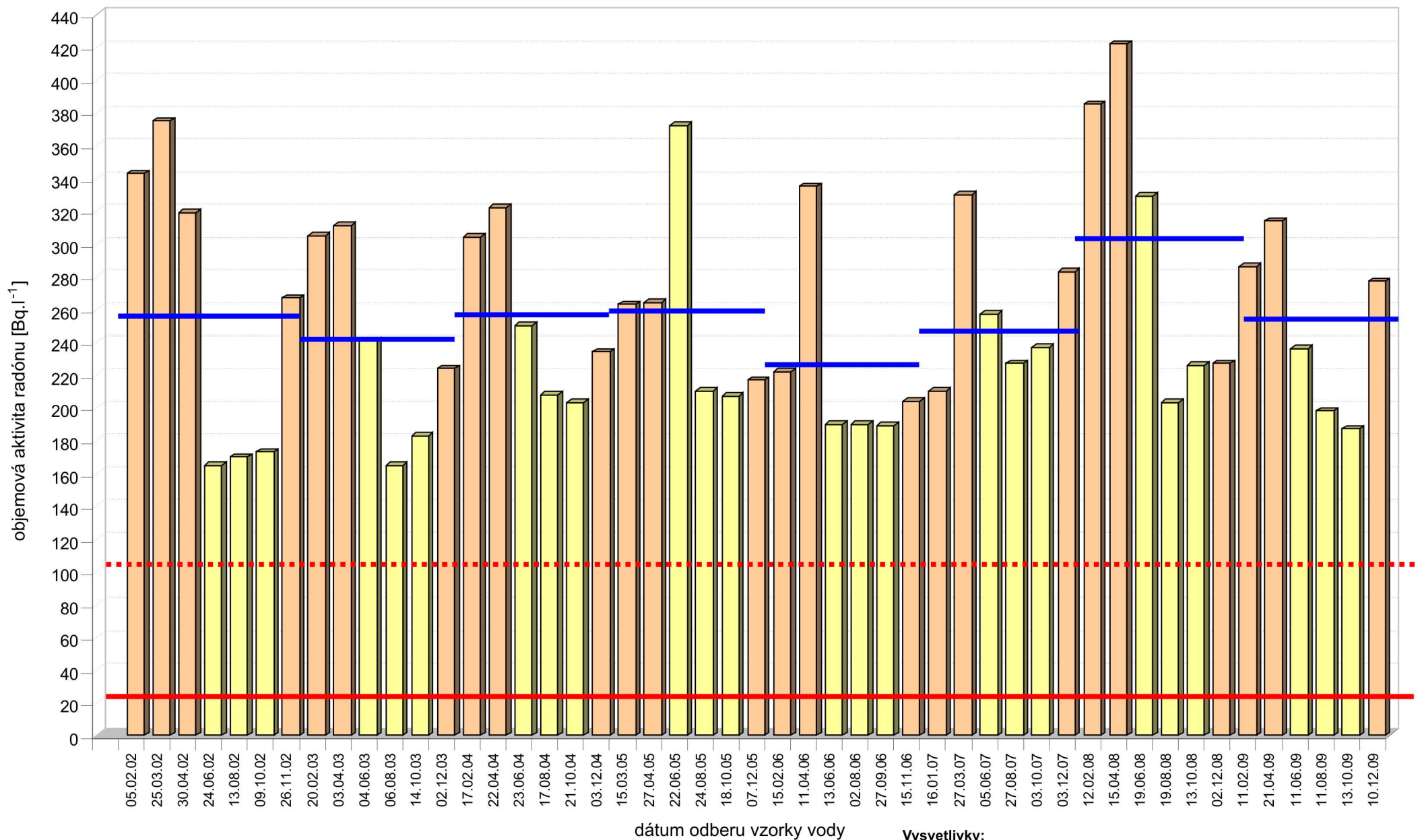


poruchová zóna

Obr. č. 05.6 Pôdny radón nad zlomom:
 monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009
 Lokalita: Grajnár, profily PF-1 a PF-2



Obr. č. 05.7 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009
 Lokality: Bratislava - pramene Mária, Himligárka, Zbojnička; Oravice - pramenisko Jašterčie

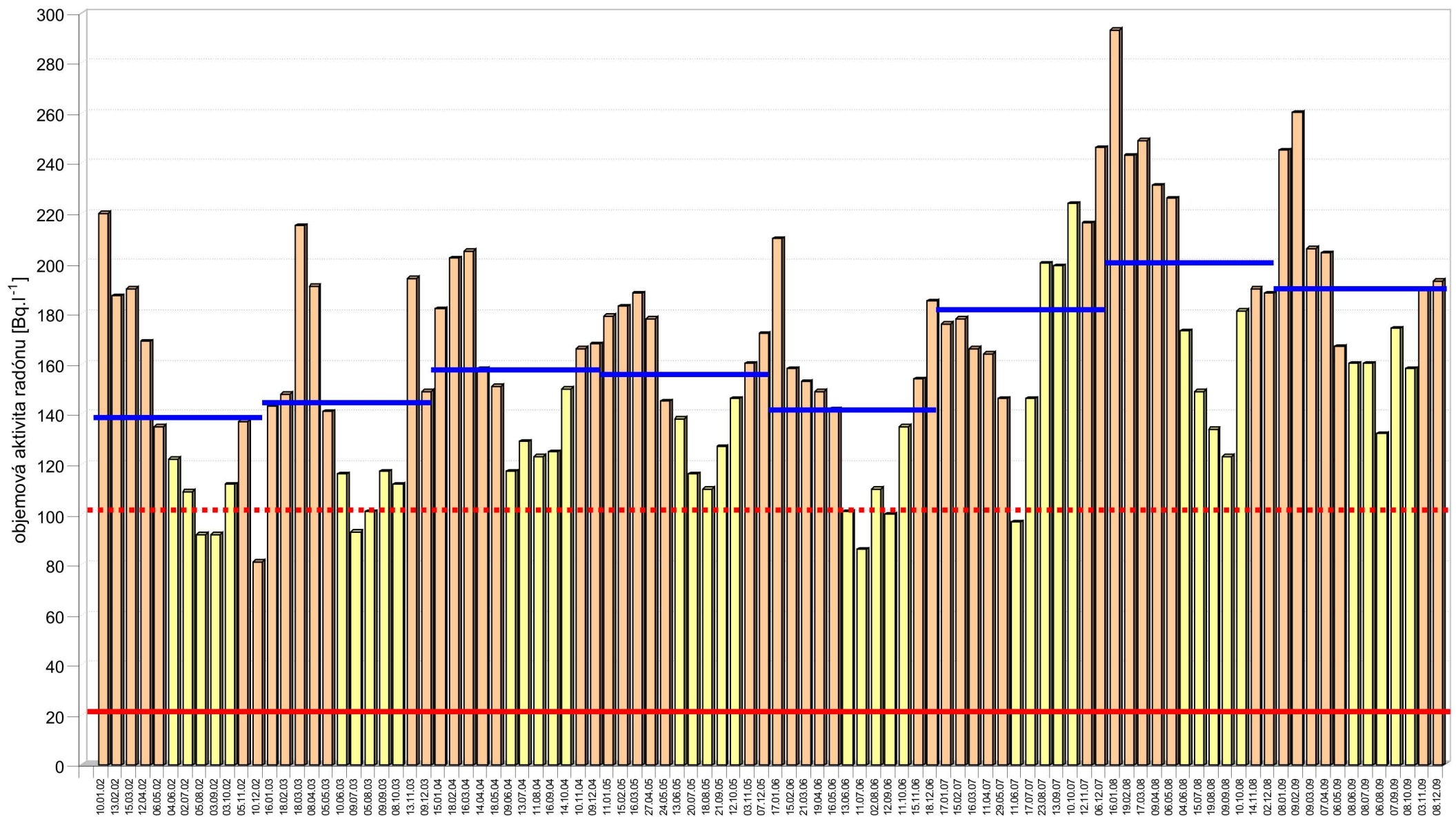


Vysvetlivky:

- monitorovacie obdobie: cca zima - jar
- monitorovacie obdobie: cca leto - jeseň
- stredná hodnota objemovej aktivity radónu v danom roku
- normovaná zásahová úroveň 20 Bq.l⁻¹ (pramenitá voda vhodná pre dojčatá)
- normovaná zásahová úroveň 100 Bq.l⁻¹ (prírodná minerálna voda, pramenitá a balená pitná voda)

Obr. č. 05.8 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009

Lokalita: Bacúch, prameň Boženy Němcovej



dátum odberu vzorky vody

Vysvetlivky:

- monitorovacie obdobie: cca zima - jar
- monitorovacie obdobie: cca leto - jeseň
- stredná hodnota objemovej aktivity radónu v danom roku
- normovaná zásahová úroveň 20 Bq.l⁻¹ (pramenitá voda vhodná pre dojčatá)
- normovaná zásahová úroveň 100 Bq.l⁻¹ (prírodná minerálna voda, pramenitá a balená pitná voda)

Obr. č. 05.9 Radón vo vodách: monitorovanie objemovej aktivity radónu (OAR) v rokoch 2002 - 2009

Lokalita: Spišské Podhradie, prameň sv. Ondreja

Tab. č. 05.1 Štatistické spracovanie meraní radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách

Pôdny radón na referenčných plochách - monitoring za obdobie 2002 - 2009																	
č. podľa obr. 1	ID lokality	Lokalita	Rok	C _A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]									Priep.	V _φ C _A [%]	Λ _{cA}	V _φ 3. Q _{cA} [%]	Λ _{3. Q cA}
				N	N _{RP}	min c _A	max c _A	φ c _A	σ c _A	φ + σ	φ 3. Q _{cA}	Rn riziko					
1	1303	Hnilec	rok 2002	67	4	84	1157	415	210	625	491	III	dobrá	20.0	0.89	29.6	0.88
			rok 2003	68	4	87	968	333	156	489	420	III		31.5	0.71	33.8	0.76
			rok 2004	68	4	227	1300	454	211	665	491	III		6.7	0.97	15.6	0.88
			rok 2005	68	4	115	1861	509	286	795	587	III		19.8	1.09	19.5	1.06
			rok 2006	68	4	150	1262	433	249	682	485	III		3.6	0.93	6.6	0.87
			rok 2007	68	4	123	1742	568	331	899	642	III		15.3	1.22	38.4	1.15
			rok 2008	68	4	13	1685	550	356	906	712	III		21.0	1.18	32.6	1.28
			rok 2009	68	4	32	1735	476	381	857	620	III		28.4	1.02	51.3	1.12
			2002-2009	543	32	13	1861	467	273	740	556	III		18.0		28.0	
2	1301	Novoveská Huta	rok 2002	102	6	1	515	73	65	138	89	III	stredná	57.0	1.09	67.8	1.10
			rok 2003	102	6	2	379	48	40	88	58	II-III		57.7	0.72	60.0	0.72
			rok 2004	102	6	1	439	69	60	129	87	III		45.8	1.03	56.7	1.07
			rok 2005	102	6	2	668	85	88	173	99	III		48.9	1.27	56.1	1.22
			rok 2006	119	7	4	670	93	75	168	113	III		33.9	1.39	41.4	1.40
			rok 2007	153	9	7	577	66	59	125	73	III		35.6	0.99	40.7	0.90
			rok 2008	136	8	8	198	47	33	80	61	II-III		41.5	0.70	52.8	0.75
			rok 2009	119	7	4	486	55	60	115	67	II-III		38.7	0.82	45.7	0.83
			2002-2009	935	55	1	670	67	60	127	81	III		45.0		53.0	
3	1302	Teplička	rok 2002	136	8	3	143	60	23	83	76	III	stredná	34.2	1.03	35.4	1.01
			rok 2003	135	8	5	144	50	19	69	56	II		41.0	0.86	39.8	0.75
			rok 2004	136	8	6	120	62	23	85	80	III		13.2	1.07	19.3	1.07
			rok 2005	136	8	2	196	70	33	103	92	III		6.1	1.21	8.6	1.23
			rok 2006	119	7	3	157	61	26	87	81	III		35.7	1.05	38.9	1.08
			rok 2007	136	8	3	137	57	28	85	79	III		21.9	0.98	26.2	1.05
			rok 2008	136	8	3	118	57	27	84	77	III		19.3	0.98	25.1	1.03
			rok 2009	119	7	4	127	49	27	77	62	II-III		28.4	0.84	28.7	0.83
			2002-2009	1053	62	2	196	58	26	84	75	III		25.0		28.0	

Tab. č. 05.1 Štatistické spracovanie meraní radónu v pôdnom vzduchu na referenčných plochách

Pôdny radón na referenčných plochách - monitoring za obdobie 2002 - 2009																					
č. podľa obr. 1	ID lokality	Lokalita	Rok	c_A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]								Priep.	$V_{\phi c_A}$ [%]	Λ_{c_A}	$V_{\phi 3.Qc_A}$ [%]	$\Lambda_{3.Qc_A}$					
				N	N_{RP}	$\min c_A$	$\max c_A$	ϕc_A	σc_A	$\phi + \sigma$	$\phi 3.Qc_A$						Rn riziko				
4	1309	Košice - KVP	rok 2002	prerušený monitoring											stredná	9.4	1.00	23.3	1.00		
			rok 2003																		
			rok 2004																		
			rok 2005																		
			rok 2006	34	2	4	47	16	8	24	21	II	25.0	1.00						50.8	1.19
			rok 2007	34	2	4	48	16	12	28	25	II	0.3	0.88						4.4	0.76
			rok 2008	34	2	3	42	14	8	22	16	I	49.4	1.13						40.0	1.10
			rok 2009	34	2	2	47	18	12	30	23	II	21.0							30.0	
2006-2009	136	8	2	48	16	10	26	21	II												
5	1307	B. Bystrica - Podlavice	rok 2002	prerušený monitoring											stredná	1.44	1.37				
			rok 2003																		
			rok 2004																		
			rok 2005	18	1	30	193	98	44	142	118	III	26.6	1.32				15.3	1.29		
			rok 2006	34	2	18	272	90	53	143	111	III	21.3	0.94				9.8	0.93		
			rok 2007	34	2	13	219	64	38	102	80	III	68.2	0.74				68.7	0.80		
			rok 2008	34	2	0	154	50	28	78	69	II-III	26.8	0.56				34.7	0.62		
			rok 2009	34	2	6	157	38	33	71	53	II	36.0					32.0			
2005-2009	154	9	0	272	68	39	107	86	III												
6	1305	Bratislava - Vajnory	rok 2002	prerušený monitoring											stredná	9.2	1.28	1.0	1.31		
			rok 2003																		
			rok 2004																		
			rok 2005	34	2	20	122	50	22	72	67	II-III	45.4	1.05						49.2	1.16
			rok 2006	34	2	10	98	41	20	61	59	II-III	25.4	1.05						23.1	1.02
			rok 2007	34	2	4	64	41	13	54	52	II	37.1	0.87						13.3	0.84
			rok 2008	34	2	2	61	34	13	47	43	II	5.4	0.72						1.9	0.71
			rok 2009	34	2	13	52	28	11	39	36	II	24.0							18.0	
2005-2009	170	10	2	122	39	16	55	51	II												

Vysvetlivky:

N počet meraných sond na referenčnej ploche (RP)
 N_{RP} počet meraných RP
 $\min c_A$ minimálna hodnota OAR z N
 $\max c_A$ maximálna hodnota OAR z N
 ϕc_A stredná hodnota OAR z N_{RP}
 σc_A štandardná odchýlka OAR z N_{RP}

$\phi 3.Qc_A$ tretí kvartil z N hodnôt ϕc_A
 Rn riziko I – nízke, II – stredné, III – vysoké
Priep. plynopriepustnosť miestnych zemín (*malá, stredná, dobrá*)
 V koeficient variácie pre ϕc_A ; $\phi 3.Qc_A$; [%]
 Λ_{c_A} podiel: $\phi c_A \text{ rok} / \phi c_A \text{ 2002-2009}$
 $\Lambda_{3.Qc_A}$ podiel: $\phi 3.Qc_A \text{ rok} / \phi 3.Qc_A \text{ 2002-2009}$

Tab. č. 05.2 Štatistické spracovanie meraní radónu na tektonike

Pôdny radón na tektonike - monitoring za obdobie 2002 - 2009														
č. podľa obr. 1	ID lokality	Lokalita	Rok	c_A - objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]							Priep.	Λ_{cA}	$\Lambda_{3.Q cA}$	
				N	min c_A	max c_A	ϕc_A	σc_A	$\phi + \sigma$	$\phi 3. Qc_A$				Rn riziko
7	1340	Grajnár	rok 2002	94	1	101	14	18	32	18	I	stredná	1.00	1.06
			rok 2003	94	1	51	9	9	18	10	I		0.64	0.59
			rok 2004	92	1	84	12	15	27	13	I		0.86	0.76
			rok 2005	93	2	91	17	19	36	24	II		1.21	1.41
			rok 2006	94	1	101	17	20	37	20	I-II		1.21	1.18
			rok 2007	94	1	113	16	22	38	16	I		1.14	0.94
			rok 2008	94	2	101	15	17	32	20	I-II		1.07	1.18
			rok 2009	94	2	100	14	18	32	16	I		1.00	0.94
			2002-2009	749	1	113	14	17	31	17	I			

Vysvetlivky:

- c_A objemová aktivita radónu (OAR) v pôdnom vzduchu [$\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$]
- N** počet meraných sond na profiloch
- min c_A** minimálna hodnota OAR z N
- max c_A** maximálna hodnota OAR z N
- ϕc_A stredná hodnota OAR z N
- σc_A štandardná odchýlka OAR z N
- $\phi 3. Qc_A$ tretí kvartil z N hodnôt c_A
- Rn riziko** I – nízke, II – stredné, III – vysoké
- Priep.** plynopriepustnosť miestnych zemín (*malá, stredná, dobrá*)
- Λ_{cA} podiel: $\phi c_{A \text{ rok}} / \phi c_{A 2002-2009}$
- $\Lambda_{3.Q cA}$ podiel: $\phi 3.Q c_{A \text{ rok}} / \phi 3.Q c_{A 2002-2009}$

Tab. č. 05.3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring za obdobie 2002 - 2009														
č. podľa obr. 1	ID lokality	Lokalita	Rok	$c_A^{222}\text{Rn} [\text{Bq.l}^{-1}]$						Λ_{cA}	Výdatnosť Q [l.s^{-1}]			Λ_Q
				min Rn	max Rn	maxRn / minRn	ϕ Rn	σ Rn	V Rn [%]		ϕ Q	σ Q	V Q [%]	
8	1353	Bratislava: prameň Himligárka	rok 2002	128	186	1.45	158	26	16	0.99	0.311	0.001	0.3	1.30
			rok 2003	163	163	1.00	163	-	-	1.02	0.091	0.128	141	0.38
			rok 2004	133	133	1.00	133	-	-	0.83	0.263	0.372	141	1.10
			rok 2005	155	167	1.08	161	6	4	1.01	0.259	0.229	88	1.08
			rok 2006	114	135	1.18	125	15	12	0.78	0.719	0.709	99	3.00
			rok 2007	180	236	1.31	208	40	19	1.30	0.093	0.031	33	0.39
			rok 2008	125	187	1.50	156	44	28	0.98	0.130	0.146	112	0.54
			rok 2009	146	203	1.39	175	40	23	1.09	0.056	0.056	100	0.23
			2002-2009	114	236	1.24	160	29	17		0.240	0.209	89	
9	1354	Bratislava: prameň Zbojníčka	rok 2002	237	253	1.07	242	6	2	1.03	0.276	0.050	18	0.64
			rok 2003	229	230	1.00	230	0.7	0.3	0.98	0.096	0.121	126	0.22
			rok 2004	138	244	1.77	191	53	28	0.81	0.577	0.535	93	1.33
			rok 2005	195	215	1.10	205	10	5	0.87	0.463	0.338	73	1.07
			rok 2006	138	217	1.57	178	56	31	0.76	1.431	1.425	100	3.30
			rok 2007	254	327	1.29	291	52	18	1.24	0.265	0.068	26	0.61
			rok 2008	234	273	1.17	254	28	11	1.08	0.243	0.233	96	0.56
			rok 2009	276	299	1.08	288	16	6	1.23	0.114	0.092	81	0.26
			2002-2009	138	327	1.26	235	28	13		0.433	0.358	76	
10	1352	Bratislava: prameň Mária	rok 2002	32	37	1.16	34	1	4	1.06	0.299	0.158	53	1.00
			rok 2003	27	29	1.07	28	1	5	0.88	0.128	0.139	109	0.43
			rok 2004	25	28	1.12	27	2	6	0.84	0.536	0.465	87	1.79
			rok 2005	26	30	1.15	28	2	7	0.88	0.396	0.271	68	1.32
			rok 2006	26	31	1.19	29	5	17	0.91	0.613	0.498	81	2.04
			rok 2007	36	43	1.19	40	5	13	1.25	0.183	0.019	10	0.61
			rok 2008	35	37	1.06	36	1	3	1.13	0.118	0.024	20	0.39
			rok 2009	33	35	1.06	34	1	3	1.06	0.127	0.074	58	0.42
			2002-2009	25	43	1.13	32	2	7		0.300	0.206	61	

Tab. č. 05.3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring za obdobie 2002 - 2009															
č. podľa obr. 1	ID lokality	Lokalita	Rok	$c_A^{222}\text{Rn}$ [Bq.l ⁻¹]						Λ_{cA}	Výdatnosť Q [l.s ⁻¹]			Λ_Q	
				min Rn	max Rn	maxRn / minRn	ϕ Rn	σ Rn	V Rn [%]		ϕ Q	σ Q	V Q [%]		
11	1351	Bacúch: prameň B. Němcovej	rok 2002	165	380	2.30	259	90	35	1.02	0.026	0.004	15	1.08	
			rok 2003	165	311	1.88	238	61	25	0.94	0.021	0.002	10	0.88	
			rok 2004	203	322	1.59	254	45	18	1.00	0.020	0.002	10	0.83	
			rok 2005	207	372	1.80	256	57	22	1.01	0.026	0.004	15	1.08	
			rok 2006	189	335	1.77	222	57	26	0.87	0.027	0.003	11	1.13	
			rok 2007	210	330	1.57	255	44	17	1.00	0.024	0.003	13	1.00	
			rok 2008	203	422	2.08	299	93	31	1.18	0.021	0.002	10	0.88	
			rok 2009	187	314	1.68	250	51	20	0.98	0.024	0.002	8	1.00	
			2002-2009	165	422	1.83	254	62	24		0.024	0.003	11		
12	1350	Spišské Podhradie: prameň Sv. Ondreja	rok 2002	81	220	2.72	137	45	33	0.85	0.034	0.010	29	0.87	
			rok 2003	93	215	2.31	143	39	27	0.88	0.033	0.006	18	0.85	
			rok 2004	117	205	1.75	156	29	18	0.96	0.039	0.006	15	1.00	
			rok 2005	110	188	1.71	154	26	17	0.95	0.044	0.006	14	1.13	
			rok 2006	86	210	2.44	140	37	26	0.86	0.041	0.006	15	1.05	
			rok 2007	97	246	2.54	180	40	22	1.11	0.040	0.008	20	1.03	
			rok 2008	123	293	2.38	198	51	26	1.22	0.042	0.005	12	1.08	
			rok 2009	132	260	1.97	187	37	20	1.15	0.039	0.004	10	1.00	
			2002-2009	81	293	2.23	162	38	24		0.039	0.006	17		
13	1356	Oravice: pramenisko pri vrte OZ-1	rok 2002	prerušený monitoring											
			rok 2003												
			rok 2004												
			rok 2005												
			rok 2006	382	690	1.81	536	218	41	0.54	nemerateľné				
			rok 2007	951	1273	1.34	1112	228	21	1.12					
			rok 2008	1122	1312	1.17	1217	134	11	1.22					
			rok 2009	1073	1156	1.08	1115	59	5	1.12					
			2006-2009	382	1312	1.35	995	160	19						

Tab. č. 05.3 Štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v podzemných vodách

Radón v podzemných vodách - monitoring za obdobie 2002 - 2009														
č. podľa obr. 1	ID lokality	Lokalita	Rok	$c_A^{222}\text{Rn}$ [Bq.l ⁻¹]					Λ_{cA}	Výdatnosť Q [l.s ⁻¹]			Λ_Q	
				min Rn	max Rn	maxRn / minRn	ϕ Rn	σ Rn		V Rn [%]	ϕ Q	σ Q		V Q [%]
14	1358	Ladmovce: preliv vrtu	rok 2002	prerušený monitoring										
			rok 2003											
			rok 2004											
			rok 2005											
			rok 2006	11	12	1.09	12	0.7	6	0.80	nemerateľné			
			rok 2007	16	17	1.06	17	0.7	4	1.13	0.059	0.001	2	0.97
			rok 2008	13	17	1.31	15	2.8	19	1.00	0.056	0.008	14	0.92
			rok 2009	14	15	1.07	15	0.7	5	1.00	0.068	0.001	1	1.11
			2006-2009	11	17	1.13	15	1.2	8		0.061	0.003	6	

Vysvetlivky:

- $c_A^{222}\text{Rn}$ objemová aktivita radónu (OAR) vo vode [Bq.l⁻¹]
min Rn minimálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l⁻¹]
max Rn maximálna hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l⁻¹]
maxRn / minRn podiel hodnôt max Rn / min Rn
 ϕ Rn stredná hodnota OAR za hodnotené obdobie [Bq.l⁻¹]
 σ Rn smerodatná odchýlka OAR za hodnotené obdobie [Bq.l⁻¹]
V Rn koeficient variácie OAR za hodnotené obdobie [%]
 Λ_{cA} podiel: ϕ Rn_{rok} / ϕ Rn₂₀₀₂₋₂₀₀₉
Q výdatnosť [l.s⁻¹]
 ϕ Q stredná hodnota Q za hodnotené obdobie [l.s⁻¹]
 σ Q smerodatná odchýlka Q za hodnotené obdobie [l.s⁻¹]
V Q koeficient variácie Q za hodnotené obdobie [%]
 Λ_Q podiel: ϕ Q_{rok} / ϕ Q₂₀₀₂₋₂₀₀₉

Tab. č. 05.4 Komplexné štatistické spracovanie meraní objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a v podzemných vodách v rokoch 2002 - 2009

č. podľa obr. 1	ID lokality	LOKALITA	Rok								Dlhodobý priemer	V ϕ c _A [%]
			2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009		
Pôdny radón na referenčných plochách			ϕ c _A [kBq.m ⁻³]									
1	1303	Hnilec	415	333	454	509	433	568	550	476	467	18
2	1301	Novoveská Huta	73	48	69	85	93	66	47	55	67	45
3	1302	Teplička	60	50	62	70	61	57	57	49	58	25
4	1309	Košice - KVP	prerušený monitoring				16	16	14	18	16	21
5	1307	Banská Bystrica - Podlavice	prerušený monitoring			98	90	64	50	38	68	36
6	1305	Bratislava - Vajnory	prerušený monitoring			50	41	41	34	28	39	24
Pôdny radón na tektonike			ϕ c _A [kBq.m ⁻³]									
7	1340	Grajnár	14	9	12	17	17	16	15	14	14	19
Radón vo vodách			ϕ c _A [Bq.l ⁻¹]									
8	1353	Bratislava: prameň Himligárka	158	163	133	161	125	208	156	175	160	17
9	1354	Bratislava: prameň Zbojníčka	242	230	191	205	178	291	254	288	235	13
10	1352	Bratislava: prameň Mária	34	28	27	28	29	40	36	34	32	7
11	1351	Bacúch: prameň Boženy Němcovej	259	238	254	256	222	255	299	250	254	24
12	1350	Spišské Podhradie: prameň sv. Ondreja	137	143	156	154	140	180	198	187	162	24
13	1356	Oravice: pramenisko pri vrte OZ-1	prerušený monitoring				536	1112	1217	1115	995	19
14	1358	Ladmovce: preliv vrtu	prerušený monitoring				12	17	15	15	15	8

Kde:

ϕ c_A stredná hodnota objemovej aktivity radónu (OAR) za hodnotené obdobie

V koeficient variácie pre ϕ c_A [%]