

D – MINERALOGIE, PETROLOGIE, GEOCHEMIE

VLIV GEOLOGICKÉ STAVBY NA ZVÝŠENÍ HODNOT RADONU V OBJEKTECH SITUOVANÝCH NA NÍZKÉM RADONOVÉM INDEXU PODLOŽÍ

Influence of geology on enhanced indoor radon concentrations in dwellings situated on low radon index bedrock

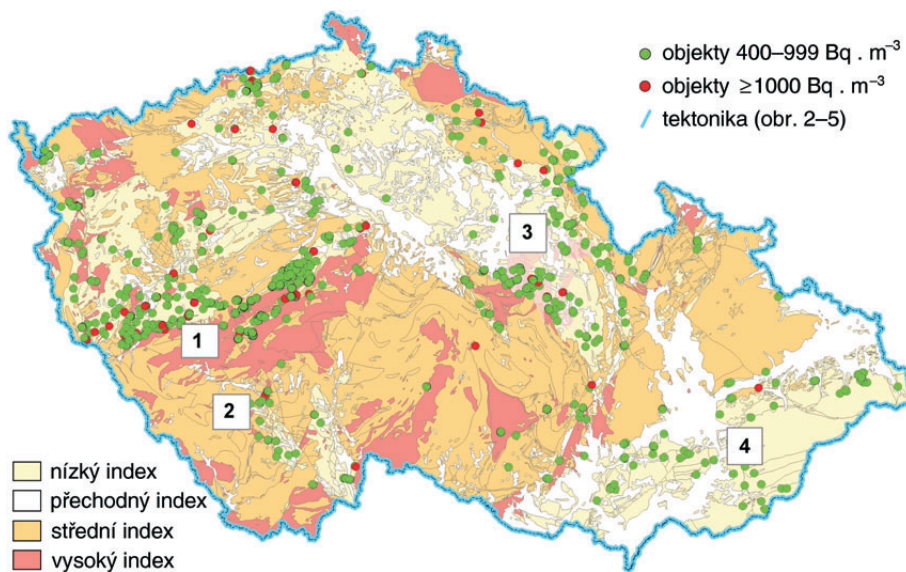
IVAN BARNET¹ – PETRA PACHEROVÁ¹ – IVANA FOJTÍKOVÁ²¹ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1² Státní ústav radiační ochrany, Bartoškova 28, 140 00 Praha 4

Key words: low radon index bedrock, enhanced indoor radon, geological basement

Abstract: Indoor radon concentration in 8.5 % of dwellings situated on the low risk rock types exceeds the action level of $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. These dwellings are situated (1) in the contact rim of the Central Bohemian plutonic complex in hornfelses and in the island zone of the plutonic complex in paleoandesites, (2) in Neogene sediments overlying durbachite-syenite basement near Vodňany, (3) in Cretaceous sediments of Eastern Bohemia underlaid by granitoids, and (4) on tectonically influenced Carpathian flysch sediments (SE Moravia). All four areas fit to courses of deep seated faults in the Bohemian Massif and of minor local tectonics in the front of Outer Carpathian nappes. Three possible causes of higher indoor radon concentrations are discussed for particular areas: P-T metamorphic influence of granitoid intrusions, presence of granitoids in geological basement under the low risk sediments and presence of fault zones. The spatial distribution of above mentioned dwellings indicates the possibility of convective radon transport by carrier media (water and gas) through the tectonically weakened zones of regional scale. The low radon risk from bedrock was successfully predicted for 92.5 % of dwellings.

Cílené vyhledávání objektů překračujících zásahovou úroveň $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, odpovídající roční efektivní dávce 10 mSv (THOMAS et al. 2007), je založeno na využití map radonového indexu geologického podloží, které je považováno za hlavní zdroj radonu pronikajícího do objektů. Mapami radonového indexu v měřítku $1 : 50\,000$ pokryla Česká geologická služba (ČGS) celé území České republiky. V jednotlivých typech hornin je stanoven statisticky převažující radonový index ve čtyřech kategoriích: nízký, přechodný (pro nehomogenní kvartérní sedimenty), střední a vysoký. Detailnější informace lze nalézt v článku BARNETA a PACHEROVÉ (2007). Měření radonu v ob-

jektech je přednostně orientováno do oblastí s vysokým radonovým indexem geologického podloží, v nichž lze očekávat vyšší frekvenci výskytu objektů překračujících zásahovou úroveň $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Měření radonu v objektech je prováděno stopovými detektory konstruovanými na bázi Kodak LR 115 (detektor RAMARn) a je v rámci Radonového programu ČR koordinováno pracovníky Státního ústavu radiační ochrany (SÚRO). Detektory jsou v objektech exponovány po dobu jednoho roku, aby byl eliminován vliv sezónních variací radonu a vliv způsobu užívání objektu. Výsledná hodnota reprezentuje průměrnou objemovou aktivitu radonu v objektu, která je diskutována v tomto článku. Přednostně jsou vybírány objekty v přímém kontaktu s geologickým podložím (rodinné domy). Vzhledem k lokální variabilitě geologického podloží a k měřítku zpracování $1 : 50\,000$ nelze jednoznačně se sto procentní pravděpodobností definovat radonový index určitého litologického typu. Proto i v oblastech s předpokládaným nízkým radonovým indexem lze nalézt objekty



Obr. 1. Oblasti, v nichž jsou kumulovány objekty situované na nízké kategorii radonového indexu a zároveň překračující směrnou hodnotu $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, resp. $1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. 1 – blovičké proterozoikum a ostrovní zóna středočeského plutonu, 2 – Vodňansko, 3 – křídové sedimenty mezi Železnými a Orlickými horami, 4 – čelo karpatských příkrovů a pokračování poruchového pásma Hané. Legenda je stejná pro všechny obrázky.

Tabulka 1. Počty a procentuální zastoupení objektů přesahujících zásahovou úroveň $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ na jednotlivých kategoriích radonového indexu podloží

Rn index podloží	počet objektů	počet objektů < $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	počet objektů $400\text{--}999 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	%	počet objektů $\geq 1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	%
nízký	11 360	10 389	831	7,3	140	1,2
přechodný	43 509	38 805	3 925	9,0	779	1,8
střední	19 871	17 627	1 954	9,8	290	1,5
vysoký	17 535	10 272	5 465	31,2	1 798	10,3

překračující zásahovou úroveň. Tento článek se blíže věnuje lokalizaci těchto objektů a snaží se objasnit geologické příčiny zvýšené objemové aktivity radonu.

Metodika

Pro vyhledání objektů situovaných na nízkém radonovém indexu a zároveň překračujících zásahovou úroveň byly využity vektorizované polygonové soubory kategorie nízkého indexu (ČGS) v měřítku 1 : 50 000 a databáze měřených objektů (SÚRO) obsahující 92 275 záznamů. Pro ilustraci uvádíme počet objektů na jednotlivých kategoriích radonového indexu a v těchto kategoriích počty objektů a procentuální zastoupení v intervalu $400\text{--}999 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ a v intervalu $\geq 1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Intervalová selekce objektů byla provedena v programu ArcGIS 9.2. (viz tab. 1) pro všechny kategorie radonového indexu. Tyto údaje reprezentují průměr roční hodnoty objemové aktivity radonu v objektu.

Oblasti se zjištěnými objekty

Z tabulky 1 je patrné, že z celkového počtu 92 275 objektů je na nízkém indexu situováno 11 360 objektů a z tohoto počtu překračuje zásahovou úroveň 7,3 % v intervalu $400\text{--}999 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ a v intervalu $\geq 1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 1,2 % objektů. I když by se zdálo, že ve srovnání s ostatními kategoriemi indexu jde o zanedbatelné množství objektů, je nutno si uvědomit, že měření radonu v objektech je cíleně orientováno do oblastí s předpokládaným vysokým radonovým indexem. Proto je také procentuální zastoupení pro objekty na vysokém radonovém indexu podloží v obou uvedených intervalech podstatně větší, což indikuje správnost geologické predikce. Pokud by byly objekty překračující zásahovou úroveň a situované na nízkém radonovém indexu rozmístěny rovnoměrně ve všech geologických jednotkách, bylo by možno konstatovat, že zvýšené hodnoty radonu v objektech mohou být způsobeny např. technickým stavem objektů, případně způsobem využívání objektů (omezení ventilace).

Jak je však z obr. 1 patrné, objekty jsou soustředěny do několika oblastí, u nichž lze předpokládat příčinu v geologickém podloží. Na území České republiky bylo zjištěno čtyři oblasti, v nichž objekty situované na geologickém podloží klasifikovaném nízkou kategorií radonového indexu překračují směrnou hodnotu $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ a v někte-

rých případech i $1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Výraznější kumulace těchto objektů lze najít v oblastech blovického proterozoika a ostrovní zóny středočeského plutonu (označení 1 v obr. 1), v oblasti Vodňanska (2), v oblasti křídových sedimentů mezi Železnými horami a Orlickými horami (3) a v oblasti čela karpatských příkrovů a pokračování poruchového pásma Hané směrem do karpatského flyše (4). Litologické typy hornin, vyskytující se v uvedených oblastech, byly klasifikovány podle výsledků měření radonu v podloží nízkou kategorií radonového indexu, proto je nutno hledat jiné příčiny zvýšených hodnot koncentrace radonu v objektech.

V následující části článku jsou zobrazeny pro přehlednost jednotlivé oblasti na podkladu mapy radonového rizika v měřítku 1 : 500 000 s detailní tektonikou podle geologických map v měřítku 1 : 50 000.

Blovické proterozoikum a ostrovní zóna středočeského plutonu

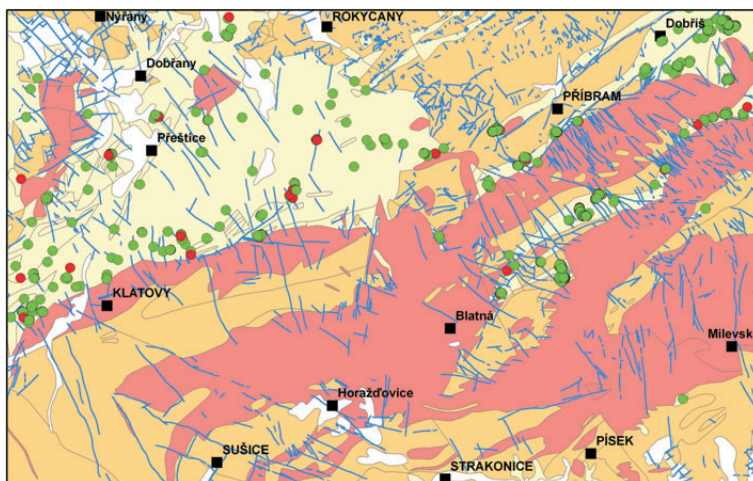
Při využití podrobných geologických map v měřítku 1 : 50 000 je možno přesně specifikovat horninové typy, na nichž jsou soustředěny objekty překračující zásahovou úroveň. V oblasti blovického proterozoika se objekty kumulují v sz. lemu středočeského plutonického komplexu (klatovské apofýzy) a v kontaktním lemu stodského granitoidního masivu na proterozoických kontaktních rohových částech. I když jsou původní proterozoické metasedimenty z radiometrického hlediska hluboce pod průměrem hornin České republiky (hodnoty dávkového příkonu podle radiometrické mapy MANOVÉ a MATOLINA 1998 nepřekračují $40 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$), termální účinky granitoidních těles i projevy regionální a kontaktní metamorfózy ovlivnily proterozoické prachovce, droby a břidlice do té míry, že umožňují snazší pronikání radonu z podloží. Úlohu v tom zřejmě hraje i tektonické porušení řadou paralelních poruch směru SZ–JV. Objekty situované na kontaktních rohových částech mají průměrnou objemovou aktivitu $412 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, což je srovnatelné s průměrnými hodnotami objemové aktivity radonu v objektech na vysoké kategorii radonového indexu ($468 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$).

Další objekty překračující směrné hodnoty jsou v diskutované oblasti soustředěny do metamorfované ostrovní zóny středočeského plutonického komplexu a jsou vázány především na metabazalty a bazaltické andezity a kontaktní rohovce paleozoického stáří. Obdobně jako v případě blovického proterozoika je zde území zároveň tektonicky

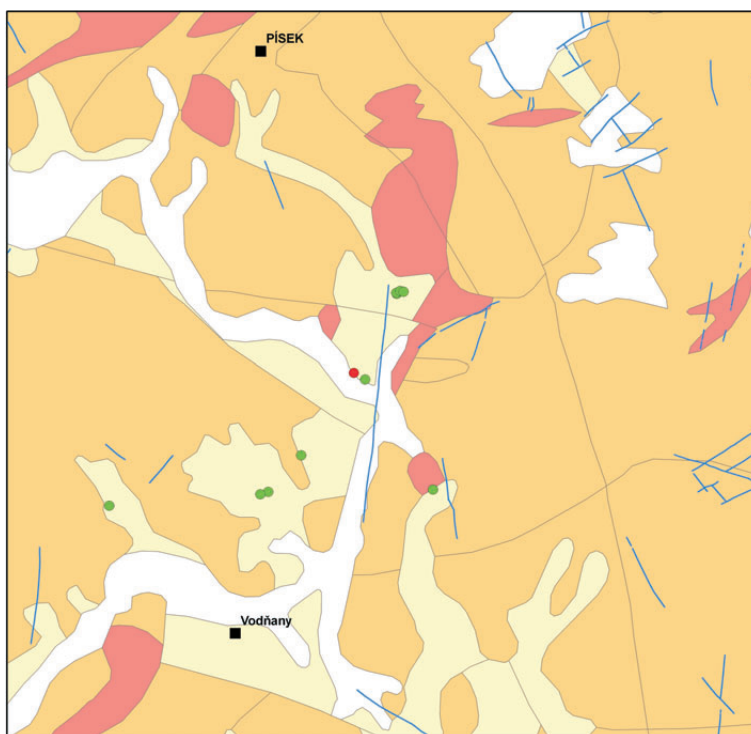
porušené hustou sítí paralelních zlomů směru SZ–JV. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu v objektech situovaných na metabazaltech a metaandezitech dosahuje obdobně jako v kontaktních rohových a horninách klasifikovaných vysokým radonovým indexem $464 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Je zřejmé, že jak v oblasti blovického proterozoika, tak i v metavulkanitech ostrovní zóny středočeského plutonu došlo během geologického vývoje k intenzivnímu tektonometamorfismu přepracování hornin, které ovlivňuje objemovou aktivitu radonu v objektech i v širším okolí plutonu (BARNET et al. 2006). Termální projevy granitoidních těles studovali i HENK et al. (1997; nárůst teploty až o $150 \text{ }^\circ\text{C}$ do vzdálenosti 15 km od intruze) a radiogenní tepelný tok modelovali GERDES et al. (2000). Závěry obou prací potvrzují termálně a tlakově metamorfni účinky rozsáhlých intruzí na okolní horniny.

Vodňansko

V oblasti ssv. od Vodňan jsou objekty nad zásahovou úroveň soustředěny v neogenních a kvartérních sedimentech, které překrývají v malé mocnosti melanokratické syenity, pararuly a migmatity. Průměry objemové aktivity radonu v objektech se pohybují v intervalu $550\text{--}1032 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, jižnější objekty v blízkosti Vodňan mají průměry mezi $440\text{--}666 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, což by mohlo indikovat větší mocnost neogenních a kvartérních sedimentů a primární zdroj radonu v sousedících výše položených výchozových partiích melanokratických syenitů. Severovýchodněji ležící oblast mezi Tálínem a Protivínem se vyznačuje zvýšenými hodnotami dávkového příkonu v rozpětí $95\text{--}150 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$. To ukazuje na vliv melanokratických syenitů v mělkém podloží neogenních sedimentů, které podle průběhu vodních toků a reliéfu blízkého okolí mohou být obohaceny materiálem z drobných těles melanokratických syenitů a hornin krystalinika. Podle HOLUBA (2005) tato drobná ultradraselná tělesa chemicky a geneticky odpovídají syenitům Čertova břemena a durbachitům Vogéz a Schwarzwald. Objekty v blízkosti Vodňan leží na podloží s nižším dávkovým příkonem – $85 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ (údaje podle MANOVÉ a MATOLÍNA 1998). Nižší dávkový příkon i nižší hodnoty objemové aktivity v objektech odpovídají i mocnější sedimentární výplni neogenní pánve. Podle výsledků geoelektrického sondování je mocnost výplně až 100 m (SCHOVÁNEK et al. 1989). Pro oblast Vodňanska můžeme za zdroj zvýšených hodnot v objektech na podloží s nízkým radonovým indexem předpokládat vliv tektonicky porušeného hlubšího podloží tvořeného melanokratickými syenity a metamorfity krystalinika a snos materiálu z výše položených partií těchto hornin do neogenních sedimentů.



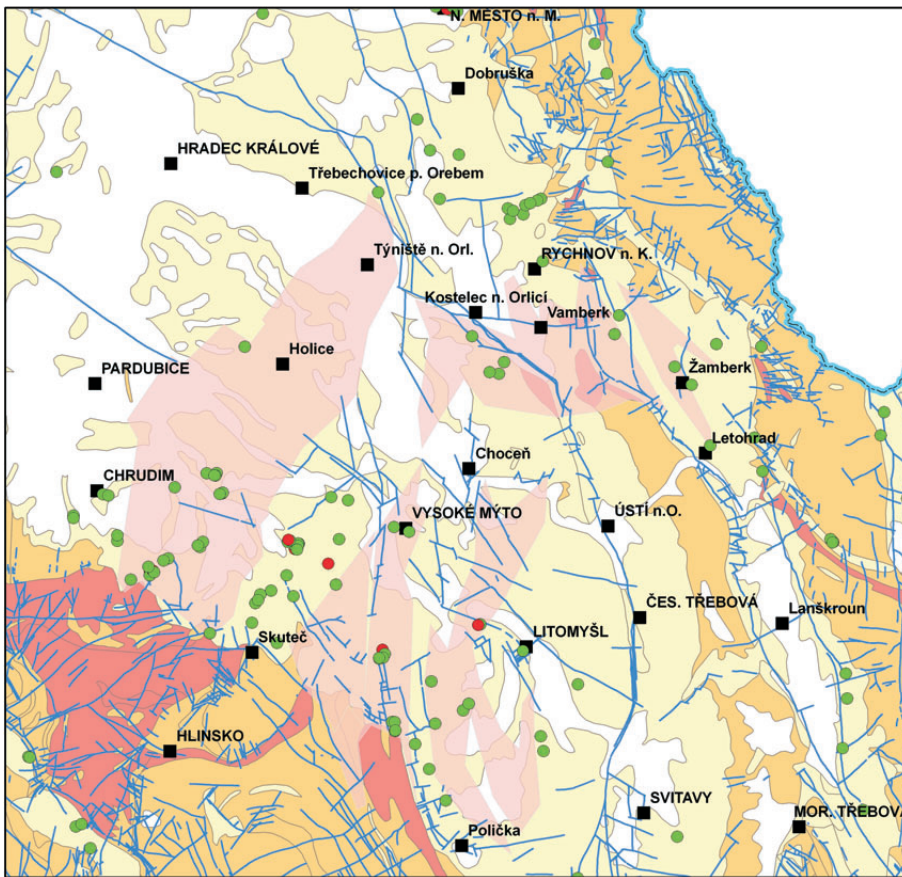
Obr. 2. Objekty překračující zásahovou úroveň v blovickém proterozoiku a ostrovní zóně



Obr. 3. Objekty překračující zásahovou úroveň na Vodňansku.

Křídové sedimenty mezi Železnými horami a Orlickými horami

Objekty překračující zásahovou úroveň jsou v oblasti mezi Železnými a Orlickými horami situovány na křídových sedimentech, které se vyznačují druhou nejnižší hodnotou objemové aktivity radonu v podloží na celém území České republiky (aritmetický průměr $17,4 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ z 2295 měřených ploch, medián $14,2 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ – údaje BARNETA a PACHEROVÉ 2007). Z geologického hlediska tedy samy křídové sedimenty nemohou významně ovlivňovat radon v objektech. Podle výsledků z hlubokých vrtů však železnohorský pluton pokračuje pod křídovými sedimenty dále k SSV, rovněž tak i granitoidy v poličském krystaliniku



Obr. 4. Objekty překračující zásahovou úroveň v křídových sedimentech klasifikovaných nízkým radonovým indexem mezi Železnými a Orlickými horami.

(MALKOVSKÝ et al. 1974). Na obr. 4 je světlejší červenou barvou vyznačen přibližný průběh granitoidních těles v podloží křídly a pozice objektů přesahujících zásahovou úroveň. Hloubka granitoidních těles je z vrtů dokumentována proměnlivá, v centru křídové pánve cca 350 m, ale směrem k železnohorskému plutonu se mocnost křídových sedimentů snižuje pod 200 m. Z obrázku 4 je také patrné, že objekty přesahující zásahovou úroveň jsou koncentrovány v oblastech menší mocnosti křídového pokryvu na okrajích poličské křídové pánve. V těsné blízkosti s. svahů Železných hor mohou být některé objekty ovlivněny i splachy granitoidního materiálu, ale podle průběhu říčních toků jde spíše o výjimky. Lze proto předpokládat, že v oblastech s menší mocností křídových sedimentů mohou objekty komunikovat s hlubším podložím puklinovými systémy, zvláště když jsou podložní krystalinické horniny (např. pokračování hlinské zóny směrem k S) silně tektonicky porušeny. Tomu nasvědčují i kumulace objektů překračujících zásahovou úroveň v blízkosti tektonických poruch.

Moravská část karpatského flyše

Většina objektů přesahujících objemovou aktivitou radonu zásahovou úroveň je kumulována v tektonicky porušených oblastech sz. okraje ždánicko-podslezské a slezské jednotky vnějších Karpat (oblast 1 v obr. 5). Ve srovnání s objekty situovanými v Českém masivu hodnoty objemové

aktivity radonu pouze mírně překračují zásahovou úroveň 400 Bq · m⁻³ (obvykle v intervalu 400–450 Bq · m⁻³, lokálně až 550 Bq · m⁻³). Lze předpokládat, že toto mírné zvýšení objemové aktivity radonu souvisí s vyšší frekvencí lokálních zlomových systémů převažujícího směru SZ–JV, příčně protínajících násunové zóny karpatského flyše.

Zajímavý je však výskyt několika objektů v oblasti Luhačovice–Uherské Hradiště–Brumov–Bylnice–Starý Hrozenkov (oblast 2 v obr. 5). Jednotlivé, geografickou pozicí vzájemně izolované objekty v katastru obcí Bojkovice, Starý Hrozenkov, Nezděnice, Záhorovice a Suchá Loz dosahují objemové aktivity radonu 530–774 Bq · m⁻³. Objekty jsou situovány na horninách s velmi nízkou radioaktivitou (pískovce a jílovce magurské jednotky karpatského flyše), kterými však pronikají neogenní trachyandezity a andezity. Zároveň jde zde o oblast vývěru proplyněných minerálních vod se zvýšenou koncentrací CO₂ v katastru obcí

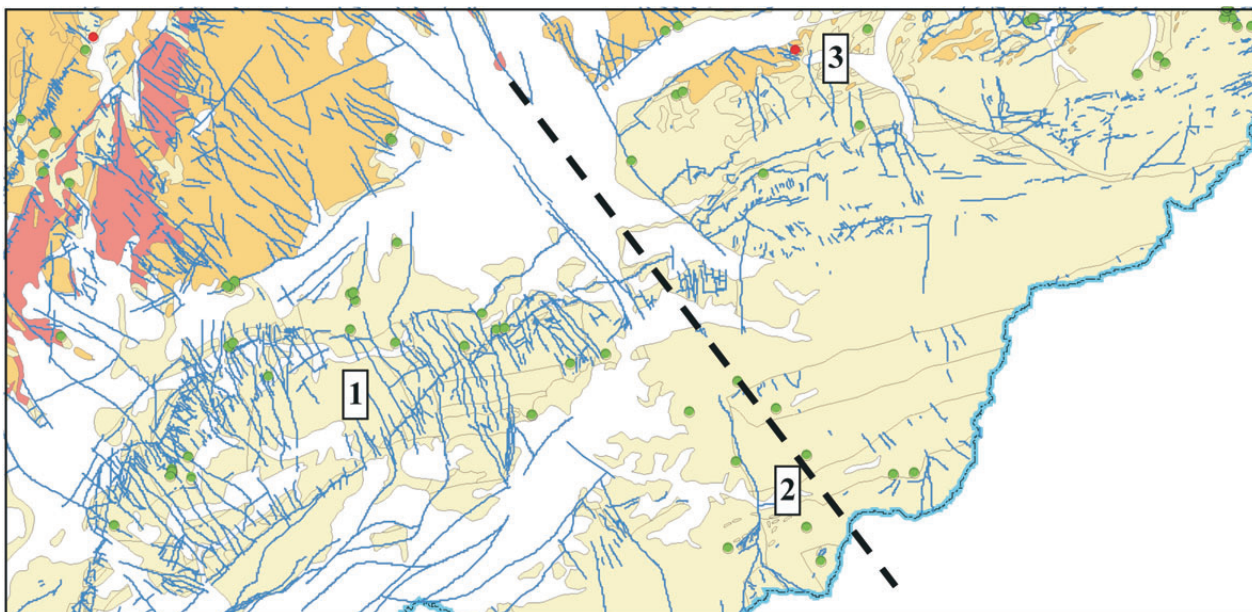
Suchá Loz, Nezděnice, Bojkovice, Záhorovice, Rudice, Starý Hrozenkov a v širším okolí Luhačovic.

Tento prostor je situován v jv. pokračování významné tektonické struktury hlubinného dosahu, označované jako poruchové pásmo Hané (v daném místě omezené průběhem holešovského a kvasického zlomu). Neogenní vulkanická aktivita intruzivních a efuzivních andezitů je vázána právě na průběh tohoto poruchového pásma. Nasvědčuje tomu i měření radonu v podloží, kde na ojedinělých dvou plochách v rozsahu poruchového pásma bylo zjištěna vysoká kategorie radonového indexu, přestože jsou situovány na křídových až paleogenních sedimentech s výrazně nízkou kategorií radonového indexu.

Jediný výrazně extrémní objekt s průměrnou roční hodnotou objemové aktivity radonu 4358 Bq · m⁻³ je situován cca 300 m od Gallasova pramene v Teplicích nad Bečvou na rozhraní karbonsko-devonských kalciturbiditů a devonských zkrasovatělých tektonicky porušených vápenců klasifikovaných středním radonovým indexem podloží. Vysoká hodnota radonu souvisí rovněž s oblastí vývěru minerálních vod.

Diskuse

Výskyt objektů překračujících zásahovou úroveň objemové aktivity radonu 400 Bq · m⁻³ a zároveň situovaných na podloží klasifikovaném nízkým radonovým indexem je



Obr. 5. Objekty překračující zásahovou úroveň v karpatském flyši. Oblast ždánicko-podslézské a slezské jednotky (1), oblast jv. od Uherského Hradiště (2), Teplice nad Bečvou (3). Čárkovaně je vyznačen průběh pokračování poruchového pásma Hané do karpatského flyše.

v České republice jevem řídkým, avšak z hlediska migrace radonu konvekcí na delší vzdálenosti jevem geologicky zajímavým. Objekty nejsou rozmístěny nepravidelně, ale kumulují se zejména do oblastí s lokálními i regionálními tektonickým postižením a do oblastí ovlivněných kontaktní metamorfózou v lemu rozsáhlých granitoidních těles.

Termální a tlakové ovlivnění okolních radiometricky relativně sterilních hornin (např. proterozoických břidlic) vede k přepracování základní struktury hornin (vzniku kontaktních rohovců), k rekrystalizaci a porušení zrn minerálů a tím i k otevření mikro- i makrostrukturních cest pro migraci radonu. Tlakové změny jak v průběhu intruze, tak i po intruzi granitoidních plutonů vedou obvykle i ke vzniku lokálních tektonických linií, vyskytujících se s vyšší frekvencí zejména v kontaktním lemu plutonu. Tím je podporována migrace radonu jak difúzí na krátkou vzdálenost, tak i konvekcí na větší vzdálenost. Tlakové a termální účinky granitoidních intruzí se projevují do vzdálenosti až 1–20 km od okraje intruze (HENK et al. 1997, GERDES et al. 2000) a v regionálním měřítku byly dokázány např. na profilu přes hlavní granitoidní tělesa Českého masivu zvýšením geometrického průměru objemové aktivity radonu v obcích situovaných v krystalinickém lemu granitoidních intruzí (BARNET et al. 2006) i v Horním Rakousku (GRÖLLER, FRIEDMANN 2007).

Prostorové rozmístění studovaných objektů ukazuje i na vliv širokých regionálních tektonicky porušených pásem, dříve označovaných jako hlubinné zlomy (MÍSAŘ et al. 1983). Na obr. 1 je např. patrný výrazný laterální posun oblastí s výskytem studovaných objektů mezi blovkým proterozoikem a ostrovní zónou středočeského plutonického komplexu (oblast 1) a zároveň koncentrace objektů v oblasti Vodňanska (oblast 2), vázaných na průběh jáchymovského hlubinného zlomu (RÖHLICH 2006). Pokračování tohoto poruchového pásma je sledovatelné až do Rakouska do oblasti Zwettlu, kde byly v syenitech rovněž zjištěny vysoké hodnoty radonu v objektech (GRÖLLER, FRIED-

MANN 2007). Objekty v oblasti východočeské křídly jsou koncentrovány v ssv. prodloužení příbyslavské zóny (oblast 3). Rovněž objekty v karpatském flyši jsou vázány na prodloužení poruchového pásma Hané mezi kvasickým a holešovským zlomem. Ukazuje se proto, že i hlubší tektonicky porušené podloží může mít vliv na výslednou objemovou aktivitu radonu v objektech.

Zvýšení objemové aktivity radonu na povrchu (tedy i v objektech) není příliš kontrastní, a proto se projevuje zejména na horninovém pozadí s nízkým radonovým indexem. Otázkou zůstává mechanismus konvektivní migrace radonu z hloubek řádově stovek metrů. Současné teorie podporují názor o migraci radonu z hlubšího podloží konvektivně pomocí transportních plynů (carrier gas) ve fluidech, zejména CO_2 , a jeho zvýšené koncentrace se projevují především v oblastech s recentními aktivními hydrogeologickými strukturami s vývěrem proplyněných vod. Zvýšené koncentrace radonu se projevují i na hlubších tektonických strukturách založených v geologicky mladých sedimentárních pánvích. Tento jev popisuje řada příkladů z literatury, např. ETIOPE et al. (2005) z neogenních sedimentů Siennské pánve, CHOUBEY et al. (2006) z oblasti Pithoragarh v Himálaji, SWAKOŇ et al. (2004) z oblasti Krakova, SIKKA a SHIVES (2001) z Kanady a řada dalších. Je proto zřejmé, že na tektonicky oslabených poruchových pásmech jsou vytvořeny vhodné podmínky pro konvektivní migraci radonu z hlubších zdrojových partií podloží; pokud poruchová pásma narušují nepropustné horninové bariéry v nadloží, může radon překročit zásahovou úroveň v přípovrchových vrstvách. V literatuře je samozřejmě popisován i výskyt anomálních koncentrací radonu v souvislosti s recentní vulkanickou činností (viz většina článků z konference ICGG 9 z roku 2007), ovšem hledat paralelu mezi těmito systémy a aktivními hydrogeologickými strukturami v Karpatech by bylo přehnané, i když v neogénu jsou z této oblasti projevy vulkanické činnosti zaznamenány (trachandezity a andezity). Vývěry proplyněných

vod patří k dozvukům této činnosti a radon z hlubšího podloží by k povrchu mohl pronikat právě účinkem transportních médií.

Závěry

1. Na horninovém podloží klasifikovaném nízkým radonovým indexem bylo zjištěno 8,5 % objektů překračujících směrnou hodnotu $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, z toho 1,2 % překračujících $1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Lze konstatovat, že úspěšnost geologické prognózy nízkého radonového rizika je 91,5 %.
2. Objekty se směrnou hodnotou objemové aktivity radonu nad $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ jsou soustředěny v kontaktních lemech středočeského plutonu na lokálně tektonicky porušených kontaktních rohových a paleovulkanitech ostrovní zóny a na terciérních sedimentech, v jejichž hlubším podloží jsou prokázána tělesa granitoidních hornin.
3. Další skupiny objektů se směrnou hodnotou objemové aktivity radonu nad $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ jsou prostorově vázány na průběh hlubinných poruchových zón v krystaliniku Českého masivu a v podloží karpatského flyše. Objekty v karpatském flyši jsou koncentrovány na tektonicky porušených horninách a v oblastech s výskytem aktivních hydrogeologických struktur a neovulkanitů, což podporuje teorii konvektivní migrace radonu z hlubšího podloží účinkem transportních médií fluidní a plynné fáze.

Poděkování

Uvedené poznatky byly získány na základě výsledků projektu České geologické služby č. 6365 *Integrace evropských metod výzkumu radonového rizika, financovaného v rámci Radonového programu České republiky odborem geologie Ministerstva životního prostředí ČR. Dík patří i kolegům ze Státního ústavu radiální ochrany, kteří zpracovali databázi měření radonu v objektech.*

Literatura

- BARNET, I. – PACHEROVÁ, P. (2007): Radon v geologickém podloží České republiky – mapy radonového indexu. – *Bezpečnost jader. Energ.*, 15 (33), 3/4, 75–80.
- BARNET, I. – PACHEROVÁ, P. – FOJTÍKOVÁ, I. (2006): Radon profile across the main granitoid bodies of the Bohemian Massif (Czech Republic). In: BARNET, I. – NEZNAL, N. – PACHEROVÁ, P., Eds: Radon investigations in the Czech Republic XI and the 8th international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 21–28, Czech Geol. Surv. Prague. ISBN 80-7075-661-6.
- ETIOPE, G. – MAURIZIO GUERRA, M. – RASCHI, A. (2005): Carbon Dioxide and Radon Geohazards Over a Gas-bearing Fault in the Siena Graben (Central Italy). – *TAO*, 16, 4, 885–896.
- GERDES, A. – WÖRNER, G. – HENK, A. (2000): Post-collisional granite generation and HT-LP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Baatolith. – *J. Geol. Soc.*, 157, 577–587. London.
- GRÖLLER, J. – FRIEDMANN, H. (2007): Improving the Austrian Radon Potential Map by Bayes Statistics. In: Book of Abstracts, 5th Conference on Protection Against Radon at Home and at Work. – 82 str., Fac. Nuclear Sci. Physic. Eng., Czech Techn. Univ. Prague.
- HENK, A. – FRANZ, L. – TEUFEL, S. – ONCKEN, O. (1997): Magmatic Underplating, Extension, and Crustal Reequilibration: Insights from a Cross-section through the Ivrea Zone and Strona-Ceneri Zone, Northern Italy. – *J. Geol.*, 105, 367–377.
- HOLUB, F. V. (2005): Výsledky srovnávacího studia durbachtických plutonitů Českého masivu, Vogéz a Schwarzwald. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2004*, 101–102.
- CHOUBEY, V. M. – BARTARYA, S. K. – RAMOLA, R. C. (2006): Geological control on radon in soil and water of Pithoragarh region, Kumaun Himalaya, India. In: BARNET, I. – NEZNAL, N. – PACHEROVÁ, P., Eds: Radon investigations in the Czech Republic XI and the 8th international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 72–78, Czech Geol. Surv. Prague.
- MALKOVSKÝ, M. et al. (1974): Geologie české křídové pánve a jejího podloží. – 262 str., Ústř. úst. geol. Praha.
- MANOVÁ, M. – MATOLÍN, M. (1998): Radiometric map of the Czech Republic 1 : 500 000. – GEOČR 500, CDROM, Czech Geol. Surv. Prague.
- MISAŘ, Z. – DUDEK, A. – HAVLENA, V. – WEISS, J. (1983): Geologie ČSSR. I Český masív. – 333 str., St. pedagog. nakl. Praha.
- PEI-CHUAN, CHUANG et al., Eds (2007): 9th International Conference on Gas Geochemistry. – Program Proc. CD, Taipei, Taiwan.
- RÖHLICH, P. (2006): Úloha zlomových struktur ve vývoji středočeské oblasti. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2005*, 37–40.
- SCHOVÁNEK, P. et al. (1989): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 22-431 Bavorov. – Ústř. úst. geol. Praha.
- SIKKA, D. B. – SHIVES, R. B. K. (2001): Mechanisms to Explain the Formation of Geochemical Anomalies Over Oilfields. – AAPG Hedberg Conference “Near-Surface Hydrocarbon Migration: Mechanisms and Seepage Rates”, Vancouver.
- SWAKOŃ, J. et al. (2004): Radon concentration in soil gas around local disjunctive tectonic zones in the Krakow area. – *J. Environment. Radioactivity*, 78, 2, 137–149.
- THOMAS, J. – HŮLKA, J. – FOJTÍKOVÁ, I. (2007): Radonový program ČR. – *Bezpečnost jader. Energ.*, 15 (33), 3/4, 68–74.