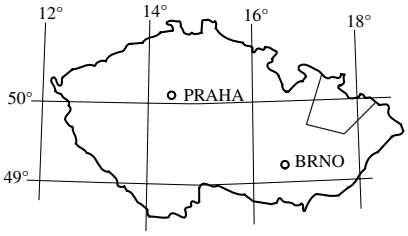
E – Geofyzika, radioaktivita

VZTAH RADONU V PODLOŽÍ A VZDÁLENOSTI OD ZLOMOVÝCH STRUKTUR V ČESKÉ REPUBLICE

Soil gas radon and proximity to fault systems in the Czech Republic

IVAN BARNET

Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1



Key words: soil gas radon values, faults, Bohemian Massif, Culm, GPS, satelite measurements

Abstract: The soil gas radon (^{222}Rn) values and their dependence on proximity to faults was studied on 9300 Rn measurements and 33131 detected vectorised faults within the Czech Republic using ArcGIS 8.3 programme. The proximity to faults influences only the mean and range of maximal values on the test sites classified as high radon index (decrease of parameters with interval distance 0–50, 50–100, 100–150 m from the detected fault). Maxima over 200 kBq . m^{-3} were observed in the eastern margin of Bohemian Massif in a lithologically and radiometrically homogeneous area of Culm sedimentation. These maxima are situated in the close vicinity of tectonically active faults oriented NW-SE and WNW-ESE (W-E). The recent geodynamic activity of the latter fault system is evidenced by GPS satellite measurements (vectors of movements caused by stress of Carpathian belt). Thus, the spatial investigation of soil gas radon maxima related to faults can contribute to studies of recent neotectonic activity of fault structures in the Bohemian Massif.

Úvod

Jedním z faktorů, který významným způsobem může ovlivnit míru radonového rizika, vyjádřenou v České republice kategorií radonového indexu (BARNET 1994, NEZNAL et al. 2004), je přítomnost zlomových struktur na měřených plochách nebo v jejich blízkosti. Podle obecně vžité představy patří zlomové struktury k faktorům, které zvyšují objemovou koncentraci radonu a tím i kategorii radonového indexu a radonu v objektech (BARNET – PROCHÁZKA 1992, KULAJTA et al. 1993, VARLEY – FLOWERS 1993, PROCHÁZKA et al. 1998, KEMSKI et al. 2001, APPLETON 2004).

Toto konstatování však může být zásadně ovlivněno charakterem zlomových struktur (zejména ve vztahu k propustnosti), jejich stářím i recentní aktivitou a pozicí zlomů ve studovaných regionálně geologických jednotkách. V neposlední řadě hraje významnou roli i měřítko sledování hodnot radonu na zlomech. Detailní profilová měření radonu i přes jednoduché zlomové struktury obvykle prokazují zvýšenou až extrémní koncentraci objemové aktivity radonu v těsné blízkosti kontaktu neporušené horniny a výplně zlomu, zatímco zlomová výplň je charakterizována hodnotami často i nižšími než v neporušené hornině. Tento jev je obvykle způsoben alterovaným charakterem výplně, ovlivňujícím její propustnost. Údaje z regionálních měření radonu tento jev zobecňují a obvykle klasifikují zlomové struktury preventivně jako možný zdroj pronikání radonu z hlubšího geologického podloží. Cílem této studie je zhodnocení vlivu zlomových struktur na koncentrace radonu v regionálním měřítku pro území České republiky.

Metodika

Sledování vlivu tektoniky na koncentrace objemové aktivity v půdním radonu je založeno na dvou databázových souborech. Údaje o měření radonu pocházejí z radonové databáze jejímž správcem je Česká geologická služba. Měření radonu jsou pro celé území ČR zpracována jednotnou metodikou (BARNET 1994, NEZNAL et al. 2004). Obsah radonové databáze (v současnosti cca 9300 měřených ploch z celého území ČR) podrobněji popisují BARNET a MIKŠOVÁ (1998). Vektorizovaná databáze zlomů pochází z výsledků základního geologického mapování České republiky v měřítku 1 : 50 000. Databázový soubor obsahuje 119 264 tektonických struktur, z nichž 33 131 nese označení zlom zjištěný. Na tento výběrový soubor zjištěných zlomů byla zaměřena studie závislosti hodnot objemové aktivity radonu na vzdálenosti od geologicky prokázaných zlomových struktur.

Měřené plochy z radonové databáze byly rozčleněny v programu ArcGIS 8.3. do tří intervalových skupin podle

Tabulka 1. Počty ploch měření Rn, rozčleněných podle radonového indexu a podle vzdálenosti od zjištěných zlomů

počty ploch měření Rn ve vzdálenosti (v metrech) od zjištěných zlomů			
radonový index	do 50 m	50–100 m	100–150 m
1 nízký	21	17	27
2 střední	33	51	33
3 vysoký	12	8	13

vzdálenosti od zjištěných zlomů (do 50 m, 50–100 m a 100–150 m). Počty měřených ploch podle kategorií radonového indexu a vzdálenosti od zlomů jsou uvedeny v tab. 1.

Výsledky

Pro dílčí soubory byly vypočteny statistické parametry, jejichž výběr je uveden v tab. 2 (průměrné hodnoty z jednotlivých ploch – počítáno z položky „rnprum" v radonové databázi) a v tab. 3 (maximální hodnoty na měřených plochách – počítáno z položky „rnmax" v radonové databázi). Každá měřená plocha je charakterizována v radonové databázi kromě jiného průměrnou hodnotou objemové aktivity radonu (z 15 sond – rnprum) a maximem (rnmax). Šedě vybarvené buňky označují kategorie radonového indexu a parametry, na nichž se projevuje závislost radonových hodnot na vzdálenosti od zlomů.

Z tabulek 2. a 3. je patrné, že závislost průměrných a maximálních hodnot objemové aktivity radonu na vzdálenosti od zlomů se projevuje pouze ve statistice ploch klasifikovaných vysokým radonovým indexem, zatímco v rozsazích nízkého a středního radonového indexu nelze nalézt žádné závislosti a to ani v parametrech minimálních a maximálních hodnot.. Je zřejmé, že přítomnost tektoniky ovlivňuje výskyt maxim objemové aktivity radonu (a rozsahu minimálních a maximálních hodnot), přičemž ze zpracovávaných dílčích souborů byly vyloučeny extrémní hodnoty způsobené prokázanou přítomností uranové mineralizace. Tyto jevy jsou dokumentovány na obr. 1, 2 a 3.

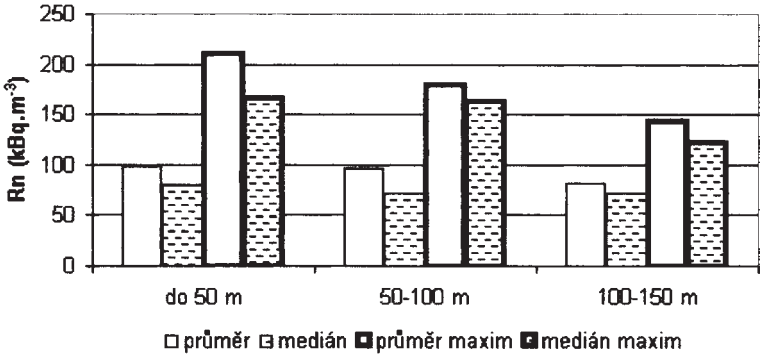
V radonové databázi jsou pro klasifikaci radonového indexu uváděny i hodnoty propustnosti převažující na měřených plochách (1 – nízká, 2 – střední a 3 – vysoká). Propustnost ploch vysokého radonového indexu v definovaných vzdálenostech od zjištěných zlomů prezentuje tab. 4, přičemž poměr počtu ploch s určenou vysokou a střední propustností vůči počtu ploch s nízkou propustností indikuje míru pronikání radonu v různorodém geologickém prostředí v závislosti na vzdálenosti od tektoniky. Z tabulky vyplývá, že na měřených plochách situovaných ve vzdálenosti do 50 m od zjištěných zlomů převažuje podíl vysoké a střední propustnosti ve srovnání s plochami vzdálenějšími od prokázané tektoniky.

Zajímavým příkladem výskytu vysokých hodnot radonu vázaných na regionální tektonické systémy je oblast Nízkého Jeseníku (andělskohorské, hornobenešovské, moravické a hradecko-kyjovické souvrství). Měření radonu v podloží byla provedena Českou geologickou službou a firmami Radon v.o.s., IGR Vatrasová, Radcontrol a VÚHŽ. Z hlediska zdroje radonu – uranu – je oblast relativně homogenní (Zimák – Štelcl 2002). Autoři uvádějí slabě zvýšené koncentrace uranu pouze v psamitech a psefitech moravického souvrství, přičemž průměry dosahující hodnot 6–7 ppm U se výrazně neodlišují od ostatních souvrství Nízkého Jeseníku (mírné zvýšení průměru je způsobeno spíše větším rozpětím sledovaných souborů hodnot). Na následujícím obrázku 4 jsou znázorněny plochy vysoké kategorie radonového indexu v oblasti Nízkého Jeseníku, přičemž nejvyšší hodnoty jsou lokalizovány do blízkosti bělského a klepáčovského zlomového systému (orientace SZ-JV) (Buday et al. 1995) a zpeřených zlomů na ně navazujících (možná orientace ZSZ-VJV až Z-V).

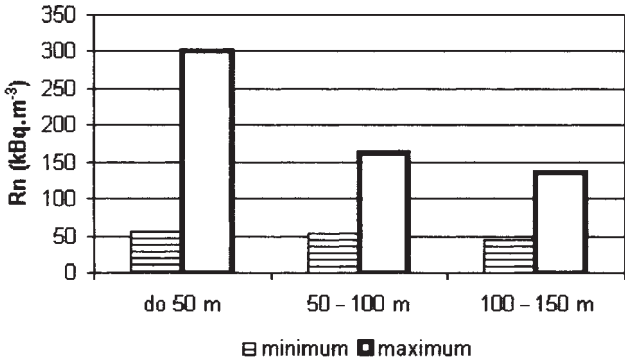
O tom, že oblast Nízkého Jeseníku je neotektonicky aktivní, svědčí i výskyt neovulkanitů a vývěrů minerálních vod v blízkosti bělského a klepáčovského zlomového systému. Recentní pohyby registrované sítí GPS přijímačů (Schenk et al. 2002, 2003 – podrobnější informace lze nalézt ve sborníku workshopu Recent Geodynamics of the East Sudety Mts. and Adjacent Areas, otištěném v časopise Acta Montana 20/124 v r. 2002) indikují orientaci vektorů posunu v řádu do 5 mm/rok spíše od J k S, což odpovídá převažujícímu tlaku karpatského oblouku. Pokud by tato orientace tlaku a posun celé oblasti Nízkého Jeseníku od

Tabulka 2. Základní statistické parametry souborů průměrných hodnot rozčleněných podle kategorie radonového indexu a podle vzdálenosti od zjištěných zlomů

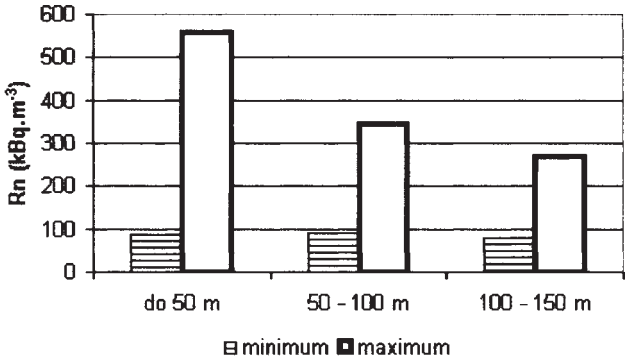
průměrné hodnoty Rn (kBq . m^{-3}) – zjištěné zlomy			
radonový index	do 50 m	50–100 m	100–150 m
1 nízký			
střední hodnota	10,3	12,9	10,6
medián	9,6	12,7	9
minimum	1,6	4	2,4
maximum	21	20	31
2 střední			
střední hodnota	27,6	29,5	29,1
medián	23,1	25,1	26,7
minimum	7	11	8,8
maximum	56	61	67
3 vysoký			
střední hodnota	98,8	96,5	81,4
medián	80,8	71,1	71,3
minimum	**55,9**	**54**	**43,6**
maximum	**300,3**	**163,2**	**135,1**



Obr. 1. Průměry a mediány středních hodnot a maxim v závislosti na vzdálenosti od zlomů na plochách klasifikovaných vysokým radonovým indexem.



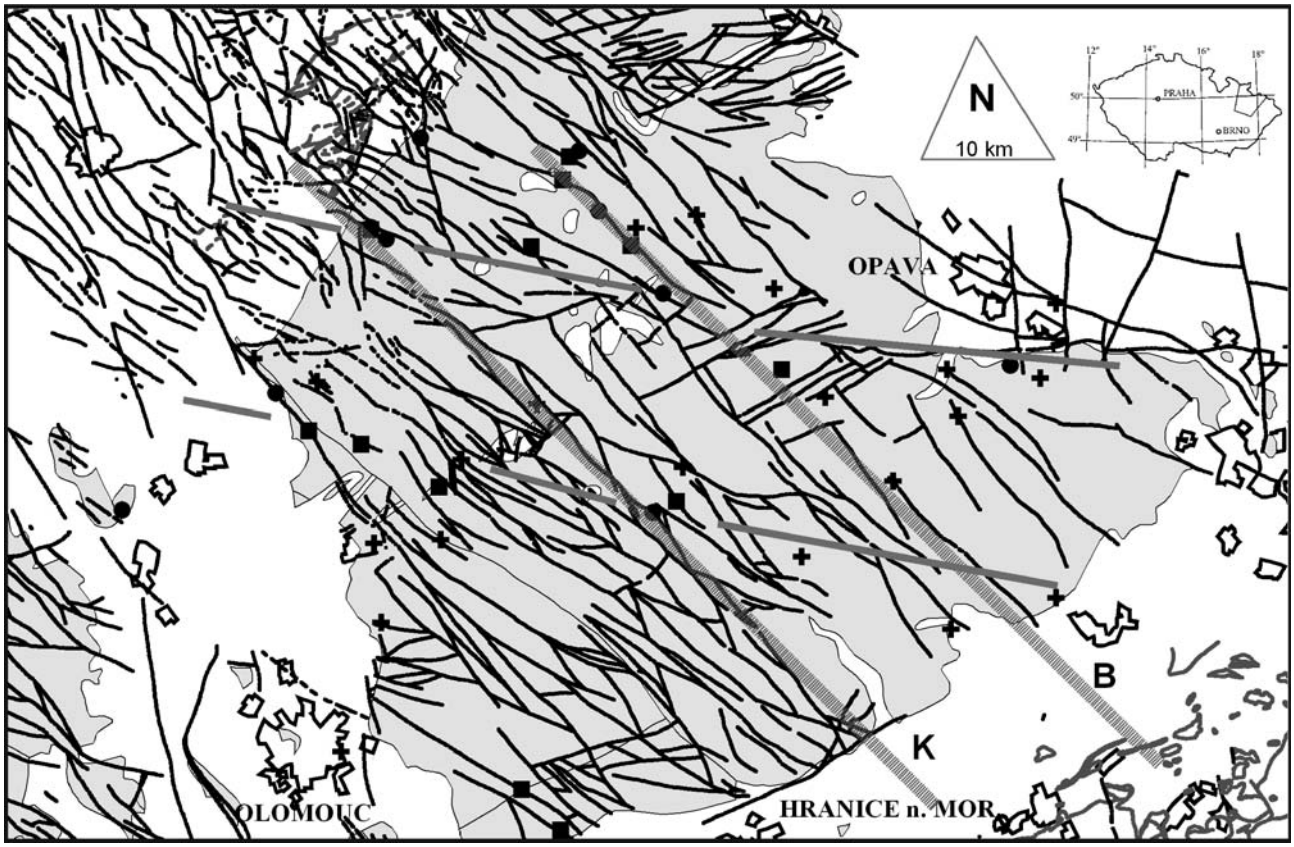
Obr. 2. Rozsahy průměrných hodnot Rn v závislosti na vzdálenosti od zlomů (plochy klasifikované vysokým radonovým indexem)



Obr. 3. Rozsahy maximálních hodnot Rn v závislosti na vzdálenosti od zlomů (plochy klasifikované vysokým radonovým indexem).

Tabulka 3. Základní statistické parametry souborů maximálních hodnot rozčleněných podle kategorie radonového indexu a podle vzdálenosti od zjištěných zlomů

maximální hodnoty Rn (kBq . m^{-3}) – zjištěné zlomy			
radonový index	do 50 m	50–100 m	100–150 m
1 nízký			
střední hodnota	21,9	20,3	17,2
medián	18	21,6	18,2
minimum	1,8	2,6	3,9
maximum	50	38,6	47,2
2 střední			
střední hodnota	48	51,7	58,4
medián	38,7	50,4	52,5
minimum	15,1	16,3	17,1
maximum	129,8	134	143,4
3 vysoký			
střední hodnota	**210,5**	**179,8**	**144,4**
medián	**166,3**	**163,3**	**122**
minimum	**87**	**92**	**80**
maximum	**556,7**	**347**	**269**



Obr. 4 – Maximální hodnoty objemové aktivity radonu vázané na zlomy v oblasti Nízkého Jeseníku (plochy vysokého radonového indexu).
Vysvětlivky : maxima radonu **+** – do 150 kBq . m^{-3}, ■ – 150.1 – 200 kBq . m^{-3}, ● – 200.1 – 500 kBq . m^{-3}, **K** – klepáčovský zlomový systém, **B** – bělský zlomový systém. Přerušované linie směru ZSZ-VJV jsou kolmé na orientaci uvolňovaného napětí při recentních geodynamických pohybech.

Tabulka 4. Poměr počtu ploch s vysokou a střední propustností / s nízkou propustností pro kategorii vysokého radonového indexu

vzdálenost od zjištěných zlomů	poměr počtu ploch s propustností $\frac{\text{vysoká + střední}}{\text{nízká}}$
do 50 m	6,37
50–100 m	5,2
100–150 m	4,8

jihu k severu podporovala uvolnění a aktivizaci zpeřených struktur směru ZSZ-VJV až Z-V ve smyslu pozorování SCHENKA a ostatních autorů (2002), bylo by možné vysvětlit přítomnost vysokých maxim objemové aktivity radonu (přesahujících 200 kBq . m^{-3}) na takto orientovaných strukturách v litologickém prostředí s relativně nízkou koncentrací uranu jako zdrojového prvku radonu. Aktivní úlohu tektonických systémů obou směrů v dané oblasti dokumentuje i lokalizace epicenter mikroseismických jevů (s vyloučením zdrojů z důlní činnosti) popsaná HAVÍŘEM (2002).

Závěry

1. Analýza hodnot radonu v podloží na intervalové vzdálenosti (50 – 100 – 150 m) od zjištěných zlomů na území České republiky prokázala, že průměrné hodnoty radonu na plochách měření klasifikovaných nízkým a středním radonovým indexem nejsou ovlivněny vzdáleností od zjištěných zlomů. Větší rozsah průměrných hodnot blíže ke zlomu byl zaznamenán pouze u ploch s vysokou kategorií radonového indexu.
2. Závislost maximálních hodnot radonu na vzdálenosti od zjištěných zlomů byla zaznamenána pouze u ploch s vysokým radonovým indexem a to jak v průměru a mediánu maxim, tak i v rozsahu minim a maxim. Poměr vysoké a střední propustnosti k nízké propustnosti klesá na plochách s vysokou kategorií radonového indexu se zvyšující se vzdáleností od zlomu, což může být i příčinou klesajícího rozsahu minim a maxim.
3. Výskyt maximálních hodnot radonu v podloží může indikovat i recentní geodynamickou aktivitu na zjištěných zlomových strukturách. Příklad z Nízkého Jeseníku dokumentuje výskyt vysokých hodnot radonu v litologicky i radiometricky relativně monotónním a homogenním horninovém prostředí. Vysoké hodnoty radonu jsou vázány na blízkost struktur bělského a klepáčovského zlomového systému a jeho pokračování k JV (orientace SZ-JV) a na zpeřené zlomy směru ZSZ-VJV a Z-V. Oba poslední systémy zlomů jsou v současnosti považovány za struktury, na nichž ve východosudetské oblasti dochází k uvolňování napětí směrem k severu, způsobeného tlakem karpatského oblouku od jihu. Důkazem aktivity těchto zlomových systémů směru obecně Z – V jsou i recentní vektory posunu kulmu Nízkého Jeseníku ve směru k S, zjištěné velmi přesným dlouhodobým satelitním měřením.

Literatura

APPLETON, D. (2004): Influence of faults on geological radon potential in England and Wales. In: BARNET, I. – NEZNAL, M. – PACHEROVÁ, P. (eds.): Radon investigations in the Czech Republic, X, and the seventh international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 168 str. Čes. geol. služba. Praha.

BARNET, I. – PROCHÁZKA, J. (1992): The tectonic control of high Rn-222 in durbachites near Milevsko. Radon Investigations in Czechoslovakia, III. – 13–19. Čes. geol. úst. Praha.

BARNET, I. (1994): Radon risk classification for building purposes in the Czech Republic. In: Radon investigations in the Czech Republic, V, and second international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – Čes. geol. úst. Praha.

BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. (1998): Radon database and radon risk map 1 : 500 000 of the Czech Republic. In: BARNET, I. – NEZNAL, M. (eds.): Radon investigations in the Czech Republic, VII, and the fourth international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 142 str. Čes. geol. úst. Praha.

BUDAY, T. – ĎURICA, D. – OPLETAL, M. – ŠEBESTA, J. (1995): Význam bělského a klepáčovského zlomového systému a jeho pokračování do Karpat. – U-R-GP, 9, 275–282. Praha.

HAVÍŘ, J. (2002): Recent tectonic activity in the area northwards of Šterberk (Nízký Jeseník Mts.) – present knowledge. – Acta Montana, 20 (124), Ser. A, 97–104.

KEMSKI, J. – KLINGEL, R. – SIEHL, A. – STEGEMANN, R. – VALDIVIA-MANCHEGO, M. (2001): Ermittlung einer Transferfunktion fuer die Radonkonzentratione in der Bodenluft und Wohnraum luft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials – Deutschland. – Report Kemski and Partner, 206 str., Univ. Bonn. Germany.

KULAJTA, V. – KUČERA, M. – VESELÝ, V. – HEČKO, E. (1993): Radon and tectonics in Stráž block (Northern Bohemian, uranium mining district Hamr na Jezeře). Radon Investigations in Czechoslovakia, IV. – 27–32. Čes. geol. úst. Praha.

NEZNAL, M. – NEZNAL, M. – MATOLÍN, M. – BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. – Czech. Geol. Survey Spec. Pap., 16, 47 str.

PROCHÁZKA, J. – BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. (1998): Radon at the tectonic zones. In: BARNET, I. – NEZNAL, M. (eds.): Radon investigations in the Czech Republic VII and the fourth international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 142 str. Čes. geol. úst. Praha.

SCHENK, V. – CACOŃ, S. – KONTNY, B. – BOSY, J. – KOTTNAUER, P. – SCHENKOVÁ, Z. (2002): Five Annual Campaign (1997–2001), Data Processing and Results. – Acta montana, 20 (124), Sér. A, 13–23.

SCHENK, V. – SCHENKOVÁ, Z. – CACOŃ, S. – KONTNY, B. – BOSY, J. – KOTTNAUER, P. (2003): To geodynamic interpretation of the GPS data Monitored at the East Sudeten network. – Acta montana, 24 (131), 87–97.

VARLEY, N. R. – FLOWERS, A. G. (1993): Radon in soil gas and its relationship with some major faults of SW England. – Env. Geochem. Health, 15 (2–3), 145–151.

ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. (2002): Terénní gamaspektrometrické měření přirozené radioaktivity v oblasti moravskoslezského kulmu v Nízkém Jeseníku. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2002, 203–204.

Recent Geodynamics of the East Sudety Mts. and Adjacent Areas. – Acta montana, 20 (124), Sér. A, 139 str.