

D – MINERALOGIE, PETROLOGIE, GEOCHEMIE

Hodnocení geologických faktorů radonového indexu administrativní jednotky RIA (NUTS5, Česká republika) – návrh metodiky

Geological factors of radon index in administrative units RIA (NUTS5, Czech Republic) – a proposal of methodics

IVAN BARNET¹ – PETRA PACHEROVÁ¹ – IVANA FOJTÍKOVÁ² – MATĚJ NEZNAL³

¹ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

² Státní ústav radiační ochrany, Bartoškova 28, 140 00 Praha 4

³ Radon v.o.s., Novákových 6, 180 00 Praha 8

Key words: radon, index, administrative units NUTS5, radon programme, Czech Republic

Abstract: A proposal of a new type of radon index maps of administrative units NUTS5 for the Czech Republic is under preparation for the period of Radon programme 2010–2019 based on 9000 soil gas Rn data (Czech Geological Survey) and 92276 indoor Rn data (National Radiation Protection Institute). The influence of geological factors like lithology, soil gas radon concentrations, permeability, gamma dose rate, density of tectonics and variability of geological basement was correlated to probability of exceeding the action level of indoor radon concentration 200 Bq.m⁻³ (newly built houses) within 2016 municipalities including more than 10 indoor radon measurements. The georeferencing performed in ArcGIS 9.2. programme has clearly shown, that the leading geological factors for increasing the probability of exceeding the indoor action level are the lithology, soil gas Rn concentration, gamma dose rate and permeability in the intravilans of administrative units, whilst the tectonics and variability of basement does not express any statistically significant influence. The RIA coefficient (Radon Index of Administrative unit) was proposed in two versions using the combination of 2 or 3 variables – the mean soil gas radon concentration in the rock type underlying the intravilan of municipality, the mean gamma dose rate in the cadastre and also including the mean permeability of underlying rocks (variantly – 3 variables). The RIA coefficient in two versions derived from existing soil gas Rn and indoor Rn data from 2016 municipalities was extrapolated to all 6395 municipalities after the corrections for differences of real – calculated values. Two new areas with enhanced probability of exceeding the action level were discovered – in SW Bohemia and Central Moravia, geologically probably connected to occurrence of dyke Variscan granitoids (SW Bohemia) and strongly migmatitized Precambrian crystalline rocks (the latter one).

Ve spolupráci se Státním ústavem radiační ochrany (SÚRO) byl zahájen vývoj metodiky nového typu map radonového indexu administrativní jednotky (RIA), který by byl více zaměřen na požadavky jednotlivých obcí a respektoval jejich katastrální území. Součástí vývoje metodiky pro tento typ map je i hodnocení geologických faktorů, které mohou zvýšit objemovou aktivitu radonu na katastru obce (NUTS5) a tím zároveň přispět k rozšíření informací využívaných pro zpracování územních plánů.

Cílem výzkumu bylo vytipování geologických faktorů,

kteří jsou perspektivní pro diskriminaci územních jednotek podle výše rizika ozáření z přírodních radionuklidů. K tomu bylo třeba pro intravilány administrativních jednotek (obcí) analyzovat: litologii podložních hornin a koncentraci radonu v podloží, tektonické postižení, variabilitu geologické stavby, převážující propustnost podložních hornin a vliv dávkového příkonu podloží.

Pro statistickou věrohodnost výpočtu pravděpodobnosti byly do dalšího zpracování vybrány pouze obce s počtem měřených objektů ≥ 10 . Těchto obcí je na území České republiky celkem 2016. Tato databáze byla georeferencována na digitální katastrální polygony administrativních jednotek – základních územních jednotek (obcí) – a pro každý polygon byla vypočtena pravděpodobnost překročení směrné hodnoty radonu v objektech (≥ 200 Bq.m⁻³). Zpracování bylo provedeno v programu ArcGIS 9.2.

Vliv geologických faktorů

Předchozími výzkumy bylo potvrzeno, že hlavním faktorem ovlivňujícím úroveň radonu v objektech je koncentrace radonu v půdním plynu a litologický charakter podložních hornin (Barnet et al. 2003, Barnet – Fojtíková 2006, Barnet et al. 2008, Pacherová – Barnet 2009). K centroidu každé obce (podle souřadnic Českého statistického úřadu) byl proto přiřazen typ podložní horniny podle geologické mapy ČR v měřítku 1 : 500 000. Generalizované horninové typy lépe vyjadřují litologický charakter horninového podloží a potlačují vliv kvartérních sedimentů, charakterizovaných přechodným indexem (Barnet – Fojtíková 2006).

Ve výběrovém souboru obcí (≥ 10 měření) byly v dalším zpracování obce seskupeny podle litologického charakteru hlavních typů podložních hornin a pro každý typ byla vypočtena průměrná pravděpodobnost výskytu objektů s koncentrací radonu ≥ 200 Bq.m⁻³. Tato pravděpodobnost byla pro každý horninový typ srovnána s průměrnou koncentrací radonu v podloží, získanou výpočtem z radonové databáze spravované Českou geologickou službou (Barnet et al. 2008). Výsledná tab. 1 ilustruje rozdíly v pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty radonu v objektech, které jsou způsobeny rozdílným litologickým charakterem podložních hornin.

Regresní závislost pravděpodobnosti překročení 200 Bq.m^{-3} v katastru obce a průměrné koncentrace radonu v podloží lze charakterizovat rovnicí 1

$$\text{prob200vypočet} = 0,3001 \cdot \ln(\text{rnmean}) - 0,6406, \quad (1)$$

kde rnmean je průměrná koncentrace R_n v podloží, udávaná v (kBq.m^{-3}) , s korelačním koeficientem $R = 0,93$.

Je nutno upozornit, že dosud se v průběhu Radonového programu nepodařilo dosáhnout při srovnání údajů radonu v podloží a v objektech tak vysokého koeficientu korelace.

Dalším z faktorů, které byly brány v potaz při hodnocení pravděpodobnosti překročení směrných hodnot v katastru obcí, je přítomnost tektonických poruch a variability podložních hornin. Pro srovnání s pravděpodobností překročení směrných hodnot v katastru obcí byl pro polygon každé obce (6395 obcí) vypočten počet zlomů (vertexů) digitalizovaných v geologických mapách měřítka 1 : 50 000 a počet polygonů geologických jednotek normalizovaný na plochu obce. Srovnáním obou faktorů s pravděpodobností překročení směrné hodnoty radonu v objektech se však prokázalo, že korelační koeficienty obou veličin se blíží nule (tedy v regionálním měřítku neexistuje statisticky prokazatelná korelace mezi vlivem tektoniky nebo variability geologické stavby a pravděpodobností překročení 200 Bq.m^{-3} v katastru obce). Otázkou zůstává stupeň křehkého porušení hornin, které na rozdíl od dislokací není v digitálních mapách zaznamenáno, takže v regionálním měřítku nemůže být souborně vyhodnoceno. Lokální indikací stupně křehkého porušení hornin může být např. zvýšený statistický rozptyl souboru dat na jednotlivých plochách měření.

Pro posouzení vlivu propustnosti na výsledné koncentrace radonu v půdním vzduchu i v objektech byla z údajů radonové databáze České geologické služby a z databáze měření radonu v objektech (SÚRO) vypočtena korelace v hlavních horninových typech podle geologické mapy v měřítku 1 : 500 000 s koeficientem $R = 0,83$ (Nezval et al. 2004, Pacherová – Barnett 2008).

Podle radiometrické mapy ČR 1 : 500 000 (Manová – Matolín 1998) byl pro každý polygon katastru obce (6395 obcí) vypočten průměrný dávkový příkon a příslušné hodnoty byly srovnány s průměrnou koncentrací radonu v objektech ve zpracovávaném souboru 2016 obcí s korelačním koeficientem 0,3. Je patrné, že průměrný dávkový příkon ovlivňuje průměrnou koncentraci radonu v objektech (Barnett – Fojtíková 2008), i když na tuto veličinu má vliv pouze koncentrace U (dávkový příkon je počítán z koncentrací K , U , Th).

Srovnání vypočtených hodnot pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty se skutečnými hodnotami pravděpodobnosti podle hlavních horninových typů

Aby bylo možno provést korekci výpočtu pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty 200 Bq.m^{-3} pro všechny obce na území ČR, nejen pro ty s dostatečným počtem do-

Tabulka 1. Základní statistické údaje o pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty 200 Bq.m^{-3} (ar. průměr) v objektech a o radonu v podloží (ar. průměr) v hlavních horninových typech na území ČR

horninový typ	prům. prob200	prům. gern (kBq.m^{-3})
diority	0,31	21,6
mezozoikum alp.	0,13	16,94
mezozoikum sed.	0,2	18,33
moldanubikum, monotónní série	0,35	30,84
moldanubikum, pestrá série	0,42	30,1
neovulkanity	0,32	21,14
ortoruly	0,52	37,56
paleozoikum metamorfované	0,44	49,17
paleozoikum nemetamorfované	0,41	30,75
permokarbon	0,25	28,34
prevariské granitoidy	0,33	19,91
prot., pal. vulkanity	0,35	28,51
proterozoikum metamorfované	0,46	32,51
kvartér	0,26	21,62
syenity	0,75	99,99
terciér alp.	0,23	17,42
terciér sedimenty	0,36	25,68
variské magmatity	0,58	57,2

sud provedených měření, bylo provedeno srovnání pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty v dosud měřených obcích (2016) s pravděpodobností vypočtenou pro jednotlivé horninové typy (podloží v definičním bodu obce – centroidu) podle rovnice 1.

Výsledkem srovnání obou veličin je korelace vyjádřená rovnicí 2:

$$\text{prob200skut} = 1,0489 \cdot \text{prob200vypočet} - 0,0236, \quad (2)$$

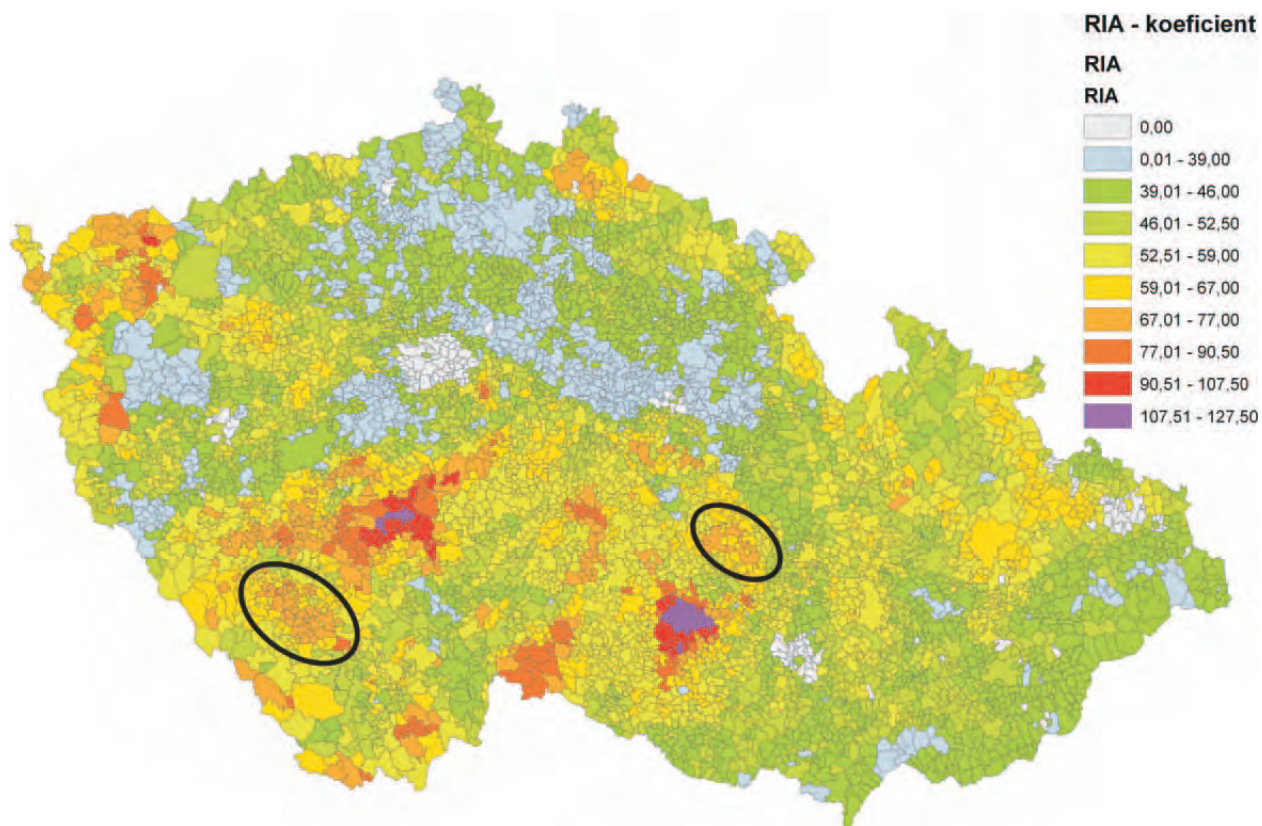
čili po začlenění rovnice 1 do výpočtu získáme výslednou rovnici 3:

$$\text{prob200skut} = 1,0489 \cdot [0,3001 \cdot \ln(\text{rnmean}) - 0,6406] - 0,0236, \quad R = 0,87. \quad (3)$$

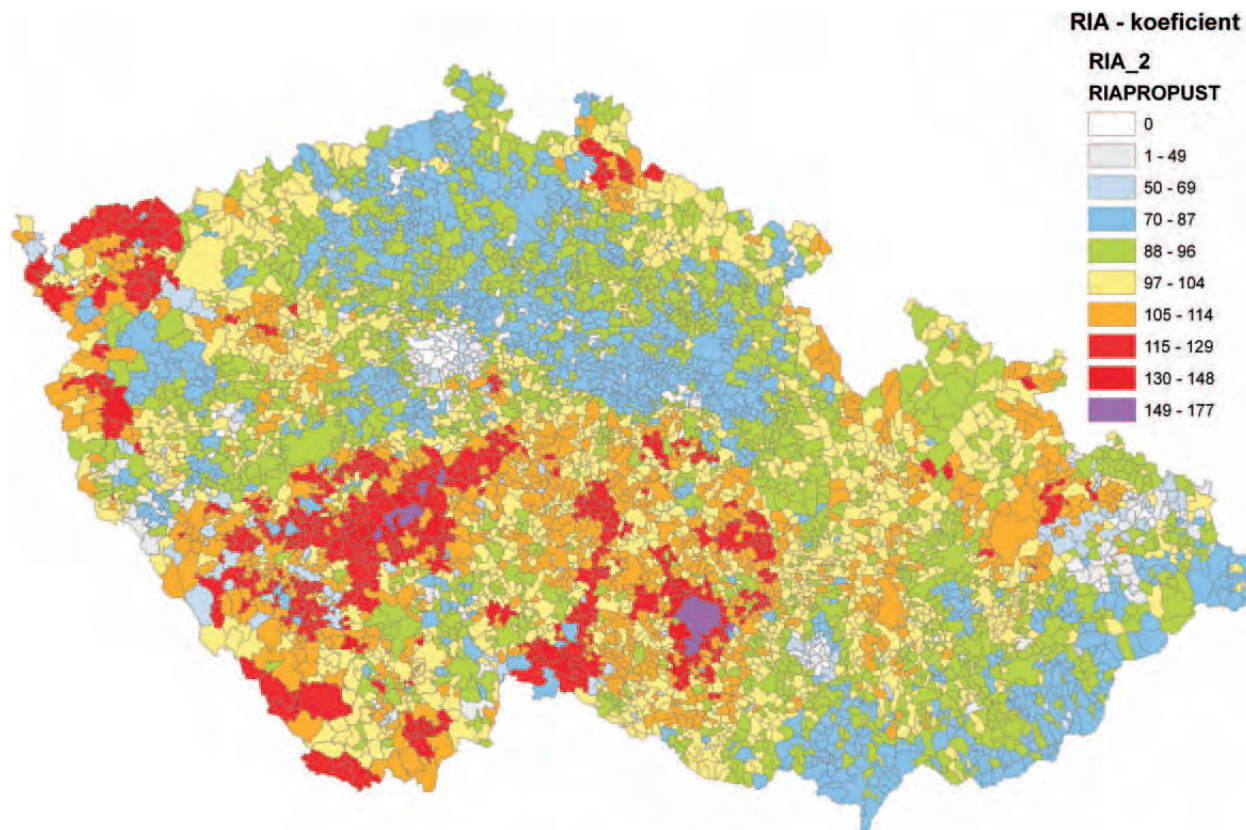
Pomocí této rovnice je možno vypočítat pravděpodobnost překročení směrné hodnoty na základě znalosti koncentrace radonu v předkvartérním podloží definičního bodu obce, přičemž je výsledek korigován podle skutečných hodnot koncentrace radonu v objektech situovaných v katastru obce.

Radonový index administrativní jednotky

Jak již bylo uvedeno, na pravděpodobnost překročení směrné hodnoty 200 Bq.m^{-3} má vliv zejména koncentrace radonu v podloží a úroveň dávkového příkonu. Tyto poznatky lze využít při výpočtu bezrozměrného koeficientu,



Obr. 1. Prostorová distribuce radonového indexu administrativní jednotky. Kromě dosud známých oblastí vázaných na plošný výskyt podložních granitoidních hornin je zvýšený index RIA nově zaznamenán také v oblastech označených elipsami (Strašice–Netolice, západní oblast, a Nové Město na Moravě–Bystřice nad Pernštejnem, východní oblast).



Obr. 2. Plošná distribuce radonového indexu RIA 2 (se začleněním vlivu plynopropustnosti).

charakterizujícího náchylnost obce k překročení směrných hodnot radonu v objektech („radon prone area“ v anglické literatuře). Prozatím je tento koeficient označen pracovním názvem **radonový index administrativní jednotky a zkratkou RIA**.

Radonový index administrativní jednotky je vypočten pro každou jednotlivou obec s výjimkou městských částí podle rovnice 4:

$$RIA = \text{prob200skut} \cdot 100 + \text{průměr dávk. příkonu}/2, \quad (4)$$

kde RIA je bezrozměrný koeficient a graficky je pro území ČR znázorněn v obr. 1.

Alternativně je též možno vypočítat i radonový index administrativní jednotky RIA2 se začleněním průměrné propustnosti jednotlivých horninových typů v katastrech obcí podle rovnice 5:

$$RIA\ 2 = \text{prob200skut} \cdot 100 + \text{průměr dávk. příkonu}/2 + \text{prům.propust} \cdot 25. \quad (5)$$

Jednotlivé koeficienty jsou voleny podle středních hodnot všech tří parametrů začleněných do výpočtu tak, aby váha jednotlivých parametrů pro střední hodnoty byla vyrovnaná. Vzhledem k tomu, že vyšší průměrné hodnoty propustnosti jsou zejména v ortorulách, metasedimentech, pararulách a granitoidech (tedy ve středním a vysokém radonovém indexu geologického podloží), v těchto horninách se radonový index administrativní jednotky zvýší výrazněji než v sedimentárních horninách. Tuto situaci ilustruje obr. 2.

Závěry

- Byl proveden výpočet pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty 200 Bq.m⁻³ pro 2016 obcí, v nichž je 10 a více měření radonu v objektech. Pravděpodobnost byla srovnána s průměrnými hodnotami radonu v podloží v definičních bodech – centrech obcí. Vypočtená závislost je definována rovnicí 1.
- Pomocí rovnice 1 byla na základě znalosti geologie v podloží obce vypočtena teoretická hodnota pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty 200 Bq.m⁻³ pro katastry 2016 obcí a srovnána s hodnotou skutečné pravděpodobnosti (rovnice 2). Výsledkem je závislost, pomocí níž byla korigována vypočtená hodnota pravděpodobnosti překročení směrné hodnoty 200 Bq.m⁻³ (rovnice 3) a pomocí této rovnice byl proveden výpočet pravděpodobnosti pro všechny obce s výjimkou městských částí.
- Bylo provedeno srovnání geologických parametrů, které

by mohly ovlivnit pravděpodobnost překročení směrné hodnoty v katastru obce. Prokázalo se, že na pravděpodobnost má statistický vliv radon v podloží, propustnost a průměrná hodnota dávkového příkonu, zatímco regionální tektonika a variabilita geologické stavby v katastru se statisticky neprojevila. Na základě zjištěných poznatků byl ve dvou variantách vypočten radonový index administrativní jednotky (pracovní název RIA) podle rovnice 4 (bez začlenění vlivu plynopropustnosti) a podle rovnice 5 (pracovní název RIA 2 se začleněním vlivu plynopropustnosti).

- Byly zjištěny dvě nové oblasti se zvýšeným indexem RIA (Strašice–Netolice a Nové Město na Moravě–Bystřice nad Pernštejnem). Zvýšené koncentrace radonu v objektech jsou v těchto oblastech patrně způsobeny přítomností drobných žilných těles granitoidních hornin (Strašice–Netolice) a migmatitů (Nové Město na Moravě–Bystřice nad Pernštejnem) v geologickém podloží obcí.

Poděkování. Výzkumné práce byly provedeny v rámci projektu SÚRO č. 5/2008 Vytipování perspektivních ukazatelů geologického charakteru pro určování radonového indexu administrativní jednotky, část byla zpracována v rámci projektu České geologické služby č. 637400 Geologické parametry při sledování radonu v podloží na přechodném indexu, financovaného OG MŽP v rámci Radonového programu ČR.

Literatura

- BARNET, I. – FOJTÍKOVÁ, I. (2006): Radonový index geologického podloží a jeho vliv na strategii vyhledávání rizikových objektů v České republice. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2005, 128–132.
- BARNET, I. – FOJTÍKOVÁ, I. (2008): Soil gas radon, indoor radon and gamma dose rate in the Czech Republic – contribution to geostatistical methods for European Atlas of Natural Radiations. – Radiation Protect. Dosimetry, 130, 81–84.
- BARNET, I. – FOJTÍKOVÁ, I. – ZÍTOVÁ, E. (2003): Vztah radonu v objektech a radonu v podloží na území středočeského plutonu – úvodní studie. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2002, 187–190.
- BARNET, I. – PACHEROVÁ, P. – NEZNAL, MATĚJ – NEZNAL, MARTIN (2008): Radon in geological environment – Czech Republic. – Czech Geol. Surv. Spec. Pap., 19, 70 s.
- MANOVÁ, M. – MATOLÍN, M. (1998): Radiometric map of the Czech Republic 1 : 500 000. – GEOČR 500, CD-ROM. Czech Geol. Surv., Prague.
- NEZNAL, M. – NEZNAL, M. – MATOLÍN, M. – BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. – Czech Geol. Surv. Spec. Pap., 16, 48 s.
- PACHEROVÁ, P. – BARNET, I. (2008): Statistické vyhodnocení vlivu plynopropustnosti zemin na výsledné koncentrace radonu v půdním vzduchu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2007, 175–177.
- PACHEROVÁ, P. – BARNET, I. (2009): Geologické parametry při sledování radonu v podloží na přechodném indexu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2008, 183–185.