

Nová metodika stanovení radonového indexu pozemku

1. Úvod

Předložená práce shrnuje výsledky tříletého výzkumného úkolu zadaného Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v r. 2000. Řešitelem úkolu byla firma RADON v.o.s., na výzkumu, terénních pracích, zpracování výsledků a sestavení výsledného textu se dále podíleli pracovníci Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze a České geologické služby. Text byl připomínkován pracovníky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, Státního ústavu radiační ochrany a Státního ústavu pro jadernou, chemickou a biologickou ochranu. Cílem výzkumného úkolu bylo sestavit novelizovanou metodiku stanovení radonového indexu na stavebních pozemcích, která by se po schválení Státním úřadem pro jadernou bezpečnost stala závaznou pro všechny odborníky, firmy a státní subjekty, provádějící tento typ měření. Pro tuto činnost je nutno získat Povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Získání tohoto Povolení je podmíněno kromě jiného i účastí na odborném kurzu pořádaném Přírodovědeckou fakultou Univerzity Karlovy v Praze, úspěšným absolvováním zkoušek zvláštní odborné způsobilosti a schválením systému jakosti Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Pouze odpovídající odborník tak může využít metodické postupy založené na expertním subjektivním hodnocení.

Anglický i český text je rozdělen do dvou částí. V první části (kap. 2) je prezentován navrhovaný text novelizované metodiky, v dalších kapitolách jsou pak stručně popsány jednotlivé dílčí úkoly a výsledky, jejichž syntéza vedla k sestavení novelizované metodiky. Podrobné zprávy o řešení jednotlivých dílčích úkolů jsou v českém jazyce ve vlastnictví SÚJB, v této publikaci jsou zmíněny vzhledem k omezenému rozsahu pouze stručné zásadní informace. Tato metodika částečně navazuje na dosud používanou metodiku (BARNET 1994), zohledňuje však nové poznatky, získané během výzkumných prací v rámci Radonového programu České republiky. Mezi hlavní témata, která byla při sestavování metodiky sledována, patří statistická analýza existujících i nově měřených datových souborů objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, studium geometrie aktivního prostoru při odběru vzorků půdního vzduchu, srovnání metod využívaných při stanovení propustnosti půdy a posouzení vlivu dalších parametrů půdy na stanovení radonového indexu. Posuzována byla i použitelnost metody založené na měření plošné exhalace radonu z povrchu půdy pro zjišťování radonového potenciálu, zvláště v případech problematického odběru vzorků půdního vzduchu. Významnou součástí výzkumných prací byl i vývoj nových referenčních ploch pro kvalitnější srovnávací měření jednotlivých subjektů. Testována byla i použitelnost nové metodiky pro účely mapování radonového indexu v regionálním měřítku.

Novelizovaná metodika je založena na podrobnějším posouzení stavebního pozemku, zejména z hlediska propustnosti zemin. Výsledkem hodnocení je stanovení radonového indexu pozemku, které lépe klasifikuje hraniční

případy a více respektuje nehomogenitu v propustnosti zemin na jednotlivých stavebních pozemcích.

2. Stanovení radonového indexu pozemku – nová metodika

2.1. ÚVOD

Stanovení radonového indexu pozemku vychází z posouzení hodnot objemové aktivity radonu (^{222}Rn) v půdním vzduchu a z posouzení plynopropustnosti zemin. Čím vyšší je objemová aktivita radonu v půdním vzduchu a čím jsou vrstvy zemin propustnější, tím vyšší je pravděpodobnost, že může do objektu pronikat významné množství radonu.

Radonový index pozemku (RI) vyjadřuje obecně radonový potenciál daného pozemku. Radonový index stavby (RB) vyjadřuje míru potřebné stavební ochrany stavby proti vnikání radonu z geologického podloží. Radonový index stavby vychází z radonového indexu pozemku a zohledňuje hloubku založení stavby, způsob založení stavby a stav základových zemin. Na jednom pozemku s daným radonovým indexem může být radonový index stavby rozdílný např. pro objekt založený při povrchu terénu a pro objekt se dvěma suterény. Dále uvedená metodika se zabývá stanovením radonového indexu pozemku, vychází z realizovaných výzkumných úkolů v letech 1994–2002 a upravuje dosud platnou metodiku Kategorizace radonového rizika základových půd z roku 1994. V závěrečné kapitole jsou shrnuty podklady, které by měl dále radonový průzkum pozemku poskytnout odborníkům v oboru stavebnictví – navrhování ochrany stavby proti pronikání radonu z podloží. Metodika je v souladu s příslušnými ustanoveními zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a s prováděcí vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně. Firmy a fyzické osoby, které provádějí stanovení radonového indexu, musí mít podle odpovídajících ustanovení výše uvedeného zákona povolení k této činnosti od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

2.2. TERMINOLOGIE

Pro účely této metodiky se rozumí pod pojmy:

Radon – izotop radonu ^{222}Rn .

Objemová aktivita radonu – počet přeměn izotopu ^{222}Rn za 1 sekundu v jednom kubickém metru půdního vzduchu.

Radonový index pozemku (RI) – index popisující míru rizika pronikání radonu z geologického podloží na daném pozemku. Nabývá hodnot nízký – střední – vysoký.

Radonový index stavby (RB) – index vyjadřující míru potřebné stavební ochrany stavby před vnikáním radonu z geologického podloží. Stanovuje se s ohledem na radonový index pozemku, způsob založení stavby a parametry zemin.

Radonový potenciál pozemku (RP) – číselná hodnota vyjadřující radonový index pozemku. Je-li $RP < 10$, radonový index pozemku je nízký, je-li $10 \leq RP < 35$, radonový index pozemku je střední, je-li $RP \geq 35$, radonový index pozemku je vysoký.

Zemina – zahrnuje jak zeminy (tj. produkt větrání hornin, nezpevněný), tak i půdy (tj. svrchní horizonty zvětrání hornin s organickou substancí), dále horniny skalního podkladu, pokud se vyskytují ve svrchních horizontech ovlivňujících stanovení radonového indexu pozemku, a případně i antropogenní navážky, pokud se na pozemku vyskytují.

Půdní vzduch – směs plynů obsažených v zeminách.

Plynopropustnost – reprezentativní parametr charakterizující možnost šíření radonu a jiných plynů v zeminách, určuje se přímým měřením nebo odborným posouzením zemin.

Popis zemin ve vertikálním profilu – popis jednotlivých vrstev zemin dostatečně charakterizující jejich strukturně mechanické vlastnosti pro odborné posouzení plynopropustnosti, s udáním jejich mocnosti a hloubky uložení pod povrchem terénu.

Třetí kvartil – 75 % percentil souboru hodnot. Pro účely stanovení radonového indexu pozemku je postup stanovení hodnoty třetího kvartilu souboru dat následující: soubor dat o N hodnotách se seřadí vzestupně, pořadové číslo třetího kvartilu souboru N_{75} se stanoví výpočtem podle $N_{75} = \text{CELÁ ČÁST}(0,75N + 0,25)$. Hodnota třetího kvartilu souboru dat je odpovídající hodnota ze vzestupně seřazeného souboru dat tomuto pořadí.

2.3. OBJEMOVÁ AKTIVITA RADONU V PŮDNÍM VZDUCHU

Základní úkol radonového průzkumu představuje přímé stanovení objemové aktivity radonu ^{222}Rn v půdním vzduchu v hloubce 0,8 m. Objemová aktivita radonu se stanovuje měřením radioaktivity vzorků půdního vzduchu odebraných v dané hloubce.

Podmínkou užití zvolené metody je:

- (a) dostatečná citlivost (mez stanovitelnosti $\leq 1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$),
- (b) kalibrace přístroje příslušným Státním metrologickým střediskem pro měření radonu a ekvivalentní objemové aktivity radonu,
- (c) ověření metodiky odběru půdního vzduchu a stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu na terénních referenčních plochách pro srovnávací měření objemové aktivity radonu.

Objemová aktivita radonu v půdním vzduchu se značí v souladu s platnou normou ČSN ISO 31-9 symbolem c_A . Udává se v jednotkách $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ a při zápisu hodnoty se pro tyto účely udává s přesností na jedno desetinné místo.

Obvykle se stanovují okamžité hodnoty objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, principiálně je možné vy-

užít i integrální nebo kontinuální metody měření a stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, pokud splňují uvedené požadavky.

Pokud se stanovují okamžité hodnoty objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, je nutné kontrolovat pozadí používaných scintilačních nebo ionizačních komor. Pozadí detekčních komor má být nižší než 1/10 signálu při měření vzorku půdního vzduchu.

Thorium přítomné v zeminách a horninách generuje thoron (^{220}Rn), zdroj záření alfa, jehož objemová aktivita v půdním vzduchu bývá stejného řádu jako objemová aktivita radonu. Při stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu provedeného v krátkých časových intervalech po odběru vzorků půdního vzduchu je nezbytné použít postupů zpracování měřených veličin, které vliv thoronu na výsledné hodnoty objemové aktivity radonu vylučují.

2.3.1. Počet odběrových bodů

Vzhledem k nestejnomořné distribuci radonu v zeminách a častému výskytu lokálních odchylek objemové aktivity radonu v půdním vzduchu je pro stanovení radonového indexu pozemku nutný vyšší počet bodových měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu.

V případě hodnocení pozemků o rozloze menší nebo rovné 800 m^2 (zpravidla pro výstavbu jednotlivého samostatně stojícího rodinného domu či obdobně velkého objektu, pro přístavbu obdobného objektu či pro celkovou rekonstrukci spojenou se změnami v kontaktních konstrukcích) je nutno provést měření v rozsahu minimálně 15 odběrových bodů. Odběrové body se přitom rozmísťují v zastavěné ploše a nejbližším okolí této jednotlivé stavby.

V případě hodnocení pozemků o rozloze větší než 800 m^2 (zpravidla pro zástavbu více objektů či pro výstavbu jednotlivého objektu o větší zastavěné ploše než 800 m^2) se postupuje v základní odběrové síti $10 \times 10 \text{ m}$ v zastavěných plochách a nejbližším okolí. V případě, že tato síť nemůže být dodržena (zpevněné plochy, stávající zástavba ap.), se průzkum provádí s odpovídajícím počtem odběrových bodů této sítě. jednotlivé odběrové body se přitom situují tak, aby co nejlépe umožnily popsat distribuci radonu v zájmovém území.

Při výskytu lokálních anomálií objemové aktivity radonu v půdním vzduchu (překračujících trojnásobek třetího kvartilu – $3 \cdot c_{A75}$) je doporučeno rozšířit minimální odběrový soubor, resp. zahustit základní odběrovou síť $10 \times 10 \text{ metrů}$ do sítě $5 \times 5 \text{ m}$.

2.3.2. Metodika odběru vzorků půdního vzduchu

Pro odběry vzorků půdního vzduchu se používají zpravidla malopřůměrové duté tyče s volným hrotem v kombinaci s velkoobjemovými injekčními stříkačkami či pumpami. Při odběrech vzorků půdního vzduchu pro stanovení okamžitých hodnot objemové aktivity radonu musí být celý systém pro odběr vzorků půdního vzduchu dokonale těsný. Použití odběrových systémů, které nejsou dostatečně těsné nebo výkonem nedosahují potřebný podtlak pro odčerpání vzorku půdního vzduchu (jako např. odběrový balónek),

může vést k podhodnocení skutečné hodnoty objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a není pro odběr vzorků povoleno.

Objem odběrového prostoru, který vzniká zpravidla povytáháním volného hrotu, musí být dostatečně velký, aby odběr vzorku vůbec umožnil. Minimální požadovaný vnitřní povrch dutiny vytvořený pro odběr vzorku půdního vzduchu je stanoven na 940 mm^2 (odpovídá válci o průměru 10 mm a výšce 30 mm).

Odběr vzorků půdního vzduchu se provádí v hloubce 0,8 m pod povrchem terénu. V případech, kdy není možné odebrat vzorek půdního vzduchu pro stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu v hloubce 0,8 m (extrémně nízká plynopropustnost, vysoká saturace odběrového horizontu vodou, skalní podklad při povrchu terénu), se postupuje následujícím způsobem. Pokud je příčinou extrémně nízká plynopropustnost odběrového horizontu, je možné zvětšit odběrový prostor zpětným povytahováním tyče zpravidla o 10–15 cm. Pokud nedojde k odkrytí výše uložených vrstev půdy s vyšší propustností nebo k uvolnění tyče v zemině a následnému přisávání atmosférického vzduchu, je možné zvětšit odběrový prostor povytahováním tyče až do úrovně 0,5 m pod povrchem terénu, při zachování dokonalé těsnosti systému. Obdobný postup lze využít v případě vysoké saturace odběrového horizontu vodou, kdy je možno tento postup kombinovat s probubláváním půdního vzduchu vodou. Podobně pro případ, kdy svrchní horizonty skalního podkladu vystupují mělce k povrchu terénu a kdy není možné odběrové zařízení do požadované úrovně (tj. hloubky 0,8 m) umístit, je minimální hloubka pro měření objemové aktivity radonu stanovena na 0,5 m pod povrchem terénu. V případě nutnosti je možné odběry opakovat, resp. jednotlivé odběrové body posunout proti základní síti $10 \times 10 \text{ m}$. Všechny tyto odchylky od standardní odběrové úrovně 0,8 m je nutno uvést v závěrečném posudku včetně zdůvodnění. Posouzení vlivu těchto odchylek je v kompetenci erudovaného zpracovatele posudku.

Pokud není možné provádět odběry vzorků ani výše uvedeným postupem, je pro stanovení radonového indexu pozemku vhodné využít situace, kdy bude odkryta a upravena základová spára objektu, a radonový průzkum opakovat. Případně lze také využít expertní hodnocení pomocí měření rychlosti plošné exhalace radonu z povrchu terénu, stanovení měrné aktivity ^{226}Ra ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) a koeficientu emanace ve vzorcích hornin skalního podkladu. Vzhledem k rozmanitosti možných situací nejsou tyto postupy standardizovány a v takovém mimořádném případě je měření i hodnocení třeba provést s použitím nejnovějších poznatků o šíření radonu v geologickém podloží s přihlédnutím ke konkrétní situaci.

Odběry vzorků půdního vzduchu a měření objemové aktivity radonu nelze provádět v extrémních meteorologických podmínkách.

2.3.3. Zpracování a prezentace souboru naměřených hodnot objemové aktivity radonu v půdním vzduchu

Hodnocení ploch stavenišť, případně jejich částí, vychází z naměřených hodnot objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a jejich distribuce.

Při hodnocení ploch jednotlivých objektů (pozemky o rozloze menší nebo rovné 800 m^2 , 15 odběrových bodů a stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu) je pro stanovení radonového indexu pozemku významná zejména hodnota třetího kvartilu (značena c_{A75}) statistického souboru hodnot objemové aktivity radonu. Případně naměřené hodnoty objemové aktivity radonu nižší než $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ se z hodnoceného souboru vyloučí. Posouzení celého souboru naměřených hodnot a zvážení významu případných lokálních maximálních anomálií objemové aktivity radonu v ojedinělých bodech je v kompetenci erudovaného zpracovatele posudku. V posudku o stanovení radonového indexu pozemku musí být uvedeny alespoň následující statistické parametry souboru naměřených hodnot: minimální hodnota, maximální hodnota, aritmetický průměr, medián a třetí kvartil.

Při hodnocení velkých pozemků (pozemků o rozloze větší než 800 m^2 , objemová aktivita radonu v půdním vzduchu stanovena v síti $10 \times 10 \text{ m}$) je nutno rozhodnout, zda je plocha natolik homogenní, že ji lze charakterizovat jedním radonovým indexem, tj. pro hodnocení lze využít obdobně hodnotu třetího kvartilu statistického souboru hodnot objemové aktivity radonu c_{A75} ; hodnoty nižší než $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ nejsou opět začleněny do takto hodnoceného souboru.

Pokud hodnocený velký pozemek homogenní není, připadají v úvahu tři možnosti:

- (a) plocha se skládá z několika homogenních dílčích ploch,
- (b) plochou prochází poruchové pásmo,
- (c) na ploše se vyskytují lokální anomálie.

V případech (a) a (b) erudovaný zpracovatel posudku rozdělí plochu podle grafické prezentace plošného rozšíření hodnot objemové aktivity radonu vizuálně do dostatečně homogenních dílčích ploch, které řeší odděleně. Výchozí podklad pro toto hodnocení tvoří naměřené hodnoty objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a jejich distribuce v ploše, uvažují se zároveň i případné změny plynopropustnosti zemin v ploše.

Při posuzování, zda je plocha (díličí plocha) dostatečně homogenní či nikoli, je kromě vizuálního hodnocení distribuce radonu v ploše u dostatečně velkých souborů (více než 50 hodnot) možno vycházet z vyhodnocení histogramů příslušných datových souborů. Jinou možností je využití grafického testu, který spočívá v tom, že hodnoty seřazené podle velikosti se zobrazí proti logitům relativního pořadí, tj. $\ln[r/(1-r)]$, kde $r = i/(n+1)$, přičemž i je pořadí hodnoty v seřazených datech. Tento způsob umožňuje vizuálně posoudit, zda jde o unimodální či vícemodální vzorek. Jestliže se tvar závislosti blíží přímce, je rozdělení dat souboru normální, resp. lognormální. Je-li graf ve tvaru lomené přímky, je soubor vícemodální.

Pro hodnocení radonového indexu pozemku je rozhodujícím parametrem opět hodnota třetího kvartilu odpovídající

cího datového souboru. U homogenních ploch tedy třetí kvartil celého souboru, u nehomogenních ploch největší z třetích kvartilů z dílčích ploch, které jsou pro daný pozemek, resp. danou stavbu relevantní.

V případě (c) je rozhodující, jakou váhu přiřadí erudovaný zpracovatel posudku lokálním anomáliím (vazba na geologické či negeologické faktory ovlivňující distribuci radonu v půdním vzduchu, zcela náhodný výskyt apod.), resp. jaké výsledky přinesly případné doplňující odběry a měření zahušťující základní odběrovou síť. Ve zdůvodněném případě mohou tyto anomálie ovlivnit celkové hodnocení a výsledné stanovení radonového indexu pozemku.

Při zpracování posudků pro velké pozemky musí být v posudku kromě uvedených statistických parametrů – minimální a maximální hodnoty, aritmetického průměru, mediánu a třetího kvartilu souboru dat objemové aktivity radonu v půdním vzduchu – uvedeny všechny stanovené hodnoty objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a grafická prezentace těchto hodnot (jejich situování v ploše), umožňující vizuální hodnocení plošné distribuce objemové aktivity radonu v půdním vzduchu.

2.4. PLYNOPROPUSTNOST ZEMIN

Druhým parametrem rozhodným pro stanovení radonového indexu pozemku je plynopropustnost zemin. Prostředí s vyšší plynopropustností je z hlediska stanovení radonového indexu pozemku obecně více rizikové než méně plynopropustné prostředí, neboť možnost transportu půdního vzduchu a radonu do stávajícího nebo budoucího stavebního objektu se s rostoucí plynopropustností zvyšuje.

2.4.1. Postupy stanovení plynopropustnosti zemin

Pro stanovení plynopropustnosti zemin je možno využít postupy:

- ⇒ přímé měření plynopropustnosti zemin *in situ*,
- ⇒ odborné posouzení plynopropustnosti zemin.

Plynopropustnost zemin se značí symbolem k . V případě přímého měření plynopropustnosti zemin *in situ* se udává v jednotkách m^2 a při zápisu hodnoty se pro tyto účely udává s přesností na jedno desetinné místo (např. $1,7 \cdot 10^{-12} m^2$). V případě odborného posouzení plynopropustnosti zemin se hodnotí jako nízká – střední – vysoká.

2.4.1.1. Přímé měření plynopropustnosti zemin

Pro stanovení plynopropustnosti zemin je možné využít přímé měření plynopropustnosti *in situ* v hloubce 0,8 m pod povrchem terénu.

Přístroje pro měření plynopropustnosti zemin pracují na principu měření průtoku vzduchu při jeho vysávání ze zeminy nebo při jeho vtlačení do zeminy za použití stálého a přesně definovaného tlakového rozdílu. Při přímém měření plynopropustnosti se používají zpravidla shodné technické prostředky jako při odběrech vzorků půdního vzduchu (maloprůměrové duté záražené tyče s volným hrotem).

Vnitřní povrch dutiny, která vzniká povyražením volného hrotu, je pro každý měřicí systém přesně definován. Pro přímé měření plynopropustnosti zemin je principiálně možné využít jakýkoli přístroj určený pro tento účel. Vzhledem k problematickému stanovení tzv. „geometrického faktoru“ při tomto měření, opravám na volný průtok vzduchu tyčí a přístrojem, které jsou pro každý přístroj specifické, a vzhledem k tomu, že není zavedena kalibrace přístrojů a standardizace měření plynopropustnosti, je nutno hodnoty plynopropustnosti zemin měřené jinými přístroji než v Česku převážně užívaným plynopropustoměrem RADON-JOK na tento přístroj navázat.

Při přímém měření plynopropustnosti není dovoleno zvětšovat měřicí prostor v zemině. Pro nízkou plynopropustnost se zavádí pomocná mezní hodnota $k = 5,2 \cdot 10^{-14} m^2$. Jestliže je plynopropustnost $k < 5,2 \cdot 10^{-14} m^2$ (při měření plynopropustoměrem RADON-JOK odpovídá času měření delšímu než 1200 s), a plynopropustnost není přesně stanovena, uvede se v přehledu výsledků hodnota $k < 5,2 \cdot 10^{-14} m^2$ a při statistickém vyhodnocení se používá hodnota této meze, tj. $k = 5,2 \cdot 10^{-14} m^2$.

Obdobně, vzhledem k odporu proti volnému průtoku vzduchu tyčí a přístrojem, se zavádí pomocná mezní hodnota $k = 1,8 \cdot 10^{-11} m^2$ pro vysokou plynopropustnost. Pokud je plynopropustnost $k > 1,8 \cdot 10^{-11} m^2$ (při měření plynopropustoměrem RADON JOK odpovídá času měření kratšímu než 6 s), a plynopropustnost není přesně stanovena, uvede se v přehledu výsledků hodnota $k > 1,8 \cdot 10^{-11} m^2$ a při statistickém vyhodnocení se používá hodnota této meze, tj. $k = 1,8 \cdot 10^{-11} m^2$.

V případě přímého měření plynopropustnosti jsou požadavky na minimální počet měřicích bodů stejné jako u měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, tj. minimálně 15 měřicích bodů u jednotlivého objektu (pozemky o rozloze menší nebo rovné $800 m^2$) a měření v síti $10 \times 10 m$ u větších ploch (pozemky o rozloze větší než $800 m^2$). Rozhodujícím parametrem pro stanovení radonového indexu pozemku je shodný statistický parametr, tj. opět třetí kvartil datového souboru (značen k_{75}). Použití třetího kvartilu snižuje vliv ojedinělých vysokých hodnot plynopropustnosti, které by mohly v některých případech způsobovat zařazení plynopropustnosti do vyšší kategorie a tím i nadhodnocení radonového indexu pozemku.

V případě přímého měření plynopropustnosti zemin není pro stanovení radonového indexu pozemku nutný popis zemin ve vertikálním profilu, tj. realizace ručně vrtaných sond. Pokud jsou k dispozici numerické výsledky přímých měření plynopropustnosti k *in situ* (m^2) – a pouze v tomto případě, – je možné pro stanovení radonového indexu pozemku použít model RP (radonový potenciál pozemku, kap. 2.5.1.).

2.4.1.2. Odborné posouzení plynopropustnosti zemin

Pokud není plynopropustnost zemin měřena přímo ve všech shodných odběrových bodech, kde je stanovena objemová aktivita radonu v půdním vzduchu, je nutno pro hodnocení plynopropustnosti zemin využít odborné posouzení plynopropustnosti zemin erudovaným zpracovatelem závěrečného posudku.

Odborné posouzení plynopropustnosti zemín (klasifikace nízká – střední – vysoká) je založeno na popisu zemín ve vertikálním profilu do hloubky nejméně 1,0 m (resp. v případě vysokého obsahu hrubé frakce či v případě svrchních horizontů skalního podkladu vystupujících mělce pod povrch terénu do hloubky, do jaké lze realizovat ručně vrtanou sondou) a je doplněno alespoň jednou z následujících metod:

- ⇒ makroskopický popis vzorku (vzorků) odebraného z hloubky 0,8 m, včetně klasifikace plynopropustnosti (nízká – střední – vysoká). Při této klasifikaci se využívá odhadu obsahu jemné frakce „f“ (frakce < 0,063 mm) v zeminách a horninách, nízké plynopropustnosti odpovídá obsah jemné frakce $f > 65 \%$, střední plynopropustnosti odpovídá obsah jemné frakce f v mezích $15 \% < f \leq 65 \%$ a vysoké plynopropustnosti obsah jemné frakce $f \leq 15 \%$. Klasifikace je poté upravena v návaznosti na dále uvedené faktory ovlivňující výslednou plynopropustnost;
- ⇒ subjektivní hodnocení odporu sání při odběru vzorků půdního vzduchu v celkem patnácti měřicích bodech u jednotlivé stavby, resp. v síti 10×10 m u větších ploch, včetně odhadu převažující klasifikace plynopropustnosti (nízká – střední – vysoká).

Při odborném posouzení plynopropustnosti zemín a pro posouzení jejich vertikálních a horizontálních změn je v případě hodnocení pozemků o rozloze menší nebo rovné 800 m^2 nutno realizovat minimálně dvě ručně vrtané sondy, v případě pozemků o rozloze větší než 800 m^2 potom minimálně dvě ručně vrtané sondy + jednu ručně vrtanou sondu na každých ukončených 30 odběrových bodů pro měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu. Přitom je třeba věnovat pozornost zejména následujícím otázkám:

- Byla v odběrovém horizontu zastižena tak vysoká přirozená vlhkost, tj. tak vysoký stupeň saturace a nízká efektivní pórovitost, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její snížení)?
- Byla v odběrovém horizontu zastižena tak nízká přirozená vlhkost, tj. tak nízký stupeň saturace a vysoká efektivní pórovitost, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její zvýšení)?
- Byla v odběrovém horizontu zastižena neobvykle nízká pórovitost, tj. vysoká objemová hmotnost a ulehlost, resp. zhutnění, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její snížení)?
- Byla v odběrovém horizontu zastižena neobvykle vysoká pórovitost, tj. nízká objemová hmotnost a ulehlost, resp. nakypření, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její zvýšení)?
- Vyskytují se v geologickém prostředí makrotrhliny a mikrotrhliny v takovém rozsahu, že mohou zvýšit zdánlivě nižší plynopropustnost zemín?
- Je kumulace jemné frakce (např. výskyt jílovitých částeček) v odběrovém horizontu taková, že může zvýšit zdánlivě nižší plynopropustnost zemín odpovídající homogennímu rozšíření této jemné frakce?
- Je obsah hrubé frakce (úlomků, valounků ap.) tak vysoký či má zemina charakter sutě, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její zvýšení)?

- Je stupeň porušení svrchních horizontů skalního podkladu při jejich výskytu v odběrovém horizontu takový či se zde vyskytují poruchové zóny, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její zvýšení)?
- Je důsledek antropogenní činnosti (hluboká orba spojená s možností odvětrání svrchních poloh, výskyt neulehlých navážek, výskyt různých propustnějších trativodů, odběry možné jen v bezprostřední blízkosti stromů ap.) v rozsahu povrch terénu – odběrový horizont takový, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její zvýšení)?
- Je důsledek antropogenní činnosti (zhutnění svrchních poloh, výskyt zpevněných ploch s dokonalým těsnicím efektem ap.) v rozsahu povrch terénu – odběrový horizont takový, že je nutné uvážit vliv těchto parametrů na aktuální plynopropustnost zemín (její snížení)?
- Je pozemek ve svahu a je zároveň vrstevnatost svrchních horizontů taková, že odběrový horizont tvoří více různě propustných poloh a že je tedy nutné uvážit vliv této situace na aktuální plynopropustnost zemín (její zvýšení či snížení)?

Pozn.: Je-li na shodném pozemku současně prováděn podrobný inženýrskogeologický nebo hydrogeologický průzkum či byl tento průzkum realizován v minulosti a má-li zpracovatel radonového průzkumu podrobné údaje v dostatečném rozsahu z tohoto průzkumu k dispozici, není nutno provádět pro stanovení radonového indexu pozemku speciální ručně vrtané sondy. Pro odborné posouzení plynopropustnosti zemín se využijí podrobné údaje inženýrskogeologického průzkumu.

Pokud se při stanovení plynopropustnosti zemín využívá odborné posouzení plynopropustnosti zemín, pro stanovení radonového indexu pozemku RI se využívá klasifikační tabulka (kap. 2.5.2.).

2.4.2. Presentace výsledků a způsob klasifikace plynopropustnosti zemín

Hodnocení radonového indexu pozemku využívá plynopropustnosti zemín určené některým z dále uvedených postupů.

2.4.2.1. Přímé měření plynopropustnosti zemín

Při hodnocení ploch jednotlivých objektů (pozemky o rozloze menší nebo rovné 800 m^2 , 15 přímých měření plynopropustnosti zemín *in situ*) je pro stanovení radonového indexu pozemku významná zejména hodnota třetího kvartilu (značena k_{75}) statistického souboru hodnot plynopropustnosti. Posouzení celého souboru zjištěných hodnot, zvážení významu případných lokálních maximálních a minimálních anomálií plynopropustnosti v ojedinělých bodech je v kompetenci erudovaného zpracovatele posudku. V posudku musí být uvedeny alespoň následující statistické parametry souboru zjištěných hodnot: minimální hodnota, maximální hodnota, aritmetický průměr, medián a třetí kvartil.

Při hodnocení velkých pozemků (pozemků o rozloze

větší než 800 m², plynopropustnost zemin stanovena v síti 10 × 10 m) je nutno rozhodnout, zda je plocha natolik homogenní, že ji lze charakterizovat jednou hodnotou plynopropustnosti, tj. pro hodnocení lze využít obdobně hodnotu třetího kvartilu statistického souboru hodnot plynopropustnosti k_{75} .

Pokud hodnocený velký pozemek homogenní není, připadají v úvahu tři možnosti (zpravidla v návaznosti na geologické poměry):

- (a) plocha se skládá z několika homogenních dílčích ploch,
- (b) plochou prochází pásmo s odlišnou plynopropustností,
- (c) na ploše se vyskytují lokální anomálie plynopropustnosti.

V případech (a) a (b) erudovaný zpracovatel posudku rozdělí plochu pomocí grafické prezentace plošného rozšíření hodnot vizuálně do dostatečně homogenních dílčích ploch, které řeší odděleně. Výchozí podklad pro toto hodnocení tvoří zjištěné hodnoty plynopropustnosti zemin a jejich distribuce v ploše, uvažují se zároveň i případné změny objemové aktivity radonu v půdním vzduchu v ploše.

Pro hodnocení je rozhodujícím parametrem opět třetí kvartil odpovídajícího datového souboru. U homogenních ploch tedy třetí kvartil celého souboru, u nehomogenních ploch největší z třetích kvartilů z dílčích ploch, které jsou pro daný pozemek, resp. danou stavbu relevantní.

V případě (c) je rozhodující, jakou váhu přiřadí erudovaný zpracovatel posudku lokálními anomáliím (vazba na geologické či negeologické faktory ovlivňující distribuci radonu v půdním vzduchu, zcela náhodný výskyt apod.). Ve zdůvodněném případě mohou tyto anomálie ovlivnit celkové hodnocení a výsledné stanovení radonového indexu pozemku.

Při zpracování posudků pro velké pozemky musí být v posudku kromě zmíněných statistických parametrů – minimální hodnota, maximální hodnota, aritmetický průměr, medián a třetí kvartil – uvedeny všechny zjištěné hodnoty plynopropustnosti zemin a grafický přehled těchto hodnot (jejich situování v ploše), umožňující vizuální hodnocení plošné distribuce plynopropustnosti.

2.4.2.2. Odborné posouzení plynopropustnosti zemin

Při hodnocení ploch jednotlivých objektů (pozemky o rozloze menší nebo rovné 800 m², 2 ručně vrtané sondy a popis zemin ve vertikálním profilu do hloubky min. 1,0 m, resp. do dosažitelné hloubky – viz výjimka uvedená v kap. 2.4.1.2.), je odborné posouzení plynopropustnosti zemin (klasifikace nízká – střední – vysoká) založeno na popisu zemin ve vertikálním profilu do hloubky minimálně 1,0 m (resp. do dosažitelné hloubky – viz výjimka uvedená v kap. 2.4.1.2.) a na zvolené metodě (makroskopický popis vzorků, odpor sání).

Výsledkem odborného posouzení plynopropustnosti zemin je klasifikace plynopropustnosti do jedné ze tříd nízká – střední – vysoká, se zdůvodněním pomocí uvedených pravidel.

Při hodnocení velkých pozemků (> 800 m²) je nutno pomocí ručně vrtaných sond a popisů zemin ve vertikálním profilu rozhodnout, zda je plocha natolik homogenní, že ji lze charakterizovat jednou kategorií plynopropustnosti.

Pokud hodnocený velký pozemek homogenní není, při-

padají v úvahu tři možnosti (zpravidla v návaznosti na geologické poměry):

- (a) plocha se skládá z několika homogenních dílčích ploch,
- (b) plochou prochází pásmo s odlišnou plynopropustností,
- (c) na ploše se vyskytují lokální anomálie plynopropustnosti.

Ve všech případech erudovaný zpracovatel posudku rozdělí plochu vizuálně do dostatečně homogenních dílčích ploch, které řeší odděleně. Výchozí podklad pro toto hodnocení tvoří popisy zemin ve vertikálním profilu a horizontální změny, uvažují se zároveň i případné změny objemové aktivity radonu v půdním vzduchu v ploše.

Pro stanovení radonového indexu je rozhodujícím parametrem opět odborně posouzená plynopropustnost. U homogenních ploch tedy jediná kategorie plynopropustnosti, u nehomogenních ploch největší z kategorií plynopropustnosti z dílčích ploch, které jsou pro daný pozemek, resp. danou stavbu relevantní.

V posudku o radonovém indexu pozemku musí být kromě odborného posouzení plynopropustnosti (nízká – střední – vysoká) uvedeny i popisy zemin ve vertikálním profilu pro všechny realizované ručně vrtané sondy a dále buď makroskopický popis vzorku (vzorků) či sumární přehled subjektivního hodnocení odporu sání při odběru vzorků půdního vzduchu.

2.5. STANOVENÍ RADONOVÉHO INDEXU POZEMKU

Stanovení radonového indexu pozemku vychází z hodnocení dvou vstupních parametrů, objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a plynopropustnosti zemin. Kromě těchto parametrů mohou být pro celkové hodnocení podstatné též údaje o strukturně-geologické situaci pozemku (regionální geologická jednotka, hornina tvořící skalní podklad, tektonické linie, reliéf terénu aj.).

Postup stanovení radonového indexu pozemku RI závisí na typu vstupních dat. Pro numerické údaje objemové aktivity radonu v půdním vzduchu i plynopropustnosti zemin se radonový index pozemku stanoví pomocí radonového potenciálu pozemku RP (kap. 2.5.1.). Pro numerické údaje objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a stanovené kategorie plynopropustnosti zemin odborným posouzením se radonový index pozemku stanoví dále uvedeným postupem (kap. 2.5.2.).

Posudek o stanovení radonového indexu pozemku musí obsahovat i relevantní údaje požadované vzorovým protokolem měření v příloze č. 6 k vyhlášce č. 307/2002 Sb.

2.5.1. Radonový potenciál pozemku

Pokud jsou k dispozici numerické výsledky měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu i přímého měření plynopropustnosti zemin ve všech odběrových bodech, je možno určit radonový index pozemku pomocí modelu „radonový potenciál pozemku“ – RP.

Model, který určuje RP, vychází z dřívějšího klasifikačního schématu radonového indexu pozemku. Úprava pro novelizaci metodiky stanovení radonového indexu pozemku vychází ze situace znázorněné na obr. 1 (Fig. 1 v anglic-

ké verzi na str. 12), nahrazuje lomené hranice oddělující nízký a střední, resp. střední a vysoký radonový index pozemku hraničními přímkami a takto umožňuje citlivější posouzení hraničních případů RI.

Dvojici přímek ve tvaru písmene V, které vymezují střední radonový index, je možné definovat obecně. Jsou dány rovnicemi:

$$-\log k = \alpha_1 \cdot c_A - (\alpha_1 \cdot c_{A0} + \log k_0),$$

$$-\log k = \alpha_2 \cdot c_A - (\alpha_2 \cdot c_{A0} + \log k_0),$$

kde α_1 a α_2 jsou směrnice těchto hraničních přímek a (c_{A0} ; $-\log k_0$) jsou souřadnice jejich průsečíku. Parametr RP je potom definován vztahem:

$$RP = (c_A - c_{A0}) / (-\log k + \log k_0). \quad [1]$$

Pro zachování návaznosti na dřívější metodiku klasifikace radonového rizika (BARNET 1994) je optimální definovat rovnice hraničních přímek a parametr RP v následujícím tvaru:

$$-\log k = 1/10 \cdot c_A - (1/10 + \log 1E-10) = 0,1 c_A + 9,9$$

$$-\log k = 1/35 \cdot c_A - (1/35 + \log 1E-10) = 0,0286 c_A + 9,971$$

$$RP = (c_A - 1) / (-\log k - 10). \quad [2]$$

kde $c_A = 1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$, resp. $-\log k_0 = 10$ při $k_0 = 1E-10 \text{ m}^3$ jsou vhodně zvolené souřadnice průsečíku hraničních přímek se směrnici $\alpha_1 = 1/10 \text{ (kBq} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ a $\alpha_2 = 1/35 \text{ (kBq} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$.

Grafické znázornění je uvedeno na obr. 2 (Fig. 2 v anglické verzi na str. 13).

Pro určení radonového potenciálu pozemku pomocí grafu na obr. 2 se využívá zpravidla (kap. 2.3.3.) hodnota třetího kvartilu (c_{A75}) statistického souboru hodnot objemové aktivity radonu a hodnota třetího kvartilu (k_{75}) statistického souboru hodnot plynopropustnosti zemin.

Zpracovatel posudku může zvolit pro hodnocení ve zvláštním zdůvodněném případě i jiný statistický parametr, důvody jeho použití musí být v posudku uvedeny.

Výsledkem hodnocení je číselná hodnota RP podle rovnice [2], charakterizující jednoznačně radonový index pozemku a umožňující zároveň jeho slovní vyjádření (je-li $RP < 10$, radonový index pozemku je nízký, při $10 \leq RP < 35$ je radonový index pozemku střední, je-li $RP \geq 35$, radonový index pozemku je vysoký).

2.5.2. Stanovení radonového indexu pozemku v ostatních případech

Pokud nejsou k dispozici numerické údaje z přímého měření plynopropustnosti zemin, vychází se při stanovení radonového indexu pozemku z tabulky 1.

Jako rozhodující parametr pro hodnocení podle této tabulky se využívá zpravidla (kap. 2.3.3.) hodnota třetího kvartilu (c_{A75}) statistického souboru hodnot objemové aktivity radonu.

Při hodnocení velkých ploch se využívá zpravidla třetí kvartil celého statistického souboru hodnot (v případě homogenních ploch), resp. u nehomogenních ploch největší z třetích kvartilů z dílčích ploch, které jsou pro danou stavbu – zastavěnou plochu – relevantní.

Zpracovatel posudku může zvolit pro hodnocení ve zvláštním zdůvodněném případě i jiný statistický parametr (kap. 2.3.3.), důvody jeho použití musí být v posudku uvedeny.

Tabulka 1. Stanovení radonového indexu pozemku

radonový index pozemku	objemová aktivita radonu v půdním vzduchu ($\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$)		
nízký	$c_A < 30$	$c_A < 20$	$c_A < 10$
střední	$30 \leq c_A < 100$	$20 \leq c_A < 70$	$10 \leq c_A < 30$
vysoký	$c_A \geq 100$	$c_A \geq 70$	$c_A \geq 30$
	nízká	střední	vysoká
	plynopropustnost zemin		

Plynopropustnost zemin je určena postupem uvedeným v kap. 2.4.1.2. a 2.4.2.2.

Výsledkem hodnocení je stanovení radonového indexu pozemku (nízký – střední – vysoký).

2.6. RADONOVÝ PRŮZKUM POZEMKU

Tato závěrečná kapitola se netýká přímo stanovení radonového indexu pozemku (RI), pouze doplňuje podklady, které by měl dále radonový průzkum pozemku poskytnout, aby mohl být následně určen radonový index stavby (RB).

V případě nepodsklepených rodinných domů i dalších nepodsklepených objektů založených v nezámrzné hloubce 0,8 m či blíže povrchu terénu, popř. nad terénem, tj. s kontaktními spárami objektu s podložím v maximální hloubce 0,8 m, není nutno pro účely stanovení RB zpracovávat v rámci radonového průzkumu pozemku žádné další speciální úkoly.

V ostatních případech, tj. když není známa úroveň založení budoucího objektu, resp. je hlouběji než odběrová úroveň při stanovení radonového indexu pozemku, je nutno v rámci radonového průzkumu pozemku připravit podklady pro stanovení radonového indexu stavby (hloubku založení stavby a další faktory je možno zohlednit pouze tehdy, pokud jsou k dispozici odpovídající údaje).

Terénní práce, dokumentace plynopropustnosti zemin a posudek se v těchto případech rozšiřuje o:

- popis (popisy) vertikálního profilu do úrovně min. 1,5 m včetně příslušného hodnocení plynopropustnosti jednotlivých vrstev s využitím pravidel hodnocení v kap. 2.4.1.2. a 2.4.2.2.
- informace o horninách tvořících skalní podklad v zájmovém území, zohledňující zvláště možný výskyt hornin s vysokým obsahem radia ^{226}Ra a tedy možný nárůst objemové aktivity radonu s hloubkou.

Radonový index stavby (RB) vyjadřuje míru potřebné stavební ochrany stavby před vnikáním radonu z geologického podloží. Vychází z radonového indexu pozemku a zohledňuje hloubku založení stavby a proměnlivost plynopropustnosti zemin ve vertikálním profilu. Stanovení radonového indexu stavby provádějí odborníci v oboru pozemního stavebnictví na základě hodnocení podkladů, které jsou připraveny v rámci průzkumu pro stanovení radonového indexu pozemku (radonový průzkum pozemku) a vlastních předpisů a postupů.

V následujících kapitolách jsou shrnuty výsledky dílčích výzkumných úkolů, na jejichž základě byla sestavena nová metodika.