

*Ing. Jiří Hůlka, Ing. Ivana Fojtíková, Ing. Josef Voltr, CSc., Ing. Karel Jílek
Státní ústav radiální ochrany, v.v.i., Praha
Ing. Martin Simandl, Ing. Ladislav Dušek, Ing. Václav Řeřicha
TESLA, s.r.o., Praha
doc. Ing. Jozef Sabol, DrSc.
Policejní akademie České republiky v Praze
Fakulta bezpečnostního managementu
Katedra krizového řízení*

Riziko ozáření obyvatel radonem a některé nové možnosti jeho monitorování

Úvod

K ozáření obyvatel ionizujícím zářením přispívají jak přírodní zdroje tohoto záření, tak i záření, které souvisí s aplikacemi radiačních a jaderných technologií v medicíně, průmyslu, výzkumu a dalších oblastech.

K ozáření z přírodního pozadí přispívají nejenom přírodní radionuklidy obsažené v zemské kůře a v okolní atmosféře, ale i kosmické záření pocházející z vesmíru. Jejich příspěvek k průměrné radiační zátěži obyvatel České republiky (ČR) je na úrovni kolem 3 mSv, což je hodnota veličiny efektivní dávka, která zohledňuje stochastické (pravděpodobnostní) biologické účinky záření na člověka. Efektivní dávka byla zavedena pro nízké úrovně záření, kde se očekávají pouze stochastické účinky, vesměs karcinogenní. Její jednotkou je sievert (Sv), který odpovídá poměrně vysokému ozáření a proto se v praxi užívá spíše mSv (1 mSv = 0,001 Sv).

Klíčovou roli v ozáření obyvatelstva má vdechování radonu a jeho produktů přeměny, tento příspěvek představuje v České republice kolem padesáti procent celkového průměrného ozáření obyvatelstva. Radon se do budov dostává v zásadě třemi cestami: z geologického podloží, ze stavebního materiálu a z vody. Pokud jde o některé vlastnosti radonu lze uvést, že se jedná o přírodní radioaktivní bezbarvý plyn těžší než vzduch, bez chuti a zápachu. Je známo sice celkem 39 radioaktivních izotopů radonu vesměs s velmi krátkými poločasy radioaktivní přeměny, mluvíme-li v článku o radonu, myslíme na zdaleka nejvýznamnější izotop ^{222}Rn s poločasem radioaktivní přeměny 3,82 dne. Radon vzniká postupnou přeměnou z uranu (^{238}U), který je v různém množství součástí hornin zemské kůry. Z hornin se uvolňuje a stává se součástí vzduchu vyplňujícího póry zemin, odtud se dostává do atmosféry nebo vstupuje do budov. Při špatné izolaci a nedostatečné ventilaci budovy může zde docházet k zadržování radonu a nadměrnému ozařování obyvatel radioaktivními produkty přeměny radonu (jde o izotopy polonia, olova a bismutu zachycené na aerosolu, které se při vdechování vzduchu zachycují v dýchacích cestách a ozařují je). Ozáření způsobené v důsledku expozice radonu může, stejně jako kouření, způsobit karcinom plic. Poměr incidence karcinomu plic v důsledku ozáření z radonu a incidence vyvolané kouřením je přibližně 1:4.

Kvůli tak závažným negativním dopadům radonu na zdraví obyvatelstva probíhal v České republice 20 let rozsáhlý radonový program, který byl roku 2020 nahrazen

Národním akčním plánem pro regulaci ozáření obyvatel z radonu (RANAP). Ten je zaměřen na regulaci ozáření obyvatel z radonu v budovách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, školských zařízeních, budovách sloužících k zajištění sociálních nebo zdravotních služeb a na pracovištích se zvýšeným ozářením z radonu. Dlouhodobé cíle RANAP jsou informovaná a komunikující státní správa, zapojená veřejnost, vzdělání profesionálové, účinná prevence při výstavbě a rekonstrukci budov a efektivní regulace stávajícího ozáření.

Radon v kontextu další složek ozáření obyvatelstva

Přírodnímu ozáření byly organismy vystaveny odjakživa a do značné míry nevyhnutelně. Ačkoli přírodní pozadí v dané lokalitě je víceméně stabilní, na Zemi se vyskytuje několik míst, kde toto záření je mnohonásobně intenzivnější než je světový průměr, který je odhadován na 2,4 mSv za rok. Některé skupiny osob (např. bydlící ve špatně izolovaných starších budovách na podlaží s vysokým radonovým rizikem) mohou být ozařovány dávkami, které o jeden až dva řády převyšují světový průměr a ve výjimečných případech jsou na samé hranici dávek pro deterministické účinky záření. To jsou účinky projevující se bezprostředně po obdržení vysokých dávek.

Různý stupeň ozáření obyvatel souvisí zejména s nadměrnou koncentrací přírodních radionuklidů v daném místě a jeho nadmořskou výškou, která ovlivňuje příspěvek od kosmického záření k celkové dávce. Koncentrace radonu v budovách je v tomto směru výjimečná tím, že její rozpětí může dosahovat až několik řádů a to i v rámci jedné obce v důsledku rozmanitosti geologického podlaží a typu staveb. Je určitým paradoxem, že tomuto největšímu ozáření obyvatelstva, způsobenému radonem v ovzduší budov, začala být věnována pozornost teprve na přelomu 70. a 80. let 20-tého století. V některých rodinných domech v ČR byly nalezeny dokonce tak vysoké úrovně radonu pronikajícího z geologického podlaží, že jeho koncentrace převyšovaly více než 10x mezní hodnoty koncentrací radonu v uranových dolech a odpovídající každoroční dávky obyvatelům těchto domů byly na úrovni více než stonásobku průměrné dávky obyvatelstvu.

Některé složky ozáření z přírodních zdrojů jsou ovlivněny lidskou činností a je proto žádoucí je regulovat. Takovým příkladem jsou protiradonová opatření při výstavbě nových nebo rekonstrukci stávajících budov, opatření ke snížení ozáření osob při využívání podzemních zdrojů vody s vyšším obsahem přírodních radionuklidů, regulace uvolňování přírodních radionuklidů do životního prostředí při některých průmyslových činnostech. První vyhláškou, která zavedla regulaci radonu v budovách, byla Vyhláška ministerstva zdravotnictví České republiky č. 76/1991 Sb., (O požadavcích na omezování ozáření z radonu a dalších přírodních radionuklidů). V roce 1997 byla problematika přírodního ozáření poprvé upravena tzv. Atomovým zákonem¹ (novelizovaným v roce 2016) a prováděcími vyhláškami SÚJB.

Kromě přírodních radiačních zdrojů je obyvatelstvo ozařováno i v důsledku široké škály využívání jak samotných zdrojů ionizujícího záření, tak i jaderné energie pro mírové účely. Zatímco ještě do konce 19. století nehrály tyto umělé zdroje při ozáření

¹ Zákon o mírovém využívání jaderné energie („Atomový zákon“) č.18/1997 Sb., jeho aktualizované znění č. 263/2016 Sb. s účinností od 1. 1. 2017 a Vyhláška SÚJB vyhláška č.184/97Sb. o požadavcích na zajištění radiační ochrany novelizovaná Vyhláškou č.422/2016 Sb.

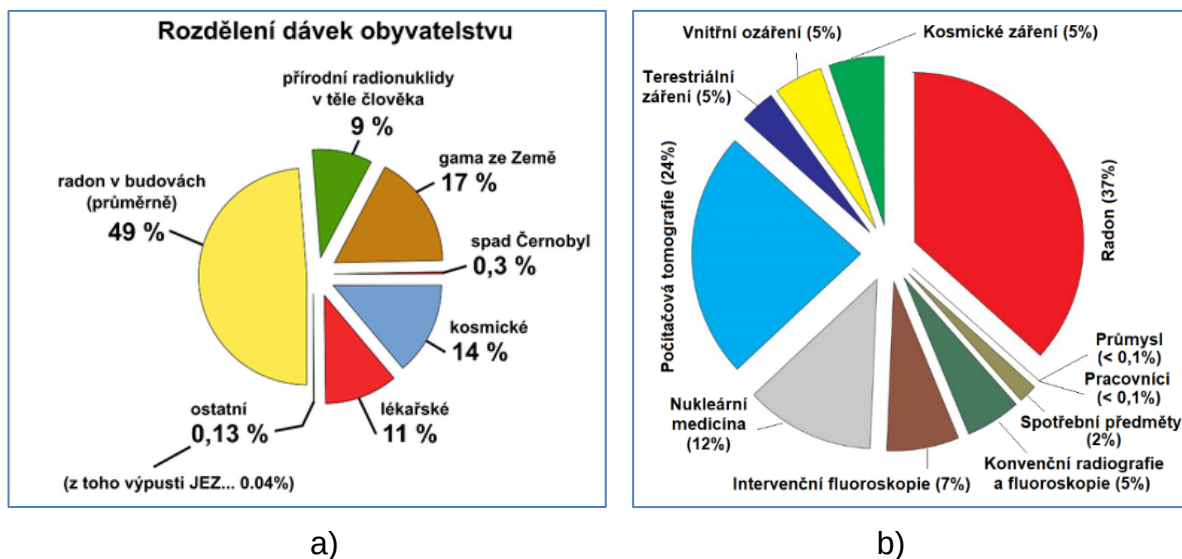
obyvatelstva žádnou roli, v současné době jejich podíl na ozáření populace se neustále zvyšuje. Je to především v důsledku stále vyššího počtu diagnostických aplikací, kde významnou roli hrají moderní metody vyšetření pomocí výpočetní tomografie. Tato metoda vyšetření je neobyčejně nápomocná k odhalení nemocí či abnormalit v těle pacienta a to na úrovni dříve nemyslitelné. Její určitou nevýhodou je poměrně vysoká radiační zátěž, která se může pohybovat v rozmezí až jednotek mSv na jedno vyšetření. Kromě této diagnostické modality, která je charakterizována relativně vysokým ozářením, se v lékařské praxi používá celá řada dalších vyšetření, a to zejména pomocí rentgenového záření, ale i otevřených radioaktivních látek (radiofarmak) v nukleární medicíně. Typické hodnoty ozáření pacienta při jednotlivých nejčastěji se vyskytujících diagnostických vyšetřeních jsou patrné z obr. 1, tyto údaje reflektují výsledky monitorování v USA v r. 2015.¹ Jejich hodnoty jsou v současné době typické i pro ostatní vyspělé země ve světě včetně ČR, kde v současné době právě probíhá nový výzkum podílu ozáření z jednotlivých složek expozice při diagnostických vyšetřeních.

Koncentrace radonu v ovzduší domů některých států s nejvyššími koncentracemi tohoto radioaktivního plynu ukazuje důvody, proč se radonové problematice věnuje taková pozornost.² Koncentrace radonu se obvykle vyjadřuje veličinou objemová aktivita radonu, což odpovídá počtu radioaktivních přeměn atomů radonu za jednotku času v jednotce objemu (jednotka Bq/m³). Průměrná objemová aktivita radonu u nás je 118 Bq/m³ a odpovídá průměrné efektivní dávce přes 3 mSv ročně. Patříme tak k zemím s nejvyšší koncentrací radonu v bytech na světě.

Maximální hodnota doporučená v legislativě pro bytový prostor je 300 Bq/m³ (to odpovídá roční efektivní dávce cca 10 mSv), vyšší než tuto hodnotu má u nás asi 4,5 % bytů a to především v přízemní části rodinných domů. Je-li tato hodnota překročena, doporučuje se provést protiradonová opatření. Vyskytují se i budovy, kde koncentrace radonu přesahují 10 000 Bq/m³.

¹ *Radon: An overview of health effects*. RW Field, University of Iowa, Iowa City, IA, USA, Elsevier Inc. 2015.

² LAJČÍKOVÁ, A. *Škodliviny ve vnitřním prostředí – radon v ovzduší domů a bytů*. Online (3. 12. 2020): <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/14890-skodliviny-ve-vnitrim-prostredi-radon-v-ovzdusi-domu-a-bytu>.



Obr. 1. Příspěvky jednotlivých zdrojů ionizujícího záření k ozáření obyvatelstva v České republice, kde podíl radonu na celkové radiační zátěži představuje dominantní část (vlevo) a USA (vpravo), kde vliv lékařského ozáření převyšuje 50% celkové dávky obyvatelstva a neustále se zvyšuje

Prostředí	Koncentrace v Bq/m ³
Venkovní ovzduší (průměr)	10
Průměrná hodnota v bytech ČR	118
Maximální hodnota doporučená v legislativě pro byty	300
Maximální hodnota zjištěná v ČR	70 000
Půdní vzduch	5000 až 1 500 000

Z hlediska radiační ochrany při nízkých úrovních ozáření (asi do 500 mSv) je důležitá souvislost efektivní dávky ozáření v mSv a zdravotní újmy či rizika, které ozáření může potenciálně vyvolat. Zde se jedná zejména o vyvolání rakovinového onemocnění nad rámec spontánního výskytu této nemoci, který je na úrovni kolem 30 %, tj. potenciálně u každého třetího obyvatele z populace se vyvine do konce jeho života zhoubný nádor. V souladu s koeficientem rizika $5 \cdot 10^{-5} \text{ mSv}^{-1}$, lze odhadnout nárůst této nemoci mezi obyvatelstvem¹ o 0,005 % na ozáření 1 mSv. Jakkoli je toto riziko malé, radiační ochrana vychází z principu, že každé ozáření má být tak nízké, jak je možné rozumně dosáhnout s přihlédnutím k ekonomickým a dalším faktorům. To se vztahuje i na ochranu obyvatelstva před zvýšeným ozářením z radonu a jeho produktů přeměny.

Problém radonu ve světě a v České republice

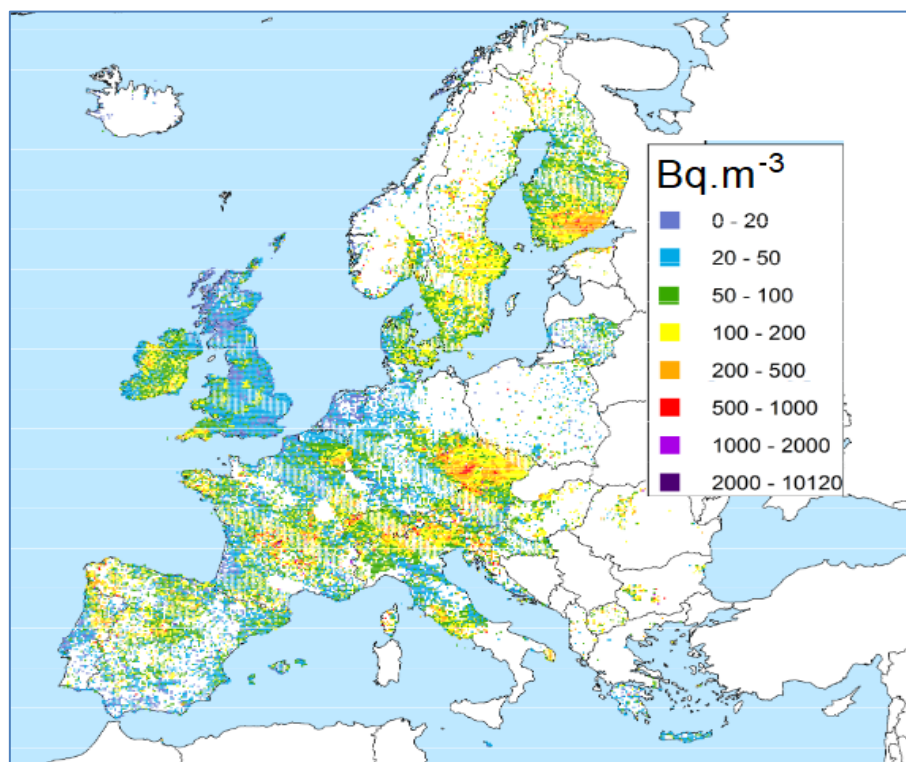
Koncentrace radonu v budovách se mohou vyskytovat ve velkém rozmezí, od 10 Bq/m³ až po extrémy 100 000 Bq/m³. Konkrétní koncentrace v domech souvisí zejména s množstvím radonu přítomným v podloží pod objektem a plyno-propustností

¹ The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP, 2007. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 2007, 37(2–4).

podloží, na druhém místě s obsahem radia ^{226}Ra ve stavebním materiálu. Znalost geologického podloží pomáhá identifikovat oblasti, kde je vyšší pravděpodobnost výskytu budov s vysokou koncentrací radonu.

Situace v Evropě

Problém zvýšené koncentrace radonu v obydlích se objevil nejdříve v některých severských zemích, které jsou známy vysokou koncentrací radonu v podloží a kde se kvůli chladnějšímu klimatu tolik nevětrá. (obr. 2).^{1,2}



Obr. 2. Výsledky monitorování koncentrace radonu v místnostech přízemí domů v evropských zemích

Radonová mapa České republiky

V České republice byla Českou geologickou službou zpracována podrobná geologická prognózní mapa radonového indexu, rozdělující území republiky z hlediska nebezpečí výskytu radonu na oblasti s nízkým, přechodným, středním a vysokým radonovým indexem (obr. 3). Radonový index pozemku je definován v Atomovém zákoně a v prováděcí vyhlášce jako ukazatel míry rizika migrace radonu z geologického podloží. K jeho stanovení musí být použit reprezentativní soubor měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, posouzena plynopropustnost

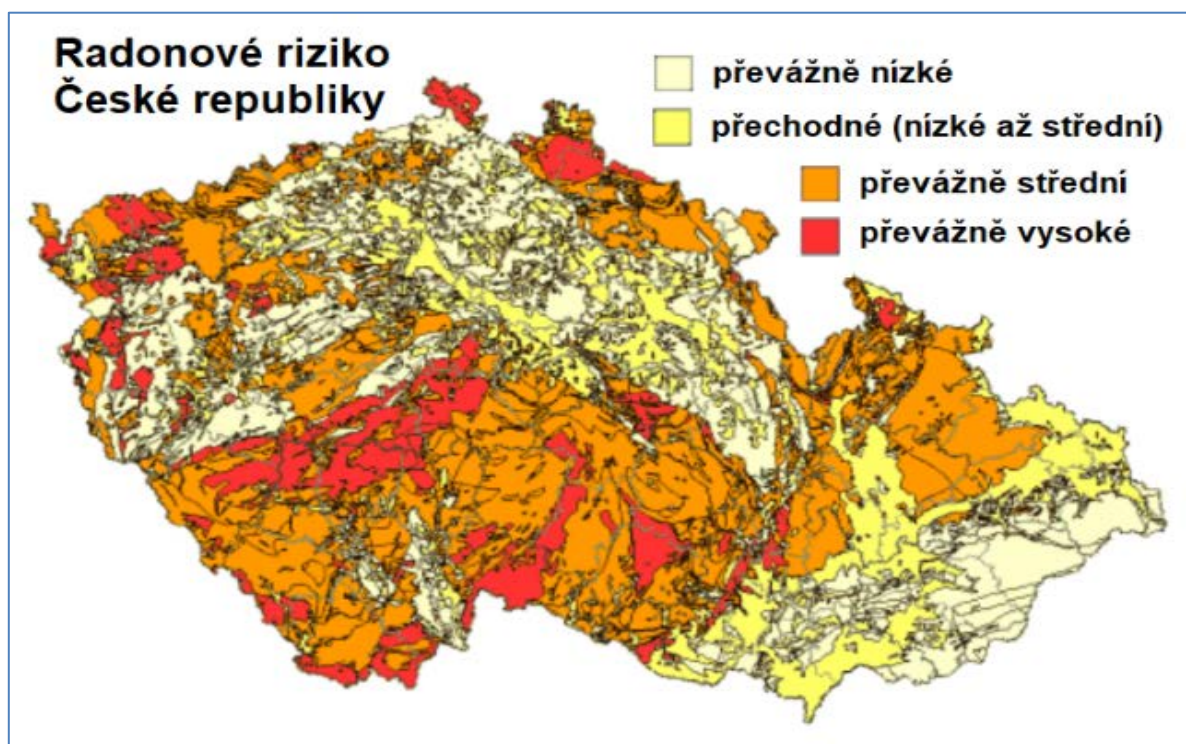
¹ TOLLEFSEN, T. et al. *From European indoor radon map towards an Atlas of Natural Radiation*. Radiation Prot. Dosimetry (2014). Vol. 162, No. 1, pp. 129-134.

² CINELLI, G. et al. *Europe Map of Radon*. Joint Research Centre, Ispra, Italy, 2016. Online (20.11.2020): https://www.google.com/search?q=Europe+map+of+radon&sxsrf=ALeKk03NJaeizlaMBLI-UkVsfEHvLjYwIw:1606046426479&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiRz_iVjZbtAhUMD2MBHcb1DtIQ_AUoAXoECBQQAw&biw=1288&bih=696#imgrc=FLpjy9nglA07nM.

základových půd a použity místní a obecné charakteristiky geologického podloží ovlivňující směr a rychlost pohybu radonu v základových půdách.

Representativní průzkum koncentrace radonu v budovách v České republice ukázal, že průměrná hodnota objemové aktivity radonu v budovách v České republice je kolem 118 Bq/m^3 . V rámci radonového programu ČR¹ bylo následně zorganizováno rozsáhlé měření radonu v bytech, školách i školkách stopovými integrálními detektory téměř ve 200 000 budovách, které ukázalo na hlavní souvislost obsahu radonu v interiérech budov s radonem z geologického podloží. Na základě získaných měření byla zhotovena mapa objemové aktivity radonu v budovách, znázorňující pro každou měřenou obec geometrický průměr objemové aktivity radonu. Přehled průměrných hodnot v jednotlivých obcích ČR² je na obr. 4.

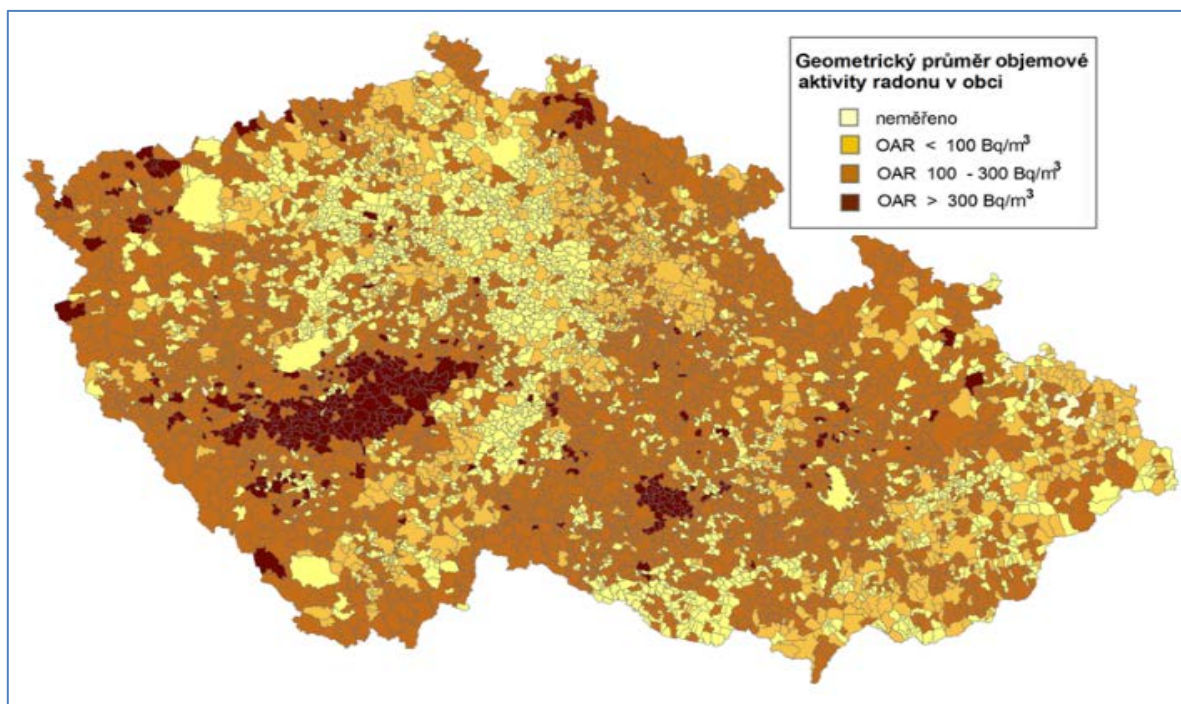
Vzhledem k nové povinnosti identifikovat pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu umístěných v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy byl s využitím všech dostupných výsledků měření zpracován seznam obcí podle tzv. radonového indexu obce. Ten charakterizuje pravděpodobnost překročení referenční úrovně objemové aktivity radonu 300 Bq/m^3 na uvedených typech pracovišť (příloha č. 25 Vyhlášky č.422/2016 Sb.).



Obr. 3. Míra radonového rizika z geologického podloží na území ČR

¹ Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu. Online (12. 11. 2020): <http://www.radonovyprogram.cz/dokumenty/ranap/>.

² Jak jsme na tom s radonem. Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., Praha, 2020. Online (20. 11. 2020): <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/vyskyt-radonu-v-ceske-republice/jak-jsme-na-tom-s-radonem>.



Obr. 4. Mapa výsledků měření průměrné objemové aktivity radonu v bytech v jednotlivých obcích ČR

Světově uznávaná česká epidemiologická studie souvislosti karcinomu plic a radonu v budovách¹ prokázala jednoznačně, že radon je po kouření druhou nejzávažnější příčinou karcinomu plic u obyvatelstva.

V České republice byly vyvinuty i nové systémy protiradonových opatření, připravena legislativa² i normy pro ochranu staveb proti radonu z podlaží^{3,4} vč. státní podpory pro nejpostiženější budovy. Úspěšný byl i domácí vývoj a výroba měřících přístrojů, které byly i úspěšně exportovány. Díky komplexnosti řešení je ČR považována za jednoho ze světových lídrů v této oblasti.

Radon a jeho monitorování

Chování radonu

Radon se do budovy může dostat z podlaží, ze stavebního materiálu nebo s dodávanou vodou, přitom podlaží budovy je zpravidla nejvýznamnějším zdrojem radonu. Konkrétní koncentrace v domě úzce souvisí s množstvím radonu přítomného v podlaží pod objektem a plynopropustností podlaží pod domem. Závisí také na

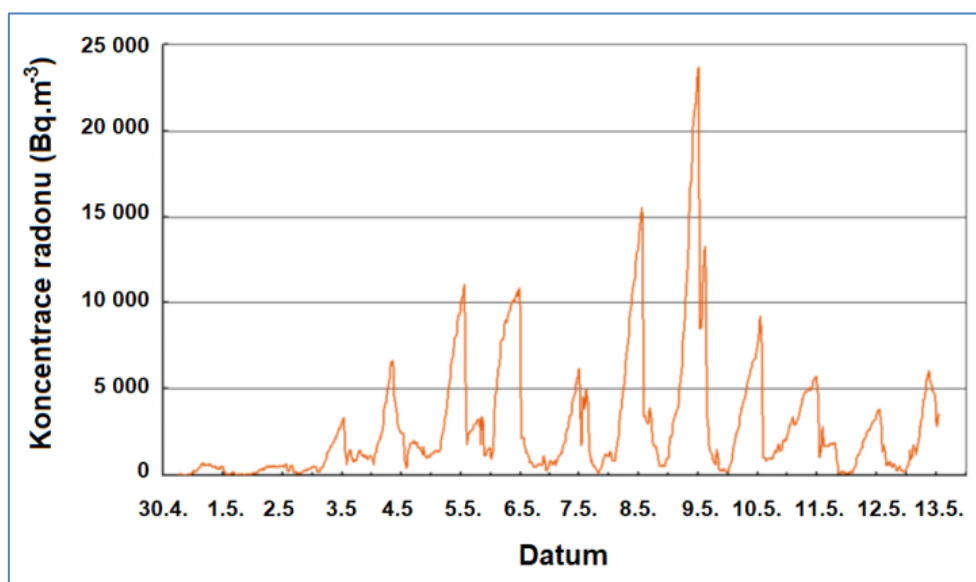
¹ TOMÁŠEK, L. *Lung cancer risk from occupational and environmental radon and role of smoking in two Czech nested case – Control studies. Int. Journal Environ. Res. Public Health* 10(3):963–979, 2013.

² Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb.

³ ČSN 73 0601(2006) Ochrana staveb proti radonu z podlaží. ČNI 2006.

⁴ NEZNAL, M., NEZNAL, M., MATOLÍN, M., BARNET, I., MIKŠOVÁ, J. *The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geological Survey Special Papers, Vol. 16, 2004. Published by Czech Geological Survey, Prague.*
<http://www.geology.cz/specpapers/obsah/no16>.

těsnosti objektu vůči podloží a na intenzitě větrání objektu. Radon do domu vstupuje zejména netěsnostmi ve zdech a podlahách, které jsou v kontaktu s podložím. Nejčastěji se jedná o prostupy inženýrských sítí, popraskaný beton či dlažbu, netěsné prkenné podlahy či netěsněné šachty. Koncentrace radonu v ovzduší budovy se mění během dne a noci, během jednotlivých dní, ročních období a dokonce i během let. Ovlivňují ji zejména změny ve větrání, změny v celkovém přísunu radonu, meteorologické podmínky. Po vyvětrání a uzavření místnosti narůstá koncentrace radonu v místnosti do doby, než dojde k vyrovnání přísunu radonu do budovy a jeho úniku větráním. Doba k ustanovení této rovnováhy je nepřímo úměrná intenzitě větrání a pohybuje se v intervalu hodin. Aktivní nasávání radonu budovou (komínový efekt) ze země hraje v přísunu radonu zpravidla největší roli. Toto nasávání vzrůstá tehdy, zvětšuje-li se rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou, čímž roste podtlak v budově. Proto lze pozorovat zpravidla největší přísun radonu do budovy v noci a v ranních hodinách, a tím i víceméně pravidelné přirozené kolísání koncentrace radonu během dne a noci. Ze stejných důvodů je v průměru větší přísun radonu v zimním období než v letním. Na obr. 5 si lze všimnout v užívané místnosti periodického průběhu koncentrace radonu, nárůstu přes noc a rychlého poklesu v ranních a dopoledních hodinách, kde hraje roli i zvýšené větrání při pobytu.



Obr. 5. Ukázka časového průběhu koncentrace radonu v budově

Radon je možné z domu odstranit za použití různých typů aktivních protiradonových opatření (např. nucená ventilace, odsávání radonu zpod budovy), nebo pasivních protiradonových opatření (např. nová izolace pod budovou).

Principy monitorování radonu

Z důvodu uvedeného značného kolísání koncentrací radonu v budově během dne a noci i během sezónních období (např. vyšší hodnoty v topné sezóně) se doporučuje dům posuzovat přednostně na základě dlouhodobého měření průměrné koncentrace radonu. Krátkodobá měření, pokud jsou třeba, se doporučuje provádět spíše v topném období a za omezeného větrání. Z uvedených důvodů se doporučuje následující postup.

Je-li dostatek času, dává se přednost - z hlediska co nejobektivnějšího výsledku - změření roční průměrné koncentrace. K tomu se používají zejména tzv. stopové detektory (službu v rámci Národního akčního plánu pro regulaci ozáření obyvatel z radonu poskytuje SÚRO ve spolupráci se SÚJCHBO). Pokud je třeba zjistit koncentraci radonu rychleji (např. při kolaudaci budovy nebo při prodeji/koupi objektu) akceptuje se měření průměrné týdenní hodnoty. Takové krátkodobá měření se však z důvodů opatrnosti doporučuje provádět v topné sezóně a s omezeným větráním, aby nedošlo k podcenění skutečné průměrné hodnoty roční objemové aktivity radonu v budově. Užívanými měřidly jsou např. elektretové dozimetry a kontinuální monitory radonu. Tato měření provádějí komerční firmy, které k této činnosti mají povolení SÚJB. Měření probíhá ve všech pobytových místnostech s vyšší pravděpodobností výskytu radonu tj. místnosti v přímém kontaktu s podložím, s nekvalitně izolovanou podlahou, případně místnosti, kde je podezření, že byl ve významné míře použit radioaktivní stavební materiál.

Pokud je naměřena vyšší koncentrace radonu, doporučuje se před přípravou projektu opatření provést složitější analýzu tzv. radonovou diagnostiku.¹ Jejím cílem je podrobná analýza příčin vysoké koncentrace radonu, hledá se jeho původce (geologické podloží, stavební materiál nebo voda), vstupní cesty radonu (praskliny v kontaktu s podložím, neutěsněné šachty, prostupy inženýrských sítí apod.) a studuje se transport radonu budovou. Pro sledování závislosti koncentrace radonu na uživatelském režimu obyvatel domu či na povětrnostních podmínkách se k měření zpravidla vždy používají kontinuální monitory rozmístěné na několika místech v domě, které zaznamenávají hodnoty koncentrace radonu v intervalu desítek minut ve spojení s dalšími diagnostickými systémy. Účinným diagnostickým nástrojem sledujícím těsnost objektu je metoda blower-door ve spojení s infrakamerou. Do vstupních dveří místnosti se umístí rám s neprodyšnou fólií a výkonným ventilátorem, kterým se v místnosti vytvoří podtlak a sleduje se změna koncentrace radonu v čase a současně vstupy vzduchu různými prostupy.

Nové inteligentní technologie pro radonový program ČR

Dosud byla měření radonu, vzhledem k nákladnosti měřících přístrojů, prováděna buď výzkumnými ústavy (SÚRO, SÚJCHBO) v rámci radonového programu nebo komerčně firmami, které k této činnosti mají povolení SÚJB. Zásadní inovace v oblasti polovodičových foto-diod, výrazný pokles jejich ceny vč. cen procesorů v posledních letech umožnily vyvinout pro občany cenově dostupná jednoduchá a inteligentní radonová čidla, schopná dlouhodobě kontinuálně monitorovat koncentraci radonu v prostředí. Česká republika se stala i v této oblasti inovací průkopníkem díky vlastnímu vývoji bateriových a vysoce citlivých radonových sond TERA² s bezdrátovým přenosem (obr. 6 a obr. 7) ve společném projektu TESLA s.r.o. a SÚRO, v.v.i. (podpořeno projektem MPO FV30112).

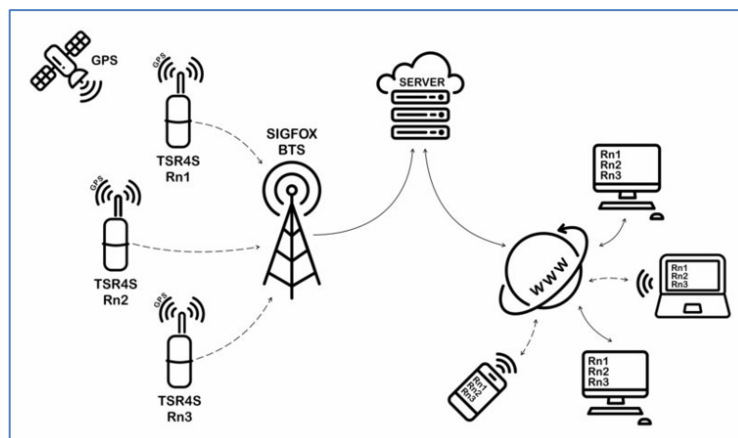
¹ FROŇKA, Aleš; MOUČKA, L, ČECHÁK, T. *Application of the advanced radon diagnosis methods in the indoor building environment*, Radiation Protection Dosimetry 130(1):72-5, 2008.

² *Měření koncentrace radonu*. TESLA, a.s., Praha, 2014. Online (30. 11. 2020): <https://www.tesla.cz/mereni-koncentrace-radonu/>.

Radonové senzory pracují v on-line kontinuálním režimu, monitor ukládá výsledky do vnitřní paměti a může je posílat a ukládat na server s dálkovým přístupem. Umožňují kromě vlastních měření při překročení mezních hodnot vyslat alarm nebo automaticky spínat aktivní protiradonová opatření (např. vzduchotechniku, aktivní podtlakové podvětrávání budov apod.) nebo dálkově kontrolovat a regulovat obsah radonu v budově např. přes mobilní telefon. V aplikaci je možné si nastavit alarmové hlášení, které je při překročení určitého limitu koncentrace radonu odesláno pomocí SMS, emailem nebo i přímým hovorem na telefon. Moderním řešením je vyvinutá přenosná sonda s dobíjecím akumulátorem (výdrž akumulátoru až 1 rok na jedno nabití), umožňující on-line dálkový monitoring přes mobilní bezdrátovou síť IoT SIGFOX a webovou aplikaci. Sonda autonomně odesílá naměřené výsledky v pravidelných intervalech přes bezdrátovou síť SIGFOX na webový server, kde si lze přes internet a internetový prohlížeč výsledky (koncentrace radonu, teplota, vlhkost v budově) prohlížet a stahovat ve webové aplikaci TESLA – MONTES.

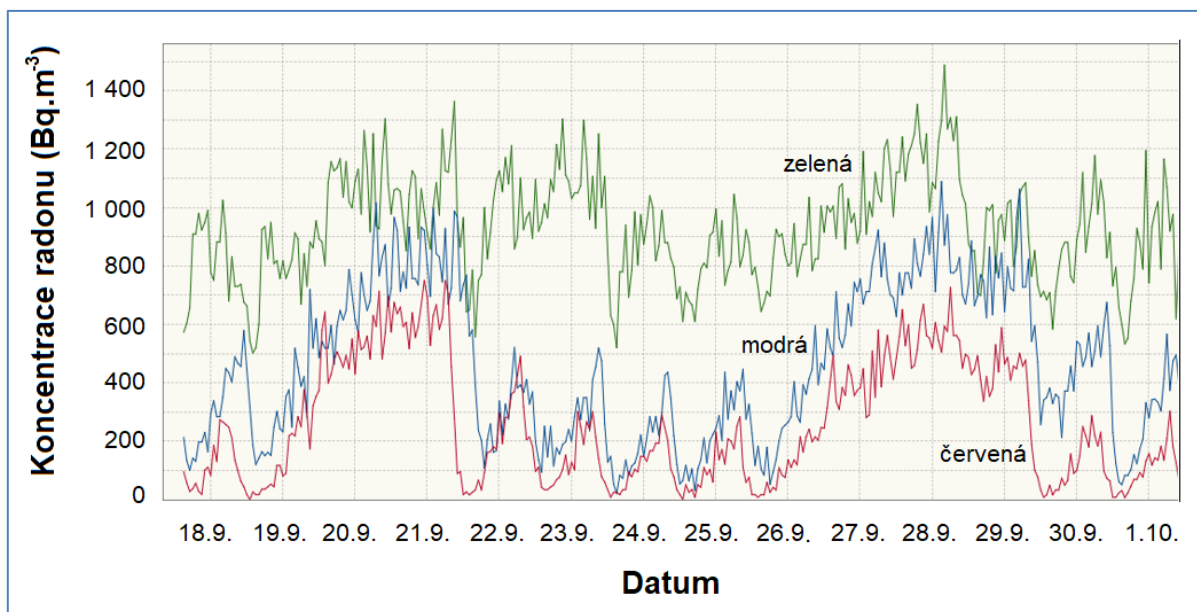


Obr. 6. Radonová sonda pro bytové a venkovní nasazení (vč. solárního dobíjení)

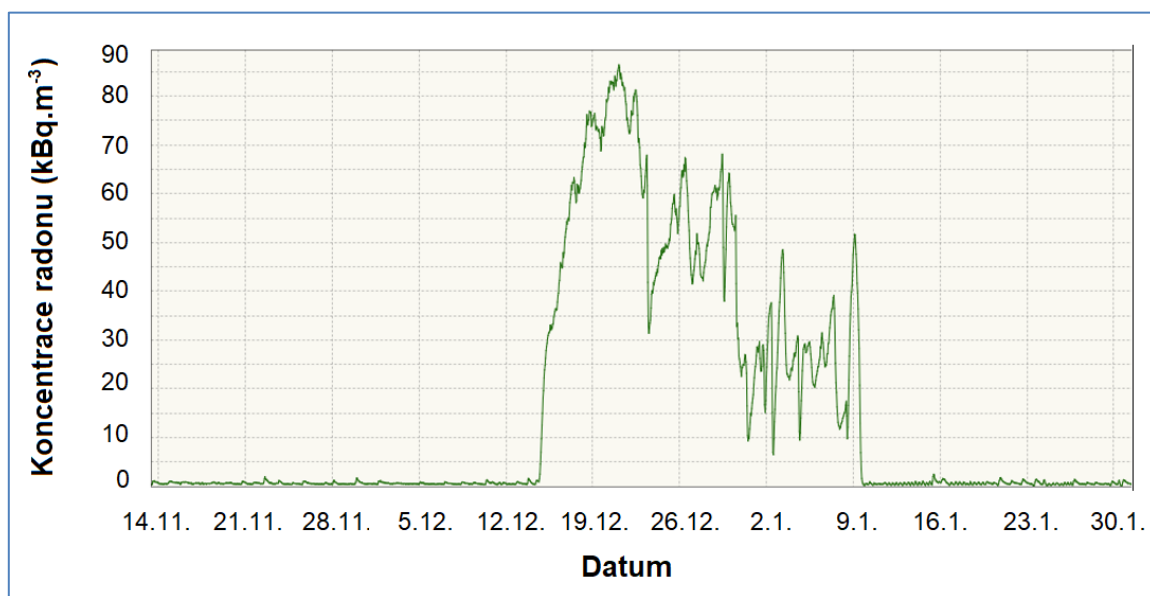


Obr. 7. Schéma systému pro on-line dálkový monitoring přes mobilní bezdrátovou síť IoT SIGFOX a webovou aplikaci

Ukázka reálného užití tohoto systému v praxi a výsledků měření je na následujících obrázcích. Na obr. 8 je simultánní měření v mateřské škole (ve třídě, ředitelně a sklepním prostoru), které ukazuje na jednoznačné korelace mezi koncentracemi radonu v těchto prostorech a na společný zdroj radonu. Na obr. 9 je ukázka využití radonových sond při kontrole účinnosti protiradonového opatření v podobě aktivního podvětrávání rodinného domku.



Obr. 8. Simultánní měření koncentrace radonu v mateřské škole a vzájemná korelace mezi místnostmi: třída (červeně), ředitelna (modře) a sklepní prostor (zeleně)



Obr. 9. výsledky měření při kontrole účinnosti aktivního protiradonového opatření v rodinném domku (zapnuto a vypnuto)

Tento jednoduchý a cenově dostupný monitor může být umístěn kdekoli na světě, kde tato mobilní síť má pokrytí. Sonda obsahuje GPS modul pro lokalizaci v rozlehlých sítích tj. polohy zařízení v mapovém podkladu s přehlednou webovou aplikací s výsledky a grafy, přístupový účet na webu pro správu více sond atd.

Sondy jsou upraveny tak, že umožňují monitorovat i vyšší hodnoty radonu ve venkovní atmosféře, kde se vyskytují koncentrace radonu průměrně 10 Bq/m^3 , ale byly nalezeny i překvapivě vysoké hodnoty koncentrace radonu v blízkosti hald obsahujících odval z těžby uranových rud dosahujících v době inverse až tisíců Bq/m^3 .

Nově se do sond instalují i detektory gama. Tím vzniká komplexní detekční jednotka umožňující rozsáhlé zapojení veřejnosti do měření radioaktivity a dalších škodlivin připravená pro instalaci do inteligentních budov a vhodná i pro použití i v havarijních situacích. Další inovace předpokládá nasazení dalších senzorů v monitoru na noxy, (např. CO) pro kvalitu životního prostředí v budovách i ve venkovním prostoru.

Závěr

Rychlý vývoj technologií v posledních letech umožnil vznik pro občany cenově dostupných senzorů pro monitorování různých škodlivin (radonu, gama záření, CO atp.). Ty jsou vedle již užívaných bezpečnostních prvků v budovách dalším krokem k zajištění bezpečnosti občanů vč. ochrany zdraví. Využívání občanských měření je novinkou posledních několika let. Očekáváme, že proaktivní používání občanských měření s moderními senzory a zapojením v sítích může jednak zlepšit informovanost občanů o expozicích nejen ionizujícímu záření, jednak zavést do budov nové detekční prvky pro zkvalitnění hodnocení expozice radonu v bytech a budovách, a po doplnění o senzory gama i další noxy umožní dále i zlepšit efektivitu získávání informací potřebných pro rychlé a efektivní vyhodnocení i radiační situace v případě nehody.

Článek vznikl v rámci projektu MPO ČR FV30112 - Nová generace sond pro měření radonu, a také za částečné podpory projektu MV ČR VI20192022171.

Literatura

- Background Radiation*. Health Physics Society, Fact Sheet, USA, 2012 (updated 2015). Online (20. 11. 2020): <https://www.nrc.gov/docs/ML1710/ML17100A802.pdf>.
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP, 2007. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 2007, 37(2–4).
- CINELLI, G. et al. *Europe Map of Radon*. Joint Research Centre, Ispra, Italy, 2016. Online (20.11.2020): https://www.google.com/search?q=Europe+map+of+radon&sxsr=AleKk03NJaeizlaMBLI-UkVsfEHvLjYwIw:1606046426479&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiRz_iVjZbtAhUMD2MBHcb1DtIQ_AUoAXoECBQQAw&biw=1288&bih=696#imgsrc=FLpjy9ngIA07nM.
- TOLLEFSEN, T. et al. *From European indoor radon map towards an Atlas of Natural Radiation*. Radiation Prot. Dosimetry (2014), Vol. 162, No. 1, pp. 129-134.
- Jak jsme na tom s radonem*. Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., Praha, 2020. Online (20. 11. 2020): <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/vyskyt-radonu-v-ceske-republice/jak-jsme-na-tom-s-radonem>.
- Národní akční plán pro regulaci ozáření obyvatel z radonu – RANAP*. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, 2016. Online (20. 11. 2020): <http://www.geologicke-mapy.cz/radon/>.
- TOMÁŠEK, L. *Lung cancer risk from occupational and environmental radon and role of smoking in two Czech nested case – Control studies*. Int. Journal Environ. Res. Public Health 10(3):963–979, 2013.

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb. o *radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*.

NEZNAL, M., NEZNAL, M., MATOLÍN, M., BARNET, I., MIKŠOVÁ, J. The new method for assessing the radon risk of building sites, Czech Geological Survey Special Papers, Vol. 16, Published by Czech Geological Survey, Prague, 2004. Online (23. 11. 2020): <http://www.geology.cz/specpapers/obsah/no16>.

ČSN 73 0601(2006) *Ochrana staveb proti radonu z podloží*. Vydal ČNI 2006.

FROŇKA, A.; MOUČKA, L.; ČECHÁK, T. *Application of the advanced radon diagnosis methods in the indoor building environment*, Radiation Protection Dosimetry 130(1):72-5, 2008.

Měření koncentrace radonu. TESLA, a.s., Praha, 2014. Online (4. 12. 2020): <https://www.tesla.cz/mereni-koncentrace-radonu/>.

RESUMÉ

V příspěvku je shrnuta problematika ozáření obyvatelstva České republiky v důsledku přírodního radiačního pozadí s důrazem na jeho hlavní složku – ozáření radonem. Jsou popsány nejnovější vyvinuté detekční technologie pro měření radonu cenově dostupné občanům a vhodné i jako čidla pro regulaci koncentrace radonu pro inteligentní domy. Jsou uvedeny i některé výsledky monitorování prováděného v rámci radonového programu České republiky.

Klíčová slova: radon, ozáření obyvatelstva, měření radonu.

SUMMARY

HŮLKA, Jiří; FOJTÍKOVÁ, Ivana; VOLTR, Josef; JÍLEK, Karel; SIMANDL, Martin; DUŠEK, Ladislav; ŘEŘIČHA, Václav; SABOL, Jozef: *RISK OF POPULATION RADON EXPOSURE AND NEW OPPORTUNITIES OF ITS MONITORING*

The paper summarizes problems of population exposure in the Czech Republic as a consequence of natural background radiation, particularly its main component – radon exposure. The results of the radon programme in the Czech Republic and the recently developed detection technologies for measuring radon that are affordable to citizens and suitable as sensors for regulating the radon concentration in smart homes are briefly described. Even some results of monitoring carried out within the Czech Republic radon programme are presented.

Keywords: radon, population exposure, radon measurement.

