

doc. Ing. Martin JIRÁNEK, CSc.<sup>1)</sup>

Ing. Veronika

KAČMAŘÍKOVÁ, Ph.D.<sup>1)</sup>

Ing. Karel JÍLEK<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ČVUT v Praze, Fakulta stavební

<sup>2)</sup> Státní ústav radiační ochrany,

Praha

## Zvýšení intenzity větrání – vhodné opatření pro domy s vyšším obsahem přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu

### Increased Ventilation – Suitable Measure for Buildings with Enhanced Content of Natural Radionuclides in Building Materials

Recenzent

MUDr. Ariana Lajčíková, CSc.

Článek popisuje opatření proti radonu a záření gama v budovách, které byly postaveny ze stavebních materiálů s vyšším obsahem přírodních radionuklidů. Za nejúčinnější protiradonové opatření se považuje zvýšení výměny vzduchu. Na příkladu energeticky sanovaného rodinného domu typu Start je ukázáno, že nárůst tepelných ztrát vyvolaný zvýšeným větráním je plně kompenzován zdravotním přínosem v podobě sníženého rizika rakoviny plic.

**Klíčová slova:** radon, gama záření, stavební materiál, zvýšení větrání

Measures against radon and gamma radiation in buildings built from building materials with enhanced content of natural radionuclides are discussed. Increased ventilation is considered as the most effective radon remedial measure. An example of a family house Start, in which energy-saving measures were installed, shows that enhanced heat losses caused by increased ventilation are fully compensated by the decrease in lung cancer risk.

**Keywords:** radon, gamma radiation, building materials, increased ventilation

#### STAVEBNÍ MATERIÁLY JAKO ZDROJ RADONU A ZÁŘENÍ GAMA

Přestože je v ČR množství přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech pod pravidelnou kontrolou od roku 1991, vyskytuje se u nás zhruba 30 000 budov pocházejících z dřívějších dob, k jejichž výstavbě byly použity stavební materiály s vyšším obsahem členů uran-radiové rozpadové řady. Vzhledem k jejich dlouhému poločasů přeměny se takové materiály stávají prakticky konstantním zdrojem radonu a záření gama.

Stavební materiály vyrobené z písku, šterku, cihlářské hlíny, popílku, škváry a strusky či odpadů ze zpracování rud vždy obsahují určité množství uranu, a tedy i radia, ze kterého vzniká radon. Ve většině případů je však obsah těchto radionuklidů ve stavebních materiálech malý, takže i množství uvolněného radonu není nijak významné. Z dřívější doby jsou známy pouze následující tři druhy stavebních materiálů s vyšším obsahem radia, které mohou významněji ovlivnit ozáření uživatelů domů:

- Odpady vzniklé při zpracování uranových rud v Jáchymově přidávané od poloviny 19. století až do počátku 20. století do omítek, štuků, zdicí malty a násypů podlah nebo stropů.
- Škvárobetonové panely a tvárnice ze škváry pocházející z elektrárny v Rynholci ve středních Čechách, která spalovala uhlí z dolu Anna s vyšším obsahem radia. Materiál byl vyráběn ve státním podniku Prefa Hýskov od 2. poloviny 50. let do roku 1986 a byl používán převážně pro výstavbu montovaných rodinných domků typu Start (postaveno jich bylo cca 3 000) a některých bytových domů na starších sídlišťích v Praze a Středočeském kraji (např. Stochov, Letňany, Kbely, Petřiny, Strašnice, Radotín atd.).
- Plynosilikátové tvárnice vyráběné v letech 1956 až 1982 v Poříčí u Trutnova z elektrárenského popílku (elektrárna v Poříčí spalovala uhlí s vysokým obsahem uranu ze slaje Baltazar dřívějšího dolu Stachanov u Radvanic). V inkriminovaném období let 1956 až 1982 se vyrobilo tvárnice na cca 35 000 rodinných domků, které jsou většinou situovány na území bývalého Východočeského kraje (dnešní Liberecký, Královéhradecký a Pardubický kraj).

Žádný z výše uvedených materiálů se již mnoho let nevyrábí, nicméně domy i byty z nich postavené jsou stále využívány k bydlení a nabízejí se k pronájmu nebo prodeji na trhu s nemovitostmi.

#### OPATŘENÍ PROTI ZÁŘENÍ GAMA

Příkon fotonového dávkového ekvivalentu, který charakterizuje úroveň záření gama, nepřesahuje uvnitř domů za normálních podmínek 0,12 až 0,18  $\mu\text{Sv/h}$ , což odpovídá úrovni přírodního pozadí. Vyšší hodnoty signalizují zvýšený obsah přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech. Příkony do 0,5  $\mu\text{Sv/h}$  jsou z hlediska ozáření uživatelů ještě akceptovatelné. Nad touto úrovní je třeba realizaci opatření proti gama záření zvážit. Důležitou roli přitom hraje individuální posouzení zdravotního rizika na jedné straně a ekonomických nákladů na straně druhé.

Nejúčinnějším opatřením je odstranění materiálů, které jsou zdrojem záření gama. Poměrně snadno jsou odstranitelné omítky, násypy a nenosné zdivo v domech, kontaminovaných odpady z těžby stříbrných a uranových rud v Jáchymově. Poměrně hůře se vyjmají tvárnice z porčíského plynosilikátu a prakticky neodstranitelné jsou nosné stěny z panelů či bloků, vyrobených z ryncholeckého škvárobetonu. V každém případě jde o finančně náročný zásah, zahrnující nejen cenu za demontáž materiálu, ale i cenu za jeho odvoz a uložení na skládce.

Není-li možné kontaminované materiály odstranit, lze jistého snížení dávkových příkonů dosáhnout instalací stínění z materiálů o vysoké objemové hmotnosti. Pro snížení dávkového příkonu o cca 30 % postačí barytové nebo cementové omítky o tloušťce do cca 50 mm. Pokles o 50 % by vyžadoval tloušťku barytového betonu okolo 80 mm nebo použití přízdívky z plných cihel, případně i z jiných výrobků z pálené hlíny či betonu o tloušťce 150 mm. Je-li vyžadován ještě vyšší pokles, nezbyvá než použít obklady ocelovým plechem. Je tedy zřejmé, že možnosti stínění jsou omezeny jeho technickou proveditelností. Při požadavku na vyšší zeslabení dochází k výraznému omezení vnitřního prostoru a k nárůstu hmotnosti konstrukce. Ani finanční stránka není zanedbatelná. Tak například 1  $\text{m}^2$  barytového betonu o tloušťce 50 mm vyjde na cca 5 000 Kč.

Účinnost různých stínících materiálů je možno odhadnout podle údajů v tab. 1, která uvádí závislost zeslabení, tj. poměr dávkového příkonu se stínícím materiálem k dávkovému příkonu bez něho, na tloušťce materiálu.

Tab. 1 Závislost zeslabení na tloušťce stínícího materiálu [9]

Zeslabení	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Stínící materiál	Tloušťka stínícího materiálu [mm] pro uvedená zeslabení								
olovo $\rho = 11\,300 \text{ kg.m}^{-3}$	0,9	2,3	4,0	6,3	9,3	13	18	26	38
železo $\rho = 7\,800 \text{ kg.m}^{-3}$	6,1	11	17	23	29	37	46	59	81
barytový beton $\rho = 3\,300 \text{ kg.m}^{-3}$	12	24	37	50	65	83	100	130	180
barytový beton $\rho = 2\,800 \text{ kg.m}^{-3}$	18	34	50	66	84	100	130	160	220
obyčejný beton $\rho = 2\,300 \text{ kg.m}^{-3}$	30	50	69	89	110	130	160	200	270
plná cihla $\rho = 1\,800 \text{ kg.m}^{-3}$	46	72	100	130	160	190	230	280	370

Nelze-li technicky zajistit snížení dávkového příkonu na požadovanou úroveň, snížíme účinky ozáření na uživatele omezením pobytu osob v blízkosti materiálů o zvýšeném dávkovém příkonu. Omezení pobytu osob se dosahuje převážně takovým rozmístěním vnitřního vybavení místnosti, které by vylučovalo dlouhodobější pobyt osob (např. při spaní, sezení atd.) v uvedených místech.

Podrobněji je o opatřeních proti záření gama ze stavebních materiálů pojednáno v ČSN 73 0602 (2006) [1] a v publikaci [6].

## OPATŘENÍ PROTI RADONU ZE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

### Koncentrace radonu uvnitř zkoumaných domů

Společným rysem domů postavených z materiálů se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů je, že jsou z pohledu současných měřítek energeticky nevhodné, neboť v době jejich vzniku ceny energií nedosahovaly zdaleka takové úrovně jako nyní. Průměrná intenzita větrání se zde nejčastěji pohybuje v rozmezí  $0,3 \text{ h}^{-1}$  až  $0,4 \text{ h}^{-1}$ . Tomu odpovídají i poměrně nízké koncentrace radonu, které jen v malém procentu případů překračují  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Současní vlastníci ve snaze ušetřit náklady na provoz těchto domů zlepšují tepelně technické parametry obálky budovy zejména výměnou oken a vnějším zateplením. Klesá tak intenzita větrání a to dokonce pod hodnotu  $0,1 \text{ h}^{-1}$ , která nezajišťuje, že bude do bytových prostor přivedeno hygienicky nezbytné množství vzduchu. Důsledkem je až několikanásobný vzrůst interiérové koncentrace radonu na hodnoty překračující i  $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ .

Vztah mezi koncentrací radonu a intenzitou větrání lze vyjádřit jednoduchou rovnicí (1):

$$C_m = \frac{\sum E_j A_j}{I_i O_i} \quad [\text{Bq/m}^3] \quad (1)$$

kde je:

- $C_m$  koncentrace radonu v místnosti  $[\text{Bq/m}^3]$ ,
- $E_j$  rychlost plošné emise radonu z j-té konstrukce  $[\text{Bq}/(\text{m}^2\text{h})]$ ,
- $A_j$  plocha j-té stavební konstrukce  $[\text{m}^2]$ ,
- $I_i$  intenzita větrání i-té místnosti  $[\text{h}^{-1}]$ ,
- $O_i$  vzduchový objem i-té místnosti  $[\text{m}^3]$ .

Rychlost plošné emise radonu je dána přirozenou přeměnou radia a závisí pouze na materiálových vlastnostech (množství radia v materiálu a

koeficientu emanace), a nikoliv na parametrech prostředí. Teplotní rozdíl mezi vnitřním a venkovním vzduchem, rychlost proudění vzduchu, ani tlakové poměry nemají žádný vliv na emisi radonu. V daném domě můžeme tedy emisi radonu  $E$  považovat za časovou konstantu. Vzhledem k tomu, že se ani plocha  $A$ , ani objem vnitřního vzduchu  $O$  nemění, závisí koncentrace radonu na jediné časově proměnné veličině, kterou je intenzita větrání  $I$ .

### Přehled protiradonových opatření

Koncentrace radonu v interiéru způsobenou exhalací radonu ze stavebního materiálu lze snížit odstraněním daného materiálu, obdobně jako při snižování úrovně záření gama. Není-li to možné, můžeme buď zvýšit intenzitu větrání pobytového prostoru, nebo uvolňující se radon odvětrat pomocí vzduchových mezer vytvořených kolem stavebních konstrukcí. Dříve občas používané těsné povrchové úpravy v podobě různých elastických nátěrů, stěrek a tapet, které měly za cíl snížit emisi radonu ze stavební konstrukce, nejsou vzhledem ke své náchylnosti k perforaci dlouhodobě účinné, a proto se již nedoporučují. Navíc může utěsnění vnitřního povrchu obvodové stěny vést k povrchové kondenzaci.

Odvětrání radonu pomocí výše zmíněných vzduchových mezer může být řešením v dostatečně větraných domech. Mezery lze vytvořit z plastových profilovaných (nopových) fólií, tvarovaných polymerních desek nebo postavením předstěny na bázi zdiva či sádkokartonu. Výhodou je, že nevětráme celou místnost, ale jen malý objem vzduchové mezery, což minimalizuje tepelné ztráty i spotřebu elektrické energie na provoz ventilátorů. Mezi podstatné nevýhody patří pracnost, omezení vnitřního prostoru, nezbytnost upravit stávající instalační vedení a nemožnost aplikace na všechny povrchy, které by to vyžadovaly.

Nejčastěji používaným opatřením v těchto domech je tedy zvýšení intenzity větrání pobytového prostoru. Je to rozumný přístup i z toho důvodu, že problémy s vyšší úrovní radonu bývají zejména tehdy, klesne-li intenzita větrání pod  $0,3 \text{ h}^{-1}$ . Požadované výměny vzduchu lze obecně dosáhnout:

- ❑ přirozeným větráním větracími štěrbinami (osazují se většinou do rámu a křídel okenních otvorů; tepelné ztráty jsou omezovaly manuální nebo automatickou regulací průtoku vzduchu v závislosti na rychlosti větru, teplotním rozdílu či relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostoru);
- ❑ nuceným podtlakovým větráním kombinovaným s přívodem vzduchu větracími štěrbinami (tepelné ztráty jsou omezovaly regulací množství odsávaného vzduchu podle jeho relativní vlhkosti, koncentrace  $\text{CO}_2$ , přítomnosti osob v dané místnosti atd.);
- ❑ nuceným rovnotlakým větráním se zpětným získáváním tepla.

Uvedené větrací systémy se liší spolehlivostí, účinností, pořizovacími a provozními náklady. Čtenářům časopisu VVI jsou výhody a nevýhody jednotlivých systémů známy, a nebudeme je zde proto rozebírat. Za poznámku snad stojí pouze skutečnost, že pro snižování koncentrace radonu nemusí být větrání navrhováno na pokrytí maximálních výchytek v koncentraci, protože radon nezpůsobuje žádné akutní zdravotní problémy (na rozdíl například od  $\text{CO}_2$ , formaldehydu atd.). Při vyhodnocování zdravotních účinků radonu na uživatele domů je sledována průměrná koncentrace radonu za období jednoho roku. Účinnost větracích systémů proto hodnotíme podle toho, jak sníží průměrnou koncentraci radonu za období alespoň jednoho týdne (uvažuje se jen doba, po kterou byl dům obýván).

Podrobnější popis opatření proti radonu pocházejícímu ze stavebních materiálů je k dispozici v ČSN 73 0602 (2006) [1] a v publikaci [6].

### Volba větracího systému

Na volbě konkrétního větracího systému by se měl shodnout projektant s investorem. Do výběru vstupuje celá řada kritérií, jako je spolehlivost,

účinnost, aplikovatelnost, vliv na kvalitu vnitřního vzduchu nebo ekonomická hlediska. Většinu z nich dokáže investor na základě vlastních zkušeností sám vyhodnotit, nejistoty ale zpravidla zůstávají u ekonomické stránky. Zjistili jsme, že velmi důležitou informací pro investory je, jaké celkové náklady si větrací systém vyžádá v průběhu následujících let, respektive do uplynutí doby životnosti. Takovou informaci umožňuje například získat postup publikovaný v [6, 7], podle něhož se celkové náklady na jakékoliv protiradonové opatření stanoví v libovolném roce  $t$  podle vztahu (2):

$$N_t = IN + N_s \cdot \frac{(1+r_s)^t - 1}{r_s} + N_e \cdot \frac{(1+r_e)^t - 1}{r_e} + N_o \cdot \frac{(1+r_o)^t - 1}{r_o} \quad [\text{Kč}] \quad (2)$$

kde jsou

- $IN$  investiční náklady [Kč],  
 $N_s$  roční náklady na servis a údržbu [Kč],  
 $N_e$  roční náklady na provozní energie [Kč],  
 $N_o$  roční náklady na pokrytí tepelných ztrát [Kč],  
 $t$  roky [-],  
 $r_s, r_e$  a  $r_o$  indexy růstu příslušných nákladů za rok [-].

Investiční náklady  $IN$  jsou součtem nákladů za vstupní měření koncentrace radonu, projekt, materiál, montáž a seřízení systému a kontrolní měření koncentrace radonu.

Náklady na servis a údržbu  $N_s$  jsou roční náklady pokrývající pravidelnou výměnu filtrů, čištění vzduchovodů, výměnu ventilátorů jednou za cca 10 let atd. Jednorázové výdaje uskutečňované v pravidelných víceletých intervalech se rovnoměrně rozpočítají na jednotlivé roky. Růst těchto nákladů v čase je vyjádřen indexem  $r_s$  [-].

Náklady na provozní energie  $N_e$  jsou roční náklady pokrývající spotřebu elektrické energie na provoz ventilátorů. Stálé měsíční platby se neuvážují (majitel by je platil i bez protiradonového opatření). Růst těchto nákladů v čase je vyjádřen indexem  $r_e$  [-].

$N_o$  jsou roční náklady pokrývající tepelné ztráty větráním. Předpokládá se, že tyto ztráty jsou pokryty zvýšeným výkonem stávající otopné soustavy. U soustav, kde hlavním zdrojem energie je zemní plyn nebo elektřina, se cena za spotřebovanou energii stanoví bez stálé měsíční platby. Růst těchto nákladů v čase je vyjádřen indexem  $r_o$  [-].

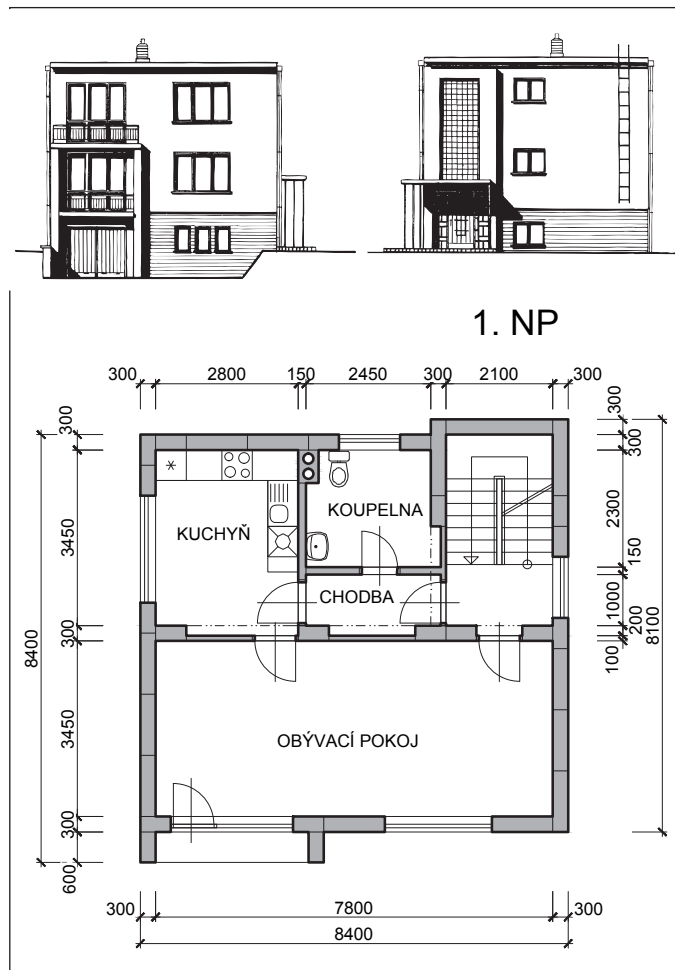
Výběr větracího systému zpravidla usnadní, jsou-li náklady stanovené podle vztahu (2) vyneseny do jednoho grafu pro různé varianty větrání (viz obr. 2 v následující kapitole).

## PŘÍKLAD NÁVRHU VĚTRACÍHO SYSTÉMU V ENERGETICKY SANOVANÉM RODINNÉM DOMĚ START

### Zdravotní důsledky energetické sanace

Ukažme si konkrétní důsledky snížení intenzity větrání na příkladu typického rodinného domu Start (obr. 1) postaveného v roce 1975 ze škváro-betonových panelů, které jsou jediným zdrojem radonu v domě. V roce 2008 byla instalována následující opatření ke snížení spotřeby energií: obvodový plášť byl opatřen kontaktním zateplením na polystyrenové bázi o tloušťce 100 mm, tloušťka tepelné izolace ve střeše byla navýšena o dalších 100 mm polystyrenu, strop nad nevytápěnou částí sklepa byl zateplen 50 mm polystyrenu a do všech otvorových výplní byla osazena nová těsná plastová okna a dveře. Jak ukazuje tab. 2, koncentrace radonu v domě po realizaci těchto opatření vzrostla v průměru 3,4krát z původních 337 Bq/m<sup>3</sup> na 1117 Bq/m<sup>3</sup>. Nejenže tato koncentrace již významně překračuje směrnou hodnotu pro stávající stavby 400 Bq/m<sup>3</sup>, ale zároveň představuje podstatné zvýšení rizika rakoviny plic. Použijeme-li

obecně uznávaný přepočít podle Darbyho, že přídatné riziko rakoviny plic roste o 16 % na každých 100 Bq/m<sup>3</sup> [2], jsou uživatelé energeticky sanovaného domu vystaveni riziku, které je o 16.(1 117 – 337)/100 = = 125 % vyšší než před sanací. Je tedy třeba zvážit, zda je o 125 % vyšší riziko vykompenzováno získanými energetickými úsporami.



Obr. 1 Rodinný dům Start – čelní pohled a půdorys 1. NP (v 2. NP je obývací pokoj rozdělen příčkou na dva pokoje). Stropní ŽB panely a příčky jsou ze stavebních materiálů s běžným obsahem přírodních radionuklidů.

Tab. 2 Koncentrace radonu v domě Start před a po energetické sanaci. Koncentrace byly měřeny stopovými detektory s roční dobou expozice.

Místnost	Koncentrace radonu [Bq/m <sup>3</sup> ]		Poměr [-] $C_{po}/C_{před}$
	před $C_{před}$	po $C_{po}$	
Obývací pokoj + kuchyně – 1. NP	302	753	2,5
Dětský pokoj – 2. NP	296	1 165	3,9
Ložnice – 2. NP	312	1 524	4,9
Kuchyně – 2. NP	438	1 025	2,3
Průměrné hodnoty	337	1 117	3,4

### Zvýšení intenzity větrání pro snížení koncentrace radonu

Nárůst koncentrace radonu byl jednoznačně způsoben poklesem intenzity větrání. Její současná hodnota byla stanovena metodou konstantního přísunu indikačního plynu N<sub>2</sub>O do celého objemu 1. NP. Princip měřicí metody spočívá v tom, že do měřeného prostoru známého objemu je s konstantní a známou rychlostí jeho měrné koncentrace

injektován indikační plyn  $N_2O$  a současně je kontinuálně monitorována jeho koncentrace [4]. Průměrná hodnota naměřené intenzity větrání za období 3 dnů pro zjevně málo ventilovaný objekt v průběhu letní ne-topné sezony činila  $0,106 \text{ h}^{-1}$  [3]. Protože nebylo možné změřit původní hodnotu intenzity větrání, byla pro účely tepelně-technických výpočtů získána tak, že se současná intenzita zvýšila ve stejném poměru, v jakém vzrostla koncentrace radonu, tj. jako součin  $0,106 \cdot 3,4 = 0,36 \text{ h}^{-1}$ . Tato hodnota odpovídá technickému stavu domů stavěných v 70. a 80. letech minulého století.

Snížení koncentrace radonu a tím i rizika rakoviny plic na původní úroveň lze dosáhnout jen zvýšením intenzity větrání zpět na hodnotu  $0,36 \text{ h}^{-1}$ . Minimální množství větracího vzduchu, které k tomu bude zapotřebí, lze zjistit z následujícího vztahu:

$$\dot{V} = \left( \frac{C_{po} I_{po}}{C_{pred}} - I_{po} \right) O = \left( \frac{C_{po}}{C_{pred}} - 1 \right) I_{po} O = \left( \frac{1117}{337} - 1 \right) \cdot 0,106 \cdot 428 = 105 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

kde jsou

- $\dot{V}$  průtok větracího vzduchu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],
- $O$  objem vytápěné části domu [ $\text{m}^3$ ],
- $C_{po}$  a  $C_{pred}$  průměrné koncentrace radonu v domě po a před energetickou sanací [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ],
- $I_{po}$  intenzita větrání domu po energetické sanaci [ $\text{h}^{-1}$ ].

Vypočtené množství vzduchu  $105 \text{ m}^3/\text{h}$  není nijak velké, zvláště když si uvědomíme, že musí být rozděleno mezi dvě obytná podlaží a část vytápěného suterénu. Na každé obytné podlaží pak připadá cca 40 % z celkového množství, tj.  $42 \text{ m}^3/\text{h}$ . Takovýto vzduchový výkon lze zajistit buď centrálním nuceným větráním, nebo přirozeným způsobem pomocí 3 větracích štěrbin osazených do oken v obytných místnostech každého obytného podlaží (po jedné do každého okna).

### Vyhodnocení energetické náročnosti domu

Základní ukazatele energetické náročnosti domu pro stavy před a po energetické sanaci (pro obě intenzity větrání) shrnuje přehledně tab. 3. V důsledku energetické sanace domu poklesl průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy z hodnoty  $1,42 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  na hodnotu  $0,66 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , tj. přibližně 2,2krát. Je to jediný parametr z tab. 3, který není ovlivněn intenzitou větrání. Měrná potřeba tepla na vytápění  $E_{A}$  byla před energetickou sanací domu 6,2krát a po sanaci jen 2,2 až 2,7krát vyšší, než je požadavek pro nízkoenergetické domy ( $50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ). Celková roční potřeba tepla na vytápění  $EN_H$  poklesla z  $47,7 \text{ MWh}$  na  $16,9 \text{ MWh}$  a při zlepšeném větrání na  $20,4 \text{ MWh}$  (přirozené větrání), resp. na  $17,3 \text{ MWh}$  (nucené větrání s 85% účinností zpětného získávání tepla). Protože se tepelná ztráta větráním podílí na potřebě tepla na vytápění méně než 17 % (3. řádek tab. 3), projeví se zlepšení větrání domu pouze nepatrným vzrůstem roční potřeby tepla na vytápění. Vydjeme-li z ceny zemního plynu  $1 \text{ 135 Kč}/\text{MWh}$  z roku 2008, kdy byla energetická sanace provedena, sníží se roční náklady na vytápění z  $54,1 \text{ tis. Kč}$  na  $19,2 \text{ tis. Kč}$  a při zlepšené ventilaci na  $23,2 \text{ tis. Kč}$ , resp.  $19,6 \text{ tis. Kč}$ . Majitel tak může ročně dosáhnout maximální úspory  $34,9 \text{ tis. Kč}$ , která se při zlepšeném větrání sníží jen o  $4 \text{ tis. Kč}$  na  $30,9 \text{ tis. Kč}$ .

*Poznámka: Ve skutečnosti bude roční úspora vyjádřena v korunách samozřejmě každý rok jiná, neboť závisí na aktuální ceně plynu.*

Lze tedy konstatovat, že zvýšení intenzity větrání posuzovaného domu 3,4krát zvýší jeho tepelné ztráty jen minimálně – celková roční potřeba tepla na vytápění vzroste maximálně o 20 %. Roční příplatek ve výši  $4 \text{ tis. Kč}$  na její pokrytí se jistě vyplatí. Je to totiž zároveň příplatek na

zajištění zdravého vnitřního prostředí. Navíc tab. 3 jednoznačně dokumentuje, že smysl energetické sanace se nevytratil.

Tab. 3 Parametry vyjadřující energetickou náročnost domu Start před a po energetické sanaci. Pro výpočet byl použit program Energie [8].

Parametr	Před sanací	Po sanaci	Po sanaci + zvýšené větrání
Intenzita větrání [ $\text{h}^{-1}$ ]	0,36	0,106	0,36
Podíl větrání na celkových ztrátách tepla [%]	8,6	5,6	16,9/7,3 <sup>3)</sup>
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	1,42	0,66	0,66
Měrná potřeba tepla na vytápění $E_{A}$ [ $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ] <sup>1)</sup>	311	110	133/113,4 <sup>3)</sup>
Celková roční potřeba tepla na vytápění $EN_H$ [ $\text{MWh}$ ]	47,7	16,9	20,4/17,3 <sup>3)</sup>
Roční náklady na vytápění domu [ $\text{tis. Kč}$ ] <sup>2)</sup>	54,1	19,2	23,2/19,6 <sup>3)</sup>

Poznámky:

- 1) Měrné energie jsou vztaheny na  $1 \text{ m}^2$  vytápěné podlahové plochy.
- 2) Zdrojem tepla v domě je plynový kotel. Při výpočtu nákladů na vytápění byla uvažována cena plynu  $1135 \text{ Kč}/\text{MWh}$  z roku 2008, kdy byla opatření instalována.
- 3) Hodnota pro přirozené větrání / hodnota pro nucené větrání s 85% účinností zpětného získávání tepla.

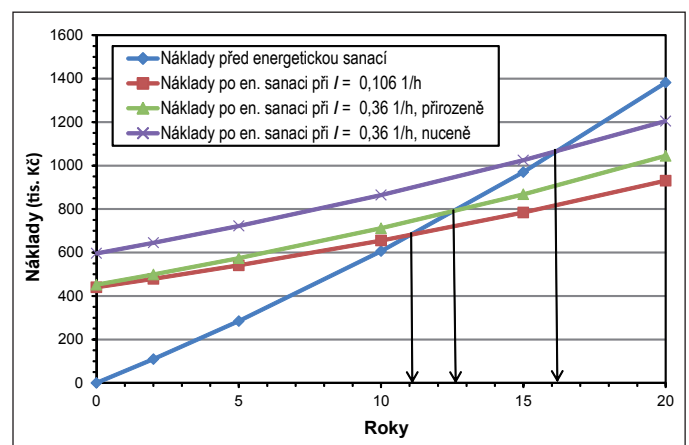
### Porovnání nákladů na přirozené a nucené větrání

Abychom majiteli usnadnili výběr opatření, byl mu kromě údajů v tab. 3 poskytnut i časový vývoj nákladů pro obě varianty větrání stanovený podle vztahu (2). Růst jednotlivých nákladů je parametr, který bylo samozřejmě velmi obtížné předpovědět s dostatečnou přesností. Ve výpočtu se předpokládalo, že v následujících 20 letech porostou ceny elektřiny a plynu v průměru o 2,5 % ročně a cena práce o 1 % ročně, tzn.  $r_e = r_o = 0,025$  a  $r_s = 0,01$ .

Tepelná ztráta větráním byla stanovena podle vztahů (5) až (7) ze Sešitu V v publikaci [6] pro lokalitu na severním okraji Prahy. Investiční náklady a roční náklady na servis, provoz a pokrytí tepelných ztrát zvýšeným větráním rekapituluje pro oba větrací systémy tab. 4.

Tab. 4 Pořizovací a roční provozní náklady (tis. Kč) pro výpočet  $N_t$  podle vztahu (2)

Větrací systém	$IN$	$N_s$	$N_e$	$N_o$
Přirozené větrání okenními štěrbinami	12	0	0	4
Centrální nucená ventilace s rekuperací tepla	156	2,0	2,3	0,6



Obr. 2 Porovnání nákladů na vytápění a větrání domu před a po energetické sanaci a po úpravě větrání přirozeným nebo nuceným způsobem

Výsledky výpočtu ve formě časových průběhů nákladů jsou vyneseny na obr. 2. Aby bylo možné odhadnout dobu návratnosti energetické sanace, jejíž pořizovací náklady byly 440 tis. Kč, obsahuje obr. 2 i křivky nákladů pro původní dům bez energetické sanace a pro sanovaný dům bez úpravy větrání. Je zřejmé, že původní návratnost energetické sanace kolem 11 let se při úpravě větrání přirozeným způsobem prodlužuje o zhruba 1,5 roku a v případě nuceného větrání o cca 5 let (doby návratnosti jsou na obr. 2 znázorněny šipkami). Kdyby byl roční růst cen energií vyšší, než s jakým bylo uvažováno, tvar křivek by se nezměnil, pouze by byly strmější a doby návratnosti by se zkrátily. Vzhledem k tomu, že se nákladové křivky pro nucené a přirozené větrání neprotínají, vychází zlepšení výměny vzduchu okenními šterbinami jako výhodnější opatření.

### Vyhodnocení účinnosti realizovaného větracího systému

Majitel nakonec nechal v domě instalovat nucené podtlakové větrání kombinované s přívodem vzduchu větracími šterbinami (v každém nadzemním podlaží byly osazeny 3 okenní šterbiny a dva odsávací ventily odvádějící vzduch z koupelny a kuchyně napojené na odsávací ventilátor).

Intenzita větrání a její vliv na změnu koncentrace radonu v objektu byly sledovány podrobným týdenním měřením pro periodicky – vždy 24 hodin zapnutý, resp. vypnutý režim nuceného podtlakového větrání. Vlastní měření proběhlo s měřidly Státního ústavu radiační ochrany, v.v.i., během letošního července za zjevného pobytu osob. Současně se kontinuálně měřily hodinové průměry intenzity větrání a koncentrace radonu. Zatímco intenzita větrání se měřila pomocí kontinuálního monitoru indikačních plynů ( $\text{SF}_6$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ) s využitím indikačního plynu  $\text{N}_2\text{O}$  [4], koncentrace radonu se měřila precizním kontinuálním monitorem AlphaGUARD (Saphymo, Německo). Celkové nejistoty měření ( $k = 1$ ) intenzity větrání se pohybovaly na úrovni lepší než 15 % a koncentrací radonu lepší než 10 %. Dosažené výsledky měření relevantních průměrů intenzity větrání  $I$  a koncentrace radonu  $C_m$  během vždy 24 hodin trvajícího režimu zapnutého, resp. vypnutého nuceného odvětrání pak ilustrují tab. 5 a 6 (kde AP je aritmetický průměr a  $S_x$  je střední chyba aritmetického průměru).

Tab. 5 Vliv nuceného odvětrání na změnu intenzity větrání

Režim	ZAPNUTO		VYPNUTO	
	$I$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$S_x$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$I$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$S_x$ ( $\text{h}^{-1}$ )
1	1,39	0,06	0,79	0,06
2	1,08	0,06	0,73	0,03
3	1,27	0,09	0,56	0,06
4			0,83	0,06
AP	1,25		0,73	
$S_x$	0,09		0,06	

Tab. 6 Vliv nuceného větrání na změnu koncentrace radonu  $C_m$

Režim	ZAPNUTO		VYPNUTO	
	$C_m$ ( $\text{Bq/m}^3$ )	$S_x$ ( $\text{Bq/m}^3$ )	$C_m$ ( $\text{Bq/m}^3$ )	$S_x$ ( $\text{Bq/m}^3$ )
1	91	12	174	16
2	81	5	131	13
3	74	6	150	33
4			133	10
AP	82		147	
$S_x$	5		10	

Z dosažených výsledků měření uvedených v tab. 5 a 6 vyplývá, že zhruba dvojnásobně intenzitě větrání  $0,73 \text{ h}^{-1}$  při vypnutém nuceném odvětrání, než s jakou bylo uvažováno při výpočtu opatření ( $0,36 \text{ h}^{-1}$ ), odpovídá také zhruba poloviční koncentrace radonu  $147 \text{ Bq/m}^3$  (oproti uvažovaným  $337 \text{ Bq/m}^3$ ). Nucené odvětrání zvyšuje intenzitu větrání o cca  $0,4 \text{ h}^{-1}$ , čemuž odpovídá další snížení koncentrace radonu.

Změřené průměrné hodnoty intenzity větrání  $0,6$  až  $0,8 \text{ h}^{-1}$  v obývaném objektu v průběhu léta pak dobře odpovídají námi měřeným hodnotám ze 70 objektů, kategorizovaných dle těsnosti obálky v topné i netopné sezoně [10] technikou pasivního integrálního měření dle Dietze [11], ale i výsledkům jiných autorů [12]. Měření intenzity větrání se bude podrobněji věnovat samostatný článek.

### ZÁVĚR

Opatření snižující energetickou náročnost stávajících staveb zodpovídají velmi často i za nežádoucí mnohonásobný pokles intenzity větrání. Důsledkem je vzrůst koncentrací jednotlivých škodlivin ve vnitřním ovzduší a obecně zhoršení kvality vnitřního prostředí. Na příkladu rodinného domu bylo ukázáno, že koncentrace radonu původně splňující legislativní požadavky může po energetické sanaci vzrůst na hodnotu vysoko překračující nejen národní, ale i mezinárodní úroveň doporučené WHO, ICRP a IAEA.

Při snižování energetické náročnosti objektů (bez ohledu na to, zda jejich konstrukce vykazuje zvýšený obsah přírodních radionuklidů, či nikoliv), je nutné postupovat tak, aby intenzita větrání neklesla pod hodnotu odpovídající hygienickému minimu. V opačném případě musí být vždy navržen a instalován účinný větrací systém zajišťující kompromis mezi energetickými úsporami a zdravým vnitřním prostředím.

Součástí energetické sanace domů a bytů postavených ze stavebních materiálů s vyšším obsahem přírodních radionuklidů musí být vždy návrh větracího systému. Větrání řízené koncentrací radonu bývá totiž v těchto případech nejefektivnějším opatřením zabraujícím nepříjemnému zvýšení koncentrace radonu. Podle konkrétních podmínek lze potřebné intenzity větrání dosáhnout přirozeným nebo nuceným způsobem. Nepatrný nárůst tepelných ztrát vyvolaný zvýšeným větráním je plně kompenzován zdravotním přínosem v podobě sníženého rizika rakoviny plic.

Účinnost a spolehlivost jakéhokoliv větracího systému lze efektivně kontrolovat dlouhodobým měřením v obývaném domě, při němž se současně monitoruje intenzita větrání a koncentrace radonu nebo jiné škodliviny.

Kontakt na autora: jiranek@fsv.cvut.cz

Poděkování: Publikované poznatky byly částečně získány za podpory výzkumného projektu TB01SUJB072 financovaného Technologickou agenturou České republiky.

### LITERATURA

- [1] ČSN 73 0602. Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů. UNMZ 2006
- [2] DARBY, S. et al. *Radon in homes and risk of lung cancer*. Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, BMJ 330. 2005, pp. 223-227.
- [3] JÍLEK, K. Protokol o měření intenzity větrání v RD Roztoky. SÚRO Praha, 2013.
- [4] JÍLEK, K., BRABEC, M. Radon Diagnostics and tracer gas measurements. In: *Proceedings on 4th European Conference on Protection against Radon at Home and at Work*. Prague, 2004. ISBN 80-01-03009-1.
- [5] JIRÁNEK, M., HONZÍKOVÁ, M. *Radon – stavební souvislosti I*. ČVUT v Praze, 2012.
- [6] JIRÁNEK, M., HONZÍKOVÁ, M. *Radon – stavební souvislosti II*. ČVUT v Praze, 2013.

- [7] JIRÁNEK, M., KAČMAŘIKOVÁ, V. Dealing with the increased radon concentration in thermally retrofitted buildings. In: *Radiation Protection Dosimetry*. 2014, pp. 1-5, doi: 10.1093/rpd/ncu104.
- [8] SVOBODA SOFTWARE. *Software Energie* [software]. Kladno, 2013.
- [9] VLČEK, J. Effectiveness of shielding materials: Thickness of shielding material to provide attenuation indicated. In: *IAEA Safety Standard No. DS421 Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation – draft*. IAEA, 2012.
- [10] JÍLEK, K., THOMAS, J., BULÁNEK, B. J., LENK, J. a MAŘÍKOVÁ, Š. *Význam měření ventilace vzduchu v bytech a budovách pro stanovení odvrácených dávek z inhalace v budovách z kontaminovaného venkovního vzduchu radioaktivními látkami*. Bezpečnost JE. SUJB, v tisku.
- [11] DIETZ, R. N., et al. Detailed description and performance of passive perfluorocarbon tracer system for building ventilation and air exchange rate measurements. In: *Trechsel, H. R., - Lagus, P. L., eds Measure Air Leakage of Buildings*. ASTM STP 904 PA, ASTM Intl. 1986, pp. 203-264.
- [12] FREDRISEN, M., et al. *Seasonal variation in monthly average air exchange rate using passive tracer gas masuemetns*. Proceedings of the Indoor Air. 2011, Paper No.31. ■

### Cyklonové odlučovače nečistot

Nová generace cyklonových odlučovačů Zeparo Dirt od TA Heimeier je určena pro odstraňování nečistot, usazenin a kalů cyklonovou technologií, účinnější než kdykoliv předtím.

Odlučovač je vhodný pro malé a střední jednotky do výkonů 300 kW a pro teploty do 110 °C. Konstrukce pro in-line vestavbu do potrubí dovoluje jednoduchou instalaci a údržbu. Tlaková třída zařízení je PN 10.

Pramen: CCI 07/2014, s. 18

(AB)

### Regulační kulový kohout Belimo

Společnost Belimo Stellantriebe Vertriebs-GmbH, Stuttgart nyní nabízí tlakově nezávislý regulační kulový kohout EPIV ve jmenovitých průměrech DN 15 až DN 150. Kohout splňuje čtyři funkce – měření, regulace, automatické hydraulické vyvážení a uzavírání v hotové montážní jednotce. Provedení armatury sleduje maximální objemový průtok. Přes integrovanou elektronickou regulaci průtoku se bezpečně docílí potřebného průtoku i při změnách diferenčních tlaků a při částečném zatížení. Naměřené hodnoty lze odečítat přes MP bus. Provozní teplota je od -10 °C do 120 °C a systémový tlak až 1 600 kPa.

Pramen: CCI 07/2014, s. 17

(AB)

### Plnoautomatické pohony ventilů Sauter

Pohony ventilů u klimatizací v plnoautomatickém provedení jsou zpravidla z 80 % v módu standby a z 20 % v pohybu. Sauter nyní předvádí nově vyvinutý pohon ventilů vialoq AVM 1000, jenž v módu standby spotřebuje pouze 0,45 W. Za provozu má pohon se silou 1000 N v tahu spotřebu pouhých 1,6 W. S optimalizovanou geometrií zubů se stal jeho provoz velmi tichým. Absolutní měření polohy s vestavěným rozpoznáváním pohybu zajišťuje, že při výpadku proudu není nutná žádná inicializace pohonu. Parametrování pohonu lze uskutečnit přes vícenásobný DIP přepínač.

Pramen: CCI 05/2014

(AB)

### Ventilátory ebm-papst pro retrofit

Nová řada radiálních ventilátorů Radifit od ebm-papst GmbH, Melsungen s dozadu zahnutými lopatkami, spirální skříň a elektronicky komutovanými motory (EC) je zvláště vhodná pro cenově výhodnou plug&play výměnu ventilátorů o nízké účinnosti. Odpovídají tomu i přizpůsobené rozměry skříně, oběžného kola, motoru a řídicí elektroniky, které se dodávají jako funkční jednotka. Plynule ovládatelným EC pohonem GreenTech pracují radiální ventilátory s vysokou účinností při současně vysokém dopravním tlaku. Řada zahrnuje stavební velikosti 250, 315 a 400 s výkony do 10 000 m³/h vzduchu, které jsou dodávány od poloviny roku 2014.

Pramen: CCI 05/2014

(AB)

### Kompresory GEA Bock

Nové polohertické kompresory řady GEA Bock HG44e a HG56e mají kompaktnější provedení než jejich předchůdci, mají modernější systém ventilových destiček, elektromotory nejnovější generace a zlepšené proudění plynu, což zvyšuje účinnost. Čtyřválcová řada HG44e má maximální zdvihový objem 41,3 až 67,0 m³/h; šestiválcová řada HG56e má 73,8 až 100,4 m³/h. Obě řady jsou na trhu již od dubna 2014.

Pramen: CCI 05/2014

(AB)

### Energetické údaje v inzerátech pronajímané nemovitosti

Od 1. května 2014 vstoupilo v Německu v platnost nařízení úspor energie EnEV 2014, které mimo jiné ukládá povinnost všem inzerentům pronajímaných nemovitostí uvádět informace o energetickém stavu nabízené nemovitosti včetně spotřeby energie podle energetického štítku budovy i o způsobu vytápění. Jak sděluje německá energetická agentura, může být zanedbání této povinnosti posuzováno jako porušení veřejného pořádku a potrestáno pokutou.

Pramen: CCI 05/2014

(AB)

# ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ

nejlepší způsob, mezi kvalitou vzduchu a úsporou energie



- Stop plísní a rosení oken
- Řešení vlhkosti
- Snížení výskytu radonu
- Zaručuje optimální klima uvnitř bytu
- Efektivní a ekonomické
- Jednoduchá dodatečná montáž



 AERECO