

Ing. Jiří NOVÁK,
Doc. Ing. Jan TYWONIAK, CSc.
ČVUT v Praze Fakulta stavební

Budova jako součást větracího systému / větrací systém jako součást budovy

A Building as a Part of Ventilation System / Ventilation as a Part of Building

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Průvzdušnost obálky budovy (způsobená netěsnostmi ve stavebních konstrukcích) může mimo jiné výrazně ovlivnit výměnu vzduchu v budově, činnost větracího systému a potřebu tepla na vytápění. Příspěvek uvádí možnosti hodnocení celkové průvzdušnosti budov, shrnuje požadavky stavebních norem na průvzdušnost stavebních konstrukcí a formou parametrické studie ukazuje na jednoduchém příkladu zejména energetické důsledky vysoké průvzdušnosti.

Klíčová slova: průvzdušnost stavebních konstrukcí, výměna vzduchu, větrání, nízkoenergetické budovy

Air leakage (caused by leaks in building envelope) may markedly influence among others the air exchange in the building, the operation of ventilation system and the heat demand for heating. The contribution indicates the evaluation possibilities of the overall air permeability of buildings, summarizes requirements of building-related technical standards concerning the airtight of buildings and building components and indicates in the form of a parametric study especially the energy effects of high air leakage on a simple example.

Key words: air permeability, airtightness, air leakage, air exchange, ventilation, low-energy buildings

ÚVOD

Větrání v budově by se mělo řídit hygienickými požadavky a současně by nemělo způsobovat nepřiměřené tepelné ztráty. Proto by měla být budova vybavena systémem umožňujícím regulaci průtoku vzduchu přiváděného do budovy a odváděného ven. Pojem větrací systém obecně nemusí zahrnovat pouze mechanický systém s potrubním rozvodem a ventilátory, ale také pokročilé systémy přirozeného větrání a systémy hybridní. Všechny tyto systémy však mají jedno společné – nemohou plnit předpoklady projektanta ani očekávání uživatele, pokud bude přiváděný nebo odváděný vzduch proudit mimo systém a obcházet tak jeho regulační prvky.

Mezi místa, kde větrací vzduch vstupuje do systému, nebo jej opouští, patří také netěsnosti v obálce budovy, vznikající jako chyby při návrhu a výstavbě. U budov vybavených mechanickým větráním těmito netěsnostmi proudí určitý (někdy velký) průtok vzduchu navíc, oproti předpokladům návrhu. Vzduch vnikající do budovy netěsnostmi v její obálce může způsobovat nepříjemný průvan (v zimním období chladný) a znehodnocovat tak kvalitu vnitřního prostředí. Pro dosažení požadované vnitřní teploty je v takových případech zapotřebí více tepla (vnější vzduch infiltrující netěsnostmi je potřeba ohřát) a tepelná ztráta budovy stoupá.

Ještě výrazněji se důsledky netěsností projeví v tepelné bilanci budov vybavených mechanickým větracím systémem se zpětným získáváním tepla (ZZT). Vzduch, který proudí netěsnostmi v obálce budovy, neprochází výměníkem ZZT a nemůže tedy předat teplo čerstvému větracímu vzduchu. Takto vznikající dodatečná tepelná ztráta, která nebývá při návrhu budovy běžně zohledňována,^{*)} musí být kompenzována systémem vytápění. Přestože samotný výměník ZZT pracuje stále se stejnou účinností, jeho přínos k snížení potřeby tepla pro budovu výrazně klesá. S exfiltrací tepleho a vlhkého vnitřního vzduchu netěsnými konstrukcemi směrem ven je navíc spojeno vysoké riziko kondenzace vodních par a následného poškození konstrukce [1].

Jestliže u běžných budov může dojít v důsledku netěsné obálky budovy k významnému zvýšení tepelných ztrát, pak u budov s deklarovanou nízkou potřebou tepla na vytápění (zejména u pasivních domů) vybavených větracími systémy se zpětným získáváním tepla jsou energetické důsledky netěsné obálky mimořádně významné.

^{*)} Pozn. redakce: Obě úvahy platí za předpokladu, že je nucené větrání tlakově nevyvážené. V prvním případě je podtlakové, ve druhém přetlakové.

Uvedené skutečnosti vedly tvůrce koncepce pasivního domu (dům s mimořádně nízkou potřebou tepla na vytápění, zpravidla menší než 15 kWh na metr čtverečný podlahové plochy a rok, [2]) k zavedení velmi přísného, ovšem oprávněného požadavku na vzduchotěsnost obálky budovy. Tento požadavek je považován za klíčový a jeho splnění prokazované měřením na dokončené budově podmiňuje vydání certifikátu o dosažení úrovně pasivního domu. Dosažení těchto požadavků není jednoduché, a proto bývá v zahraničí vzduchotěsnost pasivních domů kontrolována měřením v různých fázích výstavby, aby mohly být včas odstraněny případné nedostatky.

HODNOCENÍ PRŮVZDUŠNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ A BUDOV

Průvzdušností budovy se míní schopnost obálky budovy propouštět vzduch v případě, že je budova vystavena rozdílu tlaku vzduchu v budově a mimo ni. Celková průvzdušnost budovy je určena kombinovaným efektem jednotlivých netěsností v obvodových konstrukcích, stavebních prvcích a jejich spojkách. Při změně tlakového rozdílu se mění i průtok vzduchu obálkou budovy. Závislost celkového objemového toku vzduchu netěsnostmi na působícím tlakovém rozdílu se nejčastěji vyjadřuje empirickou rovnicí proudění

$$\dot{V} = C \cdot \Delta p^n \quad (1)$$

kde

$\dot{V}$ – objemový tok vzduchu v m³/s,

C – součinitel proudění v m³/(s.Paⁿ),

Δp – tlakový rozdíl v Pa,

n – exponent proudění (bezrozměrný).

Průvzdušnost budovy je tedy určena součinitelem proudění C a exponentem n . Při jejich znalosti je možno stanovit průtok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při libovolném tlakovém rozdílu. Tento způsob hodnocení není příliš praktický, neboť neumožňuje jednoduché porovnání průvzdušnosti několika budov mezi sebou. Proto se pro hodnocení průvzdušnosti budov používají jednočíselné veličiny odvozené z hodnoty celkového objemového toku vzduchu netěsnostmi při smluvně stanoveném tlakovém rozdílu. Aby bylo možno budovy vzájemně porovnávat, vztahují se tyto veličiny k nějakému charakteristickému rozměru budovy (objem vnitřního vzduchu, plocha obálky budovy, podlahová plocha).

Nejčastějšími jednočíselnými veličinami používanými pro kvantifikaci celkové průvzdušnosti budov jsou:

- ekvivalentní plocha netěsnosti, A_L [m²],
- normalizovaná plocha netěsnosti, A_n [–],
- intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, n_{50} [1/h],
- měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi při 50 Pa, w_{50} [m³/(h·m²)],
- vzduchová propustnost budovy při 50 Pa, q_{50} [m³/(h·m²)].

Všechny uvedené veličiny byly odvozeny za shodného předpokladu exponenciální závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi na tlakovém rozdílu (empirická rovnice proudění – vztah (1)). Použití shodného základního fyzikálního modelu umožňuje vzájemný přepočet těchto veličin.

Ekvivalentní plocha netěsnosti A_L udává plochu ideálního otvoru, který by při referenčním tlakovém rozdílu protékalo stejně jako obálkou budovy. Používá se jako hodnotící kritérium celkové průvzdušnosti budov především v Kanadě a USA [3]. Za referenční hodnotu tlakového rozdílu se dosazuje buď 10 Pa (USA) nebo 4 Pa (Kanada). Hlavní výhodou je názornost této veličiny. Hodnota ekvivalentní plochy netěsnosti ovšem není vztažena k měrné jednotce budovy, takže neumožňuje přímé porovnání průvzdušnosti různě velkých budov. Vzájemné porovnání hodnot z různých zdrojů může být navíc komplikováno použitím odlišné hodnoty součinitele C . Hlavní nevýhodou této veličiny je velká nejistota, kterou je zatíženo stanovení její hodnoty z dat naměřených běžně používanou metodou tlakového spádu (tlakového rozdílu) – extrapolací naměřených hodnot.

Normalizovaná plocha netěsnosti A_n je odvozená z ekvivalentní plochy netěsnosti a vztažena k jednotce podlahové plochy a referenční výšce budovy. Používá se pro vyjádření požadavků na průvzdušnost obytných budov v některých severoamerických předpisech.

Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa n_{50} udává objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa vztažený k objemu vnitřního vzduchu v budově

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (2)$$

kde
 $\dot{V}_{50}$ – objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa v m³/h,
 V – objem vnitřního vzduchu měřené budovy v m³.

Stanovení této veličiny z naměřených dat není zatíženo tak vysokou nejistotou jako v případě ekvivalentní plochy netěsnosti. Hodnota referenčního tlakového rozdílu leží v intervalu, ve kterém jsou při běžných metodách naměřená data odečítána s nejvyšší přesností.

Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa je všeobecně uznávanou a nejrozšířenější jednočíselnou veličinou pro hodnocení celkové průvzdušnosti budovy. Touto veličinou jsou definovány i doporučené úrovně celkové průvzdušnosti budov v ČSN 73 0540-2: 2002 [4].

Měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi při 50 Pa w_{50} udává objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa vztažený k celkové podlahové ploše budovy

$$w_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_F} \quad (3)$$

kde
 A_F je celková podlahová plocha budovy v m².

Vzduchová propustnost budovy při 50 Pa q_{50} udává objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa vztažený k celkové ploše obálky budovy:

$$q_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_E} \quad (4)$$

kde
 A_E je celková plocha obálky budovy v m².

Vzduchová propustnost budovy při 50 Pa se používá jako hodnotící kritérium celkové průvzdušnosti budovy v některých evropských zemích (Francie, Švýcarsko, Velká Británie).

Průvzdušnost v českých normách

ČSN 73 0540:2 (2002) [4] stanovuje *doporučené hodnoty* celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa $n_{50,N}$ – viz tab.1. Současně *závazně omezuje* spárovou průvzdušnost funkčních spar oken a dveří. Zde jsou hodnoty stanoveny v závislosti na výšce budovy a způsobu větrání (tab. 2).

Vztah mezi výše uvedeným doporučením pro n_{50} a závaznou hodnotou i_{LV} je ilustrován následující výpočtovou simulací testu celkové průvzdušnosti pro jednoduchý rodinný dům (viz „Kvantifikace důsledků netěsností“ a obr.1) s obvyklými plochami oken: Pokud by byla použita okna a vstupní dveře se součinitelem spárové průvzdušnosti $i_{LV} = 0,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67})$ a obálka budovy byla jinak dokonale vzduchotěsná, pak by intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa činila již jen z těchto důvodů 0,5 1/h. V takovém případě by bylo zřejmě nereálné dosáhnout doporučené hodnoty $n_{50,N}$ nižší než 0,6 1/h (nebo 1,0 1/h), protože i vynikajícím způsobem řešená budova zákonitě obsahuje některé další netěsnosti, které nelze zcela vyloučit. Při použití oken s $i_{LV} = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67})$ a vstupních dveří s $i_{LV} = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67})$ je výpočtem simulovaná hodnota n_{50} pouze 0,06 1/h⁻¹, pokud vše ostatní je ideálně těsné. V takovém případě je dosažení hodnoty $n_{50,N} = 0,6 \text{ 1/h}$ při velmi pečlivém návrhu a realizaci obvodových konstrukcí reálné.

Pozn.: Okenní rámy s dnes běžným způsobem konstrukčního řešení (celoobvodové kování, těsnění funkční spáry) zpravidla vykazují hodnoty i_{LV} nižší než $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67})$ [5]. Větším problémem jsou reálné dosahované hodnoty u vstupních a balkonových dveří a obecně riziko nárůstu netěsností oken v průběhu užívání budovy.

Tab. 1 Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$

Větrání v budově	$n_{50,N}$ [1/h]
Přirozené	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění	0,6

Tab.2 Požadované (nejvyšší) hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti $i_{LV,N}$

Funkční spára ve výplni otvoru	Požadovaná hodnota součinitele spárové průvzdušnosti $i_{LV,N}$ [m ³ /(s·m·Pa ^{0,67})]	
	Budova s větráním	
	přirozeným nebo kombinovaným	pouze nuceným nebo s klimatizací
Vstupní dveře do zádveří budovy při celkové výšce nadzemní části budovy do 8 m včetně	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vstupní dveře do budovy Dveře oddělující ucelenou část budovy	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$0,30 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplň otvorů při celkové výšce nadzemní části budovy	- do 8 m včetně - mezi 8 m a 20 m - nad 20 m včetně	$0,87 \cdot 10^{-4}$ $0,60 \cdot 10^{-4}$ $0,30 \cdot 10^{-4}$
		$0,10 \cdot 10^{-4}$

Norma [4] dále stanoví, že „spárová průvzdušnost styků a spojů konstrukčních prvků má být prakticky nulová“.

Najdeme zde dále požadavky na výměnu vzduchu ve formě tradičně užívané hodnoty intenzity výměny vzduchu n [1/h], která se stanoví výpočtem z jinde uvedeného požadavku (odpovídající Vyhlášky, Nařízení vlády,...) na hygienickou výměnu vzduchu (jako $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{osobu})$). To platí pro případ, kdy je místnost užívána.

Norma současně doporučuje i velikost minimální výměny vzduchu v místnosti v době, kdy tato není užívána. Vše je vedeno snahou o zajištění kvalitního vnitřního prostředí při nízké energetické náročnosti provozu. Z těchto důvodů se požaduje, aby intenzita výměny vzduchu v užívané místnosti n ležela při zimních návrhových podmínkách v intervalu

$$n_N \leq n \leq 1,5 n_N \quad (5)$$

kde n_N je požadovaná intenzita výměny vzduchu v užívané místnosti přepočítaná z minimálních dávek čerstvého vzduchu stanovených ve zvláštních předpisech. Požadované hodnoty n_N se stanovují bilančním výpočtem. Do bilance se zahrnou všechny podmínky na požadovaný průtok čerstvého vzduchu (veškeré zdroje škodlivin). Do výpočtu intenzity výměny vzduchu n se zahrnou všechny prvky, které zajišťují výměnu vzduchu v přítomnosti uživatele (tedy prvky větracího systému i druhotné netěsnosti v obálce budovy). Ve výpočtech se uvažují zimní návrhové podmínky.

Pokud je místnost užívána v prokazatelném pravidelně proměnlivém režimu (např. koupelny, kuchyně, učebny základní školy), je možné posuzovat podmínku vztahu (5) s uvažováním proměnlivých požadavků na výměnu vzduchu v čase (denní nebo týdenní cyklus).

KVANTIFIKACE DŮSLEDKŮ NETĚSNOSTÍ

Vliv netěsné obálky na celkovou výměnu vzduchu v budově ilustrují výsledky parametrické studie pro jednoduchý rodinný dům. Modelová budova vychází z publikovaného projektu nízkoenergetického rodinného domu MINERAL [1]. Dům je nepodsklepený, s jedním nadzemním podlažím a obytným podkrovím. Nosná konstrukce přízemí je masivní, s využitím zdiva a stropů z betonových dutinových tvarovek. Toto nosné jádro je doplněno méně hmotnými montovanými prvky na bázi dřeva – zvenku je obaleno tepelně izolačním pláštěm a uvnitř rozděleno sádkokartonovými příčkami. Celé druhé podlaží je řešené jako lehká montovaná nástavba (dřevostavba) se střešními okny (obr. 1). Výpočtově se prověřovala výměna vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při různých úrovních průvzdušnosti budovy a za různých okrajových podmínek.

Metoda výpočtu

Výměna vzduchu v budově byla vypočtena programem CONTAMW [10]. Tento program pracuje s vícezónovým výpočtovým modelem často označovaným jako „síťový model“, neboť pro popis proudění vzduchu v budově využívá analogie s elektrickou sítí. Uzly sítě představují zóny nebo vnější prostředí s konstantním tlakem a teplotou. Uzly jsou vzájemně spojeny větvemi s odpory, které reprezentují netěsnosti. Rozdíl potenciálu mezi jednotlivými uzly

sítě odpovídá rozdílu tlaku vzduchu, elektrický proud je nahrazen hmotnostním tokem vzduchu.

Tlakové rozdíly působící na jednotlivé netěsnosti jsou vypočítány programem na základě údajů o průvzdušnosti jednotlivých netěsností, tlakových účincích větru a tlakových účincích rozdílu teplot mezi zónami a vnějším prostředím nebo mezi zónami navzájem. V této studii byla u všech netěsností uvažována exponenciální závislost toku vzduchu na působícím tlakovém rozdílu (empirická rovnice proudění – vztah (1)). Účinky větru jsou do výpočtu zavedeny prostřednictvím tlakových součinitelů tlaku větru C_p a rychlosti větru v úrovni výšky budovy.

Výpočtový model budovy a parametry netěsností

Budova byla zjednodušeně modelována jako jedna zóna. Celkem byly sestaveny tři modely téže budovy, lišící se celkovou průvzdušností obálky:

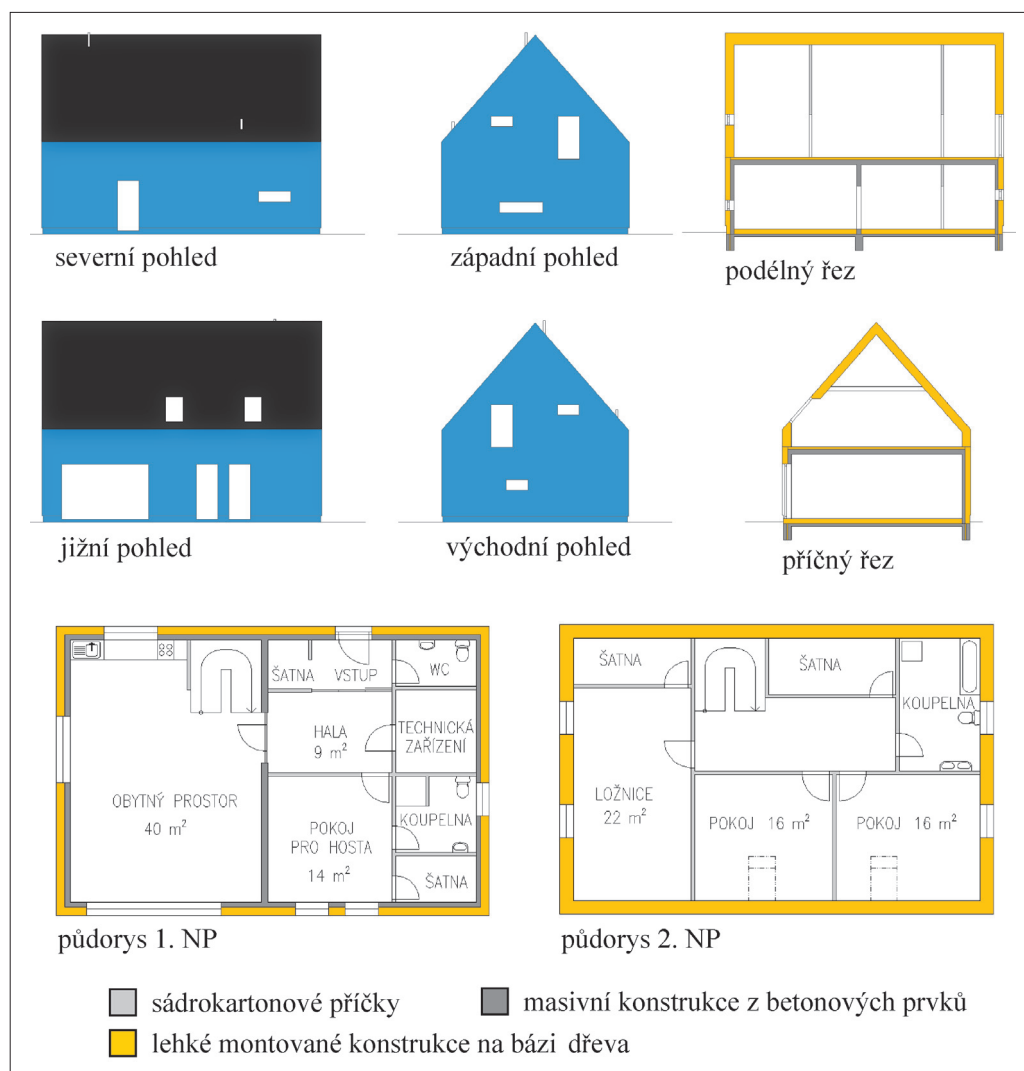
- ☐ případ A – velmi těsná budova,
- ☐ případ B – netěsná budova,
- ☐ případ C – velmi netěsná budova.

V každém z případů A, B a C byly modelovány jiné typy dílčích netěsností, lišilo se i množství těchto netěsností (přehled je uveden v tab. 3). Díky rozdílu v těchto detailech bylo dosaženo odlišných úrovní průvzdušnosti budovy jako celku.

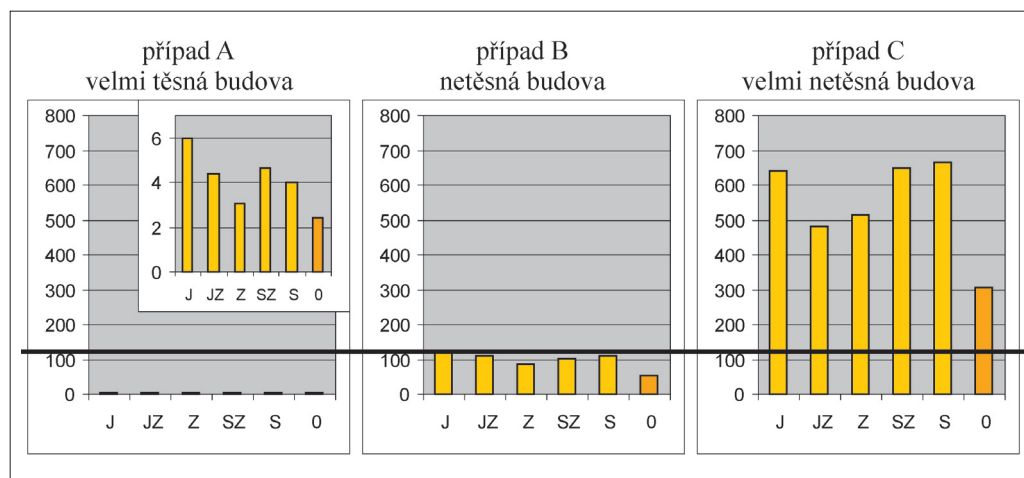
Případ A představuje ideální budovu s naprosto těsnými stavebními (nepřesvitnými) konstrukcemi. Jedinými netěsnostmi v obálce jsou funkční spáry oken a dveří. Charakteristiky těchto spár byly stanoveny ze součinitelů spárové průvzdušnosti i_{LV} , naměřených autorizovanou zkušebnou na běžných oknech [5]. Hodnotu i_{LV} je možno dosadit do empirické rovnice proudění (1) jako součinitel C , charakterizující jeden běžný metr funkční spáry. Zkušebna však neuvádí hodnoty exponentu proudění n [-], které by měly být odvozeny z laboratorních měření podobně jako hodnota i_{LV} . Ve výpočtech se tedy předpokládalo $n = 0,67$. Výpočtovou simulací testu celkové průvzdušnosti budovy byla u případu A zjištěna hodnota intenzity výměny vzduchu $n_{50} = 0,06$ 1/h.

Tab. 3 Vlastnosti netěsností uvažovaných v jednotlivých modelových případech

Případ	Netěsnost	Měrná jednotka	Počet jednotek	Součinitel C [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa}^n)$]	Exponent n [-]
A	funkční spára oken a dveří	1 bm spáry	57,2	0,000010	0,67
	funkční spára střešních oken	1 bm spáry	8,7	0,000016	0,67
B	funkční spára oken a dveří	1 bm spáry	57,2	0,000010	0,67
	funkční spára střešních oken	1 bm spáry	8,7	0,000016	0,67
	připojovací spára výplní otvorů	1 bm spáry	73,7	0,000061	0,60
	napojení lehké stěny v podkroví na strop 1. NP	1 bm spáry	40	0,000083	0,60
	prostup prvků krovu skladbou šikmé střechy	počet prostupů	30	0,000194	0,84
	prostup kanalizačního potrubí skladbou šikmé střechy	počet prostupů	2	0,000111	0,62
	netěsný spoj parozábrany ve skladbě lehkých konstrukcí ve 2. NP	1 bm spoje	231,3	0,000485	0,50
C	funkční spára oken a dveří	1 bm spáry	57,2	0,000010	0,67
	funkční spára střešních oken	1 bm spáry	8,7	0,000016	0,67
	připojovací spára výplní otvorů	1 bm spáry	73,7	0,000061	0,60
	napojení lehké stěny v podkroví na strop 1. NP	1 bm spáry	40	0,000083	0,60
	prostup prvků krovu skladbou šikmé střechy	počet prostupů	30	0,000194	0,84
	prostup kanalizačního potrubí skladbou šikmé střechy	počet prostupů	2	0,000111	0,62
	netěsný spoj parozábrany ve skladbě lehkých konstrukcí ve 2. NP	1 bm spoje	231,3	0,000485	0,50



Obr. 1 Schéma modelové budovy



Obr. 2 Průtok vzduchu obálkou budovy způsobený pouze infiltrací vzduchu

Na svislé ose je vynesen objemový tok vzduchu infiltrujícího netěsnostmi v obálce budovy v m³/h. Tlustá plná čára značí odhadnutou potřebu větracího vzduchu pro 4 obyvatele domu.

J – budova vystavena působení jižního větru, JZ – budova vystavena působení jihozápadního větru atd., 0 – bezvětrí

V případě B bylo množství netěsností a jejich parametry voleny tak, aby bylo dosaženo vyšší celkové průvzdušnosti budovy. Stavební konstrukce byly jako v předchozím případě považovány za naprosto těsné v ploše. Kromě funkčních spár výplní otvorů byly do modelu budovy přidány další netěsnosti představující jednak netěsné spoje konstrukcí, jednak netěsné propusty stavebních prvků těmito konstrukcemi. Výpis netěsností s jejich

vlastnostmi je uveden v tab. 3. Hodnoty parametrů rovnice proudění (C a n) byly převzaty z dostupné literatury [6] nebo z vlastních laboratorních měření [7]. Pro případ B byla výpočtem stanovena hodnota $n_{50} = 1,5$ 1/h.

Případ C se od případu B liší tím, že skládané dřevěné konstrukce tvořící obálku podkrovních prostorů nebyly modelovány jako ideální těsné plochy (konkrétně šikmá střecha, štitové stěny a nízké stěny pod šikmou střechou podél jižní a severní fasády – obr. 1). Naopak se předpokládalo, že spoje fóliové parozábrany, která by měla mimo jiné zajistit vzduchotěsnost těchto konstrukcí, umožňují proudění vzduchu. Z geometrie budovy byl odvozen počet a poloha těchto spojů a ty pak byly modelovány jako dílčí netěsnosti. Vlastnosti těchto netěsností byly odvozeny z laboratorních měření modelu šikmé střechy podobné konstrukce s fóliovou parozábranou s volnými, neslepenými spoji [8] (chyba provedení, bohužel odpovídající běžné stavební praxi). Výpis netěsností je uveden v tab. 3. Zděné obvodové konstrukce v 1. NP byly i v případě C považovány za vzduchotěsné ve své ploše, neboť tento stav je reálně dosažitelný (za předpokladu souvislé omítky bez prasklin). Výpočtem zjištěná hodnota n_{50} činí 6,7 1/h.

Okrajové podmínky

Výměna vzduchu byla u všech variant modelové budovy zjišťována za různých okrajových podmínek. Vždy se jednalo o ustálený stav popisující zimní období. Teplota vnitřního vzduchu byla vždy 20 °C, teplota vnějšího vzduchu –15 °C. Měnil se pouze parametry popisující účinky větru. Postupně byly simulovány případy, kdy vítr vane konstantní rychlostí od jihu, jihozápadu, západu, severozápadu, severu a případ bezvětrí (orientace budovy ke světovým stranám je vyznačena na obr. 1). Referenční rychlost nerušeného proudu vzduchu (větru) v rovinaté krajině a výšce 10 m nad terénem byla uvažována 5 m/s. Zjednodušeně se předpokládalo, že modelová budova leží rovně v rovinaté krajině bez překážek narušujících proudění vzduchu.

Z těchto údajů byla vypočtena rychlost větru v místě budovy a výšce odpovídající výšce budovy. Tlakové součinitele větru C_p byly vždy konstantní po celé ploše fasády (tato hodnota konstantní po ploše fasády se měnila v zá-

vislosti na směr větru). Konkrétní hodnoty odpovídající zvoleným podmínkám a tvaru budovy byly převzaty z [6].

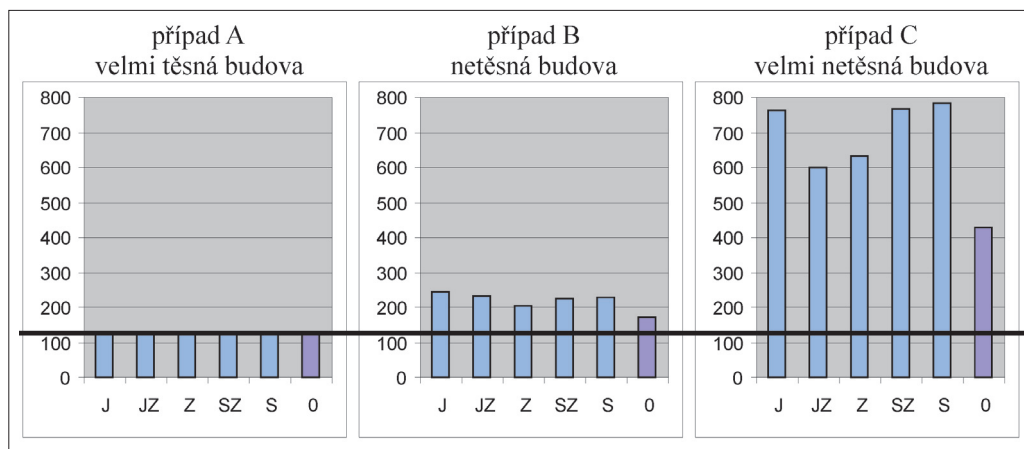
Výsledky výpočtů

Průtok vzduchu obálkou budovy vypočtený pro jednotlivé modelové případy je souhrnně uveden na obr. 2. Tyto výsledky platí za předpokladu, že výměna vzduchu je zajištěna pouze prouděním vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při tlakovém rozdílu vyvolaném pouze účinky větru a rozdílem teplot. Jedná se tedy o infiltraci vzduchu, nikoli o přirozené nebo nucené větrání (při přirozeném větrání řídí výměnu vzduchu uživatel např. otevíráním oken, při nuceném větrání řídí výměnu vzduchu mechanický větrací systém).

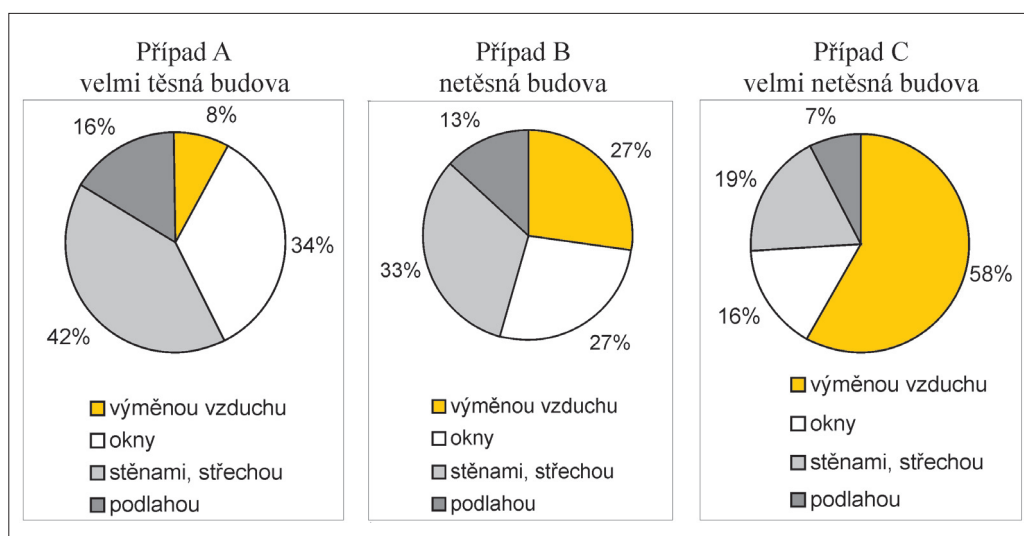
Obr. 3 naopak uvádí celkový průtok vzduchu, který by se dal očekávat v případě, že by modelová budova byla vybavena mechanickým větracím systémem. K výpočtu byl použit zjednodušený předpoklad, že mechanický větrací systém je dokonale rovnotlaký (to však s dostatečnou přesností vystihuje typický větrací systém běžně instalovaný do podobných nízkoenergetických a pasivních domů). Průtok odváděného i přiváděného vzduchu byl nastaven na hodnotu 120 m³/h, což přibližně odpovídá potřebě čerstvého vzduchu pro 4 osoby (typický počet obyvatel rodinného domu této velikosti).

V případě velmi těsné budovy je při uvažovaných podmínkách průtok infiltrujícího vzduchu velmi malý a rozhodně nestačí pokrýt hygienické potřeby obyvatel. U netěsné budovy sice výměna vzduchu přibližně odpovídá hygienické potřebě, ovšem pouze v případě, že je budova vystavena stálému působení větru.

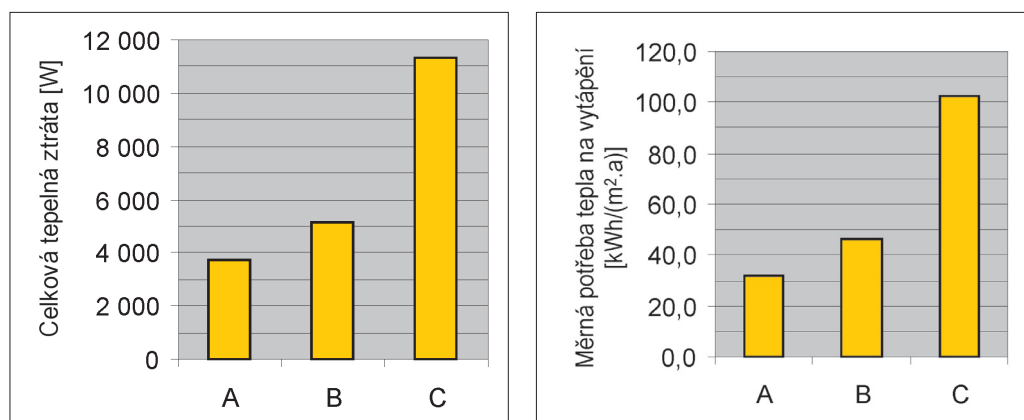
Při bezvětrí klesá výměna vzduchu v budově na polovinu potřebné, další pokles by byl způsoben snížením teplotního rozdílu mezi vnitřním a vnějším prostředím. Dostatečná výměna vzduchu by u tohoto modelového případu byla pravděpodobně zajištěna pouze za klimatických podmínek, které v průběhu roku nastávají spíše výjimečně. Naopak výměna vzduchu zjištěná v případě velmi netěsné budovy několikanásobně převyšuje hygienicky potřebnou, současně však neúnosně vzrůstá tepelná ztráta budovy.



Obr. 3 Průtok vzduchu v budově způsobený infiltrací vzduchu a činností mechanického větracího systému
Na svislé ose je vyneseno celkový objemový tok vzduchu v m³/h. Tlustá plná čára značí odhadnutou potřebu větracího vzduchu pro 4 obyvatele domu (toto množství vzduchu dodává větrací systém).
J – budova vystavena působení jižního větru, JZ – budova vystavena působení jihozápadního větru atd., 0 – bezvětrí



Obr. 4 Měrné tepelné ztráty modelové budovy při různých úrovních průvzdušnosti obálky



Obr. 5 Celková tepelná ztráta modelové budovy při různých úrovních průvzdušnosti
Výsledky platí pro teplotu vnějšího vzduchu -15 °C a jižní vítr o rychlosti cca 5 m/s

Obr. 6 Měrná, roční potřeba tepla na vytápění modelové budovy při různých úrovních průvzdušnosti obálky (výpočet podle [9]):
A: velmi těsná budova, $n_{50} = 0,06 \text{ h}^{-1}$
B: netěsná budova, $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
C: velmi netěsná budova, $n_{50} = 6,7 \text{ h}^{-1}$

Graf na obr. 5 ukazuje nárůst celkové tepelné ztráty budovy pro případ, kdy vítr vane od jihu. Toto porovnání mimo jiné názorně ukazuje riziko poddimenzování otopné soustavy, pokud by výpočet tepelné ztráty větráním vycházel pouze ze součinitelů spárové průvzdušnosti funkčních spár výplní otvorů. U velmi netěsné budovy by navíc s vysokou pravděpodob-

ností nebylo možno (bez zvláštních opatření) zajistit vhodnou vlhkost vnitřního vzduchu, dotčeny by zřejmě byly i další podstatné parametry určující kvalitu vnitřního prostředí (rychlost proudění vzduchu, vnitřní povrchové teploty).

V případě použití mechanického větracího systému je výpočtem zjištěná celková výměna vzduchu v budově vždy vyšší, než hodnota, na kterou je nastaven větrací systém. Potřeba tepla na vytápění by byla zvýšena o hodnotu nutnou pro ohřev vzduchu proudícího netěsnostmi. U velmi těsné budovy by bylo toto teplo zanedbatelné, u ostatních dvou modelových případů naopak nepřijatelně vysoké. Na základě uvedených výsledků by bylo možno dále určit např. skutečný přínos zpětného získávání tepla pro tepelnou bilanci budovy, pokud by byl systém ZZT vybaven.

Uvedené výsledky a z nich odvozené údaje jsou ovšem platné pouze pro uvažované okrajové podmínky. Pro hodnocení energetických parametrů budov je však podstatné jejich chování v průběhu celého roku. Pro přesnější určení vlivu netěsné obálky na potřebu tepla na vytápění by měla být výše uvedená studie doplněna o výpočty v nestacionárním stavu za proměnných okrajových podmínek. Dalším zajímavým doplněním by bylo rozdělení modelové budovy na zóny. Tak by bylo možno sledovat např. distribuci čerstvého vzduchu do jednotlivých místností a určit účinnost větrání.

Jednoduchý, i když ne zcela transparentní postup pro zohlednění celkové průvzdušnosti v tepelné bilanci budovy nabízí mimo jiné i ČSN EN 832 [9]. Na obr. 6 jsou pro ilustraci uvedeny výsledky výpočtu potřeby tepla na vytápění modelové budovy při uvažování průvzdušnosti odpovídající případům A, B a C popsaným výše. Roční bilance je vypočtena po měsících s použitím průměrných měsíčních teplot vnějšího vzduchu pro Prahu. Ve výpočtu byly zohledněny vnitřní tepelné zisky a pasivní solární zisky. Parametry, které ve zjednodušeném výpočtovém postupu definují tlakové účinky větru na budovu byly zvoleny tak, aby se modelovaná situace co nejvíce podobala předchozí parametrické studii (bylo uvažováno s nechráněnou expozicí budovy a s možností působení větru na více fasád). Na obr. 4 jsou porovnány měrné tepelné ztráty výměnou vzduchu a různými částmi obálky budovy pro všechny tři modelové případy.

V rámci této studie nebyl zkoumán vztah zjednodušeného výpočtu podle [9] a podrobnějších výpočtů na síťovém modelu (CONTAMW). Oba výpočtové postupy byly validovány (CEN, AIVC*) a doporučeny pro výpočtový odhad výměny vzduchu v budově a tepelné bilance budovy. Tendence zjištěné ve výše uvedených studiích a z nich plynoucí závěry jsou tedy zřejmě platné i přes určité nejistoty spojené se zjednodušením použitých výpočtových modelů a s nejistotou vstupních dat.

Z výsledků obou výpočtových postupů shodně vyplývá až překvapivě vysoký vliv průvzdušnosti obálky na energetickou náročnost budovy. Snaha o dosažení nízké průvzdušnosti obálky budovy by pochopitelně měla být odpovídajícím způsobem zohledněna jak při návrhu, tak při realizaci budovy. Přestože význam nízké průvzdušnosti byl dosud zdůrazňován zejména u nízkoenergetické výstavby, výše uvedené výsledky dokládají (obr. 2, případ C), že vysoká průvzdušnost není žádoucí ani u běžných, přirozeně větraných budov.

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Spojení na autory: jiri.novak.4@fsv.cvut.cz, tywoniak@fsv.cvut.cz

*1) CEN – Comité Européen de Normalisation
AIVC – Air Infiltration and Ventilation Center.

Použité zdroje:

- [1] Tywoniak, J. Nízkoenergetické domy – principy a příklady. Grada 2005
- [2] www.passiv.de
- [3] ASHRAE Handbook of fundamentals 2001. ASHRAE 2001
- [4] ČSN 73 0540-2: 2002, Z1 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- [5] Puškár, A. a kol. Okna, dveře, prosklené stěny. Jaga 2003
- [6] Orme, M., Liddament, M. W., Wilson, A. Numerical data for air infiltration and natural ventilation calculations, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC) 1998
- [7] Polák, L., Novák, J. Měření průvzdušnosti stavebních dílů – detaily šikmé střechy. Sborník konference Tepelná ochrana budov 2003
- [8] Tesař, D. Měření průvzdušnosti obvodových plášťů budov. Diplomová práce. Fakulta stavební ČVUT v Praze 2003
- [9] ČSN EN 832 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy
- [10] CONTAMW 2.1 Multizone airflow and contaminant transport analysis software. National institute of standards and technology, USA (www.bfrl.nist.gov/IA-Qanalysis)

Poznámka recenzenta

Ve větrání a klimatizaci se veličina, vyjadřující průtok venkovního vzduchu V_e (m^3/h) v místnosti o vnitřním objemu O (m^3), nazývá intenzita větrání $I = V_e / O$ ($1/h$). Termín intenzita výměny vzduchu vyjadřuje celkový průtok vzduchu venkovního i oběhového.

J. Novák a J. Tywoniak používají v článku termín intenzita výměny vzduchu resp. výměna vzduchu n ($1/h$) pro vyjádření průtoku pouze venkovního vzduchu.

Článek obsahuje shodné označení n pro dva různé pojmy: n (-) exponent proudění, n ($1/h$) intenzita výměny vzduchu. V textu však jejich záměna není možná.

prof. Drkal

* Nové kongresové centrum v Bavorsku

S velkolepou světelnou show nastartoval předseda vlády Edmund Stoiber, po tříleté výstavbě 16. dubna 2005 v Norimberku, nové high-tech kongresové centrum CCN Ost. Stavba která stála 60 mil. Euro, má za cíl dostat Norimberk do první řady mezi kongresová města v Evropě.

Cca 1500 hostů z hospodářství, politiky a kultury zažilo galavečer superlativů. Šéf norimberských veletrhů prohlásil: „CCN Ost pro norimberské veletrhy je velkým krokem kupředu. Jeho architektura a vybavení je emocionální a okouzluje, jak potvrzují i naši zákazníci.“

Nová stavba, vybavená dvouplášťovou venkovní fasádou, má šest poschodí a na ploše 124 x 75 m obsahuje dva restauranty a 19 kongresových místností pro celkem 3200 osob.

CCI 7/2005

(Ku)

* První bioelektrárna v SRN

Od března 2005 je v Braunschweigu, v bývalých husarských kasárnách, v provozu první bioelektrárna. Firma Artemis – Erste Braunschweiger Bio Energie GmbH & Co KG vyrábí z tuků a olejů, za použití lodního dieselova motoru, elektrický proud a teplo přátelské životnímu prostředí a neutrální k CO_2 . V první stavební etapě dodává elektrárna do veřejné sítě 250 kW. V druhé etapě má být tento výkon do konce roku 2005 zvýšen na 500 kW. V konečné fázi má pak bioelektrárna vyrábět cca 3600 MWh proudů a 3 MWh tepla. Touto ekologickou tepelnou energií budou zásobovány okolní podniky a objekty vlastním dálkovým rozvodem tepla.

Elektrická energie bude dodávána do sítě místního elektrického podniku, což obsáhne mj. asi 1000 rodinných domků a kromě toho bude 360 domků zásobováno teplem.

CCI 7/2005

(Ku)