

Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.
Ing. Michal DUŠKA, Ph.D.
ČVUT Praha, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Potřeba energie pro větrání obytných budov



Ústav techniky prostředí

Energy Demand for Ventilation in Residential Buildings

Recenzent
Ing. Zdeněk Lerl

Správně navržené větrací zařízení, které zajišťuje dostatečný přívod venkovního vzduchu, se podílí na tepelné ztrátě obytného prostoru. V zimním období je nutné, větrací vzduch ohřívat tak, aby bylo dosaženo požadované teploty vnitřního vzduchu. U podtlakového větrání hradí tepelnou ztrátu otopná soustava, při použití rovnotlakého systému větrání je možné výraznou část tepelné ztráty nahrazovat ve výměniku zpětného získávání tepla ZZT. Použití ohřivačů ve vzduchotechnických jednotkách nebývá běžné, nicméně je možné (např. teplovzdušné vytápění). Celkovou spotřebu energie ovlivňuje i energie potřebná pro pohon ventilátorů, která se může lišit podle zvoleného systému větrání.

Klíčová slova: podtlakové lokální větrání, podtlakové centrální větrání, rovnotlaké větrání

Appropriately designed ventilation equipment ensuring the sufficient outside air intake is sharing the heat loss in the dwelling space. The ventilation air must be heated so that the required temperature of the inside air is achieved, in the winter period. The heating system balances the heat loss when the exhaust ventilation is used; the ventilating balanced system balances the significant portion of the heat loss in the heat recovery exchanger. Use of heaters is not frequent in air handling units however it is possible (e.g. warm air heating). The total energy consumption can be affected with the energy driving fans that may differ according to the chosen ventilation system.

Key words: local exhaust (negative pressure) ventilation, centralized exhaust ventilation, balanced ventilation

ÚVOD

Cílem příspěvku je analyzovat potřebu tepla na ohřev větracího vzduchu a spotřebu energie pro pohon ventilátorů a zhodnotit tak náklady na provoz větrání v obytných budovách. Při analýzách bylo uvažováno s následujícími systémy větrání:

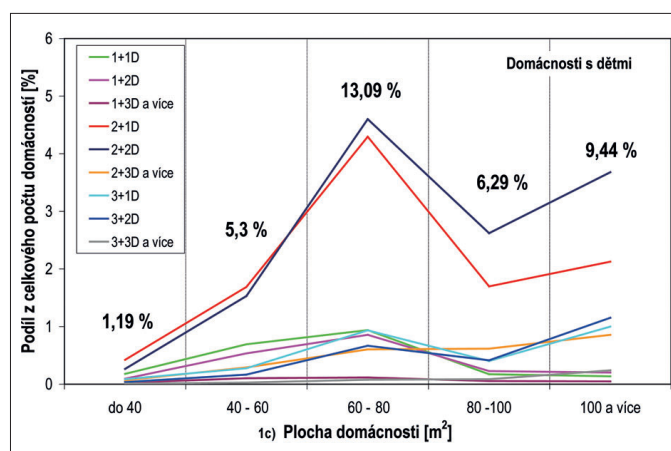
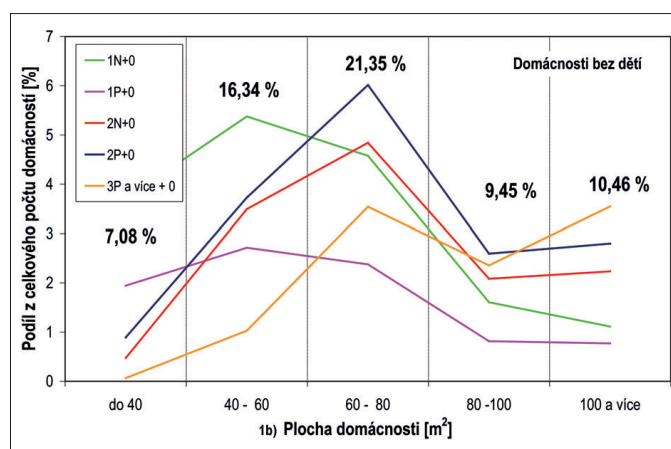
- ☐ lokální podtlakové větrání,
- ☐ centrální podtlakové větrání,
- ☐ lokální rovnotlaké větrání s přívodem i odvodem vzduchu a ZZT,
- ☐ centrální rovnotlaké větrání s přívodem i odvodem vzduchu a ZZT.

Výpočty zahrnují jak trvalé, tak i nárazové větrání s předpokládaným provozem během dne. Studie vychází ze současného stavu na základě statistiky domácností a bytové výstavby v ČR.

SITUACE VE VÝSTAVBĚ OBYTNÝCH BUDOV

Podle údajů Českého statistického úřadu z roku 2008 činí celkový počet domácností 4 081 852. Z toho připadá 35 % na domácnosti s dětmi, zbytek tvoří domácnosti bez dětí. Procentuální rozdělení domácností podle podlahové plochy je uvedeno na obr. 1a). Největší podíl (33,44 %) připadá na domácnosti o velikosti 60 až 80 m². Na obr. 1b) je znázorněno procentuální zastoupení určitého typu domácnosti s dětmi a na obr. 1c) domácnosti bez dětí. Dostupná data neobsahovala úplné informace o osobách obývajících jednotlivé typy domácností, proto byly některé informace statisticky do-

počítány. Největší podíl domácností s dětmi 65 % (tj. 22,9 % z celkového počtu domácností) tvoří domácnosti, kde žijí dva dospělí a jedno nebo dvě děti (2+1D a 2+2D), nejvíce z nich žije v domácnosti o ploše 60 až 80 m². U domácností bez dětí je poměr relativně vyrovnaný. Největší podíl z nich



Obr. 1a, 1b, 1c, Podíl domácností s dětmi a bez dětí
(Legenda: D-dítě, P-pracující, N-nepracující)

Tab. 1 Poměrný počet členů v domácnostech různé velikosti (vztaženo k celkovému počtu domácností)

Podlahová plocha domácnosti / podíl z celkového počtu domácností					
do 40 m ²	40 až 60 m ²	60 až 80 m ²	80 až 100 m ²	100 m ² a více	
8,26 %	21,64 %	34,44 %	15,75 %	19,9 %	
1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	

58,3 % (tj. 37,7 % z celkového počtu domácností) představují domácnosti o velikosti 40 až 80 m².

Počet členů v jedné domácnosti (dospělí i děti dohromady) prezentuje tab. 1, kde je uvedeno poměrné zastoupení v různých velikých domácnostech. Je zřejmé, že v domácnosti s podlahovou plochou do 40 m² žije nejčastěji 1 osoba a pravděpodobnost výskytu 3 a více osob je velmi malá. Největší zastoupení mají domácnosti o ploše 60 až 80 m², kde je počet členů variabilní. Domácnosti s šesti a více členy se vyskytují velmi zřídka.

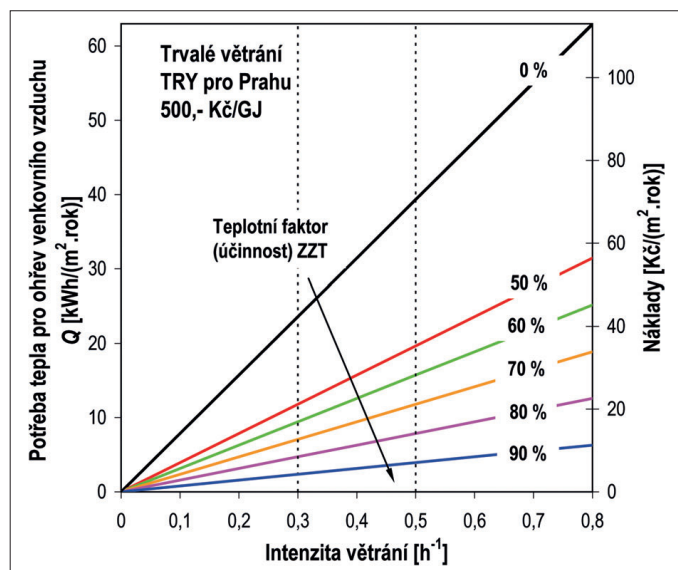
POTŘEBA TEPLA PRO OHŘEV VENKOVNÍHO VZDUCHU

V tomto odstavci je analyzována potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém větrání, resp. při zvýšeném průtoku vzduchu při nárazovém větrání v případě potřeby. Pro účely vyhodnocení potřeby tepla byl použit referenční klimatický rok zpracovaný pro Prahu (TRY – test reference year). Referenční rok prezentuje reálná charakteristická klimatická data pro účely výpočtu energetické potřeby budov.

Z prezentovaných závislostí lze vyčíst potřebu tepla a roční náklady pro ohřev větracího vzduchu v otopném období (celkem 239 dní – 15. 9. až 12. 5.) při průměrné ceně tepelné energie 500 Kč/GJ. Intenzita větrání byla při výpočtech vztažena k celkovému objemu domácnosti (světla výška místnosti je 2,6 m).

Trvalé větrání

Na obr. 2 je uvedena potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém větrání v závislosti na intenzitě větrání a teplotním faktoru (účinnosti) ZZT.



Obr. 2 Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém větrání v závislosti na intenzitě větrání a teplotním faktoru (účinnosti) ZZT

situaci, kdy větrací systém není vybaven ZZT, např. nucené podtlakové větrání. Na vedlejší ose y je možné odečíst náklady na ohřev venkovního vzduchu v Kč/m² za rok. Výsledky jsou vyneseny ve formě potřeby tepla, tzn., že nezohledňují volbu konkrétního zdroje tepla.

Na základě výsledků uvedených na obr. 2 je možné stanovit přibližné náklady spojené s ohřevem venkovního vzduchu pro trvalé větrání různých velikých domácností. Tab. 2 uvádí pět modelových příkladů typických domácností větraných trvale intenzitou 0,3 a 0,5 h⁻¹ při použití nuceného podtlakového větrání (bez ZZT). V případě použití ZZT s teplotním faktorem 50 % budou náklady na ohřev vzduchu poloviční, atp.

Tab. 2 Náklady spojené s ohřevem větracího vzduchu při trvalém podtlakovém větrání

Podlahová plocha domácnosti [m ²]	Počet členů domácnosti [-]	Náklady na domácnost (I = 0,3 h ⁻¹)	Náklady na domácnost (I = 0,5 h ⁻¹)	Náklady na člena rodiny za měsíc (I = 0,3 h ⁻¹)	Náklady na člena rodiny za měsíc (I = 0,5 h ⁻¹)
		[Kč/měsíc]		[Kč/os.měsíc]	
35	1	123,8	206,4	123,8	206,4
50	2	176,9	294,8	88,5	147,4
75	3	265,4	442,3	88,5	147,4
90	3	318,4	530,7	106,1	176,9
125	4	442,3	737,1	110,6	184,3

Nárazové větrání

Pro analýzu potřeby tepla pro ohřev venkovního vzduchu při nárazovém větrání byly použity průtoky vzduchu definované v národní příloze normy ČSN EN 15665/Z1 (tab. 3). Četnost sepnutí během dne a doba provozu nárazového větrání byly stanoveny na základě podkladů uvedených v literatuře [1], [2]. Upravené hodnoty jsou uvedeny v tab. 4. Časové rozložení působení během dne bylo zvoleno podle předpokládané přítomnosti osob v domácnosti a příslušný průtok vzduchu byl přepočítán na intenzitu větrání v daném časovém intervalu. Při nárazovém větrání dochází k navýšení průtoku vzduchu z trvalého větrání na návrhové hodnoty nárazového větrání. Předpokládá se, že při trvalém větrání je 1/2 větracího vzduchu odváděna z kuchyně, zbytek z hygienického zázemí (1/6 z WC, 1/3 z koupelny). V rámci analýzy nárazového větrání bylo zkoumáno větší množství reprezentativních domácností. Seznam domácností včetně denního provozu nárazového větrání je uveden v tab. 5.

Tab. 3 Průtoky vzduchu pro analýzu trvalého a nárazového větrání (upraveno podle [4])

Větrání	Trvalé větrání Intenzita větrání [h ⁻¹]	Nárazové větrání		
		WC	Koupelna	Kuchyně
		[m ³ /h]		
Minimální	0,3	25	50	120
Doporučené	0,5	50	90	120

Tab. 4 Počet sepnutí odsávání hygienického zázemí za den (upraveno podle [1])

Člen domácnosti	WC – 5 min	Koupelna – 5 min	Koupelna – 15 min
Dítě školou povinné	4	2	1
Pracující muž/žena	3	2	1
Žena v domácnosti / nepracující dospělý	5	4	1

Tab. 5 Předpokládaný denní provoz nárazového větrání pro zkoumané domácnosti

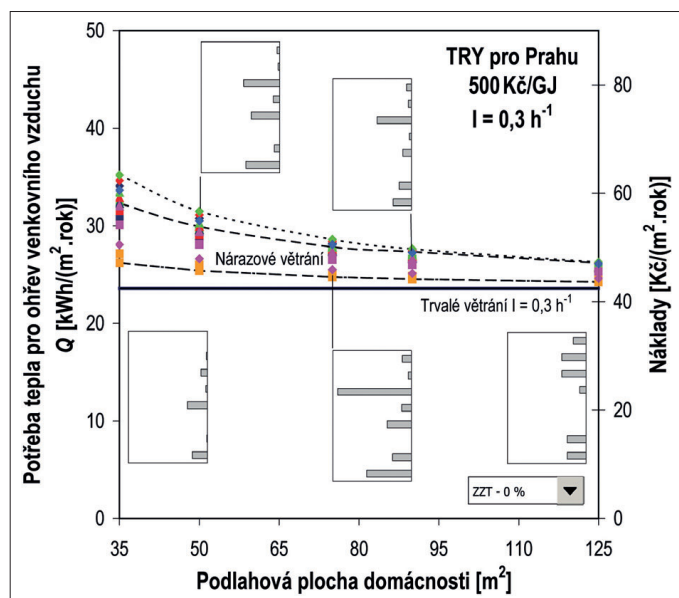
Domácnost	Počet sepnutí WC 5 min	Počet sepnutí koupelna 5 min	Počet sepnutí koupelna 15 min	Doba provozu při vaření [h]
1P+1D	7	4	2	1,5
1P+2D	11	6	3	1,5
1P+3D	15	8	4	1,5
1P+1N+1D	12	8	3	1,8
1P+1N+2D	16	10	4	1,8
1P+1N+3D	20	12	5	1,8
2P+1N+1D	15	10	4	2,1
2P+1N+2D	19	12	5	2,1
2P+1N+3D	23	14	6	2,1
1N+0D	5	4	1	1,5
1P+0D	3	2	1	0,5
2N+0D	10	8	2	1,8
2P+0D	6	4	2	0,6
3P+0D	9	6	3	0,7
2P+1N+0D	11	8	3	2,1
1P+2N+0D	13	10	3	2,3

Legenda: D-dítě, P-pracující, N-nepracující

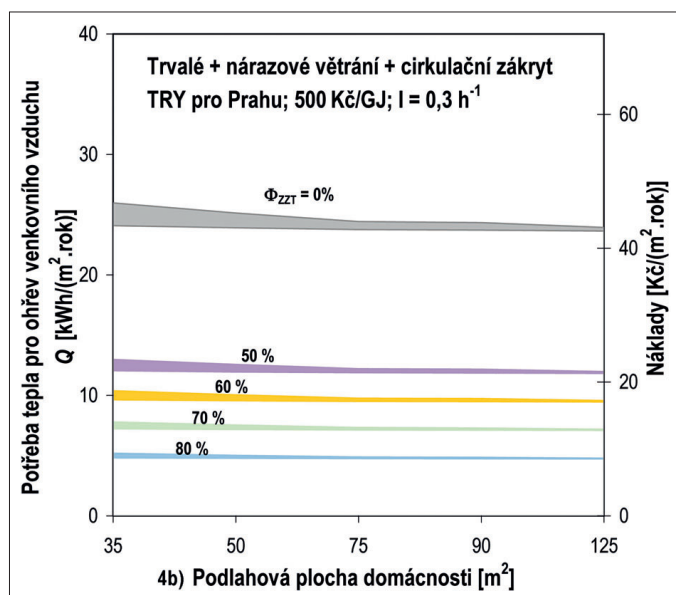
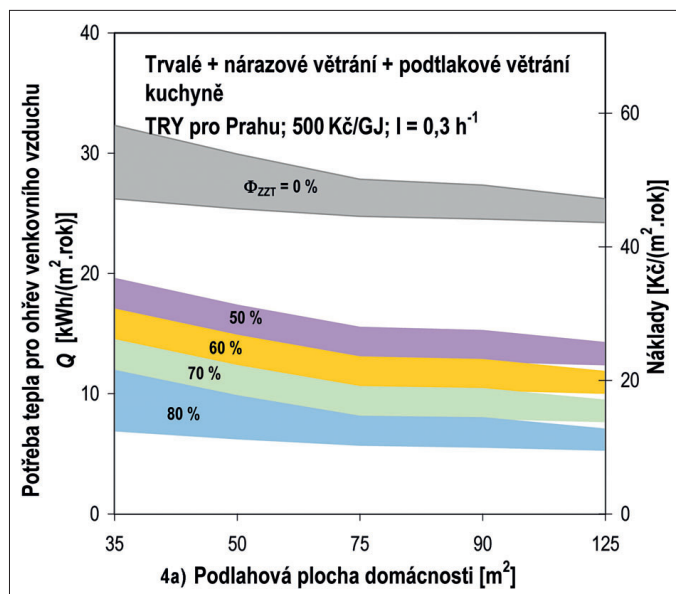
Výsledky

Na obr. 3 je znázorněn příklad vyhodnocení výsledků potřeby tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém a nárazovém podtlakovém větrání ($\Phi = 0\%$). Uvedený graf platí pro minimální větrání definované v tab. 3. Nárazové větrání bylo vyhodnoceno pro všechny typy domácností (viz tab. 5) a výsledky jsou tak v určitém rozsahu hodnot.

Na obr. 3 jsou spolu s výsledky zobrazeny histogramy výskytu. Pro vyhodnocení se dále nepracovalo s extrémními definovanými 5% a 95% percentilem. Výsledky předpokládané potřeby tepla pro ohřev venkovního vzduchu pro intenzitu větrání $0,3\text{ h}^{-1}$ jsou zobrazeny na obr. 4.



Obr. 3 Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém a nárazovém podtlakovém větrání (bez ZZT) v závislosti na podlahové ploše domácnosti včetně pravděpodobnosti výskytu



Obr. 4 Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu pro trvalé a nárazové větrání

SPOTŘEBA ENERGIE PRO POHON VENTILÁTORŮ

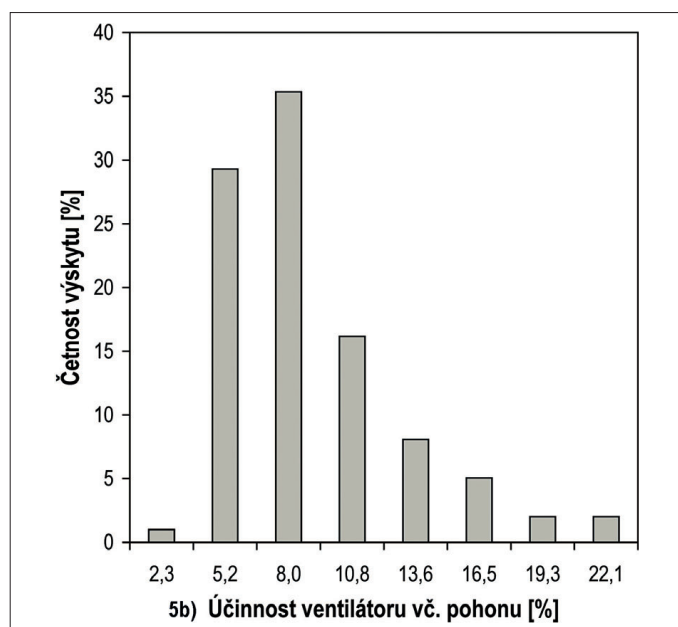
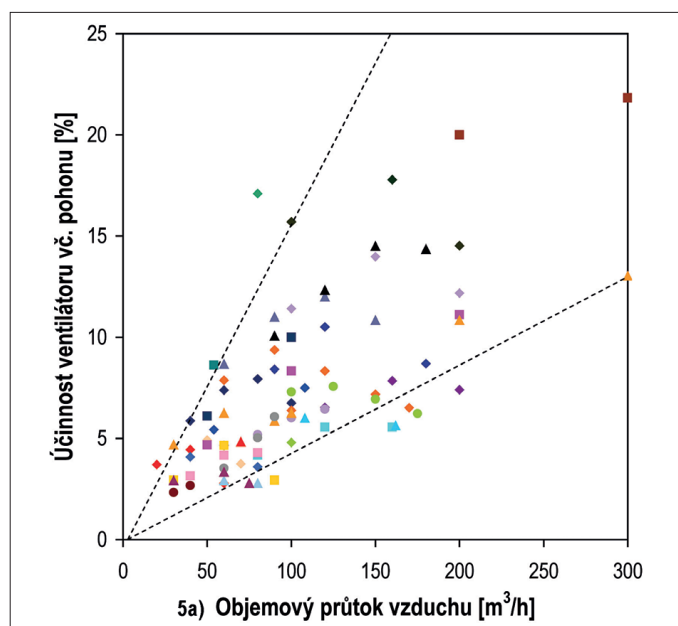
Spotřeba energie pro pohon ventilátorů závisí na elektrickém příkonu, který je dán průtokem vzduchu, dopravním tlakem, účinností ventilátoru a účinností pohonu (elektromotoru). Ideálním podkladem pro stanovení spotřeby energie je příkonová charakteristika, tj. závislost příkonu na objemovém průtoku vzduchu.

Cena elektrické energie závisí na vybrané sazbě. Prezentované kalkulace odpovídají běžné sazbě pro domácnosti společnosti ČEZ – Standard D02d. Podle ceníku společnosti pro rok 2011 činí cena elektrické energie 4,65 Kč/kWh včetně DPH. Výpočty zohledňují spotřebu energie ventilátorů během zkoumaného otopného období.

Podtlakové větrání

Ventilátory pro lokální odvod vzduchu

Účinnosti ventilátorů pro lokální odvod vzduchu jsou obecně velmi nízké a řádově se pohybují v rozsahu 5 až 25 % v závislosti na výkonu ventilátorů.



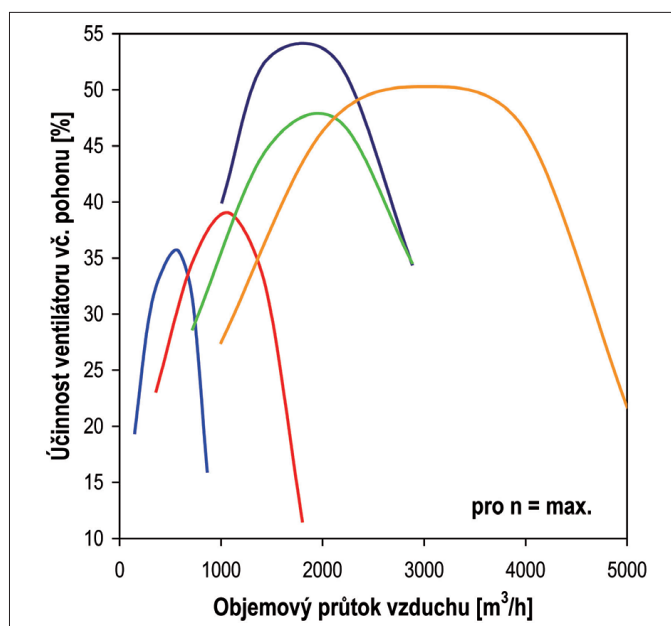
Obr. 5 Účinnosti malých radiálních ventilátorů pro lokální odvod vzduchu

ru jak dokládá obr. 5a). Na celkové účinnosti soustrojí ventilátoru se podílí i jeho pohon – elektromotor a účinnost malých elektromotorů je velmi nízká. Hodnoty uvedené na obr. 5a) prezentují účinnosti vybraných radiálních ventilátorů určených pro lokální odvod vzduchu (nástěnné a malé ventilátory s několika hrdly).

Na obr. 5b) je pak znázorněna četnost výskytu účinností na zkoumaném vzorku 42 ventilátorů. Vzhledem k tomu, že většina výrobců neudává příkonovou charakteristiku, ale pouze maximální příkon ventilátoru, byla účinnost každého ventilátoru vyhodnocena pro 3 zvolené pracovní body a dostupný příkon ventilátoru.

Centrální ventilátory

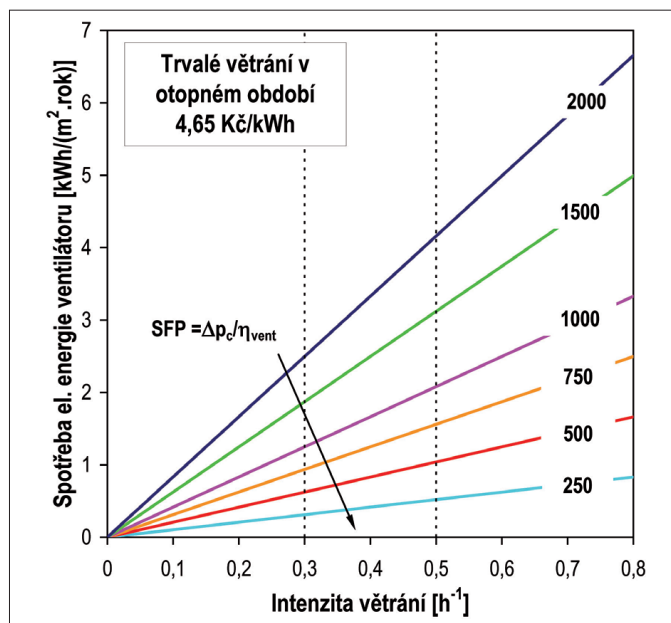
Účinnosti ventilátorů pro centrální podtlakové větrání dosahují značně vyšších hodnot než malé lokální ventilátory. Na obr. 6 jsou znázorněny charakteristiky účinnosti (včetně pohonu) vybraných nástřešních ventilátorů s elektricky komutovaným motorem (EC motor) určených pro centrální odvod vzduchu. Výhodou těchto pohonů jsou jednak menší rozměry a zejména vyšší účinnosti v porovnání s běžně používanými motory. Díky vestavěné elektronice lze měnit otáčky motoru podle aktuálního požadavku. Nutno zdůraznit, že se změnou otáček se mění i účinnost motoru.



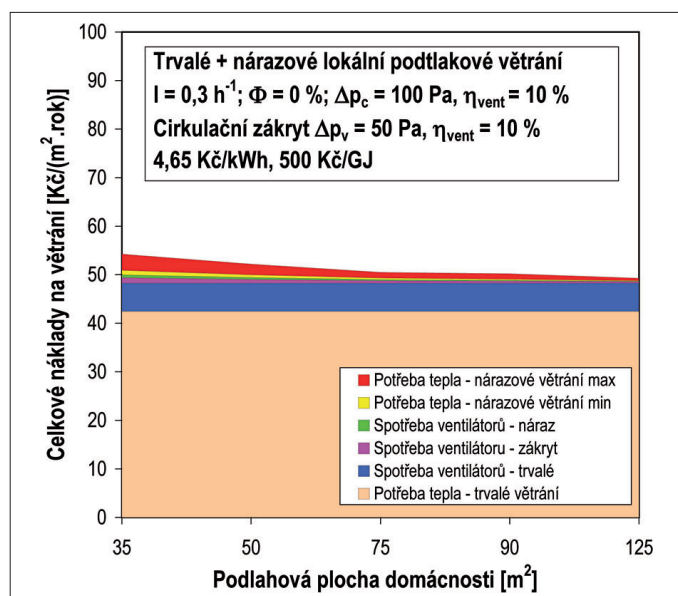
Obr. 6 Charakteristiky účinnosti vybraných centrálních ventilátorů s EC motorem (pro maximální otáčky)

Rovnotlaké větrání

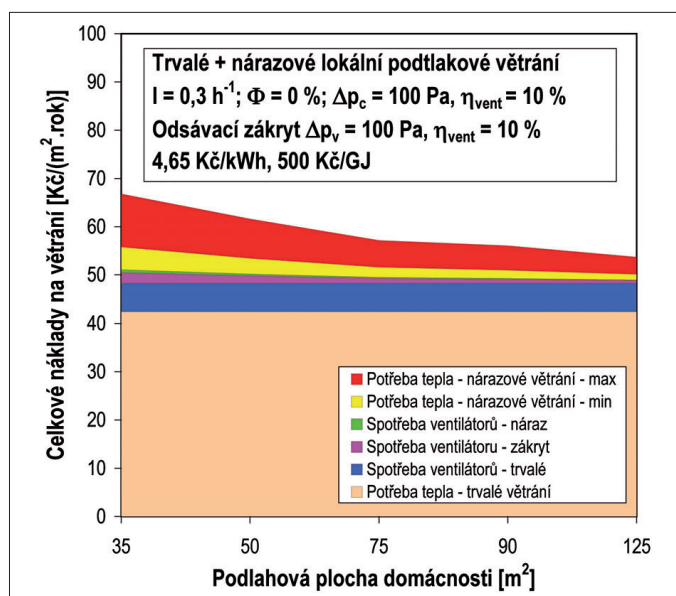
Ventilátory rovnolakových systémů pracují s vyššími dopravními tlaky, než systémy podtlakové, neboť kromě externí tlakové ztráty (vzduchovody, distribuční elementy atd.) musí hradit i tlakové ztráty jednotlivých elementů vzduchotechnické jednotky (filtry, klapky, výměníky apod.). Systémy jsou vybaveny vždy dvěma ventilátory pro přívod a odvod vzduchu, proto spotřeba energie pro pohon ventilátorů je vyšší než u podtlakových systémů. Účinnosti ventilátorů (včetně pohonu) pro rovnolakové větrání se může pohybovat v širokém rozsahu hodnot (20 až 60 %). Většina výrobců uvádí ve svých katalogových listech externí tlakovou ztrátu Δp_{ext} a příkon (případně příkonovou charakteristiku). Celkovou účinnost ventilátoru je tak většinou obtížné určit. Jako pomocnou hodnotu (známe-li příkon ventilátoru) pro energetické výpočty lze použít měrný příkon ventilátoru $\text{SFP} = \Delta p_c / \eta_{\text{vent}}$, tj. podíl celkového dopravního tlaku ventilátoru k účinnosti ventilátoru včetně pohonu.



Obr. 7 Spotřeba elektrické energie ventilátoru pro trvalé větrání v otopném období



Obr. 8a Celkové orientační náklady na provoz podtlakového větrání – lokální podtlakové větrání + cirkulační zákryt



Obr. 8b Celkové orientační náklady na provoz podtlakového větrání – lokální podtlakové větrání + odsávací zákryt

Výsledky

Na obr. 7 je vynesena spotřeba elektrické energie ventilátoru v závislosti na intenzitě větrání a měrném příkonu ventilátoru SFP . Obr. 7 znázorňuje spotřebu energie jednoho ventilátoru při trvalém větrání v otopném období. V létě řada domácností stále preferuje přirozené větrání, které lze realizovat trvale otevřeným oknem, což je v zimě nepřijatelné.

Z obr. 7 je zřejmé, že s rostoucím parametrem SFP , tj. s rostoucím celkovým dopravním tlakem a se snižující se účinností, spotřeba energie úměrně roste. Pro představu měrný příkon lokálního ventilátoru SFP pro trvalé podtlakové větrání s účinností (včetně pohonu) 10 % a celkovým dopravním tlakem 100 Pa je 1000.

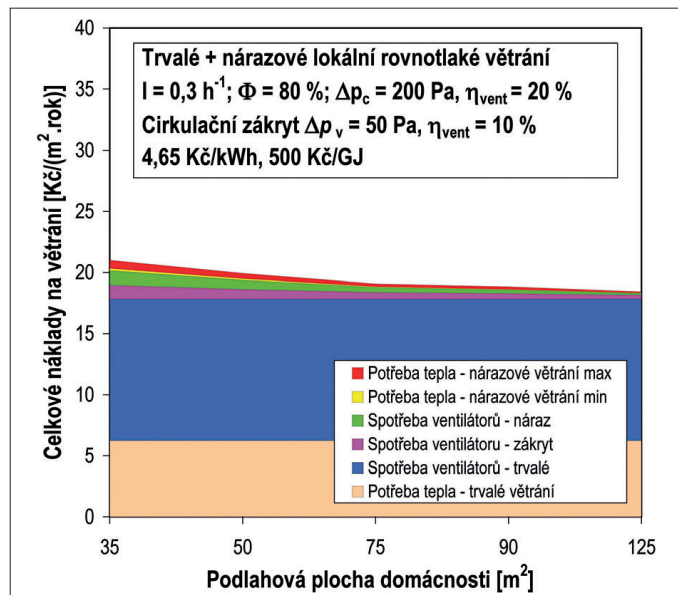
CELKOVÉ NÁKLADY NA VĚTRÁNÍ

Následující grafy znázorňují celkové náklady na provoz větrání ve zkušebním zimním období na základě výše prezentovaných analýz. Nejsou

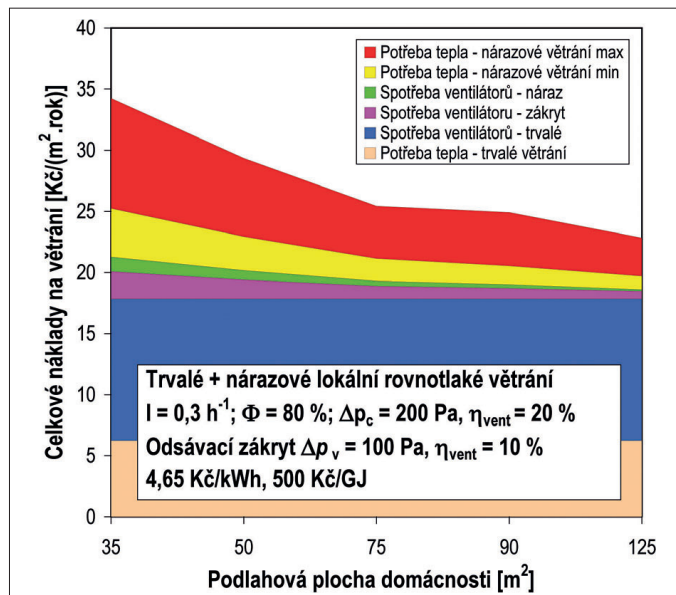
zde vyneseny celkové spotřeby energie, neboť ty jsou závislé na daném zdroji tepla. Výsledky tedy odpovídají běžným domácnostem, které nejsou vybaveny alternativním zdrojem energie (např.: tepelné čerpadlo) při průměrné ceně tepla 500 Kč/GJ a elektrické energie 4,65 Kč/kWh.

Na obr. 8 je znázorněno porovnání celkových nákladů pro lokální podtlakové větrání při trvalém větrání intenzitou $0,3 \text{ h}^{-1}$ a různými způsoby nárazového větrání. Obr. 8a) znázorňuje náklady v případě použití cirkulačního zákrytu, obr. 8b) pak náklady v případě použití podtlakového nárazového větrání kuchyně s odsávacím zákrytem. Je zřejmé, že dominantní podíl na celkových nákladech tvoří náklady na ohřev venkovního vzduchu.

Výsledky na obr. 8 zobrazují minimální a maximální náklady při provozu nárazového podtlakového větrání hygienického zázemí a kuchyně (viz výše). Výsledné náklady se mohou pohybovat v rozmezí oblasti ohraničující minimální a maximální potřebu tepla při nárazovém větrání (červená oblast) a závisí na četnosti provozu nárazového větrání. Při použití centrálního podtlakového větrání budou rozdíly způsobené spotřebou ventilátorů činit cca 7 až 9 % z celkových nákladů.



Obr. 9a Celkové orientační náklady na provoz rovnotlakého větrání – lokální rovnotlaké větrání + cirkulační zákryt



Obr. 9b Celkové orientační náklady na provoz rovnotlakého větrání – lokální rovnotlaké větrání + odsávací zákryt

Obdobným způsobem jsou vyhodnoceny výsledky pro rovnotlaké větrání uvedené na obr. 9. Výsledky platí opět pro trvalé větrání intenzitou $0,3 \text{ h}^{-1}$ v kombinaci s nárazovým větráním a při použití zpětného získávání tepla s teplotním faktorem $\Phi = 80 \%$. Při použití rovnotlakého větrání s výměníkem ZTZ s vysokým teplotním faktorem dominují náklady na pohon ventilátorů. Rozdíly mezi centrálním a lokálním rovnotlakým větráním je způsobený spotřebou ventilátorů a pro zkoumané případy činí 50 %. Výsledky na obr. 9 opět zobrazují minimální a maximální náklady při provozu nárazového podtlakového větrání kuchyně (viz výše). Je nutné zmínit, že veškerý příkon přívodního ventilátoru se přemění na teplo, tzn. v zimním období bude ventilátor přiváděný vzduch dohřívát. Z hlediska energetického se jedná o elektrický ohřev vzduchu. Výsledky uvedené na obr. 9 zohledňují zmíněnou skutečnost, nicméně cena elektrické energie je v uvedených analýzách výrazně vyšší než cena za teplo a rozdíly ve výsledcích (s uvažováním a bez uvažování této skutečnosti) se příliš neprojevují.

Na obr. 10 jsou uvedeny celkové náklady na provoz větrání pro typickou domácnost o celkové podlahové ploše 75 m^2 obývanou dvěma dospělými a dvěma dětmi. Výsledky jsou platné pro trvalé větrání intenzitou $0,3$ a $0,5 \text{ h}^{-1}$ a zohledňují i nárazové větrání dle předchozích analýz. Náklady na větrání odpovídají ceně tepelné energie 500 Kč/GJ a elektrické energie $4,65 \text{ Kč/kWh}$. Provoz podtlakového větrání je tedy z hlediska spotřeby energie náročnější než rovnotlaké systémy, nicméně uvedené náklady nezahrnují položky související s údržbou a servisem zařízení (výměna filtru, ložisek, čištění výměníku ZTZ apod.).

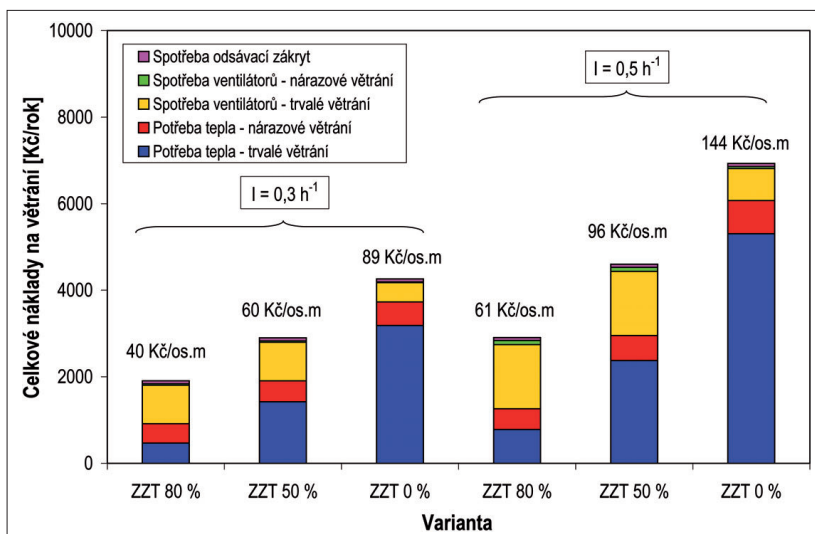
ZÁVĚR

Článek předkládá data skladby domácností, které je možné použít pro analýzu energetické potřeby různých systémů větrání. Byl proveden výpočet potřeby tepla a spotřeby energie pro pohon ventilátorů při trvalém a nárazovém větrání. Výsledky jsou prezentovány ve formě nákladů na větrání při definovaných cenách za energii pro vybrané případy řešení. Prezentované výsledky umožňují syntézu dat a hledání optimálního řešení ve vztahu k nákladům na provoz větracího systému.

Důležitým závěrem je skutečnost, že při úspoře tepelné energie pro ohřev venkovního vzduchu, ve formě použití výměníku zpětného získávání tepla s vysokým teplotním faktorem (účinností), o 80 % se celkové náklady na energii sníží, oproti podtlakovému větrání, zhruba na polovinu. Důležitou roli zde hraje spotřeba energie pro pohon ventilátorů. Při důkladných analýzách je však třeba ještě zohlednit náklady spojené s údržbou zařízení, tj. zejména pravidelná výměna filtru, čištění výměníku ZTZ apod.

U podtlakového systému větrání jsou dominantní náklady spojené s ohřevem venkovního vzduchu (úhrada tepelné ztráty větráním). Nárazové větrání hygienického zázemí nezpůsobuje v celkové bilanci, ať už se jedná o podtlakové, či rovnotlaké větrání, výrazné rozdíly. Ty mohou být způsobeny nárazovým podtlakovým větráním kuchyně, které značně závisí na provozu domácnosti.

Z výsledků je zřejmé, že v případě použití ZTZ s teplotním faktorem (účinností) 80 % se nedosáhne 80 % úspory energie, jak je často prezentováno. Navíc výsledný teplotní faktor ZTZ během roku je nižší než udává výrobce, neboť v zimním období při podnulových teplotách dochází čas od času k odmrazování výměníku. Při výběru rovnotlakého systému se doporučuje věnovat pozornost i parametrům ventilátorů, neboť se výrazně podílí na provozních nákladech. Výsledky prezentované v tomto článku platí pro konkrétní typické podmínky a aktuální průměrné ceny energií, nezahrnují však tepelné zisky prostoru, proto nejsou zcela relevantní pro pasivní bu-



Obr. 10 Grafické porovnání spotřeby energie hodnocených systémů větrání domácnosti s podlahovou plochou 75 m^2

dovy. V analýzách nejsou zohledněny investiční náklady a náklady spojené s údržbou zařízení.

Náklady na větrání typického bytu s podlahovou plochou 75 m^2 obývaný dvěma dospělými a dvěma dětmi, se pohybují v rozmezí 40 až 144 Kč/osobu/měsíc v závislosti na typu větracího systému a intenzitě větrání. Zda jsou uvedené částky za vytvoření vyšší kvality vzduchu v obytném prostředí vysoké, je třeba nechat na názoru čtenáře. Je dobré si uvědomit, že za energii sice platíme peníze, ale za znehodnocené prostředí platíme vlastním zdravím.

Kontakt na autory: Vladimír.Zmrhal@fs.cvut.cz, Michal.Duska@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Morávek, P., Nové systémy řízení větrání obytných budov a jeho výpočtový model. In: Výměna vzduchu v interiéru budov v našich a mezinárodních předpisech. Společnost pro techniku prostředí. Praha, 2003
- [2] Jokl, V. M., Optimální a přípustné mikroklimatické podmínky pro obytné prostředí. Směrnice STP-OS 04/č. 1–2005. Příloha časopisu Vytápění, větrání, instalace, 2005, roč. 14, č. 2
- [3] Český statistický úřad. Domovská stránka. Dostupné z < <http://www.czso.cz/> >
- [4] ČSN EN 15665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Úřad pro normalizaci, měření a státní zkušebnictví. Praha 2009
- [5] Podklady výrobců VZT zařízení pro bytové větrání.

Seznam označení:

I	intenzita větrání	$[\text{h}^{-1}]$
Δp_{ext}	externí tlaková ztráta	$[\text{Pa}]$
Δp_c	celkový dopravní tlak ventilátoru	$[\text{Pa}]$
Φ	teplotní faktor (účinnost) ZTZ	$[\%]$
η_{vent}	účinnost ventilátoru vč. pohonu	$[\%]$

Poznámka recenzenta:

Z výsledků rozboru jednoznačně vyplývá, že z energetického hlediska je výhodné pro byty v rodinných domech a bytových domech s malým počtem bytů instalovat rovnotlaké vzduchotechnické zařízení se ZTZ. Návratnost investice by musela být podložena solidní prognózou vývoje cen vzduchotechnických zařízení a vývojem cen tepla a elektrické energie.

U vícepodlažních domů s mnoha byty by pro stanovení výhodnosti daného řešení bylo třeba stanovit průměrný časový průběh obsazenosti bytů uživateli. V době nepřítomnosti uživatelů v bytech je možné snížit výměnu vzduchu na $0,1 \text{ h}^{-1}$. Většina uživatelů by to zřejmě tak provozovala a tím snížila při lokálním větrání roční spotřebu tepla a elektrické energie.