POTŘEBA ENERGIE PRO VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV

Vladimír Zmrhal, Michal Duška

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
Vladimir.Zmrhal@fs.cvut.cz, Michal.Duska@fs.cvut.cz

ANOTACE

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 hradit ve výměníku zpětného získávání tepla ZZT. Použití ohřívačů 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.

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.

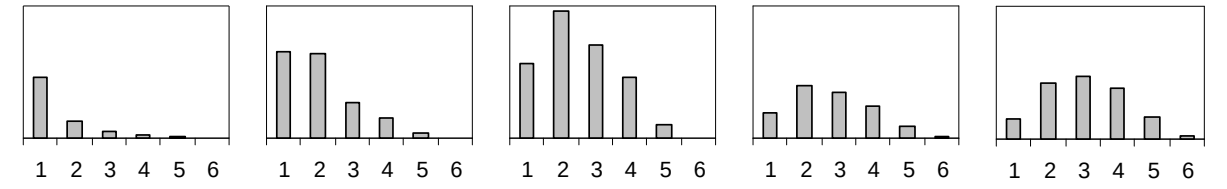
SITUACE VE VÝSTAVBĚ OBYTNÝCH BUDOV

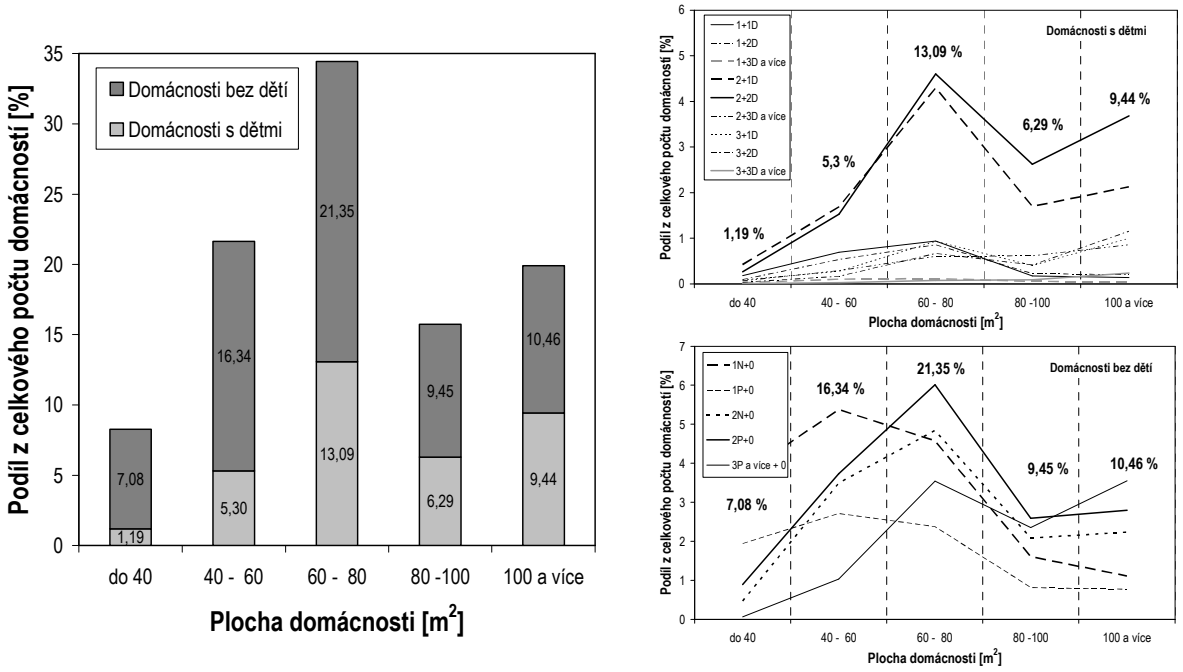
Dle údajů Českého statistického úřadu z roku 2008 činí celkový počet domácností 4 081 852. Z toho připadá 35 % na domácnosti s dětmi, zbytek tvoří domácnosti bez dětí. Procentuální rozdělení domácností podle podlahové plochy je uvedeno na *Obr. 1a).* Největší podíl (33,44 %) připadá na domácnosti o velikosti 60 až 80 m^2. Na *Obr. 1b)* je znázorněno procentuální zastoupení určitého typu domácnosti (nahoře: domácnosti s dětmi, dole: domácnosti bez dětí). Dostupná data neobsahovaly úplné informace o osobách obývajících jednotlivé typy domácností, proto byly některé informace statisticky dopočítány. 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 m^2. U domácností bez dětí je poměr relativně vyrovnaný. Největší podíl z nich 58,3 % (tj. 37,7 % z celkového počtu domácností) představují domácnosti o velikosti 40 až 80 m^2.

Počet členů v jedné domácnosti (dospělí i děti dohromady) prezentuje *Tab. 1,* kde je uvedeno poměrné zastoupení v různě velkých domácnostech. Je zřejmé, že v domácnosti s podlahovou plochou do 40 m^2 žije nejčastěji 1 osoba a pravděpodobnost výskytu 3 a více osob je velmi malá. Největší zastoupení mají domácnosti o ploše 60 až 80 m^2, kde je počet členů variabilní. Domácnosti s šesti a více členy se vyskytují velmi zřídka.

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 - 60 m^2	60 - 80 m^2	80 - 100 m^2	100 m^2 a více
8,26 %	21,64 %	34,44 %	15,75 %	19,9 %





a) *b)*

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

POTŘEBA TEPLA PRO OHŘEV VENKOVNÍHO VZDUCHU

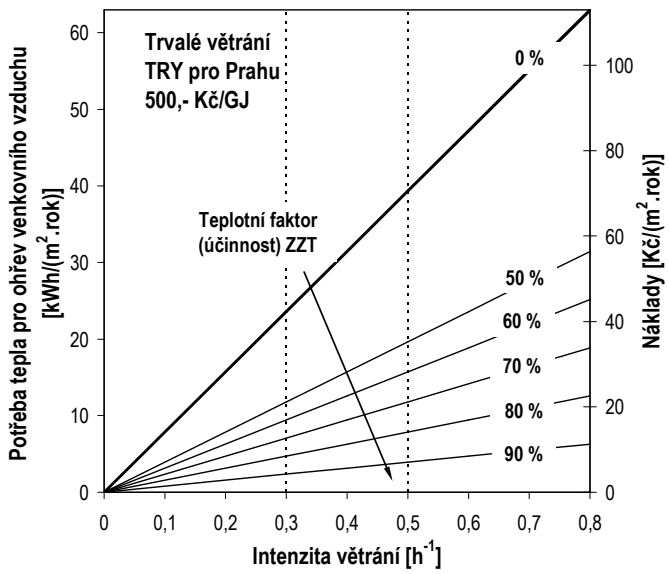
Odstavec analyzuje potřebu tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém a nárazovém větrání, resp. při zvýšeném průtoku vzduchu při nárazovém větrání v případě potřeby. Pro účely vyhodnocení potřeby tepla byl použit referenční klimatický rok zpracovaný pro Prahu (TRY – test reference year). Referenční 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 energie 500 Kč/GJ. Intenzita větrání byla při výpočtech vztažena k celkovému objemu domácnosti (světlá 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) zpětného získávání tepla (ZZT). Teplotní faktor $\Phi = 0$ % odpovídá 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/m^2 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 různě velkých 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.

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

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}) [Kč/měsíc]	Náklady na domácnost (I = 0,5 h^{-1}) [Kč/měsíc]	Náklady na člena rodiny za měsíc (I = 0,3 h^{-1}) [Kč/os.měsíc]	Náklady na člena rodiny za měsíc (I = 0,5 h^{-1}) [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 dle 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 vč. denního provozu nárazového větrání je uveden v *Tab. 5*.

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

Větrání	**Trvalé větrání**	**Nárazové větrání**		
	Intenzita větrání [h^{-1}]	**WC [m^3/h]**	**Koupelna [m^3/h]**	**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

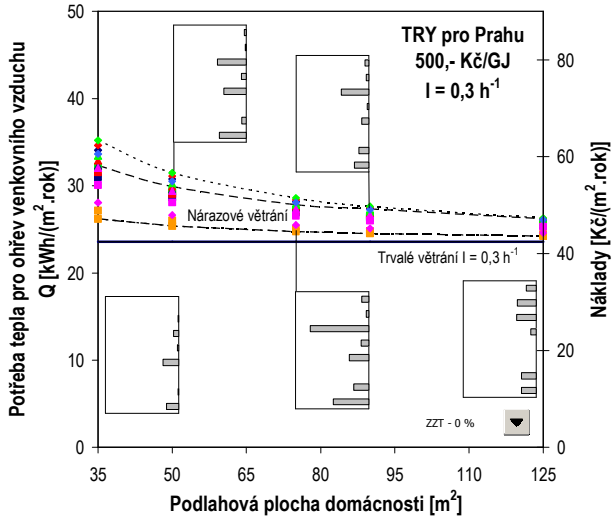
Tab. 5 *Předpokládaný denní provoz nárazového větrání pro zkoumané domácnosti*

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

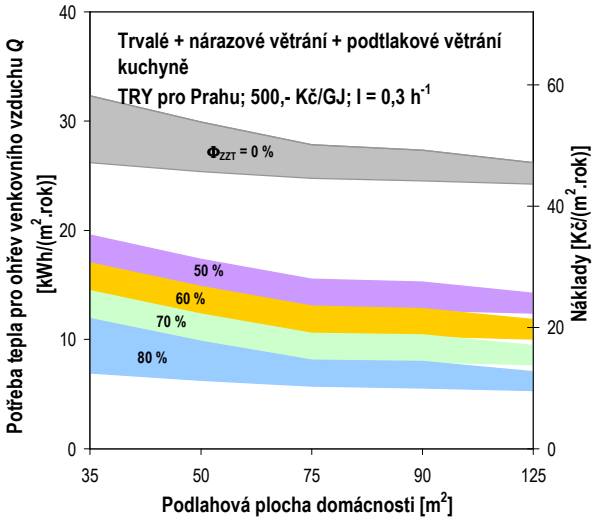
Legenda: D-dítě, P-pracující, N-nepracující

Výsledky

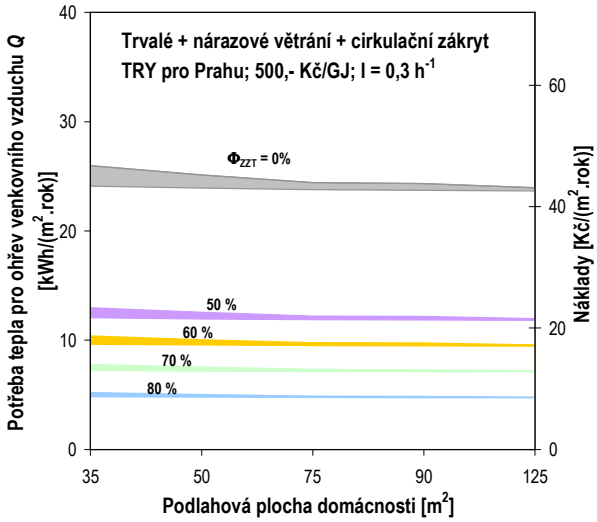
Na *Obr. 3* je znázorněn příklad vyhodnocení výsledků potřeby tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém a nárazovém podtlakovém větrání (Φ = 0 %). Uvedený graf platí pro minimální větrání definované v *Tab. 3*. Nárazové větrání bylo vyhodnoceno pro všechny typy domácností viz. *Tab. 5* a výsledky jsou tak v určitém rozsahu hodnot. Na *Obr. 3* jsou spolu s výsledky zobrazeny histogramy výskytu. Pro vyhodnocení se dále nepracovalo s extrémy definovanými 5% a 95% percentilem. Výsledky předpokládané potřeby tepla pro ohřev venkovního vzduchu pro všechny zkoumané případy jsou zobrazeny na *Obr. 4*.



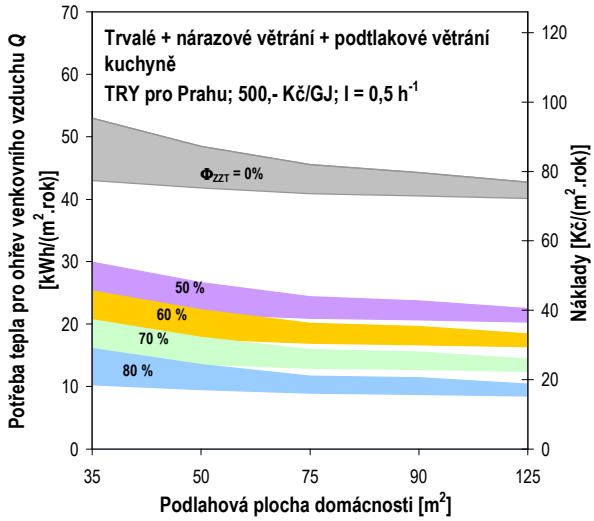
Obr. 3 *Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém a nárazovém podtlakovém větrání (bez ZZT) v závislosti na podlahové ploše domácnosti vč. pravděpodobnosti výskytu*



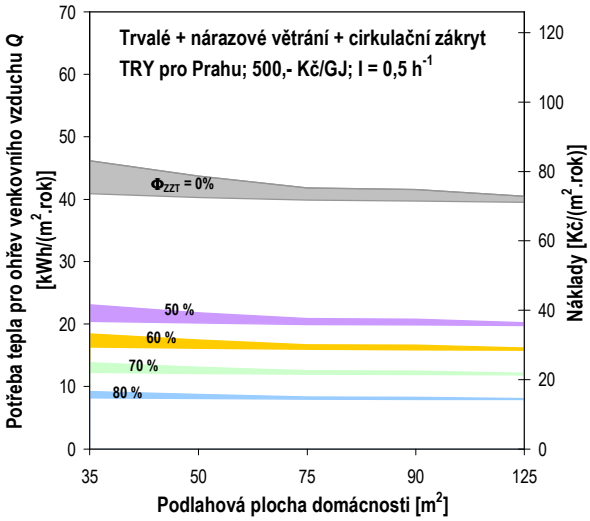
a) Trvalé větrání I = 0,3 h^{-1} + nárazové větrání + podtlakové větrání kuchyně



b) Trvalé větrání I = 0,3 h^{-1} + nárazové větrání + cirkulační zákryt



c) Trvalé větrání I = 0,5 h^{-1} + nárazové větrání + podtlakové větrání kuchyně



d) Trvalé větrání I = 0,5 h^{-1} + nárazové větrání + cirkulační zákryt

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

SPOTŘEBA ENERGIE PRO POHON VENTILÁTORŮ

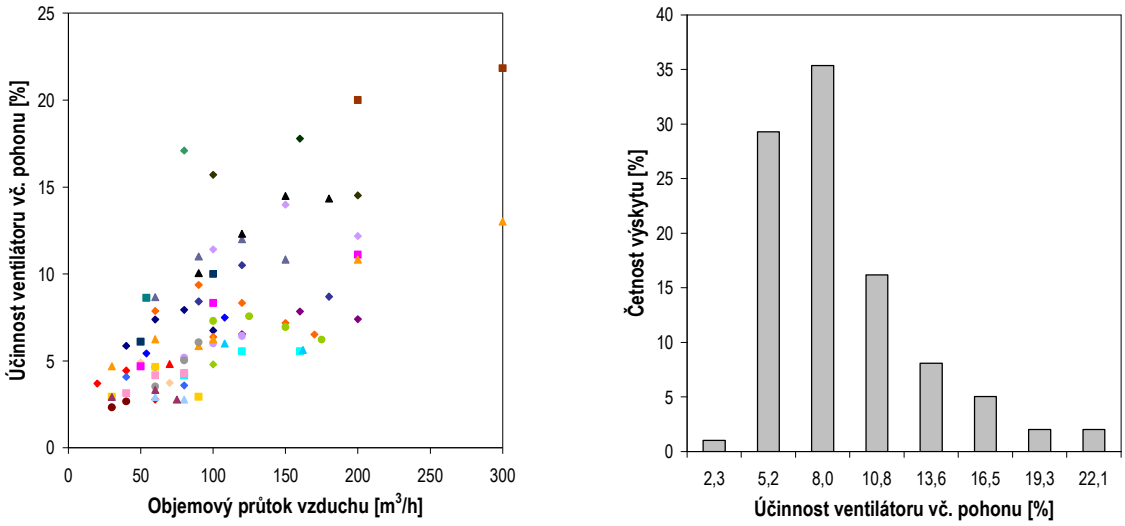
Spotřeba energie pro pohon ventilátorů závisí na elektrickém příkonu, který je dán průtokem vzduchu, dopravním tlakem, účinností ventilátoru a účinností pohonu (elektromotoru). Ideálním podkladem pro stanovení spotřeby energie je příkonová charakteristika tj. závislost příkonu na objemovém průtoku vzduchu.

Cena elektrické energie závisí na vybrané sazbě. Prezentované kalkulace odpovídají běžné sazbě pro domácnosti společnosti ČEZ - Standard D02d. Dle ceníku společnosti pro rok 2011 činí cena elektrické energie 4,65 Kč/kWh vč. 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 - 25 % v závislosti na výkonu ventilátoru 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.

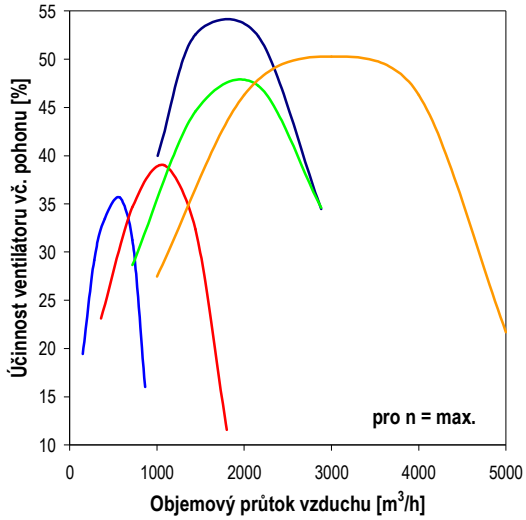


a) *b)*

Obr. 5 *Účinnosti malých radiálních ventilátorů pro lokální odvod vzduchu*

Centrální ventilátory

Účinnosti ventilátorů pro centrální podtlakové větrání dosahují značně vyšších hodnot než malé lokální ventilátory. Na *Obr. 6* jsou znázorněny účinnostní charakteristiky (vč. 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 dle aktuálního požadavku. Nutno zdůraznit, že se změnou otáček se mění i účinnost motoru.



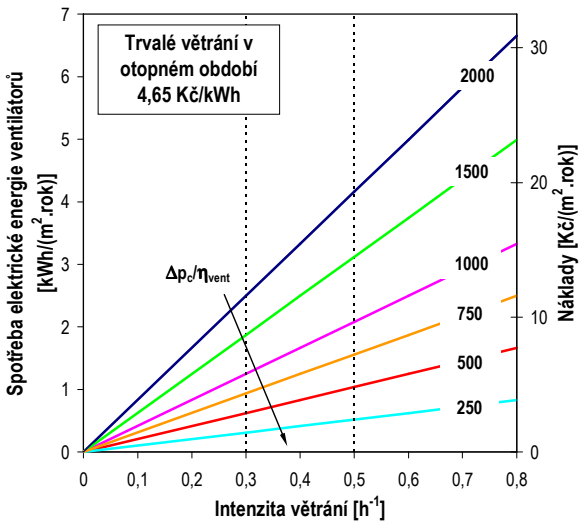
Obr. 6 *Účinnostní charakteristiky vybraných centrálních ventilátorů s EC motorem (pro maximální otáčky)*

Rovnotlaké větrání

Ventilátory rovnotlakých 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 (vč. pohonu) pro rovnotlaké 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) a celkovou účinnost ventilátoru je tak většinou obtížné určit. Jako pomocnou hodnotu (známe-li příkon ventilátoru) pro energetické výpočty lze použít parametr $\Delta p_c/\eta_{vent}$ tj. podíl celkového dopravního tlaku ventilátoru k účinnosti ventilátoru vč. pohonu.

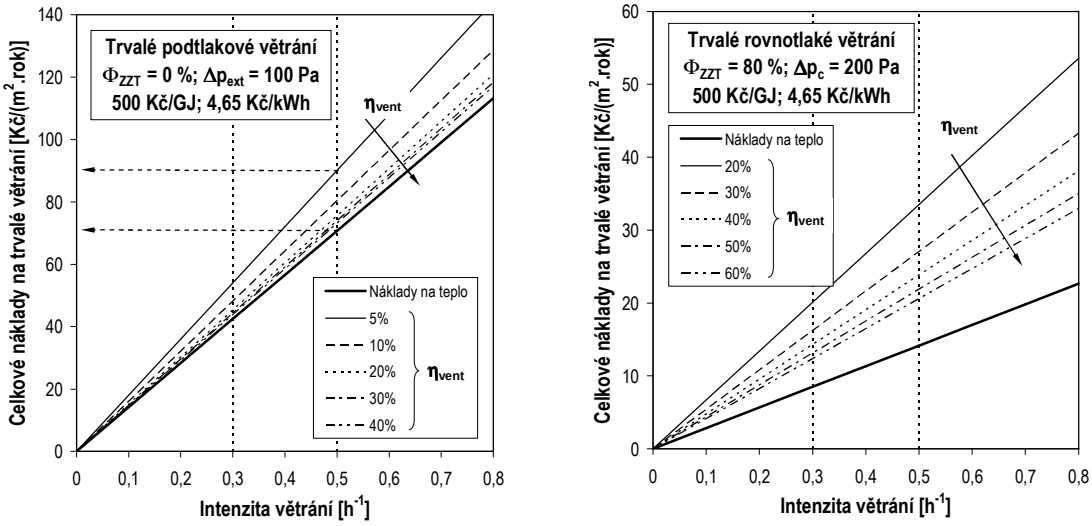
Výsledky

Na *Obr. 7* je vynesena spotřeba elektrické energie ventilátoru v závislosti na intenzitě větrání a parametru $\Delta p_c/\eta_{vent}$. *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 $\Delta p_c/\eta_{vent}$ tzn. s rostoucím celkovým dopravním tlakem a se snižující se účinností spotřeba energie úměrně roste. Například parametr $\Delta p_c/\eta_{vent}$ lokálního ventilátoru pro trvalé podtlakové větrání s účinností (vč. pohonu) 10 % a celkovým dopravním tlakem 100 Pa je 1000.

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



a) *b)*

Obr. 8 *Spotřeba elektrické energie ventilátoru a) trvalé podtlakové větrání, b)trvalé rovnotlaké větrání se ZZT (2 ventilátory)*

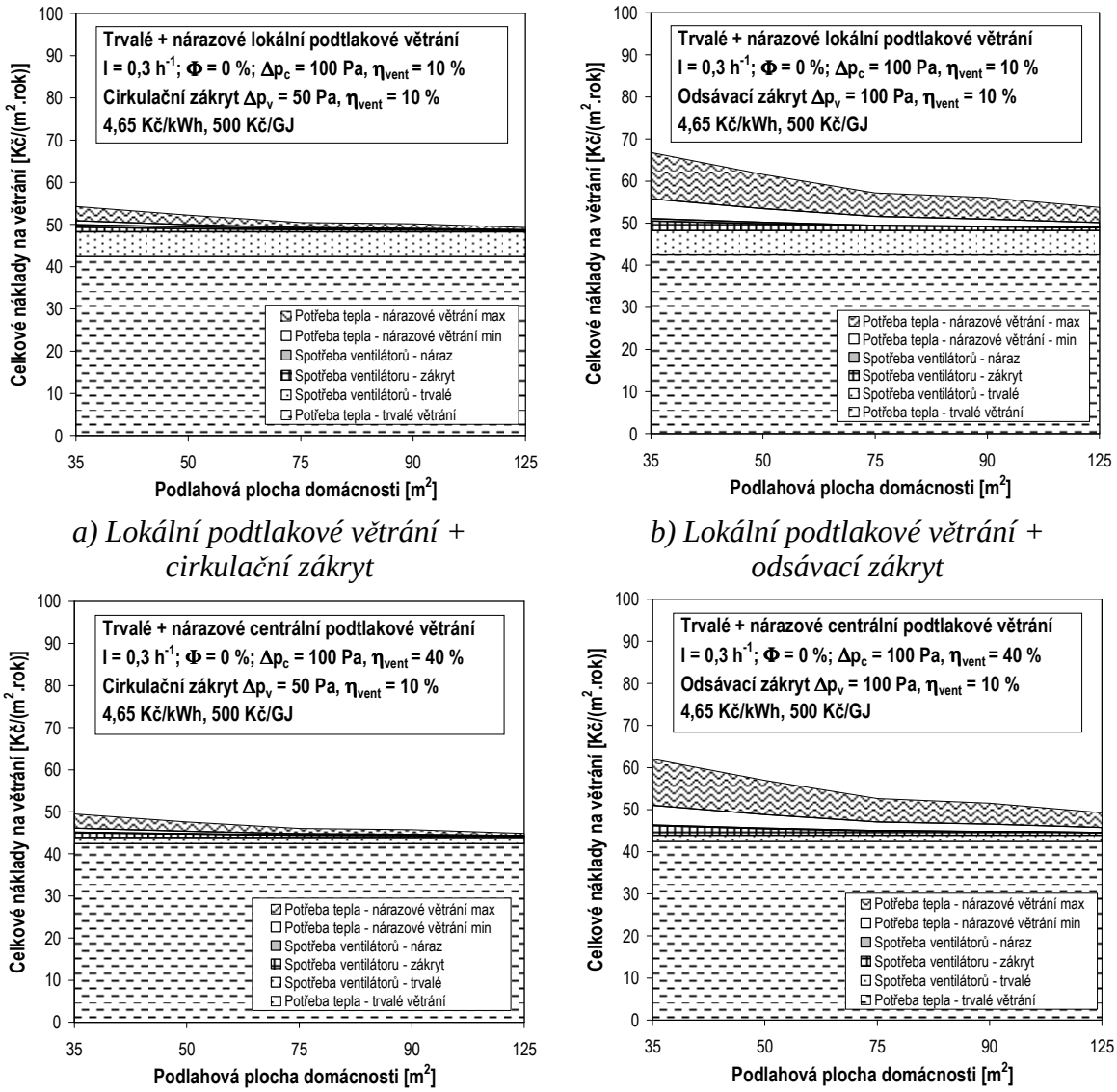
Na *Obr. 8a)* je pak vidět, jak se podílí spotřeba elektrické energie ventilátoru na celkových nákladech pro trvalé podtlakové větrání v zimním období. Modelově byla zvolena potrubní síť s externí tlakovou ztrátou 100 Pa. Zatímco lokální ventilátor s nízkou 5% účinností se podílí na celkových nákladech 21 %, u ventilátorů centrálních se 40% účinností už tento podíl činí pouhá 3 %. Z obrázku je rovněž zřejmé, že dominantní podíl na celkových nákladech u trvalého podtlakového větrání mají náklady, které jsou spojené s ohřevem venkovního vzduchu.

Jak již bylo naznačeno, u rovnotlakého systému je situace odlišná. Spotřeba energie ventilátorů se podílí na celkových nákladech na trvalé větrání nezanedbatelným způsobem, jak dokladuje *Obr. 8b)*, kde je analyzován konkrétní případ teplotním faktorem ZZT 80 % a celkovým dopravním tlakem ventilátorů 200 Pa. Ventilátory s relativně nízkou 20% účinností se podílí na celkových nákladech na trvalé větrání téměř 58 %.

CELKOVÉ NÁKLADY NA VĚTRÁNÍ

Následující grafy znázorňují celkové náklady na provoz větrání ve zkoumaném 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. 9* je znázorněno porovnání celkových nákladů pro lokální a centrální podtlakové větrání při trvalém větrání intenzitou 0,3 h^{-1} a různými způsoby nárazového větrání. Sloupec vlevo tj. případy *a)* a *c)* znázorňují náklady v případě použití cirkulačního zákrytu, sloupec vpravo tj. *Obr. 9b)* a *d)* 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. Rozdíl mezi centrálním a lokálním systémem větrání je způsoben pouze spotřebou ventilátorů a činí 7 až 9 % z celkových nákladů. Výsledky na *Obr. 9* 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 (oblast šrafovaná vlnkovou čarou).



a) Lokální podtlakové větrání + cirkulační zákryt

b) Lokální podtlakové větrání + odsávací zákryt

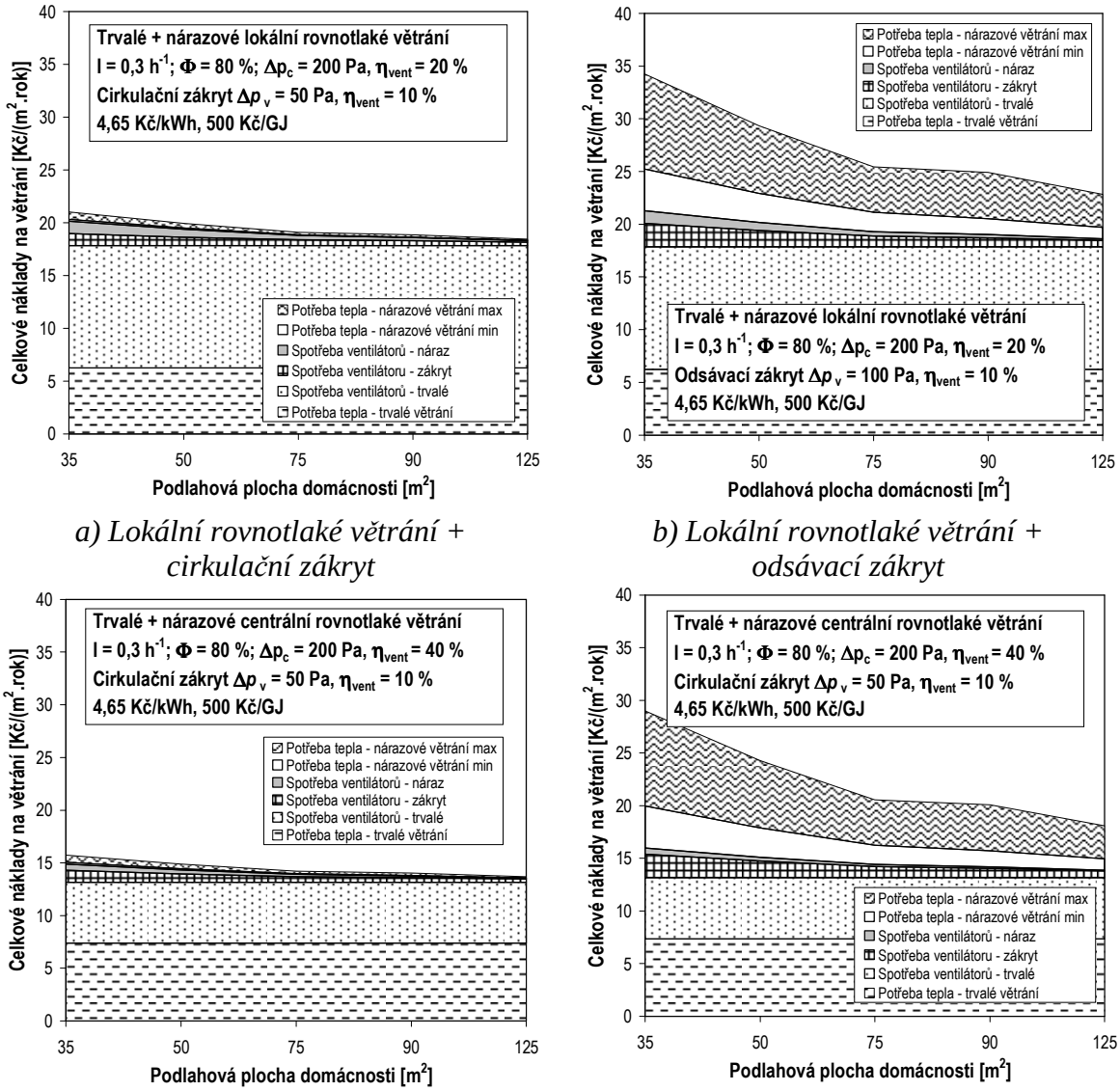
c) Centrální podtlakové větrání + cirkulační zákryt

d) Centrální podtlakové větrání + odsávací zákryt

Obr. 9 *Celkové orientační náklady na provoz podtlakového větrání*

Obdobným způsobem jsou vyhodnoceny výsledky pro rovnotlaké větrání uvedené na *Obr. 10*. Výsledky platí opět pro trvalé větrání intenzitou 0,3 h^{-1} v kombinaci s nárazovým větráním a při použití zpětného získávání tepla s teplotním faktorem Φ = 80 %. Při použití rovnotlakého větrání s výměníkem ZZT s vysokým teplotním faktorem dominují náklady spojené s pohonem ventilátorů.

Rozdíly mezi centrálním a lokálním rovnotlakým větrání je způsobený spotřebou ventilátorů a pro zkoumané případy činí 50 %. Výsledky na *Obr. 10* 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 dohřívat. Z hlediska energetického se jedná o elektrický ohřev vzduchu. Výsledky uvedené na *Obr. 10* 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 neprojeví.



a) Lokální rovnotlaké větrání + cirkulační zákryt

b) Lokální rovnotlaké větrání + odsávací zákryt

c) Centrální rovnotlaké větrání + cirkulační zákryt

d) Centrální rovnotlaké větrání + odsávací zákryt

Obr. 10 *Celkové orientační náklady na provoz rovnotlakého větrání*

V *Tab. 6* jsou uvedeny celkové náklady na provoz větrání pro typovou domácnost obývající byt o celkové podlahové ploše 75 m^2 pro trvalé (I = 0,3 h^{-1}) a nárazové větrání při zadaných okrajových podmínkách výpočtu, ceně tepelné energie 500 Kč/GJ a elektrické energie 4,75 Kč/kWh.

Tab. 6 *Celkové náklady na provoz větrání pro domácnost s podlahovou plochou 75 m^2*

Systém	Podtlakové větrání			
	Lokální		Centrální	
Zákryt	Cirkulační	Odsávací	Cirkulační	Odsávací
Náklady [Kč/měsíc]	309 až 316	323 až 357	280 až 288	294 až 329
Systém	Rovnotlaké větrání se ZZT (80 %)			
	Lokální		Centrální	
Zákryt	Cirkulační	Odsávací	Cirkulační	Odsávací
Náklady [Kč/měsíc]	115 až 119	127 až 159	85 až 89	97 až 128

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 ZZT 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 uvedených důvodů se jeví jako vhodné věnovat pozornost i spotřebě energie pro pohon ventilátorů. Zejména u rovnotlakých systémů se ZZT může tato položka představovat podstatnou část nákladů. Výrobci vzduchotechnických jednotek se často chlubí vysokým teplotním faktorem ZZT (často 90 % a vyšším), ovšem o důsledcích v podobě nutně vyšších dopravních tlaků ventilátorů se zmiňuje málokterý z nich.

Pro modelový byt pro tříčlennou rodinu s podlahovou plochou 75 m^2, větraný intenzitou větrání 0,3 h^{-1} činí celkové náklady na energie pro provoz větracího zařízení v otopném období cca 100 Kč/měsíc na osobu při použití podtlakového větrání, v případě rovnotlakého větrání pak cca 30 až 50 Kč/měsíc na osobu. Uvedené ceny nezahrnují náklady na údržbu a servis zařízení.

LITERATURA

[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	[h^{-1}]
Δp_{ext}	externí tlaková ztráta	[Pa]
Δp_c	celkový dopravní tlak ventilátoru	[Pa]
Φ	teplotní faktor (účinnost) ZZT	[%]
η_{vent}	účinnost ventilátoru vč. pohonu	[%]