

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**POTŘEBA ENERGIE PRO NUCENÉ VĚTRÁNÍ
OBYTNÝCH BUDOV**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav techniky prostředí

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno studenta(ky): Bc. Jan NEČADA

Studijní program: Strojní inženýrství

Obor: Technika životního prostředí

Název česky: Potřeba energie pro nucené větrání obytných budov

Název anglicky: Energy Demand of Mechanical Ventilation System for Residential Buildings

Zásady pro vypracování:

Analyzujte různé typy rodinných domů pro běžnou výstavbu s ohledem na aktuální požadavky na větrání, za předpokladu použití nuceného větrání. Na příkladu rodinného domu stanovte potřebu energie pro větrání při použití různých typů větracích jednotek. Porovnejte systémy s regulací a bez regulace průtoku vzduchu. Zohledněte pořizovací náklady zkoumaných zařízení. Pokuste se nalézt parametr, který při výběru jednotky zohlední jak účinnost ZZT tak příkon ventilátoru, resp. potřebu tepelné i elektrické energie.

Rozsah grafických prací: Výsledky výpočtů v podobě grafických závislostí.

Rozsah průvodní zprávy: Zpráva s teoretickým úvodem k větrání obytných budov, popisem výpočtu s přílohami s výsledky.

Seznam odborné literatury:

- 1) ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. ÚNMZ 2011.
- 2) Zmrhal V. Potřeba energie pro větrání obytných budov. VVI 2012.
- 3) Zmrhal V. Větrání rodinných a bytových domů. Grada Publishing. 2014.
- 4) Drkal F., Zmrhal V. Větrání. Skriptum ČVUT. 2013.

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

Konzultant:

-

Datum zadání diplomové práce:

27. 10. 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

13. 1. 2017

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu a tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Zadání diplomové práce převzal dne:

Necáder

.....
student

V. Zmrhal
Doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

Vedoucí ústavu



M. Valášek
Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 27. 10. 2016

SOUHRN

Hlavním tématem této diplomové práce je posouzení trvalého nuceného větrání v aplikaci pro rodinné domy. V teoretické části jsou uvedeny současné požadavky na větrání obytných budov, systémy větrání a jejich součásti. V návaznosti na tyto informace je proveden příklad návrhu trvalého nuceného rovnotlakého větrání modelového rodinného domu. Podle obdobného návrhu je provedena analýza požadavků na větrání rodinných domů nejběžnějších typů běžné výstavby. Na příkladu modelového rodinného domu je stanovena potřeba tepelné i elektrické energie pro větrání při použití různých typů větracích jednotek. Větrací zařízení jsou hodnoceny při větrání s regulací i bez regulace průtoku vzduchu. Dále je uveden parametr, který hodnotí větrací systémy podle účinnosti ZZT a příkonu ventilátorů s ohledem na ceny energie.

SUMMARY

The main topic of this diploma thesis is the evaluation of permanent forced ventilation in application for family houses. The current ventilation requirements of residential buildings, ventilation systems and their components are stated in the theoretical section. It is made an example of a design of permanent equal pressure forced ventilation of the model family house as a follow-up to preceding information. Common types of conventional construction are evaluated according to a previously mentioned analyzing approach. It is determining the heat and electricity consumption for ventilation by using different types of ventilation units referred to the example of the family house model. The ventilation units are evaluated in regulatory and non-regulatory operation of airflow. The parameter of efficiency of ventilation system and fan power input is evaluated with regard to energy prices.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Potřeba energie pro nucené větrání obytných budov“ vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Vladimíra Zmrhala, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 13. 1. 2017

Bc. Jan Nečada

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Vladimíru Zmrhalovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky, pomoc a vstřícnost při konzultacích diplomové práce.

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV.....	11
2.1 ZPŮSOBY VĚTRÁNÍ.....	11
2.2 LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ VNITŘNÍ PROSTRĚDÍ.....	13
2.3 POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ.....	16
2.4 VĚTRACÍ SYSTÉMY S NUCENÝM PRŮTOKEM VZDUCHU.....	19
2.5 PRVKY VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ.....	20
2.5.1 VENTILÁTORY.....	20
2.5.2 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA.....	22
2.5.3 VĚTRACÍ HLAVICE.....	25
2.5.4 VYÚSTKY.....	26
2.5.5 VZDUCHOVODY.....	27
2.6 VĚTRÁNÍ PASIVNÍCH DOMŮ.....	29
3. NÁVRH VĚTRÁNÍ PRO TYPOVÉ RODINNÉ DOMY.....	30
3.1 POSTUP NÁVRHU.....	32
3.2 ANALÝZA 30 RODINNÝCH DOMŮ.....	38
3.3 NÁVRH REGULOVANÉHO PRŮTOKU VZDUCHU PRO RODINNÉ DOMY.....	44
4. POTŘEBA ENERGIE NA VĚTRÁNÍ.....	47
4.1 POTŘEBA TEPLA NA VĚTRÁNÍ – TRY.....	47
4.1.2 POTŘEBA TEPLA NA VĚTRÁNÍ PRO SYSTÉMY S PROMĚNNÝM PRŮTOKEM VZDUCHU.....	49
4.2 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE NA POHON VENTILÁTORŮ.....	51
4.2.1 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE NA POHON VENTILÁTOR PRO SYSTÉMY S PROMĚNNÝM PRŮTOKEM VZDUCHU.....	52
4.2.2 OHŘÁTÍ VZDUCHU VE VENTILÁTORU.....	53
4.3 PLATBY ZA ENERGIE.....	54
4.4 NÁVRH VĚTRACÍHO SYSTÉMU PRO MODELOVÝ RODINNÝ DŮM.....	54
4.5 ANALÝZA VĚTRACÍCH JEDNOTEK PRO RODINNÉ DOMY V ČR.....	57
4.5.1 POTŘEBA TEPLA HODNOCENÝCH VĚTRACÍCH JEDNOTEK.....	58

4.5.2 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE NA POHON VENTILÁTORŮ HODNOCENÝCH VĚTRACÍCH JEDNOTEK	62
4.6 STANOVENÍ POTŘEBY ENERGIE HODNOCENÝCH VĚTRACÍCH JEDNOTEK PŘI PROMĚNNÉM PRŮTOKU VZDUCHU	65
4.7 VÝSLEDKY POTŘEBY ENERGIE	66
4.8 ROČNÍ PLATBY ZA ENERGIE	72
4.9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ	76
5. ZHODNOCENÍ RŮZNÝCH SYSTÉMŮ VĚTRÁNÍ	80
5.1 POROVNÁNÍ VĚTRACÍCH JEDNOTEK S REGULACÍ A BEZ REGULACE PRŮTOKU VZDUCHU	80
5.2 POROVNÁNÍ RŮZNÝCH KONCEPCÍ VĚTRÁNÍ	83
6. ZÁVĚR	87
7. ZDROJE	90
8. PŘÍLOHY	94

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

c	měrná tepelná kapacita (J/kg·K)
I	intenzita větrání (¹ /h)
K	konstanta parametru EHV (J/m ³)
K_p	konstanta potrubní sítě (-)
n	cena energie (Kč/J; Kč/Wh)
O	objem budovy, místnosti (m ³)
P	příkon ventilátoru, větrací jednotky (W)
Δp_c	dopravní tlak ventilátoru (Pa)
Δp_z	tlaková ztráta (Pa)
Q	energie (J; Wh)
\dot{V}	objemový průtok (m ³ /s)
t	teplota (°C; K)
x	měrná vlhkost (g/kg _{s.v.})
SFP	měrný příkon ventilátoru, větrací jednotky (W·s/m ³)
EHV	ekonomické hodnocení větrání (Kč/m ³)
η_c	celková účinnost ventilátoru (-, %)
φ_{ztt}	teplotní faktor (-; %)
ψ	vlhkostní faktor (-; %)
ρ	hustota (kg/m ³)
τ	čas (h)

ZNAČENÍ INDEXŮ

e	venkovní
o	odvodní
max	maximální
dop	doporučená
min	minimální
c	celková
nar	nárazové
oh	ohřev
el	elektrické
h	hodinová
$vent$	ventilátoru
p	průměrná

1. ÚVOD

Člověk stráví v obytných budovách přibližně třetinu svého života. Proto je velice důležité, aby se v tomto prostředí cítil komfortně a nezpůsobovalo mu žádné zdravotní potíže ani při dlouhodobém pobytu. Jedním z hlavních aspektů ovlivňující kvalitu života a pohodu prostředí v obytných budovách je stav vnitřního ovzduší. Se stále rostoucími požadavky na úspory energie je snaha co nejvíce snížit tepelnou ztrátu prostupem i větráním. V důsledku toho se stávají stavby téměř absolutně těsné. Bez dalších stavebních úprav a návrhu dodatečného systému větrání nejsou často splněny ani minimální požadavky na přívod čerstvého vzduchu nejen u novostaveb, ale také u staveb, které prošly rekonstrukcí a dříve požadavky na výměnu vnitřního vzduchu splňovaly. Například výměnou oken u rekonstruované budovy, která byla provětrávána přirozenou infiltrací, se výměna vzduchu sníží na minimum.

Dostatečný přívod čerstvého vzduchu lze zajistit otevíráním oken. Bohužel v chladnějších měsících většina uživatelů obytných budov v rámci úspory energie větrá okna minimálně. Pro řešení tohoto problému lze v dnešní době využít několik systémů. Například instalací větracích mřížek přímo do okenních rámců nebo obvodových konstrukcí. Tato stavební úprava vyžaduje sice malé pořizovací náklady, na druhou stranu neumožňuje zpětné získávání tepla a je ovlivněna tlakovými poměry mezi vnitřním a vnějším prostředím. Komfortnější je systém nuceného větrání, který umožňuje zpětné získávání tepla a často lze také regulovat podle potřeb uživatele. Vyžaduje však vyšší pořizovací náklady a jisté provozní náklady.

Cílem této práce je analyzovat, požadavky na větrání rodinných domů běžné výstavby podle normy ČSN EN 15665/Z1. V návaznosti na výpočet množství větracího vzduchu určit potřebu jak tepelné tak i elektrické energie při trvalém nuceném rovnotlakém větrání. V neposlední řadě se nabízí možnost posouzení různých typů větracích jednotek z hlediska jejich potřeby energie a provozu větrání.

2. VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV

Cílem větrání obytných budov je zaručení komfortu, zdravého prostředí, nezávadnosti za současného splnění energetické úspornosti a hospodárnosti [1]. Dosažení těchto požadavků lze uskutečnit vhodným návrhem větracího systému.

Obecně se obytné budovy větrají z důvodů snížení koncentrace znečišťujících látek (škodlivin) pod mez, která by mohla omezit pohodu prostředí člověka, nebo životnost samotné stavby. Škodliviny se mohou v budovách produkovat z různých zdrojů nebo se dostávat dovnitř z vnějšího prostředí. Větráním se rozumí přívod čerstvého venkovního vzduchu do prostoru s koncentrovanou škodlivinou, tím dojde k jejímu rozředění a následnému vytlačení nebo odsátí do venkovního prostředí.

Z hlediska doby provozu se rozlišuje větrání trvalé nebo nárazové. Trvalým větráním se rozumí nepřetržitá dodávka čerstvého venkovního vzduchu do větraného prostoru. Nárazové větrání se využívá pouze po určitou dobu při náhlém vzniku škodliviny, např. při vaření.

2.1 ZPŮSOBY VĚTRÁNÍ

Větrání obytných budov lze provést několika způsoby, ovšem ne všechny jsou vždy vhodné. V současnosti vznikají díky nárokům na úspory energie požadavky na těsnost obálky budov. U nově projektovaných staveb se návrh tomuto požadavku přizpůsobí v primárním návrhu s ohledem na zamýšlený uživatelský koncept objektu. Problém nastává u starých staveb, které původně byly navrženy a konstruovány většinou jako přirozeně větrané. Po rekonstrukci obálky či dodatečnému zateplení a výměně starých netěsných oken za nová těsná, je původní větrací systém téměř nefunkční. Většina takových staveb nemá provedena další opatření pro zaručení dostatečného větrání, díky čemuž vznikají problémy s nepřipustnou kondenzací vlhkosti, která způsobuje výskyt plísní. Uvolněné spory pak přímo ohrožují zdraví obyvatel stavby.

Vyhovující a dostačující není ani větrání tzv. mikroventilací, přičemž se tímto způsobem snižují některé pozitivní parametry konstrukce např.: zvukoizolační vlastnosti okna. Provětrávání okny není taktéž vhodné, protože je silně ovlivněno samotnými obyvateli a není akceptovatelné v době spánku. S tímto pohledem na větrání je též

spojen historický vývoj užívání staveb. Současný obyvatel či pořizovatel rekonstruovaných staveb se nachází na přerodu na uživatele modernějšího bydlení, ve kterém ale nevědomky uplatňuje původní návyky. Proto je v této problematice též důležitá vzdělávací funkce architekta či projektanta vůči budoucímu uživateli – obyvateli.

Způsoby větrání můžeme kategorizovat na:

Přírozené větrání – využívá účinku rozdílů tlaků uvnitř a vně budovy. To může být způsobeno větrem nebo rozdílnou vnitřní a venkovní teplotou. Přírozené větrání infiltrací vzniká samovolně u každé nedokonalé těsné stavby pomocí netěsností v obálce budovy (okna, dveře, stěny atd.). Přírozená výměna vzduchu může být podpořena lidským návrhem, v tom případě hovoříme o aeraci nebo šachtovém větrání. Přírozené větrání je téměř neregulovatelné a závisí na aktuálním stavu počasí.

Nucené větrání – výměnu vzduchu ve větraném prostoru zajišťují ventilátory, což umožňuje dimenzovat průtok vzduchu odpovídajícímu požadavku. Další výhodou toho systému je možnost využití zpětného získávání tepla, čemuž se v oblasti energeticky úsporných budov nelze vyhnout. Nevýhodou je určitá spotřeba elektrické energie na pohon ventilátorů a občasná nutná kontrola provozních parametrů (např. Nutnost výměny filtrů v daném časovém období, pokud jsou tyto v systému přítomny.).

Hybridní větrání – využívá kombinace přírodního a nuceného větrání. Primárně pracuje navržený systém jako přírozené větrání. V případě vyhodnocení nedostatečné výměny vzduchu ve větraném prostoru se zapne systém nuceného větrání (ventilátory).

Větrání podle potřeby – koncepce větrání podle potřeby byla vytvořena za účelem snížení energetické náročnosti. Systém pracuje s průtokem čerstvého vzduchu v návaznosti na aktuálním požadavku. Vyhodnocení potřeby čerstvého vzduchu se určí z hladiny sledované škodliviny, u obytných budov je to nejčastěji koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí. Problém může nastat s nalezení vhodného referenčního místa pro umístění čidla .

Větrání způsobuje značnou ztrátu tepelné energie zejména v zimních měsících, kdy je nutné přivodní vzduch ohřívat, aby v prostoru nedošlo k diskomfortu. Je třeba ale také zohlednit zvýšenou potřebu energie pro odvod tepelné zátěže z objektu ve stále se častěji opakujících vlnách tropických dnů v letních měsících. Tento problém nastává zejména u nevhodně orientovaných objektů se skleněnými nezaclonitelnými fasádami.

Proto vzniká potřeba určit množství venkovního vzduchu nebo lépe regulovat jeho přívod podle aktuální potřeby.

Vývin škodliviny ve vnitřním prostředí se odvíjí především od obsazenosti budovy, která se v průběhu dne mění. Záleží také na činnosti uživatelů, např. vaření (produkce páry). Dostatečný komfort zajišťuje systém nuceného větrání, který dokáže při správném návrhu kvalitně provětrat celý obytný prostor. U nuceného větrání lze navíc využít zpětného získávání tepla a regulaci průtoku vzduchu.

2.2 LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

Znečišťující látky z vnitřního prostředí

Ve vnitřním prostředí dochází k produkci škodlivých látek v důsledku výskytu osob nebo jejich činnosti. Určitá část škodlivin se může také uvolňovat ze stavebních konstrukcí nebo též vnitřního vybavení. V následujícím textu jsou popsány nejčastěji zastoupené škodliviny ve vnitřním prostředí obytných budov.

A) Vodní pára

Vodní pára je běžnou součástí vzduchu ve vnitřním i venkovním prostředí, ale i přesto je považována za škodlivinu. Její nadměrné množství může vést ke kondenzaci vlhkosti v místech tepelných mostů a chladných částí konstrukcích budovy. Díky tomu mohou v těchto místech vznikat plísně nebo může být narušena stabilita samotné konstrukce. Maximální relativní vlhkost ve vnitřním prostředí se doporučuje 70 % [3].

Vodní pára se do vnitřního prostoru uvolňuje několika způsoby spojenými s lidskou činností. Zdravý člověk v bdělém stavu vydechuje přibližně 55 g/h vodní páry. Neopomenutelnou příčinou jejího vzniku jsou běžné denní činnosti, zejména pak vaření či sprchování. Ideální je, pokud to okolní konstrukce umožňuje, v místech významné produkce vodních par vzniknout lokální odvod vzduchu. Produkce vodní páry při řadě hodnocených lidských činností je stanovena v normě ČSN EN 15665 [3].

V zimě při nízkých teplotách venkovního vzduchu nastávají naopak problémy s nízkou relativní vlhkostí ve vnitřním prostředí. Venkovní vzduch má sice vysokou relativní vlhkost, ale měrná vlhkost, která určuje množství vodní páry ve vzduchu je nízká. Po ohřátí takového vzduchu na vnitřní teplotu může jeho relativní vlhkost

klesnout pod 30 %, což však ne vždy musí znamenat problémy. Vlhčení nebo odvlhčování se u obytných budov zpravidla nenavrhuje [3].

B) Oxid Uhličitý – CO₂

Oxid uhličitý je běžně vyskytující se plyn v atmosféře. Je bezbarvý, bez zápachu a chuti. Podle stupně lidské aktivity v dané oblasti se jeho koncentrace ve venkovním prostředí pohybuje okolo 400 ppm. Měření koncentrací z roku 2010 na ostrově Mauna Loa (Havaj), který je považován za reprezentující místo čistého venkovního prostředí, ukázalo, že koncentrace se pohybovaly okolo 385 ppm. V oblastech, zejména s velkou průmyslovou aktivitou, mohou venkovní koncentrace oxidu uhličitého dosáhnout hodnoty 450 ppm [3].

Produkce oxidu uhličitého je především spojena se spalovacími a metabolickými procesy. U metabolických procesů závisí produkce zejména na fyzické zátěži člověka, jeho výšce a hmotnosti. Například spící malé dítě produkuje 4 l/h a dospělá osoba s vysokým stupněm fyzické aktivity může produkovat až 26 l/h oxidu uhličitého [3].

Tab. 1.1 Účinky CO₂ na lidský organismus [3]

Koncentrace CO ₂ [ppm]	Účinky na člověka, výskyt
360 – 400	koncentrace v čerstvém vzduchu v přírodě
800 – 1 000	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1 200 – 1 500	doporučená maximální (reálná) úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
nad 1 500	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace, ospalost, letargie
do 5 000	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
nad 5 000	negativní vliv na vnímání osob a výskyt syndromu nemocných budov
nad 10 000	prokázány zdravotní problémy
nad 40 000	životu nebezpečné i při krátkodobém působení

Protože je produkce oxidu uhličitého spojena s výskytem lidí v obytném prostoru, je tento plyn považován za dobrý ukazatel míry znečištění vnitřního prostředí. Proto jsou také v dotčených normách uváděny přijatelné limitní koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí. Jako přijatelná koncentrace se nejčastěji uvádí hodnota 1000 ppm nad koncentrací ve venkovním prostředí. Z dalších známých vstupních údajů o obytném prostoru a aktivitě jeho uživatelů lze poté výpočtem stanovit potřebné množství čerstvého vzduchu pro větrání. Nebo je možné do obývaného prostoru umístit čidlo CO₂, které předá informace o koncentraci řízení vzduchotechnické jednotky. Ta

poté podle potřeby reguluje přívod čerstvého vzduchu. Tento systém řízení se nazývá DCV (z anglického termínu Demand Control Ventilation - tzv. větrání podle potřeby) [3].

C) Oxid uhelnatý – CO

Oxid uhelnatý je velmi nebezpečný toxický plyn. V důsledku otravy ročně zemřou desítky obyvatel zpravidla špatně nebo málo udržovaných objektů. Je bezbarvý a bez zápachu. Vzniká při nedokonalém spalování všech typů paliva vlivem nedostatečného přívodu kyslíku. Velké nebezpečí hrozí zejména u plynových spotřebičů, které jsou umístěny v obytných prostorách. Pravidla pro umístění a návrh větrání plynových spotřebičů jsou uvedeny v technických předpisech TPG. Velký pozor je nutné věnovat návrhu větrání také u staveb, které prošly výměnou oken a přívod vzduchu byl umožněn infiltrací. Nová těsná okna poté neumožňují dostatečný přívod vzduchu. Do prostoru se spotřebičem spalujícím palivo, u kterého hrozí únik CO do prostoru, je vhodné umístit hlásič (alarm) CO, který upozorní na hrozící nebezpečí [3].

D) Pachy a vůně (odéry)

Pachy většinou neohrožují zdraví člověka, mohou však u osob vyvolat pocit diskomfortu, nesoustředěnost a psychické rozladění. Jejich produkce je spojena s metabolismem lidí nebo lidskou činností, například vaření či použití čisticích prostředků. Mnohdy je právě nadměrná produkce pachů při těchto činnostech hlavním důvodem větrání. Mohou se také uvolňovat z různého vybavení domácností [3].

E) Cigaretový kouř

Vliv aktivního i pasivního kouření na lidské tělo je dnes všem dobře známý. V obytných prostorách je proto pokud možno nejlepší nekouřit. Pokud se ve vnitřním prostoru kouří, je nutné vyloučit oběhový vzduch. Kouř bývá hlavní znečišťující látkou. Při kouření se do prostoru uvolňují plynné i kapalné částice látek, které mohou být velmi toxické a karcinogenní (oxid uhelnatý, benzen, amoniak, formaldehyd, dehet, toulén a řada dalších). V zakouřených domácnostech byla také prokázána souvislost se zvýšeným rizikem výskytu alergií u dětí [3].

F) Těkavé organické látka VOC

Těkavé organické látky jsou chemické sloučeniny s bodem varu v rozmezí 50 až 260 °C. Do vzduchu se uvolňují ze stavebních materiálů, interiérového vybavení či různých čistících prostředků. Jsou charakteristické svým zápachem. V obytných prostorách se vyskytuje velké množství VOC, jejich vliv na lidské zdraví je zjištěn pouze u zlomku z nich. Některé VOC mohou způsobovat podráždění s alergickou reakcí. Část těchto látek spadá také do kategorie karcinogenů [3].

G) Formaldehyd

Formaldehyd je toxický těkavý plyn označený za karcinogen. Do obytného prostoru se uvolňuje zejména v dřevostavbách, protože se používá při výrobě lepených dřevěných a izolačních materiálů. V současnosti se výrobci snaží o jeho omezení u výrobků, ze kterých by se mohl uvolňovat. Limit pro pobytové prostory je 60 µg/m³. Jedinou prevencí proti účinkům formaldehydu je dostatečné větrání [3].

Znečišťující látky z venkovního prostředí

Hlavní sledované škodliviny ve venkovním prostředí jsou podle ČSN EN 13 779 oxid siřičitý SO₂, ozón O₃, oxid dusičitý NO₂ a hmotné částice velikosti pod 10 µm označované jako částice PM₁₀. Pro uvedené škodliviny se podle normy určují průměrné imisní koncentrace za určité časové období: 8 hodin, 24 hodin, 1 rok. Venkovní prostředí je klasifikováno naměřenými hodnotami škodlivin v porovnání se směrnými hodnotami. Rozlišujeme tři základní třídy venkovního prostředí: ODA 1 – nejsou překročeny směrné hodnoty, ODA 2 – směrné hodnoty jsou překročeny max. 1,5 násobně, ODA 3 – směrné hodnoty jsou překročeny více jak 1,5 násobně [3].

2.3 POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ

Množství přiváděného a odváděného vzduchu ve větraném prostoru je dáno požadavky na větrání. Ty jsou u obytných budov a jejich součástí určeny normami. V průmyslu se setkáváme převážně s technologickými požadavky na větrání. Dodržení požadavků na větrání má zajistit bezpečné a komfortní prostředí pro život člověka i při dlouhodobém pobytu a životnost stavby.

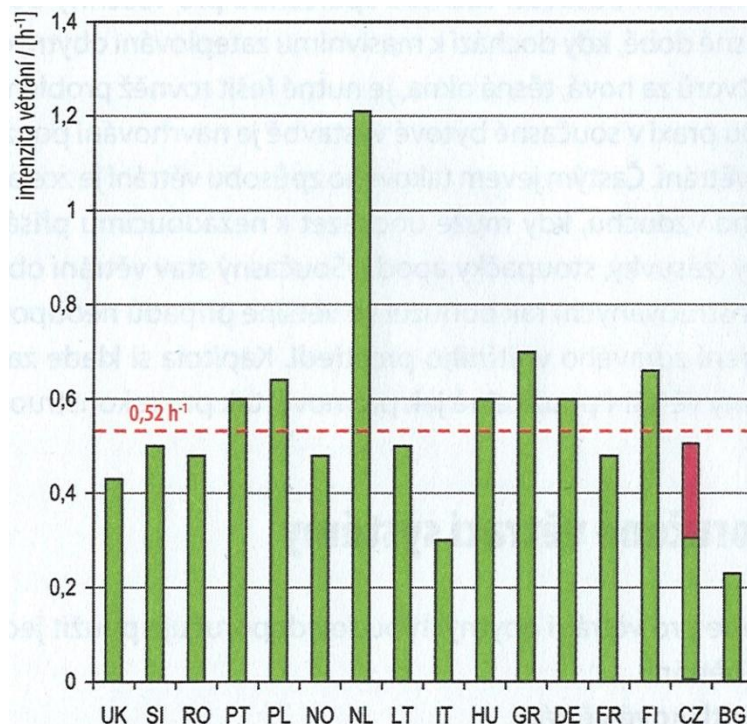
Hygienické limity vycházejí z produkce škodlivin, která je často spojena s pobytem osob ve větraném prostoru. Mezi nejvíce produkováné škodliviny patří oxid uhličitý a vodní pára (více v předcházející kapitole). Základem pro určení průtoku vzduchu je tzv. Pettenkoferovo kritérium. To stanovuje podmínku maximální koncentrace CO₂ v prostoru, kde pobývají lidé, 0,1 % obj. (1 000 ppm). Dospělý člověk s mírnou fyzickou aktivitou vydechuje přibližně 0,42 m³/h vzduchu, ve spánku 0,25 m³/h. Ve vydechovaném vzduchu je koncentrace oxidu uhličitého přibližně 4 % (4 000 ppm). Oxid uhličitý je součástí atmosféry a jeho koncentrace je pro různá místa rozdílná i v závislosti na počasí. Pettenkoferovo kritérium je určeno pro koncentraci CO₂ v přiváděném vzduchu jako 0,035 % (350 ppm), i když skutečná hodnota bude pravděpodobně vyšší. Z bilance škodlivin ve větraném prostoru poté vychází dávka čerstvého vzduchu 25,8 m³/h·os [3].

Požadavky na větrání obytných budov jsou uváděny v dotčených normách (ČSN EN 15665/Z1, příp. ČSN EN 15251) většinou formou intenzity větrání, dávky čerstvého vzduchu na osobu nebo místnost či případně zařizovací předmět. Intenzita větrání vyjadřuje množství čerstvého přiváděného vzduchu za hodinu vzhledem k objemu větraného prostoru a dá se vyjádřit vztahem:

$$I = \frac{\dot{V}_e}{O} [1/h]. \quad (1)$$

Požadavky na větrání obytných budov v České republice jsou stanoveny v normě ČSN EN 15665, ke které byla zpracována národní příloha v podobě změny Z1 (platnost od února 2011). Požadavky jsou uvedeny v *tabulce 3.1*. Závazným dokumentem pro návrh větrání je vyhláška MMR č. 20/2012 Sb., která odkazuje na normové hodnoty. Návrh množství čerstvého větracího vzduchu vzhledem ke kvalitě vnitřního prostředí je uveden také v normě ČSN EN 15251[3].

Požadavky na větrání obytných budov se pro jednotlivé země liší, na *obrázku 1.1* jsou uvedeny požadavky na větrání různých zemí EU. Je patrné, že české požadavky nikterak nevybočují z hodnot jiných evropských předpisů. Průměrná požadovaná intenzita větrání ve vybraných evropských zemích je 0,52 1/h [3].



Obr. 1.1 Srovnání požadavků na větrání různých zemí EU [9], [3]

Požadavky na koncepci větrání

Větrání v obytném prostoru nesmí nikterak narušovat pohodu prostředí člověka. Správný návrh větracího systému umožňuje rovnoměrné provětrání celého prostoru. Musí se taktéž dbát na dodržení nízké rychlosti proudění, která by v oblasti pobytu osob měla být nižší než 0,2 m/s. Pohodu člověka může také ovlivnit pracovní rozdíl teplot vzduchu, tj rozdíl teploty přívodního vzduchu a vzduchu v místnosti, proto je důležitý návrh správných distribučních elementů větracího systému.

Větrání ostatních prostorů obytných budov

Důležité je také větrat pomocné prostory, které patří k obytným stavbám. Jedná se např. o garáže, technické místnosti, sklepní prostory, schodiště, kolárny a speciální účelové objekty. Požadavky na větrání garáží jsou uvedeny v ČSN 73 6058. Větrání kotelen a technických místností se spotřebiči paliva řeší technické předpisy TPG. Zejména je nutné dbát důraz na přívod vzduchu a větrání místností s plynovými spotřebiči typu A a B. Sklepní prostory, kolárny apod. nemají předepsaný žádný požadavek na větrání, avšak z důvodu odvodu vlhkosti se doporučuje zajistit intenzitu větrání aspoň 0,5 ¹/h [3], [4].

2.4 VĚTRACÍ SYSTÉMY S NUCENÝM PRŮTOKEM VZDUCHU

Obytné budovy se v současnosti často větrají nuceným způsobem, tj. za pomoci ventilátorů. Doporučuje se použít jeden z následujících systémů:

- **nucené podtlakové větrání,**
- **nucené rovnotlaké větrání.**

Větrání můžeme dále rozdělit podle příslušnosti k větranému prostoru na:

- **centrální,**
- **lokální.**

Nucené podtlakové větrání

Ventilátory slouží k odvodu znehodnoceného vzduchu, a tím je vytvářen v budově mírný podtlak. Navrhuje se jako centrální nebo lokální. Odvod vzduchu je z místností se zdrojem škodliviny, a to buď přímo ventilátorem v odvětrávaném prostoru nebo vyústkou napojenou na odpadní vzduchovod. Úhrada odsávaného vzduchu je přes otvory v obvodové konstrukci budovy.

Přívodní otvory mohou být opatřeny filtrem a tlumičem hluku. V případě umístění přívodních prvků u podlahy může při přívodu chladného vzduchu nastat pocit diskomfortu. Převod vzduchu mezi místnostmi je uskutečněn spárami kolem dveří nebo mřížkami.

Nevýhodou podtlakového větrání je nemožnost využití zpětného získávání tepla, proto musí celou tepelnou ztrátu větráním hradit otopná soustava. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady a relativně snadné řízení vzduchového výkonu ventilátoru na základě čidel.

Nucené rovnotlaké větrání

U tohoto systému je množství přiváděného vzduchu stejné jako odváděného. Většina systému rovnotlakého větrání pracuje s kompaktními větracími jednotkami se dvěma ventilátory – pro přívod a odvod vzduchu.

Větrací jednotky mohou být lokální, tj. navrhují se na větrání jedné místnosti s instalací do/na obvodovou stěnu. Centrální větrací jednotky pak umožňují díky vzduchotechnickým rozvodům provětrání celého prostoru.

Výhodou rovnotlakého větrání je možnost využití zpětného získávání tepla, tím dochází ke značným úsporám energie na ohřev vzduchu. Mezi další výhody patří

snadné řízení vzduchového výkonu a filtrace vzduchu. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

Teplovzdušné vytápění

Teplovzdušné vytápění pracuje stejně jako centrální rovnotlaký systém s kompaktní větrací jednotkou, zároveň však hradí tepelnou ztrátu větráním i prostupem. Ve větrací jednotce nebo potrubí je navíc umístěn ohříváč vzduchu. Většina těchto systémů má vyšší průtok vzduchu pro dodržení uspokojivého pracovního rozdílu teplot. Teplovzdušné větrací jednotky díky tomu často pracují s cirkulací vzduchu (mají 5 připojovacích hrdel). Přívod čerstvého vzduchu je řízen klapkami na základě hladiny sledované škodliviny.

Výhodou tohoto systému je náhrada otopné soustavy, tedy úspora financí v profesi vytápění. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady samotného systému. Teplovzdušné vytápění navíc neuvolňuje do prostoru prakticky žádné sálavé teplo, proto musí být pro navození tepelné pohody v prostoru vyšší teplota vzduchu. Vhodnost tohoto systému je spíše do budov s nízkou akumulací schopností a tepelnou ztrátou, např. pasivních domů.

2.5 PRVKY VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ

2.5.1 VENTILÁTORY

Ventilátory jsou stroje sloužící k dopravě vzduchu pro případ nuceného větrání. Většinou se skládají z ventilátorové skříně, motoru a oběžného kola. Při návrhu ventilátorů se vychází z jeho celkového dopravního tlaku a objemového průtoku vzduchu. Další sledovaný parametr je příkon ventilátoru.

Ventilátor pracuje v pracovním bodě, který se nachází na průsečíku křivky tlakové charakteristiky ventilátoru a charakteristiky potrubní sítě. Tlaková charakteristika ventilátoru udává závislost celkového dopravního tlaku na objemovém průtoku vzduchu. Charakteristika dopravní sítě znázorňuje závislost tlakových ztrát na objemovém průtoku vzduchu. Celkový dopravní tlak ventilátoru musí hradit tlakové ztráty vzduchovodu včetně ztráty dynamického tlaku na výtlaku. U větracích jednotek je většinou udáván tzv. dispoziční nebo externí tlak, který vyjadřuje tlak pro pokrytí

tlakových ztrát sací a výtlačné větve rozvodu. Nezahrnuje tlakovou ztrátu větrací jednotky - nejedná se tedy o celkový dopravní tlak.

Hlavní sledovanou veličinou z hlediska spotřeby energie ventilátorem je jeho příkon. Určí se z výkonu ventilátoru ($\dot{V} \cdot \Delta p_c$ [W]) a jeho celkové účinnosti:

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_c}{\eta_c} \text{ [W]}. \quad (2)$$

Dalším často používaným parametrem pro vyjádření energetické náročnosti je měrný příkon ventilátoru *SFP* (specific fan power). Hodnota *SFP* udává elektrický příkon ventilátoru *P* v distribučním vzduchovém systému vydělený celkovým průtokem vzduchu *V* při návrhové zátěži [3]:

$$SFP = \frac{P}{\dot{V}} = \frac{\Delta p_c}{\eta_c} \text{ [W} \cdot \text{s/m}^3\text{]}. \quad (3)$$

Při současném trendu snižování spotřeby energie v obytných budovách má příkon ventilátorů významnou roli. Velikost příkonu závisí na pracovním bodě ventilátoru, jehož poloha se dá v omezené míře ovlivnit návrhem potrubní sítě. Druhým parametrem ovlivňující příkon ventilátoru je jeho celková účinnost včetně pohonu. V oblasti vzduchotechniky se nejvíce používají dva základní druhy elektromotorů a to asynchronní motory (AC), které jsou v současnosti nahrazovány modernějšími elektricky komutovanými (EC) synchronními motory. Podle [5] mají EC motory 30% úsporu elektrické energie proti AC motorům, možnost regulace otáček od 0 do 100 % nominálního výkonu s vysokou účinností v celém rozsahu otáček. Mezi další výhody patří nízká hlučnost a dlouhá životnost. EC motory mají integrovaný měnič napětí pro regulaci výkonu. AC motory se regulují externím frekvenčním měničem, taková dodávka může být investičně nákladnější než v případě EC motorů.

Rozdělení ventilátorů

Podle směru proudění vzduchu ve ventilátoru se pro větrání obytných budov nejčastěji používají axiální, radiální a diagonální ventilátory.

Do axiálních ventilátorů vstupuje proud vzduchu v ose oběžného kola a vystupuje ve stejném směru. Tyto ventilátory se vyznačují velkým průtokem vzduchu,

ale nízkým dopravním tlakem, proto se používají pro krátké rozvody vzduchotechniky s malou tlakovou ztrátou.

Radiální ventilátory mají rovněž sání vzduchu v ose oběžného kola, ale výtlač vzduchu je na tuto osu kolmý. Jejich konstrukce poskytuje vyšší dopravní tlaky než v případě axiálních ventilátorů, které však mají nižší průtoky vzduchu.

Diagonální ventilátory se svými vlastnostmi nacházejí mezi dvěma zmíněnými typy ventilátorů. Konstrukce ventilátorové skříně samostatných ventilátorů se pro aplikaci v obytných budovách dodává pro uchycení na stěnu nebo pro vřazení do kruhového i čtyřhranného potrubí.

2.5.2 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

Pod pojmem zpětné získávání tepla (tzv. ZZT) se rozumí využití energie ze vzduchu, který je odváděn z budovy – nikoliv využití vzduchu oběhového. ZZT tedy představuje vzduchotechnické zařízení, jehož funkce spočívá v odjímaní tepla ze vzduchu, který budovu opouští. Toto teplo je následně předáváno vzduchu přiváděnému z venkovního prostředí. Z hlediska používaných typů výměníků můžeme ZZT rozdělit do dvou základních skupin:

Rekuperační – pracují na principu přímého sdílení tepla přes teplosměnnou plochu, nebo je výměna tepla uskutečněna prostřednictvím pomocné tekutiny. Rekuperační výměníky mohou být kapalinové okruhy, tepelné trubice, tepelná čerpadla, deskové rekuperační [7].

Regenerační – princip spočívá v odebrání tepla z jednoho proudu vzduchu do akumulární hmoty s následným předáním tepla druhému proudu vzduchu. Regenerační výměníky dále rozdělujeme na přepínací, ve kterých se akumulární hmota nepohybuje, předání tepla se děje prostřednictvím změny směru proudění vzduchu. Druhým typem jsou rotační, které mají smysl proudění vzduchu beze změny. Teplo se předává rotací akumulární hmoty mezi proudy vzduchu [7].

Teplotní a vlhkostní faktor

Výměníky ZZT jsou charakterizovány teplotním faktorem φ_{ZZT} , který je někdy označován také jako účinnost ZZT. Teplotní faktor udává poměr teplotního rozdílu na

dané straně výměníku (přívodní; odvodní větev) k maximálnímu teoreticky možnému rozdílu teplot. Pro přívodní stranu výměníku je definice teplotního faktoru vyjádřena:

$$\varphi_{zst,e} = \frac{\Delta t_e}{\Delta t_{max}} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{o1} - t_{e1}} [-], \quad (4)$$

kde index 1 značí vstupní stranu výměníku, index 2 výstupní stranu. Množství předaného tepla je na obou stranách výměníku stejné, z toho lze odvodit, že teplotní faktor závisí na hmotnostním průtoku přívodního i odvodního vzduchu. Aby bylo možné vzájemně porovnat teplotní faktor výměníků ZZT, musí být hmotnostní průtoky stejné. Přibližně pak platí:

$$\varphi_{zst,e} = \varphi_{zst,o} \quad (5)$$

Teplotní faktor se určuje měřením v laboratořích. Princip měření a parametry vzduchu jsou uvedeny např. v normě ČSN EN 308 nebo ČSN EN 13141-7. Někteří výrobci udávají hodnoty teplotního faktoru naměřené při jiných podmínkách, než je stanoveno v uvedených normách. Tyto hodnoty mohou být vyšší až o jednotky procent vlivem rozdílných hmotnostních průtoků vzduchu [7]. Teplotní faktor závisí také na vlhkosti, zejména odváděného vzduchu. Kondenzace vodních par ve výměníku ZZT zvyšuje teplotní faktor, proto se porovnávají hodnoty při tzv. "suché účinnosti", tj. bez kondenzace vlhkosti.

U regeneračních výměníků dochází také k přenosu vlhkosti neboli zpětnému získávání vlhkosti. Vlhkostní faktor ψ je definován obdobně jako teplotní faktor, ale teploty jsou nahrazeny měrnými vlhkostmi x . Zápis vlhkostního faktoru pro přívodní proud vzduchu:

$$\psi_e = \frac{\Delta x_e}{\Delta x_{max}} = \frac{x_{e2} - x_{e1}}{x_{o1} - x_{e1}} [-]. \quad (6)$$

Teplotní a vlhkostní faktor je ovlivněn také konstrukcí samotného výměníku. Lepších parametrů lze dosáhnout zvětšením průřezu teplosměnné plochy výměníku, sníží se tím rychlost proudění. Vlivem toho sice dojde k snížení součinitele přestupu tepla konvekcí, ale prodlouží se doba, kterou stráví vzduch ve výměníku, proto jsou

hodnoty teplotního a vlhkostního faktoru vyšší při nižším průtoku vzduchu. Velikost teplosměnné plochy ovlivňuje také tlakovou ztrátu a cenu výměníku.

Výměníky ZZT v aplikaci pro rodinné domy

V aplikacích pro rodinné domy se nejčastěji používají dva druhy výměníků ZZT, a to rekuperační deskové nebo regenerační rotační.

Rekuperační deskové výměníky – v posledních letech byly hodně inovovány. Můžou mít tvar čtverce, ve kterém dochází ke křížovému proudění. Novější typy jsou šestiúhelníkové, jež odpovídají protiproudým výměníkům (mají vyšší teplotní faktor). Konstrukce jednotlivých kanálků se optimalizuje pro zvýšení turbulence vzduchu. Tím dochází k lepšímu přenosu tepla a snížení tlakových ztrát. Účinnost nejnovějších typů může dosahovat 80 až 90 %. Mají poměrně jednoduchou výrobu. Materiálem je hliníkový, nerezový plech nebo plast. Výhodou je bezpečné oddělení obou proudů vzduchu [7]. Některé deskové výměníky jsou vyrobeny z nasákových materiálů na bázi papíru a umožňují také přenos vlhkosti, tyto typy se řadí k regeneračním výměníkům.

Regenerační rotační výměníky – výměna tepla je uskutečněna prostřednictvím akumulární hmoty, která rotuje mezi proudy vzduchu. Samotná konstrukce akumulární hmoty připomíná kotouč s tenkými lamelami. Materiálem bývá hliníkový plech někdy opatřený silikagelem pro zvýšení přenosu vlhkosti. Účinnost může dosahovat 70 až 85 %, která závisí také na otáčkách rotoru. Nevýhodou je vzájemné neoddělení jednotlivých proudů vzduchu a nutnost pohonu pro otáčení rotoru (elektromotor). Výhodou je naopak přenos vlhkosti do přívodního proudu vzduchu, kdy zejména v zimě při velmi nízkých teplotách venkovního vzduchu nastává v budovách pokles vlhkosti pod požadované hodnoty [7].

Větrací jednotky se ZZT

U větrání rodinných domů se setkáváme s několika typy větracích jednotek se zpětným získáváním tepla. Lokální větrací jednotky slouží k větrání jedné místnosti. Jsou osazeny deskovými rekuperačními výměníky ZZT. Umístit se na stěnu, přes kterou nuceně přivádí a odvádí vzduch, proto je nutné zhotovení prostupů do každé obytné místnosti. Následkem toho může být vznik tepelných mostů. Často se pro rodinné domy používají centrální větrací jednotky. Tato kompaktní zařízení umožňují

větrání celého objektu s nízkými energetickými nároky. Osazují se deskovými rekuperačními i rotačními regeneračními výměníky ZZT. Pro větrání rodinných domů se někdy navrhuje zařízení kombinující tepelné čerpadlo s ohřevem vody a větrací jednotku, která zároveň vytápí objekt. I zde se využívá výměníků ZZT.

Větrací jednotky s výměníky ZZT je nutné opatřit odvodem kondenzátu se zápachovou uzávěrkou, což v některých případech může být ze situačních důvodů problém, zejména u lokálních větracích jednotek. Další problém lokálních větracích jednotek nastává při řešení protimrazové ochrany výměníků. Při nízkých venkovních teplotách hrozí zamrznutí kondenzátu ve výměníku ZZT, proto se u větších zařízení navrhuje obtok výměníku a další opatření, jako je např. el. předehřev či snížení otáček přívodního ventilátorů. Lokální větrací jednotky často nemají žádnou protimrazovou ochranu a v případě zámruzu se vypnou (nevětrají). Obtok výměníků ZZT slouží zároveň pro letní větrání, kdy zabraňuje vracení tepla z odpadního vzduchu zpět do budovy.

2.5.3 VĚTRACÍ HLAVICE

Pro systémy přirozeného nebo hybridního větrání se mohou pro odvod vzduchu navrhnout větrací hlavice, které vytvářejí v budově podtlak a tím napomáhají přirozené výměně vzduchu. Používají se dva typy větracích hlavic:

Rotující větrací hlavice – má rotační část připomínající oběžné kolo ventilátoru. Vnější proudění větru roztáčí toto kolo. Následně vzniká v připojeném potrubí podtlak.

Nepohyblivá hlavice typu CAGI – využívá účinky úplavu při vnějším obtékáním vzduchu a nemá žádné rotující části. Často je označována jako samoodtahová hlavice.

Funkce větracích hlavic je velmi ovlivněna rychlostí obtékání venkovním vzduchem (větrem), proto je nutné vzít ohled na typické venkovní podmínky v místě instalace. Někdy jsou rotační hlavice chybně zaměňovány za staré ventilátory na stoupačkách domů. Zdaleka však neposkytují výkonové parametry jako ventilátory a nelze je v těchto případech použít. Instalace větracích hlavic může mít smysl do systémů, kde je s nimi již od počátku uvažováno [3].

2.5.4 VYÚSTKY

Distribuce vzduchu výrazně ovlivňuje obraz proudění vzduchu v prostoru, proto je nutné dbát na správnou volbu a návrh prvků pro přívod vzduchu. Odvodní elementy ovlivňují obraz proudění vzduchu jen v těsné blízkosti od odvodního prvku, nejčastěji se proto umísťují u zdroje škodliviny. V oblasti rodinných domů je to zejména u zdrojů vodní páry (koupelny, kuchyně, záchody, sušárny atd.). Elementy přívodu vzduchu musí umožňovat rovnoměrné provětrání prostoru. Z hlediska jejich konstrukce se nejčastěji navrhují:

Čtyřhranné vyústky – jejich dostupnost je na trhu v mnoha variantách pro ideální přizpůsobení konkrétnímu návrhu. Dodávají se pro instalaci do potrubí, stěny i podlahy. Často umožňují upravit obraz proudění pomocí nastavitelných lamel. Součástí vyústek může být i ústrojí pro regulaci průtoku vzduchu.

Talířové ventily – slouží pro přívod, nebo odvod vzduchu. Regulace je snadná, otáčením talíře ventilu. Investiční náklady jsou nízké, ale v případě přívodu vzduchu nelze dosáhnout dalekého dosahu proudu vzduchu.

Trysky (dýzy) – umožňují daleký dosah proudu vzduchu při nízkých parametrech hlučnosti. Jsou určeny výhradně pro přívod vzduchu. Jejich zaregulování je obtížné a vyžaduje vřazení regulačního prvku před trysku. Mají i poměrně vysokou cenu [3].

Distribuční elementy jsou nejčastěji dostupné v materiálovém provedení z plastů nebo kovů s různými povrchovými úpravami (lak, elox, chrom nebo leštěný nerez). Některé výrobky jsou dostupné též v dřevěném provedení. Anemostaty se používají pro větší aplikace a do rodinných domů či bytů nejsou vhodné.

Prvky pro přívod vzduchu z venkovního prostředí

Při podtlakovém větrání je nutné hradit množství odváděného vzduchu otvory v obvodovém plášti stavby. Běžně se navrhují okenní štěrby, které se zapravují do okenních rámců. Další možností jsou specifické teleskopické průduchy čtyřhranného, nebo kruhového průřezu s instalací do obvodové stěny. Součástí těchto prvků mohou být tlumiče hluku a filtry vzduchu. V tomto případě je patrný vznik vyšší tlakové ztráty, která je hrazena podtlakovým ventilátorem. Takto osazené prvky proto nelze použít pro přirozené větrání, kde se navrhují pouze prosté otvory. Sofistikované přívodní elementy

nabízejí regulaci průtoku vzduchu např. podle teploty, vlhkosti, rozdílů tlaků a dalších parametrů. Běžně lze nastavit velikost průřezu otvoru ručně.

Převáděcí otvory

Převáděcí otvory umožňují proudění vzduchu mezi místnostmi, do kterých se vzduch přivádí, a ze kterých odvádí. Nejčastěji se tak děje u místností, které jsou v době trvalého větrání uzavřeny, např. ložnice, koupelny, záchody. V oblasti rodinných domů jsou průtoky převáděného vzduchu malé a obvykle postačuje převod vzduchu spárami pode dveřmi nebo po obvodu zárubní. Při větším množství převáděného vzduchu se navrhuje dveřní nebo stěnové mřížky. Velikost převáděcího otvoru se doporučuje navrhnout do rychlosti proudění 0,5 m/s v čistém průřezu otvoru [3].

2.5.5 VZDUCHOVODY

Vzduchovody rozvádějí větrací vzduch po budově do požadovaných míst k distribučním elementům. Mají čtyřhranný nebo kruhový průřez. Čtyřhranné vzduchovody se lépe začleňují do stavby, ale mají horší aerodynamické vlastnosti než kruhové vzduchovody. V aplikacích pro rodinné domy se vzduchovody navrhuje jako potrubí z různých materiálů. Obvyklé vedení vzduchovodů je nad podhledem, v podlaze nebo v půdním prostoru. Zděné vzduchovody se používají zejména pro velké průtoky vzduchu, proto se s nimi u rodinných domů nesetkáváme.

Kruhové potrubí z pozinkovaného plechu – vyrábí se ze spirálně vinutého plechu. Často se nazývá “spiro“. V oblasti vzduchotechniky je nejčastěji používaným kruhovým potrubím. Má dobrou pevnost. Montáž je snadná, upevňuje se pomocí kruhových objímek s pryžovou vložkou. Spojuje se pomocí spojek, které mohou být opatřeny těsněním pro zvýšení těsnosti. Standardní délka trouby je 3 m, k úpravě délky dochází na stavbě. Dodává se v normalizovaných rozměrech od DN 80 až do průměrů přes 1 m. Tím postačuje pro většinu aplikací kruhového potrubí ve vzduchotechnice [3].

Čtyřhranné potrubí z pozinkovaného plechu – běžně se používají ve všech oblastech vzduchotechniky. Nabízí prakticky neomezenou volbu rozměrů pro přizpůsobení stavbě, díky tomu je vhodné i pro vedení v podlaze. Spojuje se pomocí přírub s těsněním. Lemy se na vnitřní straně potrubí zatmelují, proto má dobrou těsnost.

Plastové potrubí – jsou dostupné v mnoha variantách kruhového i čtyřhranného potrubí. Obvykle se dodávají jako systémová řešení jednotlivých výrobců. Montáž je jednoduchá. Mají nízkou tlakovou ztrátu a hmotnost. Pořizovací cena je vyšší než u potrubí z pozinkovaného plechu. Většinou se vyrábí z PVC a je nutné ověřit hygienickou nezávadnost při použití v oblasti obytných budov [3].

Ohebné hadice – používají se zejména k připojení distribučních elementů, vzduchotechnických jednotek a ventilátorů. Snižují přenos vibrací do potrubí. Nejčastěji se vyrábějí z hliníku nebo plastů. Mohou být opatřeny tepelnou nebo protihlukovou izolací. V rodinných domech je lze použít pro přívod a odvod vzduchu od větrací jednotky do venkovního prostředí, nebo jako tlumiče hluku i pro snížení přeslechů mezi místnostmi. Nevýhodou je poměrně vysoká tlaková ztráta.

U vzduchotechnického potrubí hrozí zanášení prachem a jinými nečistotami, zejména v části rozvodu odvádějící vzduch z místností k větrací jednotce. Po určité časové době se doporučuje rozvody vyčistit. V mnoha případech je to ovšem problém, protože přístupnost do potrubí může být omezená. Potrubí z plastů je všeobecně lépe čistitelné než potrubí z pozinkovaného plechu. U ohebných hadic je čistitelnost špatná, běžně se vyměňují za nové.

Potrubní rozvody je nutné tepelně izolovat kvůli tepelným ztrátám a kondenzaci vlhkosti. Potrubí přívodu vzduchu do místností se izoluje zvláště při teplovzdušném vytápění, kdy má přiváděný vzduch vyšší teplotu, než prostředí, v němž vzduchovod prochází. Kvůli kondenzaci vlhkosti se izolují části potrubí, na nichž hrozí pokles teploty pod teplotu rosného bodu. Obvykle je to potrubí přívodu a odvodu vzduchu na straně od větrací jednotky do venkovního prostředí, kdy v potrubí proudí v zimě velmi chladný vzduch. Běžně dostupné izolace jsou z minerální vaty nebo kaučuku. Montáž probíhá nalepováním. Izolace na vnější straně se opatřuje hliníkovou vrstvou.

Rozvody vzduchotechniky v obytných budovách se dimenzují na rychlost proudění vzduchu do 5 m/s. Největší rychlost se navrhuje v hlavním rozvodu, s postupným větvením by se měla rychlost snižovat. Rozlišujeme dva základní případy větvení:

Rozvod s páteřní větví – na hlavní větev rozvodu se postupně připojují odbočky do jednotlivých místností. Nevýhodou je možný přenos hluku mezi místnostmi, proto se do potrubí vsazují tlumiče hluku [3].

Rozvod s paralelními větvemi – spočívá v připojení samostatných odboček pro jednotlivé místnosti do jednoho centrálního rozdělovacího/sběrného boxu. Toto řešení omezuje přenos hluku, ale zároveň je náročnější na materiál a prostory rozvodů [3].

2.6 VĚTRÁNÍ PASIVNÍCH DOMŮ

Budovy s nízkou nebo téměř nulovou potřebou tepla, označovány jako pasivní domy, často využívají nestandardní prvky nebo systémy větrání. U těchto staveb se dbá na co nejvyšší úspory energie, proto se navrhují s nuceným rovnotlakým systémem větrání, který umožňuje regulaci větracího výkonu. Pro vyšší úspory energie jsou do kuchyní navrhovány cirkulační digestoře, které zachycují pachy a jiné nečistoty, takto přefiltrovaný vzduch vracejí zpět do místnosti. V kuchyních se proto musí pro snížení vlhkosti zajistit odvod vzduchu.

Nestandardním řešením bývá zemní výměník tepla, který v zimě předává teplo a v létě odebírá teplo nasávanému vzduchu. Jedná se o potrubí zpravidla o průměru 160 až 250 mm, které se umísťuje pod terén, do hloubky cca 2 m. Délka potrubí bývá běžně od 20 do 35 m. Účinnost přenosu tepla se zeminy je ovlivněna kvalitou obsypového materiálu. Zemní výměník tepla vyžaduje určité nároky na prostor, čistitelnost a hygienickou nezávadnost. Jeho investiční náklady taktéž nejsou zanedbatelné vzhledem k přineseným úsporám, proto je nutné zvážit jeho využití [3].

Srdcem větracího systému pasivního domu je centrální rovnotlaká větrací jednotka nebo i větrací jednotka s vytápěním. Ta musí splňovat nejvyšší nároky na úspory energie, tj. mít vysoce účinný výměník zpětného získávání tepla s obtokem a úsporné elektromotory s regulací otáček. Větrací jednotky vhodné do pasivních domů mají certifikaci od mezinárodně uznávaného Passive House Institutu (PHI). Další směrodatné hodnocení může být štítková hodnota podle zkoušky dle Nařízení evropské komise (EU) č. 1253/2014. Větrací jednotky by měly dosahovat hodnocení A nebo A+, aby mohlo být dosaženo standardu certifikace objektu.

3. NÁVRH VĚTRÁNÍ PRO TYPOVÉ RODINNÉ DOMY

Jedním z parametrů určující kvalitu vnitřního prostředí obytných budov je dostatečný přívod čerstvého venkovního vzduchu. Výkonové požadavky pro dimenzování větracích systémů vzhledem k hygienickým ukazatelům jsou uvedeny v normě ČSN EN 15665 v národní příloze v podobě změny Z1. Stanovení množství čerstvého větracího vzduchu je dáno intenzitou větrání obytných prostor (pokoje, ložnice, kuchyně apod.). Jako doplňkový parametr slouží dávka čerstvého vzduchu na osobu. V prostorách se vznikem škodlivin (koupelny, záchody, kuchyně apod.) je nutné zajistit odvod vzduchu. Množství odváděného vzduchu je vztaženo k účelu větraného prostoru, případně zařizovacímu předmětu v prostoru umístěném. Při návrhu množství odváděného vzduchu je však nutné zohlednit množství přiváděného vzduchu do obytných prostor. Kuchyně se doporučuje větrat rovnotlance nebo podtlakově. Znamená to, že množství odváděného vzduchu je minimálně stejné nebo větší než množství přiváděného vzduchu. U záchodů, koupelen a kuchyní se doporučuje rozložit poměr odváděného vzduchu 1:2:3. Ostatní prostory (chodby, předsíně apod.) se větrají převáděným vzduchem mezi místnostmi případně i čerstvým vzduchem, je-li to okolnostmi vyžadováno [10].

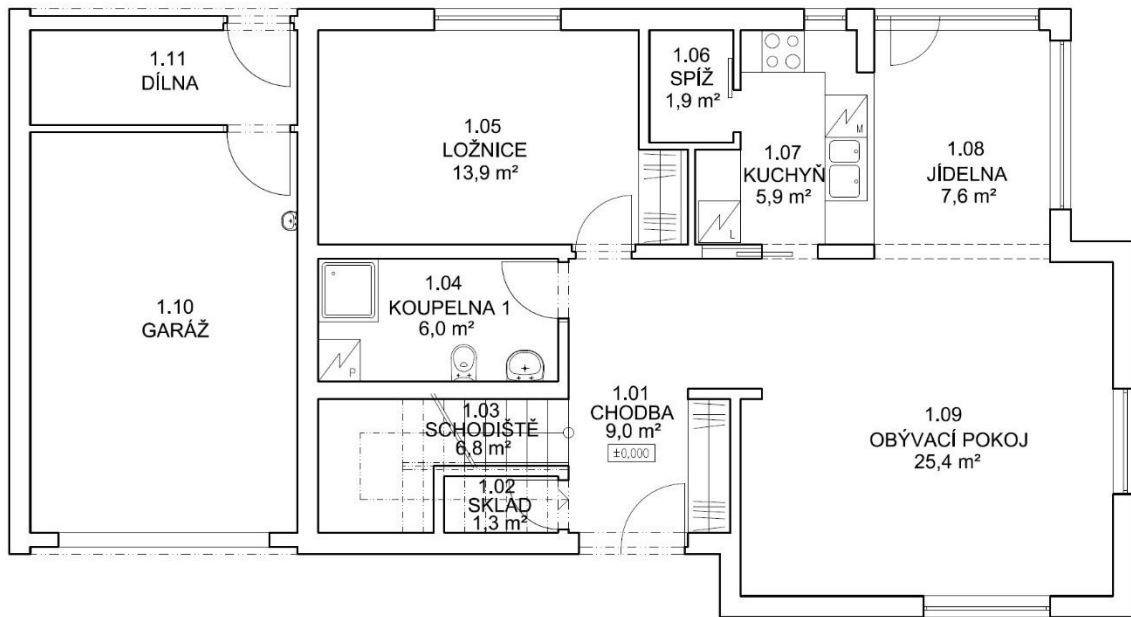
Tab. 3.1 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1

Požadavky	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [¹ /h]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /h·os]	Kuchyně [m ³ /h]	Koupelny [m ³ /h]	WC [m ³ /h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

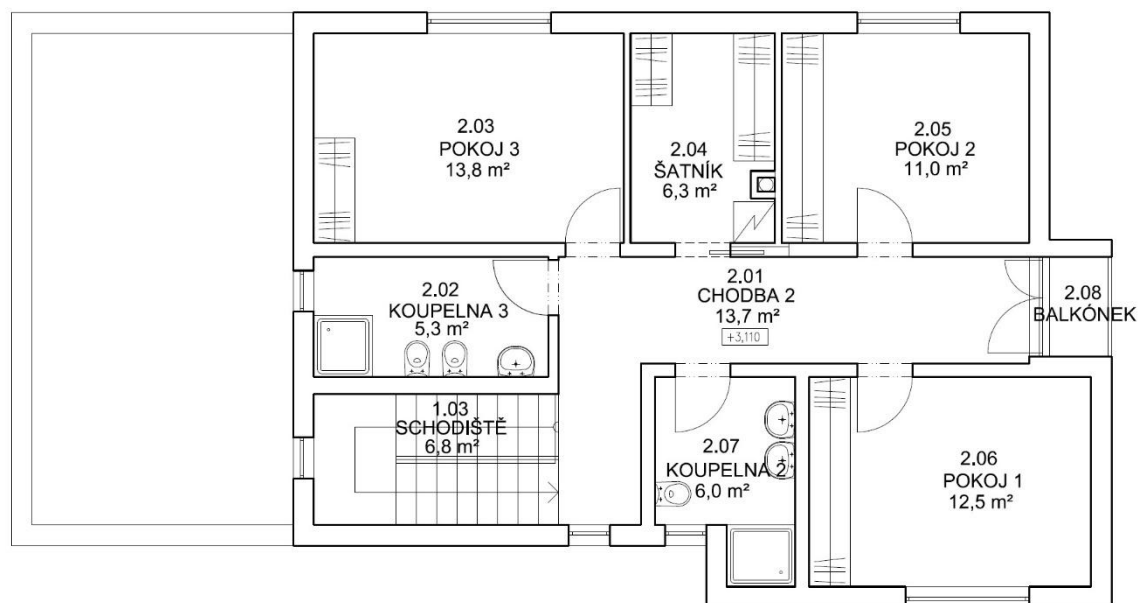
Jako příklad je uveden návrh rovnotlakého větrání pro modelový dvoupodlažní rodinný dům s rovnou střechou. Obsazenost domu je 2 dospělí a 3 děti. Stavba je

uvařována v provedení pasivního standardu. V kuchyni je navržena cirkulační digestoř, která zachycuje pachy a škodliviny produkující se při vaření. Pro odvod vodních par je nutné zajistit v kuchyni odtah vzduchu. Světlá výška 1.NP je 2,6 m, 2.NP 2,5 m. Veškeré výpočty jsou vztaženy k vnitřním rozměrům a nezahrnují tloušťku stěn.

a)



b)



Obr. 3.1 a) Půdorys 1.NP, b) Půdorys 2.NP modelového rodinného domu

3.1 POSTUP NÁVRHU VĚTRÁNÍ

1) Doporučené větrání

Jako doporučující návrhová hodnota je v normě ČSN EN 15665/Z1 uvedena intenzita větrání $0,5 \text{ l/h}$ vzhledem k obytnému prostoru. Zohlednit lze také dávku čerstvého vzduchu na osobu $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Stanovení množství čerstvého větracího vzduchu dle doporučených hodnot [3]:

Obývací pokoj 109:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,5 \cdot 66,1 = 33 \text{ m}^3/\text{h}$$

Jídelna 108:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,2 \cdot 19,8 = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kuchyně 107:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,5 \cdot 15,4 = 8 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obývací pokoj, jídelna a kuchyně tvoří jeden velký otevřený prostor, celkové množství přiváděného vzduchu $51 \text{ m}^3/\text{h}$ je dostačující, protože se jedná o prostor s proměnnou obsazeností.

Ložnice 105:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,5 \cdot 36,2 = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

– využívání ložnice se uvažuje zejména v noci a to dvěma osobami. Jako dostatečnou dávku čerstvého vzduchu pro spánek můžeme uvažovat $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu. Návrh podle intenzity větrání nevyhovuje, volíme množství vzduchu podle dávky na osobu, celkem tedy **$30 \text{ m}^3/\text{h}$** .

Pokoj 1 206:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,5 \cdot 31,3 = 16 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obsazenost pokoje se uvažuje jedním dítětem. Doporučenou dávku čerstvého vzduchu můžeme snížit na $20 \text{ m}^3/\text{h}$ na dítě. Návrh podle intenzity větrání nevyhovuje, volíme tedy **$20 \text{ m}^3/\text{h}$** .

Pokoj 2 205:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,5 \cdot 27,5 = 14 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obdobně jako pokoj 1. Volíme **20 m³/h**.

Pokoj 3 203:

$$\dot{V}_{e,dop} = I_{dop} \cdot O = 0,5 \cdot 34,4 = 17 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obdobně jako pokoj 1. Volíme **20 m³/h**.

Protože se jedná o případ rovnotlakého větrání, bude množství odváděného vzduchu stejné jako množství vzduchu přiváděného. Následně zbývá vhodným způsobem rozdělit množství odváděného vzduchu mezi odvětrávané místnosti.

Množství odváděného vzduchu:

Kuchyně 107:

$$\dot{V}_{o,dop} = 51 \text{ m}^3/\text{h}$$

Koupelna 104;202;207:

$$\dot{V}_{o,dop} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

Celková bilance prostoru $\Sigma \dot{V}_{e,dop} = \Sigma \dot{V}_{o,dop} = 141 \text{ m}^3/\text{h}$ – rovnotlaké větrání.

2) Minimální větrání

Základním minimálním požadavkem na větrání v obytných prostorách je trvalé zajištění přívodu čerstvého větracího vzduchu s intenzitou 0,3 ¹/h vzhledem k objemu obytného prostoru. Jako doplňující kritérium můžeme uvažovat dávku venkovního vzduchu 15 m³/h na osobu.

Při návrhu se uvažuje s výměnou vzduchu nuceným způsobem pomocí větrací jednotky, která pracuje jako jednozónová. Se změnou celkového průtoku vzduchu systémem zůstává poměr průtoků vzduchu mezi jednotlivými místnostmi konstantní, nejsou-li instalována opatření, které tuto změnu umožňují, např. regulační klapky. V případě instalace systému pro regulaci průtoku vzduchu je vhodné zvážit jeho pořizovací náklady vzhledem k očekávaným úsporám. Poměr průtoků vzduchu se určí z navrhovaných intenzit větrání:

$$\frac{I_{min}}{I_{dop}} = \frac{0,3}{0,5} = 0,6$$

Vynásobením průtoků vzduchu pro jednotlivé místnosti při doporučeném větrání tímto poměrem určíme množství větracího vzduchu pro minimální větrání. Takto vypočtený průtok vzduchu splňuje požadavek na minimální intenzitu větrání $I_{min} = 0,3 \text{ }^1/\text{h}$, je však vhodné přihlédnout k minimální dávce čerstvého vzduchu na osobu.

Stanovení množství čerstvého větracího vzduchu dle minimálních hodnot [3]:

Obývací pokoj 109:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 33 \cdot 0,6 = 20 \text{ m}^3/\text{h}$$

Jídelna 108:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kuchyně 107:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 8 \cdot 0,6 = 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obdobně jako v případě doporučeného větrání. Celkový průtok čerstvého vzduchu $31 \text{ m}^3/\text{h}$ je dostatečný pro minimální větrání prostoru s proměnnou obsazeností.

Ložnice 105:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 30 \cdot 0,6 = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

– minimální množství čerstvého vzduchu $9 \text{ m}^3/\text{h}$ pro spící osobu lze připustit, proto celkové množství $18 \text{ m}^3/\text{h}$ čerstvého vzduchu pro dvě osoby vyhovuje.

Pokoj 1 206:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

– minimální množství čerstvého větracího vzduchu $12 \text{ m}^3/\text{h}$ pro dětský pokoj s obsazeností jedním dítětem lze připustit.

Pokoj 2 205:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obdobně jako pokoj 1.

Pokoj 3 203:

$$\dot{V}_{e,min} = \dot{V}_{e,dop} \cdot 0,6 = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

– obdobně jako pokoj 1.

Rozdělení množství odváděného vzduchu je ve stejném poměru jako v případě doporučeného větrání. Taktéž se změní o velikost poměru minimální a doporučené intenzity větrání.

Kuchyně 107:

$$\dot{V}_{o,min} = \dot{V}_{o,dop} \cdot 0,6 = 51 \cdot 0,6 = 31 \text{ m}^3/\text{h}$$

Koupelna 104;202;207:

$$\dot{V}_{o,min} = \dot{V}_{o,dop} \cdot 0,6 = 30 \cdot 0,6 = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Celková bilance prostoru $\Sigma \dot{V}_{e,min} = \Sigma \dot{V}_{o,min} = 85 \text{ m}^3/\text{h}$ – rovnotlaké větrání.

3) Nárazové větrání

Určení hodnoty průtoku vzduchu pro nárazové větrání není pevně stanovené, řídit se můžeme podle *tabulky 3.1*. Je však dobré uvědomit si, že nárazové větrání slouží k rychlému provětrání prostoru při náhlém vzniku velké množství škodliviny, proto jsou průtoky vzduchu nárazového větrání většinou větší než pro trvalé větrání. Pokud uvažujeme systém nuceného větrání s centrální větrací jednotkou pracující jednozónově, bez regulace množství vzduchu do jednotlivých místností (např. klapkami), není vhodné nepřiměřené navýšení nárazového průtoku vzduchu vůči navržené hodnotě pro trvalé větrání. Zbytečně předimenzovaný průtok vzduchu při nárazovém větrání prodražuje větrací jednotku a může snižovat její regulační schopnost.

Stanovení množství větracího vzduchu pro nárazové větrání:

Rodinný dům obsahuje čtyři místnosti, ve kterých lze uvažovat náhlý vznik nadměrného množství škodlivin. Řešené místnosti jsou kuchyň a tři koupelny (WC v koupelnách). Stanovení množství odváděného vzduchu podle tabulky 3.1 by mohlo vést na zbytečné předimenzování průtoku vzduchu.

Volíme množství odváděného vzduchu z jedné koupelny: $\dot{V}_{o,nar} = 45 \text{ m}^3/\text{h}$

Poměr mezi průtokem odváděného vzduchu z koupelny při nárazovém a doporučeném trvalém větrání nám určí velikost změny průtoku vzduchu v ostatních místnostech:

$$\frac{\dot{V}_{o,nar}}{\dot{V}_{o,dop}} = \frac{45}{30} = 1,5$$

Kuchně 107:

$$\dot{V}_{o,nar} = \dot{V}_{o,dop} \cdot 1,5 = 1,5 \cdot 51 = 78 \text{ m}^3/\text{h}$$

Výpočet ostatních místností je obdobný.

Z poměru průtoků vzduchu pro nárazové a doporučené trvalé větrání je patrné, že dojde k 50 % navýšení průtoku vzduchu při nárazovém větrání. Tuto hodnotu lze považovat za přiměřenou bez významného vlivu na výběr větrací jednotky.

Stanovení celkové intenzity větrání

Množství čerstvého větracího vzduchu pro splnění požadavků na větrání je dáno především intenzitou větrání obytných místností. Do obytných místností se nezahrnují místnosti sociálního zázemí, skladů, komor apod., proto nelze tvrdit, že požadovaná intenzita větrání obytných místností je stejná jako intenzita větrání vzhledem k celému objektu. Celková intenzita větrání se určí podle (7) s tím, že se počítá s celkovým vnitřním objemem místností*.

$$I_c = \frac{\dot{V}_e}{O_c} \text{ [1/h]} \tag{7}$$

*Pozn.: do celkového vnitřního objemu místností se nezahrnují místnosti, které nejsou přímo spojeny s obytným prostorem a je vhodnější jejich samostatné větrání např. přirozeným způsobem. Do těchto místností může zahrnout např.: garáže, garážové dílny, sklepy, technické místnosti atd.

Shrnutí výsledků

Uvedený návrh větrání rodinného domu splňuje požadavky na výkonové dimenzování větracích zařízení podle ČSN EN 15661/Z1. Vypočtené hodnoty jsou reprezentativní a nevybočují z požadavků zahraničních norem. Výsledky předchozích výpočtů jsou shrnuty do *tabulky 3.2*.

Návrh větrání se může od skutečného provozu značně lišit. Množství větracího vzduchu může být ovlivněno hlavně volbou větrací jednotky, návrhem a realizací potrubních rozvodů a v neposlední řadě také samotnými uživateli rodinného domu.

Tab. 3.2 *Návrh rovnotlakého větrání řešeného rodinného domu*

Místnost		Objem místnosti	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
Číslo	Název		Intenzita 0,3 1/h		Intenzita 0,5 1/h		Nárazové větrání	
		[m ³]	[m ³ /h]		[m ³ /h]		[m ³ /h]	
109	Obývací pokoj	66,1	20	0	33	0	50	0
108	Jídelna	19,8	6	0	10	0	15	0
107	Kuchyně	15,4	5	31	8	51	13	78
105	Ložnice	36,2	18	0	30	0	45	0
101	Chodba	23,3	0	0	0	0	0	0
102	Sklad	3,4	0	0	0	0	0	0
103	Schodiště	17,6	0	0	0	0	0	0
106	Spíž	5,0	0	0	0	0	0	0
104	Koupelna	15,5	0	18	0	30	0	45
206	Pokoj 1	31,3	12	0	20	0	30	0
205	Pokoj 2	27,5	12	0	20	0	30	0
203	Pokoj 3	34,4	12	0	20	0	30	0
201	Chodba 2	34,2	0	0	0	0	0	0
204	Šatník	15,7	0	0	0	0	0	0
207	Koupelna 2	14,9	0	18	0	30	0	45
202	Koupelna 3	13,3	0	18	0	30	0	45
Celkem:		373	85	85	141	141	213	213
Celková intenzita větrání:			0,228		0,376		0,569	

3.2 ANALÝZA 30 RODINNÝCH DOMŮ

Základním parametrem, ze kterého vychází stanovení potřeby energie pro větrání obytných budov je množství větracího vzduchu. Obecně lze toto množství stanovit z intenzity větrání při známém objemu vzduchu obytných místností. Jisté zjednodušení přináší určení celkové intenzity větrání vzhledem k celkovému vnitřnímu objemu stavby. Lze předpokládat, že poměr objemu obytných prostor k objemu ostatních prostor je u typových staveb přibližně stejný. To znamená, že celková intenzita větrání je přibližně stejná pro typově stejné stavby.

Za účelem zjištění celkové intenzity větrání byla provedena analýza třech nejběžnějších typů výstaveb rodinných domů. Jako dostatečně reprezentativní vzorek posloužilo deset domů stejného typu, celkově tedy 30 rodinných domů. Architektonickým zdrojem byl server <http://www.gservis.cz/>, který nabízí rozmanitý výběr všech typových domů. Výpočet jednotlivých domů byl proveden obdobně jako v kapitole 3.1, ovšem pouze na základě intenzity větrání obytných prostor, tj. bez přihlídnutí k dávce čerstvého vzduchu na osobu. Do hodnoceného prostoru nejsou rovněž zahrnuty místnosti, které je vhodnější navrhnout jako samostatně větrané, tj. garáže, dílny, sklepy, technické místnosti.

Prvním typem výstavby jsou dvoupodlažní rodinné domy s šikmou střechou. Za šikmou střechu je považována střešní plocha s úhlem větším než 25° od horizontální roviny. Světlá výška 1.NP je 2,6 m, u 2.NP se pak uvažuje světlá výška 2,3 m. Největší dům mezi těmito typy má název Vega 2 Plus s vnitřním objemem 345 m^3 . Nejmenší s názvem Hit 1 má vnitřní objem 196 m^3 .

Druhým typem rodinných domů je dvoupodlažní dům s rovnou střechou. Za rovnou střechu se uvažuje střecha s úhlem menším než 25° od horizontální roviny. Světlé výšky jsou uvažovány obdobně jako pro první případ - 1.NP 2,6 m, 2.NP 2,3 m. Největší dům tohoto typu a také celkově má název Absolut s vnitřním objemem 530 m^3 . Nejmenší je Linea 5 s vnitřním objemem 272 m^3 .

Posledním třetím hodnoceným typem jsou jednopodlažní domy typu bungalov se světlou výškou místnosti 2,6 m. Největší má název Savana s vnitřním objemem 458 m^3 . Nejmenší mezi domy tohoto typu a také celkově je Bungalov 14 s vnitřním objemem 153 m^3 .

Tab. 3.3 Hodnoty celkové intenzity větrání analyzovaných domů

Typ domu	Název domu	Celková intenzita větrání [¹ /h]		
		Intenzita 0,3 ¹ /h	Intenzita 0,5 ¹ /h	Nárazové větrání
Dvoupodlažní s šikmou střechou	Lyra	0,213	0,356	0,574
	Domino	0,233	0,388	0,524
	Premier 151 Plus	0,220	0,366	0,449
	Nero	0,206	0,344	0,537
	Face	0,202	0,337	0,561
	Hit 2 Plus	0,252	0,420	0,546
	Vega 2 Plus	0,216	0,360	0,648
	Alfa 1 Plus	0,220	0,366	0,646
	Kapa	0,201	0,335	0,559
Hit 1	0,245	0,409	0,716	
Dvoupodlažní s rovnou střechou	Amfora	0,213	0,354	0,496
	Excelent	0,189	0,315	0,423
	Bohemia	0,197	0,329	0,467
	Absolut	0,202	0,337	0,458
	Koncept	0,189	0,314	0,437
	Atomik	0,236	0,393	0,466
	GS Pasiv 2	0,197	0,328	0,439
	GS Pasiv 1	0,207	0,346	0,485
	Linea 5	0,232	0,387	0,555
	Dakota 4	0,201	0,335	0,442
Bungalov	Bungalov 13	0,238	0,396	0,558
	Talon	0,234	0,390	0,551
	Bungalow 94	0,228	0,380	0,472
	Bungalov 14	0,218	0,364	0,513
	Miami	0,217	0,361	0,510
	Malorka	0,228	0,381	0,584
	Nemo	0,236	0,394	0,430
	Savana	0,213	0,355	0,386
	Bungalov 70	0,212	0,353	0,518
Iris	0,225	0,376	0,461	

Výsledky

Vyhodnocením vypočtených hodnot bylo zjištěno, že intenzita větrání všech hodnocených domů vztažená k celkovému vnitřnímu objemu domu (vzhledem k požadavkům na přívod čerstvého vzduchu) se pohybuje v malém rozsahu bez výrazných odchylek. Hodnoty celkové intenzity větrání pro případ nárazového větrání se liší více, protože stanovení množství větracího vzduchu je dáno individuální volbou z doporučeného rozsahu hodnot. Výsledky pro nárazové větrání jsou tedy spíše informativní a nejsou dále v komentářích zohledněny. Analýza výsledku je shrnuta v *tabulce 3.4*.

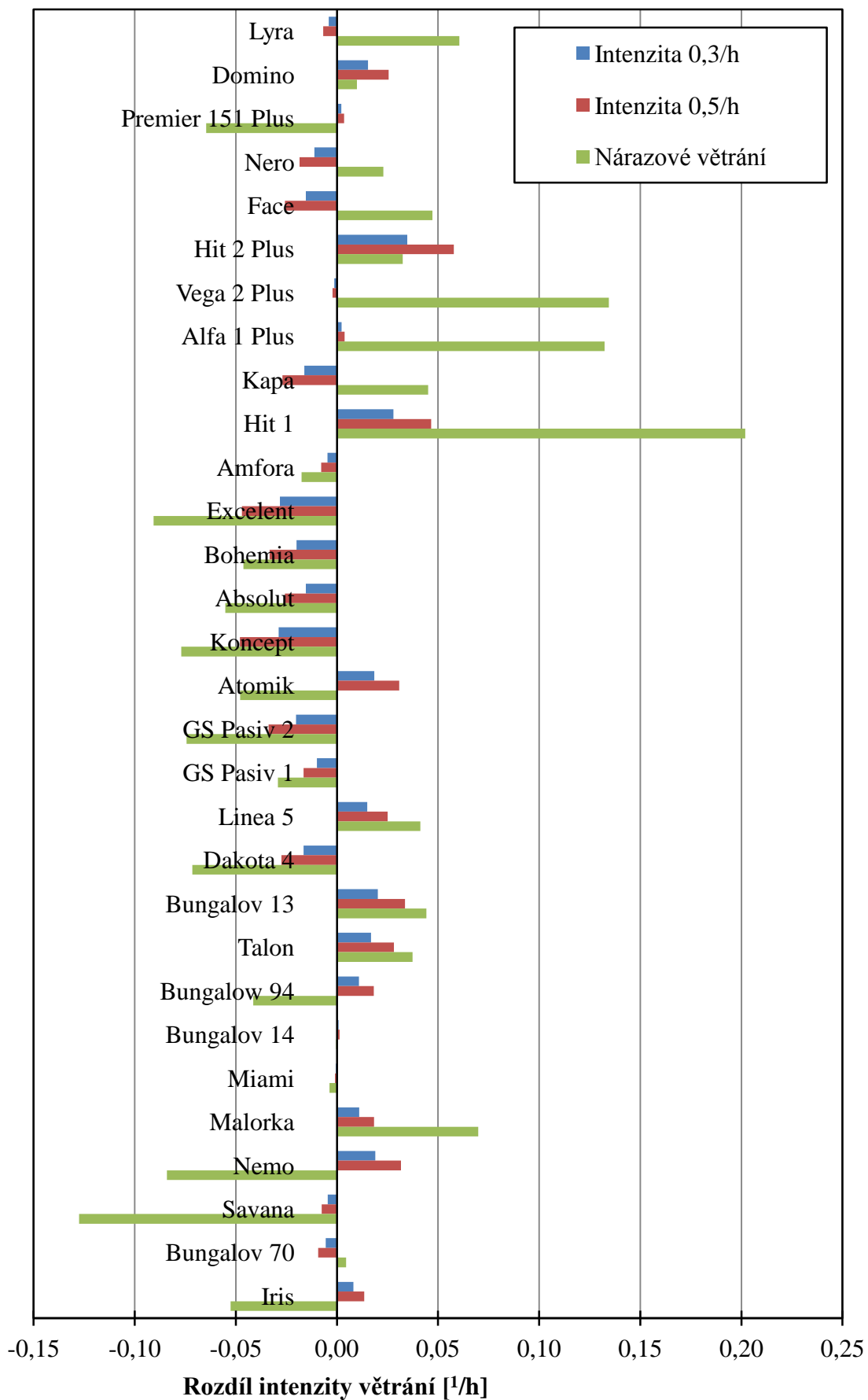
Tab. 3.4 Výsledky analýzy větrání rodinných domů

Typ domu	Průměrná celková intenzita větrání [$1/h$]		
	Intenzita $0,3 \text{ } 1/h$	Intenzita $0,5 \text{ } 1/h$	Nárazové větrání
Dvoupodlažní s šikmou střechou	0,221	0,368	0,576
Dvoupodlažní s rovnou střechou	0,206	0,344	0,467
Bungalov	0,225	0,375	0,498
Celkový průměr	0,217	0,362	0,514
Maximální celková intenzita větrání	0,252	0,420	0,716
Minimální celková intenzita větrání	0,189	0,314	0,386
Rozdíl maxima a minima	0,064	0,106	0,329

Z průměrů celkové intenzity trvalého větrání pro rodinné domy stejného typu vyplývá, že největší požadavek na přívod čerstvého větracího vzduchu mají bungalovy, u kterých vychází průměrná celková intenzita větrání $0,225 \text{ } 1/h$ pro minimální větrání a $0,375 \text{ } 1/h$ pro doporučené větrání. Z hodnocených domů mají tedy největší poměr obytných místností vzhledem k celkovému objemu budovy. Největší celkovou intenzitu větrání ze zastoupených bungalovů má dům s názvem Bungalov 13 s objemem prostoru 185 m^3 , jehož celková intenzita větrání je o 5,6 % větší než průměrná hodnota pro bungalovy. Nejmenší celkovou intenzitu větrání mezi bungalovy má dům Bungalov 70 o objemu prostoru 186 m^3 s celkovou intenzitou větrání menší o 5,9 % než je průměrná hodnota. Velikost těchto dvou domů je téměř stejná, ale rozdíl v celkové intenzitě větrání je největší. Můžeme tedy konstatovat, že celková intenzita větrání nezáleží na velikosti domu, ale na architektonickém návrhu. Tento typ domů má také nejmenší maximální a minimální rozdíly – do 6 % od průměrné celkové intenzity větrání.

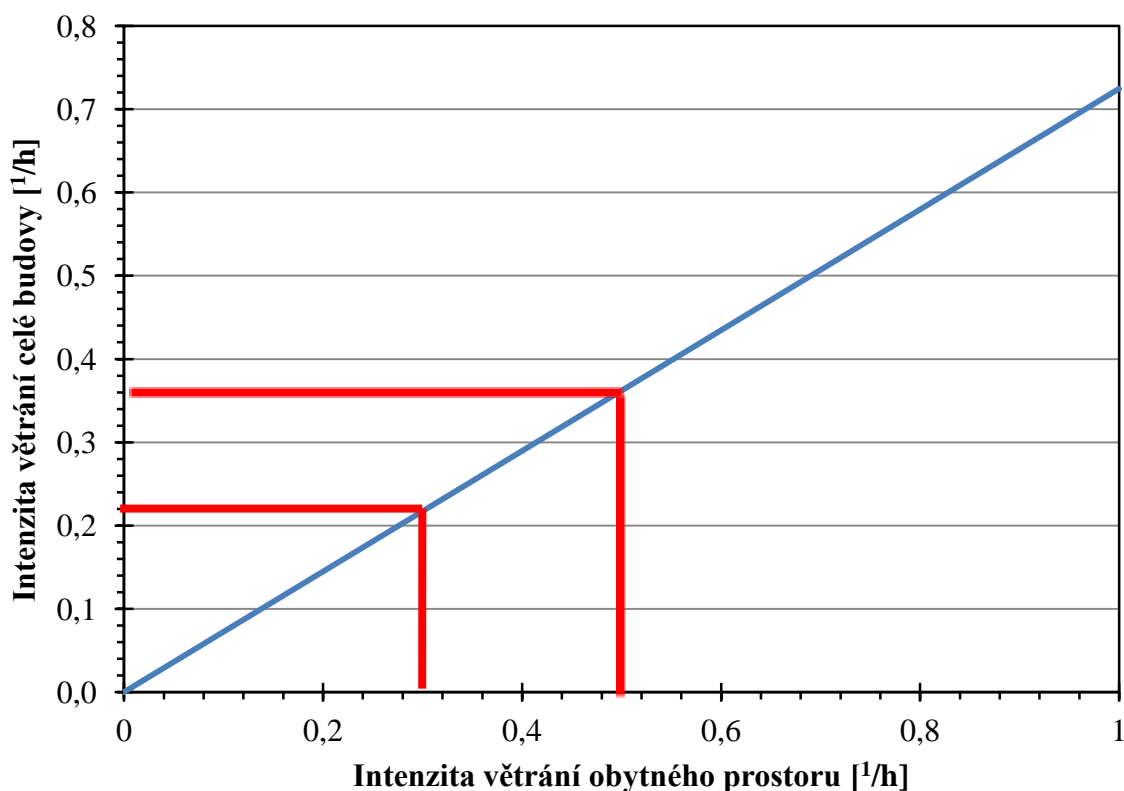
Nejmenší požadavek na přívod čerstvého vzduchu vzhledem k celkovému objemu rodinného domu, tedy celkovou intenzitu větrání mají podle analýzy dvoupodlažní domy s rovnou střechou. Jsou proto opakem bungalovů a mají nejmenší poměr objemu obytných místností vzhledem celkovému objemu rodinného domu. Průměrná hodnota celkové intenzity větrání pro minimální požadavek je $0,206 \text{ }^1/\text{h}$, pro doporučené větrání pak $0,344 \text{ }^1/\text{h}$. Dům, který má největší celkovou intenzitu větrání o 12,6 % větší než je průměrná hodnota pro tento typ domů, se jmenuje Linea 5 s objemem 272 m^3 . Tento dům je v této kategorii také nejmenší. Rodinný dům o objemu 340 m^3 s názvem Koncept má nejmenší celkovou intenzitu větrání o 8,6 % menší než je průměrná hodnota u dvoupodlažních rodinných domů s rovnou střechou.

Dvoupodlažní domy s šikmou střechou se celkovou intenzitou větrání nacházejí mezi dvěma již zmíněnými typy. Hodnoty se přibližují více požadavkům bungalovů. Rodinný dům s největší celkovou intenzitou větrání mezi tímto typem je Hit 2 Plus s hodnotou o 14,2 % větší než je průměrná u tohoto typu. Objem domu je 257 m^3 . Nejmenší intenzitu větrání o 8,9 % menší než je průměr v této kategorii má dům se jménem Kapa o objemu 262 m^3 . Tento typ domů má největší rozdíl mezi hodnocenými domy, ale i přes to jsou hodnoty do 15 % od průměru.



Obr. 3.2 Rozdíl celkových intenzit větrání posuzovaných domů od průměrných hodnot

Ze všech vyhodnocených domů byla určena celková průměrná intenzita větrání 0,217 ¹/h pro požadavek minimálního větrání a 0,362 ¹/h pro doporučené větrání. Znázornění rozdílů jednotlivých domů od těchto průměrů je znázorněno na *obrázku 3.2*. U dvoupodlažních domů s šikmou střechou jsou průměrné hodnoty o 1,6 % větší, pro dvoupodlažní s rovnou střechou o 5,1 % menší a pro bungalovy o 3,5 % větší než celková průměrná hodnota. Největší celkovou intenzitu větrání má dům Hit 2 Plus a rozdíl od celkového průměru je 16 %. Opakem je dům Koncept, který má nejmenší celkovou intenzitu větrání o 13,2 % menší, než je celková průměrná hodnota. Z uvedených výsledků vyplývá, že rozdíly v celkových intenzitách větrání při stejných požadavcích nejsou příliš velké a dají se využít např. k rychlému stanovení množství čerstvého větracího vzduchu u typových domů při známém objemu vnitřního prostoru. Poměr mezi intenzitou větrání vzhledem k celému domu a obytnému prostoru je znázorněn na *obrázku 3.3*. Přesné stanovení přiváděného množství čerstvého vzduchu na větrání je u každé stavby individuální a závisí na architektonické dispozici místností.



Obr. 3.3 Poměr intenzity větrání vzhledem k celému objemu budovy a obytným místnostem

3.3 NÁVRH REGULOVANÉHO PRŮTOKU VZDUCHU PRO RODINNÉ DOMY

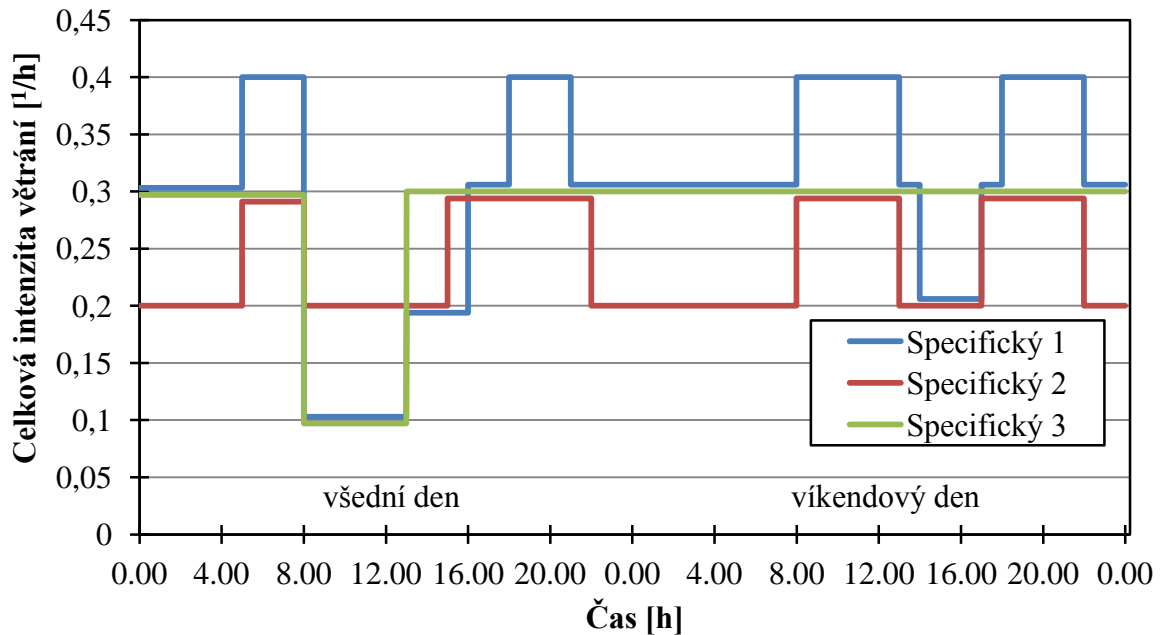
Návrh nominálního průtoku vzduchu pro větrání obytných budov vychází z požadavků určených pro plnou obsazenost budovy. Během dne se však pobyt osob a jejich činnost v domě mění. Nominální větrací výkon je tak využitý pouze určitou část dne, po zbylou dobu je potřeba větrání teoreticky menší. Přizpůsobením větracího výkonu aktuálním požadavkům na větrání dochází k úsporám tepla na ohřev vzduchu a případně elektrické energie na provoz zařízení.

Při nuceném větrání pomocí větracích jednotek s regulací průtoku vzduchu lze efektivně přizpůsobit větrací výkon aktuálním požadavkům. Řízení výkonu větrací jednotky může být uskutečněno několika způsoby. Nejčastěji spojovanou škodlivinou s výskytem osob je oxid uhličitý, ze kterého také vychází požadavky uvedené v normách. Větrací jednotka však pracuje jako jednozónová ve stavbě, která je většinou rozdělena na několik samostatných místností. Problém nastává při hledání vhodného referenčního místa pro umístění čidla CO_2 . Pohyb osob a obsazenost místností v rodinném domě jsou nahodilé, proto by bylo vhodné umístění čidel CO_2 do každé obytné místnosti. Navržený řídicí systém by poté reguloval výkon větrací jednotky podle čidla s aktuálně nejvyšší koncentrací CO_2 . Cena jednoho čidla se však pohybuje okolo 7 tis. Kč s DPH. Tím se celá dodávka systému neúnosně prodražuje. Čidlo oxidu uhličitého umístěné v potrubí odtahu vzduchu ukazuje hodnotu znečištění násobně menší než je skutečná v obytných místnostech, protože dochází ke směšování vzduchu odsávaného z různých částí domu. Příklad řízení výkonu větrací jednotky podle čidla oxidu uhličitého je vhodný do místností, které jsou větrány jako jeden samostatný prostor, např. školní třídy, divadelní sály, kina apod. Další možnost regulace je např. s využitím pohybových čidel. Větrací jednotka poté přepíná režimy zapnuto/vypnuto, případně větrací výkon minimální/maximální.

U rodinných domů a bytů, které jsou užívány stejnými obyvateli, lze předpokládat přibližně stejný charakter užívání během určitého časového úseku např. týdne. Mnoho větracích jednotek umožňuje přednastavení časových programů pro různé dny v týdnu. V praxi je poté nastavení větracího výkonu otázkou chování konkrétního uživatele a regulační schopností větrací jednotky.

Užívání obytných budov je specifické pro každého uživatele. V literatuře[11] jsou publikovány hodinové hodnoty vnitřních tepelných zisků rodinného domu pro

jeden den při modelovém užívání různými rodinami. Velikost vnitřních tepelných zisků souvisí s aktuální obsazeností rodinného domu a činnosti jeho uživatelů. Můžeme předpokládat, že požadavek na větrací výkon jednotky bude přibližně kopírovat denní průběh vnitřních tepelných zisků. Na základě uvedené publikace se zohledněním kapitoly 3.1 a 3.2 byly vytvořeny zjednodušené profily větracího výkonu pro tři modely užívání rodinného domu.



Obr. 3.2 Profily větracích výkonů pro všední a víkendový den

Popis profilů větrání rodinného domu:

Specifický 1 – Oba rodiče jsou dopoledne v práci a děti ve škole. Víkendy trávené převážně doma. Větrací jednotka umožňuje nastavení několika hodnot výkonu větrání. Průměrná intenzita větrání je 0,28 ¹/h.

Specifický 2 – Jeden rodič pracuje doma, případně se stará o dítě. Druhý rodič je dopoledne v práci, děti ve škole. Víkendy trávené převážně doma. Větrací jednotka je nastavena na dva výkony větrání. Průměrná intenzita větrání je 0,24 ¹/h.

Specifický 3 – Oba rodiče jsou dopoledne v práci a děti ve škole. Víkendy trávené doma. Větrací jednotka umožňuje nastavení minimálního a maximálního výkonu větrání. Průměrná intenzita větrání je 0,27 ¹/h.

Uvedené profily větrání jsou vztaženy k celkové intenzitě větrání rodinného domu a respektují požadavek normy ČSN EN 15661/Z1 na zajištění minimální intenzity větrání $0,1 \text{ }^1/\text{h}$ celého domu v době nevyužívání obyvateli. Průměrné hodnoty intenzity větrání jsou stanoveny pro dobu otopného období a respektují změnu průběhu pro všední dny a víkendy. V zobrazených profilech nejsou zohledněny hodnoty nárazového větrání, protože je jejich výskyt a délka trvání nahodilé.

Reálný provoz konkrétního zařízení záleží na možnostech jeho nastavení a přístupu obyvatel rodinného domu. Některé větrací jednotky umožňují přístup k ovládání přes internetové rozhraní, proto není v dnešní době problém upravit větrací výkon na dálku.

4. POTŘEBA ENERGIE NA VĚTRÁNÍ

Požadavky na dodávky energii vyplývají z doby provozu větracího zařízení. Do objektů je nutné dodávat tepelnou energii na úhradu tepelné ztráty větráním. Druhou potřebnou energií je elektrická energie na provoz zařízení nuceného větrání.

4.1 POTŘEBA TEPLA NA VĚTRÁNÍ – TRY

Množství potřebného tepla vyplývá z dodávek energie na pokrytí rozdílu teplot přiváděného vzduchu a požadované vnitřní teploty. Nemá-li větrací systém svůj vlastní zdroj tepelné energie, např. elektrický ohřivač vzduchu, lze předpokládat, že tepelnou ztrátu větráním hradí otopná soustava. Z toho důvodu se množství tepelné energie určí pro dobu, kdy je otopná soustava v provozu.

Pro stanovení potřeby tepelné energie existuje několik výpočetních metod, např. denostupňová, měsíční, hodinová atd. Jako velice vhodná metoda s dostatečnou přesností se jeví hodinová, která umožňuje přesný výpočet i pro systémy, které nepracují s konstantním průtokem vzduchu. Pro tuto metodu je však nutné mít k dispozici hodinová klimatická data, např.: TRY (test reference year) v dané výpočtové oblasti. Stanovení potřeby tepla touto metodou by se dalo vyjádřit rovnicí:

$$Q_{oh} = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{h=1}^n \left((1 - \varphi_{zt,h}) \cdot \frac{\dot{V}_{e,h}}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_{e,h}) \right) \text{ [kWh]}, \quad (8)$$

kde indexování h , odkazuje na konkrétní hodinovou hodnotu. Počet hodnot n je podle doby provozu otopné soustavy, tedy otopného období.

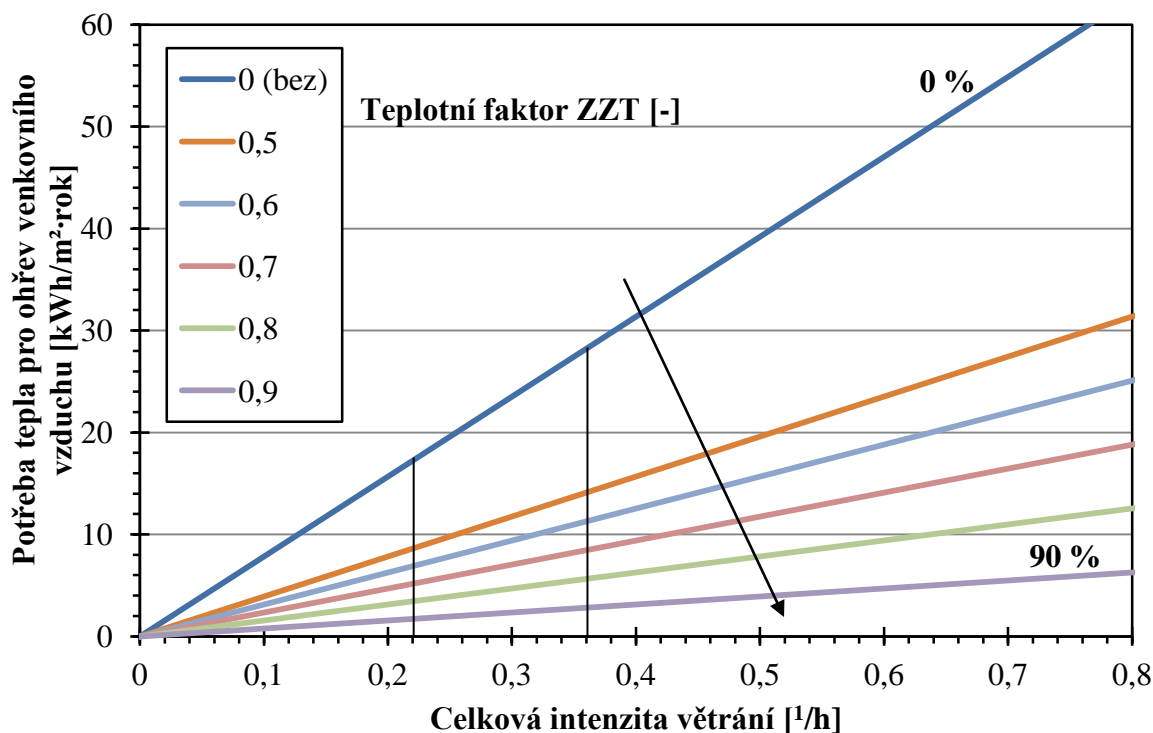
Na příkladu modelového rodinného domu jako v kapitole 3.1 je touto metodou určeno potřebné množství tepelné energie na úhradu tepelné ztráty větráním pro pět různých intenzit větrání vztažených k celkovému objemu domu. Dvě z nich vyjadřují požadavek na minimální a doporučené větrání podle ČSN EN 15665/Z1 s ohledem na analýzu v kapitole 3.2. Délka otopného období je 245 dnů – z toho vyplývá počet proměnných hodnot $n = 5880$ h. Vnitřní teplota vzduchu je uvažována jednotná, tj. $t_i = 20$ °C. Fyzikální vlastnosti vzduchu: $\rho = 1,2$ kg/m³, $c = 1010$ J/Kg·K. Do stanovení

potřeby tepelné energie na větrání byl také zahrnut vliv zpětného získávání tepla (ZZT). V situaci, kdy není větrací jednotka vybavena systémem zpětného získávání tepla nebo se jedná o nucené podtlakové větrání, je hodnota teplotního faktoru $\varphi_{ZZT} = 0 \%$. Výsledky potřeby tepelné energie na větrání jsou zaznamenány do *tabulky 4.1*.

Tab. 4.1 Množství potřebného tepla pro různé intenzity větrání ($\varphi_{ZZT} = \emptyset$)

φ_{ZZT}	Potřeba tepla [kWh/rok]				
	$I_c = 0,22 \text{ }^1/\text{h}$	$I_c = 0,3 \text{ }^1/\text{h}$	$I_c = 0,36 \text{ }^1/\text{h}$	$I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$	$I_c = 0,5 \text{ }^1/\text{h}$
0 (bez)	2493	3440	4154	4587	5734
0,5	1246	1720	2077	2293	2867
0,6	997	1376	1662	1835	2293
0,7	748	1032	1246	1376	1720
0,8	499	688	831	917	1147
0,9	249	344	415	459	573

Na základě zmíněných výsledků byl zhotoven *obrázek 4.1* vyjadřující měrnou potřebu tepla na větrání v závislosti na celkové intenzitě větrání a teplotním faktoru ZZT. Z grafického výstupu vyplývá, že potřeba tepla na větrání lineárně roste s rostoucím průtokem (celkovou intenzitou větrání) a úměrně se zmenšuje s rostoucím teplotním faktorem ZZT. Výsledky nezohledňují vnitřní a vnější tepelné zisky, jejichž stanovení je individuální pro každou stavbu. Taktéž je nutno upozornit, že všechny výpočty a závislosti jsou určeny pro potřebu tepla. Nezahrnují tedy účinnost zdroje tepla a skutečná spotřeba tepla bude větší.



Obr. 4.1 Potřeba tepla pro ohřev venkovního vzduchu při trvalém větrání v závislosti na celkové intenzitě větrání a teplotním faktoru ZTT

4.1.2 POTŘEBA TEPLA NA VĚTRÁNÍ PRO SYSTÉMY S PROMĚNNÝM PRŮTOKEM VZDUCHU

Stanovení potřeby tepelné energie pro systémy větrání s proměnným průtokem vzduchu je provedeno obdobně jako v předchozí kapitole. Pro výpočet v tomto případě nelze použít jinou než hodinovou metodu, která poskytuje přesné výsledky, pracuje-li systém s konstantním průtokem vzduchu alespoň pro výpočtovou hodinu. Obecné zohlednění zpětného získávání tepla vnáší do výsledků chybu, protože velikost teplotního faktoru ZTT se v závislosti na průtoku vzduchu mění, a to individuálně pro každou větrací jednotku. Výpočet potřeby tepla na větrání je proveden pro modelový rodinný dům s režimy větrání uvedenými v kapitole 3.3. Výsledky výpočtu podle (8) jsou zaznamenány v tabulce 4.2.

Tab. 4.2 Potřeba tepelné energie pro různé režimy větrání ($\varphi_{zst}=\emptyset$)

Potřeba tepla [kWh/rok]		
Specifický 1 ($I_c = 0,28$ l/h)	Specifický 2 ($I_c = 0,24$ l/h)	Specifický 3 ($I_c = 0,27$ l/h)
3261	2767	3066

Hodinové průměrné teploty se během dne výrazně mění, lze předpokládat, že nižších hodnot budou nabývat zejména v noci. Výpočtem potřeby tepla na větrání hodinou metodou jsou tyto výkyvy teplot zohledněny. Pro zjištění chyby je proveden výpočet potřeby tepla větracích systémů pracujících s konstantním průtokem, jehož velikost je stejná jako průměrná hodnota pro každý režim větrání. Výsledný rozdíl je zaznamenán v *tabulce 4.3*.

Tab. 4.3 Rozdíl potřeby tepla pro větrací systémy s proměnným průtokem vzduchu při výpočtu s průměrnou venkovní teplotou ($\varphi_{zst}=\emptyset$)

Potřeba tepla [kWh/rok]		
Specifický 1	Specifický 2	Specifický 3
3206	2782	3042
55 (1,7 %)	-15 (0,5 %)	24 (0,8 %)

nepřesně stanovená hodnota
rozdíl od přesné hodnoty

Doba trvání proměnných průtoků pro modelový rodinný dům je uvedena v *kapitole 4.6, tabulka 4.6*. Pro případ větrání specifickým režimem č. 1 je průměrný průtok větracího vzduchu za otopné období $104,3$ m³/h. Výsledná hodnota potřeby tepla je menší o 1,7 % v porovnání s přesnou hodnotou. Specifický režim č. 2 má průměrný průtok čerstvého vzduchu $90,5$ m³/h. Potřeba tepla je tentokrát o 0,5 % větší než přesně stanovená hodnota. Pro případ větrání specifickým režimem č. 3 je průměrný průtok vzduchu za otopné období 99 m³/h. Potřeba tepelné energie je o 0,8 % menší než přesně stanovená hodnota.

Chyba ve výpočtu potřeby tepla hodinovou metodou při větrání s konstantním průtokem vzduchu (proti výpočtu s proměnným průtokem vzduchu) je maximální pro specifický režim větrání č. 1. Hodnota chyby je 1,7 %, což nelze při výpočtu potřeby tepla považovat za velkou nepřesnost. Velikost chyby závisí na průběhu režimu proměnného průtoků vzduchu a mohou nastat případy, kdy bude mít přesnost výpočtu větší vliv na správnou hodnotu.

4.2 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE NA POHON VENTILÁTORŮ

Do větracích systémů s nuceným průtokem vzduchu je nutné dodávat elektrickou energii na pohon ventilátorů. Potřebný příkon elektrické energie se určí z průtoku větracího vzduchu, dopravního tlaku, účinnosti ventilátoru a jeho pohonu. Z uvedených parametrů vyplývá, že stanovení příkonu je specifické pro každý ventilátor a větrací systém.

Potřeba elektrické energie, nutné k pohonu ventilátoru se stanoví z jeho příkonu a doby provozu. Pro obecný případ lze příkon ventilátoru nahradit měrným příkonem ventilátoru vztaženým k průtokovému množství vzduchu. Popisované vztahy lze vyjádřit:

$$Q_{vent} = \frac{I}{1000} \cdot \sum_{h=1}^n P_h = \frac{I}{1000} \cdot \sum_{h=1}^n (SFP_h \cdot \dot{V}_h) \text{ [kWh]}, \quad (9)$$

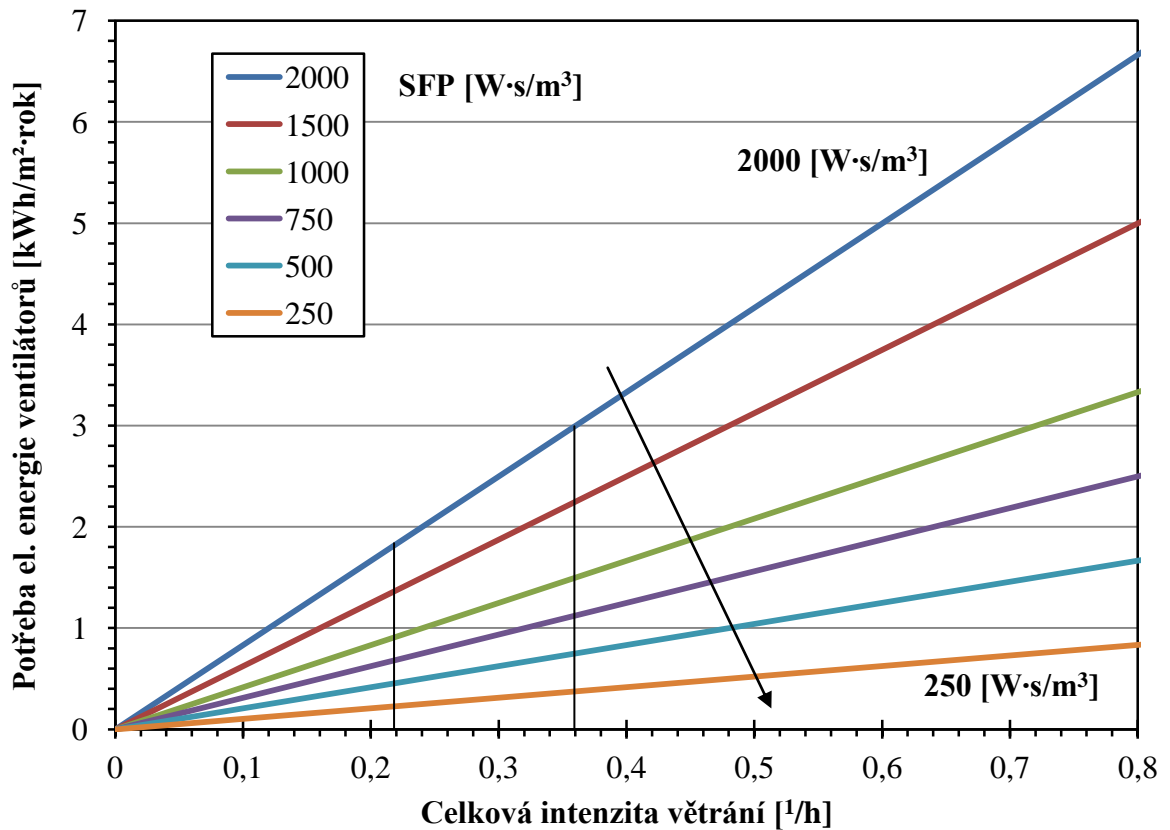
kde indexování h , je stejné jako v kapitole 4.1.

Na příkladu modelového rodinného domu byla pro obecný případ měrných příkonů ventilátorů stanovena potřeba elektrické energie při trvalém větrání s hodnotami celkové intenzity větrání stejnými jako v kapitole 4.1. Doba provozu zařízení je uvažována stejná jako délka otopného období, tedy 245 dnů, $n = 5880$ h. Výpočet je proveden pro návrh rovnotlakého větrání a hodnota SFP zahrnuje měrný příkon všech ventilátorů – pro přívod a odvod vzduchu. Hodnoty lze také uvažovat pro případ podtlakového větrání, poté je SFP vztažen pouze k odvodnímu ventilátoru. Stanovené hodnoty potřeby elektrické energie jsou shrnuty do tabulky 4.4.

Tab. 4.4 *Potřeba elektrické energie na pohon ventilátorů*

SFP [W·s/m ³]	Potřeba elektrické energie [kWh/rok]				
	$I_c = 0,22$ 1/h	$I_c = 0,3$ 1/h	$I_c = 0,36$ 1/h	$I_c = 0,4$ 1/h	$I_c = 0,5$ 1/h
2000	265	366	441	487	609
1500	199	274	331	366	457
1000	132	183	221	244	305
750	99	137	166	183	228
500	66	91	110	122	152
250	33	46	55	61	76

Z výsledných hodnot byl sestrojen *obrázek 4.2* vyjadřující měrnou potřebu elektrické energie za rok. Z grafického znázornění je patrné, že potřeba elektrické energie na pohon ventilátorů lineárně roste s rostoucím průtokem vzduchu (intenzitou větrání) a měrným příkonem ventilátorů.



Obr. 4.2 Měrná potřeba elektrické energie na pohon ventilátorů

4.2.1 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE NA POHON VENTILÁTORŮ PRO VĚTRACÍ SYSTÉMY S PROMĚNNÝM PRŮTOKEM VZDUCHU

Stanovení potřeby elektrické energie na pohon ventilátorů u systémů s proměnným průtokem vzduchu se provede podle vztahu (9). Jeden ze vstupních parametrů pro určení příkonu ventilátoru je dopravní tlak, který se mění s průtokem vzduchu v závislosti na charakteristice potrubní sítě. Tuto charakteristiku nelze zobecnit, proto nelze obecně vyjádřit potřebu elektrické energie pro pohon ventilátorů u systémů s proměnným průtokem vzduchu.

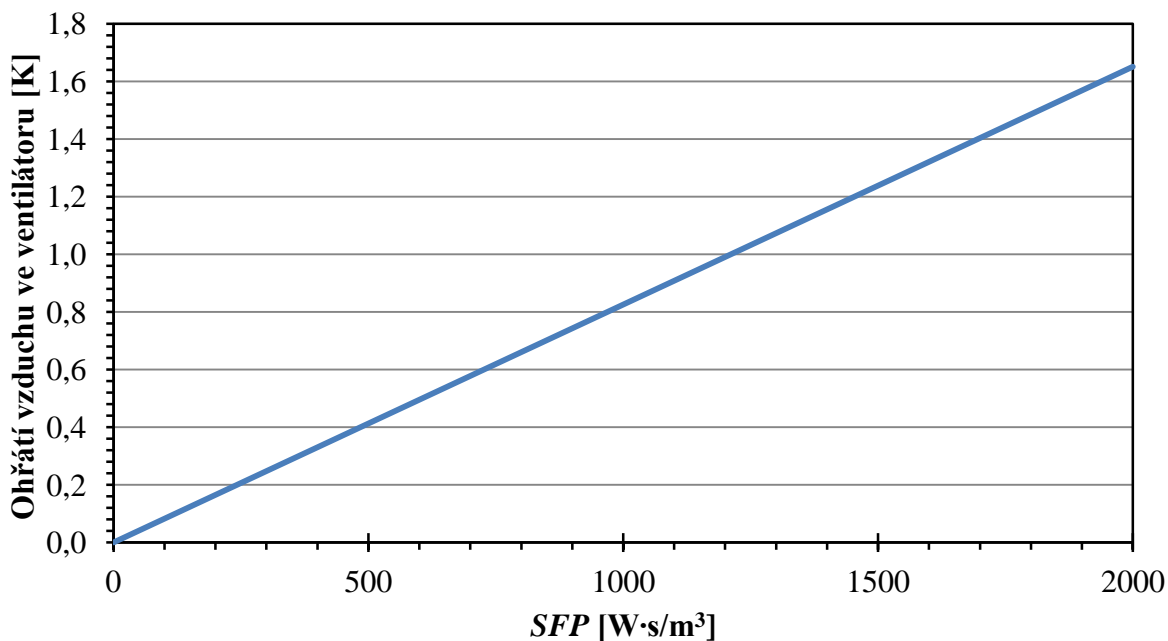
4.2.2 OHŘÁTÍ VZDUCHU VE VENTILÁTORU

Ventilátor spotřebovává elektrickou energii, která je následně přeměněna na teplo a způsobuje ohřátí vzduchu. U větracích jednotek pro rovnotlaké větrání jsou obvykle elektromotory umístěny v proudu vzduchu, a proto i ventilátory hradí tepelné ztráty větráním. Ohřátí vzduchu ve ventilátoru je dáno vztahem:

$$\Delta t_{oh} = \frac{\Delta p_c}{\rho \cdot c \cdot \eta_c} = \frac{SFP_{vent}}{\rho \cdot c} \text{ [K]}. \quad (10)$$

Využití přeměněné energie na teplo ale závisí na dispozici větrací jednotky, resp. na umístění ventilátorů v jednotce. Ventilátor s pohonem v přívodní sekci větrací jednotky předá veškerou spotřebovanou energii. U ventilátoru, který odvádí vzduch, záleží, zda je umístěn před nebo za výměníkem zpětného získávání tepla ve smyslu proudění vzduchu. V případě umístění před výměníkem ZZT lze přeměněnou energii využít, ale její velikost bude ponížena v závislosti na teplotním faktoru výměníku ZZT. Většina větracích jednotek je konstruována s odvodním ventilátorem za výměníkem ZZT, při této dispozici nelze přeměněnou energii využít.

Na obrázku 4.3 je uvedena závislost ohřátí vzduchu ve ventilátoru na měrném příkonu ventilátoru.



Obr. 4.3 Ohřátí vzduchu ve ventilátoru

4.3 PLATBY ZA ENERGIE

Větrací systémy s nuceným průtokem vzduchu pracují s dvěma druhy energií. Tepelnou energií na pokrytí tepelné ztráty větráním a elektrickou energií na dopravu větracího vzduchu. Ceny těchto energií se liší a závisí na druhu zdroje energie, účinnosti přeměny energie, geografické poloze a případně dalších faktorech. Přibližné cenové porovnání základních zdrojů energie je uvedeno v *tabulce 4.5*. Uvedené ceny jsou z roku 2012.

Tab. 4.5 Ceny tepla (rok 2012) [12]

Druh paliva (výhřevnost)	Spalovací zařízení (průměrná účinnost v %)	Cena tepla	
		[Kč/kWh]	[Kč/GJ]
Obnovitelné zdroje			
Dřevo (14 MJ/kg)	kotel na zplyňování dřeva (75 %)	0,99	275
Dřevěné brikety (17,5 MJ/kg)	kotel na zplyňování dřeva (75 %)	1,36	378
Dřevěné pelety (18,5 MJ/kg)	automatický kotel na pelety (90 %)	1,36	378
Štěpka (12,5 MJ/kg)	kotel na štěpku (80 %)	0,90	250
Rostlinné pelety (16,5 MJ/kg)	kotel na rostlinné pelety (80 %)	0,91	253
Neobnovitelné zdroje			
Hnědé uhlí (18 MJ/kg)	automatický kotel na uhlí (80 %)	0,89	247
Zemní plyn (37,8 MJ/m ³)	kondenzační kotel (102 %)	2,23	619
Elektřina akumulace	s akumulací nádrží (93 %)	2,24	622
Elektřina přímotop	přímotopné panely (98 %)	2,65	736
Tepelné čerpadlo	průměrný roční topný faktor 3,0	0,87	242
Centrální zásobování teplem	výměníky tepla	1,80	500

4.4 NÁVRH VĚTRACÍHO SYSTÉMU PRO MODELOVÝ RODINNÝ DŮM

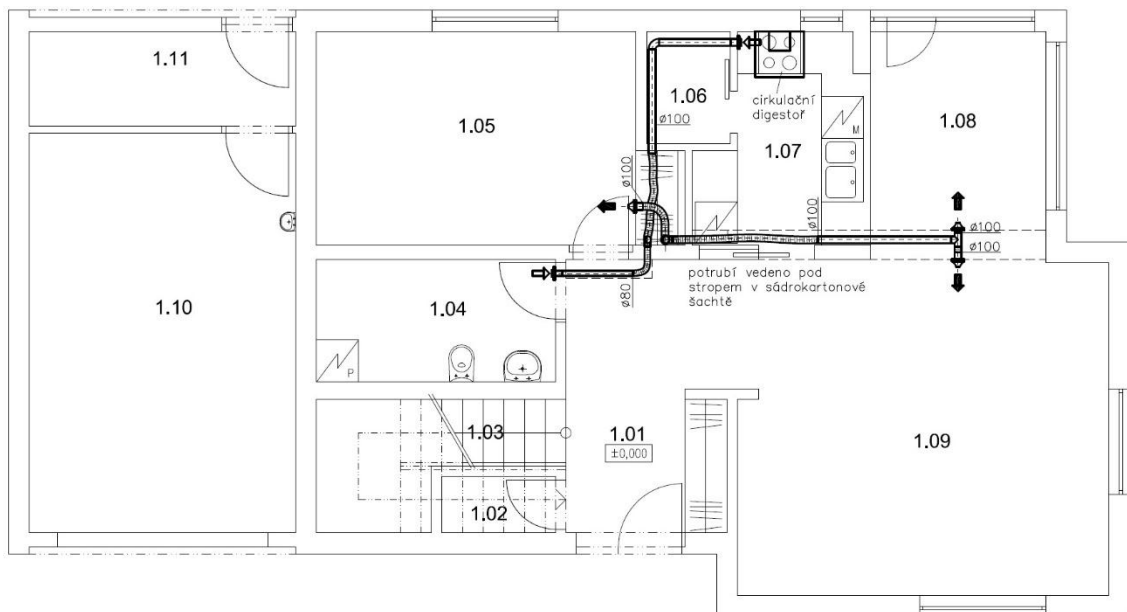
Stanovení potřeby energie na větrání je pro každý rodinný dům odlišné – záleží na navržené koncepci větrání, instalovaných zařízeních, způsobu užívání, atd. Na příkladu modelového rodinného domu je proveden výpočet potřeby energie pro trvalé rovnotlaké větrání v návaznosti na předchozí výpočty. Nárazové větrání není uvažováno.

Popis koncepce větracího systému

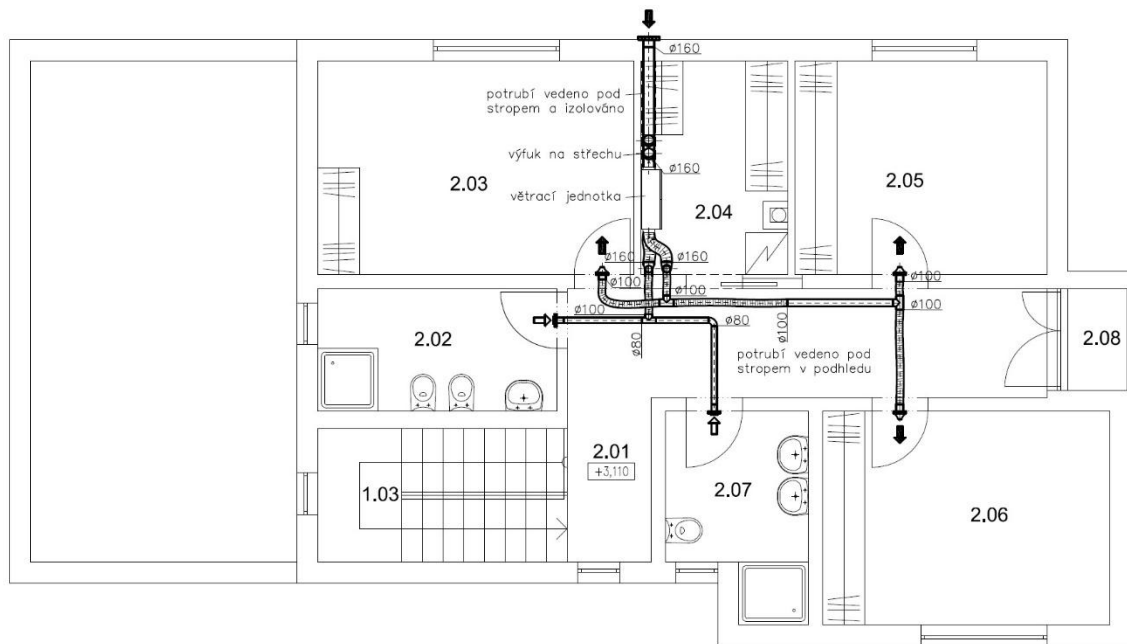
Pro případ rovnotlakého větrání je navržena centrální větrací jednotka, která je umístěna ve 2. NP v technické místnosti. Sání vzduchu je přes protidešťovou žaluzii na severozápadní fasádě. Potrubí sání je kruhové průřezu – SPIRO a je nutné izolování kvůli kondenzaci vodní páry. Napojení na větrací jednotku je přes prvek tlumící vibrace. Přívodní potrubí vzduchu jsou částečně z ohebných kruhových hadic s protihlukovou izolací a kruhového potrubí SPIRO. Distribuce čerstvého vzduchu je do každé obytné místnosti, a sice dýzou kruhového průřezu. Odtah vzduchu je navržen ze sociálního zázemí a kuchyně přes kruhové ventily. Odvodní potrubí vzduchu opět kombinuje protihlukové ohebné hadice a kruhové potrubí SPIRO. Výfuk odpadního vzduchu je potrubím skrz střechu s ukončením výfukovou hlavicí. Tam kde se to vyžaduje, je potrubí vedeno v podhledu nebo sádkartonovém krytu. V kuchyni je instalována cirkulační digestoř.

Vedení vzduchotechnických rozvodů je na *obrázku 4.4 a), b)*.

a)



b)



Obr. 4.4 a) Půdorys vzduchotechniky 1.NP, **b)** Půdorys vzduchotechnický 2.NP

Stanovení tlakové ztráty

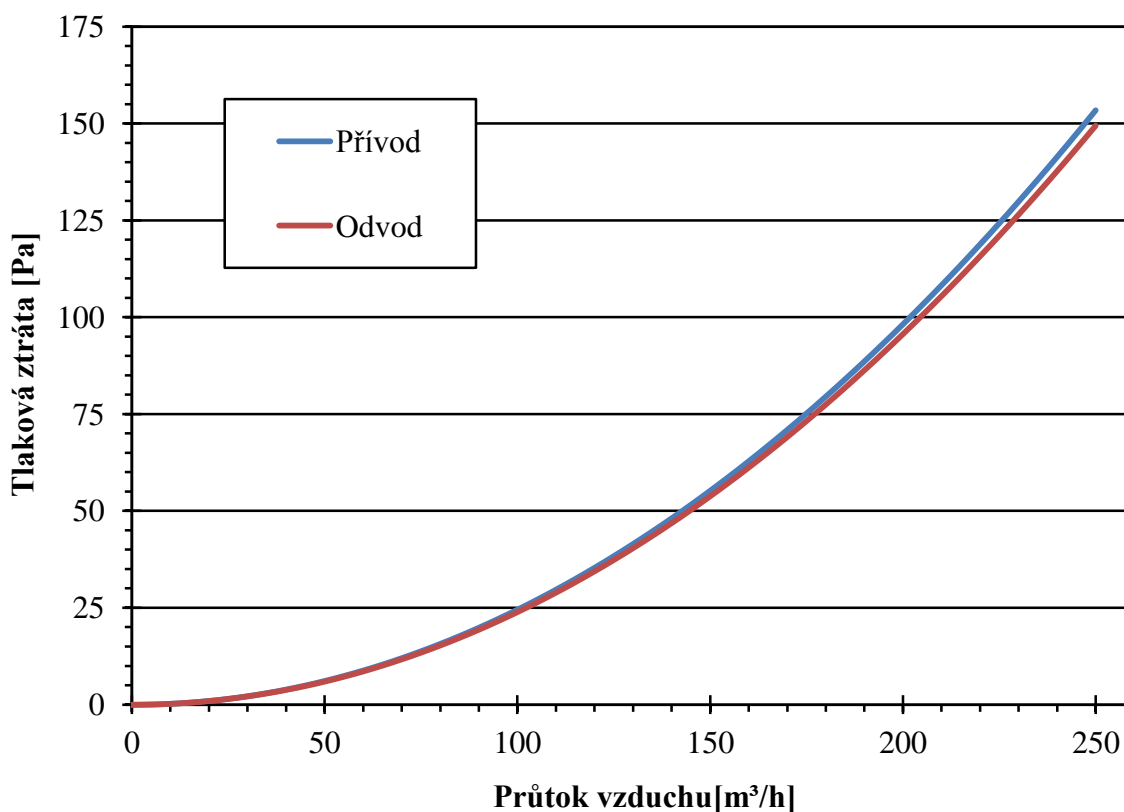
Jeden ze vstupních údajů pro určení potřeby elektrické energie na pohon ventilátoru je jeho dopravní tlak. Ten je dán tlakovými ztrátami vzduchotechnického rozvodu. Tlaková ztráta výše uvedeného vzduchotechnického rozvodu byla při průtoku vzduchu $150 \text{ m}^3/\text{h}$ stanovena na 55 Pa .

Tlaková ztráta potrubního systému není konstantní a mění se s průtokem vzduchu v závislosti na charakteristice potrubní sítě. Závislost tlakové ztráty na průtoku vzduchu je vyjádřena vztahem:

$$\Delta p_z = K_p \cdot \dot{V}^2 \text{ [Pa]}, \quad (11)$$

kde K_p [-] je konstanta přívodního vzduchovodu.

Výpočty potřeby energie trvalého větrání jsou počítány pro různé režimy větrání s rozdílnými hodnotami průtoku větracího vzduchu. Na obrázku 4.5 je s využitím vztahu (11) znázorněna charakteristika potrubní sítě pro přívod a odvod vzduchu zkoumaného rodinného domu. Z grafického znázornění je patrné, že obě charakteristiky jsou, zvláště při malém průtoku vzduchu, téměř totožné.



Obr. 4.5 Charakteristika potrubní sítě modelového rodinného domu

4.5 ANALÝZA VĚTRACÍCH JEDNOTEK PRO RODINNÉ DOMY V ČR

Potřeba energie na větrání je ovlivněna volbou větracího zařízení. Záleží zejména na účinnosti výměníku zpětného získávání tepla, ventilátoru a jeho pohonu. V roce 2014 bylo vydáno Nařízení komise (EU) č. 1253/2014, které za účelem snížení spotřeby energie definuje “ekodesign“ větracích zařízení v zemích Evropské unie. Toto nařízení vešlo v platnost 1. ledna 2016. Větrací jednotky, které nesplňují požadavky na ekodesign pro obytné budovy nelze od uvedeného data prodávat a aplikovat pro větrání obytných budov. Ve výsledku to znamená razantní zmenšení velikosti trhu s větracími jednotkami. Za účelem zjištění potřeby energie pro trvalé nucené větrání v aplikaci pro rodinné domy byla provedena hrubá analýza běžně dostupných větracích jednotek v rámci české republiky. V roce 2018 vstoupí od 1. ledna v platnost ještě přísnější požadavky na ekologický aspekt návrhu. Lze tedy očekávat další stažení nyní dostupných zařízení a uvedení nových zařízení na trh [13], [14].

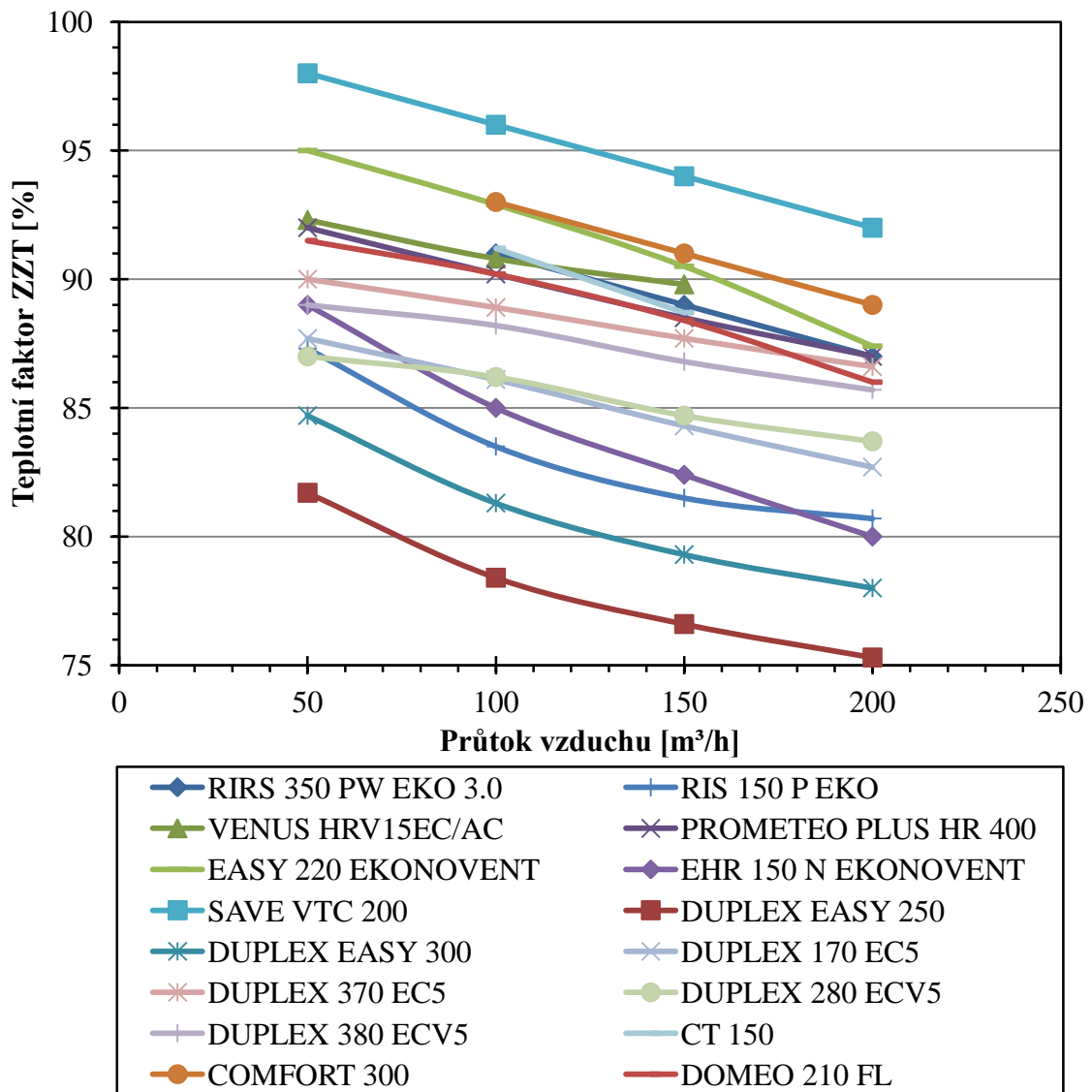
Do analýzy trhu s větracími jednotkami, která proběhla během jara roku 2016, bylo vybráno 38 zařízení od patnácti výrobců. Vybrané větrací jednotky odpovídají

svou výkonností požadavkům na trvalé větrání rodinných domů, a jsou tedy vhodné i pro posouzení v aplikaci pro modelový rodinný dům. Obvyklá sestava větracích jednotek je: filtry vzduchu na přívodu a odvodu jednotky, dva ventilátory, výměník zpětného získávání tepla. Všechny větrací jednotky s výjimkou jedné mají ventilátory poháněné elektronicky komutovanými – EC motory. V jednom případě je pohon ventilátorů pomocí asynchronních – AC motorů. Ve třech případech jsou ve větracích jednotkách použity entalpické (rotační) výměníky zpětného získávání tepla. V ostatních případech jsou instalovány rekuperační deskové výměníky tepla. Štítková hodnota podle ErP pro rok 2016 je uvedena u 29 větracích jednotek. Sedm zařízení je klasifikováno v energetické třídě B, sedmnáct v A, pět v A+. Rozdělení do jednotlivých tříd je určeno také způsobem regulace. Ceny větracích zařízení včetně 21% DPH jsou od 23 080 Kč (jednotka s AC motory) do 92 081 Kč.

Určení parametrů potřebných pro stanovení potřeby energie na větrání bylo provedeno pomocí běžně dostupných podkladů výrobců zařízení. Obvykle jsou to katalogové listy nebo návrhový software. Pro přesnost výsledků jsou poskytnuté podklady velice důležité, neboť chyba při odečtu hodnot z grafických závislostí může dle odhadu dosahovat až 30 % oproti přesnému výstupu z návrhového softwaru. Ve dvou případech výrobců můžeme považovat poskytnuté podklady za velice přesné, a to u jednotek od společností ATREA s.r.o. a Systemair a.s. Někteří výrobci neuvádějí dostatečné podklady pro stanovení potřeby energie, proto není provedeno vyhodnocení u všech zařízení.

4.5.1 POTŘEBA TEPLA HODNOCENÝCH VĚTRACÍCH JEDNOTEK

Pro stanovení potřeby tepla na větrání je nutné znát teplotní faktor (účinnost) zpětného získávání tepla větrací jednotky při požadovaném průtoku vzduchu. Aby byly výsledky potřeby tepla relevantní, musí být hodnoty teplotního faktoru uváděny při stejném průtoku vzduchu. Důležité je však i rozlišení, zda-li dochází ve výměnících ZZT ke kondenzaci vody. Stav vzduchu pro měření teplotního faktoru ZZT dán normovými hodnotami. Měření probíhá pro tzv. “suchou účinnost“. Na *obrázku 4.6* je znázorněna závislost teplotního faktoru ZZT na průtoku vzduchu pro 18 větracích jednotek. Tato závislost byla určena ze čtyř hodnot průtoků vzduchu (50; 100; 150; 200 m³/h).



Obr. 4.6 Závislost teplotního faktoru hodnocených větracích jednotek na průtoku vzduchu

U větracích jednotek RIRS 350 PW EKO 3.0, RIS 150 P EKO, VENUS HRV15EC/AC, EASY 220 EKONOVENT, DOMEEO 210 FL není uvedeno pro jaké parametry venkovního vzduchu je určen teplotní faktor ZZT nebo je jeho stanovení provedeno pro jiné hodnoty, než je požadováno normou. Teplotní faktor ZZT pro větrací jednotku EHR 150 N EKONOVENT je stanoven dle požadavků uvedených v ČSN EN 13141-7. U ostatních větracích jednotek zahrnutých v na obrázku 4.6 je deklarováno, že stanovení teplotního faktoru je provedeno dle požadavku v ČSN EN 308. Z důvodů nedostatečných podkladů nejsou závislosti teplotního faktoru na průtoku vzduchu stanoveny pro 20 větracích jednotek z 38 zahrnutých do analýzy.

Vlastní výpočet potřeby tepla na větrání byl proveden podle (8) pro průtoky vzduchu trvalého větrání určenými celkovou intenzitou větrání jako v kapitole 4.1. Pro posouzení byl opět použit modelový rodinný dům s vnitřním objemem 373 m³. Vstupní parametry pro výpočet jsou stejné jako v kapitole 4.1, hodnota teplotního faktoru jednotlivých jednotek je určena polynomem, stanoveným ze stejných hodnot jako pro obrázek 4.6. Polynom byl vyjádřen pomocí funkcí integrovaných v MS Excel nebo výpočetní pomůcky dostupné dle zdroje [15]. Příklad polynomu pro větrací jednotku RIRS 350 PW EKO 3.0:

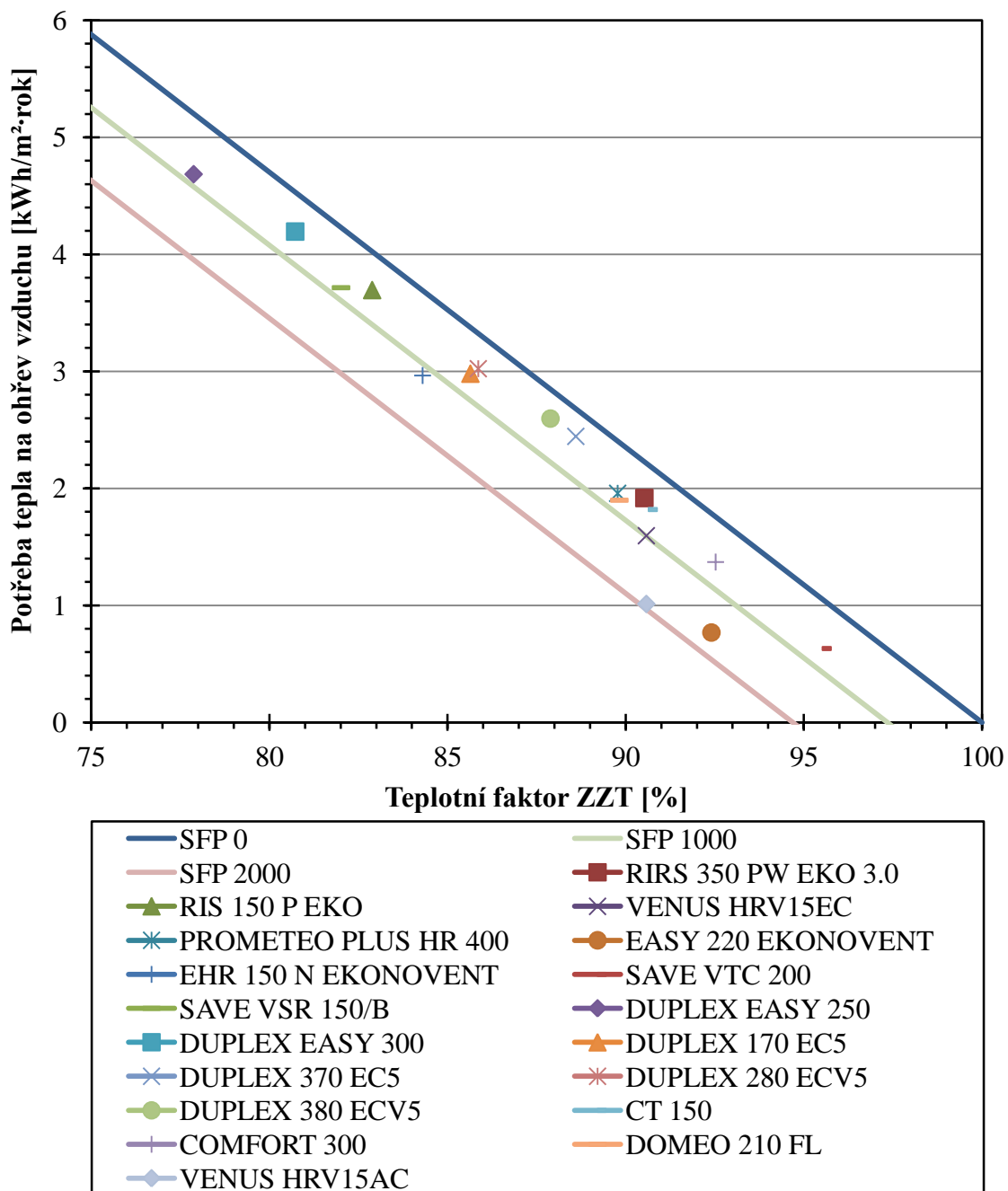
$$\varphi_{zti}(\dot{V}) = -3 \cdot 10^{-17} \cdot \dot{V}^2 - 0,04 \cdot \dot{V} + 95 \text{ [%]}.$$

Je nutné připomenou, že takto zjištěné funkce jsou platné pouze v oboru hodnot 50 až 200 m³/h nebo též podle rozsahu průtoků vzduchu z podkladů poskytnutých výrobcem. Mimo rozsah těchto hodnot může nastat významná chyba.

Celková hodnota potřeby tepla na větrání je ovlivněna příkonem ventilátorů, resp. přeměnou elektrické energie pro pohon ventilátorů na tepelnou energii. Vliv na celkovou potřebu tepla je uvažován pouze přívodním ventilátorem každé jednotky s tím, že veškerý příkon ventilátoru se přemění na teplo. Celková bilance potřeby tepla pro úhradu tepelné ztráty větráním se dá vyjádřit, za předpokladu, že přívodní ventilátor spotřebovává právě ½ příkonu vztahem:

$$Q_{oh,c} = Q_{oh} - 0,5 \cdot Q_{vent} \text{ [kWh/rok]} \quad (12)$$

Stanovení potřeby elektrické energie pro pohon ventilátorů jednotlivých větracích jednotek je uvedeno v kapitole 4.5.2. S uvažováním těchto výsledků byl vytvořen obrázek 4.7, který vyjadřuje závislost měrné potřeby celkového tepla na teplotním faktoru ZZT a měrném elektrickém příkonu jednotky. Tato závislost je určena pro celkovou intenzitu větrání 0,3 1/h (průtok vzduchu 112 m³/h) a zahrnuje jak obecné vyjádření, tak konkrétní porovnání větracích jednotek. Větrací jednotky, které výkonově neodpovídají fungování v oblasti požadovaného pracovního bodu, nejsou v hodnocení uvažovány. Znázornění výsledků pro ostatní celkové intenzity větrání viz příloha 1.



Obr. 4.7 Měrná potřeba tepla při celkové intenzitě větrání $0,3 \text{ }^1/\text{h}$ ($112 \text{ m}^3/\text{h}$)

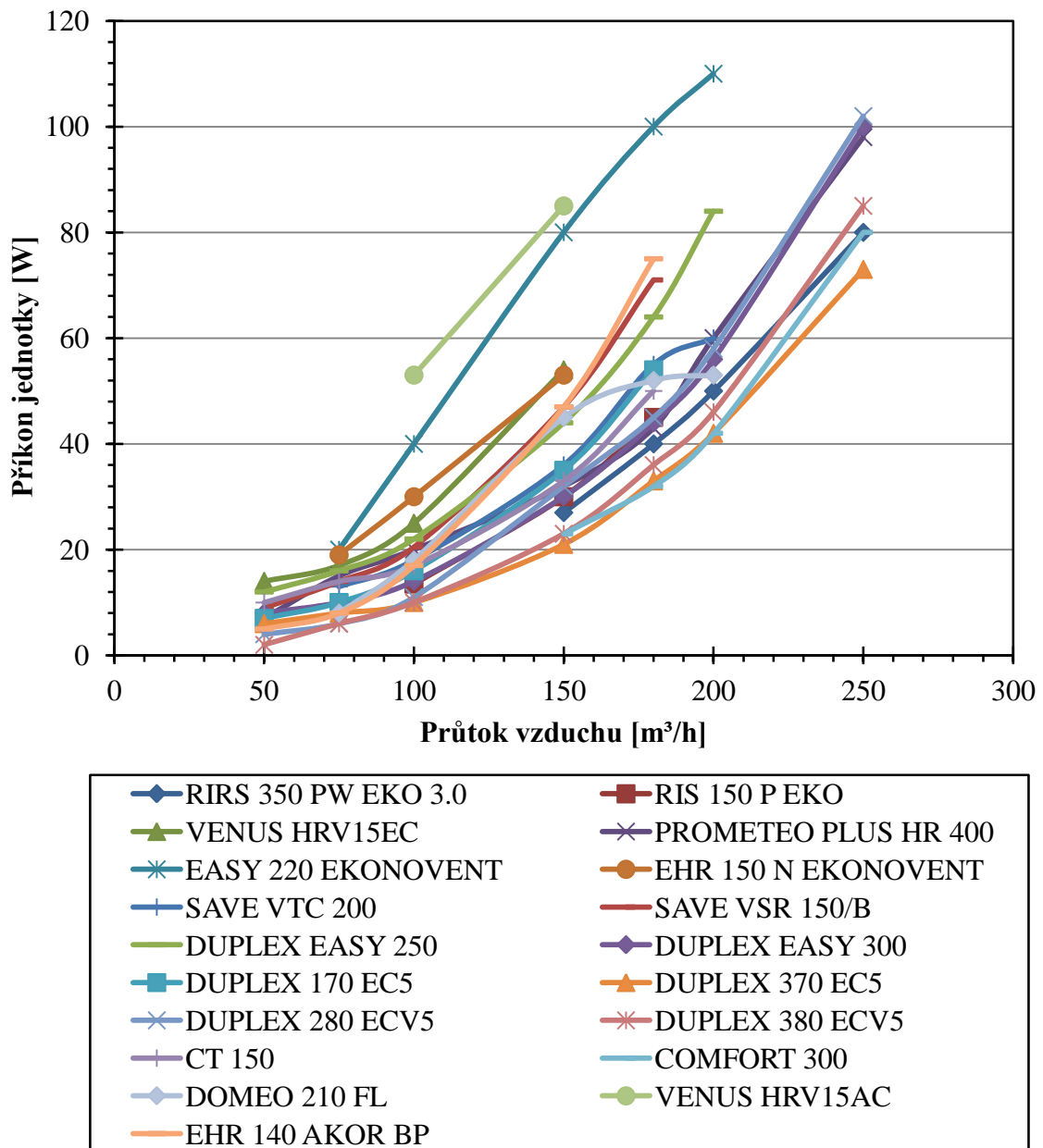
Výsledky pro intenzitu větrání $0,3 \text{ }^1/\text{h}$ ukazují, že z hlediska potřeby tepla na ohřev vzduchu kladou nejmenší nároky jednotky SAVE VTC 200, EASY 220 EKONOVENT, VENUS HRV15AC. Druhá a třetí zmíněná větrací jednotka mají vysokou hodnotu měrného příkonu (*SFP*), hodnota potřeby tepla je tedy nízká také z důvodu výraznějšího vzniku tepla ve ventilátoru. Z hlediska teplotního faktoru se zejména větrací jednotce VENUS HRV15AC vyrovná více zařízení, ale kvůli výše zmíněnému faktu mají potřebu tepla na ohřev vzduchu větší. Mezi tři větrací jednotky

s největší potřebou tepla na ohřev vzduchu patří DUPLEX EASY 250, DUPLEX EASY 300, SAVE VSR 150/B. Jejich vysoká potřeba tepla je dána nízkou účinností zpětného získávání tepla.

Pro ostatní hodnoty intenzity větrání vychází vzájemné porovnání větracích jednotek obdobně, s tím že množství potřebné energie na ohřev vzduchu se mění úměrně s intenzitou větrání. Číselné hodnoty jsou k nalezení v kapitole 4.7, tabulce 4.8, grafické porovnání na obrázku 4.10.

4.5.2 POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE NA POHON VENTILÁTORŮ HODNOCENÝCH VĚTRACÍCH JEDNOTEK

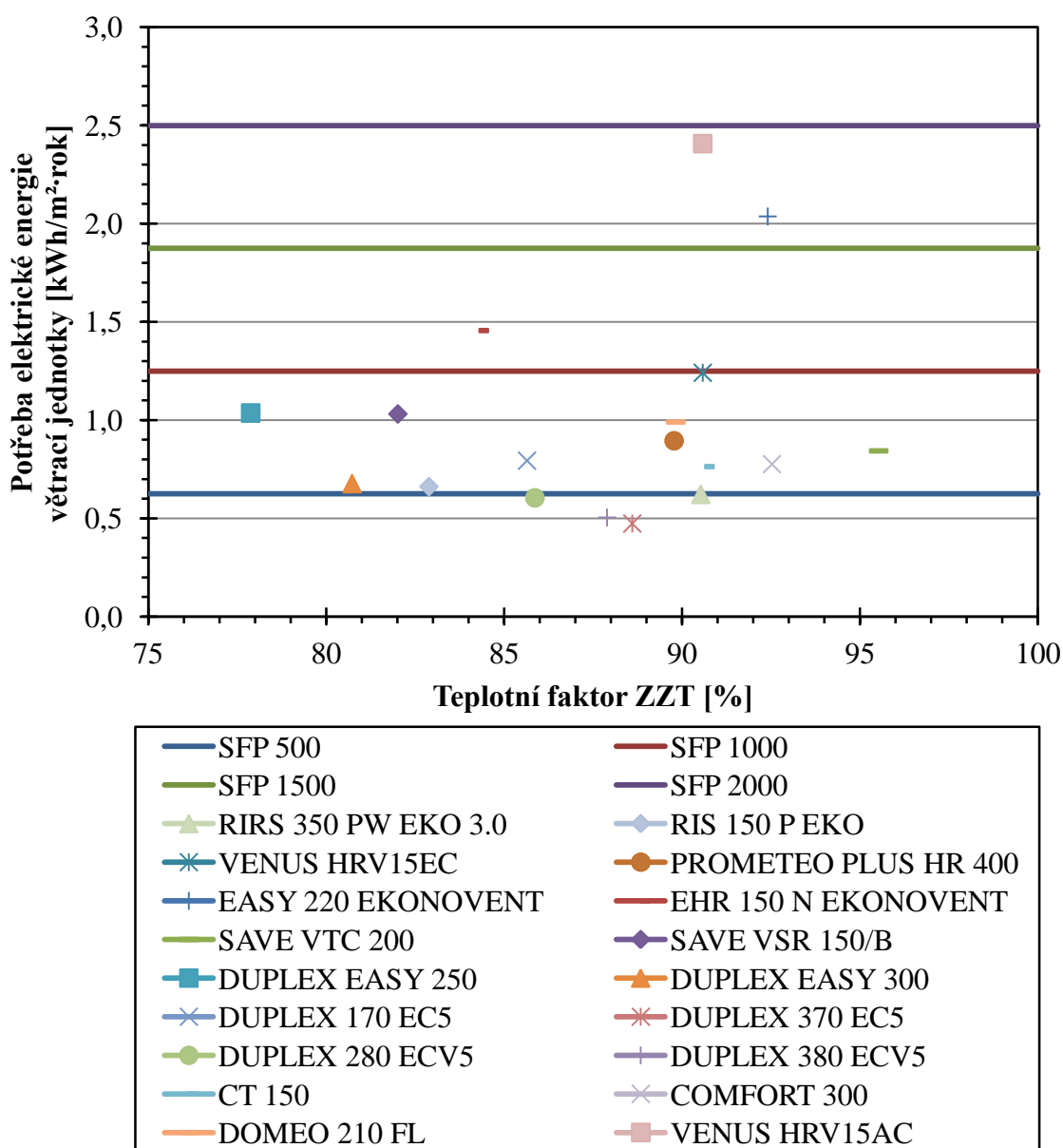
Pro vyhodnocení potřeby elektrické energie na pohon ventilátorů je nutné znát jejich příkon v pracovním bodě. Výrobci obvykle udávají příkonové charakteristiky v podobě grafických závislostí nebo přímo hodnoty příkonu v programových výstupech či obdobně. S ohledem na vypočtenou charakteristiku přívodního potrubí modelového rodinného domu jsou na základě zmíněných podkladů určeny elektrické příkony konkrétních větracích jednotek pro průtok vzduchu: 50; 75; 100; 150; 180; 200; 250 m³/h. V úvahu je brána pouze charakteristika přívodního potrubí, protože je téměř stejná jako odvodního potrubí a rozdíly příkonů jsou minimální. Analýza obsahuje 19 větracích jednotek z 38, ostatní zařízení nejsou do výpočtu zahrnuta z důvodu nedostatečných podkladů pro určení příkonu. Pro 18 z 19 větracích jednotek je v předchozí kapitole stanovena potřeba tepla. U těchto zařízení lze tedy určit jak potřebu tepla na ohřev vzduch, tak i potřebu elektrické energie na provoz ventilátorů. Ze stanovených příkonů jsou na obrázku 4.8 sestaveny příkonové charakteristiky pro oba ventilátory větracích jednotek. Znázorněné závislosti nejsou lineární a průběh příkonu v závislosti na průtoku se může pro různá zařízení lišit.



Obr. 4.8 Příkonové charakteristiky hodnocených větracích jednotek.

Z určených bodů, případně charakteristik, byly pro stanovení příkonu při obecném průtoku sestaveny polynomy obdobně jako v kapitole 4.5.1. Dosazením hodnoty průtoku vzduchu při celkové intenzitě větrání $0,3 \text{ }^1/\text{h}$ ($112 \text{ m}^3/\text{h}$) byly získány hodnoty příkonů konkrétních větracích jednotek. S následným využitím vztahu (9) byla stanovena roční potřeba elektrické energie na provoz ventilátorů jednotlivých zařízení. Měrná potřeba elektrické energie na provoz ventilátorů při celkové intenzitě větrání $0,3 \text{ }^1/\text{h}$ je zobrazena na obrázku 4.9, výsledky pro jiné intenzity větrání viz příloha 2. Rozmístění bodů konkrétních větracích jednotek respektuje teplotní faktor ZZT, ale jak

je patrné z obecného vyjádření měrného příkonu, nemá teplotní faktor ZZT přímý vliv na potřebu elektrické energie.



Obr. 4.9 Měrná potřeba elektrické energie na pohon ventilátorů při celkové intenzitě větrání $0,3 \text{ }^1/\text{h}$ ($112 \text{ m}^3/\text{h}$)

V grafickém vyjádření je pro intenzitu větrání $0,3 \text{ }^1/\text{h}$ zahrnuto 17 větracích jednotek. Zbylé dvě z hodnocených nelze do grafu zahrnout z důvodu neodpovídajícímu požadovanému výkonu – resp. neznámému teplotnímu faktoru ZZT. Velice úsporné v oblasti elektrické energie jsou větrací jednotky DUPLEX 380 ECV5 a 370 EC5, které mají měrnou potřebu elektrické energie na provoz ventilátorů přibližně

5krát nižší než jednotka VENUS HRV15AC. Na tomto příkladě je vidět špatná účinnost AC motorů, které jsou díky nárokům na snižování potřeby energie nahrazovány EC motory. Ve všech hodnocených větracích jednotkách s výjimkou zmíněné VENUS HRV15AC jsou instalovány EC motory a jejich potřeba elektrické energie je přibližně třetinová až poloviční. Pouze větrací jednotka EASY 220 EKONOVENT má vysokou potřebu elektrické energie.

Výsledky potřeby elektrické energie na provoz ventilátorů pro všechny hodnocené intenzity větrání jsou uvedeny v *kapitole 4.7, tabulce 4.9, obrázku 4.11*.

4.6 STANOVENÍ POTŘEBY ENERGIE HODNOCENÝCH VĚTRACÍCH JEDNOTEK PŘI PROMĚNNÉM PRŮTOKU VZDUCHU

Potřeba tepelné a elektrické energie pro systémy s proměnným průtokem vzduchu se stanoví ze vztahu (8) resp. (9). Rozdíl ve výpočtu proti předchozím kapitolám je ve stanovení konkrétních hodnot teplotního faktoru ZZT a elektrického příkonu ventilátorů pro každou specifickou hodinu podle aktuálního požadavku na průtok vzduchu. Výpočet pak velice usnadňují sestavené polynomy sledovaných parametrů konkrétních jednotek, ze kterých lze jednoduchým dosazením aktuálního průtoku vzduchu určit jejich hodnoty. Následným využitím vztahů (8) a (9) se určí celková potřeba hledané energie.

Hodnocené režimy s proměnným průtokem vzduchu odpovídají průběhům intenzity větrání znázorněných na *obrázku 3.2*. Intenzita větrání je vztahena k celkovému objemu domu a pro modelový rodinný dům jsou průtoky vzduchu zaznamenány v *tabulce 4.6*.

Tab. 4.6 Průtok vzduchu a jeho doba trvání

Režim větrání					
Specifický 1		Specifický 2		Specifický 3	
\dot{V} [m ³ /h]	τ [h]	\dot{V} [m ³ /h]	τ [h]	\dot{V} [m ³ /h]	τ [h]
37	1050	75	3430	37	1050
75	735	112	2450	112	4830
112	2520				
150	1575				
$\overline{104}$	Σ 5880	$\overline{90}$	Σ 5880	$\overline{99}$	Σ 5880

Do výpočtu potřeby energií pro systémy s proměnným průtokem vzduchu jsou zahrnuty všechny větrací jednotky, pro které je známý aspoň průběh teplotního faktoru ZZT, nebo elektrický příkon v závislosti na průtoku vzduchu. Celkově jsou oba druhy potřebných energií stanoveny pro 18 větracích jednotek. Ve výpočtu je také brán ohled na přizpůsobení větracího výkonu konkrétnímu průtoku vzduchu. Velká část větracích jednotek nedokáže snížit otáčky ventilátorů natolik, aby umožnila minimální průtok vzduchu 37 m³/h, který se uvažuje u specifického režimu větrání č. 1 a 3. U těchto jednotek je výpočet proveden pro jejich minimální průtok vzduchu. Největší průtok vzduchu 150 m³/h u umožňují všechna větrací zařízení.

Výsledky všech hodnocených větracích zařízení pro tři stanovené režimy větrání s proměnným průtokem vzduchu jsou uvedeny v kapitole 4.7, případně v příloze 1 a 2.

4.7 VÝSLEDKY POTŘEBY ENERGIE

Větrací jednotky, u kterých bylo možné stanovit alespoň jeden druh potřebné energie, jsou uvedeny v tabulce 4.7. V této tabulce má každé zařízení přiřazeno svoje číslo (1 až 19), které je uvedeno v dalších tabulkách místo názvu větrací jednotky. V tabulce 4.7 je dále uvedena cena větrací jednotky s DPH (21 %), druh motorů pohánějící ventilátory, stručný popis regulace a hodnoty energetické třídy podle ErP pro rok 2016.

Tab. 4.7 Vyhodnocené větrací jednotky

č. z.	Větrací jednotka	Cena s DPH	typ motoru/ regulace	ErP 2016
1	RIRS 350 PW EKO 3.0	67 450 Kč	EC, plynulá regulace	A
2	RIS 150 P EKO	32 066 Kč	EC, plynulá regulace	x
3	VENUS HRV15EC	34 618 Kč	EC, plynulá regulace	A
4	PROMETEO PLUS HR 400	85 547 Kč	EC, plynulá regulace	x
5	EASY 220 EKONOVENT	36 288 Kč	EC	B
6	EHR 150 N EKONOVENT	60 427 Kč	EC, 3x nastavení ot.	A
7	SAVE VTC 200	54 024 Kč	EC, plynulá regulace	A
8	SAVE VSR 150/B	62 152 Kč	EC, plynulá regulace	A
9	DUPLEX EASY 250	32 071 Kč	EC, plynulá regulace	A
10	DUPLEX EASY 300	34 370 Kč	EC, plynulá regulace	A
11	DUPLEX 170 EC5	48 049 Kč	EC, plynulá regulace	A+
12	DUPLEX 370 EC5	51 383 Kč	EC, plynulá regulace	A+
13	DUPLEX 280 ECV5	48 049 Kč	EC, plynulá regulace	A+
14	DUPLEX 380 ECV5	51 383 Kč	EC, plynulá regulace	A+
15	CT 150	39 325 Kč	EC, plynulá regulace	A+
16	COMFORT 300	59 895 Kč	EC, plynulá regulace	A
17	DOMEO 210 FL	35 551 Kč	EC, proměnné otáčky	A
18	VENUS HRV15AC	23 080 Kč	AC, 3x nastavení ot.	B
19	EHR 140 AKOR BP	25 092 Kč	EC, 3x nastavení ot.	A

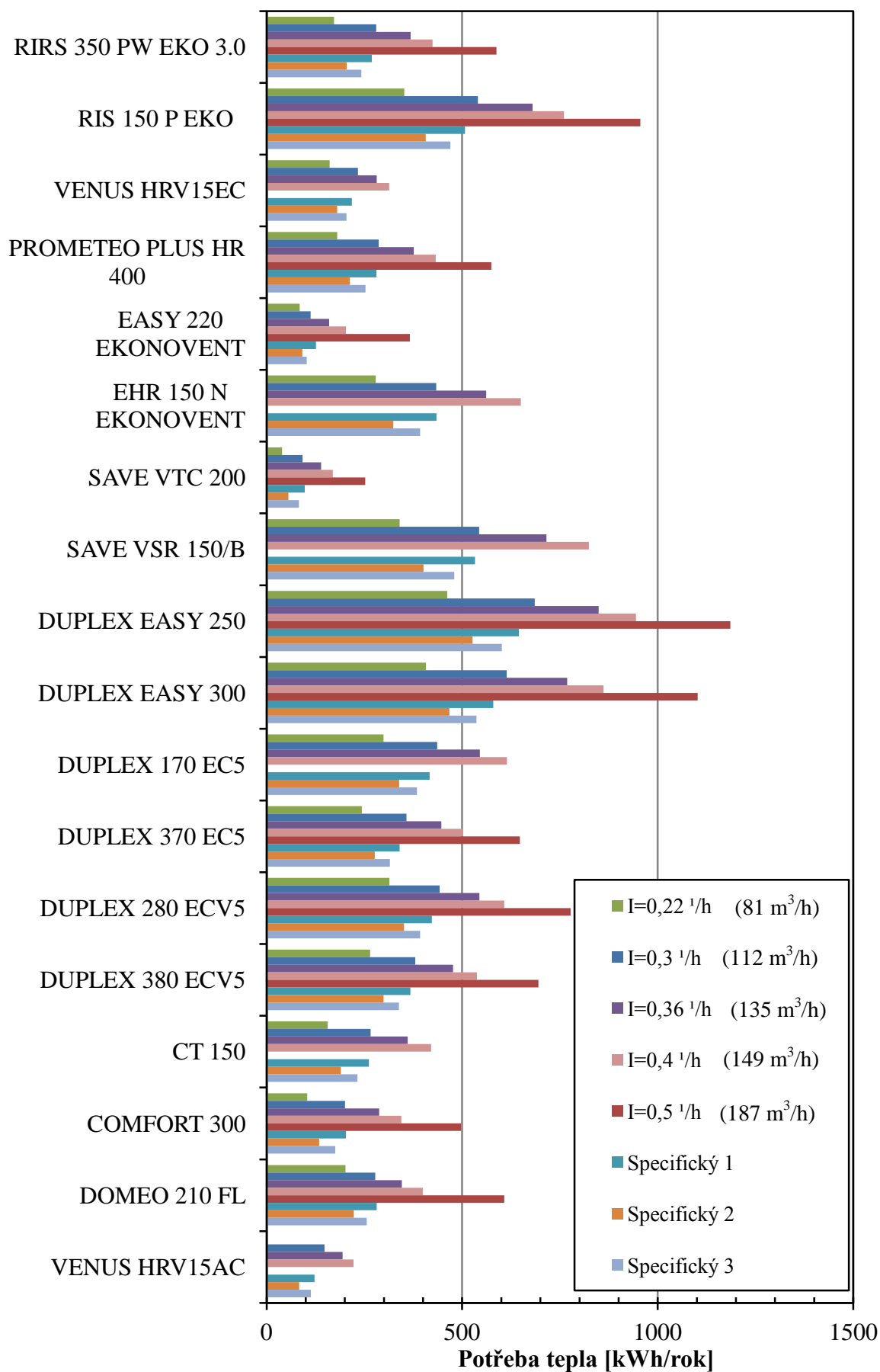
Vyhodnocení potřeby energie bylo určeno pro pět režimů trvalého větrání s konstantním průtokem vzduchu (dva z nich respektují požadavky na minimální a doporučené větrání podle ČSN EN 15665/Z1) a tři režimy s proměnným průtokem vzduchu. Intenzita větrání, ze které vycházejí výpočtové průtoky vzduchu, je vztažena k celkovému vnitřnímu objemu modelového rodinného domu (373 m³). V tabulkách jsou pro režimy trvalého větrání s konstantním průtokem vzduchu uvedeny také potřeby energií při větrání s obecnou hodnotou měrného příkonu (*SFP*). Je-li $SFP = 0 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$, potom nemá větrací zařízení žádnou spotřebu elektrické energie a jedná se tedy o přirozené větrání bez využití zpětného získávání tepla. Ostatní hodnoty *SFP* (500; 1000; 1500; 2000 W·s/m³) reprezentují případ nuceného větrání s různým elektrickým příkonem ventilátorů. Taktéž zde není uvažováno využití ZZT a můžeme tedy větrání označit jako nucené podtlakové. Nárazové větrání není ve výpočtu uvažováno.

Potřeba tepla na ohřev vzduchu

Porovnání větracích jednotek z hlediska potřeby tepla za rok na ohřev vzduchu je shrnuto v *tabulce 4.8*. Grafické vyjádření je na *obrázku 4.10*. Ve výsledcích je také zahrnut vliv ohřátí vzduchu od ventilátoru a jeho pohonu.

Tab. 4.8 Potřeba tepla na ohřev vzduchu hodnocených větracích jednotek

č. zař.	Potřeba tepla na ohřev vzduchu [kWh/rok]							
	Celková intenzita větrání [¹ /h]					Specifický režim větrání		
	0,22	0,3	0,36	0,4	0,5	1	2	3
1	173	280	368	425	588	269	205	242
2	352	540	680	760	956	507	407	470
3	161	233	282	313	x	218	180	204
4	180	286	377	432	575	281	213	253
5	85	112	160	203	366	126	91	103
6	279	434	561	650	x	434	324	393
7	39	92	139	169	252	98	56	82
8	340	543	715	824	x	533	401	480
9	462	685	849	944	1186	645	527	601
10	408	614	769	861	1102	579	468	537
11	299	436	545	614	x	417	339	384
12	243	358	446	501	647	340	277	315
13	314	442	544	608	777	423	351	393
14	265	380	477	538	695	368	299	338
15	156	266	361	421	x	261	190	232
16	104	200	288	344	497	203	134	175
17	202	278	345	399	608	281	223	256
18	x	148	194	222	x	123	83	113
SFP [W.s/m ³]	0	2493	3440	4154	4587	5734		
	500	2459	3394	4099	4526	5657		
	1000	2426	3349	4044	4465	5581		
	1500	2693	3303	3989	4404	5505		
	2000	2360	3257	3934	4343	5429		



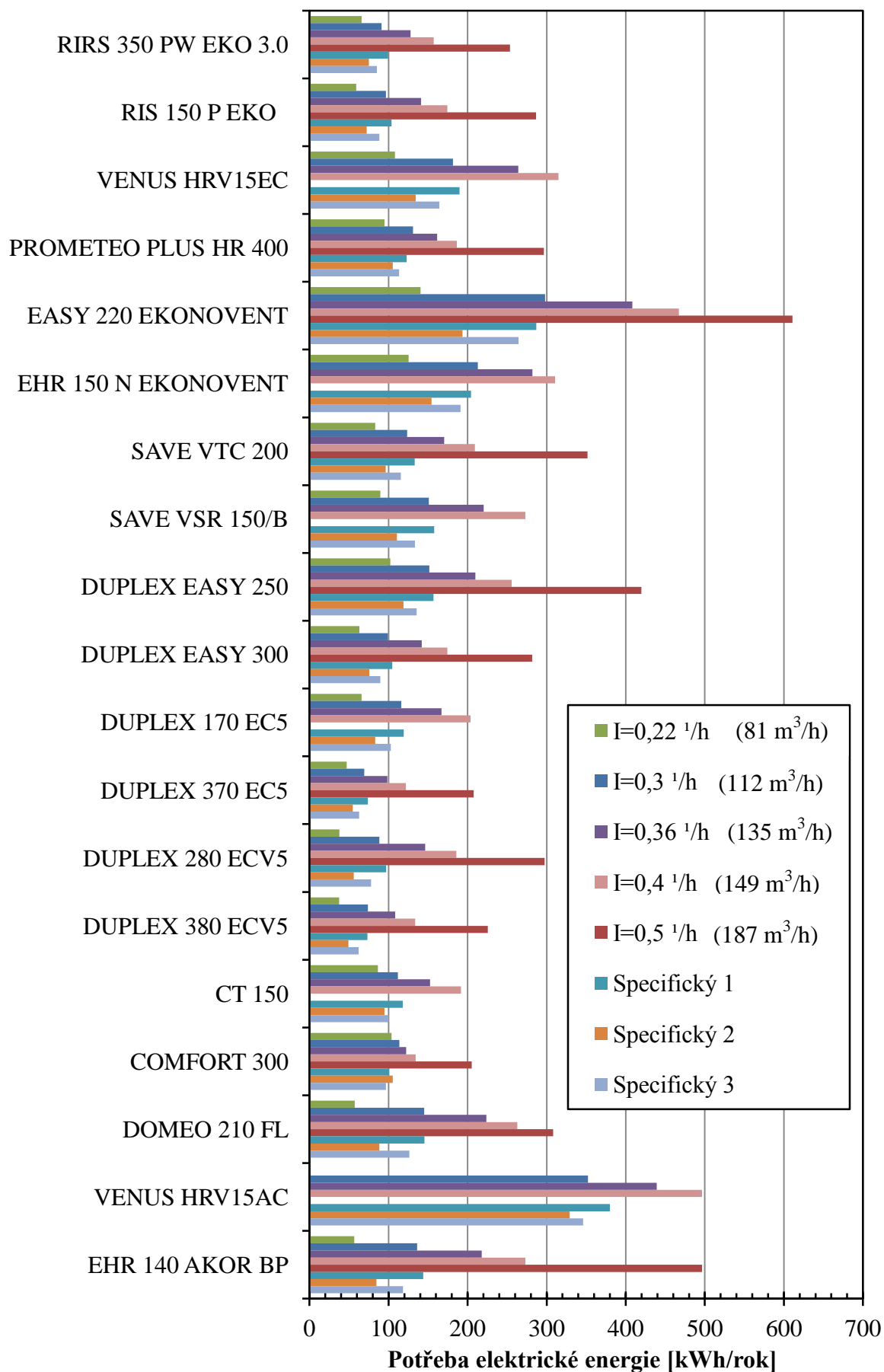
Obr. 4.10 Celková potřeba tepla na větrání při použití různých jednotek

Potřeba elektrické energie

Shrnutí výsledků z hlediska potřeby elektrické energie hodnocených větracích jednotek je uvedeno v *tabulce 4.9*, grafické porovnání na *obrázku 4.11*.

Tab. 4.9 *Potřeba elektrické energie ventilátorů hodnocených větracích jednotek*

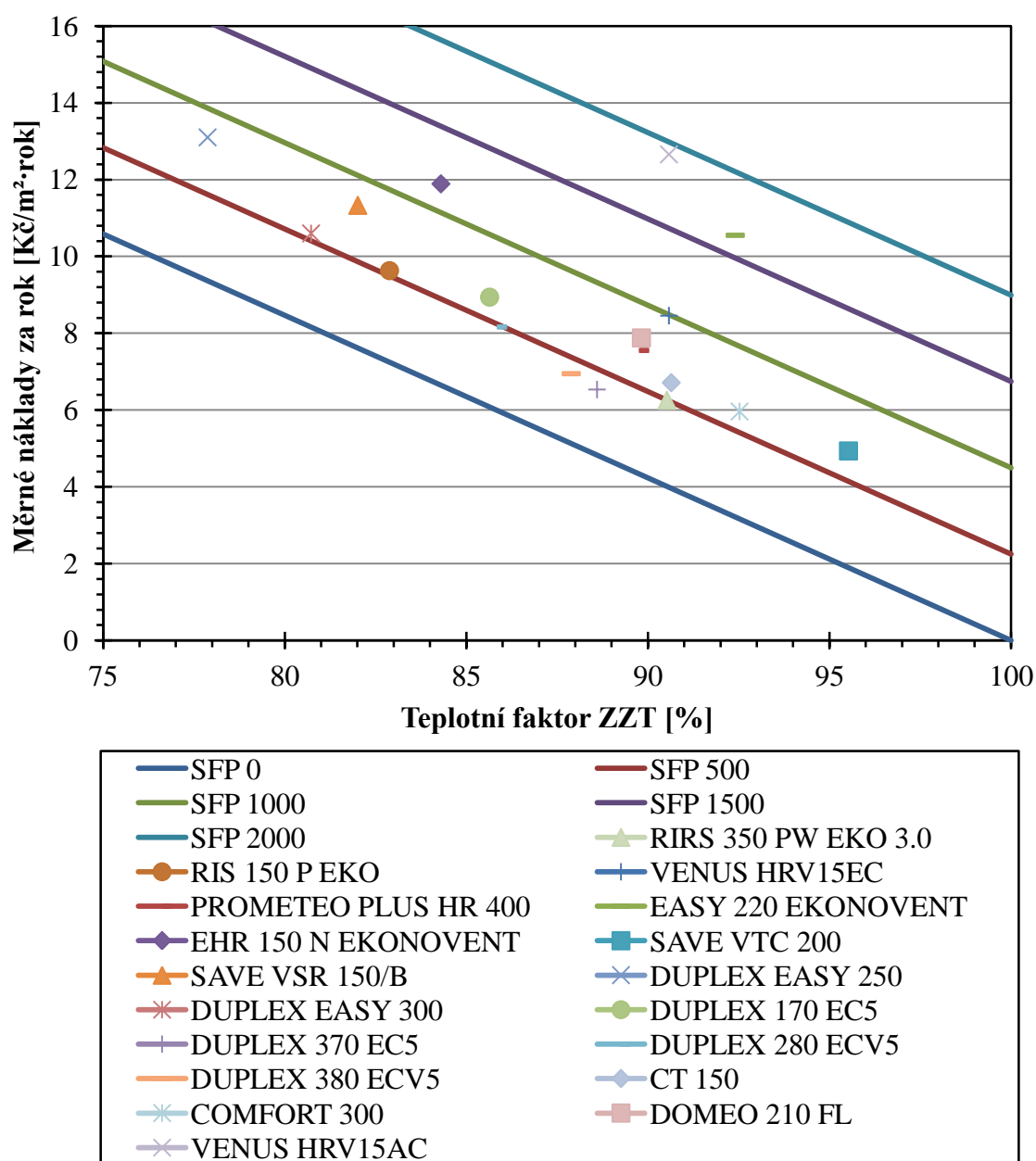
č. zař.	Potřeba elektrické energie na pohon ventilátorů [kWh/rok]							
	Celková intenzita větrání [^l /h]					Specifický režim větrání		
	0,22	0,3	0,36	0,4	0,5	1	2	3
1	66	91	128	157	254	99	75	85
2	59	97	141	174	287	104	72	88
3	108	182	264	315	x	190	134	164
4	95	131	161	187	296	123	105	113
5	141	298	408	467	611	287	193	264
6	125	213	282	311	x	204	154	191
7	96	109	155	208	338	126	90	103
8	90	151	220	273	x	158	110	133
9	102	152	210	256	420	157	119	136
10	63	99	142	174	282	105	76	89
11	66	116	167	204	x	119	83	103
12	47	69	98	122	208	74	55	63
13	38	88	146	186	297	97	56	78
14	38	74	108	134	226	73	49	62
15	87	112	153	192	x	118	95	100
16	104	114	122	134	205	101	105	97
17	57	145	224	263	308	145	88	126
18	x	352	439	496	x	380	329	346
19	56	136	218	273	497	144	85	118
SFP [W.s/m ³]	0	0	0	0	0			
	500	66	91	110	122	152		
	1000	132	183	221	244	305		
	1500	199	274	331	366	457		
	2000	265	366	441	487	609		



Obr. 4.11 Potřeba elektrické energie větracích jednotek

4.8 ROČNÍ PLATBY ZA ENERGIE

Vzájemné porovnání větracích jednotek z hlediska nákladů na 1 m² vnitřní podlahové plochy modelového rodinného domu při průtoku větracího vzduchu 112 m³/h ($I_c = 0,3$ 1/h) je vyobrazeno na *obrázku 4.12* (ostatní výsledky viz *příloha 3*). Veškeré výpočty jsou prováděny pro klimatickou oblast Prahy, proto je jako zdroj tepla voleno CZT s cenou 1,8 Kč/kWh. Dodávka elektrické energie je volena podle tarifu D02d, který je nejběžnější pro rodinné domy. Předpokládaná cena elektrické energie v tomto tarifu je 4,5 Kč/kWh.



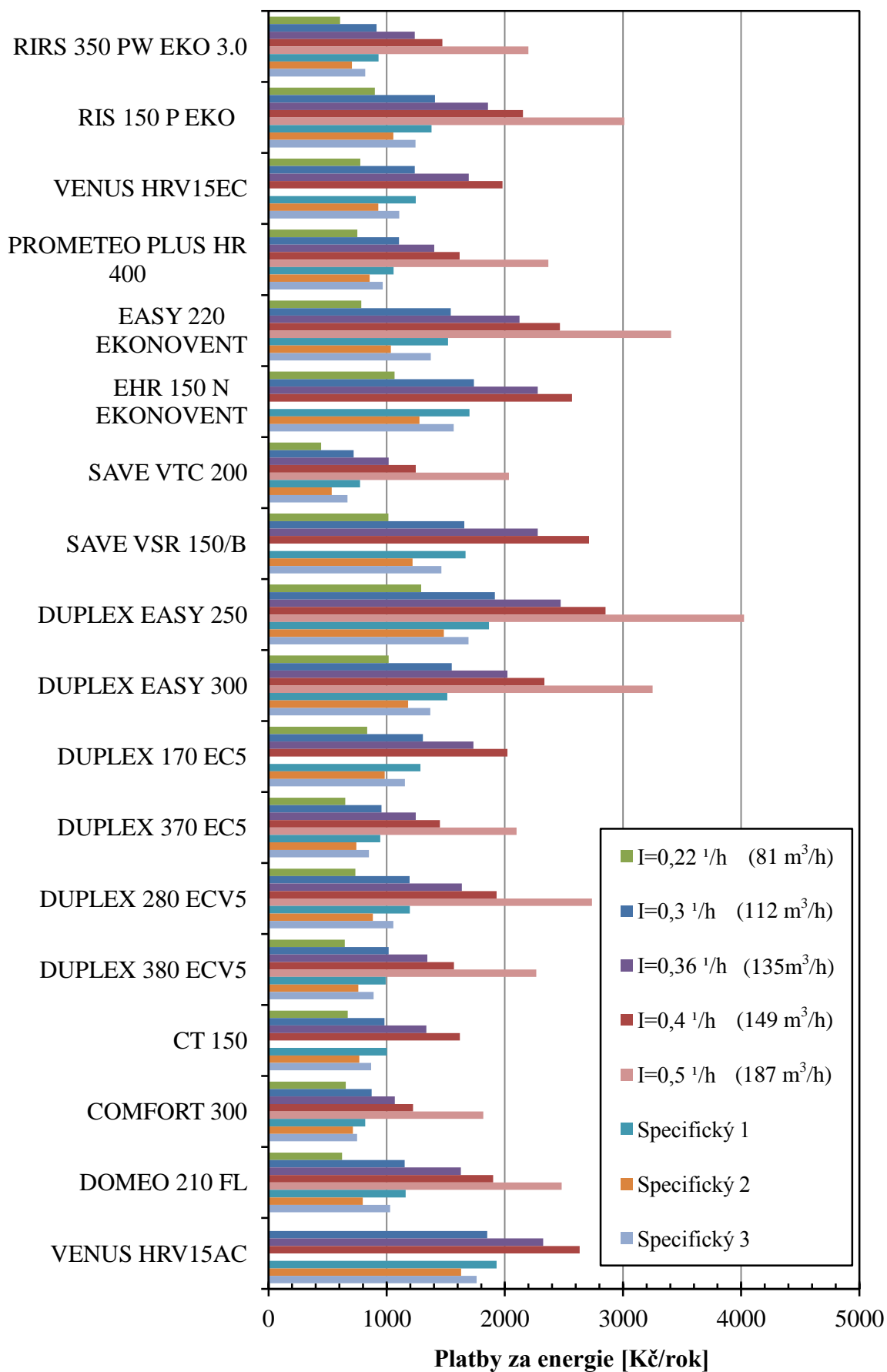
Obr. 4.12 Měrné náklady na energii při celkové intenzitě větrání 0,3 1/h (112 m³/h)

Nejnižší platby za energie z hodnocených zařízení má při větrání s intenzitou 0,3 1/h větrací jednotka SAVE VTC 200. Tato skutečnost je dána kombinací vysoké účinnosti zpětného získávání tepla ($\varphi_{zst} = 95,5 \%$) a nízkou hodnotou měrného elektrického příkonu ($SFP = 675 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$). Roční platba za energie je 722 Kč. Další větrací jednotky s nízkou platbou za energie jsou např. COMFORT 300 (872 Kč/rok), RIRS 350 PW EKO 3.0 (915 Kč/rok), DUPLEX 370 EC5 (956 Kč/rok). Zmíněná větrací zařízení patří mezi nejúspornější i při jiných průtocích vzduchu. Opakem jsou větrací jednotky DUPLEX EASY 250, VENUS HRV15AC, EHR 150 N EKONOVENT, SAVE VSR 150 B, které mají nejvyšší roční náklady na energie. První uvedená má nejnižší teplotní faktor ZZT ($\varphi_{zst} = 77,9 \%$) ze všech porovnávaných větracích jednotek, a i přes poměrně nízký měrný elektrický příkon ($SFP = 830 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$) jsou roční platby za energie 1 916 Kč. Větrací jednotka VENUS HRV15AC má naopak vysokou účinnost zpětného získávání tepla ($\varphi_{zst} = 90,6 \%$), ale neúsporné asynchronní motory s měrným elektrickým příkonem 1 927 $\text{W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$. Roční platba za energie je 1 851 Kč. Výrobce dodává stejný model této větrací jednotky, ale s elektricky komutovanými motory VENUS HRV15EC. Díky těmto motorům dochází k úspoře 614 Kč/rok.

Roční platby za energie pro jiné intenzity a režimy větrání modelového rodinného domu jsou shrnuty v *tabulce 4.10*. *Obrázek 4.13* udává grafické porovnání hodnocených větracích jednotek. Intenzity větrání 0,22 1/h a 0,36 1/h reprezentují požadavek minimálního resp. doporučeného větrání z hlediska normy ČSN EN 15665/Z1.

Tab. 4.10 Celkové platby za energie (teplo 1,8 Kč/kWh, elektřina 4,5 Kč/kWh)

č. zař.	Celková platba za energie [Kč/rok]							
	Celková intenzita větrání [^l /h]					Specifický režim větrání		
	0,22	0,3	0,36	0,4	0,5	1	2	3
1	607	915	1238	1471	2199	932	707	819
2	899	1408	1858	2153	3010	1380	1057	1243
3	776	1237	1696	1980	x	1246	930	1106
4	752	1105	1403	1618	2368	1058	856	966
5	785	1543	2124	2467	3408	1519	1035	1374
6	1067	1739	2279	2568	x	1700	1278	1566
7	445	722	1017	1246	2035	774	534	668
8	1015	1657	2279	2713	x	1668	1219	1464
9	1291	1916	2473	2851	4023	1866	1483	1693
10	1018	1550	2023	2335	3251	1514	1182	1369
11	835	1307	1734	2022	x	1286	984	1154
12	649	956	1246	1451	2100	945	745	850
13	735	1194	1637	1930	2737	1197	884	1057
14	646	1016	1345	1569	2266	991	760	889
15	671	982	1336	1619	x	1002	768	868
16	654	872	1069	1224	1818	818	715	751
17	622	1152	1628	1901	2481	1161	798	1030
18	x	1851	2325	2634	x	1930	1631	1761
SFP [W.s/m ³]	0	4487	6192	7478	8256	10320		
	500	4725	6521	7875	8695	10869		
	1000	4963	6850	8272	9134	11417		
	1500	5202	7179	8670	9572	11965		
	2000	5440	7508	9067	10011	12514		



Obr. 4.13 Celkové platby za energie zkoumaných větracích jednotek

4.9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ

Z předchozích výpočtů je patrné, že na stanovení potřeby energie na větrání se podílí dva parametry, a to účinnost ZZT a měrný příkon ventilátorů. Každý z nich určuje rozdílný druh energie, a proto není vhodné přímé porovnání větracích systémů z hlediska součtu těchto energií. Jako adekvátní se jeví zahrnout do porovnání ceny jednotlivých energií. Takové posouzení poté stanovuje ekonomický provoz větracího systému z hlediska potřeby energie. Pro porovnání větracích jednotek za předpokladu, že se polovina elektrického příkonu na pohon ventilátorů přemění na teplo a předá přívodnímu vzduchu, byl sestaven parametr nazvaný *EHV* (*ekonomické hodnocení větrání*) daný vztahem (13). Vstupními hodnotami pro určení parametru jsou ceny energie, teplotní faktor ZZT a měrný příkon větrací jednotky.

$$EHV = ((1 - \varphi_{zzt}) \cdot K - 0,5 \cdot SFP) \cdot n_{oh} + SFP \cdot n_{el} \text{ [Kč/m}^3\text{]} \quad (13)$$

Konstanta K je specifická pro danou klimatickou oblast a vychází z rozdílů vnitřní teploty v budově a průměrné venkovní teploty stanovené z doby, kdy je větrací zařízení v chodu (obvykle otopné období). Stanovení konstanty K je dáno vztahem (14) a pro klimatickou oblast Prahy ($t_{ep} = 4,47 \text{ °C}$ – TRY Praha) je její hodnota $K = 18\,822$.

$$K = \rho \cdot c \cdot (t_i - t_{ep}) \text{ [J/m}^3\text{]} \quad (14)$$

Pro správnost výsledku je nezbytné, abychom do vztahů (13) a (14) dosadili hodnoty v odpovídajících jednotkách. Fyzikální veličiny je nutné dosadit v základních jednotkách. Pokud je teplotní ZZT uveden v procentech, musí se vydělit 100, aby byl v bezrozměrném vyjádření. Hodnoty měrného příkonu je taktéž nutné dosadit v základních jednotkách, tedy $\text{W}\cdot\text{s/m}^3$. Ceny obou energií musí být v jednotném vyjádření, např.: Kč/kWh.

EHV pro posuzované větrací jednotky

Vstupní hodnoty větracích jednotek pro stanovení parametru *EHV* při trvalém rovnotlakém větrání modelového rodinného domu s různou celkovou intenzitou větrání jsou uvedeny v *tabulce 4.11*.

Tab. 4.11 Účinnost ZZT a SFP větracích jednotek při návrhu větrání do modelového RD

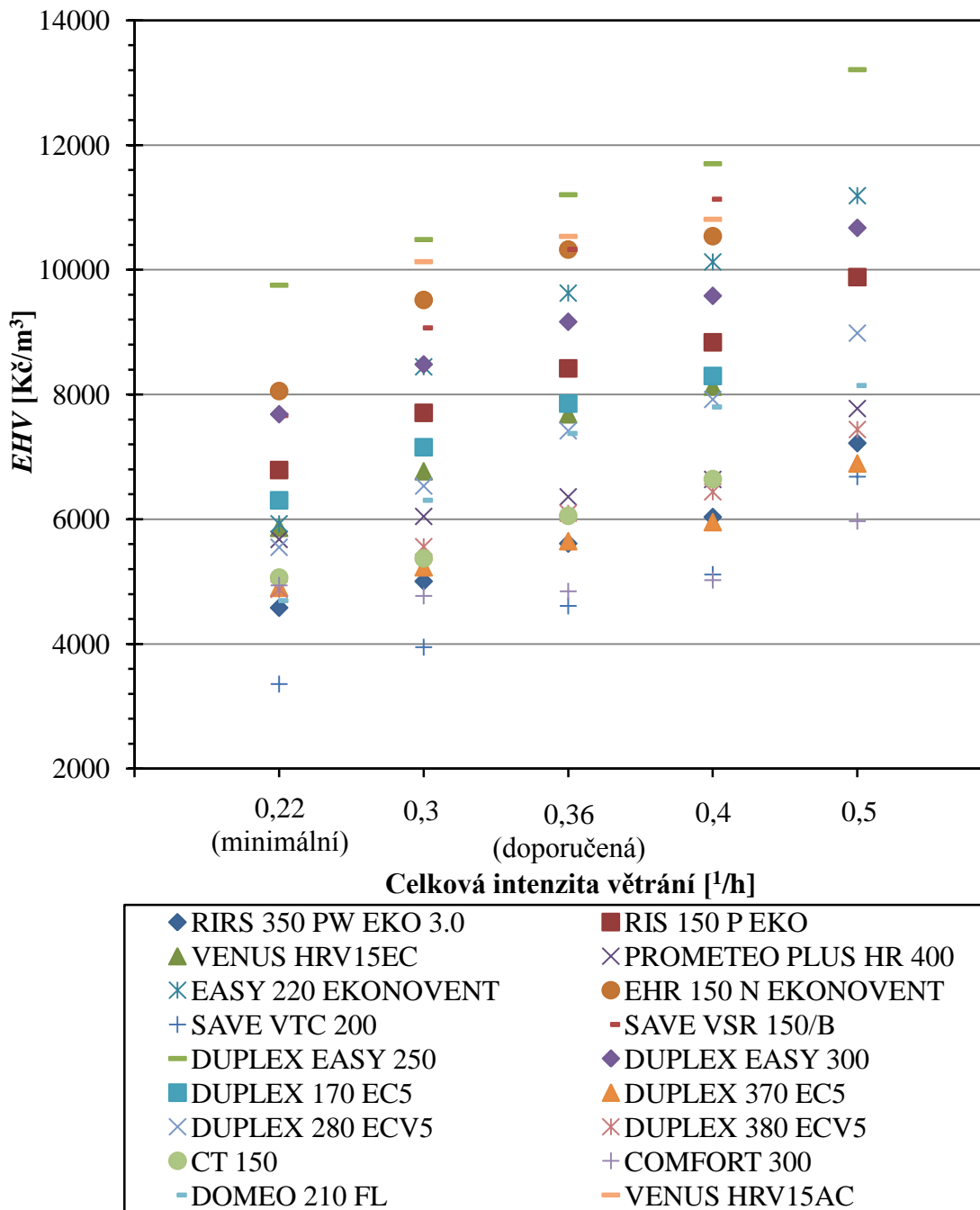
č. zař.	Trvalé větrání									
	$I_c = 0,22 \text{ 1/h}$		$I_c = 0,3 \text{ 1/h}$		$I_c = 0,36 \text{ 1/h}$		$I_c = 0,4 \text{ 1/h}$		$I_c = 0,5 \text{ 1/h}$	
	φ_{zzt}	SFP	φ_{zzt}	SFP	φ_{zzt}	SFP	φ_{zzt}	SFP	φ_{zzt}	SFP
	[%]	[W·s/m ³]	[%]	[W·s/m ³]	[%]	[W·s/m ³]	[%]	[W·s/m ³]	[%]	[W·s/m ³]
1	91,8	497	90,5	498	89,6	579	89,0	644	87,5	833
2	84,7	445	82,9	530	81,9	639	81,5	715	80,8	941
3	91,4	817	90,6	993	90,0	1197	89,7	1292	x	x
4	90,9	716	89,8	717	89,0	731	88,5	765	87,4	973
5	93,8	1061	92,4	1631	91,2	1849	90,5	1917	88,3	2005
6	86,3	947	84,3	1166	83,1	1277	82,4	1274	x	x
7	96,8	627	95,5	675	94,6	772	94,0	858	92,5	1154
8	84,6	677	82,0	826	80,1	998	79,1	1121	x	x
9	79,4	772	77,9	830	77,0	951	76,6	1050	75,7	1378
10	82,4	476	80,7	542	79,8	644	79,3	716	78,3	924
11	86,7	497	85,6	636	84,9	757	84,4	835	x	x
12	89,3	355	88,6	379	88,1	446	87,7	501	86,9	682
13	86,6	285	85,9	484	85,1	663	84,7	763	83,9	976
14	88,6	284	87,9	404	87,2	491	86,8	549	85,9	741
15	92,0	654	90,6	611	89,5	691	88,7	786	x	x
16	93,8	784	92,5	621	91,6	555	91,0	551	89,5	673
17	90,7	433	89,8	793	89,0	1013	88,4	1078	86,7	1012
18	x	x	90,6	1927	90,0	1989	89,7	2037	x	x

Po dosažení konstanty K , ceny tepla $n_{oh} = 1,8$ Kč/kWh, elektrické energie $n_{el} = 4,5$ Kč/kWh a parametrů hodnocených větracích jednotek byl určen EHV uvedený v tabulce 4.12.

Tab. 4.12 Parametr EHV posuzovaných větracích jednotek

č. zař.	EHV [Kč/m ³]				
	$I_c = 0,22$ 1/h	$I_c = 0,3$ 1/h	$I_c = 0,36$ 1/h	$I_c = 0,4$ 1/h	$I_c = 0,5$ 1/h
1	4581	5205	6035	4747	4927
2	6788	7674	8836	7107	7418
3	5862	7096	8127	6274	x
4	5676	5947	6638	5767	5821
5	5927	8381	10125	6960	8098
6	8055	9313	10538	8588	x
7	3357	4139	5113	3567	3839
8	7664	9198	11131	8175	x
9	9752	10536	11700	10009	10215
10	7683	8472	9582	7964	8213
11	6303	7291	8297	6639	x
12	4901	5362	5953	5030	5158
13	5550	6838	7921	5974	6458
14	4878	5642	6439	5138	5424
15	5064	5612	6644	5161	x
16	4939	4551	5023	4802	4507
17	4695	6399	7800	5384	6065
18	x	10163	10809	9900	x

Na obrázku 4.14 můžeme vidět vzájemné porovnání větracích zařízení pro trvalé režimy větrání podle uvedeného kritéria. Čím nižší hodnoty, tím nižší má zkoumané zařízení roční platby za energie. Z výsledků je patrné, že porovnání jednotlivých větracích jednotek koresponduje s výsledky předchozích kapitol.



Obr. 4.14 Porovnání větracích jednotek podle parametru EHV pro trvalé režimy větrání

Rovnice parametru EHV je univerzální pro všechny systémy větrání. Pokud chceme zhodnotit návrh přirozeného větrání (bez zpětného získávání tepla) dosadíme za hodnoty φ_{ztt} a SFP nulové hodnoty. Při vyhodnocení podtlakového větrání se vztah (13) mírně upraví, a to odstraněním členu “ $-0,5 \cdot SFP$ “. Za teplotní faktor ZTT se dosadí nulová hodnota a měrný příkon SFP se určí podle příkonu ventilátorů.

5. ZHODNOCENÍ RŮZNÝCH SYSTÉMŮ VĚTRÁNÍ

Platby za energie na větrání rodinných domů, případně jiných obytných budov, se liší podle použité koncepce větrání. Systémy nuceného rovnotlakého větrání se zpětným získáváním tepla se obecně vyznačují nízkými nároky na tepelnou energii, ale jejich pořizovací cena je poměrně vysoká proti systémům podtlakového nebo přirozeného větrání, které mají naopak vysoké nároky zejména na dodávku tepelné energie. Nabízí se tedy porovnání těchto řešení větrání z hlediska provozních a pořizovacích nákladů.

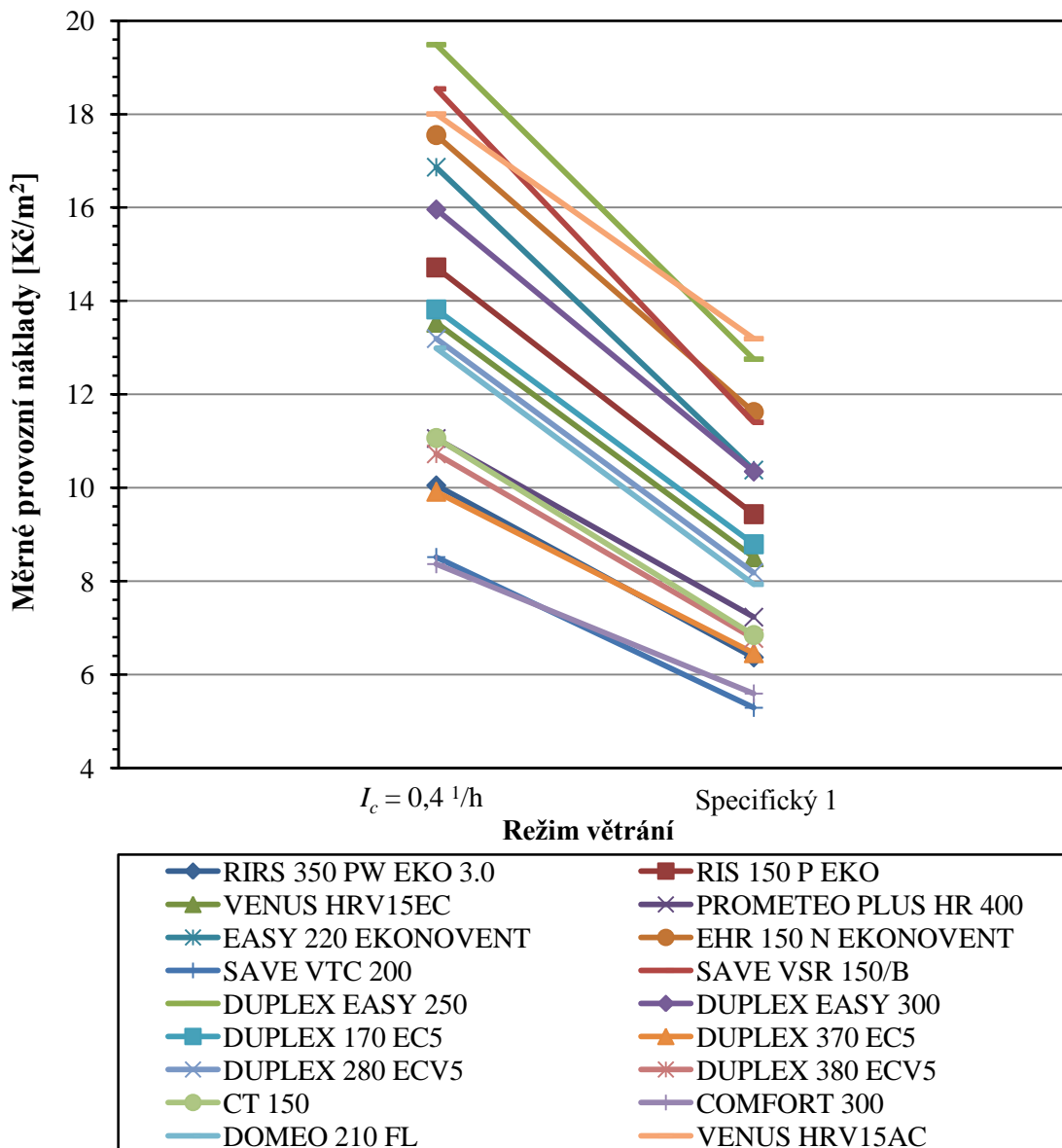
5.1 POROVNÁNÍ VĚTRACÍCH JEDNOTEK S REGULACÍ A BEZ REGULACE PRŮTOKU VZDUCHU

Nucené větrání jednotkami s výměníky zpětného získávání tepla poskytuje komfortní větrání z hlediska výměny vzduchu v objektu a úspor energií. V dnešní době nabízí trh poměrně širokou škálu větracích jednotek v různých cenových relacích. Rozdíly v cenách jednotlivých zařízení mohou být dány kvalitou vestavěných komponentů, propracovaností regulace atd. V provedené analýze trhu s větracími jednotkami umožňovaly všechny regulace jednotek nastavení aspoň tří hodnot průtoků vzduchu, a to většinou nezávisle na sobě. Lze soudit, že větrací jednotky pro rodinné domy bez možnosti regulace průtoků vzduchu jsou na trhu v minimálním množství (pravděpodobně zejména kvůli stále přísnějším požadavkům na spotřebu energie – “ecodesign“).

Porovnání větracích jednotek s regulací a bez regulace z hlediska pořizovacích a provozních nákladů už není v dnešní době aktuální – z důvodu nedostupnosti větracích jednotek bez regulace průtoků vzduchu. Nabízí se ale možnost porovnání větracích jednotek při různých režimech větrání. Pokud bychom chtěli demonstrovat výsledné hodnoty pro větrací jednotku bez regulace, provedeme stanovení potřeby energií (nákladů) při větrání s konstantním průtokem vzduchu. Aby byl systém s regulací průtoků vzduchu porovnatelný, musí být jeho maximální průtok vzduchu (bez nárazového větrání) stejný jako při režimu s konstantním průtokem vzduchu. Z vyhodnocených sad výsledků je tedy možné provést srovnání větrání při konstantní

intenzitě $I_c = 0,3 \text{ }^1/\text{h}$ se specifickými režimy č. 2 a 3, nebo intenzity $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$ se specifickým režimem č. 1. Specifický režim č. 2 a 3 simuluje větrací jednotky se základní regulací umožňující pouze dva průtoky vzduchu. Naopak specifický režim č. 1 střídá tři různé průtoky vzduchu a reprezentuje vyspělé regulace dostupné u většiny současných větracích jednotek pro rodinné domy.

Rozdíl porovnávaných režimů větrání je patrný z *obrázku 5.1*, ve kterém je vyjádřen pokles nákladů při větrání konstantním průtokem s $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$ a specifickým režimem č. 1. Závislost potřeby energie na průtoku vzduchu je u jednotlivých zařízení různá. Při větrání specifickými režimy je navíc zohledněn minimální větrací výkon jednotky, který je u některých zařízení vyšší, než je požadováno.



Obr. 5.1 Porovnání měrných nákladů při větrání větrací jednotkou bez a s regulací

Větrání specifickým režimem 1, tedy systémem s proměnným průtokem vzduchu, uspoří přibližně třetinu nákladů oproti systému s konstantním průtokem. Velikost úspory je různá pro jednotlivé větrací jednotky. Z výsledků je patrná obecně špatná regulace asynchronních motorů. Na příkladu větrací jednotky VENUS HRV15AC, která má asynchronní motory, můžeme vidět nižší úsporu při větrání s proměnným průtokem vzduchu oproti ostatním zařízením s elektricky komutovanými motory. Nejnižší náklady na energie při větrání intenzitou $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$ má větrací jednotka COMFORT 300 (1 224 Kč/rok) a SAVE VTC 200 (1 246 Kč/rok). Pokud posoudíme tyto zařízení s proměnným průtokem vzduchu, budou stále patřit mezi dvě nejúspornější, ale jejich pořadí se vzájemně prohodí.

Větrací jednotka SAVE VTC 200 má s využitím regulace průtoku vzduchu roční náklady na energie 774 Kč (úspora 37,9 % proti větrání s konstantní $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$), u větrací jednotky COMFORT 300 jsou roční platby za energie 818 Kč/rok (úspora 33,2 % proti větrání s konstantní $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$). Rozdíl v úsporách je dán výraznějším zlepšením parametrů SAVE VTC 200 při nízkých průtocích vzduchu než u COMFORT 300. Větrací jednotky DUPLEX EASY 250 (2 851 Kč/rok), SAVE VSR 150/B (2 713 Kč/rok) a VENUS HRV15AC (2 634 Kč/rok) mají v uvedeném pořadí nejvyšší finanční nároky za energie při větrání s konstantní intenzitou $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$. Pokud ovšem srovnáme tyto zařízení pro větrání s proměnným průtokem vzduchu, bude mít nejvyšší platby za energie VENUS HRV15AC (1 930 Kč/rok), jejíž úspora je oproti větrání s konstantní intenzitou $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$ pouze 26,7 %. Větrací jednotka DUPLEX EASY 250 je z hlediska plateb za energie (1 866 Kč/rok) při větrání s využitím regulace průtoku vzduchu druhá nejnáročnější. Její úspora proti větrání s konstantní intenzitou $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$ je 34,6 %. Větší úsporu (38,5 %) přináší SAVE VSR 150/B, díky tomu se ročními platbami za energie (1 668 Kč/rok) při větrání s proměnným průtokem vzduchu dostane na místo čtvrté nejnáročnější jednotky.

Úspora větracích jednotek s EC motory v platbách za energie při větrání s regulovaným průtokem vzduchu podle modelového specifického režimu 1 v porovnání s větráním konstantní intenzitou $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$ dosahuje 33 až 40 % podle větrací jednotky. Na českém trhu umožňuje velká část větracích jednotek pro rodinné domy nastavení denních a jiných režimů větrání nebo připojení čidel snímajících kvalitu vnitřního ovzduší za účelem získání vstupního signálu pro regulaci větracího výkonu jednotky. Pokud se obyvatelé domu rozhodnou nevyužívat možnost regulace průtoku vzduchu větrací jednotkou, mohou zbytečně vynaložit značné finanční prostředky.

5.2 POROVNÁNÍ RŮZNÝCH KONCEPCÍ VĚTRÁNÍ

Rodinné domy lze větrat několika způsoby. Pořizovací náklady jednotlivých systémů se výrazně liší a současně je velký rozdíl v jejich provozních nákladech. Porovnání je provedeno pro tři různé koncepce větrání. První z nich je nucené rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla. Instalací tohoto systému se nevyhneme, pokud chceme docílit, aby stavba byla v provedení pasivního standardu. Tento systém má totiž nejnižší nároky na potřebu energie, ovšem nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady. S menšími pořizovacími náklady lze instalovat systém trvalého nuceného podtlakového větrání. Ventilátory umístěné v místnostech se zdrojem škodlivin (koupelny, záchody, kuchyně atd.) odvádí znehodnocený vzduch pryč z budovy. Množství odsávaného vzduchu je díky podtlaku způsobenému ventilátory hrazeno přes otvory v obvodové konstrukci, např. okenní štěrbinu. Odváděnému vzduchu není odebíráno žádné teplo, proto je nutné, aby tepelnou ztrátu větráním hradila otopná soustava. V porovnávaných koncepcích jsou určeny dvě ceny pro trvalé nucené podtlakové větrání s úspornými a neúspornými ventilátory. Podrobný výpis jednotlivých prvků s cenami za dodávku a montáž je uvedeno v *příloze 4*. Na všechny zařízení, komponenty a montáž je vzata jednotná sazba DPH 21 %.

Návrhy porovnávaných koncepcí větrání modelového rodinného domu

1) Nucené rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla

Cena této koncepce je stanovena podle popisu vzduchotechnického rozvodu uvedeného v *kapitole 4.4*. Návrh uvažuje s instalací jednoho kombinovaného čidla vlhkosti a CO₂, případně čidla pohybového. Pořizovací náklady s průměrnou cenou větrací jednotky 45 000 Kč bez DPH byly stanoveny na 110 475 Kč s DPH. Cena samostatného rozvodu bez vzduchotechnické jednotky činí 50 580 Kč s DPH.

2) Nucené podtlakové větrání úspornými ventilátory – $SFP = 500 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$

Modelový rodinný dům obsahuje tři místnosti sociálního zázemí, ze kterých je při nárazovém větrání nutné odvádět vzduch, proto jsou pro trvalé větrání navrženy tři nástěnné ventilátory s možností nastavení dvou hodnot průtoků vzduchu. Nižší průtok vzduchu je určen pro trvalé větrání, vyšší pro nárazové provětrání. Přepnutí režimů se provede například pomocí tlačítka nebo čidla vlhkosti či po nastaveném časovém

doběhu, který je integrován ve ventilátoru. Díky vyhodnocené informaci se vrátí otáčky zpět na nízký průtok vzduchu. Moderní ventilátory, umožňující výše popsané větrání, jsou sice nákladnější, ale mají i nižší spotřebu energie. Předpokládaný měrný elektrický příkon ventilátoru je $500 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$. Výfuk odváděného vzduchu se uvažuje přes obvodovou stěnu kruhovým potrubím se zpětnou klapkou zakončeným samotížnou protidešťovou žaluzií. Úhrada odsávaného vzduchu je umožněná okenními štěrbinami s regulací průtoku vzduchu. Cena nuceného podtlakového větrání v úspornější variantě je stanovena na 37 275 Kč s DPH.

3) Nucené podtlakové větrání neúspornými ventilátory – $SFP = 2000 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$

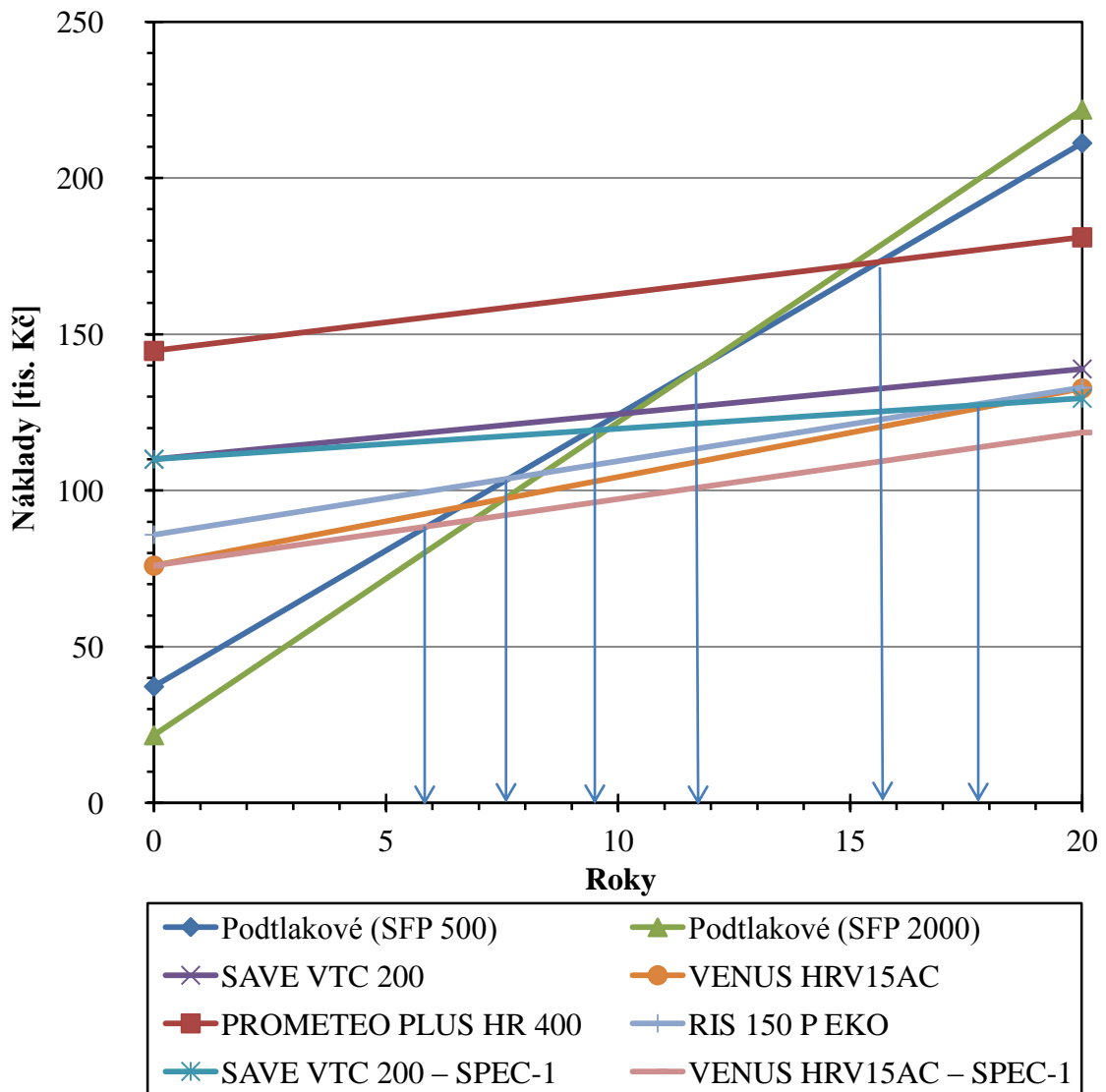
Způsob větrání je obdobný, jak je uvedeno výše u nuceného podtlakového větrání, ale za předpokladu použití základních modelů ventilátorů, které neumožňují nastavení průtoku vzduchu. Pokud chceme takovými ventilátory trvale větrat, je často nutné snížit jejich předdimenzovaný vzduchový výkon regulátorem otáček. Měrný elektrický příkon základních ventilátorů můžeme předpokládat $2000 \text{ W}\cdot\text{s}/\text{m}^3$. Pořizovací náklady pro modelový rodinný dům jsou vyčísleny na 21 713 Kč s DPH.

Porovnání investičních a provozních nákladů

Pro porovnání větracích systémů byla zvolena intenzita větrání $I_c=0,4^1/\text{h}$, při které se průtok vzduchu přibližuje doporučeným požadavkům na větrání rodinných domů podle ČSN EN 15665/Z1. Na *obrázku 5.2* je pro modelový rodinný dům znázorněn průběh provozních nákladů s ohledem na pořizovací ceny jednotlivých zařízení. Potřeba energií je stanovena podle TRY pro oblast Prahy. Cena tepla je 1,8 Kč/kWh, cena elektrické energie 4,5 Kč/kWh. Vliv růstu cen jednotlivých energií se neuvažuje. V případě nuceného větrání větrací jednotkou je nutné zohlednit výměnu filtrů po určitém časovém období. Předpokládané náklady spojené s výměnou filtrů jsou 200 Kč/rok s DPH.

Kvůli velkému množství dat bylo ke dvěma podtlakovým systémům do porovnání vybráno pouze několik větracích jednotek se zpětným získáváním tepla, které se vyznačují specifickou vlastností. Mezi vybranými větracími jednotkami je SAVE VTC 200, která patří mezi nejúspornější. Nejnižší investiční náklady z větracích jednotek má RIS 150 P EKO, nejvyšší naopak PROMETEO PLUS HR 400. Vyobrazena je také VENUS HRV15AC, která má AC motory. Pro tuto jednotku a

SAVE VTC 200 je uveden také průběh nákladů při větrání s proměnným průtokem podle specifického režimu 1.



Obr. 5.2 Investiční a provozní náklady vybraných větracích systémů ($I_c = 0,4 \text{ } ^1/h$)

Obrázek 5.2 vystihuje průběh nákladů na větrání s uvažováním vstupních investic. Je patrné, že vyšší pořizovací investice pro případ rovnotlakého větrání nemusejí tento systém stavit do nevýhodné pozice z hlediska návratnosti v porovnání s podtlakovými systémy. Jako zásadní by se dala označit vstupní investice, poněvadž vzájemný rozdíl z hlediska provozních nákladů není mezi větracími jednotkami až tak vysoký. K vyrovnání celkových nákladů mezi nejlevnější větrací jednotkou VENUS HRV15AC při větrání specifickým režimem 1 a s úspornějším podtlakovým systémem dojde přibližně za 6 let a s neúsporným za 7 let. U větracích jednotek s EC motory se

celkové náklady v porovnání s podtlakovými systémy srovnají v průběhu téměř 8 až 16 let. Ve výsledku to znamená, že větrací jednotka bude po této době výhodnější z hlediska celkových nákladů. Na druhou stranu je nutné si uvědomit, jaká bude hranice životnosti jednotlivých větracích zařízení, kdy např. srovnání nákladů po 16 letech může být za hranicí životnosti větrací jednotky.

Investice do úspornějších ventilátorů z hlediska spotřeby elektrické energie pro podtlakové větrání nepřináší tolik žádaný výsledek. K vyrovnání nákladů s elektricky neefektivními ventilátory dojde téměř po 12 letech, což je podle zdroje [16] více než jejich dvojnásobná životnost. Avšak moderní úsporné ventilátory se nevyznačují pouze nízkou spotřebou elektrické energie, často jsou upřednostňovány také z důvodu nízkého hlukového projevu nebo designu.

6. ZÁVĚR

Větrání obytných budov je často opomíjená nebo nedostatečně řešená problematika, jak z důvodu neznalosti stavebních projektantů případně investorů, tak z nátlaku na co nejnižší cenu dodávky díla. S nedostatečným větráním vznikají problémy, které si dotčené osoby ani nemusí uvědomovat. Nedostatek čerstvého vzduchu se může projevat únavou a při dlouhodobém pobytu v nevětraném prostoru mohou nastat vážné zdravotní obtíže. Větrání obytných budov není spojeno jen s pobytem osob, ale také s životností stavby, kdy například nadměrné množství vodní páry a její případná kondenzace na chladných površích může narušovat samotnou statiku konstrukce.

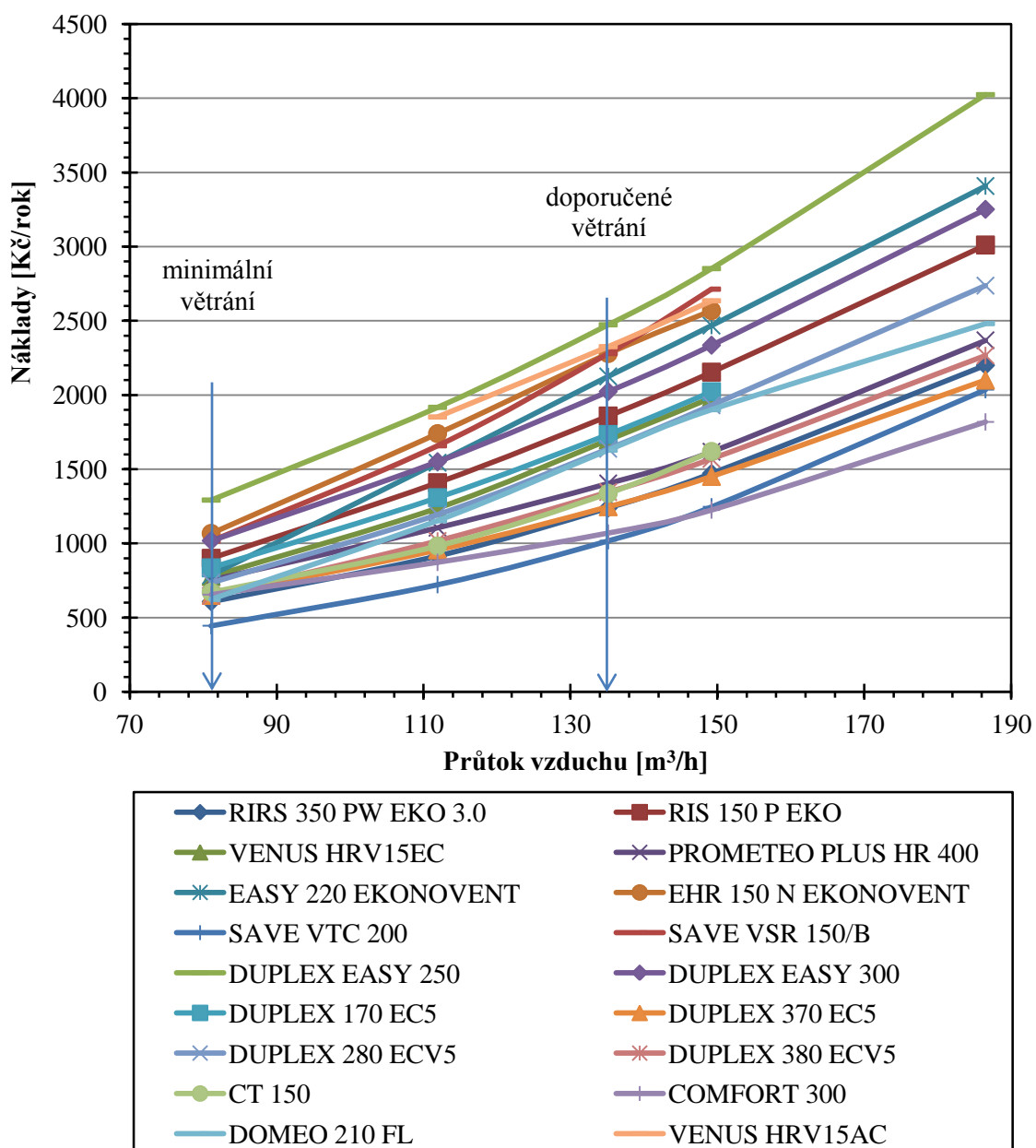
Cílem větrání obytných budov je zaručení komfortu, zdravého prostředí, nezávadnosti za současného splnění energetické úspornosti a hospodárnosti, čehož se nedá dosáhnout větráním současnými těsnými okny ani za předpokladu jejich otevřítelnosti. Návrh větrání tudíž vede na nucené způsoby.

Požadavky na přívod čerstvého venkovního vzduchu jsou dány normou ČSN EN 15665 s národní přílohou v podobě změny Z1. Výsledkem analýzy větrání rodinných domů pro běžnou výstavbu bylo zjištěno, že minimální požadavek na přívod čerstvého vzduchu vzhledem k celkovému vnitřnímu objemu budovy je dán intenzitou $0,22 \text{ }^1/\text{h}$, avšak doporučená hodnota celkové intenzity větrání je $0,36 \text{ }^1/\text{h}$. Výsledky se pro jednotlivé typy domů příliš neliší. Z analýzy bylo také zjištěno, že velikost domu není pro stanovení celkové intenzity větrání rozhodující, záleží spíše na architektonickém návrhu.

Podíl na celkové potřebě energie na větrání má jak tepelná energie na pokrytí tepelné ztráty větráním, tak elektrická energie nutná pro pohon ventilátorů. Obě energie jsou závislé na parametrech větracího systému, a to teplotním faktoru ZZT a měrném příkonu ventilátorů. Na příkladu rodinného domu je v kapitole 4.1 a 4.2 stanovena potřeba tepelné a elektrické energie na větrání podle TRY (Praha) pro obecné parametry větracích zařízení při různých intenzitách větrání.

Výpočet potřeby energie byl podložen analýzou trhu ČR konkrétních typů větracích jednotek. Do analýzy bylo zahrnuto 38 větracích jednotek, avšak z důvodu nedostatečných podkladů se podařilo určit obě potřebné energie pouze u 18 z nich. Závislost vystihující roční platby větracích jednotek je uvedena na obrázku 6.1. Je

patrné, že potřeba energie větracích jednotek se zvyšuje s rostoucím průtokem vzduchu, a to nejen vlivem většího objemu vzduchu, ale také i kvůli horšícím se hodnotám teplotního faktoru ZZT a měrného příkonu ventilátorů. Je však nutno uvést, že ve skutečném provozu budou náklady vyšší v důsledku zamrznání výměníku ZZT v zimním období.



Obr. 6.1 Platby za energii na větrání vyhodnocených větracích jednotek ($n_{oh} = 1,8 \text{ Kč/kWh}$, $n_{el} = 4,5 \text{ Kč/kWh}$)

Obsazenost obytných budov je proměnná a po většinu doby není nutný dimenzovaný výkon větracího zařízení. Tuto problematiku řeší systémy s regulovaným průtokem vzduchu např. podle hladiny škodliviny ve větraném prostoru (měření čidly). V aplikacích pro rodinné domy ovšem nastává problém s nalezením vhodného referenčního místa pro umístění čidla, proto je většina větracích jednotek vybavena systémem umožňující nastavení nebo volbu denních režimů. Vzhledem ke stále zvyšujícím se požadavkům na energetická zařízení v rámci EU prakticky vymizely z trhu větrací jednotky bez regulace průtoku vzduchu. Proto nelze provést porovnání větracích systémů s regulací a bez regulace průtoku vzduchu vzhledem k investičním a provozním nákladům. V důsledku řešené problematiky však bylo zjištěno, že úspora nákladů na energie při větrání s proměnným průtokem vzduchu proti větrání s konstantním průtokem je u stejných větracích jednotek 30 až 40 %.

Pro porovnání větracích jednotek, ale i různých větracích systémů, byl sestaven parametr ekonomického hodnocení větrání *EHV* vystihující jak tepelnou energii na pokrytí tepelných ztrát větráním, tak elektrickou energii nutnou pro pohon ventilátorů. Aby bylo možné uvést tyto energie do stejné roviny, je hodnotící parametr vztažen k cenám energie. Vstupními údaji je pouze teplotní faktor *ZZT* a měrný příkon ventilátorů a případně klimatická data pro danou oblast.

V rodinných domech respektive bytech se často navrhuje dvě různé koncepce nuceného větrání, a to nucené podtlakové a nucené rovnotlaké. Rovnotlaký větrací systém má vyšší pořizovací náklady, ale využívá možnost zpětného získávání tepla ve výměnících větracích jednotek. Díky tomu má výrazně nižší nároky na energie, tudíž i platby za ně. Tento systém je proto vhodný do budov, které jsou navrhovány s požadavkem na nízkou potřebu energie (pasivní domy). Vstupní náklady jsou však zásadní, protože velmi drahá, i když úsporná větrací jednotka nemusí dorovnat náklady levnějšího podtlakového systému do své doby životnosti. Návržnost hodnocených větracích jednotek se *ZZT* proti podtlakovému systému s odvodními ventilátory se pohybuje v rozmezí 6 až 16 let, což pro nižší z hodnot je velmi uspokojivé.

Správně navržený a realizovaný větrací systém by neměl nikterak negativně ovlivňovat pohodu prostředí člověka a měl by splnit očekávané energetické nároky podle typů použitých zařízení.

7. ZDROJE

1. *Větrání energeticky úsporných domů - způsoby větrání budov (I)*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 8. 11. 2004). [cit. 20. 9. 2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2228-vetrani-energeticky-uspornych-domu-zpusoby-vetrani-budov-i>
2. *Způsoby větrání bytů a rodinných domů*. [online] Vega s.r.o. (vyd. 27. 1. 2016). [cit. 20. 9. 2016]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zpusoby-vetrani-bytu-a-rodinnych-domu/>
3. ZMRHAL, V., *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014. 96 s. ISBN 978-80-247-4573-2
4. *Systémy větrání obytných budov*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 17. 10. 2011). [cit. 25. 9. 2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
5. *EC motory EC motory*. [online] VENTILA vzduchotechnika s.r.o. [cit. 27. 9. 2016]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-prodej.cz/clanky/ec-motory>
6. *Motory používané ve ventilátorech*. [online] ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s.r.o. [cit. 29. 9. 2016]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/web/faq/motory-pouzivane-ve-ventilatorech>
7. *Zpětné získávání tepla a větrání objektů*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 22. 3. 2010). [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
8. *Rozdělení výměníků a dalších prvků zajišťujících zpětné získávání tepelné energie*. [online] Karel Vopálka [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/ZZT-rekuperace-regenerace>

9. *Ventilation rates and IAQ in national regulations*. [online] REHVA (vyd. 1/2010). [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2012/012012/ventilation-rates-and-iaq-in-national-regulations.html>
10. ČSN EN 15 665/Z1 *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. 2011
11. SOJKOVÁ, K., *Potřeba tepla na vytápění a letní tepelná stabilita – rozdíly v závislosti na užívání budovy*. Praha: 6. konference IBPSA-CZ, 2010. 5 s.
12. *Zdroje energie pro pasivní domy*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 21. 3. 2013). [cit. 15. 10. 2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13943-zdroje-energie-pro-pasivni-domy>
13. *Požadavky na ekodesign větracích jednotek*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 21. 12. 2015). [cit. 28. 10. 2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/13613-pozadavky-na-ekodesign-vetracich-jednotek>
14. PUMP, O., *Nariadení evropské komise č. 1253/2014 – přísné podmínky pro výrobce vzduchotechnických jednotek*. [online] [cit. 28. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/download/38026>
15. *Matematické výpočty online (MAW)*. [online] MU v Brně [10/2016]. Dostupné z: <http://um.mendelu.cz/maw-html/index.php?lang=cs&form=lagrange>
16. *Životnost ložisek ventilátorů*. [online] ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s.r.o. [cit. 29. 12. 2016]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/web/faq/zivotnost-lozisek-ventilatoru>
17. *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 30. 1. 2012). [cit. 28. 10. 2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>

18. *Větrání a vytápění nízkoenergetických a pasivních obytných staveb (část I.)*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 31. 1. 2011). [cit. 28. 10. 2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/7116-vetrani-a-vytapeni-nizkoenergetickych-a-pasivnich-obytnych-staveb-cast-1>
19. ZMRHAL, V., *Potřeba energie pro větrání obytných budov*. VVI 01/2012, ISSN 1210-1389 . 6 s.
20. *Větrání a vytápění nízkoenergetických a pasivních obytných staveb (III. část)*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 28. 2. 2011). [cit. 28. 10. 2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/7190-vetrani-a-vytapeni-nizkoenergetickych-a-pasivnich-obytnych-staveb-iii-cast>
21. *Kolik stojí větrání domácnosti?* [online] JAGA GROUP, s. r. o. (vyd. 31. 1. 2012). [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/kolik-stoji-vetrani-domacnosti>
22. DRKAL, F., ZMRHAL, V. *Větrání*. Vysokoškolské skriptum. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2013.
23. *Zdroje energie pro pasivní domy*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 21. 3. 2013). [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13943-zdroje-energie-pro-pasivni-domy>
24. *Požadavky na ekodesign větracích jednotek*. [online] Topinfo s.r.o. (vyd. 21. 12. 2015). [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/13613-pozadavky-na-ekodesign-vetracich-jednotek>
24. *Větrání v pasivních domech*. [online] Centrum pasivního domu, z.s. (vyd. 19. 5. 2009). [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379?chapterId=1829>

25. Technické podklady výrobců:
- ATREA s.r.o.
 - Elektrodesign Ventilátory spol. s r.o.
 - TROX Austria GmbH
 - Systemair a.s.
 - 2VV s.r.o.
 - Multi-VAC spol. s r.o.
 - SORKE, spol. s r.o.
 - STIEBEL ELTRON spol. s. r. o.
 - Vortice Elettrosociali S.p.A.
 - Wolf Česká republika s.r.o.
 - NILAN s.r.o.
 - Viessmann, spol. s r.o.
 - ALDES spol. s. r. o.
 - Vaillant Group Czech s.r.o.
 - ŠTORC TZB s.r.o.

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 - Měrná potřeba tepla posuzovaných větracích jednotek (7 str.)

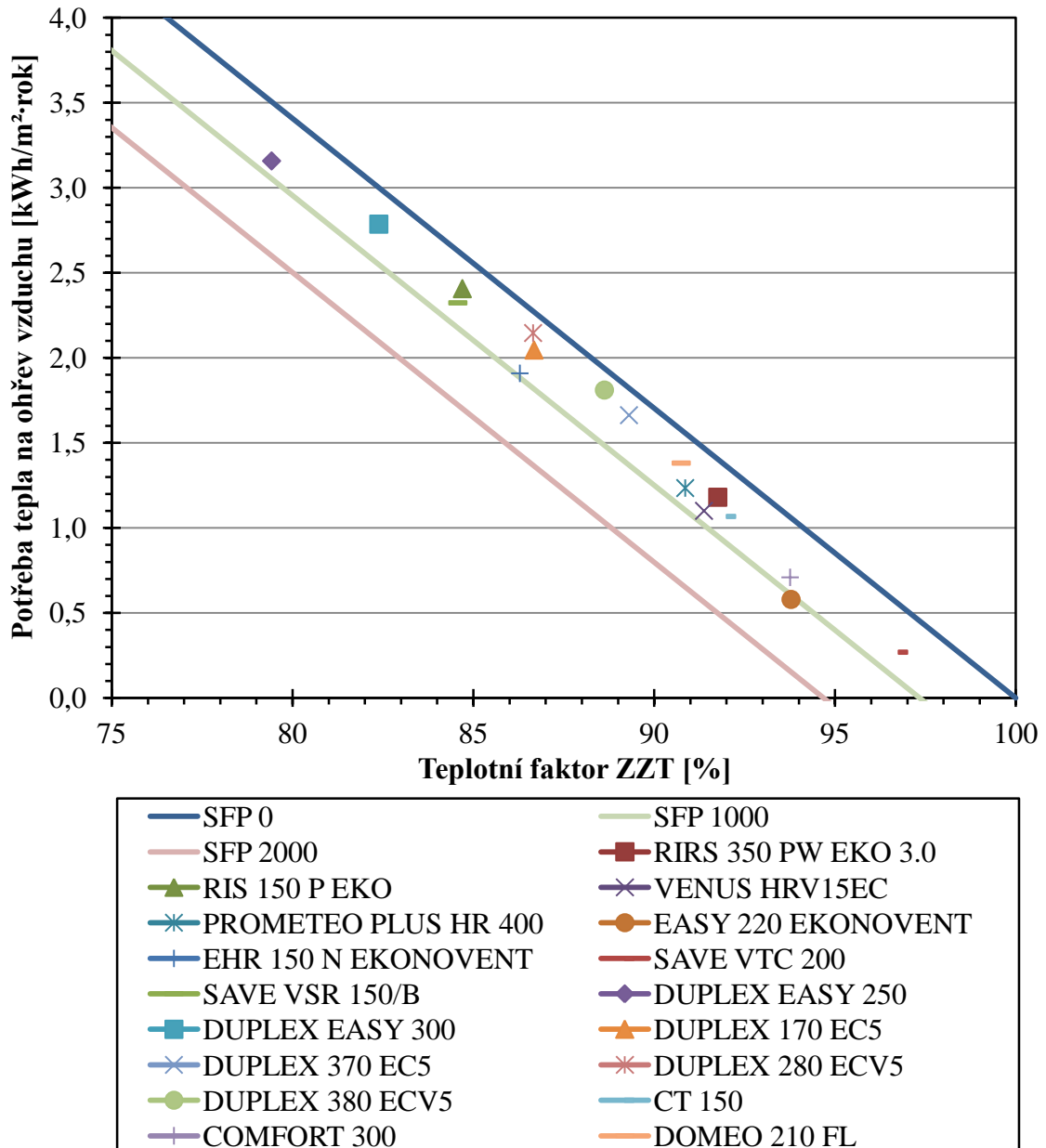
Příloha č. 2 - Měrná potřeba el. energie posuzovaných větracích jednotek (7 str.)

Příloha č. 3 - Měrné náklady na energie posuzovaných větracích jednotek (7 str.)

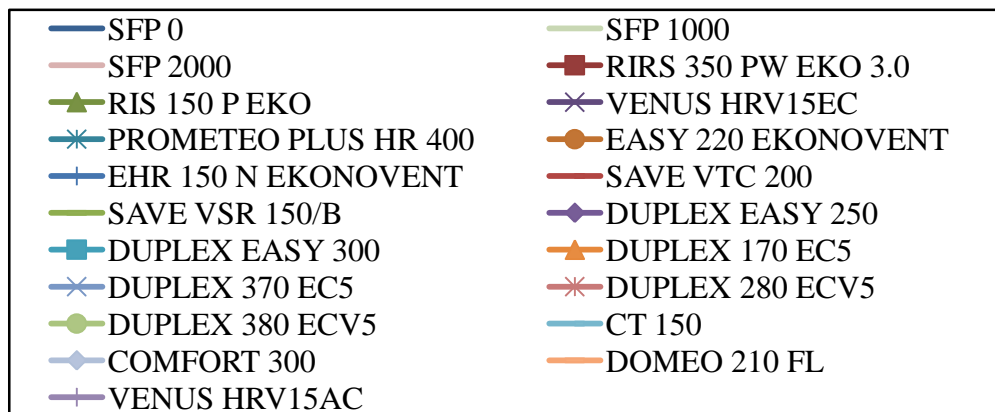
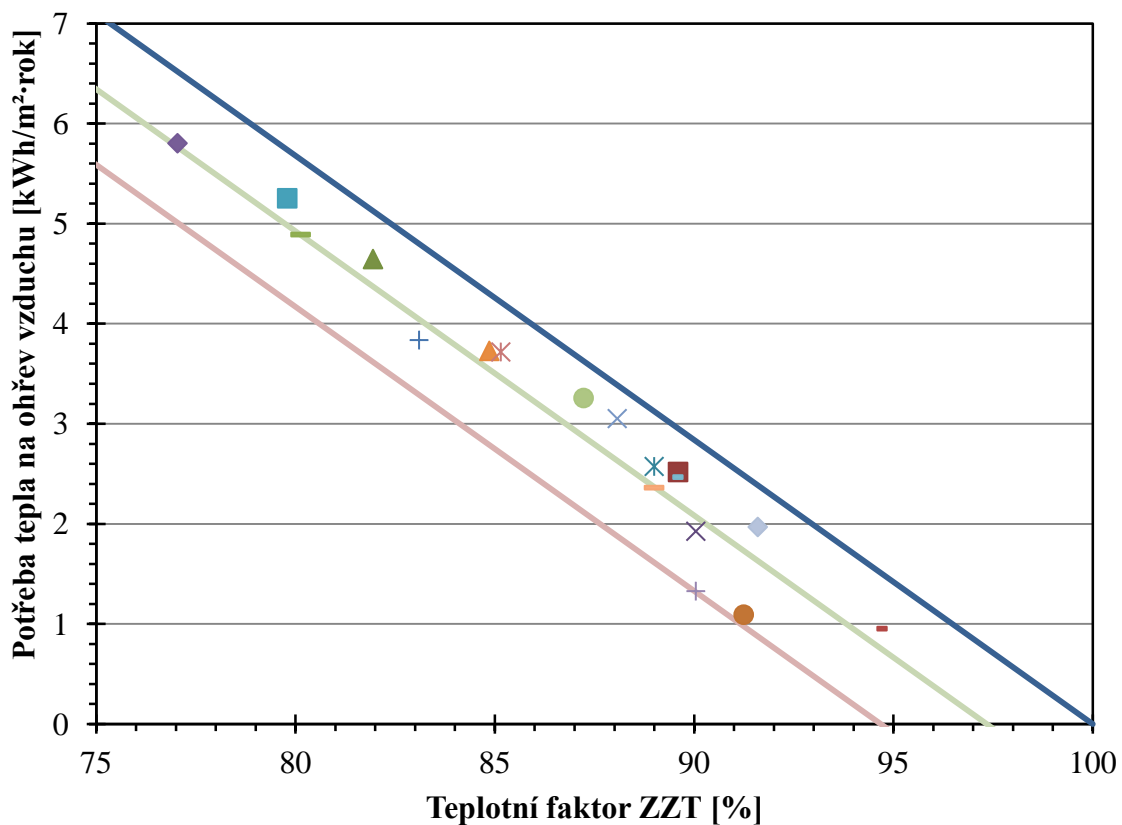
Příloha č. 4 - Rozpočet dodávek vzduchotechniky (4 str.)

Příloha č. 1 - Měrná potřeba tepla posuzovaných větracích jednotek

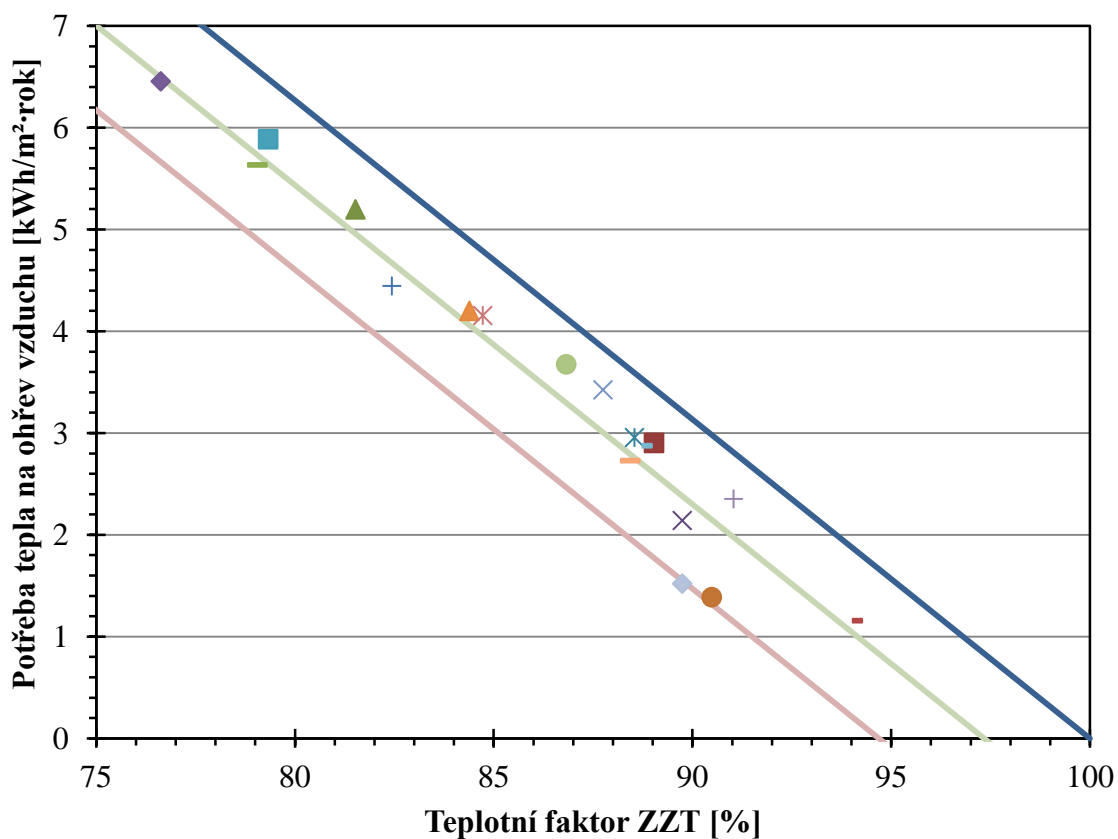
Potřeba tepla při $I_c = 0,22 \text{ }^1/\text{h}$



Potřeba tepla při $I_c = 0,36 \text{ }^1/\text{h}$

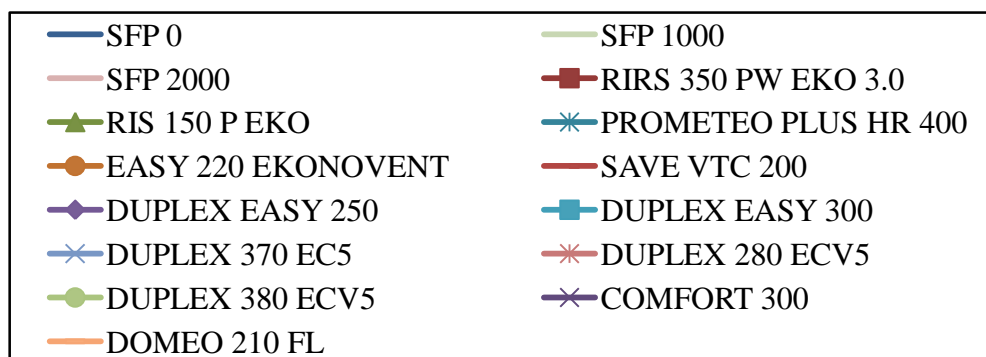
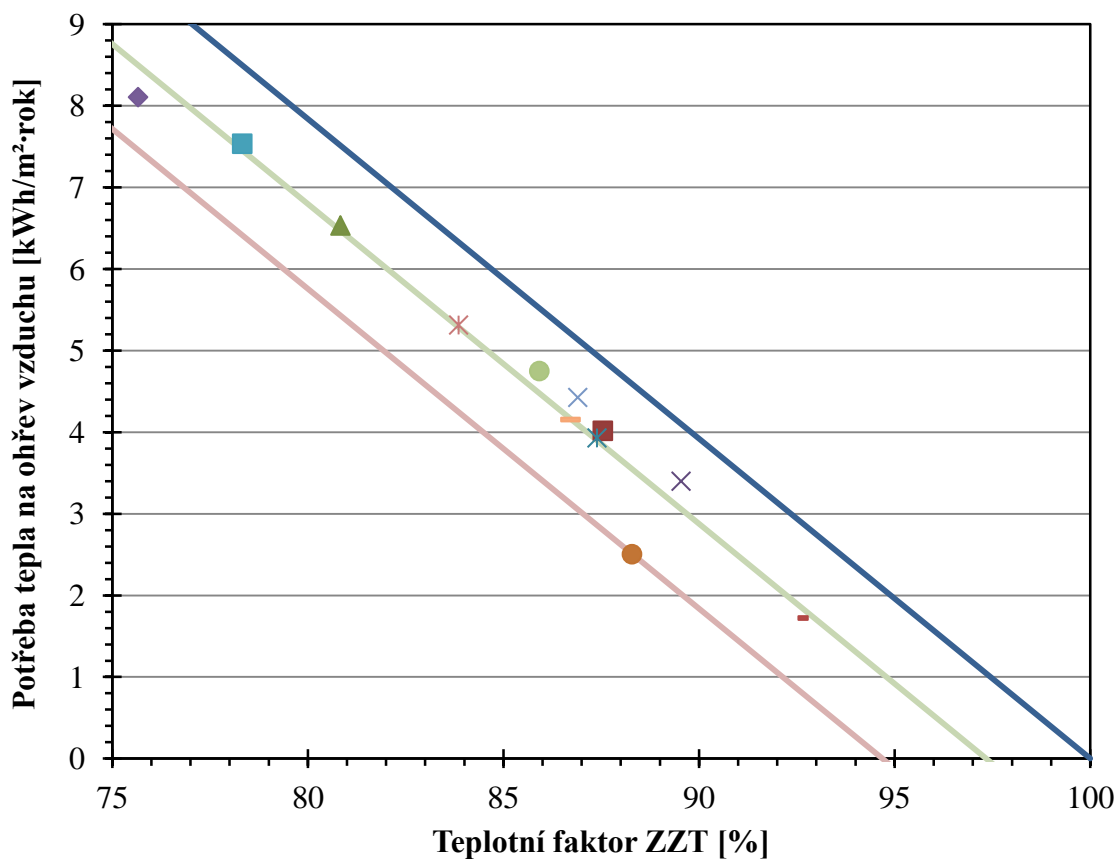


Potřeba tepla při $I_c = 0,4 \text{ 1/h}$

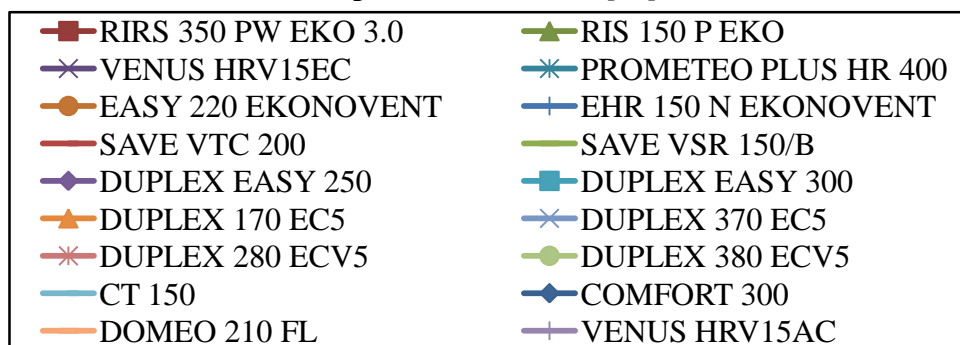
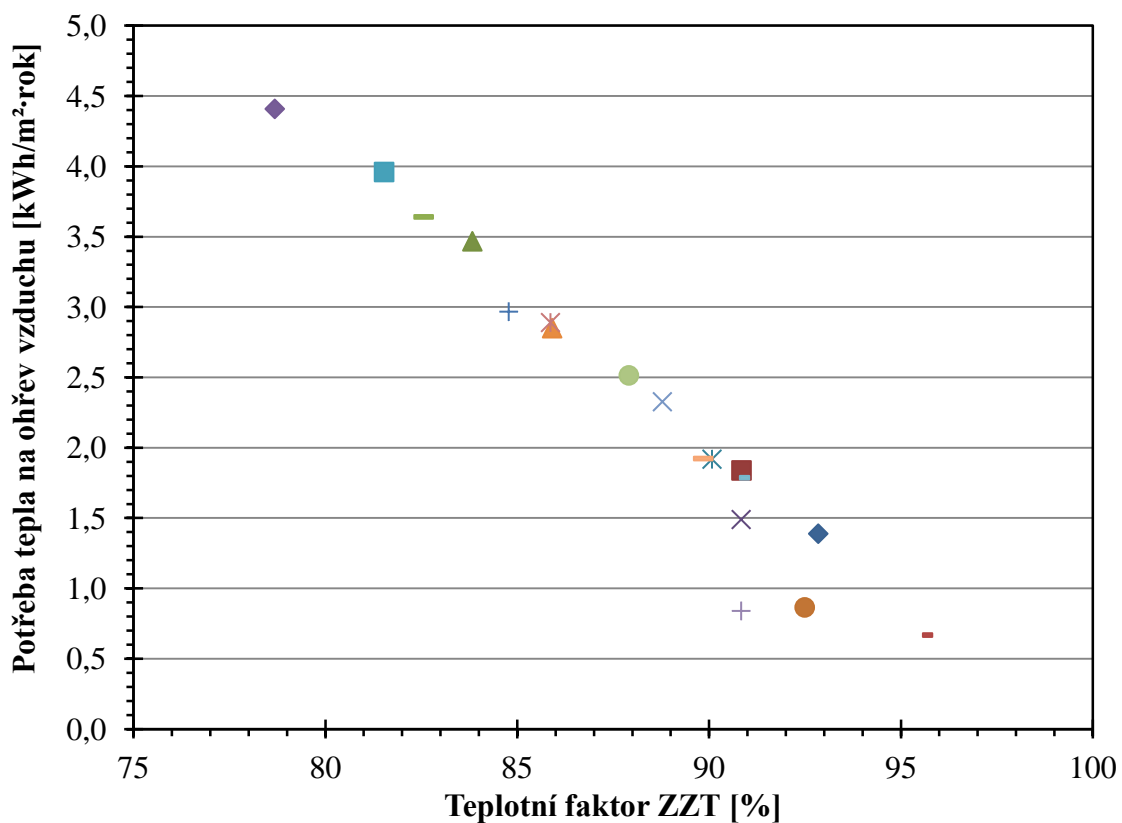


— SFP 0	— SFP 1000
— SFP 2000	■ RIRS 350 PW EKO 3.0
▲ RIS 150 P EKO	× VENUS HRV15EC
* PROMETEO PLUS HR 400	● EASY 220 EKONOVENT
+ EHR 150 N EKONOVENT	— SAVE VTC 200
— SAVE VSR 150/B	◆ DUPLEX EASY 250
■ DUPLEX EASY 300	▲ DUPLEX 170 EC5
× DUPLEX 370 EC5	* DUPLEX 280 ECV5
● DUPLEX 380 ECV5	— CT 150
+ COMFORT 300	— DOME0 210 FL
◆ VENUS HRV15AC	

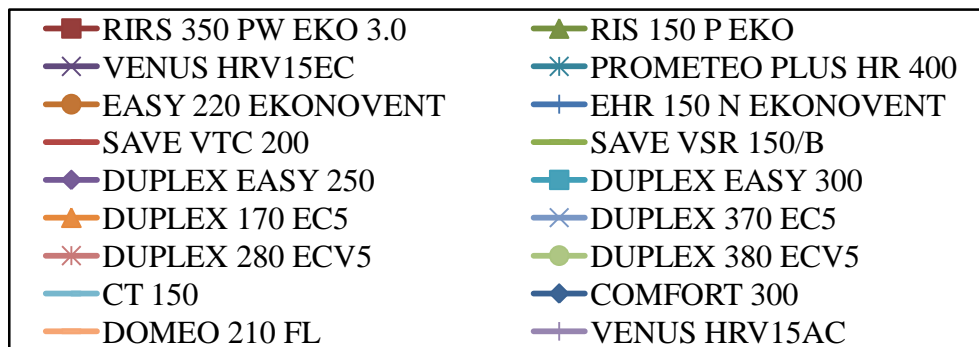
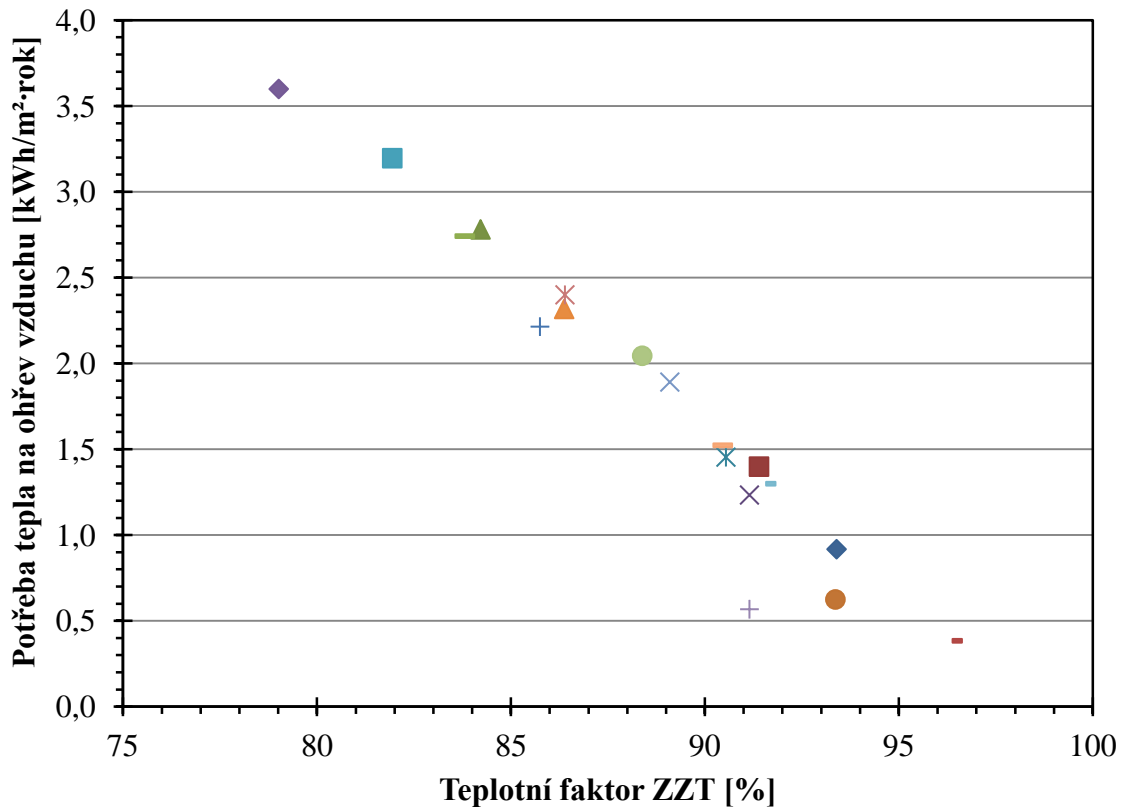
Potřeba tepla při $I_c = 0,5 \text{ 1/h}$



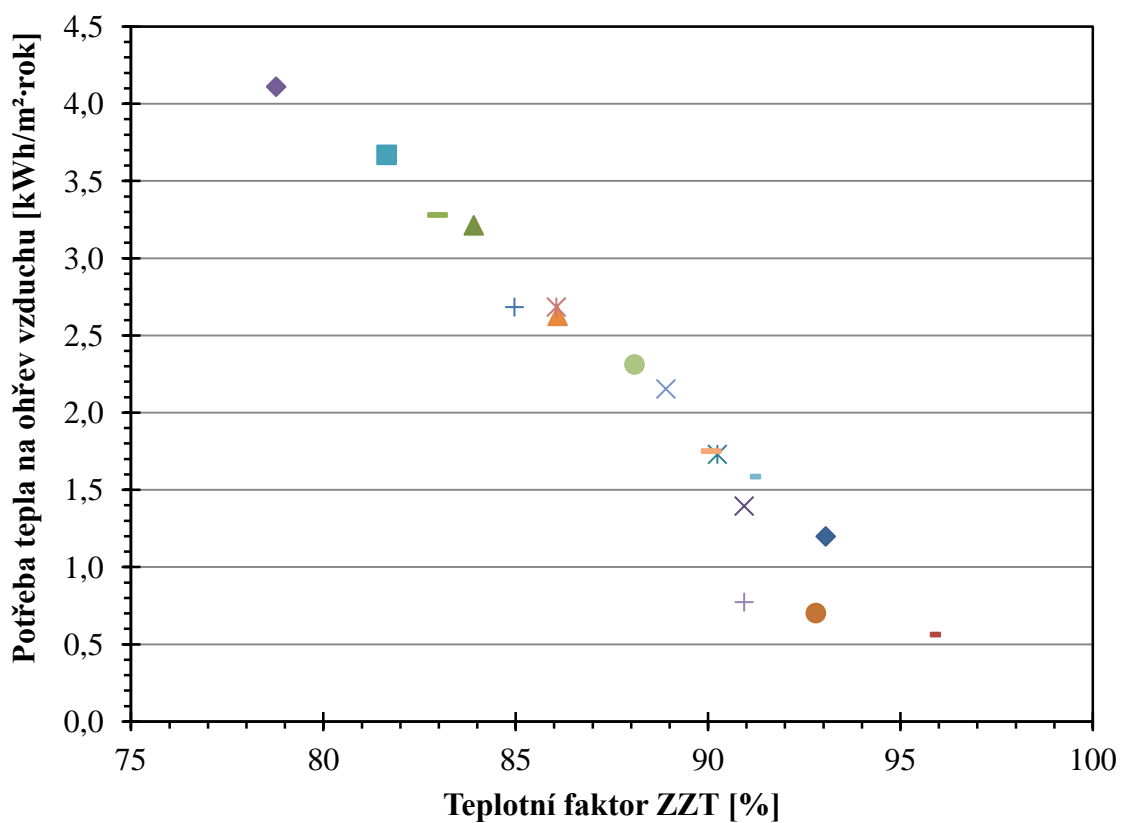
Potřeba tepla – Specifický režim 1



Potřeba tepla – Specifický režim 2



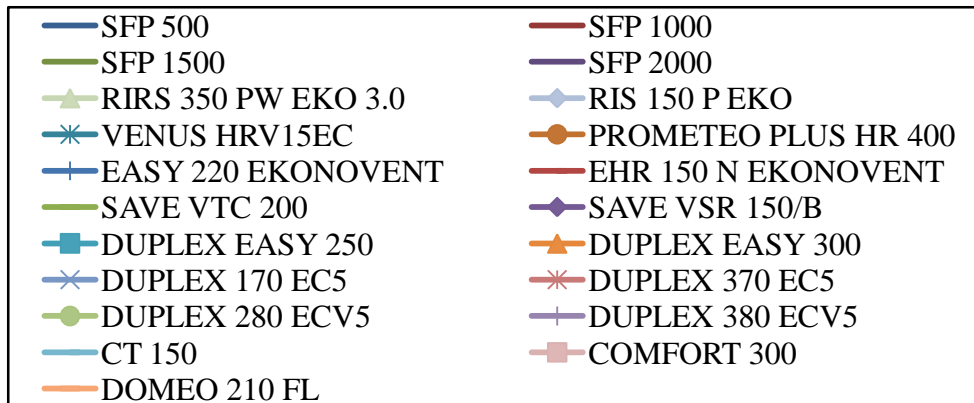
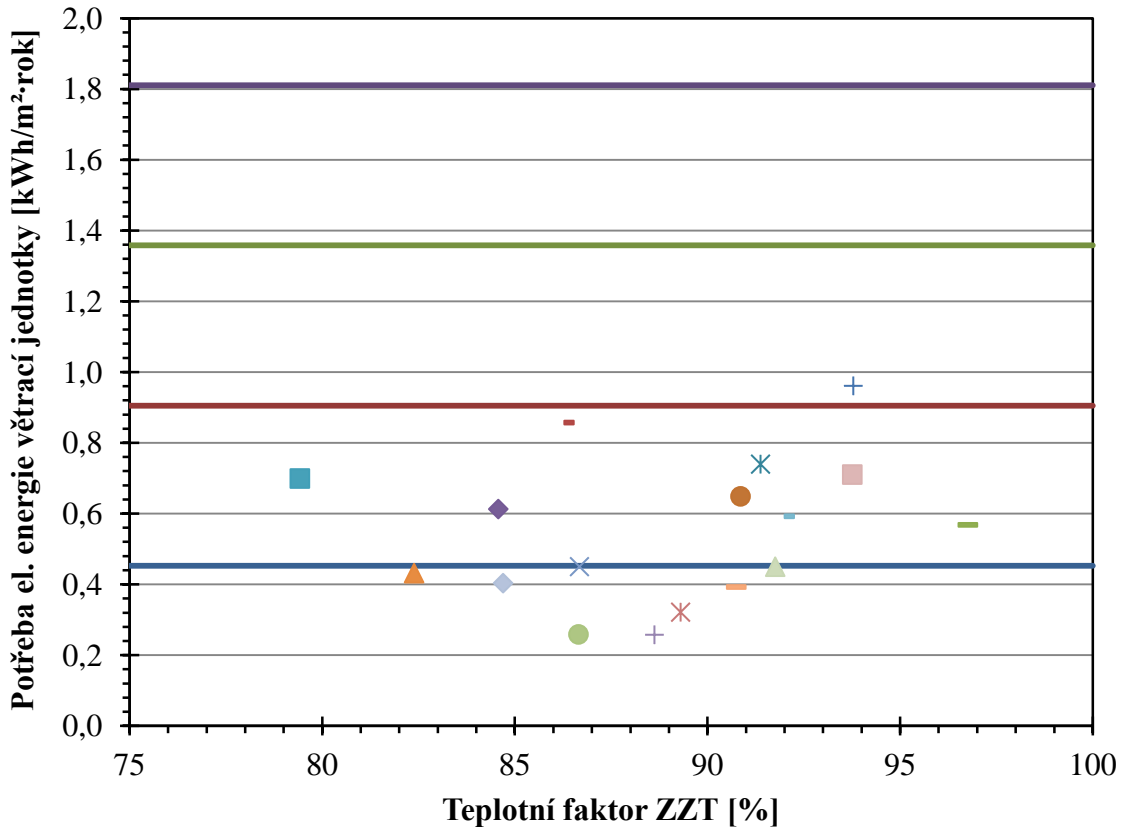
Potřeba tepla – Specifický režim 3



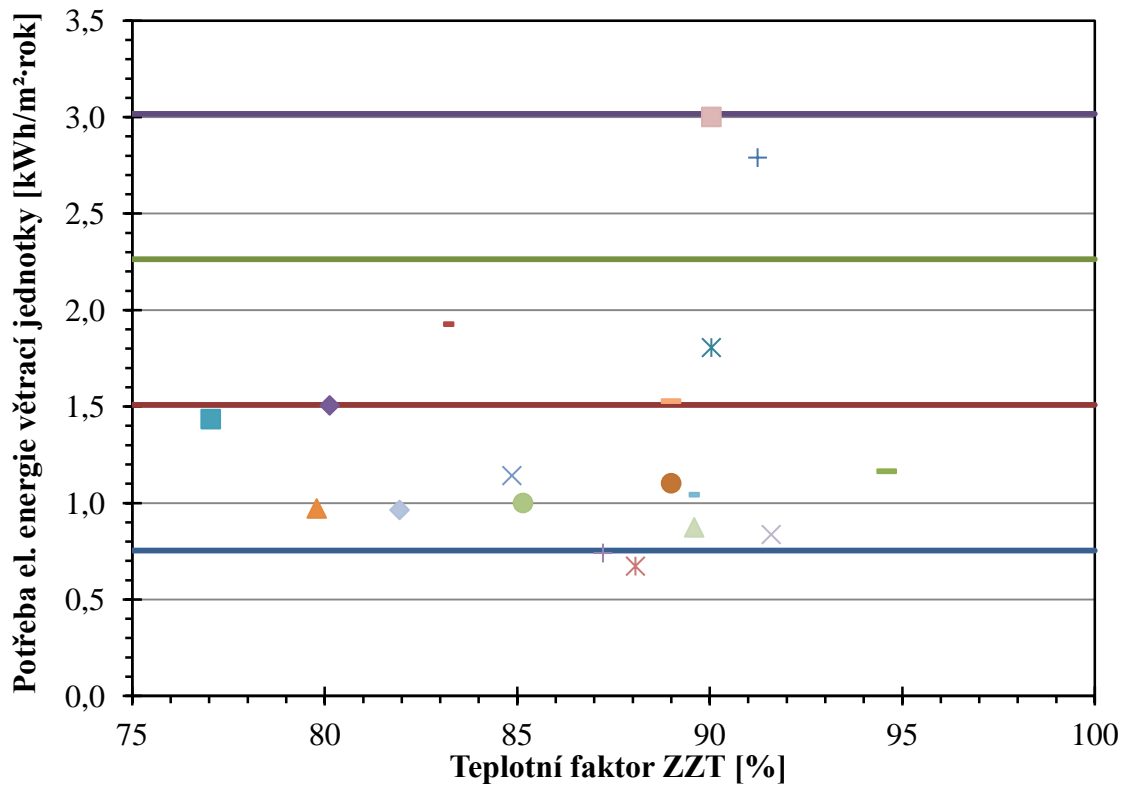
— RIRS 350 PW EKO 3.0	— RIS 150 P EKO
— VENUS HRV15EC	— PROMETEO PLUS HR 400
— EASY 220 EKONOVENT	— EHR 150 N EKONOVENT
— SAVE VTC 200	— SAVE VSR 150/B
— DUPLEX EASY 250	— DUPLEX EASY 300
— DUPLEX 170 EC5	— DUPLEX 370 EC5
— DUPLEX 280 ECV5	— DUPLEX 380 ECV5
— CT 150	— COMFORT 300
— DOMEEO 210 FL	— VENUS HRV15AC

Příloha č. 2 - Měrná potřeba el. energie posuzovaných větracích jednotek

Potřeba elektrické energie při $I_c = 0,22 \text{ }^1/\text{h}$

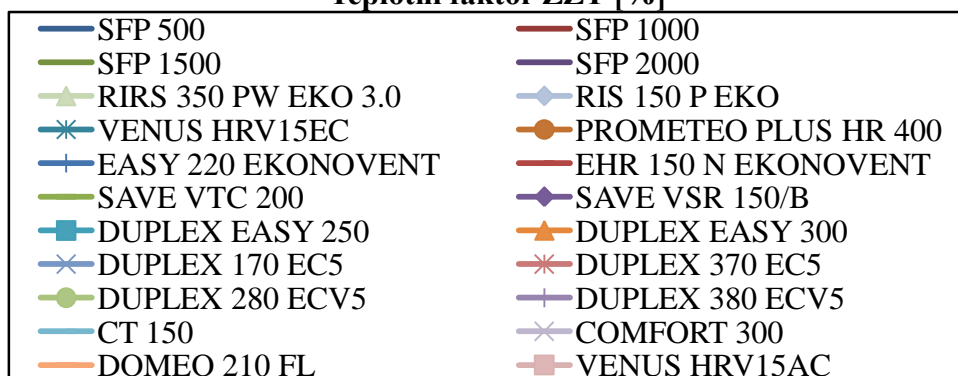
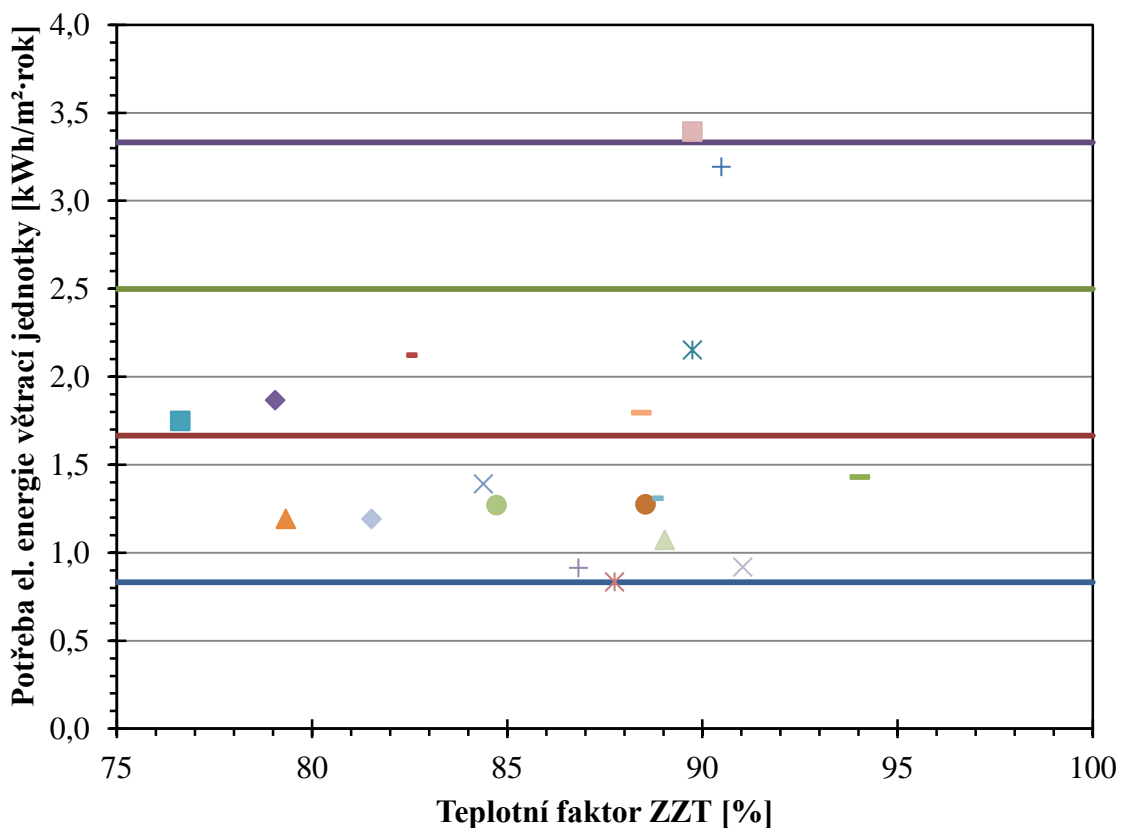


Potřeba elektrické energie při $I_c = 0,36 \text{ }^1/\text{h}$

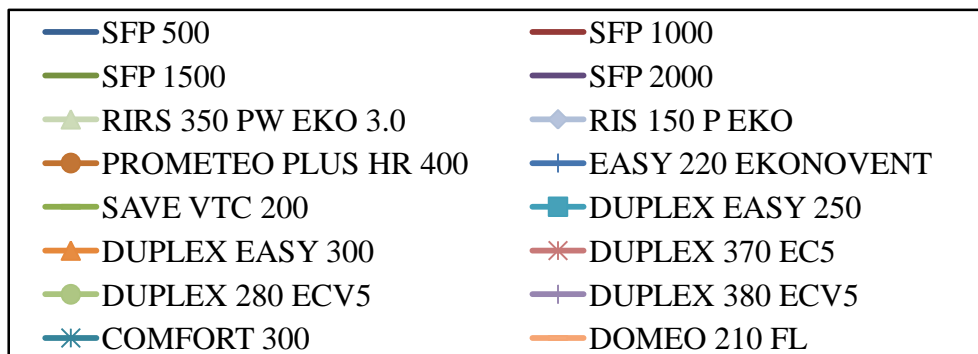
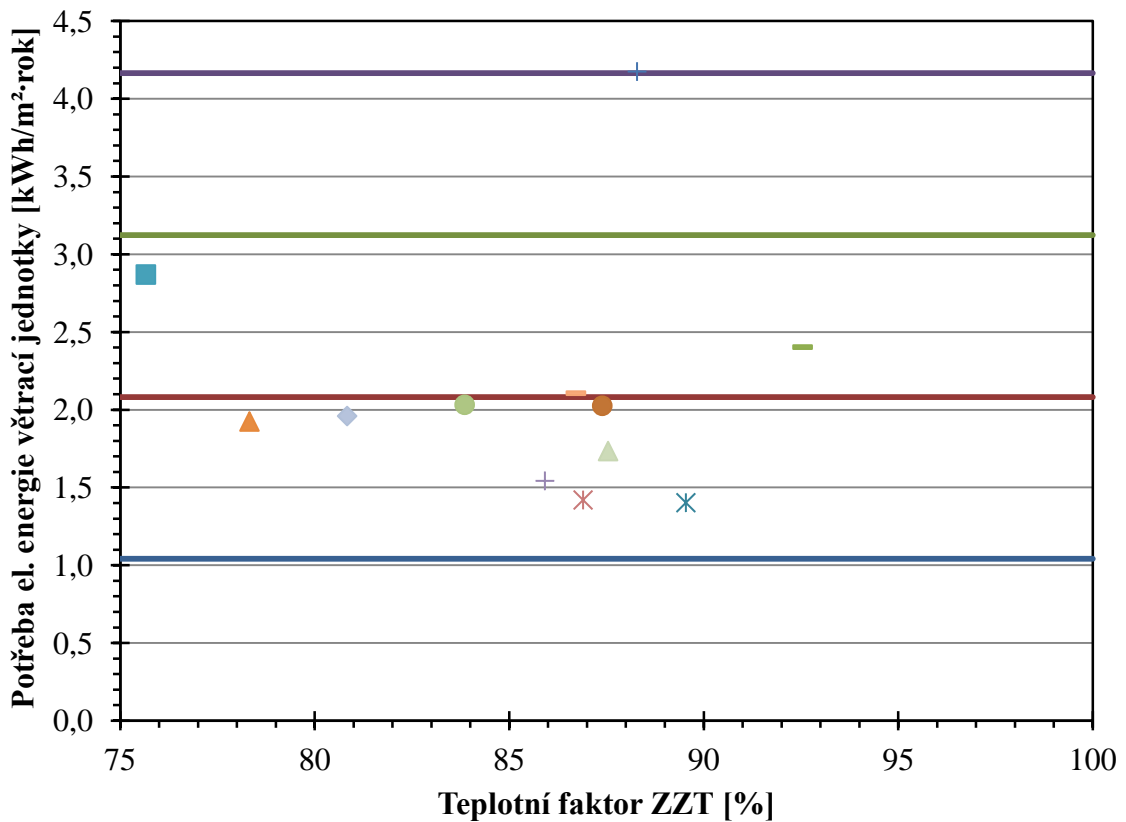


— SFP 500	— SFP 1000
— SFP 1500	— SFP 2000
▲ RIRS 350 PW EKO 3.0	◆ RIS 150 P EKO
* VENUS HRV15EC	● PROMETEO PLUS HR 400
+ EASY 220 EKONOVENT	— EHR 150 N EKONOVENT
— SAVE VTC 200	◆ SAVE VSR 150/B
■ DUPLEX EASY 250	▲ DUPLEX EASY 300
* DUPLEX 170 EC5	* DUPLEX 370 EC5
● DUPLEX 280 ECV5	+ DUPLEX 380 ECV5
— CT 150	* COMFORT 300
— DOMEO 210 FL	■ VENUS HRV15AC

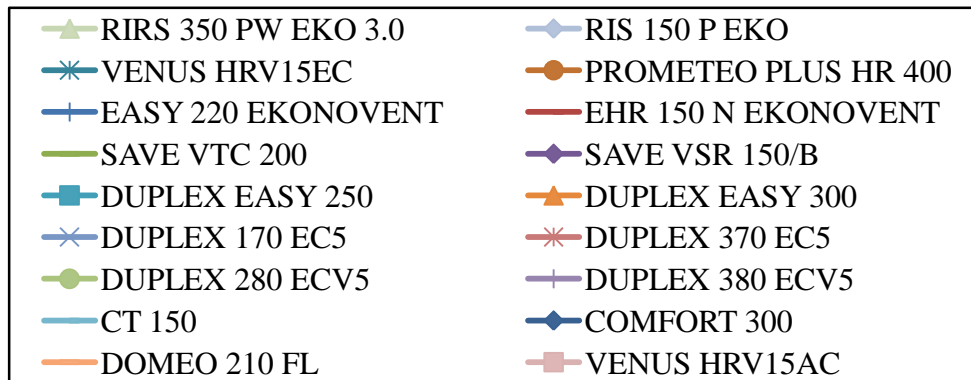
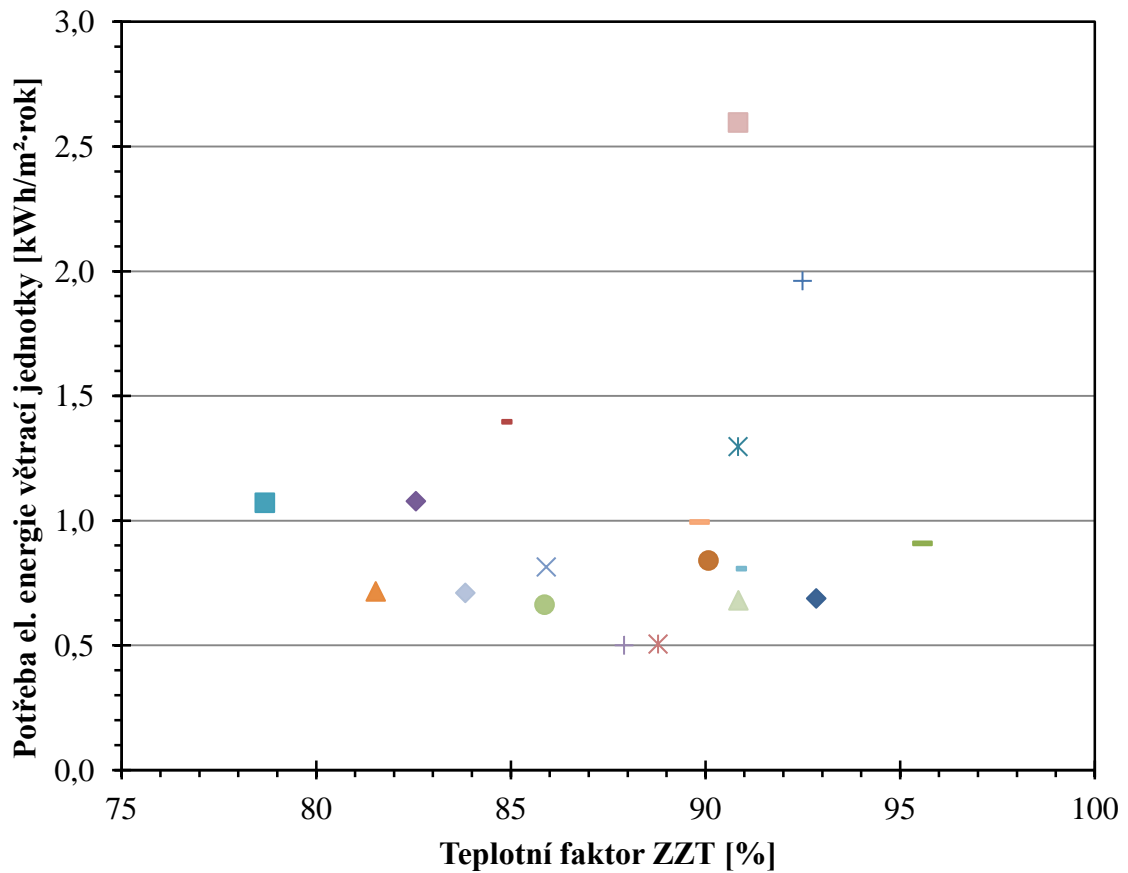
Potřeba elektrické energie při $I_c = 0,4 \text{ }^1/\text{h}$



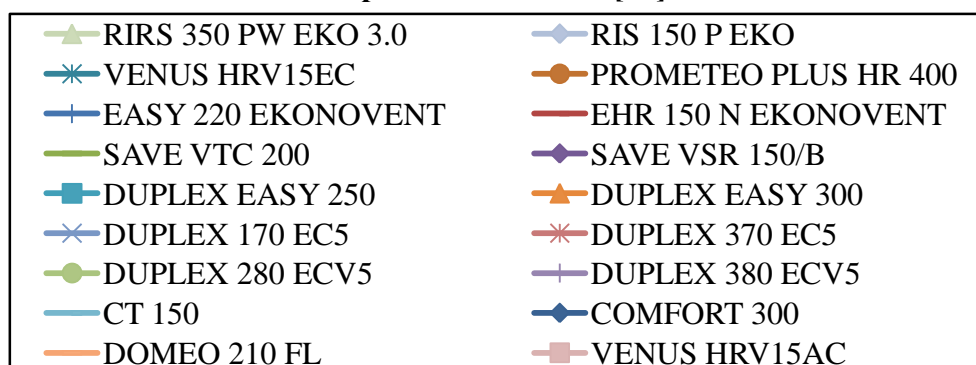
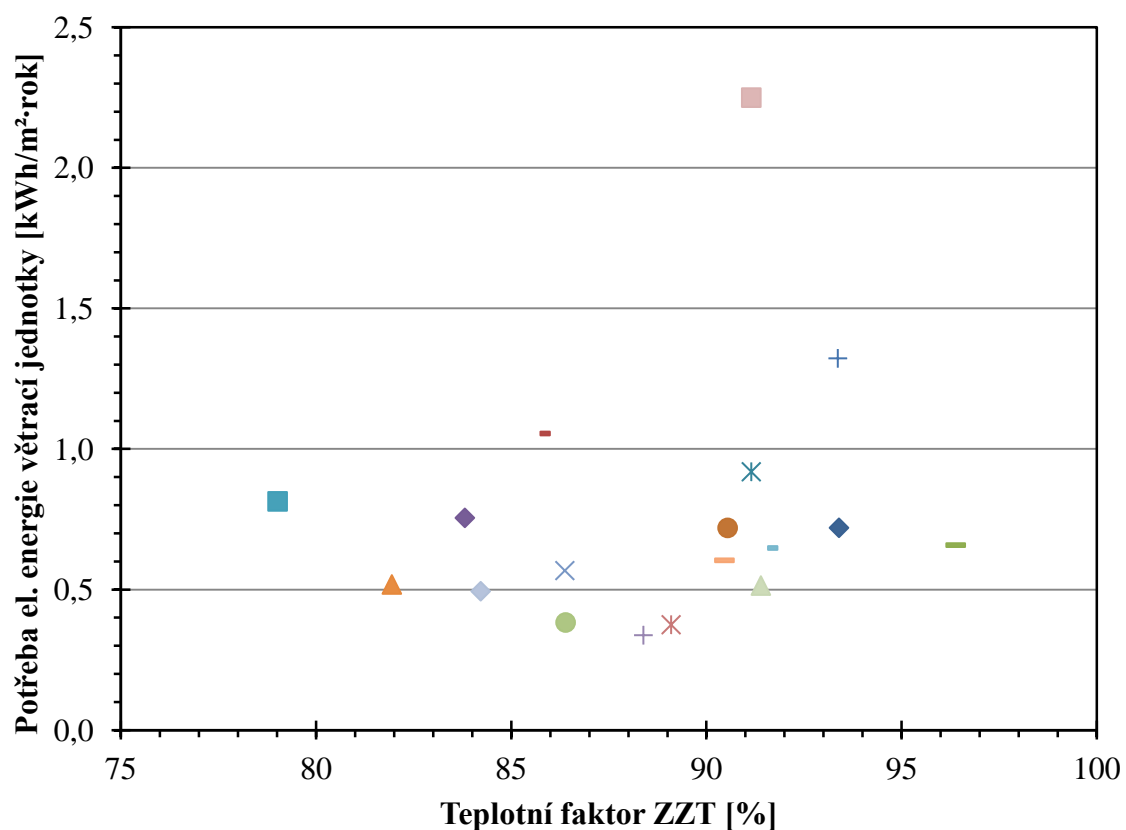
Potřeba elektrické energie při $I_c = 0,5 \text{ }^1/\text{h}$



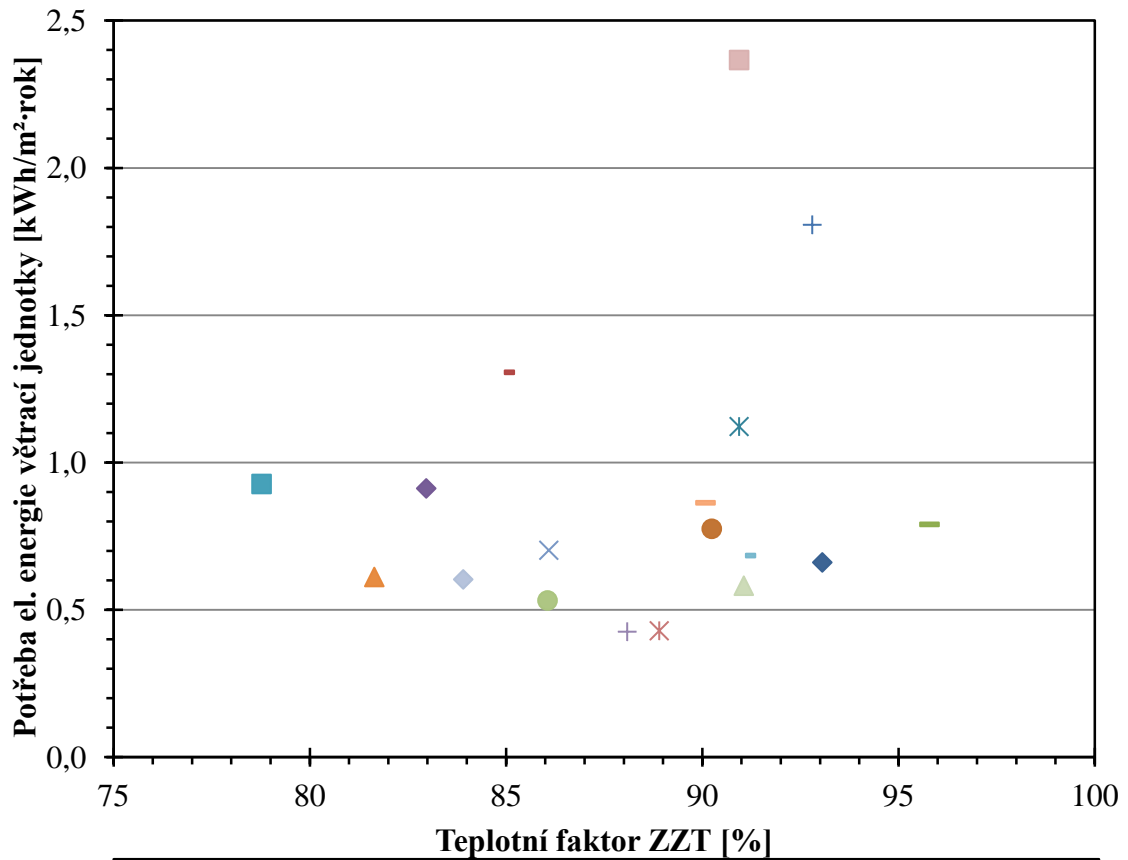
Potřeba elektrické energie – Specifický režim 1



Potřeba elektrické energie – Specifický režim 2

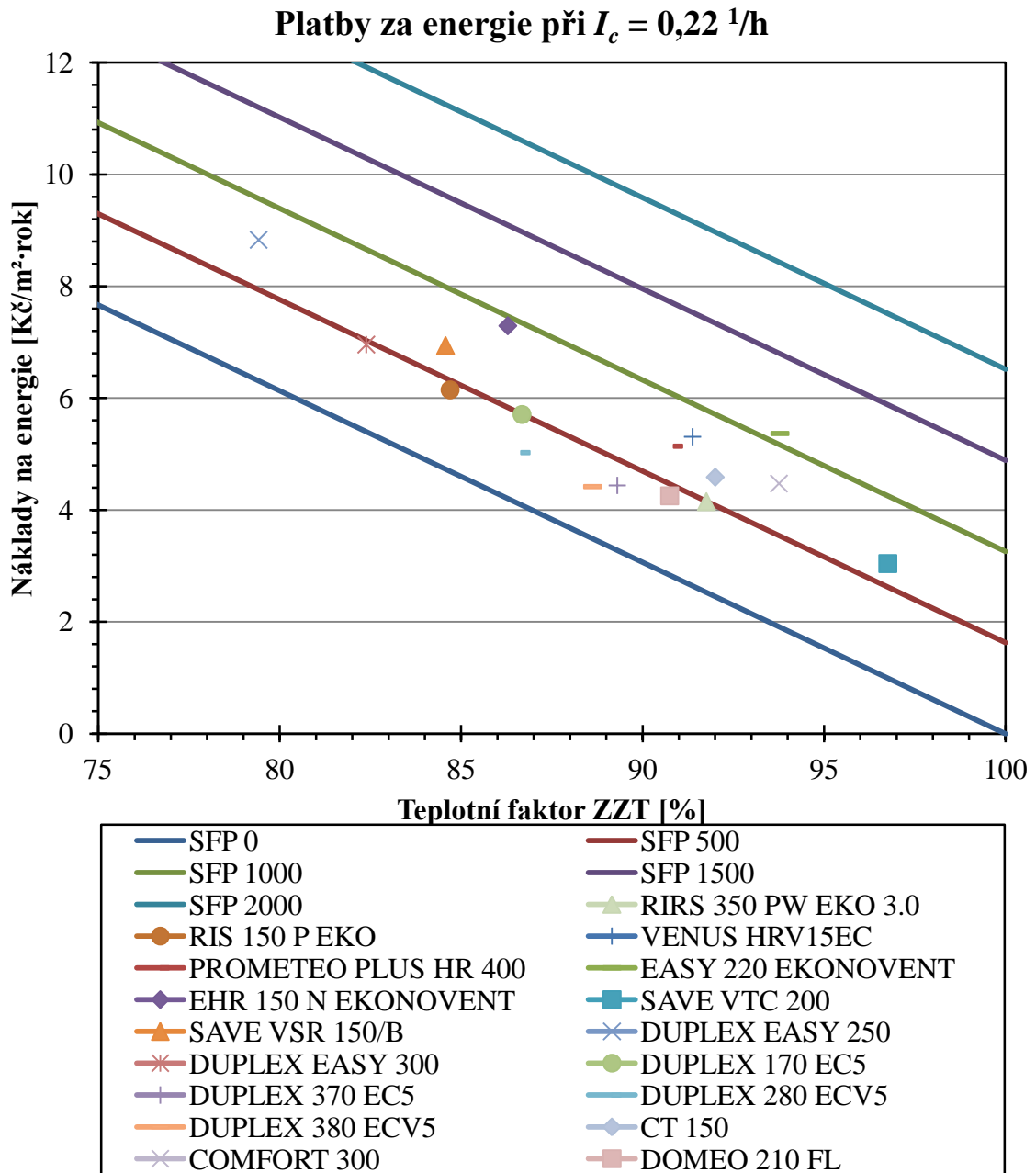


Potřeba elektrické energie – Specifický režim 3

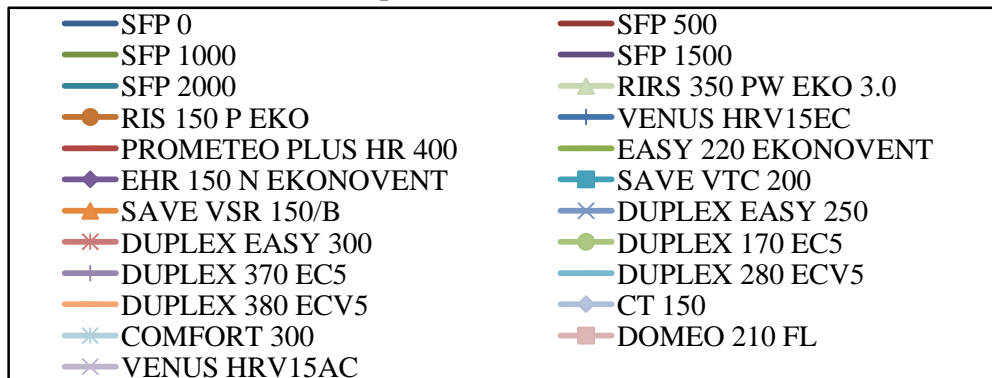
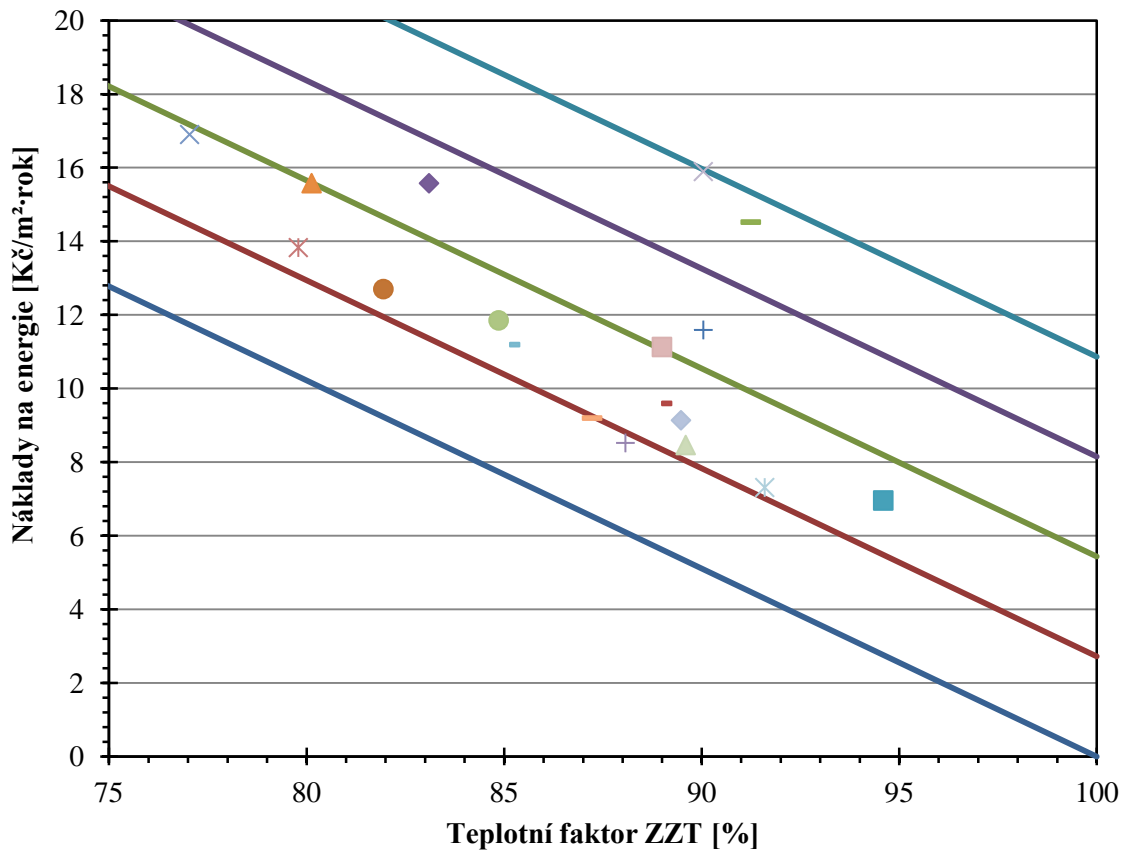


—▲— RIRS 350 PW EKO 3.0	—◆— RIS 150 P EKO
—*— VENUS HRV15EC	—●— PROMETEO PLUS HR 400
—+— EASY 220 EKONOVENT	—— EHR 150 N EKONOVENT
—■— SAVE VTC 200	—◆— SAVE VSR 150/B
—■— DUPLEX EASY 250	—▲— DUPLEX EASY 300
—×— DUPLEX 170 EC5	—*— DUPLEX 370 EC5
—●— DUPLEX 280 ECV5	—+— DUPLEX 380 ECV5
—— CT 150	—◆— COMFORT 300
—— DOMEO 210 FL	—■— VENUS HRV15AC

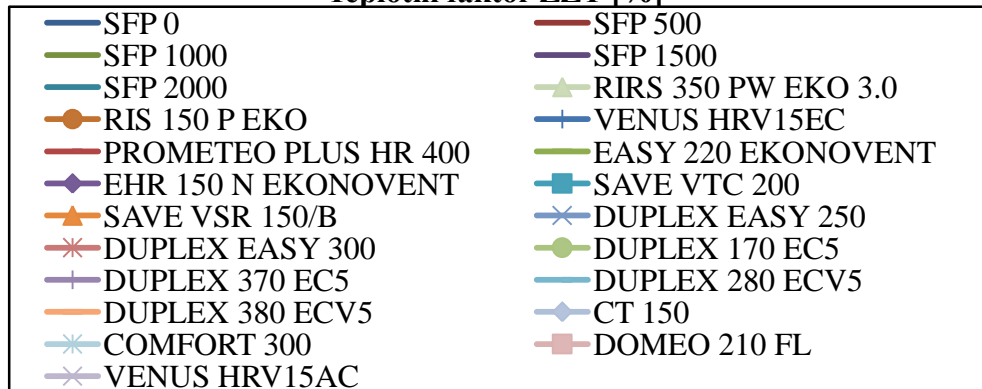
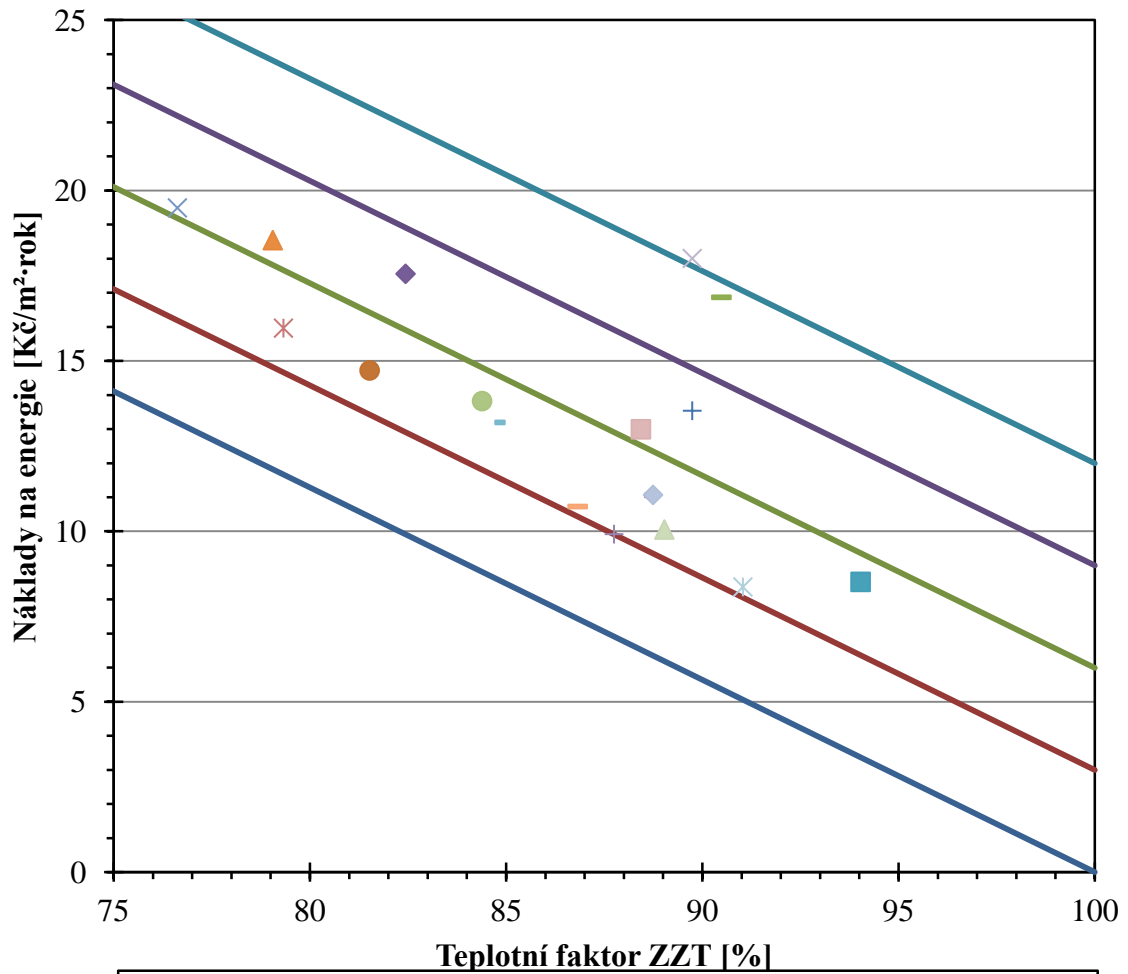
Příloha č. 3 - Měrné náklady na energii posuzovaných větracích jednotek



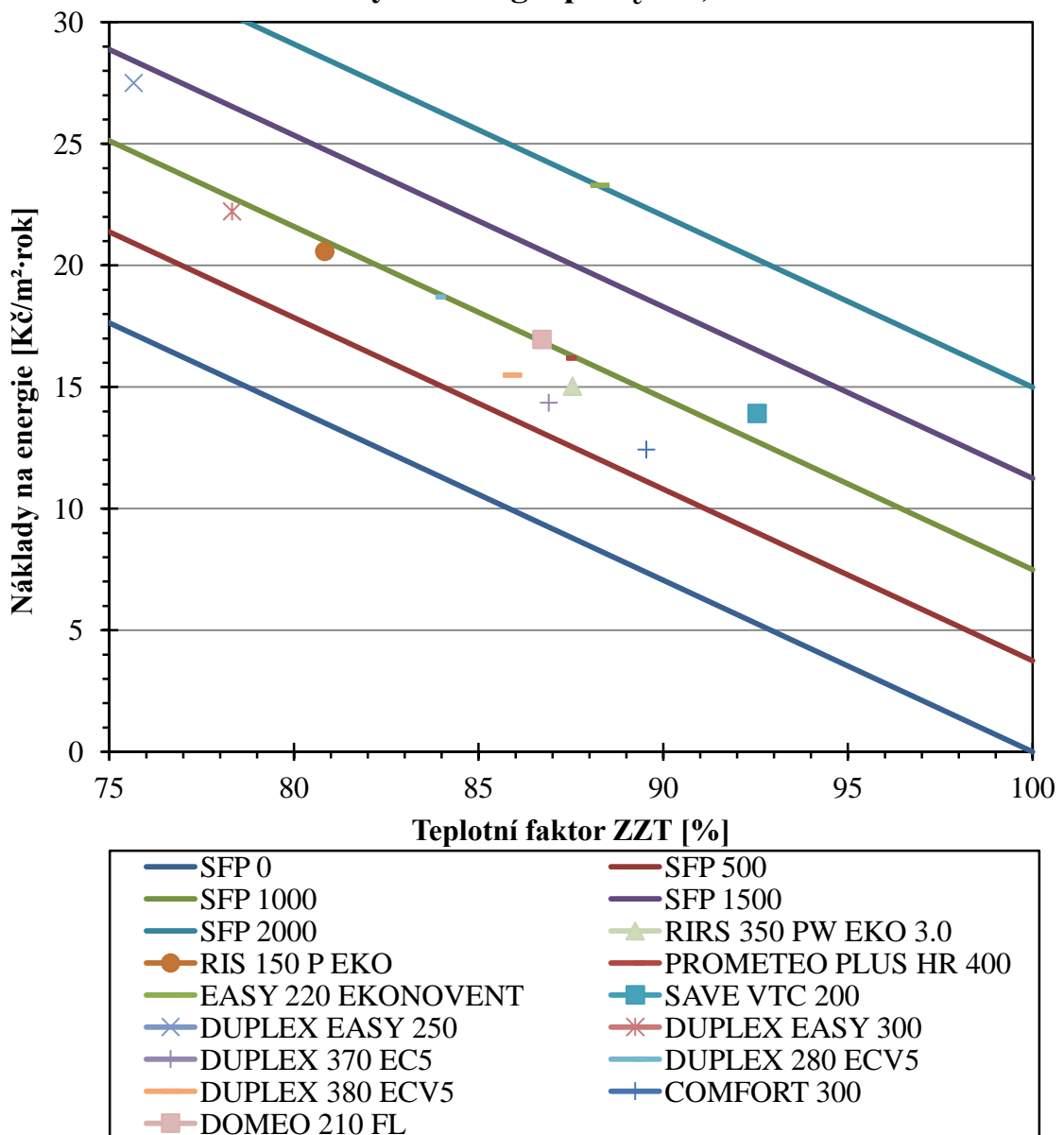
Platby za energii při $I_c = 0,36 \text{ 1/h}$



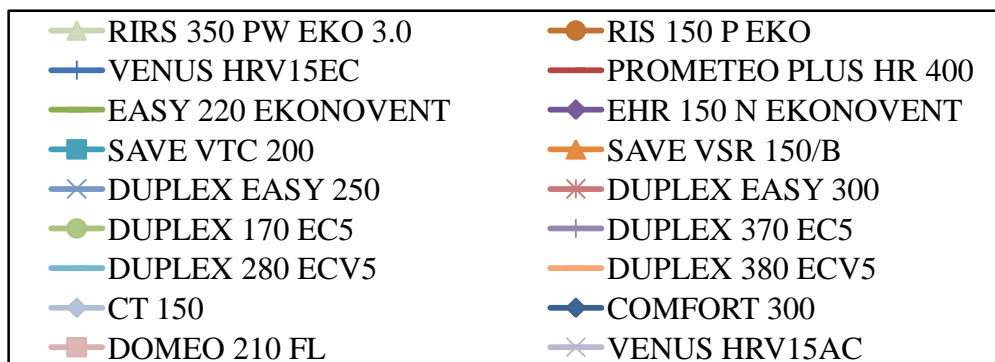
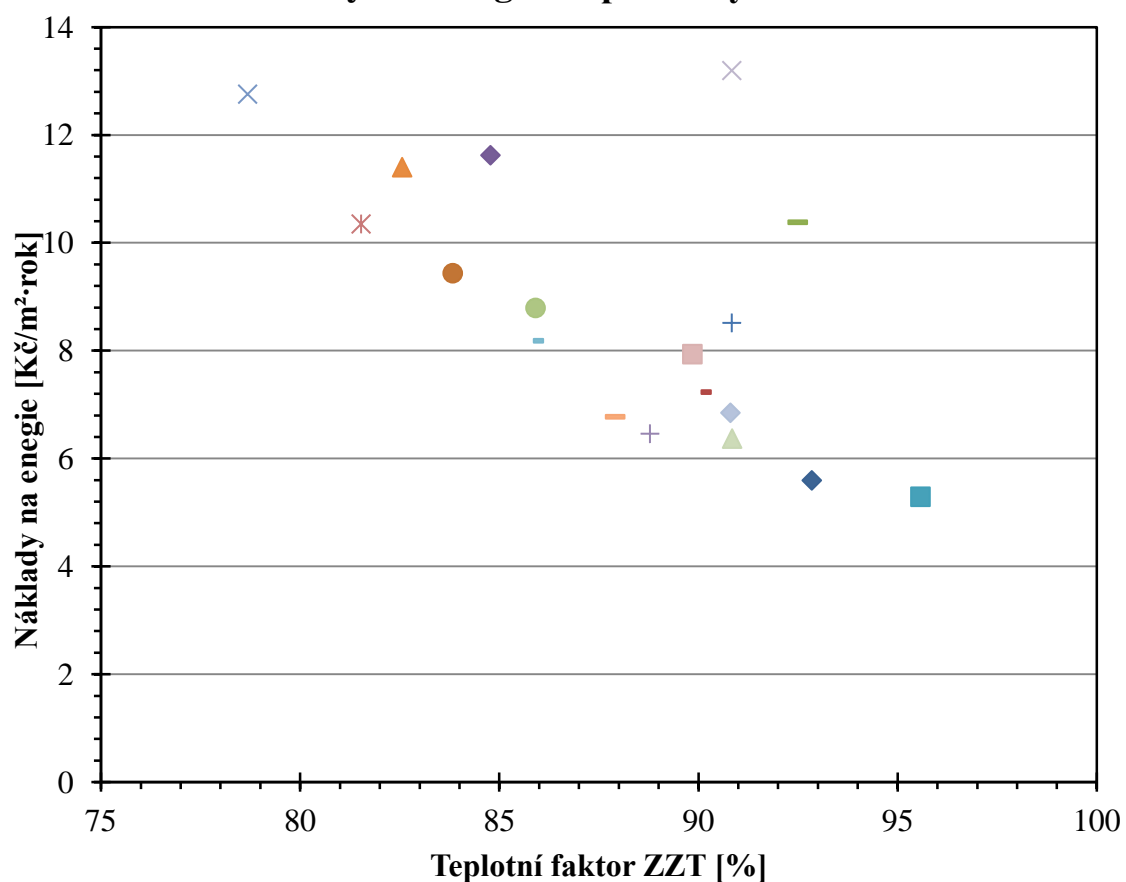
Platby za energii při $I_c = 0,4 \text{ 1/h}$



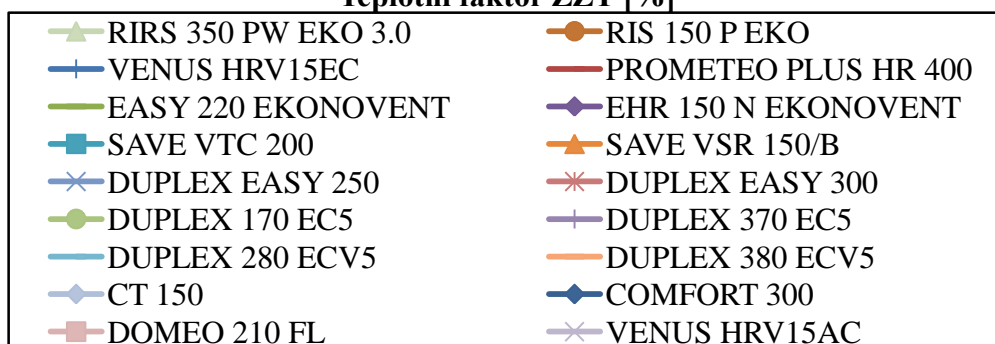
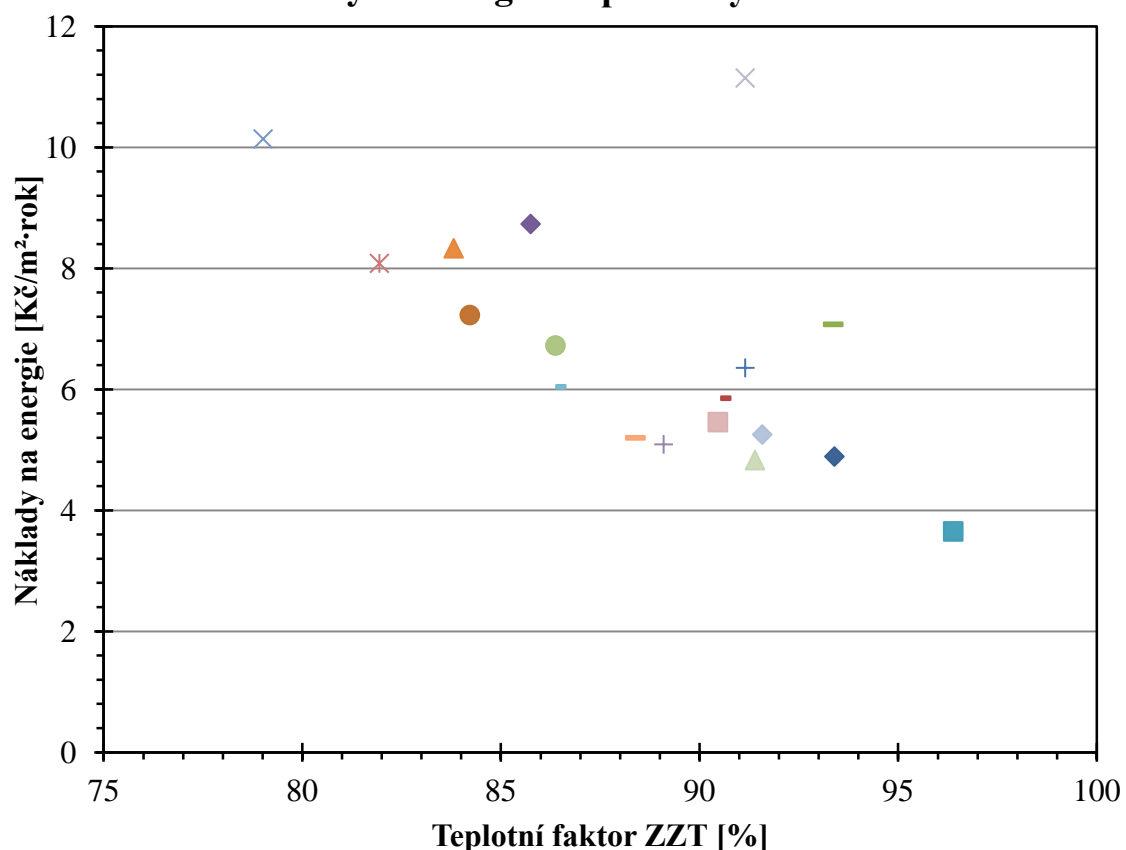
Platby za energii při $I_c = 0,5 \text{ 1/h}$



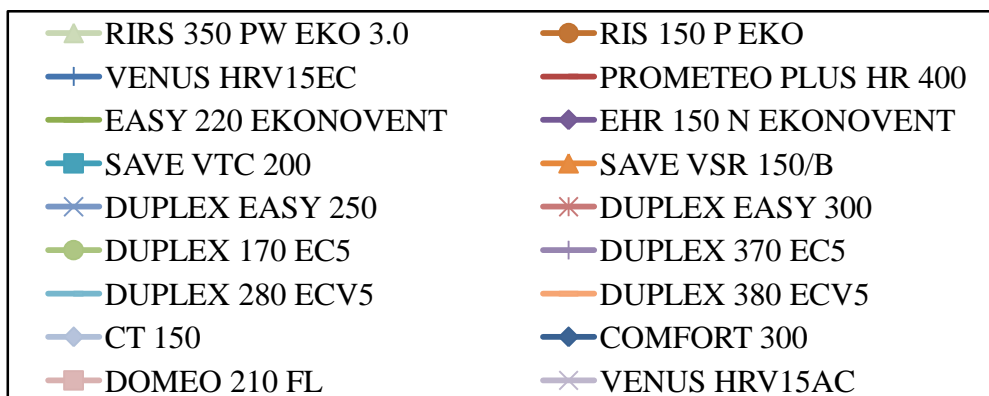
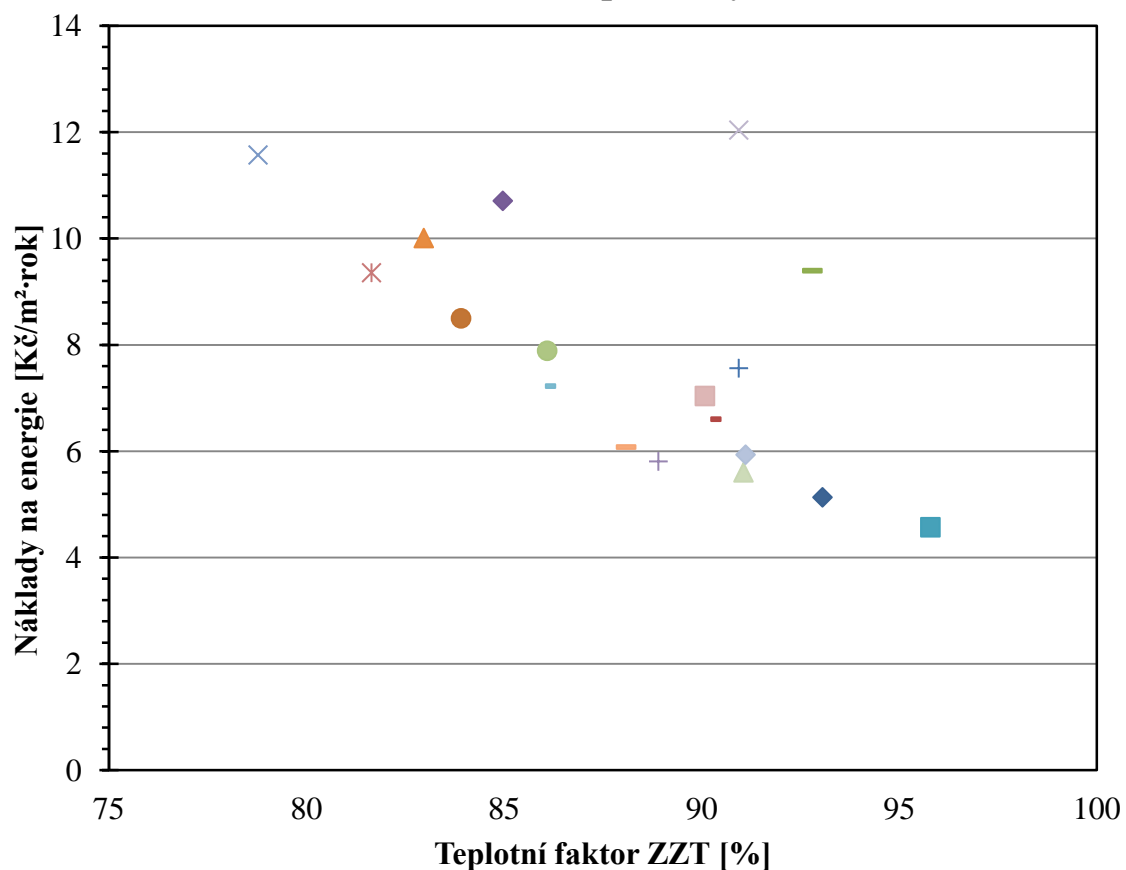
Platby za energie – Specifický režim 1



Platby za energie – Specifický režim 2



Platby za energie – Specifický režim 3



Příloha č. 4 – Rozpočet dodávek vzduchotechniky modelového rodinného domu

Popis položky:	Měrná jednotka		Cena bez DPH [Kč]			Cena s DPH (21%) [Kč]
	[ks] [m']	Počet M.j.	Dodávka celková	Montáž celková	Celkem	

REKAPITULACE

1. Rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla	kpl	1	81 434	9 868	91 302	110 475 Kč
2. Podtlakové větrání – SFP = 500 W·s/m ³	kpl	1	27 279	3 527	30 806	37 275 Kč
3. Podtlakové větrání – SFP = 2 000 W·s/m ³	kpl	1	15 234	2 711	17 945	21 713 Kč

Popis položky:	Měrná jednotka		Cena bez DPH			
	[ks] [m']	Počet M.j.	Dodávka		Montáž	
			jednotková [Kč]	celková [Kč]	jednotková [Kč]	celková [Kč]

1. Rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla

Větrací jednotka	kpl	1	45 000	45 000	4 500	4 500
Pohybový senzor, čidlo CO ₂ , RH	ks	1	8 719	8 719	1 744	1 744
Protidešťová žaluzie 200x200 mm včetně nátěru RAL dle barvy fasády	ks	1	760	760	152	152
Výfuková hlavice CAGI DN 160, vč. RAL	ks	1	804	804	161	161

Dýza DUK DN 100	ks	6	1 350	8 100	270	1 620
Odvodní ventil DN 100, vč. zděže	ks	1	321	321	64	64
Odvodní ventil DN 80, vč. zděže	ks	3	306	918	61	184
Flexibilní zvukoizolační hadice DN 80	bm	2	147	294	29	59
Flexibilní zvukoizolační hadice DN 100	bm	11	159	1 670	32	334
Flexibilní zvukoizolační hadice DN 160	bm	4	223	892	45	178
Spiro potrubí DN 80, vč. tvarovek (30 %)	bm	6	56	336	11	67
Spiro potrubí DN 100, vč. tvarovek (30 %)	bm	9	72	648	14	130
Spiro potrubí DN 125, vč. tvarovek (30 %)	bm	4	100	400	20	80
Spiro potrubí DN 160, vč. tvarovek (30 %)	bm	6	130	780	26	156
Minerální tep. izolace tl. 60 mm s Al polepem	m ²	4	550	2 200	110	440
Montážní a spojovací materiál (5 % z ceny dodávky)	kpl	1	3 592	3 592		
Ostatní náklady (doprava, návrh řešení, zprovoznění)	kpl	1	6 000	6 000		
Součet				81 434 Kč		9 868 Kč

2. Podtlakové větrání – $SFP = 500 \text{ W} \cdot \text{s}/\text{m}^3$

Radiální nástěnný ventilátor DN 100, režim trvalého a nárazového větrání s doběhem $V = 90 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta p_z = 30 \text{ Pa}$	ks	3	4 930	14 790	493	1 479
Čidlo vlhkosti	ks	3	2 283	6 849	457	1 370
Žaluziová klapka samočinná PER 100 W	ks	3	303	909	61	182
Zpětná klapka DN 100	ks	3	178	534	36	107
Spiro potrubí DN 100 včetně tvarovek	bm	2	73	146	15	29
Okenní šterbina s nastavením velikosti otvoru	ks	6	300	1 800	60	360
Montážní a spojovací materiál (5 % z ceny dodávky)	kpl	1	1 251	1 251		
Ostatní náklady (doprava, návrh řešení)	kpl	1	1 000	1 000		
Součet				27 279 Kč		3 527 Kč

3. Podtlakové větrání – SFP = 2000 W·s/m³

Radiální nástěnný ventilátor DN 100, vybaven zpětnou klapkou $V = 90 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta p_z = 30 \text{ Pa}$	ks	3	1 452	4 356	290	871
Regulátor otáček	ks	3	2 115	6 345	423	1 269
Žaluziová klapka samočinná PER 100 W	ks	3	303	909	61	182
Spiro potrubí DN 100 včetně tvarovek	bm	2	73	146	15	29
Okenní štěrbiná s nastavením velikosti otvoru	ks	6	300	1 800	60	360
Montážní a spojovací materiál (5 % z ceny dodávky)	kpl	1	678	678		
Ostatní náklady (doprava, návrh řešení)	kpl	1	1 000	1 000		
Součet				15 234 Kč		2 711 Kč