

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



**Hodnocení průvzdušnosti obytných dřevostaveb
metodou Blower-door test**

Disertační práce

Autor: Ing. Jaromír Srba

Školitel: doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

2016

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Hodnocení průvzdušnosti obytných dřevostaveb metodou Blower-door test vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele. Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č 111/198 Sb. O vysokých školách v platném znění a to bez ohledu na výsledek její obhajoby“.

V.....dne.....

Poděkování

Nezpochybnitelný dík patří celé mé rodině, zejména mé ženě Lucii Srbové, za morální podporu a zázemí.

Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Martinu Böhmovi, PhD., vedoucímu disertační práce, za jeho trpělivý a přátelský přístup včetně cenných rad, které vedly k vypracování této práce. Také bych rád poděkoval všem svým kolegům z Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského, za pomoc nejen při této práci.

Vypracování disertační práce bylo finančně podpořeno následujícími projekty:

Grant Interní grantové agentury FLD, 2012 (43230/1213/3144).

Grant Národní agentury pro zemědělský výzkum, QJ1530032.

Abstrakt

Tato disertační práce se zaměřuje na diagnostiku vzduchové průvzdušnosti obytných budov, která v mnoha směrech ovlivňuje energetickou náročnost a s tím spjaté náklady na užívání. Vhodně provedená vzduchotěsnící vrstva dokáže výrazně prodloužit životnost stavby. Hlavním cílem práce je zhodnotit provedení nově postavených budov v ČR a posoudit nejvýznamnější parametry, které mají na průvzdušnost vliv.

Pro hodnocení průvzdušnosti byla použita metoda Blower-door test. Tato metoda patří mezi nejpoužívanější a nejprůkaznější metody diagnostiky. Její výhodou je zejména skutečnost, že dokáže odhalit případné konstrukční chyby vzduchotěsnící vrstvy ve všech důležitých stadiích stavby (a umožňuje nápravu těchto nedostatků před dokončením stavby). Podstatou této metody je vytvoření rozdílu tlaku Δp 50 Pa mezi interiérem a exteriérem budovy a současně detekci defektních míst, která jsou různá pro kladnou nebo zápornou hodnotu tlaku.

Průvzdušnost byla hodnocena na 345 obytných domech vybudovaných v letech 2006-2016, především pak na budovách s dřevěnou nosnou konstrukcí či konstrukcí z materiálů na bázi dřeva. Byl zhodnocen vývoj hodnot průniku vzduchu pláštěm budov dle normy ČSN 73 0540-2 a výsledky byly porovnány s předchozími výstupy ostatních autorů. Součástí práce je analýza a fotodokumentace nejčastěji zjištěných netěsností. Bylo zjištěno, že u nízkoenergetických domů došlo k významnému poklesu hodnot průniku vzduchu pláštěm budovy, průměrně o 40,49 % v roce 2016 oproti roku 2006, zatímco hodnoty průvzdušnosti pasivních domů jsou v tomto období víceméně ustálené. U budov s nosnou dřevěnou rámovou konstrukcí byl jako nejvýraznější parametr ovlivňující průvzdušnost určen způsob větrání. Pro dřevostavby s přirozeným nebo kombinovaným větráním byla průměrná hodnota intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa $1,29 \text{ h}^{-1}$, pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla $1,18 \text{ h}^{-1}$ a pro budovy s nuceným zpětným získáváním tepla se zvláště nízkou potřebou na vytápění $0,44 \text{ h}^{-1}$. Mezi další kritéria, u kterých byl prokázán vliv na hodnoty průvzdušnosti, patří zejména zkušenosti realizační firmy, přítomnost komínového tělesa, a místo a způsob výstavby dřevěné rámové konstrukce.

Klíčová slova: průvzdušnost, Blower-door test, dřevostavby, obytné domy, způsob větrání.

Abstract

This dissertation analyses airtightness of residential buildings which in many ways influences their energy performance and therefore also their costs of use. Properly conducted airtightening layer can significantly extend the lifespan of the construction. The main objective of the dissertation is to evaluate the construction of newly built buildings in the Czech Republic and to assess the most important parameters which affect airtightness.

The Blower-door test was used to assess air leakage. This method belongs among the most widely used and conclusive methods of analysis. Its advantage is mainly the fact that it can detect construction defects of the airtightening layer in important stages of construction (and possibly enable these defects to be corrected before completion). The core of this method is to create a pressure difference of Δp 50 Pa between the exterior and the interior of the building and at the same time discover the faulty places which are different for positive and negative pressure.

The air leakage was assessed in 345 residential buildings constructed between 2006 and 2016, especially in conventional wood frame buildings or with buildings made from wood panels such as cross-laminated timber. The development of values of air change rate through the building envelope was evaluated according to the Czech standard ČSN 73 0540-2 and the results were compared to previous outcomes of other authors. Analysis and photo documentation of the most frequently detected leakage points are also part of the dissertation. A significant decrease in values of the air change rate was discovered, on average by 40.49% in 2016 compared to 2006, while for passive houses the air change rate values were almost steady. For buildings with wood frame construction, it was the way of ventilation which was determined as the most significant parameter affecting air leakage. For wooden buildings with natural or combined ventilation, the average value of air change rate at the pressure difference of 50 Pa was $1,29 \text{ h}^{-1}$, for buildings with mechanical

ventilation and heat recovery it was $1,18 \text{ h}^{-1}$ and for buildings with very low energy consumption for heating with mechanical ventilation and heat recovery it was $0,44 \text{ h}^{-1}$. Other parameters affecting the values of air leakage include the construction company, the presence of a chimney, the place and method of construction of the wood frame construction.

Key Words: airtightness, Blower-door test, wooden buildings, dwelling, building ventilation

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	12
1. ÚVOD	13
2. CÍLE.....	15
3. HISTORIE NÍZKOENERGETICKÉ VÝSTAVBY	17
4. ROZDĚLENÍ STAVEB	20
4.1. ROZDĚLENÍ DLE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI	20
4.1.1. NÍZKOENERGETICKÉ BUDOVY	21
4.1.2. PASIVNÍ BUDOVY.....	22
4.1.3. NULOVÉ BUDOVY	24
4.1.4. AKTIVNÍ BUDOVA	25
4.2. ROZDĚLENÍ STAVEB	26
4.2.1. ROZDĚLENÍ DLE MÍSTA A ZPŮSOBU VÝSTAVBY	26
4.2.2. ROZDĚLENÍ DLE PLOŠNÉ HMOTNOSTI.....	26
4.2.3. ROZDĚLENÍ DLE OBVODOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	27
4.2.3.1. ROUBENÉ A SRUBOVÉ STAVBY	27
4.2.3.2. HRÁZDĚNÉ STAVBY.....	28
4.2.3.3. SLOUPKOVÉ STAVBY	29
4.2.3.4. PANELOVÉ STAVBY	30
4.2.3.5. SKELETOVÉ STAVBY	30
4.2.3.6. STAVBY Z MASIVNÍHO DŘEVA	32
4.2.4. ROZDĚLENÍ DLE DIFÚZNÍHO ODPORU	32
4.2.4.1. DIFÚZNĚ UZAVŘENÉ STAVBY.....	34
4.2.4.2. DIFÚZNĚ OTEVŘENÉ STAVBY.....	35
4.2.5. ROZDĚLENÍ DLE UMÍSTĚNÍ VZDUCHOTĚSNICÍ VRSTVY	35
5. VĚTRÁNÍ	38
5.1. DŮVODY PROČ VĚTRAT	38
5.2. ZPŮSOBY VĚTRÁNÍ.....	41
5.2.1. PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ.....	42
5.2.2. NUCENÉ VĚTRÁNÍ	43
5.2.2.1. VĚTRÁNÍ POMOCÍ VENTILÁTORŮ	43
5.2.2.2. VĚTRACÍ JEDNOTKY BEZ ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVANÁ TEPLA	44
5.2.2.3. VĚTRACÍ JEDNOTKY SE ZPĚTNÝM ZÍSKÁVÁNÍM TEPLA (REKUPERACE)	44
5.3. HISTORIE DIAGNOSTIKY PRŮVZDUŠNOSTI	46
5.4. PŘEHLED NEJROZŠÍŘENĚJŠÍCH METOD.....	47
5.4.1. METODA TLAKOVÉHO SPÁDU S EXTERNÍM VENTILÁTOREM.....	47
5.4.2. METODA TLAKOVÉHO SPÁDU S VNITŘNÍM VENTILÁTOREM.....	48
5.4.3. METODA HARMONICKY PROMĚNNÉHO TLAKOVÉHO ROZDÍLU	49
5.4.4. METODA TLAKOVÉHO IMPULZU	49
6. METODIKA.....	51



6.1.	ÚVOD DO PROBLEMATIKY PRŮVZDUŠNOSTI	51
6.1.1.	VLIV VZDUCHOTĚSNOSTI NA ENERGETIKU.....	52
6.1.2.	PRINCIP MĚŘENÍ.....	52
6.1.3.	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	53
6.1.4.	POSTUP MĚŘENÍ.....	55
6.1.4.1.	KONTROLA PODMÍNEK PŘED MĚŘENÍM	56
6.1.4.2.	PŘÍPRAVA ZAŘÍZENÍ PŘED MĚŘENÍM.....	57
6.1.4.3.	PŘÍPRAVA MĚŘENÉHO OBJEKTU	58
6.1.4.4.	UMÍSTĚNÍ A MONTÁŽ MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ.....	60
6.1.4.5.	METODY HLEDÁNÍ NETĚSNOSTÍ.....	61
6.1.4.6.	VYHODNOCENÍ TESTU	64
6.2.	METODIKA HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	68
6.3.	ZÁKLADNÍ INFORMACE O MĚŘENÝCH OBJEKTECH.....	69
7.	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	77
7.1.	NEJČASTĚJŠÍ NETĚSNOSTI	77
7.1.1.	OTOVOROVÉ VÝPLNĚ.....	77
7.1.1.1.	PŘIPOJOVACÍ SPÁRA	77
7.1.1.2.	FUNKČNÍ SPÁRA	79
7.1.1.3.	ZASKLÍVACÍ SPÁRA.....	81
7.1.2.	NAPOJENÍ PODLAHOVOU A STĚNOVOU KONSTRUKCÍ.....	82
7.1.2.1.	ŘEŠENÍ NA FOLII	82
7.1.2.2.	ŘEŠENÍ POMOCÍ DESEK.....	83
7.1.3.	SVISLÉ OBVODOVÉ KONSTRUKCE	84
7.1.4.	STROPNÍ KONSTRUKCE	84
7.1.5.	STŘEŠNÍ KONSTRUKCE	86
7.1.6.	ELEKTROINSTALAČNÍ PRVKY	87
7.1.6.1.	METODA A	87
7.1.6.2.	METODA B.....	87
7.1.7.	ODPADNÍ A VODOVODNÍ POTRUBÍ	88
7.1.8.	KOMÍNOVÉ TĚLESO.....	88
7.1.9.	PŘEDOKENNÍ ŽALUZIE A ROLETY.....	89
7.1.10.	VNITŘNÍ PŘÍČKY.....	90
7.1.11.	ZDĚNÉ STAVBY.....	90
7.2.	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ.....	91
7.2.1.	POSOUZENÍ VLIVU REALIZAČNÍ FIRMY NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI	92
7.2.1.1.	PASIVNÍ BUDOVY	93
7.2.1.2.	NÍZKOENERGETICKÉ DOMY.....	94
7.2.2.	ZÁVISLOST PŘETLAKU A PODTLAKU.....	96
7.2.3.	POSOUZENÍ VLIVU ZVOLENÉHO ZPŮSOBU VĚTRÁNÍ NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI.....	99

7.2.4. POSOUZENÍ VLIVU SVISLÉ OBVODOVÉ KONSTRUKCE NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI.....	103
7.2.5. POSOUZENÍ VLIVU PŘÍTOMNOSTI KOMÍNOVÉHO TĚLESA NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI.....	109
7.2.6. POSOUZENÍ VLIVU OBJEMU BUDOVY NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI	112
7.2.7. VZÁJEMNÝ VZTAH MEZI OBJEMEM VNITŘNÍHO VYTÁPĚNÉHO PROSTORU, PODLAHOVOU PLOCHOU A PRŮVZDUŠNOSTÍ.....	114
7.2.8. POSOUZENÍ VLIVU MÍSTA A ZPŮSOBU VÝSTAVBY NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI	115
7.2.9. POSOUZENÍ VLIVU ROKU VÝSTAVBY NA HODNOTY VÝSLEDNÉ VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI	118
7.2.10. POSOUZENÍ VLIVU METODY MĚŘENÍ NA VÝSLEDNOU HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI.....	123
8. ZÁVĚR.....	126
9. DOPORUČENÍ.....	131
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	132
SEZNAM TABULEK.....	141
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	143
PŘÍLOHA 1 PŘIHLÁŠKA PRO TEST PRŮVZDUŠNOSTI.....	147
PŘÍLOHA 2 UKÁZKA VÝSTUPU Z MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ	148
PŘÍLOHA 3 PŘEHLED NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO PASIVNÍ DOMY.....	150
PŘÍLOHA 4 PŘEHLED NAMĚŘENÝCH HODNOT BUDOV S NUCENÝM VĚTRÁNÍM A ZPĚTNÝM ZÍSKÁVÁNÍM TEPLA.....	151
PŘÍLOHA 5 PŘEHLED NAMĚŘENÝCH HODNOT BUDOV S PŘIROZENÝM VĚTRÁNÍM	152
PŘÍLOHA 6 NORMÁLNÍ ROZLOŽENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	153

Seznam použitých zkratek

Zkratka/symbol	Definice	Jednotka
ND	Nízkoenergetický dům	
PD	Pasivní dům	
HVV	Hlavní vzduchotěsnicí vrstva	
SVO	Systémem vzduchotěsnících opatření	
VVÚD	Výzkumný a vývojový ústav dřevařský v Praze, s.p.	
n_{ref}	Celková intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu	[h ⁻¹]
\dot{V}_{ref}	Referenční objemový tok vzduchu	[m ³ .h ⁻¹]
\dot{V}_{50}	Objemový tok vzduchu při referenčním tlaku 50 Pa	[m ³ .h ⁻¹]
n_{50}	Celková intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	[h ⁻¹]
$n_{50,N}$	Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa v h ⁻¹	
U	Součinitel prostupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
r ²	Koeficiente determinace	
V	Objem	[m ³]
w ₅₀	Specifická rychlost úniku při 50	m ³ /(h.m ²)
A _F	Čistá plocha podlah	[m ²]
A _E	Plocha pláště budovy	
Vzduchová průvzdušnost	Celková intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	[h ⁻¹]
Δp_{ref}	Referenční tlakový rozdíl	[Pa]
q _{ref}	Vzduchová propustnost budovy	
CLT	Křížem lepené dřevo (Cross Laminated Timber)	
OSB	Deska z orientovaných plochých třísek (Oriented Strand Board)	
SIP's	Sendvičový panel s izolační vrstvou (Structural Insulated Panel)	
EPS	Expandovaný polystyren	
E _A	Měrná potřeba tepla na vytápění	[kWh/(m ² .a)]
μ	Faktor difuzního odporu	
S _d	Ekvivalentní difúzní tloušťka	[m]
Δt	Rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem	[K]
V	Světlá výška měřeného objektu	[m]
\dot{V}_{env}	Objemový tok vzduchu procházející skrz plášť budovy	[m ³ /h]
C _{env}	Koeficient průtoku vzduchu	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]
N	Exponent průtoku vzduchu	
C _L	Koeficient unikajícího vzduchu	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]
q ₅₀	Průvzdušnost při rozdílu tlaků 50 Pa	[m ³ /(h.m ²)]
\bar{x}	Aritmetický průměr	
Ś	Směrodatná odchylka	
Var	Variační koeficient	
FIR_XXX	Kódové označení firmy realizující stavbu	
Limit BDT XX	Hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (odpovídající hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3)	
EPa	Roční měrná spotřeba na vytápění na m ² podlahové plochy a rok	kWh/(m ² a)

1. ÚVOD

Trendem posledních let, a to nejen v nejvyspělejších zemích, je měnící se způsob života a myšlení obyvatel zejména v oblasti ekologie. Tento směr se neprojevuje jen v běžném životě obyvatel, ale již znatelně zasahuje do všech odvětví průmyslu a odráží se také produktech, které jsou v současné době na našem i světovém trhu. Nejvíce je tento trend patrný ve stavebnictví, v automobilovém průmyslu a elektronice. Česká republika nezůstává pozadu a nároky na energetickou náročnost budov se postupně dostávají do legislativních požadavků a širšího podvědomí obyvatel, u kterých je jedním z kritérií při výběru rodinného domu i jeho energetická a ekologická zátěž. Budovy lze rozdělit dle energetické náročnosti do jednotlivých kategorií (nízkoenergetické budovy, pasivní budovy, „nulový dům“, „aktivní dům“). Výše uvedené rozdělení je popsáno řadou parametrů, mezi něž patří spotřeba kilowatthodin na metr čtvereční za rok, součinitel prostupu tepla konstrukcí, způsob vytápění a větrání a také vzduchová průvzdušnost konstrukce. Jednou z možností, jak poměrně efektivně vyhovět nejnáročnějším požadavkům, je výstavba budov se dřevěnou nosnou konstrukcí nebo s konstrukcí z materiálů na bázi dřeva. Cílem této práce je prokázat, že tyto stavby jsou stejně kvalitní a v mnoha případech i kvalitnější než stavby silikátové.

Statistiky uvádí, že podíl dokončených rodinných domů s dřevěnou nosnou konstrukcí na českém trhu zaujímá již 13 %. Tento nárůst se nezastavil ani v období finanční krize. V roce 1998 bylo na území České republiky postaveno pouze 123 staveb s dřevěnou nosnou konstrukcí. Od té doby se počet tohoto typu staveb každým rokem zvyšuje. V roce 2015 jich bylo postaveno téměř 1 800. [1][79][80][81]

Spolu s rozvíjející se výstavbou budov s nosnou konstrukcí ze dřeva či materiálů na jejich bázi se stává důležitým oborem i diagnostika kvality jejich samotného provedení. Stavby s touto konstrukcí jsou oproti klasickým zděným stavbám velmi citlivé hlavně na preciznost výstavby a montáž. Izolační vlastnosti staveb by měly být pod větší kontrolou, jelikož nedodržení některých hlavních parametrů může vést až k samotné destrukci nosné konstrukce.

Izolační vlastnosti stavebních konstrukcí je jednou ze základních stavebně fyzikálních disciplín.

Problematika stavební fyziky zahrnuje diagnostiku tří samostatných fyzikálních veličin. Jedná se o vzduchovou průvzdušnost, kontrolu vlastností stavených konstrukcí z pohledu akustických a vlhkostní diagnostiku, která úzce souvisí s tepelně-technickými vlastnostmi konstrukcí – zabývající se jednotlivými způsoby přenosu tepla stavebními konstrukcemi. S touto částí stavebně fyzikální diagnostiky (tepelnou technikou) úzce souvisí diagnostika vzduchové průvzdušnosti konstrukcí. Výzkum, který je uveden v této disertační práci má prokázat kvalitu dřevostaveb z pohledu průvzdušnosti. Hodnocení ostatních výše uvedených metod není součástí předložené disertační práce.

Jednou z nejpoužívanějších diagnostických metod je „Blower-door“ test, neboli test průvzdušnosti. Tímto testem se kontroluje kvalita vzduchotěsnící vrstvy. Při přetlaku a podtlaku 50 Pa je umožněno odhalit defektní místa stavby, kde by mohlo docházet ke kondenzaci vody a následnému poškození nosných dřevěných prvků i izolačních materiálů. [86][82] Opravou těchto kritických míst lze mnohonásobně prodloužit životnost staveb s nosnou konstrukcí na bázi dřeva. Dalším důvodem k nalezení a opravení kritických míst je značná energetická úspora. [87][88]

V literární rešerši se práce věnuje historii vzniku této metody, dále pak rozdílům mezi jednotlivými energetickými třídami budov se zaměřením zejména na budovy s dřevěnou nosnou konstrukcí a rozdělením těchto staveb dle několika vybraných parametrů. V dalších kapitolách je popsána metodika měření a nakonec samotné zhodnocení naměřených výsledků s fotodokumentací zjištěných netěsností.

Pro vyhodnocení výzkumu bylo získáno celkem 345 výsledků průvzdušnosti, z toho 241 pro nízkoenergetické budovy a 104 výsledků pro budovy v pasivním standardu. Tyto data jsou z období 2006 – 2016. Všechny měřené stavby byly postaveny na území České republiky a všechna data byla získána měřením průvzdušnosti budov pomocí Blower-door testu. 77 % měření bylo provedeno autorem práce a zbývajících 33 % pracovníky VVÚD v Praze. Se souhlasem realizačních firem vznikla anonymní databáze pro statistické zpracování výsledků.

2. CÍLE

Měření vzduchové průvzdušnosti patří k jedné z hlavních diagnostických metod pro zjišťování kvality stavby. Nekvalitně provedená vzduchotěsnicí vrstva může mít za následek poddimenzování otopné soustavy, či nesprávně fungující nucené větrání. A v neposlední řadě pokud skrz netěsnosti proudí vzduch, může v konstrukci docházet ke kondenzaci vody. Zkondenzovaná voda má vliv na tepelné vlastnosti izolačních materiálů. A pokud se jedná o minerální či skelné vaty, často dochází k jejich sesedání a tím ke vzniku tepelných mostů, které zapříčiní další kondenzaci vody v konstrukci. Zkondenzovaná voda má zejména u dřevostaveb fatální následky na nosnou konstrukci, kdy může dojít až k její destrukci.

Z výše uvedeného je patrné, že kvalitně provedená vzduchotěsnicí vrstva, umožňuje značné ekonomické úspory a vede k dlouhodobému a bezproblémovému užívání stavby, bez zbytečných reklamací. S postupujícími lety se kvalita nově vybudovaných budov zvyšuje [3].

Z výše uvedených důvodů si tato disertační práce dává za cíl vyhodnocení kvality provedení vzduchotěsnicí vrstvy pomocí metody Blower-door test u obytných budov postavených na území České republiky v letech 2006 – 2016. K zodpovězení hlavního cíle bylo nutno prověřit jednotlivé vlivy, které by mohly ovlivnit výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti:

- Vliv roku výstavby na výsledné hodnotě vzduchové průvzdušnosti.
- Vliv realizační firmy na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.
- Vliv zvoleného způsobu větrání na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.
- Vliv přítomnosti komínového tělesa na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.
- Vliv svislé obvodové konstrukce na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.
- Vliv místa a způsobu výstavby na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.

-
- Porovnání výsledků vzduchové průvzdušnosti při využití metody A nebo B.
 - Porovnání výsledků při přetlaku a podtlaku.
 - Vliv objemu budovy na výsledné hodnoty vzduchové průvzdušnosti.
 - Nalezení nejslabších míst (netěsností) v konstrukci z hlediska vzduchotěsnosti.

3. HISTORIE NÍZKOENERGETICKÉ VÝSTAVBY

V 70. letech při první ropné krizi v USA je zaznamenán výrazný vzestup nízkoenergetické a solární výstavby. V té době si společnost uvědomuje svou obrovskou závislost na energiích a to zejména ropě. Z tohoto důvodu se výrazně zvýšil tlak na snižování energetické náročnosti v různých odvětvích průmyslu, přičemž stavebnictví patřilo k jedné z nejvíce diskutovaných oblastí. V té době se začíná výstavba experimentálních energeticky šetrných budov, kde hlavní energetickým vstupem je solární energie. Budovy stavěné v 70. letech mají jako hlavní zdroj energie velké sluneční kolektory, solární skleníky a prosklené stěny, nebo je energie z těchto solárních zdrojů ukládána do vodních akumulčních nádrží. Takové budovy se označují jako nízkoenergetické domy první generace. Typickým znakem těchto staveb je velký zdroj převážně obnovitelné energie, ale stavební úpravy, zejména izolační schopnosti a vzduchotěsnost staveb, jsou do značné míry podceňovány. Postupně se od tohoto typu staveb upustilo a to z důvodu jejich ekonomické náročnosti. Ovšem i tak se do běžné výstavby dostala řada výrazných zlepšení. [3]

Mnoho takovýchto budov mělo řadu stále se opakujících nedostatků, zapříčiněných nedostatečnou vzduchotěsností, zejména nekvalitními otvorovými výplněmi s nedostatečnou těsností. Netěsnostmi se sice na jednu stranu zajišťovalo samovolné větrání a odvod vlhkosti, které by mohly způsobit vzrůst kontaminace vnitřního prostředí nečistotami, ale na straně druhé byly příčinou významných energetických ztrát bez možnosti jejich regulace. [89] Hlavní nedostatkem těchto budov, byl sklon k poruchovosti experimentální techniky, kterou byly osazeny. [6]

Další vývoj probíhal spíše v Evropě. Evropské stavebnictví je založeno na jiných principech než americké. Větší důraz je kladen na použití tradičních materiálů, kvalitní detaily a podstatně vyšší životnost staveb. [9]

Postupně byly inovovány jednotlivé části budov, jako např. zvýšená tepelná izolace stěn, kvalitní a těsné otvorové výplně, také byla věnována větší pozornost vzduchotěsnosti celé obálky. [90] Postupem času došlo i na členění na tepelné zóny uvnitř objektu. Všechny tyto zásahy vedly k tomu, že se nové

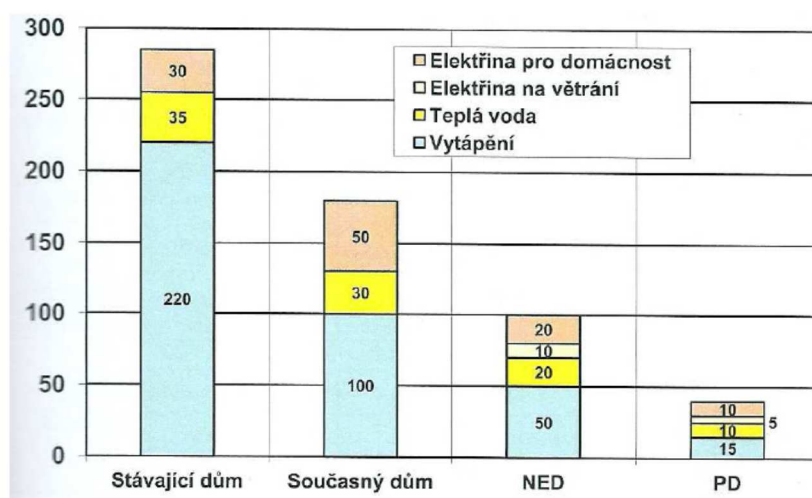
domy začaly označovat jako nízkoenergetické domy druhé generace. Další aktivní technologie, které se začaly používat a které dnes už považujeme za běžné, jsou např. tepelná čerpadla, rekuperace, ohřev teplé vody ze slunečních kolektorů a další. [3]

Získané zkušenosti byly využity v dalším vývoji. Koncepte pasivního domu byla nastíněna již v roce 1988 během vědeckého pobytu dr. Wolfganga Feista na univerzitě Lund ve Švédsku [4]

Skutečný návrh a realizaci čtyř řadových domů vytvořili pro soukromé klienty architekti Bott, Ridder a Westemeyer. Stavby byly realizovány v německém městě Darmstadt v roce 1990. Výstavba pokračovala v roce 1993 ve městě Stuttgart a 1997 v Naumburgu, Hessenu, Wiesbadenu. [5]

Po ověření funkčnosti konceptu pasivního domu byla v roce 1996 založena nadace Passivhaus-Institut pro propagaci a kontrolu standardu pro pasivní domy. Dále byla založena pracovní skupina pro projektování pasivních staveb a vývoj technologií (především oken a větracích systémů). [5]





Během 80. let pak v Německu vznikl i projekt nulového domu, který se ale vzhledem k vysokým energetickým nárokům na fungování svých systémů příliš neosvědčil. Budova v Dörpe, nedaleko Hannoveru, je ovšem dodnes využívána a funguje v nízkoenergetickém standardu. Na její konstrukci se podílela řada výzkumníků, kteří později pracovali i na dalších německých pasivních domech, a stala se zdrojem mnohých cenných poznatků. [6]



Obrázek 1 Potřeba energie na provoz stávajícího a současného domu, ND a PD, uvedeného $Wh/(m^2 \cdot a)$. [49]

V České republice se touto problematikou intenzivně zabývá Centrum pasivního domu, které bylo založeno roku 2005 Ing. Janem Bártou.

Výrazným katalyzátorem pro stavbu pasivních rodinných domů v České republice byl dotační titul „Zelená úsporám“.

Potřeba energie na vytápění typického RD pro jednu rodinu	kWh/m ² a 300-250	kWh/m ² a 150-100	kWh/m ² a 50-40	kWh/m ² a ≤ 15
DRUH STAVBY	Naprostě nedostatečná tepelná izolace Konstrukčně nevyhovující, neúnosná cena za vytápění (typické venkovské budovy, nmodernizované staré budovy).	Nedostatečně tepelně izolovaný dům Nutná energetická sanace (typická občanská výstavba 50. - 70. let minulého století).	Nizkoenergetické domy	Pasivní domy (jedním z požadavků pasivních domů je splnění těchto hodnot)
KONSTRUKCE	Typické hodnoty součinitele U a tloušťky izolací			
Obvodové stěny (masivní, tl. 25cm) Tloušťka izolace	1,30 W/(m ² K) 0 cm	0,40 W/(m ² K) 6 cm	0,20 W/(m ² K) 16 cm	0,13 W/(m ² K) Průměrně 30 cm
Střecha Tloušťka izolace	0,90 W/(m ² K) 4 cm	0,22 W/(m ² K) 22 cm	0,15 W/(m ² K) 30 cm	0,10 W/(m ² K) 40 cm
Podlaha na terénu Tloušťka izolace	1,0 W/(m ² K) 0 cm	0,40 W/(m ² K) 6 cm	0,25 W/(m ² K) 10 cm	0,15 W/(m ² K) 26 cm
Okna	5,10 W/(m ² K) Jednoduché zasklení	2,80 W/(m ² K) Izolační dvojsklo (plněné vzduchem)	1,10 W/(m ² K) Tepelně-izolační dvojsklo	0,80 W/(m ² K) Tepelně-izolační trojsklo, speciální rám
Větrání	Netěsné spoje	Otevřená okna	Jednotka nuceného větrání s rekuperací	Komfortní ventilační systém s rekuperací tepla
Emise CO ₂	60 kg/m ² a	30 kg/m ² a	10 kg/m ² a	2 kg/m ² a
Roční spotřeba energie litry palivového oleje/m ² obytné plochy	 30-25 litrů	 15-10 litrů	 4-5 litrů	 1,5 litru

Obrázek 2 Vztah potřeby energie na vytápění a energetická kritéria konstrukcí, které vytvářejí obvodový plášť stavby. [50]

4. ROZDĚLENÍ STAVEB

4.1. Rozdělení dle energetické náročnosti

Vliv staveb na životní prostředí je neoddiskutovatelný, Evropský průměr na vytápění budov je 174,3 kWh/m². Nejvyšší spotřebu na vytápění mají Polské budovy a to o 63% nad evropský průměr. [104] V České republice tvoří spotřeba na vytápění 60% veškeré spotřebované energie v domácnosti. Proto lze konstatovat fakt, že investice do snižování spotřeby je v dlouhodobém hledisku výhodná s přínosem značné finanční úspory.[7]

Základní rozdělení staveb dle energetické náročnosti dle normy ČSN EN 730540-2 zobrazuje tabulka 1. Každou kategorii charakterizuje měrná roční spotřeba tepla na 1 m² vytápěné plochy za rok a součinitel prostupu tepla obvodové stěny. Tyto hodnoty jsou pouze orientační, ale lze dle nich a skladby stěny předpokládat, jaké energetické náročnosti budova dosáhne. [9]

Tabulka 1 Základní rozdělení budov podle energetické náročnosti. [10]

kategorie	Roční měrná spotřeba tepla na vytápění EPa [kWh/(m ² a)]	Hodnota součinitele prostupu tepla U [W/(m ² K)] obvodové stěny lehké (do 100 kg/m ²) těžké (nad 100 kg/m ²)
Starší budovy obecně postavené před rokem 1990	150 – 300	(nerozdělovalo se na lehkou a těžkou) 0,40-0,80
Obvyklá novostavba podle aktuálních normovaných požadavků	80 – 140 (podle členitosti budovy)	lehká – 0,30 těžká – 0,38
Energeticky úsporný dům	50 – 70	lehká – 0,18 – 0,22 těžká – 0,22 – 0,26
Nízkoenergetický dům	≤ 50	lehká – 0,13 – 0,19 těžká – 0,15 – 0,21
Pasivní dům	≤ 15	0,09 – 0,15
Nulový dům	0 – 5	0,08 – 0,12
Dům s energetickým přebytkem	< 0	0,06 – 0,10

Rozdělení dle plošné konstrukce se neprovádí u nulových a pasivních budov, a to z důvodu, že plošná hmotnost obvodových konstrukcí obvykle přesahuje 100 kg/m^2 . [9]

„U nulových budov a budov s energetickým přebytkem je uvedených hodnot dosahováno především díky vlastní výrobě energie (nejčastěji pomocí fotovoltaických solárních kolektorů), energetické přebytky jsou nejčastěji vráceny zpět do rozvodné sítě.“ [10]

4.1.1. Nízkoenergetické budovy

„Nízkoenergetické domy“ jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění. Té je dosaženo zejména optimalizovaným stavebním řešením obálky budovy. Za nízkoenergetickou budovu dle normy ČSN EN 73 0540-2; 2011, se považuje budova, jejíž průměrný součinitel prostupu tepla nepřekračuje doporučenou hodnotu podle tabulky 2. a současně měrná potřeba tepla na vytápění je stanovena v souladu s ČSN EN ISO 13790, TNI 730329 a TNI 730330, nepřekračují $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (Rakousko méně než $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) [106]). Pro budovy s převažující návrhovou teplotou mimo interval $18^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$ se hodnocení neprovádí“ [2] Nízkoenergetické domy se dají dále rozdělit dle způsobu větrání, jak uvádí tabulka 3, tato hodnota je závislá na způsobu větrání. V TNI 730329 je uvedena hodnota pro nízkoenergetický dům $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$. [2]

Tabulka 2 Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně. [2]

	Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]
Nové obytné budovy	Výsledek výpočtu podle 5.3.4*, nejvýše však 0,50
Ostatní budovy	Výsledek výpočtu podle 5.3.4*, nejvýše však hodnota: Pro objemový faktor tvaru: $A/V \leq 0,2$ $U_{em, N,20} = 1,05$ $A/V > 1,0$ $U_{em, N,20} = 0,45$ Pro ostatní hodnoty A/V $U_{em, N,20} = 0,30 + 0,15/(A/V)$.

* 5.3.4. výpočet je uveden v normě ČSN 73 0540-2

4.1.2. Pasivní budovy

Název pasivní budova vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jsou to vnější zisky ze slunečního záření procházejícího okny a zisky vnitřní – teplo vyzařované lidmi a spotřebiči. Díky velmi kvalitní izolaci a dalším prvkům tyto zisky „neutíkají ven“ a po většinu roku postačují k zajištění příjemné teploty v místnostech. Vše dohromady zvyšuje kvalitu bydlení a hodnotu nemovitosti. [11]

Pasivní budovy jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů, na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením, které ale zvyšují náklady na cenu stavby. [2] [105]

Základní kritéria pasivních domů (hodnoty platí pro středoevropské klimatické podmínky):

- Mírná spotřeba tepla na vytápění $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$; [106]
- maximální topný výkon $10 \text{ W}/\text{m}^2$;
- součinitel prostupu tepla u všech plných obvodových konstrukcí s $U \leq 0,15 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$;
- okna s hodnotou $U \leq 0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ a se sklem o hodnotě $g \geq 50\%$;
- součinitel vzduchové neprůvzdušnosti $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$;
- vzduchotechnická jednotka s rekuperací s účinností vyšší než 75%;
- celková roční spotřeba primární energie (na topení, větrání a elektrické spotřebiče) nesmí překročit $120 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. [12] [107]

Tabulka 3 Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$. [2]

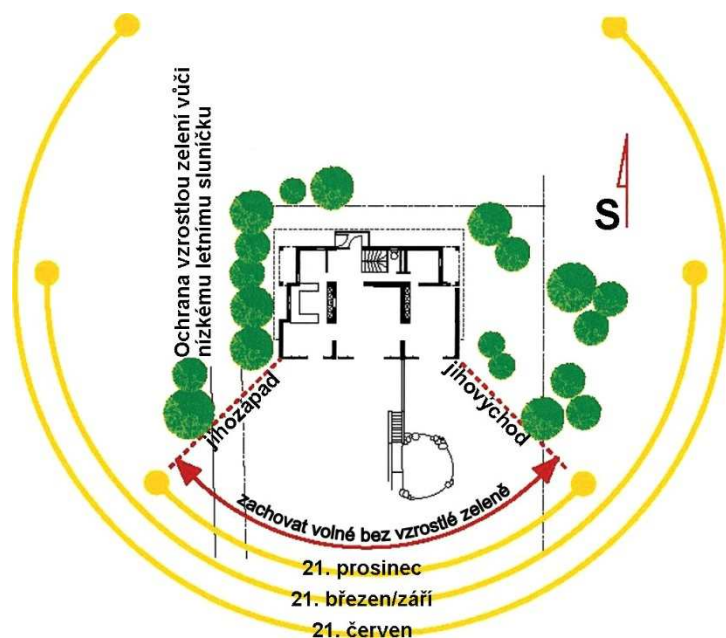
Větrání v budově	Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ [h^{-1}]	
	Úroveň I	Úroveň II
Přirozené nebo kombinované	4,5	3,0
Nucené	1,5	1,2
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0	0,8
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6	0,4

Pro splnění základní podmínky na roční měrnou spotřebu tepla na vytápění 15 kWh/(m²a), je zapotřebí dodržet níže uvedené zásady:

- Orientace a umístění budovy.
- Kompaktní energeticky příznivý tvar budovy.
- Vynikající tepelná izolace všech částí konstrukce.
- Vzduchotěsnost obvodového pláště.
- Kvalitní izolační okna.
- Řízené větrání s účinným zpětným získáváním tepla. [3]



Obrázek 3 Umístění pasivního domu. [68]



Obrázek 4 Příklad ideálního umístění domu. Jižně orientovaná fasáda zůstává bez zastínění. [69]

4.1.3. Nulové budovy

Dle zákona bychom měli říkat budova s téměř nulovou spotřebou energie, ovšem pro jednoduchost se vžil zkrácený název „Nulový dům“. Jako základ je použit pasivní dům, ovšem jeho energetická spotřeba je kryta v maximální možné míře z obnovitelných zdrojů. [13]

Z důvodu snižování energie, musí všechny nové budovy splňovat požadavky na spotřebu energie, a to od 1.1 2013 dle stávající vyhlášky 148/2007 a od 1.4 2013 musí splňovat nové požadavky dle vyhlášky 78/2013 (novely vyhlášky 148/2007) o energetické náročnosti budov. [91]

Nové budovy (administrativní, bytové, rodinné) od roku 2018 / 2019 / 2020 budou muset splňovat požadavky tak, aby měly téměř nulovou spotřebu energie (nulové domy), a to:

- od 1. ledna 2018 (pro budovy s podlahovou plochou větší než 1 500 m²)
- od 1. ledna 2019 (pro budovy s podlahovou plochou větší než 350 m²)
- od 1. ledna 2020 (pro budovy s podlahovou plochou menší než 350 m²)

Konkrétní požadavky na nulové budovy, viz novela vyhlášky 148/2007. [13]

Hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, vyjádřené v hodnotách primární energie, přičemž se předpokládá, že budova je připojena na obvyklé energetické sítě. Zpravidla je potřebné, aby stavební řešení a technická zařízení budovy byla navržena tak, aby alespoň přibližně odpovídala standardu pasivního domu a část energetických potřeb byla kryta z obnovitelných zdrojů. [14]

Pro hodnocení jsou stanoveny dvě základní úrovně:

- Úroveň A – do energetických potřeb budovy se zahrne potřeba tepla na vytápění, chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče. [2]
- Úroveň B – jako A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče. [2]

Pro výše zmiňované úrovně je v tabulce 4 uvedeno, co se považuje za dosažení úrovně „energeticky nulového domu“ a co za dosažení úrovně domu „blízkého energeticky nulovému“. [2]

Tabulka 4 Základní požadavky energeticky nulové budovy. [2]

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/(m ² ·a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/(m ² ·a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$ Bytové domy $\leq 0,25$	Rodinné domy $\leq 0,20$ Bytové domy $\leq 0,20$	0	0
	Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy ²⁾	Nulový	$\leq 0,35^{1)}$	$\leq 0,30$	0	0
	Blízký nulovému			120	90
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučena, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě dle ČSN 73 0540 kapitola 5.3.2. ²⁾ Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18°C-22°C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.					

4.1.4. Aktivní budova

Aktivní (respektive nulová, případně plusová) budova je, ta která na svůj provoz nepotřebuje dodávat zvenčí žádnou energii. Z obnovitelných zdrojů ji dokáže sama vyrobit tolik, kolik spotřebuje, případně o něco víc. Tato bilance je však jen teoretická, protože v praxi se elektrická energie, vyrobená většinou pomocí fotovoltaických panelů, obvykle dodává do veřejné elektrické sítě. Při provedení matematického porovnání energie dodané do budovy z veřejné sítě (spotřebované) a energie dodané vyrobené do sítě (vyprodukované z vlastních zdrojů) je ideální výsledek rovný nule (ačkoliv jen teoreticky). Budova produkuje energii bez emisí CO₂, a tedy bez ekologické zátěže na životní prostředí. [15]

Aktivní domy se někdy nazývají jako plusové domy. Tyto domy nepotřebují ke svému provozu připojení na klasické sítě jako je plyn a elektrika, protože jsou vybaveny zařízeními, která vyrábí energii z obnovitelných zdrojů, a to v takovém množství, že mohou vznikat i přebytky. [110]

Požadavky na aktivní domy jsou shodné s domy nulovými a svými atributy se snaží vyrovnat domům pasivním. Jedním ze základních rozdílů je přidání požadavek na nulovou spotřebu elektrické energie na jeden metr čtvereční a rok. Tohoto požadavku se dosahuje využitím rekuperačních jednotek, solárních panelů, kotlů na pelety a dalších zdrojů. [16]

4.2. Rozdělení staveb

4.2.1. Rozdělení dle místa a způsobu výstavby

Základní rozdělení:

Prefabrikace (panelová výstavba)

Jednotlivé části budovy (panely) se sestavují mimo stavbu (převážně v krytých halách). Při sestavování jednotlivých panelů v těchto prostorách se lépe dodržují jednotlivé technologické operace. Výsledkem této prefabrikace je výrobek, který spadá pod zákon 22, nařízení vlády č.163/2002 sb. a vydané technické návody. Proto je potřebná certifikace výrobku, kterou provádí AO (autorizovaná osoba).

Staveništní montáž (letmá montáž)

Na stavbu se přiveze materiál (cihly, beton, písek, desky, vruty, pásky folie, dřevo a další) a teprve tam se z něho zhotovují jednotlivé části stavby. Tento postup stavby by měl splňovat nařízení č. 163/2002 sb. a požadavky, které jsou přesně popsány v technickém návodu. Certifikace AO je nahrazena kolaudací budovy příslušným orgánem.

4.2.2. Rozdělení dle plošné hmotnosti

Lehké konstrukce

Jejich plošná hmotnost je nižší než 100 kg/m^2 a mají nízkou tepelnou setrvačnost. [2] Pro zlepšení nedostatečných akumulčních vlastností takovýchto konstrukcí, lze využít nižší hodnotu prostupu tepla $U_{\text{rec}20}$, jak uvádí norma ČSN EN 73 050-2, v tabulce 3, obrázek 6. [17] [2]

Těžké obvodové konstrukce -

jejich plošná hmotnost je vyšší 100 kg/m^2 a mají vysokou tepelnou setrvačnost, obrázek 5. [17]



Obrázek 6 Lehká obvodová konstrukce. [56]



Obrázek 5 Těžká obvodová konstrukce. [57]

4.2.3. Rozdělení dle obvodové nosné konstrukce

4.2.3.1. Roubené a srubové stavby

Počátky tohoto způsobu výstavby sahají hluboko do minulosti. Pro jejich kvalitní dokončení je zapotřebí znát jejich konstrukční zásady a mít značnou řemeslnou zručnost a zkušenost. Jejich nezaměnitelný urbanistický vzhled se nejlépe hodí do horských oblastí a do zalesněného prostředí.



Obrázek 8 Roubenka. [53]



Obrázek 7 Rybinový spoj. [54]

Základní konstrukce stěn vychází z technologie roubení, kdy vodorovně kladené hranoly jsou v rozích spojeny na rybinu, obrázek 7. Jednotlivé hranoly jsou navzájem spojeny na kolík, pero a drážku a následně jsou spáry utěsněny.

Rozlišují se dva druhy konstrukce stavby. Z hraněného dřeva (roubené domy) nebo polohraněného dřeva (srubové domy). [18]

Z důvodu zvyšujících se energetických požadavků na energetickou náročnost staveb, lze roubené stavby rozdělit na:

Klasické srubové stavby

Konstrukce se skládá pouze z kulatiny nebo hraněného dříví, ukládaných vodorovně na sebe. Ty zastávají několik funkcí - nosnou, prostor vytvářející, izolační a často i pohledovou, a to jak z interiéru tak exteriéru. [19]

Novodobé srubové stavby

Jsou již tvořeny tak, aby splňovaly zvyšující se požadavky na energetickou náročnost. Toho se dosáhlo přidáním dalších vrstev. Stěna se již stává sendvičem, kde každá vrstva plní požadovanou funkci.

4.2.3.2. Hrázděné stavby

Jejich historie sahá do 12. – 13. století, kdy se začaly stavět, zejména v oblasti Sudet. V této oblasti se dřevo pro výstavbu roubených budov začalo značně prodražovat, a proto se při stavbě nových budov přešlo na konstrukci hrázděných staveb, které měly až o 2/3 menší požadavek na potřebné stavební dřevo. Vytvoření základní kostry bylo velice pracné a nákladné, ale i tak se to vyplatilo. [20]



Obrázek 10 Příklad hrázděné stavby. [20]



Obrázek 9 Příklad vícepatrových hrázděných staveb. [55]

Kostra je tvořena prahem, který je plochého průřezu a měl by být vyroben z jiného než smrkového dřeva (borovice, modřínu, dubu). Smrkové dřevo je nevyhovující, a to z důvodu, že je nejvíce namáháno povětrnostními vlivy. Dalším vodorovným prvkem je věnec (vaznice) a pokud tvoří zároveň práh dalšího patra je opět zhotoven z výše uvedených dřevin. Dalším konstrukčním prvkem jsou sloupy, převážně čtvercové a jsou spojeny na jednoduchý nebo křížový čep do prahu a vaznice. Jejich obvyklá osová vzdálenost se pohybuje mezi 0,9 – 2 m. Nedílnou a důležitou součástí konstrukce jsou šikmé vzpěry,

keré slouží jako vyztužení proti větru. Posledním konstrukčním prvkem je paždík, má stejný průřez jako sloup a tvoří se jím otvory pro okna a dveře. Spoje všech konstrukčních prvků je zapotřebí zajistit kolíky. [20]

Výplň je tvořena obvykle vyzdívkou z lícových nebo omítaných cihel, na tloušťku rámu cca 150-200mm. Kostra s kvalitním nátěrem vystupuje obvykle o 20 mm oproti vyzdívce. [20]

4.2.3.3. Sloupkové stavby

Tento konstrukční systém se začal výrazně rozvíjet na konci 19. stol. v USA a postupně se rozšířil do Evropy a Austrálie. Katalyzátorem tohoto typu výstavby byla automatizace výroby hřebíků, které se do té doby vyráběly ručně. [58]

Typickým konstrukčním prvkem je, že nosnou funkci zde zastávají dřevěné tyčové prvky (nosný prvek je obvykle z hraněného řeziva - ČSN EN 14 081 -1 nebo lepených prvků - ČSN EN 14 080 a v poslední době se objevují i lehké kovové konstrukce atd.) Vlhkost dřeva před zabudováním nesmí být větší než 20%. Osová vzdálenost sloupků je 400-700 mm, nejpoužívanější vzdálenost je 625 mm. A na tuto vzdálenost jsou již vyráběny desky k opláštění (OSB, sádkartonové desky, sádrovláknité desky, a jiné materiály na bázi dřeva), které zde plní i funkci k zajištění prostorové tuhosti. Mezi sloupky je vkládána nebo nafoukána izolace, která zajišťuje nejen tepelně-technické, ale i akustické vlastnosti. [19]

Rozmanitost skladeb a použitých materiálů je značná a nejčastěji se využívá při staveništní montáži také známé pod názvem „two by four“. [19] [58] V současné době patří k jedné z nejtýpějších nosných obvodových konstrukcí, z materiálů na bázi dřeva.



Obrázek 12 Dřevěná sloupková konstrukce letmá montáž. [58]



Obrázek 11 Ocelová konstrukce Lindab.[59]

4.2.3.4. Panelové stavby

Ve své podstatě se jedná o sloupkovou stavbu, kde nosná kostra je tvořena z hraněného řeziva, které přenáší svislá zatížení. Rám (ze dřeva, oceli, I-nosníku, atd.), je opláštěný velkoplošnými materiály a slouží jako tužící prvek, proti vodorovným silám (vítr, atd.).

Dimenze trámu je přizpůsobena tomu jaký účel ve stavbě zastává (rám – příčkový, obvodový, stropní aj.) Prostor mezi žebry je vyplněn izolačními materiály. Mnohdy je takto připravený panel doplněn o exteriérové i interiérové prvky, tak aby systém splňoval požadavky na něj kladené. Panely lze dodávat v různé fázi prefabrikace (dokončené jen z jedné strany, nebo takzvané plné dokončenosti), kdy je již panel osazen i otvorovými výplněmi a s dokončenými povrchy na obou stranách, včetně zabudovaných rozvodů. [19]

Jako hlavní výhoda tohoto systému je možnost dokončení určitých fází již ve výrobních prostorách, kde jsou ideální podmínky pro práci, čímž stoupá její produktivita a kvalita stavby. Výroba panelů není závislá na ročním období. [60] S takto připravenými panely lze stavbu dokončit během několika dní. Např. RD Rýmařov dokončí stavbu domu „Nova 101“ za 14 dnů.



Obrázek 14 Způsob panelové výstavby. [60]



Obrázek 13 RD Rýmařov Nova 101. [61]

4.2.3.5. Skeletové stavby

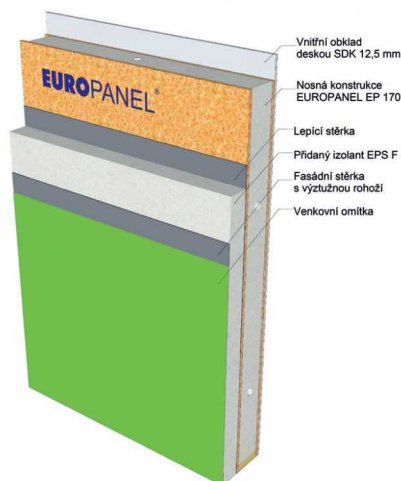
Nosné prvky (skelety) se dříve využívaly pro výstavbu průmyslových objektů, obchodních center, skladovacích prostor. Poslední dobou se tato technologie začíná uplatňovat i při výstavbě rodinných domů. [21]

Jako základní nosný prvek (skelet), je prostorový nosný systém zhotovený ze sloupů a vodorovných nosných prvků (průvlaků), navzájem spojených

tuhými vazbami. Výplně obvodové stěny a vnitřní příčky jsou nenosné, s výjimkou zabezpečení prostorové tuhosti objektu. Pro nosné účely se používají plnostěnné průřezy z lepeného dřeva, I-nosníků, příhradových lepených nebo kombinovaných (diagonály z plechů) nosníků. Použitím těchto prvků lze docílit konstrukčního řešení s velkými volnými plochami. [22]

Do této kategorie se dle některé literatury řadí i SIPs panely, obrázek 16. Jejich historie sahá až do roku 1935, kdy ve Forest Products Laboratory v Madisonu začaly pokusy o přenesení veškerého svislého zatížení, ze stavebních konstrukcí do překližkového pláště sendvičového panelu. Podařilo se vyvinout takový panel, kde byla izolace v celém průřezu, tudíž bez tepelných mostů způsobených dřevěnou nosnou konstrukcí. Další výhodou takového panelu je, že odpadá potřeba sušárny na řezivo a stavebně truhlářská výroba potřebná pro zhotovení rámu. Takovéto panely lze libovolně dělit, při zachování mechanických vlastností. [62]

Tyto panely se vyznačují celoplošným slepením pláště z konstrukčních desek (OSB desky, cementotřískové desky, překližky atd.) a izolačního jádra (expandovaný polystyrén, extrudovaný polystyrén, polyuretan, dřevovláknité desky atd.). V dnešní době jsou nejvíce používány SIPs panely s pláštěm z OSB desek (musí splňovat normu ČSN EN 300) a expandovaného polystyrénu. [62]



Obrázek 16 Schéma SIPs panelu. [62]

Obrázek 15 Ocelová skeletová konstrukce.[63]

4.2.3.6. Stavby z masivního dřeva

Někdy také označované jako stavby z panelů CLT. Tyto panely jsou vyráběny v ČR převážně z vysušeného smrkové řeziva, které je skládáno do vrstev, jednotlivé vrstvy jsou na sebe kolmé.

Tloušťku panelů určuje počet vrstev. Použité dřevo má vlhkost okolo 8%, což zabraňuje tvorbě trhlin. [23] Splením těchto vrstev vzniká výrazně rozměrově i tvarově stabilní konstrukční prvek. V literatuře lze nalézt údaj, že tvarová nestálost se pohybuje 1 mm na 10 m délky. Masivní panely lze vytvořit jako celostěnné a díky tomu mohou být využívány pro stavbu vícepatrových budov. [24]

Nejčastější použití je pro stavbu pasivních domů s difúzně otevřenou konstrukcí z důvodu, že v tomto konstrukčním řešení nevzniká velké množství tepelných mostů. Pro zateplování se nejčastěji používá difúzně otevřených zateplovacích systémů s provětrávanou fasádou. [25]



Obrázek 18 Stavba z CLT panelu. [71]



Obrázek 17 CLT panely. [72]

4.2.4. Rozdělení dle difúzního odporu

Při stavbě lehkých obvodových konstrukcí, včetně střešní, je zapotřebí zabránit nadměrnému šíření vlhkosti do konstrukce, protože by v důsledku poklesu teploty došlo ke kondenzaci této vlhkosti, která by pak zapříčinila velké teplotní ztráty, a mohlo by také dojít k destrukci nosné dřevěné konstrukce. Aby nedocházelo k takovéto kondenzaci je zapotřebí použít správné těsnicí materiály, vhodnou tloušťku izolace a zároveň provést tepelně vlhkostní výpočet. [29] [30]

Parotěsnicí vrstva je vrstva, omezující pronikání vodní páry z vnitřního prostředí do stavební konstrukce, kde by v důsledku poklesu teploty došlo ke kondenzaci vodních par. Za omezení pronikání vodních par lze považovat omezení difúze (pohyb vodní páry vyvolaný gradientem částečného tlaku vodní páry) a proudění vlhkosti (volně proudící vzduch obsahující vodní páru). [30]

Rozdělení těsnicích materiálů:

- Parozábrana je výrobek využívaný pro parotěsnicí vrstvu.
- Parobrzdá je výrobek používaný také pro parotěsnicí vrstvu, ale s menší hodnotou ekvivalentní difúzní tloušťky, než parozábrana. [26]

V poslední době se vyskytla celá řada rozdělení dle s_d [m], které vyjadřuje ekvivalentní difúzní tloušťku vrstvy vzduchu, která by kladla stejný difúzní odpor jako tloušťka konstrukce. [26] Někdy se u těchto materiálů také udává faktor difúzního odporu μ [-], jedná se o bezrozměrnou veličinu, která vyjadřuje, kolikrát lépe propouští vodní páru nehybná vrstva vzduchu, než stejná tloušťka daného materiálu. [27]

Starší rozdělení dle české literatury:

- Parobrzdá $100 \text{ m} \leq s_d < 1500 \text{ m}$.
- Parozábrana $s_d \geq 1500 \text{ m}$. [28]

Rozdělení dle DIN 4108-3:

- I. kategorie – difúzně propustné materiály $s_d \leq 0,5 \text{ m}$
- II. kategorie – difúzně málo propustné materiály $0,5 \text{ m} < s_d < 1500 \text{ m}$
- III. kategorie – difúzně nepropustné materiály $s_d \geq 1500 \text{ m}$ [29]

Další rozdělení je popsáno v [30], kde je posouzení provedeno pro různé vnější a vnitřní okrajové podmínky, které se vyskytují v České republice. Dle tohoto rozdělení vznikly čtyři kategorie:

I. kategorie $0,5 < s_d \leq 100 \text{ m}$ parobrzdý nesnadno propustné pro vodní páru. Využití zejména k omezení velikosti hmotnostního toku vodních par, při malém vnitřním a vnějším klimatickém zatížení. Použití z důvodu větší neprůvzdušnosti konstrukce

II. kategorie $100 < s_d \leq 600$ m mírné parozábrany těžko prostupné pro vodní páru. Využití u běžných občanských a bytových objektů

III. kategorie $600 < s_d \leq 1500$ m parozábrany velmi těžko propustné pro vodní páru. Použití u velkého vlhkostního zatížení vnitřních prostorů, nebo pro nepříznivé vnější klimatické podmínky nad 600 m.n.m.

IV. kategorie $s_d > 1500$ m výrazné parozábrany téměř nepropustné pro vodní páru. Použití v extrémních klimatických podmínkách nebo v místech rizika kondenzace vodních par. [29] [30]

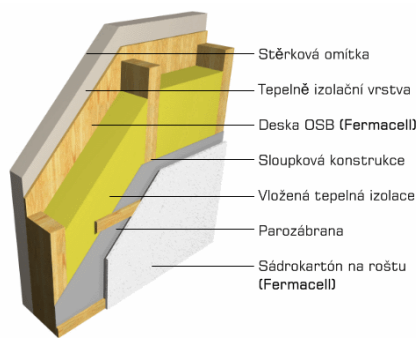
4.2.4.1. Difúzně uzavřené stavby.

Toto řešení u novodobé výstavby by patřilo k té starší a levnější variantě. Umístění parozábrany na straně interiéru je velice důležité, protože pohyb vodní páry z obývaných vnitřních prostor směrem ven probíhá až 8 měsíců v roce. Čím větší je rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem, tím větší je pohyb vodních par. Právě parozábrana tento pohyb eliminuje. Z tohoto důvodu je důležité, aby byla tato vrstva celistvá a vytvářela uzavřený obal bez porušení. Výhodou této konstrukce je, že lze použít levnější následné materiály v konstrukci, bez nutnosti znát jejich difúzní odpor. Vždy musí být spočítán teplotně vlhkostní výpočet pro danou skladbu, aby nedocházelo ke kondenzaci vody v konstrukci, vlivem špatného umístění rosného bodu.

Jako zateplovací systém se nejčastěji používá pěnový polystyrén (EPS), minerální izolace z roztavené horniny, strusky nebo skla. Tyto materiály jsou lepeny na desky na bázi dřeva nebo jiné deskové materiály (OSB, sádrovláknité desky, konstrukční sádrokartón, aj.) a dále pak kotveny speciálními hmoždinkami s vhodným vrutem (průměr, délka, antikorozi povrchová úprava).



Obrázek 20 Příklad difúzně otevřené skladby. [51]



Obrázek 19 Příklad difúzně uzavřené skladby. [52]

4.2.4.2. Difúzně otevřené stavby

Difúzně otevřené stavby lze nalézt hluboko v historii (roubené, hrázděné stavby). Z pohledu novodobé výstavby by patřilo toto řešení k té novější a dražší variantě. Proti volnému pohybu vodních par se používají parobrzdy, kdy jejich hodnota s_d je, viz začátek kapitoly.

U této konstrukce je velice důležité, aby byla vždy dodržena zásada, že směrem od interiéru k exteriéru má každá souvislá vrstva materiálu menší hodnotu difúzního odporu, než ta předešlá. Pokud se toto pravidlo nedodrží, hrozí fatální následky. Proto je zde vždy nutný tepelně vlhkostní výpočet. I u takovéto skladby je potřebné provést kvalitní prolepení. Difuze nebude nikdy tak velká, aby dokázala odvést všechnu zkondenzovanou vodu. Rozdíl je v tom, že část vodních par z interiéru je schopno projít konstrukcí.

4.2.5. Rozdělení dle umístění vzduchotěsnicí vrstvy

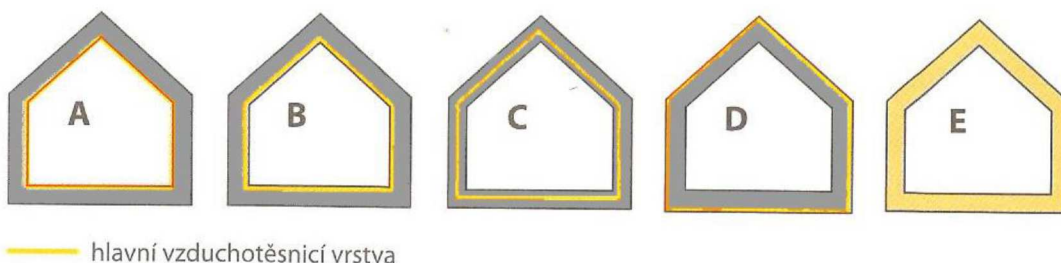
Hlavní vzduchotěsnicí vrstva (HVV) je pro životnost stavby velice důležitá, což bylo popsáno v předchozí kapitole, a proto každá obvodová konstrukce by jí měla být, z vhodného materiálu, vybavena. Pro její správnou a dlouhodobou funkci (po celou životnost stavby), je její precizní provedení s napojením všech detailů, ale i důkladná projektová příprava. Každá vytápěná budova by měla být vybavena uceleným systémem vzduchotěsnících opatření (SVO), aby byl systémem vzduchotěsnících opatření dlouhodobě funkční je zapotřebí při návrhu respektovat konstrukční a technologické souvislosti. Nezapomenout na vzájemné plošné polepení hlavní vzduchotěsnicí vrstvy, kvalitní konstrukční propojení se zbývajícími prvky systému vzduchotěsnících opatření. [36]

Dle způsobu nosné konstrukce se určuje místo a materiál, ze kterého je hlavní vzduchotěsnicí vrstva vytvořena. Například u zděných domů tvoří tuto vrstvu omítka, která musí být po celé ploše konstrukce, a to alespoň z jedné strany. Většinou se využívá interiérové strany. Naproti tomu betonový skelet již žádnou dodatečnou vrstvu nepotřebuje. [46]

U lehkých obvodových konstrukcí se nejčastěji na hlavní vzduchotěsnicí vrstvě používá parobrzda nebo parozábrana, a to opět převážně na interiérové straně. [46] Důvodem je jednodušší instalace a teplotně vlhkostní roční bilance, což znamená umístění rosného bodu mimo konstrukci.

Aby byla budova vhodná pro dlouhodobé užívání, měly by být brány na zřetel následující body:

- Stanovení hlavní roviny vzduchotěsnicí vrstvy, zajišťující neprůvzdušnost stavby, viz obrázek 21.
- Výběr vhodného materiálu pro SVO.
- Způsob spojení jednotlivých materiálů zajišťujících vzduchotěsnost.
- Navržení způsobu instalačních rozvodů.
- Napojení otvorových výplní na hlavní vzduchotěsnicí vrstvu.
- Navržení průchodů skrz hlavní vzduchotěsnicí vrstvu.
- Realizovatelnost navržených opatření. [47]



Obrázek 21 Princip zajištění vzduchotěsnosti. [33]

- A Vzduchotěsná vnitřní povrchová úprava.
- B Vzduchotěsnicí vrstva pod vnitřním obkladem (parobrzdá nebo parozábrana).
- C Vzduchotěsnicí vrstva uvnitř konstrukce.
- D Vzduchotěsnou vrstvu tvoří „větrová zábrana“ (rozumíme ochrannou vrstvu chránící izolaci proti povětrnostním vlivům).
- E Homogenní vzduchotěsná konstrukce. [33]

Vzduchotěsná vrstva by měla být ve všech konstrukcích v jedné poloze, zabezpečí se tím lepší vzájemné napojení. [33]

U lehkých obvodových konstrukcí se nejčastěji používá dvou způsobů umístění instalačních rozvodů, a to:

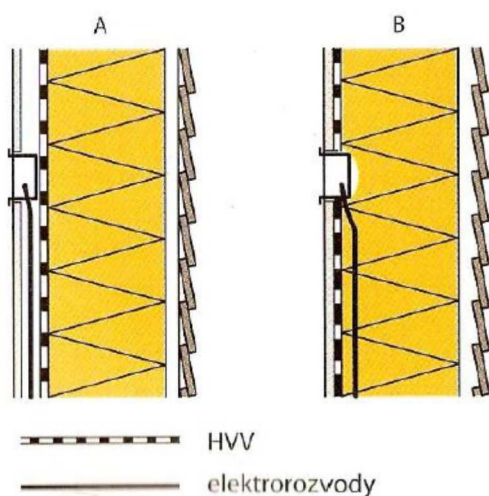
Bez instalační předstěny

Je při výstavbě ekonomicky výhodnější. Nevýhod je více, každá zásuvka či místo pro světlo porušuje vzduchotěsnicí vrstvu a stává se problematickým místem z pohledu vzduchotěsnosti. Je zapotřebí dodržovat větší

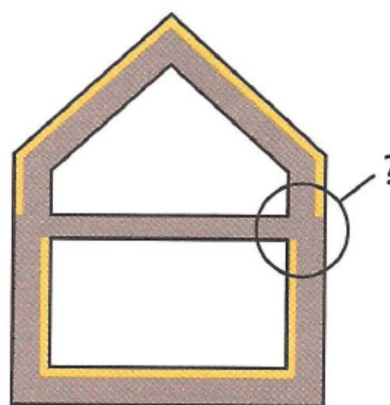
technologickou kázeň a všechny průchody dokonale vzduchotěsně ošetřit, obrázek 23.

S instalační předstěnou

Rozvody jsou vedeny před hlavní vzduchotěsnicí vrstvou, tím vznikne menší množství průchodů skrz tuto vrstvu a je možno lépe provádět dodatečné úpravy rozvodů ošetřit, obrázek 23. Vzduchotěsnicí vrstvu lze umístit do 1/3 tloušťky izolace, což má za následek lepší vlhkostní a tepelnou bilanci.



Obrázek 23 Umístění instalačních rozvodů vůči HVV. [33]



Obrázek 22 Možná komplikace z důvodu rozdílné polohy HVV. [33]

5. VĚTRÁNÍ

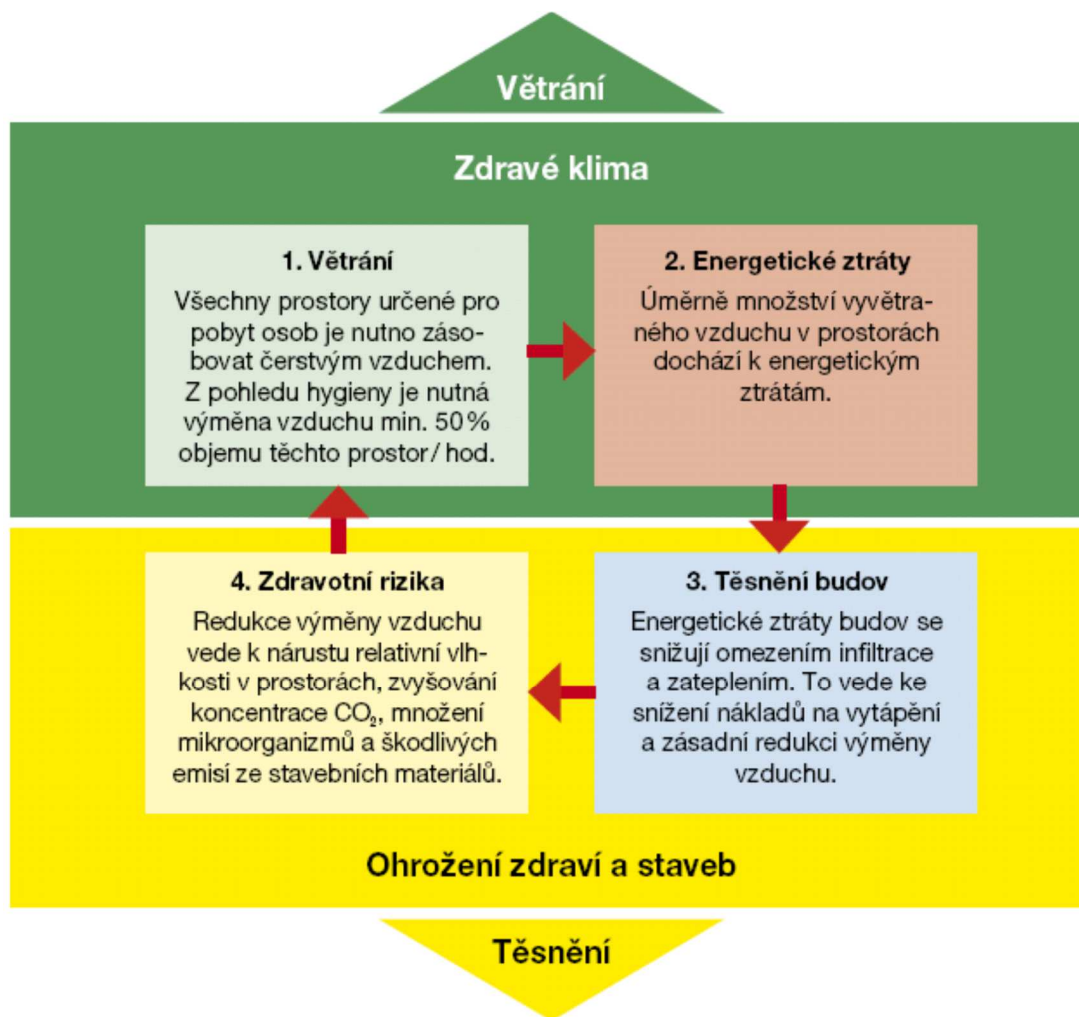
5.1. Důvody proč větrat

V současné době se staví budovy s čím dál většími požadavky na těsnost (viz tabulka 3) a energetickou úspornost, jak celých staveb, tak jejich jednotlivých prvků. Zejména pak otvorových výplní s vysokými požadavky na spárovou průvzdušnost. Je zapotřebí si uvědomit i negativní důsledky takto kvalitně těsných budov a jejich prvků. Protože v takto utěsněné budově již nelze dodržet zajištění požadované kvality vzduchu pouze přirozeným větráním, infiltrací okenními spárami a netěsnostmi v obvodovém plášti. [42]

Nežádoucími dopady tohoto faktu jsou vyšší koncentrace škodlivin a zvýšení vlhkosti ve vnitřním prostředí. Již několik studií po celém světě dokazuje, že nedostatečné větrání zvyšuje např. výskyt plísní, které jsou zdravotně závadné, koncentraci CO₂, přítomnost pachů atd. [39] [99]

Obecně platí, že kvalita venkovního prostředí je vždy lepší, než kvalita prostředí uvnitř budovy [40], platí tedy, že venkovní prostředí pozitivně ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí. [98] [99] Rozporu mezi požadavky na větrání a vytápění se říká Paradox mezi vytápěním a větráním, obrázek 24. [42]

Je potřeba dodržet minimální intenzitu větrání, která se v různých částech světa může lišit. V České republice se větrání řídí dle požadavků normy ČSN EN 15665/Z1, viz tabulka 5. Ovšem nesmíme zaměňovat intenzitu větrání s celkovou intenzitou výměny vzduchu. Intenzitu větrání je nutno dodržet při každém talkovém rozdílu. Zatím co celková intenzita výměny vzduchu je ve většině případů udávána při rozdílu tlaků 50 Pa, což se při obvyklých povětrnostních podmínkách nedosahuje.



Obrázek 24 Paradox mezi větráním a úsporou energie. [42]

Tabulka 5 Požadavky na větrání budov. [41] [109]

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního větrání [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

Jedním ze základních kritérií na kvalitu vzduchu v obytných místnostech je množství CO₂, jehož koncentrace ve vnitřním prostředí nesmí překročit hodnotu 1500 ppm. Například v Rakousku nesmí překročit 1000 ppm. [106] Tato sloučenina je bez zápachu, ale její podíl na pocitu pohody je velký, ovlivňuje soustředění, způsobuje únavu a je iniciátorem drobných zdravotních problémů, viz tabulka 6. [39] Bylo prokázáno, že při hodnotě výměny čerstvého

vzduchu pod 10 l/os, výrazně stoupá nemocnost (respirační onemocnění) tak zvaný syndrom nemocného domu. Při zvýšení větrání na 20 l/os nemocnost prokazatelně klesla. [100]

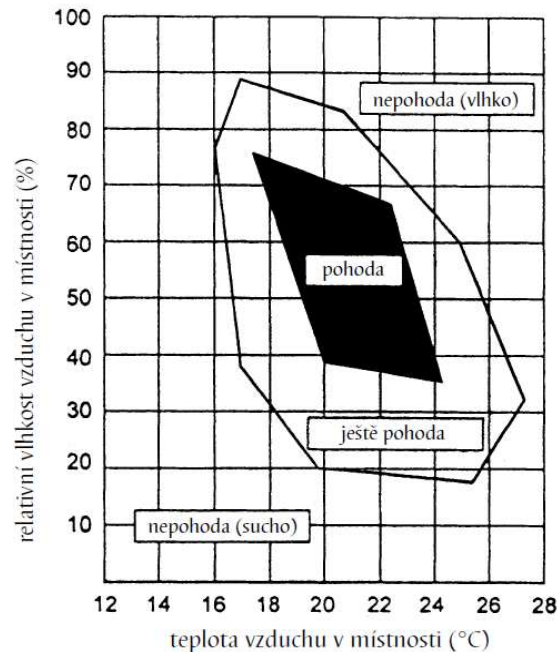
Tabulka 6 Účinky CO₂ na lidský organismus. [109]

koncentrace CO ₂ [ppm]	účinky
cca 350	úroveň venkovního prostředí
do 1000	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1200–1500	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1000–2000	nastávají příznaky únavy a snižování soustředění
2000–5000	nastávají možné bolesti hlavy
5000	maximální koncentrace bez větších zdravotních rizik
> 5000	nevolnost a zvýšený tep
> 15000	dýchací potíže
> 40000	možná ztráta vědomí

Další důležitou veličinou pro pohodu v interiéru je teplota. [101] Tento požadavek není řešen žádným předpisem a lze ho odvodit z doporučení normy ČSN 060210 nebo zahraničních předpisů. Pro teplenou pohodu by se teplota místnosti měla pohybovat v rozmezí 22+2°C a v létě by neměla překročit 26°C. [101] [102] Doporučená teplota podlahy s vytápěním by se měla pohybovat v rozmezí 29 – 28°C. Pro pocit teplotní pohody je také její vertikální rozložení a radiační teplota. Teplota během spánku by neměla klesnout pod 16°C, ale dle normy ČSN EN 73 0540-2 maximálně o 3 – 4°C od teploty přes den, a to z důvodu kondenzace vody. [40]

V neposlední řadě je důležitým parametrem relativní vlhkost vzduchu. [102] Optimální hodnota pro lidský organismus je v rozmezí 40 % – 60 % v závislosti na teplotě. [102] Norma ČSN EN 73 0540-2 uvádí 50 %. Vlhkost je poměrně snadné sledovat a upravovat právě pomocí větrání. Vlhkostní a teplotní pohoda, obrázek 25. Když vlhkost dlouhodobě přesahuje 60 %, dochází na chladnějších konstrukcích ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a právě na těchto vlhkých místech dochází k intenzivnějšímu růstu plísní. Při této vlhkosti je již pozorováno dvojnásobné množství životaschopných organismů. [43] [40]

Do obytných místností využívaných čtyřčlennou rodinou, se v průměru, dle kvalifikovaných odhadů, uvolní 12,5 kg vodní páry za den (dospělý člověk při lehké činnosti 30 – 60 g/h, vaření 600 – 1500 g/h, sprchování přibližně 2600 g/h, sušení prádla 100 – 500 g/h, rostliny 5 -2 g/h atd.). [40]



Obrázek 25 Graf pro pohodu teploty vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. [43]

Protože člověk ve svém bytě stráví v průměru 60 % času, je důležité všechna výše uvedená kritéria hlídat a držet je v optimálních mezích. Nejjednodušší cestou, jak těchto parametrů dosáhnout, je větrání. [44]

5.2. Způsoby větrání

Pro dodržení hygienických požadavků je důležité, aby byla dodána určená kvantita čerstvého vzduchu, na potřebná místa a v potřebný čas. Z těchto důvodů by měla být budova vybavena takovým způsobem větrání, které musí splňovat následující podmínky: [33] [102]

- Regulovatelnost je schopnost systému reagovat na množství přívodu a odvodu čerstvého vzduchu, dle aktuálních podmínek.
- Vzduchotěsnost musí být provedena v dostačené kvalitě, aby čerstvý vzduch neunikal mimo větrací systém.

Větrací systém budov může být prováděn několika způsoby, a to: mechanickým systémem s potrubním rozvodem a ventilátory nebo systémy přirozeného větrání.

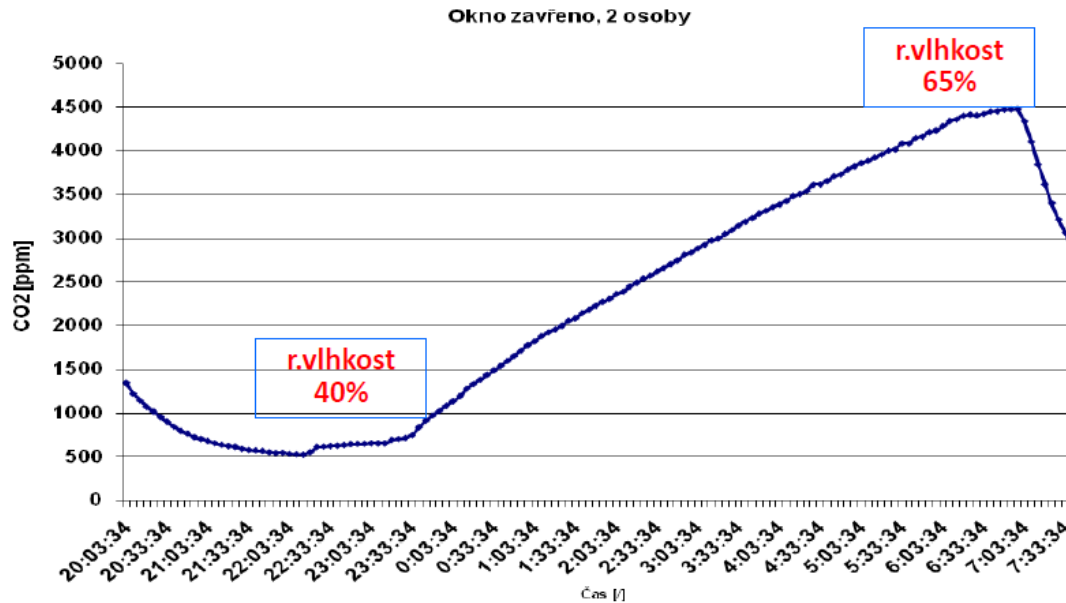
Přirozené větrání se dělí do několika skupin, od jednoduchého otevření oken přes pokročilé až po hybridní. [84] [85] Kontrolovaný průtok vzduchu zajišťují systémy přirozeného i nuceného větrání, které jsou vždy sestaveny z různých prvků a zařízení. Tyto prvky a zařízení, např. okna, větrací klapky a štěrby, ventilátory, potrubní rozvody, jsou navrženy a zkonstruovány především tak, aby byly schopny odolávat zátěži (toku vzduchu, teplotě a vlhkosti). Tyto systémy jsou vzduchotěsné a z důvodu zachování vzduchotěsnosti větracího systému by měly být i vzduchotěsně spojovány. [108]

5.2.1. Přirozené větrání

Přirozeným větráním v budovách lze vytvořit příjemné a zdravé vnitřní prostředí, při správném návrhu a dodržení všech podmínek, lze ušetřit energii, ve srovnání s mechanickými ventilačními systémy, jak uvádí studie. [103]

Přirozené větrání patří k nejstarším způsobům větrání, které lidstvo využívá od doby, kdy se usídlilo v krytých prostorech. Průtok vzduchu je zde vyvolán rozdílem tlaků mezi interiérem a exteriérem. Tento rozdíl tlaků je vyvolán gravitačním vztlakem, dynamickými účinky větru na budovu a rozdílnou teplotou.

Ještě v nedávných dobách tento způsob výměny vzduchu fungoval dostatečně, a to z důvodu netěsností v oknech, přítomností otevřených krbů a kamen, větracích otvorů ve spížích. Ovšem v současné době, při použití moderních stavebních technologií, je tento způsob nedostatečný a dochází k několikanásobnému překročení koncentrace CO₂ a relativní vlhkosti vzduchu, [40] [109] což dokazuje průběh měření v ložnici, obrázek 26 a tabulka 7.



Obrázek 26 Příklad skutečného měření - CO₂ a relativní vlhkosti vzduchu. [42]

Tabulka 7 Závislost koncentrace CO₂ na intenzitě větrání. [45]

Koncentrace CO ₂ [ppm]	2000	1920	1850	1780	1710	1650	1590	1530	1470	1420	1370	1280	1200	1120	1050	990
Intenzita větrání [h ⁻¹]	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

5.2.2. Nucené větrání

Při nuceném větrání není výměna vzduchu závislá na okolních povětrnostních podmínkách, ale je zajištěna pomocí mechanického strojního zařízení. Výhody:

- Možnost regulace intenzity větrání dle potřeb větraného prostoru.
- Možnost tepelné a filtrační úpravy vzduchu.
- Možnost využití odpadního vzduchu.
- Možnost řídit talkové poměry v budově a vytvořit vhodné odrazy proudění v prostoru. [44]

5.2.2.1. Větrání pomocí ventilátorů

Ventilátory se nejčastěji využívají v koupelnách, kuchyních a na WC. Ventilátory jsou z převážné většiny jednosměrné, a to ve směru kdy odvádí

škodliviny z obytných místností. Nelze je tedy považovat přímo za místo větrání, ale vytváří podtlak, díky kterému dochází k výraznějším infiltracím čerstvého vzduchu mikroventilacemi a větracími štěrbinami. Ventilátory mohou sloužit jako levná a rychlá varianta, zejména do panelových domů. Nevýhodou je jejich hlučnost. [45]

5.2.2.2. Větrací jednotky bez zpětného získávaná tepla

Tyto jednotky se nejčastěji používají v rodinných domech, jako decentrální jednotky, které se umístí na obvodovou zeď (ložnic, obývacích pokojů atd.) a přes tyto otvory nasávají čerstvý vzduch. Obvykle obsahují pilové a prachové filtry a jejich výkon je řízen ručně nebo automaticky dle čidel monitorujících znečištění vnitřního ovzduší. Jejich výhodou je tichý chod od 17dB, nízká spotřeba v jednotkách wattů a nižší pořizovací cena. Nemusí být otevřená okna, tím se získá větší akustická pohoda a zabezpečení proti vloupání. Nevýhodou je ztráta tepla z vytápěného prostoru. [45]

5.2.2.3. Větrací jednotky se zpětným získáváním tepla (rekuperace)

Decentrální jednotky

Jedná se ve své podstatě o vylepšený typ předchozích jednotek, a to o rekuperační ústrojí. Vzduch proudí přes ně dovnitř i ven. Při průchodu odpadního vzduchu skrz tuto jednotku předává vzduch svojí energii tepelnému výměníku, přicházející vzduch omývá tento výměník a předeřívá se. Účinnost těchto jednotek je v rozmezí 60 – 90%. [45] [42]



Obrázek 28 Trubičková decentrální jednotka. [64]



Obrázek 27 Decentrální jednotka s keramickou vložkou. [65]

Centrální rekuperační jednotky

Ústředním bodem toho systému je vzduchotechnická jednotka osazena rekuperační jednotkou různých konstrukcí (křížový výměník, deskový výměník, rotační regenerační výměník).



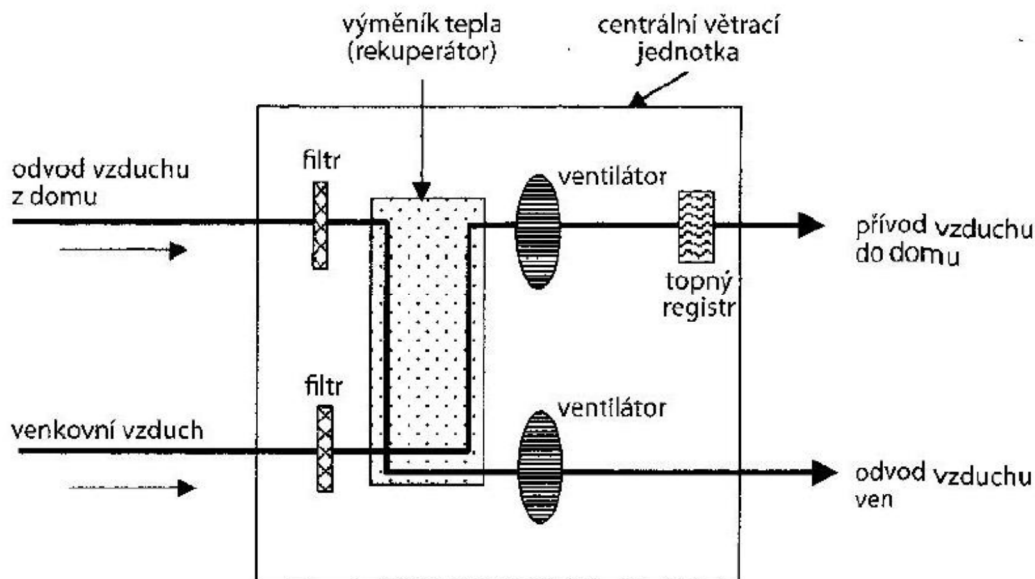
Obrázek 30 Centrální jednotka. [66]



Obrázek 29 Rozvody centrální rekuperace. [67]

Rekuperací se zpětně získává teplo. Přiváděný venkovní čerstvý vzduch prochází přes rekuperační výměník, uvnitř vzduchotechnické jednotky, do kterého z druhé strany vstupuje teplý odpadní vzduch z objektu. Obě vzdušiny jsou od sebe dokonale odděleny soustavou kanálků, aby nedocházelo ke zpětnému průniku pachů z odváděného do přivodního vzduchu. Přes stěny kanálků teplo z odpadního vzduchu přechází do přivodního, který je tak předehříván. Rekuperační výměníky dosahují vysokých účinností předání tepla, běžně kolem 90 %, obrázek 31. [45] [46]

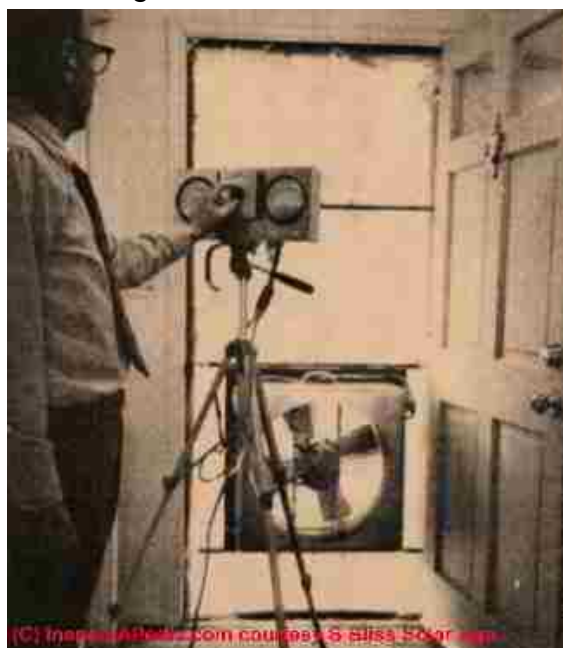
Jejich výhodou je vysoká účinnost, malá hlučnost, menší množství otvorů v obvodové stěně, možnost automatické regulace a hygiena prostředí. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena, nutnost čištění a údržba rozvodů vzduchotechniky a v menších objektech i velikost zařízení. To potvrzuje studie Brandona G. [93], která říká, že řízeným topením a větráním pomocí počítačů, lze snížit ekonomiku užívání stavby. [45]



Obrázek 31 Schéma principu větracího zařízení se zpětným získáváním tepla. [46]

5.3. Historie diagnostiky průvzdušnosti

Snad žádné jiné diagnostické zařízení nezměnilo náhled odborníků na energetiku budov tak, jako právě měřící zařízení Bolwer-door. V průběhu posledních 35 let se celé diagnostické metody vyvíjely kolem tohoto relativně jednoduchého zařízení, které umí vytvářet malé a přitom měřitelné změny tlaků v měřených objektech. [31]



Obrázek 32 Historie měření. [32]

Energetičtí odborníci vědí, že infiltrace vzduchu skrz obvodové konstrukce

představují jednu třetinu až jednu polovinu tepelné ztráty. Přesto snaha omezit konvektivní tepelné ztráty v nových či renomovaných budovách, byla z větší části nahodilá a ne vždy úspěšná.

Měřící zařízení Blower-door poskytuje exaktní přístup k identifikaci a kontrole netěsností v budovách a bylo vyvinuto v polovině sedmdesátých let na katedře environmentálních studií Princetonské univerzity. [32] Ovšem

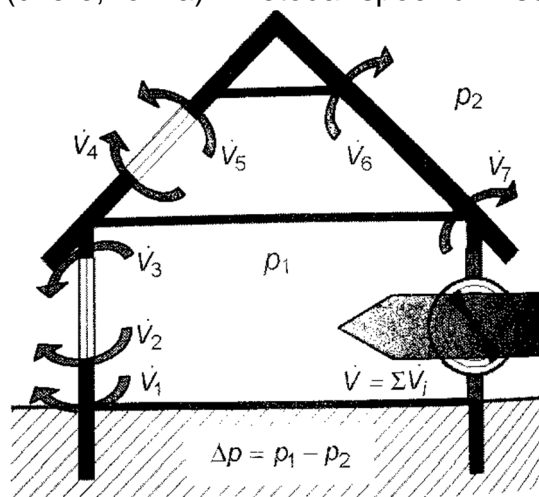
technologické využití, tak jak jej známe dnes, bylo vyvinuto ve Švédsku v roce 1977. Měřicí zařízení Blower-door se v tu dobu umísťovalo pouze do oken. V roce 1979 Ake Blomsterberg vrátil výzkum zpět na Pricentskou univerzitu, kde se snažili pochopit pronikání vzduchu skrz stavební konstrukce. [32]

V roce 1986 v periodiku Home Energy byl publikován článek (A Healthy Outlook for the Blower Door Industry), kde bylo identifikováno 13 výrobců tohoto zařízení s tržbami za prodej a testování ve výši takřka 10 000 000 dolarů. [31].

5.4. Přehled nejrozšířenějších metod

5.4.1. Metoda tlakového spádu s externím ventilátorem

Metoda tlakového spádu využívá k měření objemového toku externí ventilátor s proměnnými otáčkami, který je umístěn do obvodové konstrukce (dveře, okna). Metoda spočívá v sérii měření objemového toku vzduchu



Obrázek 33 Princip metody tlakového spádu s externím ventilátorem. [33]

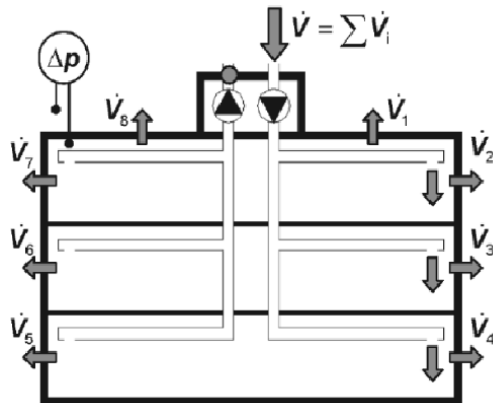
proudící skrz obvodovou konstrukci budovy při známém tlakovém rozdílu. Velikost tlakových rozdílů musí být vždy vyšší než rozdíly vyvolané klimatickými podmínkami.[33]

Pro každou hodnotu tlakového rozdílu se změří potřebný objemový tok, přičemž se předpokládá, že defektními místy obvodové konstrukce stavby, vždy protéká stejné množství vzduchu, obrázek 33.

Výsledné hodnoty měření jsou sady dvojic hodnot (tlakový rozdíl – odpovídající objemový tok). [33]

5.4.2. Metoda tlakového spádu s vnitřním ventilátorem

Metoda tlakového spádu s vnitřním ventilátorem je určena především



Obrázek 34 Princip metody tlakového spádu s interním ventilátorem. [33]

pro velké budovy vybavené vlastním zařízením. Výchozí postup metody měření a hodnocení výsledků je v podstatě shodný jako u metody tlakového spádu s externím ventilátorem. [34]

Tato diagnostická metoda již nevyužívá externí ventilátor umístěný v obálce budovy, ale k vyvolání potřebného tlakového rozdílu se používají ventilátory větracího systému instalovaného přímo v měřené budově, obrázek 34.

Měření touto metodou probíhá na stejném principu jako u předchozí metoda, která spočívá v sérii měření objemového toku vzduchu proudícího skrz obvodovou konstrukci budovy. Pro aplikování je však nutné dodržet podmínku dostatečného výkonu ventilátorů a možnost regulace tlakového rozdílu. [33]

Při měření podtlaku se utěsní přívodní potrubí a používá se pouze větev pro odvod vzduchu. Proveďte sérii měření a postup se otočí, uzavře se část vzduchotechniky pro odvod vzduch a otevře se přívodní část vzduchotechniky. Tudíž vzduch přivedený do budovy uniká pouze případnými netěsnostmi.

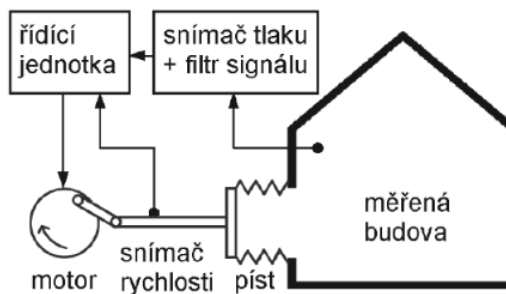
Ne vždy se tento způsob diagnostiky měření budov dá použít a to z důvodu, že ne všechny větrací jednotky umí pracovat v tlakovém i podtlakovém režimu. [33]

5.4.3. Metoda harmonicky proměnného tlakového rozdílu

Metoda harmonicky proměnného tlakového rozdílu se využívá převážně u budov s malým množstvím netěsností v obvodové konstrukci budovy. V měřené budově se vyvolá harmonicky proměnný tlakový rozdíl pomocí pohybu pístu, který v opakujících intervalech stlačuje objem vzduchu uvnitř měřené budovy se známou četností pohybu, obrázek 35.

Sledují se tyto dvě veličiny:

- amplituda tlakového rozdílu vyvolaného pístem,
- fázový posun změnou tlaku v budově a polohou pístu.



Obrázek 35 Princip metody s harmonickým proměnným tlakovým spádem. [33]

Objemový tok procházející skrz defektní místa v obvodové konstrukci se vypočítá z těchto dvou veličin. Z tohoto výsledku objemového toku vzduchu a známého tlakového rozdílu se dokáže vyvodit rovnocenná plocha netěsností A_L měřené budovy.

Výhody této metody jsou v časové nenáročnosti na diagnostiku budovy (přibližně 3 minuty), malá výměna vzduchu, výsledek je znám okamžitě a měření není tak citlivé na klimatické podmínky. [33]

5.4.4. Metoda tlakového impulsu

Metoda tlakového impulsu je v podstatě nejjednodušší a nevyžaduje složité měřicí zařízení a mechanismus na vyvinutí potřebného tlakového impulsu (u většiny měřených budov stačí pouze prudce zavřít dveře). Tlakový rozdíl uvnitř měřeného prostoru je vyvolaný tlakovým impulzem, který v čase klesá. Rychlost poklesu tlaku závisí na kvalitě provedení hlavní vzduchotěsní vrstvy budovy.

K měření je pouze zapotřebí citlivý manometr, který je schopný zaznamenat velmi rychlý pokles tlakového rozdílu a zařízení pro sběr dat s vysokou frekvencí vzorkování.[33]

V dnešní době se tato metoda pro diagnostiku netěsností budov nevyužívá i přes to, že byla teoreticky zpracována a převedena do praxe.[75] Metoda tlakového impulsu je spíše dobrou vyhlídkou do budoucna, kdy by se dalo

podobného principu prakticky využít při měření stavebních prvků v laboratorních podmínkách. [76][77]

6. METODIKA

6.1. Úvod do problematiky průvzdušnosti

Blower-Door test je nedestruktivní diagnostická metoda měření průvzdušnosti budov na principu tlakového spádu s využitím externího ventilátoru. V praxi se ukázala jako nejjednodušší a s nejlepšími výsledky, z tohoto důvodu patří mezi jednu z nejpoužívanějších diagnostických metod pro zjišťování vzduchotěsnosti budov. V evropských zemích patřících do EU se k měření využívá postup popsany v normě ČSN EN 13829. Tento postup je od 1. 5. 2016 nahrazen normou ČSN EN ISO 9972. Pro tuto disertační práci veškerá měření probíhala dle dříve využívaného postupu a z tohoto důvodu bude celá metodika popsána dle normy ČSN EN 13829.

Jedním z hlavních důvodů využívání této metody je možnost provádět kontrolu vzduchotěsníci vrstvy již v době samotné výstavby budovy, z čehož vyplývá možnost okamžité opravy defektních míst v konstrukci budovy a také ke zjištění skutečného stavu dokončeného stavebního díla. [33]

Následky chybně provedené vzduchotěsníci vrstvy jsou:

- Zvýšení tepelné ztráty z čehož vyplývá poddimenzování otopné soustavy.
- Snížení účinnosti mechanických větracích systémů.
- Snížení životnosti stavby (kondenzace vody v konstrukci).

Norma ČSN EN 73 0540-2 popisuje požadavky na průvzdušnost celé konstrukce budov a pro její samostatné části. Limity dané touto normou pro jednotlivé způsoby větrání jsou uvedeny v tabulce 3.

V této normě je uvedeno, že všechna konstrukční napojení musí být provedena vzduchotěsně po celou dobu životnosti budovy a daný typ konstrukce by měl celkově splňovat předepsané parametry. [19]

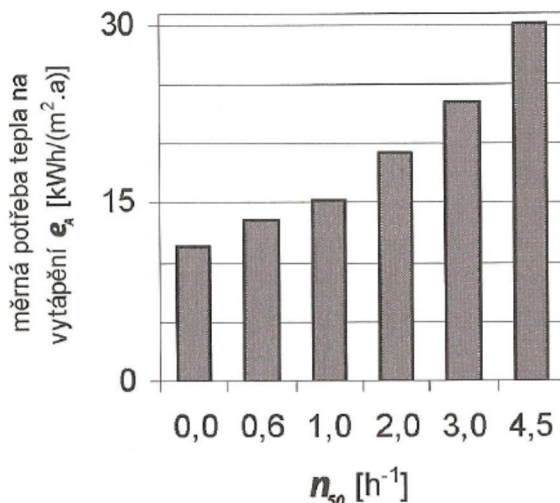
Průvzdušnost vzduchotěsníci vrstvy nebo její ucelené části se ověřují pomocí celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa a je udávána v h^{-1} . Výsledná hodnota n_{50} byla stanovena experimentálně dle normy ČSN EN 13829. V této normě se doporučuje splnit požadavek:

$$n_{50} \leq n_{50,N} \quad (1)$$

Kde:

$n_{50,N}$ je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa v h^{-1} , která se stanoví dle tabulky 3. [35]

6.1.1. Vliv vzduchotěsnosti na energetiku



Obrázek 36 Vliv vzduchotěsnosti obálky budovy (hodnota n_{50}) na energetickou náročnost pasivního rodinného domu. [33]

domů s přirozeným větráním a požadavkem na celkovou intenzitu výměny vzduchu $4,5 \text{ h}^{-1}$ se pohybují tepelné ztráty infiltrací cca $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ [3] viz obrázek 36.

Vduchotěsnost je důležitým faktorem, který ovlivňuje kvalitu vnitřního prostředí a spotřebu energie v budově. [92] Se zvyšující se hodnotou průvzdušnosti rostou tepelné ztráty způsobené infiltrací vzduchu skrz obvodovou konstrukci. Při mezních hodnotách $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ u pasivních domů činí tepelná ztráta asi $3,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ což při požadavku na celkové měrné teplo na vytápění $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ je již značná část. U

6.1.2. Princip měření

Blower-door test je metoda, při které se využívá mechanicky vyvolaný rozdíl tlaku mezi interiérem a exteriérem měřené budovy. [35] Tohoto tlakového rozdílu je dosaženo pomocí zařízení, pro které se vžil název Blower-door, což je ventilátor s plynule měnitelnými otáčkami, který se vsadí do teleskopického rámu se vzduchotěsnou plachtou s otvorem pro umístění zařízení. Pomocí této sestavy se opakovaně měří objemový tok v m^3/h , který prochází skrz obvodové zdi tak, aby byl zachován požadovaný tlakový rozdíl.

6.1.3. Měřicí zařízení

Zařízení Blower-door, pro metodu tlakového spádu s externím ventilátorem, je schopné vyvolat stanovený rozsah kladného a záporného tlakového rozdílu přes plášť budovy nebo její části. Tento systém by měl zajistit stálé proudění vzduchu, při každém tlakovém rozdílu, pro opakované získávání požadovaných hodnot rychlosti proudění vzduchu, neboli objemového toku. [37]

Objemový tok je měřen nepřímo a k měření je využíváno několika způsobů jeho zjišťování. Každý výrobce používá ve svém zařízení jiné měřicí metody. V České republice dne 15. 7. 2009 vznikla Asociace BlowerDoor_CZ, kde byla do konce roku 2011 registrována následující zařízení: [82]

- Minneapolis BlowerDoor
- Blowtest 3000
- Infiltec
- Retrotec



Obrázek 37 Blowtest 3000.

Nejběžnější princip zjišťování objemového toku v zařízení je měření pomocí clon s kalibrovaným otvorem, u kterých je známá závislost objemového toku vzduchu otvorem na rozdíl tlaků před a za clonou.

Zařízení Blowtest 3000 od firmy LTM GmbH využívá další možný princip měření na základě počtu otáček vyvolaných tímto typem zařízení. Výrobce udává přesné množství vzduchu proudící ventilátorem při jedné otáčce a na základě počtu otáček se vypočítá objemový tok procházející ventilátorem pro udržení potřebného tlakového rozdílu.

Norma ČSN EN 13829 požaduje, aby objemový tok byl měřen s přesností $\pm 7\%$ měřené hodnoty. Na tuto hodnotu nesmí mít vliv princip měření používaného přístroje, a z toho vyplývá, že všechny typy zařízení musí splňovat povolenou nepřesnost měření.

Rozdíl tlaků se obvykle nastavuje v rozmezí 0 – 100 Pa. Pokud se postupuje přesně dle normy ČSN EN 13829 je nastaveno rozpětí 0 – 60 Pa \pm 2 Pa. Pokud měření slouží, jako podklad pro získání dotace „Zelenou úsporám“ musí být minimálně dvě měření nad tlakovým rozdílem 50 Pa.

Pro každý zvolený tlakový rozdíl provede zařízení sérii měření průtoku vzduchu (10 – 100 Pa), a z těchto průběžných hodnot vypočte střední hodnotu, kterou přiřadí k danému tlakovému rozdílu.

U moderních zařízení jsou již původní analogové přístroje nahrazeny elektronickými, které výrazně snižují chyby v měření. Zařízením Blowtest 3000, který je využíván pro tuto disertační práci, má nejen elektronické systémy, ale i vlastním výpočetní jednotku, do které se vkládají data, zaznamenávají se naměřené hodnoty. Toto zařízení je schopno ihned po měření sdělit výslednou hodnotu, bez použití externího PC.



Obrázek 38 Umístění měřícího zařízení se vzduchotěsnou plachtou.

Měřící zařízení Blower-door se skládá z několika jednotlivých dílů:

- Ventilátoru s plynule měnitelnými otáčkami.
- Teleskopického rámu s těsněním.
- Vzduchotěsné plachty s otvorem pro ventilátor.
- Regulátoru otáček.
- Zařízení pro měření tlakového rozdílu s přesností \pm 2 Pa v rozsahu 0 Pa až 60 Pa.
- Zařízení pro měření objemového tlaku vzduchu s přesností \pm 7 % z měřené hodnoty.

- Teploměrů pro zjištění venkovní a vnitřní teploty s přesností ± 1 K.
- Plastové trubičky pro měření rozdílu tlaku mezi interiérem a exteriérem.

Doplňkovou výbavou pro měření jsou:

- hustilka,
- anemometr,
- lepicí páska,
- utěšňující balónky,
- vyvíječ kouře nebo kouřové trubičky,
- PC, nebo jiné jednotky pro zobrazení výsledků.

Všechny naměřené hodnoty pro tuto disertační práci byly měřeny přístrojem Blowetest 3000, který splňuje požadavky normy ČSN EN 13829. Má proměnnou rychlost otáček s regresním pohonem, tudíž se nemusí manuálně zařízením otáčet pro změnu tlaků.

Nezbytnou součástí zařízení při měření je teleskopický rám se vzduchotěsnou plachtou, který je po celém svém obvodu opatřen gumovým těsněním, zajišťujícím vzduchotěsnost při měření. Teleskopický rám musí dokonale přilnout k různým povrchům tak, aby vyrovnával drobné nerovnosti. Nejčastěji se rám usazuje do dveří, nebo oken měřené budovy.

6.1.4. Postup měření

Správný postup měření je z velké části závislý na použitém zařízení a na venkovních klimatických podmínkách, při kterých jsou data získávána. [37] Dalšími výraznými faktory ovlivňujícími správnost výsledků je odbornost technika (znalost normy, přesnost zadání prvotních údajů do měřícího zařízení a jiné) a dobrá manuální zručnost měřícího technika (příprava stavby před měřením, instalace rámu se vzduchotěsnou plachtou, vyhledávání netěsností ve vzduchotěsné vrstvě a jiné). Všechny tyto faktory mohou ovlivnit koncový výsledek měření. Norma ČSN EN 13 829 údržba a kalibrace měřících zařízení,



Obrázek 39 Kouřová trubice KT1.



Obrázek 40 Balónek na utěsnění.

poměrně přesně popisuje postupy pro měření, přípravu a vyhodnocení výsledku.

Měření se rozděluje do několika etap:

- Kontrola klimatických podmínek před měřením.
- Příprava měřicího zařízení.
- Příprava měřeného objektu.
- Osazení měřicího zařízení.
- Volba posloupnosti tlakových rozdílů.
- Měření základního tlakového a teplotního rozdílu.
- Měření objemového toku vzduchu v závislosti na tlakovém rozdílu.
- Měření základního a teplotního rozdílu po skončení testu. [19][33]

Měření se vždy provádí v přetlakovém režimu (v budově je větší tlak než v jejím okolí) a v podtlakovém režimu (v budově je menší tlak než v jejím okolí).



Obrázek 41 Průběh měření. [70]

6.1.4.1. Kontrola podmínek před měřením

Tlakové účinky větru a rozdílné teploty vně a uvnitř budovy mohou být hlavní příčinou výrazné chyby měření. Z tohoto důvodu by mělo měření probíhat za co možná nejmenšího teplotního rozdílu a v ideálním případě za bezvětří. Pro správný výsledek a následnou interpretaci, je nutné rozdíl teplot a tlaku mezi interiérem a exteriérem před měřením změřit a zaznamenat. Pro tento účel se zaznamenává i síla větru. Dle normy ČSN EN 13829 byla teplota vypočtena vzorcem 2 a nemá přesáhnout 500 m·K. U rodinných domů s běžnou stavební výškou do 10 m není nutné brát na toto kritérium zřetel, protože výsledný rozdíl teplot by musel přesáhnout 50°C. Síla větru by neměla být větší než 6 m/s respektive nemá být překročen 3°Beaufurtovy stupnice viz tabulka 5. [33] [37]

$$\Delta t \cdot v \leq 500 \text{ [m} \cdot \text{K]} \quad (2)$$

Kde

Δt rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem [K]

v světlá výška měřeného objektu [m]

Tabulka 8 Beaufortova stupnice síly větru. [37]

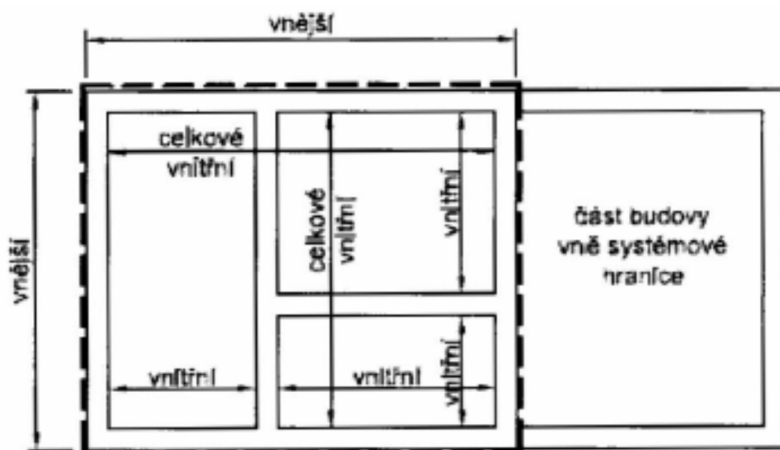
Stupeň	Vítr	m.s ⁻¹	rozpoznávací znak - projev
0	bezvětří	< 0,45	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	0,45 – 1,34	kouř stoupá podle větru, ale větrná růžice se nepohybuje.
2	větrník	1,8 – 3,1	vítr je cítit na tváři, listy stromů šelestí, větrná růžice se začíná pohybovat
3	slabý vítr	3,6 – 5,4	listy a větvičky stromů jsou v trvalém pohybu, vítr pohybuje praporky, slabě čeří vodu
4	mírný vítr	5,8 - 8	vítr zvedá prach a kousky papíru, pohybuje slabšími větvičkami, napíná praporek
5	čerstvý vítr	8,5 – 10,7	listnaté keře se začínají hýbat, na stojaté vodě se tvoří menší vlny se zpěněnými hřebeny
6	silný vítr	11,2 – 13,9	vítr pohybuje silnějšími větvemi, sviští dráty el. rozvodů, použití deštníku je nesnadné
7	mírný víchř	14,3 – 17	vítr pohybuje celými stromy, chůze proti větru je obtížná
8	čerstvý víchř	17,4 – 20,6	vítr ulamuje větve, chůze proti větru není možná

6.1.4.2. Příprava zařízení před měřením

Příprava zařízení před měření zahrnuje správné zadání vstupních dat, bez kterých nelze měření provést. Jde o konkrétní hodnoty měřené budovy (vnitřní vytápěný objem, čistá podlahová plocha, plocha pláště budovy a jiné), také aktuální klimatické podmínky v interiéru a exteriéru stavby. Nejdůležitějším údaji jsou referenční hodnoty budovy, které zadavatel vyplní do formuláře, viz příloha 1.

Referenční hodnoty budovy:

- Vnitřní objem V je objem vzduchu uvnitř měřené budovy nebo její části a vypočítá se vynásobením čisté podlahové plochy střední hodnotou čisté výšky stropu. Objem nábytku se neodečítá.
- Plocha pláště A_E budovy nebo její měřené části je celková plocha všech podlah, zdí a stropů ohraničujících vnitřní objem testovaného objektu. To zahrnuje zdi a podlahy pod vnější úrovní okolí.
- Čistá plocha podlah A_F je celková plocha podlah příslušejících vnitřnímu objemu testovaného objektu a vypočítá se v souladu s TNI 73 0329 viz obrázek 42 [38]



Obrázek 42 Způsob výpočtu Čisté podlahy. [69]

6.1.4.3. Příprava měřeného objektu

Před samotným zahájením měření je vždy v objektu třeba zabezpečit, aby proud vzduchu vyvolaný tlakovým rozdílem procházel pouze přes defektní místa v konstrukci a přitom nepoškodil měřený objekt a jeho součásti včetně zařízení. Norma ČSN EN 13829 rozeznává dvě možnosti přípravy budovy: [33]

- metoda A – test budovy v měřeném stavu,
- metoda B – test kvality vzduchotěsníci vrstvy.

U obou metod je však zapotřebí splnit následující podmínky: [33]

- vypnout všechny spotřebiče a zařízení s hořáky (plynové kotle, sporáky, kotle),
- uhasit oheň v krbu či krbových kamnech a vyčistit ohniště od sazí,
- vypnout mechanické větrací systémy,
- vytvořit jednu tlakovou zónu (otevřít všechny vnitřní dveře v měřené části nebo jinak spojit celý měřený prostor).

Metoda A

Měření se provádí v provozním stavu budovy a při použití této metody by stav pláště měl představovat stav během ročního období, ve kterém se používá topení nebo klimatizace. [37] To znamená, že budova se ponechá v takovém stavu, v jakém se celoročně užívá. Neprovádí se žádná činnost pro zlepšení vzduchotěsnosti, pouze se zavřou otvorové výplně a větrací klapky v obvodové konstrukci. Nezbytným krokem při přípravě je vyčistit krb a krbové vložky od sazí, aby nedošlo k znečištění prostor v jejich okolí.

Výsledek metody vypovídá o celkové vzduchotěsnosti budovy. Ve výsledné průvzdušnosti jsou zahrnuty netěsnosti v konstrukci a úmyslné otvory v obálce budovy včetně technických zařízení. Výsledek měření metodou A se používá pro získání dotace „Zelená úsporám“ a pro energetické výpočty, při kterých je zapotřebí znát celkovou výměnu vzduchu se všemi netěsnostmi, bez ohledu na jejich vznik či příčinu a umístění. [33]

Metoda B

Měření touto metodou B se provádí v době, kdy je budova osazena otvorovými výplněmi a je dokončena hlavní vzduchotěsnicí vrstva se všemi detaily. Tato vrstva musí být zabezpečena, aby během testu nedošlo k jejímu poškození nebo odtrhnutí.

Jak je popsáno v normě ČSN EN 13829, při použití této metody mají být uzavřeny nebo utěsněny všechny úmyslné otvory v obvodové konstrukci. Což jsou: [19]

- větrací klapky a mřížky pro přívod vzduchu,
- odpadní a vodovodní potrubí,
- komínová tělesa,
- přívodní a odvodní otvory pro vzduchotechniku,
- centrální vysavač,
- klimatizační rozvody,
- a ostatní všechny úmyslné otvory.

Porovnáním počtu měření metodou A a metodou B bylo zjištěno, že metoda B je v České republice více využívána, což se potvrdilo i během získávání dat pro tuto disertační práci. Metoda B slouží ke kontrole kvality provedení vzduchotěsnicí vrstvy z pohledu její celistvosti a pro včasnou detekci jejího případného poškození s ohledem na její vzájemné propojení s ostatními částmi obvodové konstrukce



Obrázek 43 Zabezpečení vzduchotěsnicí vrstvy.

provedení vzduchotěsnicí vrstvy z pohledu její celistvosti a pro včasnou detekci jejího případného poškození s ohledem na její vzájemné propojení s ostatními částmi obvodové konstrukce (otvorové výplně atd.). Nejvýhodnější je metodu B využít

v době, kdy je již kompletně hotová vzduchotěsnicí vrstva včetně otvorových výplní, přičemž je budova ve fázi, kdy je vzduchotěsná vrstva stále volně přístupná pro vyhledávání defektních míst. Nalezené netěsnosti se v této etapě stavby poměrně snadno a s minimální ekonomickou náročností opravují.

Před zahájením měření je nutné provizorní utěsnění úmyslných otvorů, k němuž se využívá běžných materiálů, které nemusí dosahovat takových kvalit jako spojovací materiál využívaný k lepení trvalému (papírová lepicí páska, nepropustné folie, nafukovací balónky pro utěsnění kruhových otvorů). Ovšem i tato dočasná opatření je nutno provést v takové kvalitě, aby nedocházelo k ovlivnění výsledků. Pro opravu nalezené netěsnosti musí být použity materiály k tomu určené (tmely, vzduchotěsné pásy, speciální folie a jiné).[33] Po dokončení Blower-door testu se musí prozatímní utěsnění odstranit a to tak, aby nedošlo k poškození základní vzduchotěsné vrstvy.

6.1.4.4. Umístění a montáž měřicího zařízení

Při instalaci měřicího zařízení je nutné věnovat pozornost:

- vhodnému výběru otvoru pro umístění měřicího zařízení,
- dodržení podmínek snadného proudění vzduchu před a za ventilátorem,
- zajistit vzduchotěsné spojení teleskopického rámu a obvodové konstrukce,
- umístění tlakových čidel tak, aby byla chráněna před nežádoucími klimatickými vlivy. [33]

Součástí měřicího zařízení Blower-door je univerzální teleskopický rám, který lze nainstalovat do široké škály otvorových výplní oken a dveří. Nejčastěji se však umísťuje do vchodových dveří a to z následujících důvodů:

- jednodušší manipulace se samotným zařízením, které se nemusí zvedat do výšky,
- vchodové dveře nejsou vybaveny tak velkým počtem kování ve funkční spáře, jako tomu bývá u oken,
- vchodové dveře patří k jednomu z nejslabších míst v konstrukci budovy z pohledu vzduchotěsnosti, tím pádem se dá říci, že je tak uměle

zlepšen výsledek. Tato skutečnost musí být uvedena ve výsledném protokolu o měření.

Nevhodným výběrem umístění Blower-dooru může záporně ovlivnit proudění vzduchu před a za větrákem, proto je třeba dbát na to, aby v okolí zařízení byl dostatek místa pro snadné proudění vzduchu a nedocházelo tak k narušení průtoku vzduchu skrz ventilátor. Dalším faktorem ovlivňující průtok vzduchu ventilátorem je vítr. Z tohoto důvodu měřicí zařízení není vhodné umístit na návětrné straně. Teplotní a vlhkostní čidla by měla být umístěna tak, aby nebyla ovlivněna procházejícím vzduchem ze zařízení. Čidla nesmí být vystavena přímému slunečnímu záření a jejich umístění by mělo být vedeno vodorovně, bez velkých svislých úseků. V případě, že tato podmínky nejsou dodrženy, může dojít k ovlivnění celkových výsledků. [33] [35]

Připojovací spára mezi zařízením a obvodovou konstrukcí musí být těsná, aby nezkreslovala výslednou hodnotu měření. Těsnosti je dosaženo pomocí teleskopického rámu s celoobvodovým těsněním, které je schopno vyrovnat drobné nerovnosti. V případě, že těsnost není možno dodržet na žádném vhodném otvoru, je zapotřebí spojit plachtu a ostění konstrukce vhodnou lepicí páskou. [19]

6.1.4.5. Metody hledání netěsností

V průběhu měření se vyhledávají defektní místa ve vzduchotěsnící vrstvě. Pro správnou detekci defektních míst lze využít celou řadu různě finančně náročných a přesných metod. [19] Eliminace těchto problematických míst, má řadu výhod.

- Přesná lokalizace defektních míst ve vhodné etapě výstavby (měření B) umožňuje jejich opravu a tím zlepšení vlastností budovy (životnost, účinnost vzduchotechniky, nepoddimenzování otopné soustavy).
- Nalezení nejčastějších netěsností přímo na stavbě je nenahraditelným zdrojem zkušeností pro zhotovitele stavby, které může efektivně využít pro další zvyšování vzduchotěsnosti nejen ve fázi projekční přípravy, ale i při samotné realizaci výstavby budovy. [33]

Metody pro hledání defektních míst ve vzduchotěsnící vrstvě jsou:

„Holé ruce“ – detekce pomocí dlaně měřicího technika

Jedná se o nejjednodušší metodu využívající podtlaku tak, aby vzduch procházející netěsností proudil na dlaň ruky.

- Výhody: finančně nenáročná varianta, která nevyžaduje žádné další vybavení, postačí pouze zařízení vyvíjecí podtlak, lze jí provádět po celý rok.
- Nevýhody: vyžaduje velké zkušenosti technika a lze najít pouze větší netěsnosti, jedná se pouze o lokální kontrolu. [19]

Vyhledávání pomocí kouře

Při této metodě se pro diagnostiku používají kouřové trubičky nebo vyvíječ kouře.

Kouřilové trubičky, ruční generátor kouře:

V budově se vytvoří přetlak a kouř se snaží uniknout netěsnostmi.

- Výhody: rychlé, finančně nenáročné, lze provádět po celý rok, přesně diagnostikuje defektní místo.
- Nevýhody: vyžaduje zkušenosti měřicího technika, jedná se pouze o lokální kontrolu. [110]

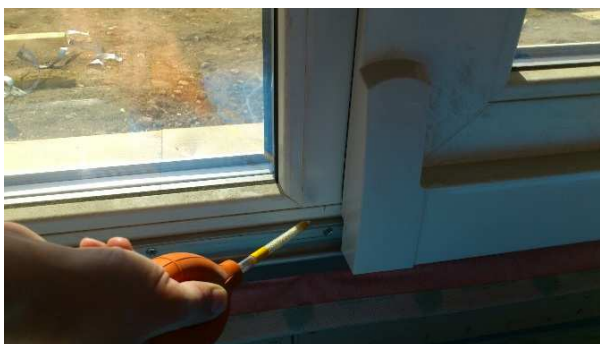
Vyvíječ kouře:

Výkonným generátorem kouře se provede zakouření celého měřeného objektu. Po té je v budově vyvolán přetlak a následně se z exteriéru pozorují místa úniku kouře.

- Výhody: lze provádět po celý rok, kontroluje se celá budova, časová nenáročnost.
- Nevýhody: unikající kouř není z exteriéru příliš viditelný, vyšší finanční náročnost, nelze přesně diagnostikovat místa úniku. [19]



Obrázek 45 Vytváječ kouře. [73]



Obrázek 44 Kouřová trubička.

Anemometr

Při této metodě se využívá zařízení měřící rychlost pohybu vzduchu a při vyhledávání kritických míst musí být v měřeném objektu podtlak.

- Výhody: lze provádět po celý rok, časová nenáročnost.

- Nevýhody: potřeba dalšího zařízení, pouze pro lokální vyhledávání, vyžaduje zkušenosti měřícího technika, náchylnost sondy anemometru na zničení, správná poloha sondy vůči otvoru. [110] [33]



Obrázek 46 Anemometr.

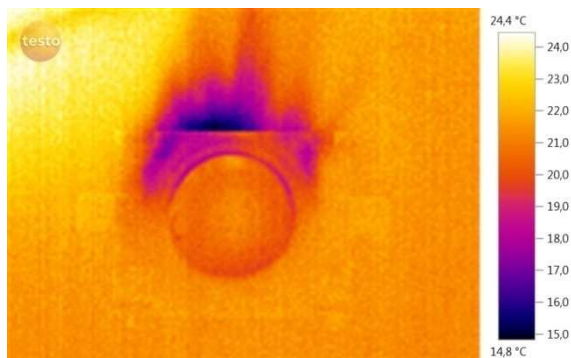
Infračervená kamera:

Jedná se o nejúčinnější plošné vyhledávání defektních míst a kontrolu celé stavby. Použití této metody je částečně limitováno klimatickými podmínkami a minimální rozdíl teplot mezi exteriérem a interiérem musí být alespoň 5°C. Diagnostika se provádí v několika následujících krocích:

- Nasnímání celé měřené konstrukce.
- Vytvoření podtlaku v budově (podtlak se pohybuje nejčastěji mezi 20 - 50 Pa, aby studený přicházející vzduch ochladil konstrukce).
- Měření cca po 10-15 minutách podtlaku. Místa jsou již dostatečně ochlazená a lze je detekovat.

Při zachování správného postupu při diagnostice touto metodou jsou defektní místa oproti prvotnímu snímání zřetelně vidět. [19] [33]

- Výhody: lze nalézt netěsnosti i pod dokončovací vrstvou, názornost, celoplošná kontrola.
- Nevýhody: lze provádět pouze za vhodných klimatických podmínek, potřeba dalšího zařízení, vyžaduje zkušenosti měřícího technika, neobjeví drobné netěsnosti.



Obrázek 48 Termosnímek utěsnění průchodu lokálního prvku rekuperace.



Obrázek 47 Utěsnění průchodu lokálního prvku rekuperace.

Ultrazvuk

Při této metodě se využívá zařízení s vysokofrekvenčním vyvíječem zvuku a detektorem, který pomocí speciální sondy ultrazvukové vlny zaznamenává. Ultrazvukové vlny jsou schopny projít pouze netěsnostmi v konstrukci, proto se zdroj umístí na jednu stranu konstrukce a z druhé strany se detekují netěsnosti.

- Výhody: časová nenáročnost, přesnost, lze provádět po celý rok., nevyžaduje tlakový rozdíl.
- Nevýhody: potřeba dalšího zařízení, vyšší finanční náročnost. [19] [33]

6.1.4.6. Vyhodnocení testu

Měřící zařízení Blowtest 3000, které bylo použito pro tuto disertační práci, je schopno ihned po ukončení testu sdělit výslednou hodnotu měření, viz příloha 2. Veškeré výpočty a vyhodnocení toto zařízení provádí automaticky a bez použití externího PC. Výpočet je v souladu s požadavky normy ČSN EN 13829.

Vzduchotěsnost obálky budovy je obvykle popsána pomocí empirické rovnice proudění, která pomocí součinitele proudění C a exponentu n vyjadřuje vztah mezi objemovým tokem \dot{V} proudícím skrz netěsnosti v obvodových

konstrukcích a tlakovým rozdílem Δp . Vzduchotěsnost stavby je přímo určena parametry rovnice proudění: součinitel proudění C a exponent proudění n. Z těchto hodnot lze sestavit graf závislosti objemového toku na tlakovém rozdílu pomocí regresní křivky a stanovit množství vzduchu při požadovaném tlakovém



Obrázek 49 Výpočetní jednotka Blowtest 3000.

rozdílu. Výsledek se udává jako jedna číselná hodnota vztažená k referenčnímu tlaku. V České republice je hodnota referenčního tlaku 50Pa. Pro porovnání měřených objektů je naměřený průtok přepočítán na charakteristickou hodnotu budovy (vnitřní objem, plocha pláště budovy, podlahová plocha). [33] Charakteristické hodnoty stavby jsou vyjádřeny následujícími rovnicemi dle normy ČSN EN 13829. (12,13,14)

Výpočet rychlosti průniku vzduchu

Odečtete průměrný rozdíl tlaku při nulovém průtoku z každého měřeného tlakového rozdílu, Δp_m dodrženo vyvolanými tlakovými rozdíly, Δp použitím rovnice (3). Při výpočtu je zapotřebí dávat pozor na psaní kladných a záporných hodnot.

$$\Delta p = \Delta p_m - \frac{\Delta p_{0,1} + \Delta p_{0,2}}{2} \quad (3)$$

Převeďte prvotní naměřené hodnoty objemové toku vzduchu skrz měřicí zařízení \dot{V}_r na měrnou hodnotu objemové toku vzduchu \dot{V}_m při dané teplotě a tlaku tak, aby odpovídal dané specifikaci výrobce.

$$V_m = f(\dot{V}_r) \quad (4)$$

Pro podtlak převeďte objemový tok vzduchu \dot{V}_m na objemový tok procházející pláštěm budovy \dot{V}_{env} a použijte rovnici (5)

$$V_{env} = V_m \left(\frac{p_i}{p_e} \right) \quad (5)$$

Kde:

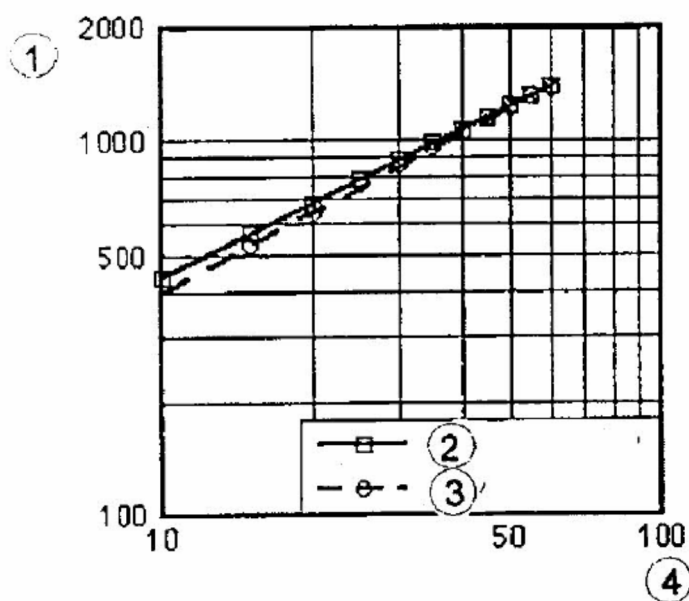
ρ_i hustota vnitřního vzduchu v kg/m^3

p_e hustota vnějšího vzduchu v kg/m^3

Pro přetlak převedte rychlost proudění vzduchu \dot{V}_m , rychlost proudění vzduchu přes plášť budovy \dot{V}_{env} a použijte rovnici (6)

$$V_{env} = V_m \left(\frac{p_e}{p_i} \right) \quad (6)$$

Výsledné množství objemové toku procházející skrz obálku budovy v závislosti a na rozdílu tlaků pro přetlak a podtlak se zakresluje do grafu, viz obrázek 50.



Obrázek 50 Návrh zakreslení objemových toků dle ČSN EN 13829
1- naměřený objemový tok, 2- podtlak, 3- přetlak, 4- vypočtený tlakový rozdíl.

Převedená data musí být použita k určení koeficientu proudění vzduchu C_{env} a exponentu proudění vzduchu n , dle rovnice (7) a s použitím metody nejmenších čtverců.

$$V_{env} = C_{env} \cdot \Delta p^n \quad (7)$$

Kde:

\dot{V}_{env} objemový tok vzduchu procházející skrz plášť budovy [m^3/h]

Δp vytvořený rozdíl tlaků vzduchu v [Pa]

Doplňte rovnici (7) intervaly spolehlivosti odvozeného koeficientu proudění vzduchu C_{env} a exponentu proudění vzduchu, n . Pro přetlak a podtlak se hodnoty C_{env} a n se stanovují zvlášť.

Pro podtlak koeficient úniku vzduchu C_L vypočteme dle rovnice (8). Správný koeficient proudění vzduchu C_{env} pro standardní podmínky je [(20±1)°C a 1,013x105·Pa]

$$C_L = C_{env} \left(\frac{\rho_e}{\rho_0} \right)^{1-n} \quad (8)$$

Kde:

ρ_e hustota vnějšího vzduchu v kg/m³

ρ_0 hustota vzduchu při standardních podmínkách v kg/m³

Pro přetlak použijte rovnici (9)

$$C_L = C_{env} \left(\frac{\rho_i}{\rho_0} \right)^{1-n} \quad (9)$$

Kde:

ρ_i hustota vnitřního vzduchu v kg/m³

ρ_0 hustota vzduchu při standardních podmínkách v kg/m³

Objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu se vypočte dle rovnice (9).

$$V_{\Delta pr} = C_L (\Delta p_r)^n \quad (10)$$

Kde:

C_L je koeficient úniku vzduchu, v m³/(h.Paⁿ)

Δ_{pr} je vyvolaný referenční tlakový rozdíl v Pa

n je exponent proudění vzduchu

Odvozené hodnoty jsou nejčastěji spočítány při tlakovém rozdílu 50 Pa při čemž se rovnice doplní následovně:

$$V_{50} = C_L (50)^n \quad (11)$$

Celková intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu

Naměřené hodnoty byly převedeny na jedno číselné hodnoty vázané na konkrétní vlastnost budovy a tlakový rozdíl byl převážně 50 Pa. V České republice je nejpoužívanější rychlost výměny vzduchu n_{50} při 50 Pa dle rovnice (12).

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} \quad (12)$$

Kde:

\dot{V}_{50} je objemový tok vzduchu při Δp 50 Pa

V je objem budovy vypočítaný dle požadavků normy

Vzduchová propustnost budovy

Vzduchová propustnost budovy 50 Pa při $q_{50\Delta p}$ vztaženou na plochu pláště budovy a v souladu s použitím rovnice (13). Toto hodnotící kritérium se nejčastěji využívá v Itálii, Francii, Velké Británii nebo Švédsku.

$$q_{50} = \frac{V_{50}}{A_E} \quad (13)$$

Kde:

A_E je plocha pláště budovy vypočtená dle požadavků normy

Specifická rychlost úniku

Specifická rychlost úniku w_{50} při Δp 50 Pa je vztažená na čistou podlahovou plochu dle rovnice (14).

$$w_{50} = \frac{V_{50}}{A_F} \quad (14)$$

Kde:

A_F je čistá podlahová plocha budovy vypočtená dle požadavků normy.

6.2. Metodika hodnocení naměřených dat

Pro vyhodnocení naměřených dat v této práci byla použita aplikace Microsoft Excel 2013. Naměřené hodnoty byly vloženy do přehledné tabulky spolu se známými daty každého měřeného objektu (energetická třída, typ stavby, rok měření, místo výroby, komín, typ větrání a jiné). Následně bylo provedeno základní rozdělení dle typů staveb, viz kapitola 6.5 a pro jednotlivé kategorie byla vypracována četnost měření dle daného parametru. U všech parametrů byla vypracována základní popisná statistika za použití následujících rovnic (15,16,17):

Aritmetický průměr.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad (15)$$

Směrodatná odchylka.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (16)$$

Variační koeficient.

$$var = \frac{s}{\bar{x}} \quad (17)$$

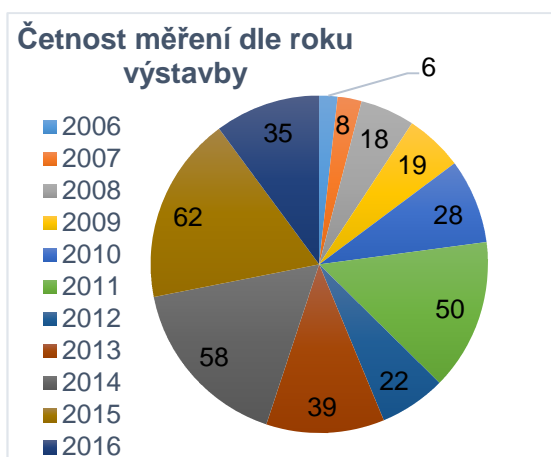
Pro další vyhodnocení byl použit program Statistika 12, do kterého byla přenesena data z aplikace Microsoft Excel. Po přenesení dat bylo provedeno statistické vyhodnocení pro jednotlivé výběry dle zadaných cílů této disertační práce. Konkrétně byly využity následující statistické metody: Shapiro-Vilkův test normality dat, Grubsovův test extrémních hodnot, regresní analýza, analýza rozptylu (ANOVA) a vícenásobné srovnávací testy (Tukeyův HSD a Fischerův LSD). Všechna porovnání byla provedena na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Dále byly použity jednoduché bodové grafy, krabicové grafy a grafy z analýzy rozptylu, kde jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Pro vizuální porovnání vzájemné závislosti jednotlivých parametrů bylo využito bodových grafů, u kterých byla vypočtena lineární regrese nebo korelace. Rovnice závislosti spolu s koeficientem determinace jsou uváděny pod grafy. Pro porovnání kvality firem bylo využito krabicových grafů, kde je zobrazena střední hodnota a rozptyl souboru.

6.3. Základní informace o měřených objektech

Měření objektů pro tuto disertační práci proběhlo mezi roky 2006 – 2016 na území České republiky. Četnost měření dle roku výstavby, zobrazuje obrázek 51 a tabulka 9.

Měření celkem bylo provedeno u 345 budov o celkovém objemu 144 009 m³, které realizovalo 52 různých dodavatelů, viz tabulka 17 a



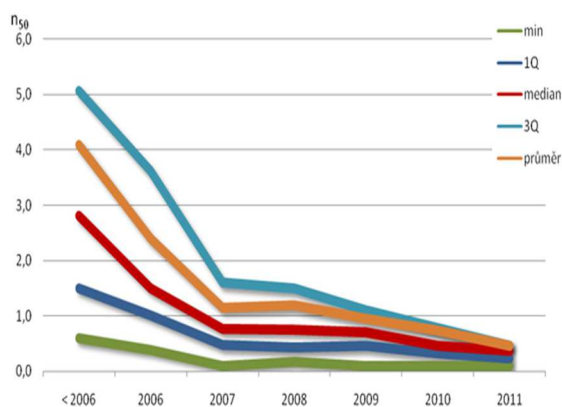
Obrázek 51 Rozdělení dle roku výstavby.

obrázek 63 (jednotliví zhotovitelé staveb dali souhlas s anonymním zpracováním údajů a byli zařazeni pod kódové označení).

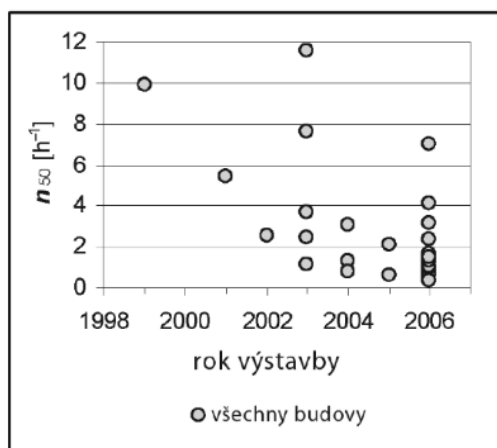
Tabulka 9 Četnost měření dle roku výstavby.

rok výstavby	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Počet měřených objektů	6	8	18	19	28	50	22	39	58	62	35

Rok výstavby by mohl předurčovat výslednou kvalitu budovy z pohledu vzduchové průvzdušnosti a určit předpokládanou úroveň výstavby. V průběhu literární rešerše bylo zjištěno, že výsledné hodnoty výzkumu se liší dle autora práce a roku ukončení porovnání. Každý autor provedl výzkum na nově postavených obytných budovách [82] [91] [92] a při porovnání výsledků byla zjištěna snižující se hodnota n_{50} . Tento výsledek graficky znázornil Paleček S., viz obr. 53. Stejnou problematikou se ve své knize zabýval i Novák J., který dospěl k výsledku, že rok výstavby neovlivňuje výslednou průvzdušnost, viz obr. 52. [33]. Při stejném výzkumu na rekonstruovaných budovách bylo při porovnání výsledků zjištěno, že hodnota n_{50} se zvyšuje, což je zřejmě zapříčiněno druhem používaných stavebních materiálů. [97]



Obrázek 53 Dosažené průvzdušnosti měřených objektů v průběhu měřených objektů v průběhu hodnot. [82]



Obrázek 52 Výsledek měření vzduchotěsnosti podle roku výstavby pro všechna měření. [33]

Měřené budovy byly realizovány v různých energetických třídách. V 241 případech se jednalo o stavby postavené v nízkoenergetickém standardu a 104 staveb v pasivním standardu, obrázek 54 a tabulka 10. Do nízkoenergetických domů jsou pro potřeby této disertační práce zařazeny i domy energeticky úsporné, viz tabulka 1. Pro nízkoenergetické

a energeticky úsporné domy nebylo možné získat základní parametry o nosné konstrukci, proto pro toto rozdělení nebylo prováděno statistické zhodnocení. Výsledné zhodnocení by bylo s největší pravděpodobností zatíženo chybou.

Tabulka 10 Rozdělení dle energetické náročnosti.

Nízkoenergetické stavby	241
Pasivní stavby	104

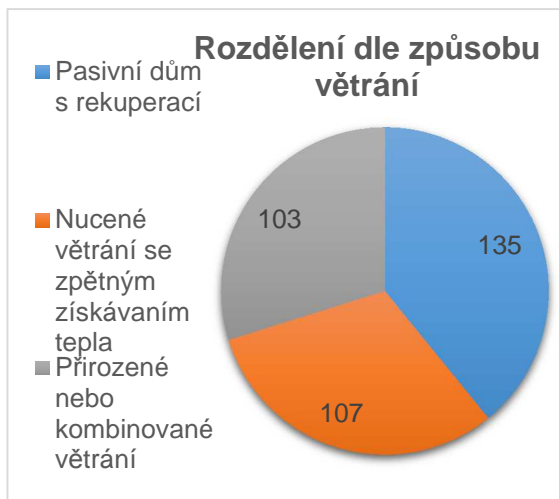


Obrázek 54 Rozdělení dle energetické náročnosti.

Další rozdělení staveb pro tuto disertační práci bylo z hlediska technologie větrání řídicí se normou ČSN EN 73 0540 - 2. Celkem 104 staveb bylo vybaveno nuceným větráním se zpětným získáváním tepla a s požadavkem na zlepšené tepelné vlastnosti (pasivní domy), 107 staveb bylo vybaveno nuceným větráním se zpětným získáváním tepla a 135 staveb bylo s přirozeným nebo kombinovaným větráním, obrázek 55 a tabulka 11. Po dobu výzkumu nebylo provedeno měření u budovy pouze s nuceným větráním, proto v měřených objektech chybí. Pro toto rozdělení bylo rozhodnuto provést statistické zhodnocení. Jedním důvodem rozhodnutí bylo, že již při návrhu budovy se musí zvolit takové materiály a taková opatření, aby se vyhovělo požadavkům uvedeným v tabulce 3, což je předpokladem dosažení požadovaných výsledků. Tuto hypotézu potvrzuje několik autorů, kteří předpokládají, že nejlepších výsledků hodnoty n_{50} bude dosahováno u pasivních budov. [33] [25] [83] Podobné rozdělení provedli ve svých výzkumech i další autoři a potvrdili hypotézu vlivu požadované výsledné hodnoty na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti. [33] [95] [96]

Tabulka 11 Rozdělení dle způsobu větrání.

Pasivní dům s rekuperací	135
Nucené větrání se zpětným získáváním tepla	103
Přírozené nebo kombinované větrání	107



Obrázek 55 Rozdělení dle způsobu větrání.

Statistické zhodnocení bylo vytvořeno i pro rozdělení objektů dle místa výstavby a její dokončenosti před dodáním na místo stavby. U 191 měřených staveb byla použita panelová technologie s vysokou prefabrikací, 49 staveb bylo stavěno panelovou výstavbou s nízkým stupněm prefabrikace a 105 staveb bylo stavěno letmou montáží (staveništní montáž), obrázek 56 a tabulka 12. Bohužel nebyla nalezena norma ani rozdělení (vysoká prefabrikace, nízká prefabrikace) v dostatečně významné publikaci, aby byla využívána odbornou veřejností. Pro účely zpracování této práce byl proto vytvořen vlastní popis rozdělení staveb dle stavu dokončenosti a místa výstavby.

Vysoký stupeň prefabrikace

svislé obvodové konstrukce jsou již osazeny otvorovými výplněmi spolu s realizovanými instalatérskými rozvody a elektroinstalací v panelech.

Nízký stupeň prefabrikace

svislé obvodové konstrukce nejsou osazeny otvorovými výplněmi, instalatérskými rozvody a elektroinstalací. Často se jedná o nosnou konstrukci CLT nebo zateplenou nosnou konstrukci s pospojovanou vzduchotěsnící vrstvou.

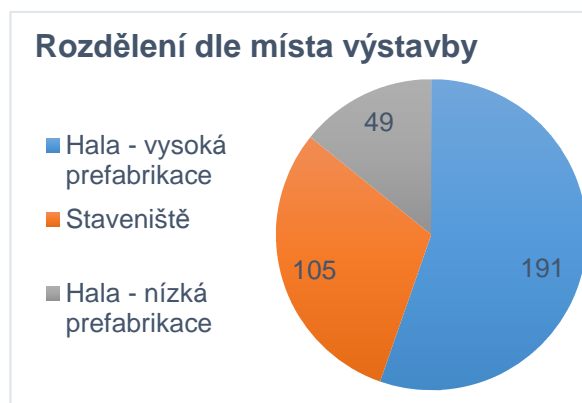
Staveništní montáž

viz kapitola 4.2.1.

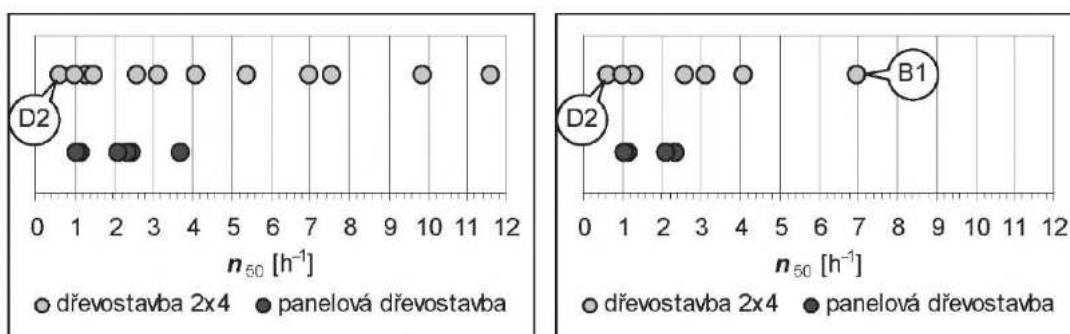
Novák, J. ve svých výzkumech konstatoval: „Je pravděpodobné, že použití panelové technologie přispívá k dosažení lepší úrovně vzduchotěsnosti než použitím systému 2x4 (staveništní montáž).“ [33] Viz obrázek 57. Ke stejným závěrům dospěli ve své práci Pan, W. [94] a Kalamees, T. [95]

Tabulka 12 Rozdělení dle místa výstavby.

Hala - vysoká prefabrikace	191
Staveniště	105
Hala - nízká prefabrikace	49



Obrázek 56 Rozdělení dle místa výstavby.



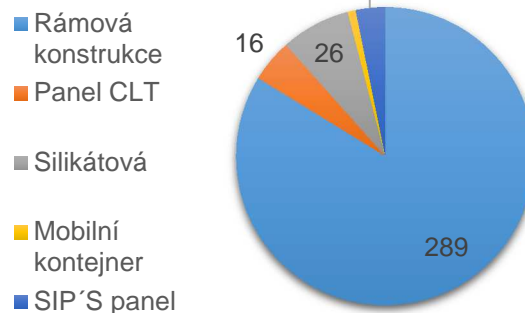
Obrázek 57 Porovnání vzduchotěsnosti dřevostaveb s různou technologií výstavby. Vlevo - všechny měřené dřevostavby bez rozlišení. Vpravo - pouze dřevostavby, u nichž byla uplatněna vzduchotěsní opatření. [33]

Další vyhodnocení bylo provedeno pro typ obvodové nosné konstrukce. 289 měřených staveb mělo nosnou rámovou konstrukci (sloupková konstrukce), 11 staveb bylo vyrobeno ze SIPs panelů, 16 staveb bylo vyrobeno z CLT panelům, 26 staveb mělo silikátovou konstrukci od různých dodavatelů, 3 stavby byly mobilní buňky, obrázek 58 a tabulka 13.

Tabulka 13 Rozdělení dle
Nosné svíslé obvodové konstrukce.

Rámová konstrukce	289
Panel CLT	16
Silikátová	26
Mobilní kontejner	3
SIP´S panel	11

Rozdělení dle nosné konstrukce



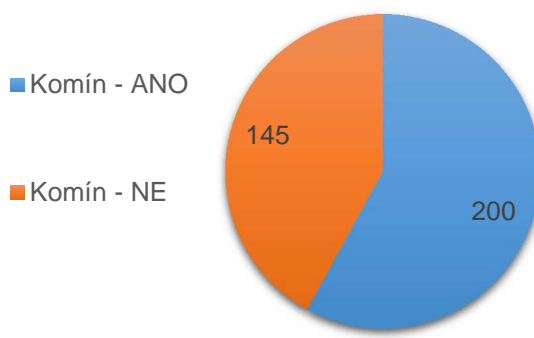
Obrázek 58 Rozdělení dle nosné svíslé obvodové konstrukce.

Další rozdělení měřených staveb bylo provedeno na základě přítomnosti komínu. U 200 staveb byl komín instalován a u zbývajících 145 staveb nebyl komín navržen, obrázek 59 a tabulka 14.

Tabulka 14 Rozdělení dle přítomnosti komínu.

Komín - ANO	200
Komín - NE	145

Přítomnost komínu



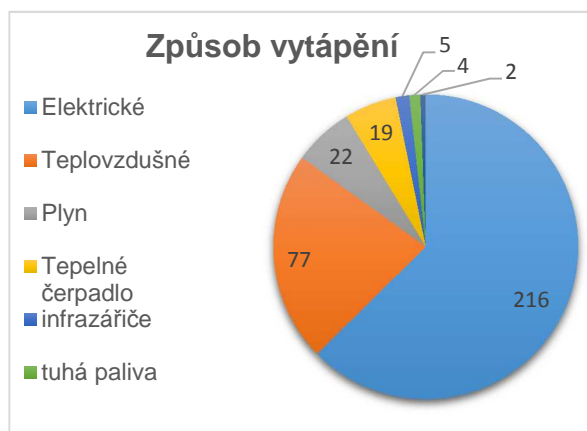
Obrázek 59 Rozdělení dle přítomnosti komínu.

Ke statistickému vyhodnocení měřených budov pro tuto disertační práci by bylo možno budovy rozdělit dle typu vytápění, ovšem tento parametr bylo velice obtížné získat (v době měření ještě nebyl typ topení zabudován) a muselo by se pracovat s nespolehlivými informacemi od montážních dělníků. Tento parametr může být zatížen chybou a nebude podroben statistickému zkoumání. Nejpoužívanějším typem vytápění ve sledovaném období bylo elektrické vytápění ve 216 stavebách, druhým nejpoužívanějším typem bylo teplovzdušné vytápění v 77 stavebách, plyn byl využit ve 22 stavebách, tepelné čerpadlo v 19 stavebách, infrazářiče v 5 stavebách a kotle na tuhá paliva jsou

zastoupena ve 4 případech, u 2 domů bylo topení realizováno solárními panely, obrázek 60 a tabulka 15.

Tabulka 15 Rozdělení dle způsobu vytápění.

Elektrické	216
Teplovzdušné	77
Plyn	22
Tepelné čerpadlo	19
infrazářiče	5
tuhá paliva	4
solární panel	2

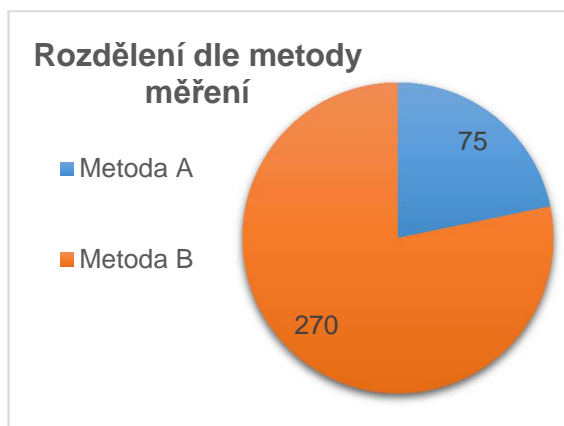


Obrázek 60 Rozdělení dle způsobu vytápění.

Při porovnání provedených měření z hlediska použité metody bylo zjištěno, že více využívána byla metoda B, která byla zastoupena 270 měřeními. Metoda A byla použita v 75 případech, obrázek 61 a graf 16. Vyšší zájem o metodu B lze vysvětlit tím, že nevyhovující stav vzduchotěsnosti konstrukce lze v této fázi stavby poměrně za nízkých finančních i pracovních nákladů zlepšit. U metody A by tyto opravy nešly bez porušení povrchových vrstev, přesto poptávka o metodu A vzrostla v době, kdy se otevřel státní dotační program „Zelená úsporám“.

Tabulka 16 Rozdělení dle metody měření.

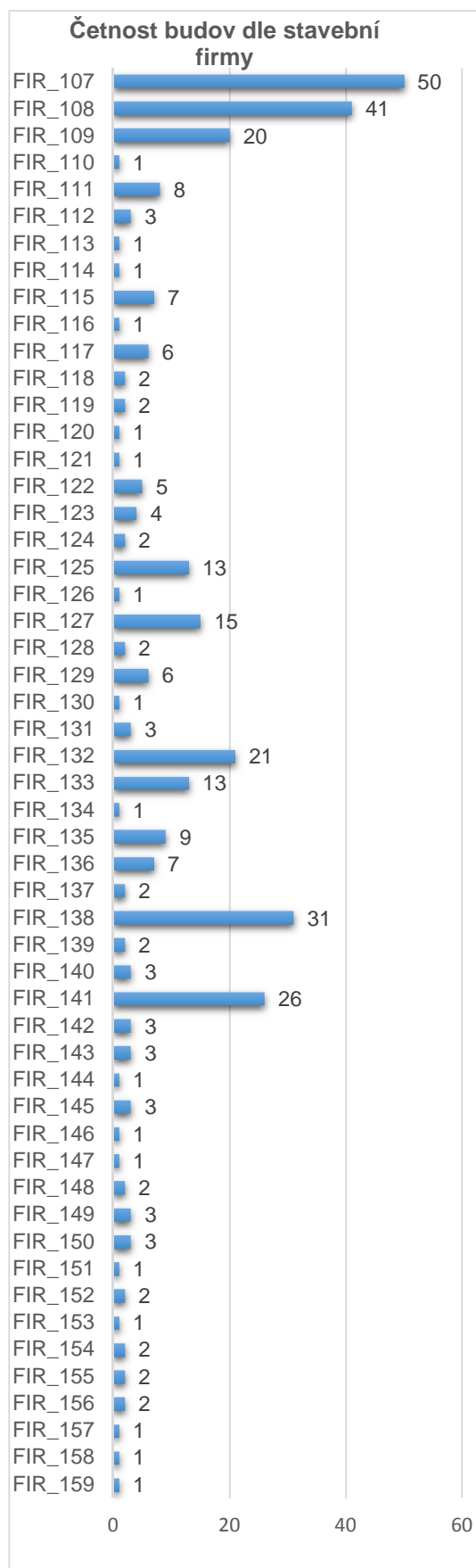
Metoda A	75
Metoda B	270



Obrázek 61 Rozdělení dle metody měření.

Tabulka 17 Četnost dle prováděcí firmy.

Kód prováděcí firmy	počet domu [ks]
FIR_107	50
FIR_108	41
FIR_109	20
FIR_110	1
FIR_111	8
FIR_112	3
FIR_113	1
FIR_114	1
FIR_115	7
FIR_116	1
FIR_117	6
FIR_118	2
FIR_119	2
FIR_120	1
FIR_121	1
FIR_122	5
FIR_123	4
FIR_124	2
FIR_125	13
FIR_126	1
FIR_127	15
FIR_128	2
FIR_129	6
FIR_130	1
FIR_131	3
FIR_132	21
FIR_133	13
FIR_134	1
FIR_135	9
FIR_136	7
FIR_137	2
FIR_138	31
FIR_139	2
FIR_140	3
FIR_141	26
FIR_142	3
FIR_143	3
FIR_144	1
FIR_145	3
FIR_146	1
FIR_147	1
FIR_148	2
FIR_149	3
FIR_150	3
FIR_151	1
FIR_152	2
FIR_153	1
FIR_154	2
FIR_155	2
FIR_156	2
FIR_157	1
FIR_158	1
FIR_159	1



Obrázek 62 Četnost dle prováděcí firmy.

7. VÝSLEDKY A DISKUSE

7.1. Nejčastější netěsnosti

Celá řada netěsností ve vzduchotěsnící vrstvě je důvodem k vysokým naměřeným hodnotám průvzdušnosti. Neustálá detekce defektních míst je významná z více důvodů, zaprvé lze provést opravy nalezených netěsností, za další jako podklad pro návrh preventivních opatření ve fázi návrhu a výstavby budov. Nabyté zkušenosti, a to i ty předané, mohou vést k postupnému zlepšování reálně naměřených hodnot n_{50} a tím jak k prodloužení životnosti staveb, tak k nižší spotřebě energií na vytápění. [33]

Metody způsobu vyhledávání netěsností jsou popsány v kapitole 6.3.4.5. V této práci byly nejčastěji použity následující metody:

- lokální vyvíječ kouře (kouřová trubice KT1),
- anemometr (méně často),
- IR kamera TESTO 830 (ve výjimečných případech).

Všechny níže uvedené netěsnosti, jsou přehledem kritických míst vyskytujících se na budovách posuzovaných v této práci. Odhalení a opravou těchto míst je pak snazší dosáhnout požadovaného výsledků. Znalost těchto defektních míst vede k jejich eliminaci již při samotném navrhování nebo výstavbě budov.

7.1.1. Otvorové výplně

7.1.1.1. Připojovací spára

Připojovací spára oken je nejčastějším defektním místem zjištěným při všech měření, a to i přes to, že u nízkoenergetických domů je na tuto problematiku kladen větší zřetel, než je tomu u klasických staveb, kde se měření průvzdušnosti či jiná kontrola neprovádí. V mnoha případech je připojovací spára řešena pouze PUR pěnou, což je nedostačující způsob těsnění, který není v souladu s ČSN 74 6077. V této normě je popsán přesný postup pro zabudování oken, kdy pěna slouží pouze jako kotvící a zateplovací materiál. Ze strany exteriéru se instaluje uzavírací tmel či páska, která je voděodolná a paropropustná. Ze strany interiéru je opět použit uzavírací tmel

či páska, která je již nepropustná pro vodu i vodní páru. Ovšem i při použití tohoto postupu dochází k nedostatkům a to zejména v rozích, kde podkladní rám končí dřívě než rám okna a páska se nemá k čemu uchytit, a také proto, že se v těchto místech nahromadí větší množství pásky, které je složitější správně přilepit. Dalším důvodem může být nedbalost montážní skupiny, která neprovede správné zaříznutí PUR pěny a neočistí ostění otvorové výplně, načež těsnicí materiály nemohou dokonale přilnout. Tuto netěsnost je možné snadno opravit při metodě B, kdy je tato spára dokonale přístupná.



Obrázek 64 Instalace pouze na PUR pěnu.



Obrázek 63 Nedotěsněný roh okna.



Obrázek 66 Nekvalitní expanzní páska.

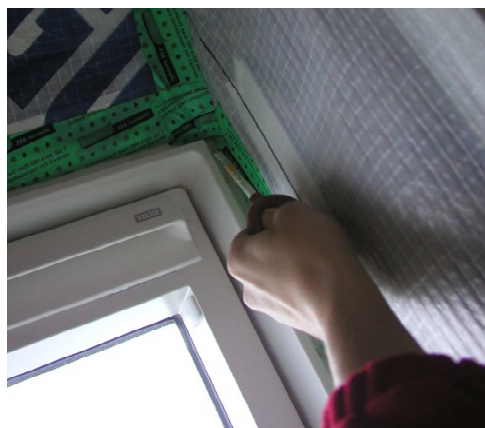


Obrázek 65 Degradovaná PUR pěna po 2 letech užívání konstrukce.

Při použití speciálně vyrobené dotiskovací sady pro připojovací spáru střešních oken, která je u každého dodavatele oken vyrobena speciálně pro profil určených oken, se netěsnosti téměř nevyskytují. Ovšem pokud se takovýchto sad nevyužije, je správné spojení s okolní vzduchotěsnicí vrstvou velmi obtížné, a to z důvodu malého prostoru pro napojení.



Obrázek 68 Sada na dotěsnění. [74]



Obrázek 67 Připojovací spára střešního okna.

7.1.1.2. Funkční spára

Požadavky na tuto spáru jsou zřejmě nejprotichůdnější. Spára musí zabezpečovat dokonalou těsnost a zároveň se v ní musí realizovat snadné otvíraní. Netěsnosti v této spáře sice zhoršují výslednou neprůvzdušnost, ale na druhou stranu zde nehrozí při kondenzaci vody degradace nosného materiálu. V převážné většině se s touto kondenzací počítá a ve funkční spáře jsou již pro tento případ vytvořeny výtokové dutiny. U budov kde není nucené větrání, je infiltrace vzduchu touto spárou přímo žádoucí. U sklopně otvíravých plastových oken bývá v mnoha případech detekován unik vzduchu, a to z důvodu samotné konstrukce okna, kdy nad těsněním prochází pant.



Obrázek 69 Únik pantem.



Obrázek 70 Horní pant u sklopně otvíravých otvorových výplní.

U vícekřídlých oken bez vnitřního sloupku (okna na sraz) dochází v mnoha případech k unikům vzduchu ve spodní a horní části, kde je funkční spára. Tato netěsnost je způsobena konstrukčním řešením okna a je neopravitelná. Jedinou možností je nepoužívat takto řešená okna, ale používat okna se středovým sloupkem.



Obrázek 72 Plastové okno na sraz.



Obrázek 71 Dřevěné okno na sraz.

Nejproblematictější detail pro výrobce otvorových výplní je funkční spára posuvných dveří. U posuvného kování nelze použít těsnění v takové míře, aby utěsnilo kování a zároveň aby se dalo realizovat otvírání. Vhodnější variantou jsou sklopně posuvné dveře, kde je celoobvodové těsnění neporušeno a lze vyvolat přítlak křídla k rámu. V takovém případě lze zabránit úniku vzduchu správným seřízením.



Obrázek 74 Horní kování posuvných dveří.



Obrázek 73 Spodní kování posuvných dveří.

Ve funkční spáře u střešních oken se nachází problematické místo v rozích, kde je celoobvodové kování velmi často pokroucené a tudíž neplní svou funkci. Druhým takovým místem je u otočných střešních oken místo

v okolí kování, kde je těsnění přerušené a není v jedné rovině. Tyto netěsnosti však nejsou příliš závažné.



Obrázek 76 Dřevné střešní okno.



Obrázek 75 Detail celoobvodového těsnění.

7.1.1.3. Zasklívací spára

Dle požadavků norem je v této spáře povolena nulová infiltrace vody a vzduchu a nemělo by tedy k žádným únikům docházet. V současnosti však situaci na trhu komplikuje fakt, že je povoleno překupování certifikátů mezi jednotlivými výrobci, což v praxi znamená, že jeden výrobce profilů provede sérii zkoušek na oknech vyrobených právě z jeho materiálů. Tyto výsledky pak poskytne zdarma nebo za menší úplatu všem výrobcům oken, kteří tyto profily využívají. Následně již tito výrobci nemusí provádět zkoušky na oknech vlastní produkce. Od té doby, co se přistoupilo k této praxi, se začala v budovách vyskytovat infiltrace právě přes zasklívací spáru, což může vést ke snížení životnosti okna. Při návrhu konstrukce okna se s infiltrací v zasklívací spáře nepočítá.

Výjimkou jsou dle výrobců střešní okna, která mají v dolních rozích připravenou dutinu na odtok zkondenzované vody na skle, tato dutina je i v horních rozích, čímž se zhoršuje výsledná průvzdušnost.



Obrázek 78 Zasklívací spára střešního okna.



Obrázek 77 Zasklívací spára dřevěného okna.

U sestav oken je problematické také spojení jednotlivých sestav. U plastových oken je připojení řešeno na zámek, který je pak překryt lištou. U dřevěných oken je většina sestav skládaná natupo, nebo jsou použity tesařské spoje, a spára je přetmelena. Pokud se u dřevěných otvorových výplní případná oprava neprovede včas, dojde k degradaci dřevní hmoty. Při zjištění této netěsnosti testem B je náprava relativně jednoduchá.



Obrázek 80 Dřevěná sestava na sraz.



Obrázek 79 Plastová sestava na zámek.

7.1.2. Napojení podlahovou a stěnovou konstrukcí

Oprava tohoto druhu netěsnosti je možná pouze při metodě B a to před zhotovením čistých podlah. Poté je již spoj nepřístupný.

7.1.2.1. Řešení na folii

Stěnová vzduchotěsnicí vrstva je spojena s podlahovou konstrukcí nejčastěji tmelem nebo páskou. Nejčastějším problémem je vznik netěsností z důvodu nedokonalého očištění podlahové konstrukce, prachové části pak brání vytvoření lepeného spoje. Problémy též vznikají nedokonalým

nanesením tmelu, příliš hrubým povrchem podlahové konstrukce, který páska nemůže dokonale kopírovat, nebo pokud se před spojením obvodové nosné konstrukce a podlahové konstrukce umístí vnitřní příčky. Po instalaci vnitřních příček je prolepení velice obtížné a ve většině případů již nemožné. V poslední době se začíná používat butylový pás s dobrou přilnavostí k mnoha podkladům, který výrazně zvyšuje komfort práce a při jehož použití jsou dosahovány lepší výsledky průvzdušnosti.



Obrázek 82 Spoj na butylový pásek.



Obrázek 81 Napojení obvodové a stěnové konstrukce.

7.1.2.2. Řešení pomocí desek

U tvrdých vzduchotěsnících vrstev jsou nejčastěji používány OSB desky. Druhým typickým představitelem jsou CLT panely. Napojení obvodové a stěnové konstrukce je snazší a spoj je realizovaný páskou nebo trvale pružným tmelem.



Obrázek 84 Napojení CLT panelů na podlahovou konstrukci.

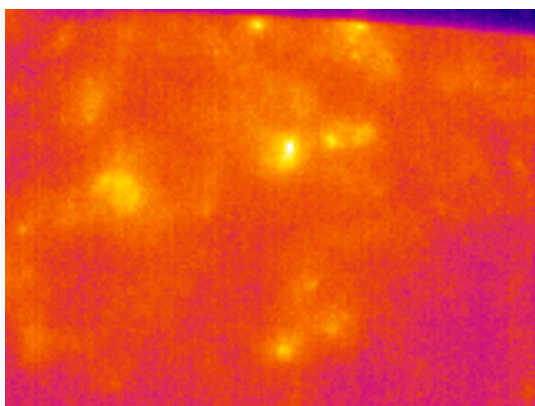


Obrázek 83 Napojení OSB desky na podlahovou konstrukci pomocí butylového pásku.

7.1.3. Svislé obvodové konstrukce

Netěsnosti způsobené špatným zhotovením spojů vzduchotěsnicí vrstvy ve stěnové konstrukci se vyskytují ojediněle. Netěsnosti vzniknou použitím nevhodných montážních pásek, neodborně provedenými spoji navazujících folií a desek či protržením folie při manipulaci s materiálem uvnitř budovy.

OSB desky, s tloušťkou pod 18 mm (u některých výrobců pod 22 mm), nezajišťují dokonalou těsnost v celé své ploše. Na mnoha místech desky je shluk drobných třísek, kde dochází k infiltraci vzduchu. [82]



Obrázek 86 IR snímek OSB desky tloušťky 15 mm.



Obrázek 85 Porušená parozábrana.

7.1.4. Stropní konstrukce

U dvou a vícepodlažních budov lze využít jedno ze tří řešení napojení na sebe navazujících podlaží. Prvním nejpoužívanějším je obepnutí stropní konstrukce pomocí foliové vzduchotěsnicí vrstvy, viz obr. 88. Tento typ napojení je nejjednodušší a nejméně náročné na materiál a čas. Úniky mohou vzniknout při protržení nebo chybném slepení jednotlivých vrstev, což bývá zapříčiněno malou zkušeností montážní party a stavebního dozoru.



Obrázek 88 Parozábrana venkem.



Obrázek 87 Nenapojená parozábrana.

Druhým řešením je, že vzduchotěsnicí vrstva kryje celou plochu, přičemž pro napojení trámů stropní konstrukce musí být tato vzduchotěsnicí vrstva porušena. V okolí stropní konstrukce musí být spojení provedeno obzvláště kvalitně a precizně, aby se předcházelo netěsnostem. Toto řešení je velice náročné, vyžaduje velké zkušenosti montážní party a stavebního dozoru, a proto je málo používané.



Obrázek 90 Nekvalitní polepení stropní konstrukce.



Obrázek 89 Napojení stropní a obvodové konstrukce.

Další způsob řešení u více patrových budov je, že se vzduchotěsnicí vrstva budovy řeší pro každé jednotlivé patro samostatně. Tato varianta nabízí jednoduchou montáž, avšak je materiálově a finančně náročnější než předchozí metody. Při montáži vzduchotěsnicí vrstvy je nutno provést kvalitní dotěsnění všech průchodů, včetně otvorů pro schody. V případě, že nebylo dotěsnění všech průchodů řádně provedeno, obrázek 91, 92, dochází v konstrukci k nežádoucí kondenzaci vody, která celou stavbu poškozují.



Obrázek 92 Únik do stropní konstrukce.



Obrázek 91 Neprolepený otvor pro schody.

7.1.5. Střešní konstrukce

Součástí hlavní vzduchotěsnící vrstvy je i střešní konstrukce budovy. Při montáži měkké foliové parozábrany se často vyskytují chyby v místech, kde se jednotlivé pásy vzájemně spojují (takzvané varhánky), obrázek 94. Tento defekt vznikne v případě, kdy se jedna z vrstev při lepení prohne nebo shrne a tím se vytvoří nežádoucí překlad, skrz který proudí vzduch. Při použití foliových parozábran je velice obtížné se této netěsnosti vyvarovat. Jedná o drobnou chybu s jednoduchou opravou, ale v měřených objektech se vyskytovala opakovaně.



Obrázek 94 Spoj parozábran, takzvaný varhánek.



Obrázek 93 Nekvalitní prolení konstrukcí.

Dalším možným problematickým místem střešní konstrukce jsou kleštiny, sloupky podporující vaznice a kovové kotevní pásy pozednice procházející skrz vytápěný prostor. Každý prvek tvoří spoj mezi interiérem a exteriérem. Dotěsnění takového prostupu je velice náročné na preciznost provedení a to z důvodu špatné přístupnosti k těmto místům obrázek 95, 96.



Obrázek 96 Neprolepená kleština.



Obrázek 95 Únik okolo vrcholové vaznice.

7.1.6. Elektroinstalační prvky

7.1.6.1. Metoda A

Při detekci netěsností metodou A v již dokončeném objektu lze dojít k nesprávným závěrům. Výsledky měření či detekce úniků může být ovlivněna prouděním vzduchu skrz elektroinstalaci. Příčinou takto pronikajícího vzduchu, nemusí být pouze špatně zhotovený detail průchodu elektroinstalace, ale i jiné netěsnosti za povrchovou vrstvou. Procházející vzduch z pravidla vyhledává cestu nejnižšího odporu a to právě bývá v povrchové vrstvě pro elektroinstalaci. Tento nežádoucí efekt bývá výraznější u budov s instalační předstěnou.

7.1.6.2. Metoda B

Množství netěsností v okolí elektroinstalace je závislé na způsobu jejich řešení (v instalační dutině, v konstrukci za vzduchotěsnící vrstvou). Budovy bez instalační předstěny vyžadují značnou výrobní kázeň a zkušenost montážní party. Každý průchod skrz vzduchotěsnící vrstvu je nutné utěsnit s použitím k tomu určených průchodek, nebo dokonalé oblepení s využitím speciálních vzduchotěsných zásuvek, obrázek 97. Budovy s instalační předstěnou mají rozvody realizovány v dutině a tím minimalizují množství průchodů skrz vzduchotěsnící vrstvu. Svazek kabelů procházející skrz tuto vrstvu nelze správně dotěsnit, obrázek 98.



Obrázek 98 Neutěsnitelný detail svazku kabelů.



Obrázek 97 Elektroinstalace v konstrukci bez předstěny.

7.1.7. Odpadní a vodovodní potrubí

Odpadní a vodovodní potrubí má podobné montážní zásady jako elektroinstalace. Pro jejich správné napojení na hlavní vzduchotěsnící vrstvu je doporučeno použít pásy či manžety k tomu určené. Častou chybou při montáži bývá použití PUR pěny, obrázek 100, která není vhodná jako těsnící materiál. Při oříznutí povrchové vrstvy PUR pěny může přes tento materiál proudit vlhký vzduch, který postupem času zapříčiní degradaci materiálu.



Obrázek 100 Těsnění PUR pěnou.



Obrázek 99 Nedotěsněné odpadní potrubí.

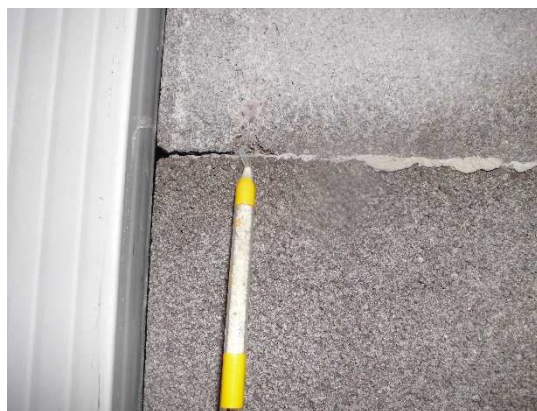
7.1.8. Komínové těleso

Každý typ komínového tělesa může mít odlišná místa úniku vzduchu, která byla zaznamenána při měření a následné detekci. Nejlepších výsledků úniku spárami bylo zjištěno u nerezových komínových těles. U betonových a pálených komínových sestav pronikal vzduch spárami. Betonová komínová tělesa dále umožňují infiltraci celým svým porézním povrchem. Tento defekt se dá odstranit vytvořením celistvé povrchové vrstvy. Nejvíce úniků bylo

odhaleno v oblasti napojení spotřebiče do hlavní komínové šachty, kde vzduch pronikal do průběžných větracích kanálků. Slabým místem z pohledu průvzdušnosti jsou i vymetací dvířka.



Obrázek 102 Únik vzduchu do pláště komínu.



Obrázek 101 Únik vzduchu skrz betonový komín.

7.1.9. Předokenní žaluzie a rolety

Předokenní žaluzie a rolety jsou buď s elektrickým, nebo manuálním ovládáním. Výhodnější z pohledu průvzdušnosti jsou žaluzie s ovládáním elektrickým. U manuálního ovládání jsou kritickým místem prostupy pro ovládací prvky, obrázek 103. Nelze zde provést pevné spojení a to z důvodů pohybu těchto prvků. Při měření byly pozorovány značné úniky skrz roletové boxy, obrázek 104, které svou konstrukcí oddělují interiér a exteriér.



Obrázek 104 Únik z interiéru do roletových boxů.



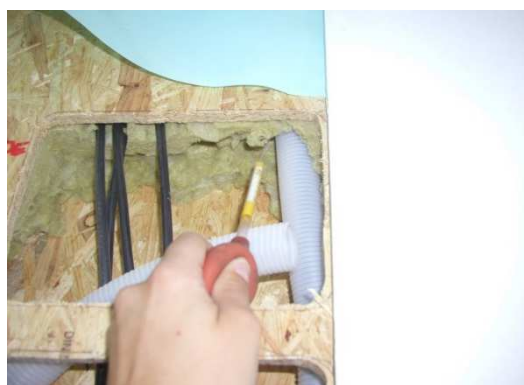
Obrázek 103 Únik přes ovládání předokenních žaluzií.

7.1.10. Vnitřní příčky

Nejlepší a nejjednodušší řešení při konstrukci hlavní vzduchotěsnící vrstvy je vedení této vrstvy nad vnitřními příčkami. Pokud se této metody nevyužije, je zapotřebí k nim přistupovat jako k obvodovým stěnám a to z důvodu, že vzduch proudící uvnitř příčky se dostává do půdního prostoru. Pokud jsou v příčkách vedeny rozvody instalací (elektroinstalace, odpadní a vodovodní potrubí a jiné) je potřeba tyto průchody vzduchotěsnící vrstvou dotěsnit a to stejným způsobem jako v obvodových konstrukcích.



Obrázek 106 Nesprávně provedená hlavní vzduchotěsnící vrstva u vnitřní příčky.



Obrázek 105 Neutěsněná elektroinstalace ve vnitřní příčce.

7.1.11. Zděné stavby

Pro zděné stavby platí v oblasti vzduchotěsnosti stejné zásady jako pro stavby z montovaných konstrukcí. U tohoto typu stavby tvoří vzduchotěsnící vrstvu vnitřní omítka, která musí být provedena na všech místech budovy (pod schody, v podhledech, pod zárubněmi atd.). Pokud se omítka řádně neprovede, výrazně stoupá vzduchová průvzdušnost, zejména pokud se použijí jako hlavní nosný prvek pálené skořepinové tvárnice s dutinami. Právě tyto dutiny vytváří ve svislých obvodových konstrukcích komínový efekt. Každá vlasová trhлина může být místem, přes který se infiltruje vzduch, obrázek 107. Výhoda zděné stavby oproti stavbě s dřevěnou nosnou konstrukcí je, že při kondenzaci vody ve zděné konstrukci nedochází tak rychle k degradaci zdiva.



Obrázek 108 Nedotěsněné rozvody ve zděné stavbě.



Obrázek 107 Vlasová trhlina v omítce s viditelnou infiltrací vzduchu.



Obrázek 110 Infiltrace do neomítnutého zdiva.



Obrázek 109 Neomítnutý otvor pro interiérové dveře.

7.2. Statistické vyhodnocení

Zjištění základních statistických ukazatelů bylo provedeno pro všechny měřené objekty dohromady. Následně byly provedeny analýzy pouze pro skupinu domů s rámovou konstrukcí z důvodu zaměření této práce se zvláštním zřetelem na dřevěné konstrukce, a rovněž proto, aby byl vyloučen vliv konstrukce budov na hodnoty průvzdušnosti. Soubor dat celkem obsahoval 345 měřených objektů. V měřeném souboru byly cíleně nejvíce zastoupeny domy s rámovou konstrukcí a to v počtu 289 měření. I v budoucnu lze předpokládat, že rámová konstrukce bude nejpoužívanější nosnou konstrukcí dřevostaveb a to jak u staveništní montáže tak té panelové. Dále byl analyzován vliv jednotlivých parametrů, zejména byl vyhodnocen vliv způsobu větrání budov a vliv komínového tělesa. Základní statistické údaje průvzdušnosti pro celý soubor měřených dat jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} pro celý soubor měření.

Počet měřených objektů	Průměrná hodnota (h^{-1})	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Směrodatná odchylka	Variační koeficient (%)
345	1,03	0,17	7,56	0,76	73,77

U všech budov byl použit jeden výsledek měření. Při měření metodou B, kdy bylo měření prováděno opakovaně, byla použita hodnota z nejpokročilejší fáze rozestavěnosti. Z důvodu demonstrace vlivu výběru realizační firmy na výslednou hodnotu měření, byla u jedné budovy udělána výjimka, kdy byla použita hodnota před zásadní změnou při montáži vzduchotěsní vrstvy. Pro další statistická porovnání již byl tento extrémní výsledek vyloučen. Více v kapitole vliv realizační firmy na výslednou hodnotu průvzdušnosti. Na souboru byla ověřena normalita dat, viz příloha 6.

V následujícím statistickém vyhodnocení je pro větší přehlednost využito zkratk, které vycházejí ze způsobu větrání.

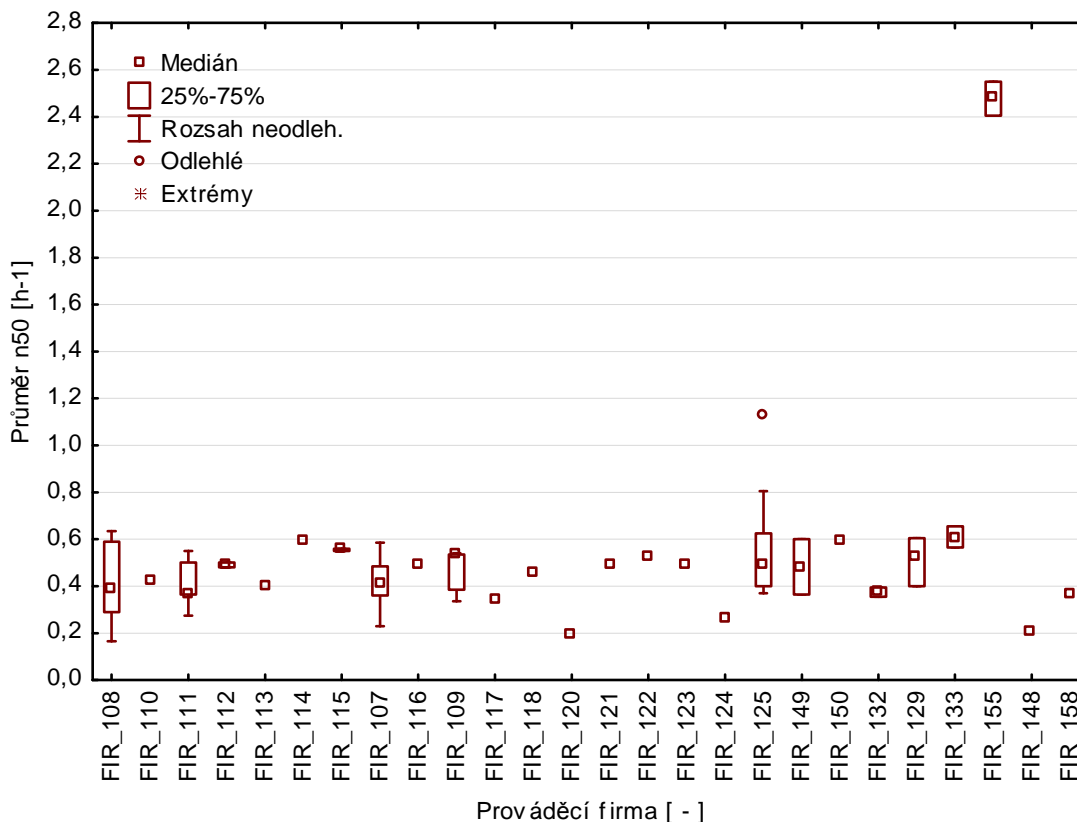
- **Limit BDT 0,6** - Nucené větrání se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)
- **Limit BDT 1,0** - Nucené větrání se zpětným získáváním tepla
- **Limit BDT 4,5** - Přirozené nebo kombinované větrání

7.2.1. Posouzení vlivu realizační firmy na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

V současné době je na trhu velké množství realizačních firem, které se zabývají stavbou pasivních a nízkoenergetických domů na bázi dřeva. Ačkoliv realizační firmy využívají podobných technologií, materiálů a postupů, postavené budovy nedosahují stejných hodnot celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} . V souboru naměřených dat se vyskytují budovy s rozdílnými požadavky na normované hodnoty průvzdušnosti. Pro základní analýzy byl proto soubor dat rozdělen podle energetické náročnosti na dvě skupiny na pasivní domy a nízkoenergetické domy. Naměřené hodnoty jsou zobrazené v krabicových grafech. V těchto grafech lze pro jednotlivé firmy pozorovat medián, rozptyl a odlehlé a extrémní hodnoty.

7.2.1.1. Pasivní budovy

Pro vyhodnocení bylo použito 104 budov, které realizovalo celkem 26 různých stavebních firem.



Obrázek 111 Vliv realizační firmy na hodnoty n_{50} u pasivních domů.

Z obrázku 111 je patrné, že téměř všechny budovy od realizačních firem naplňují požadavky normy ČSN 73 540-2. Průměrné hodnoty průvzdušnosti při přetlaku 50 Pa se pohybovaly v rozmezí 0,2 – 0,6 h⁻¹. Pouze několik málo domů, zejména domů postavených firmou s kódovým označením FIR_155, normované hodnoty nespĺňuje. Tato firma umožnila měření pouze na dvou budovách. Jednalo se o zděnou konstrukci, ve které se vyskytovala celé řada netěsností. Tyto netěsnosti nevznikly pouze při výstavbě, ale již při navrhování budov. Jak bylo již popsáno dříve, v silikátových stavbách tvoří vzduchotěsnicí vrstvu vnitřní omítka, která ovšem u těchto domů nebyla realizována po celé ploše obvodových konstrukcí. Omítka chyběla například v šachtách pro rozvody instalací a pod okenními parapety. Naproti tomu např. firma s kódovým označením FIR_107 před tím než začala nabízet pasivní domy, tak nejprve realizovala dva nízkoenergetické domy se vzduchotěsníci

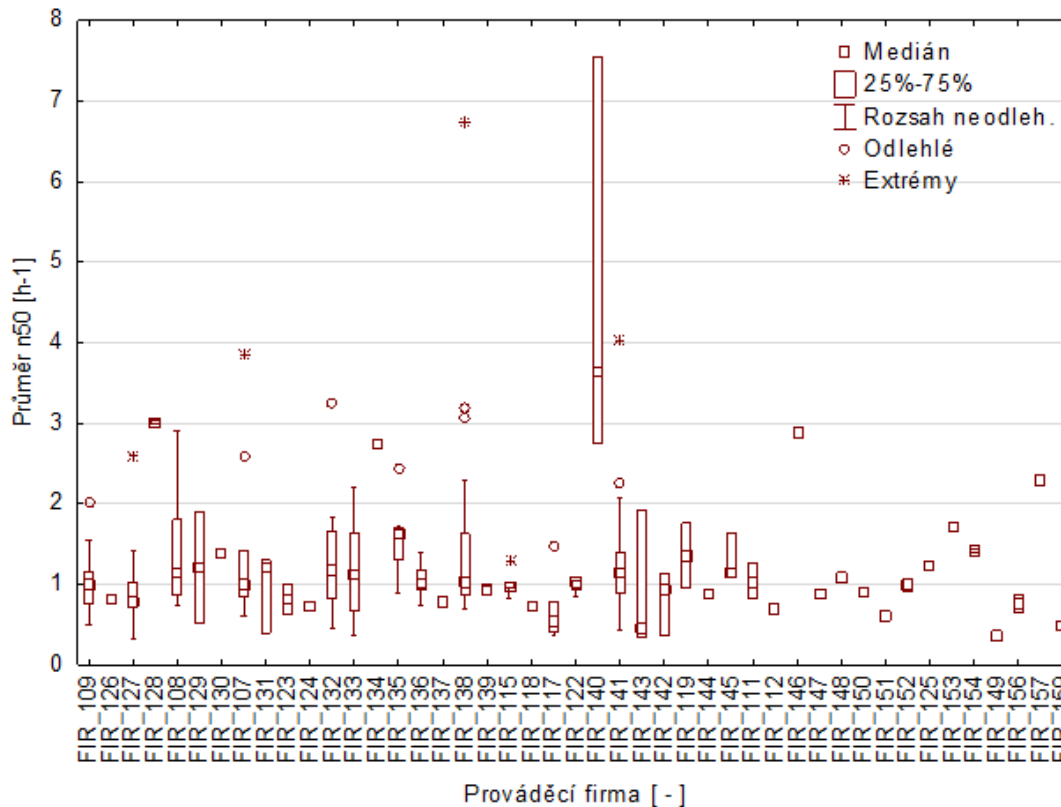
opatřeními již vyhovujícím standardům pasivních domů. Pasivní domy tato firma zařadila do své nabídky až po upřesnění kritických míst v konstrukci, provedených změnách v projektové dokumentaci a získaných zkušeností stavebních dělníků.

Jelikož byly zjištěny velké rozdíly mezi průvzdušností domů, jejichž stavbu realizovaly rozdílné firmy, lze konstatovat, že výběr realizační firmy má významný vliv pro dosažení požadované hodnoty průvzdušnosti. Například pokud při žádosti o dotaci v programu „Zelená úsporám“ není nedodržen limit hodnoty průvzdušnosti, není dotace přidělena.

Dále je z provedených analýz patrné, že firmy s větším počtem realizovaných budov mají větší rozptyl hodnot průvzdušnosti. To může být zapříčiněno faktem, že se obvykle jedná o větší firmy, které disponují více montážními skupinami pro výstavbu domů.

7.2.1.2. Nízkoenergetické domy

Do tohoto porovnání bylo zahrnuto 241 měření, které realizovalo celkem 45 různých stavebních firem. Nebyl zde brán zřetel na způsob větrání, výsledky jsou znázorněny v krabicovém grafu na obrázku č. 112.



Obrázek 112 Vliv realizační firmy na hodnoty n_{50} u nízkoenergetických domů.

Z obrázku 112 je patrné, že výsledné hodnoty mediánu mají rozptyl 0,35 – 3,6 h^{-1} , což jsou vyšší hodnoty než u pasivních domů. Je to zapříčiněno větším počtem realizačních firem, které často nemají zájem o dosažení co nejlepších výsledků, ale z důvodu nižších nákladů se spokojují s výsledky, které jsou v souladu s normovanými požadavky. Dvě z firem s vyššími hodnotami průvzdušnosti již ukončily podnikatelskou činnost, protože následné reklamace byly nad jejich finanční možnosti. Naopak, FIR_138 se ze svého prvotního, nepříliš zdařeného projektu (vzorový dům) poučila a provedla řadu stavebních úprav. Tato opatření následně zavedla do své projektové dokumentace a do montážních návodů. Provedené úpravy vedly v konečném důsledku k vyhovující hodnotě průvzdušnosti u realizovaných domů. Jiné firmy jsou např. specializované na určitý typ domu či na určitou konstrukci. U firmy FIR_141 byla většina měřených domů jednopodlažních a nejhoršího výsledku bylo dosaženo u budovy dvoupodlažní. FIR_140 je specializovaná na mobilní obytné kontejnery a je jedinou firmou v tomto porovnání, která se tímto systémem zabývá. Vzhledem k rozdílným hodnotám průvzdušnosti domů i pro

tuto energetickou kategorii platí, že výběr správné realizační firmy je důležitý pro předcházení pozdějším reklamacím.

7.2.2. Závislost přetlaku a podtlaku.

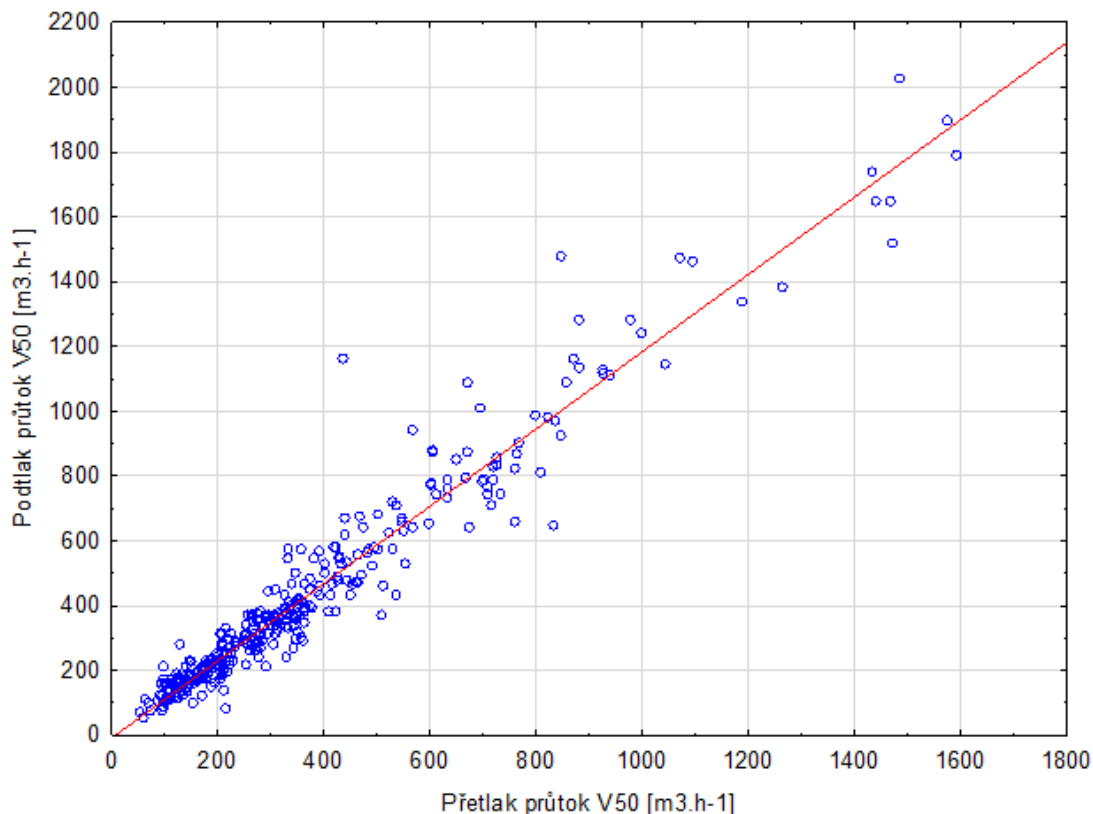
Hodnoty průvzdušnosti byly zjišťovány při kladném i záporném takovém rozdílu. Uváděná výsledná hodnota průvzdušnosti je vždy průměrem těchto dvou měření. Při vyhodnocování dat bylo zjištěno (a je to patrné i z grafů v přílohách č. 3, 4 a 5) že při přetlaku i podtlaku dochází k naměření rozdílných výsledků. V tabulce č. 19 je uvedena četnost a procentuální zastoupení výsledných hodnot průvzdušnosti při přetlaku a podtlaku.

Tabulka 19 Četnost zastoupení protlaku přetlaku u naměřených hodnot.

Hodnota při n_{50}	Četnost měření	Rozdíl v %
Vyšší hodnota při podtlaku	279	80,87
Vyšší hodnota při přetlaku	60	17,39
Rovnost hodnot	6	1,74

Rozdíl mezi hodnotami průvzdušnosti při přetlaku a podtlaku je zapříčiněn druhem netěsnosti, kdy se určitý typ netěsnosti chová rozdílně při přetlaku a podtlaku. Tento fakt lze např. demonstrovat na následujících příkladech a tím objasnit rozdílnost a četnost výsledků uvedených v tabulce 19. Např. všechny měřené objekty byly osazeny otvorovými výplněmi, přičemž většina otvorových výplní se otvírá dovnitř budovy. To má za následek, že při podtlaku jsou křídla odtahována od rámu spolu s celoobvodovým těsněním, které pak nemusí dobře dosedat na rám okna a tím vzniká prostor pro infiltraci vzduchu. Naopak, při přetlaku jsou křídla spolu s těsněním k rámu přitlačována větším tlakem, tudíž těsní lépe přilne k rámu. U budov kde je vzduchotěsnící vrstva tvořena folií, se při podtlaku nedolepená nebo protržená místa rozevřou. Naproti tomu při přetlaku se mohou opřít o následné konstrukce a nedochází k velkému objemovému toku touto netěsností. Pokud je dům vybaven zařízením pro odtah páry nebo zápachu, často mívá pouze mechanickou zpětnou klapku. Tato klapka se při podtlaku zavře, ale u přetlaku je otevřená, jelikož se nemá o co opřít. Tato netěsnost se vyskytuje zejména u metody A, kdy již není povoleno dodatečné dotěsnění.

Na obrázku č. 113 je patrná závislost objemového toku (množství objemového toku procházejícího měřicím zařízením při zvoleném tlakovém rozdílu). Zjištěný koeficient determinace je 94 %, což znamená, že se jedná o velkou těsnost závislosti. To je pozitivním zjištěním, protože pokud je znám pouze jeden z parametrů, lze s velkou přesností dle uvedené regresní rovnice dopočítat chybějící hodnotu.



Obrázek 113 Bodový graf - závislost průtoku vzduchu V_{50} při přetlaku a podtlaku pro všechna měření.

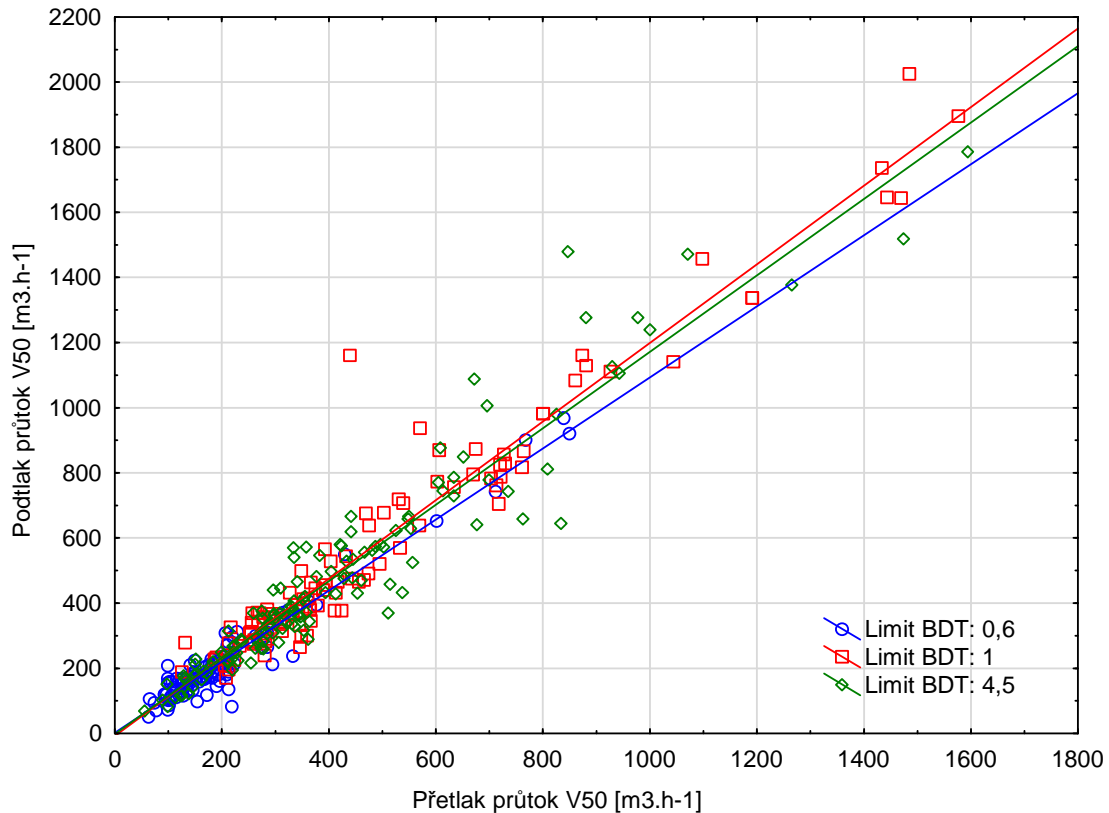
Podtlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]: Přetlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:

$$y = 30,2213 + 0,788 \cdot x; \quad r = 0.9698; \quad p = 0.0000; \quad r^2 = 0.9405$$

Podíl závislosti nevysvětlené regresní rovnicí lze vysvětlit rozdílným chováním některých typů netěsností, které vykazují odlišné hodnoty průniku vzduchu při přetlaku a podtlaku, jak bylo popsáno výše

Na dalším grafu je znázorněna závislost objemových toků procházející skrz měřicí zařízení, při kladných a záporných tlakových rozdílech v závislosti na požadavcích uvedených v tabulce 3 (limitní hodnoty průvzdušnosti pro budovy s odlišným způsobem větrání). Regresní rovnice dokazují, u všech tří

skupin budov dle způsobu větrání, těsnou závislost hodnot objemových toků při přetlaku a podtlaku s vysokým koeficientem determinace. Regresní rovnice jsou uvedeny pod obrázkem.



Obrázek 114 Závislost výsledků objemového toku při podtlaku a přetlaku vzhledem k požadavkům průvzdušnosti pro budovy s odlišným způsobem větrání.

Limit BDT: 0,6 Přetlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:Podtlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:

$$y = 1,8032 + 1,091 \cdot x; \quad r = 0.9682; \quad p = 0.0000; \quad r^2 = 0.9375$$

Limit BDT: 1 Přetlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:Podtlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:

$$y = -8,1662 + 1,2068 \cdot x; \quad r = 0.9697; \quad p = 0.0000; \quad r^2 = 0.9403$$

Limit BDT: 4,5 Přetlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:Podtlak průtok V_{50} [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]:

$$y = -1,953 + 1,1737 \cdot x; \quad r = 0.9554; \quad p = 0.0000; \quad r^2 = 0.9127$$

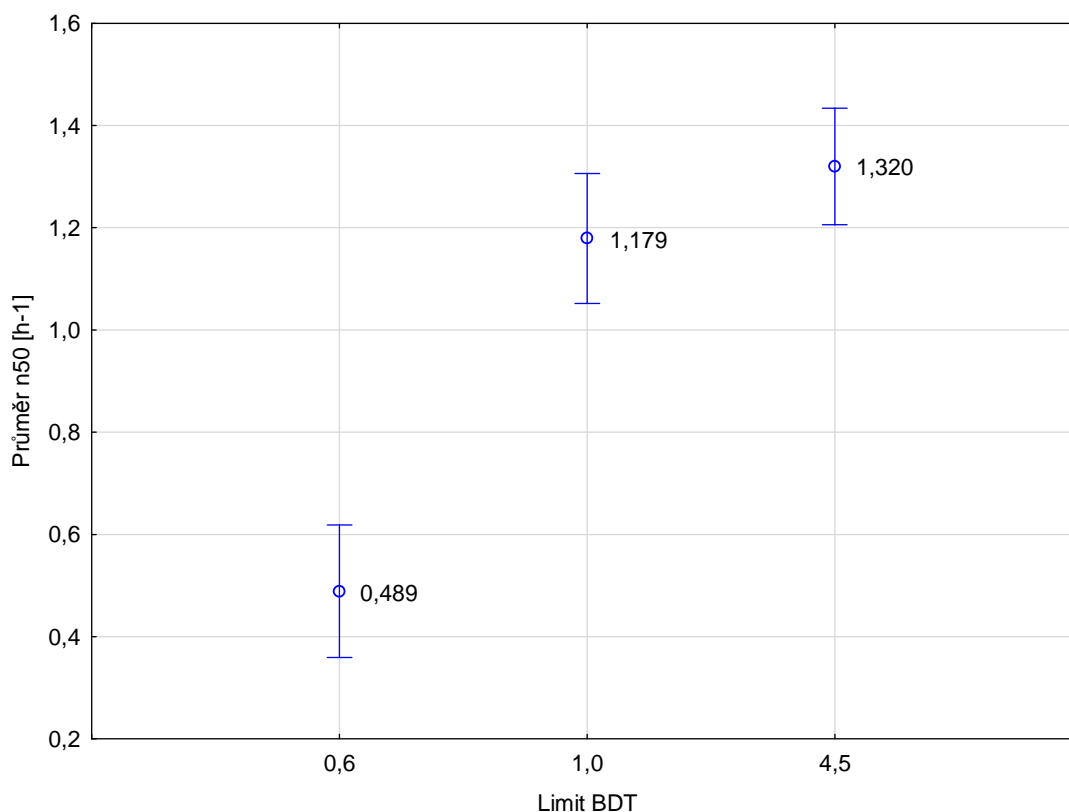
7.2.3. Posouzení vlivu zvoleného způsobu větrání na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

Při návrhu budovy musí být zvolena taková konstrukce, a použity takové materiály, aby hodnoty průvzdušnosti vyhověly limitním hodnotám uváděným v ČSN EN 73 054-2 podle zvoleného způsobu větrání. [33] [95] [96] Jelikož jsou pro rozdílné způsoby větrání požadované odlišné hodnoty průvzdušnosti, byl základní soubor dat rozdělen dle skupin požadavků.

Základní statistické údaje jsou uvedeny v tabulce 20. Byla testována hypotéza, že na hladině významnosti α 0,05 budou statisticky významné rozdíly ve výsledných hodnotách průvzdušnosti v závislosti na typu větrání. V grafu na obrázku č. 115 jsou pak zobrazeny výsledky analýzy rozptylu s průměrnými hodnotami a vertikálními sloupci označujícími 95 % interval spolehlivosti. V grafech jsou jednotlivé kategorie označena zkratkou Limit BDT + požadavek normy (h^{-1}).

Tabulka 20 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle způsobu větrání domů.

Požadavek dle tab. 3	Limit BDT 0,6	Limit BDT 1	Limit BDT 4,5
Počet objektů [ks]	103	107	135
Průměrná hodnota [h^{-1}]	0,489	1,179	1,320
Minimální hodnota [h^{-1}]	0,165	0,405	0,315
Maximální hodnota [h^{-1}]	7,555	3,045	7,555
Směrodatná odchylka [h^{-1}]	0,312	0,581	0,899
Variační koeficient [%]	63,78	49,26	68,10



Obrázek 115 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu pro všechna měřená data rozdělených dle typu větrání.

Tabulka 21 Výsledky Tukeyova testu.

Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,44912, df = 341,00				
Cell No.	Limit BDT	{1}	{2}	{3}
		,48879	1,1791	1,3200
1	0,6		0,000022	0,000022
2	1,0	0,000022		0,272854
3	4,5	0,000022	0,272854	

Vícenásobným srovnávacím testem (viz tabulka 21 Tukeyův HSD test pro nestejný počet vzorků ve výběru) byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi pasivními domy a zbývajících typy větrání. Tyto výsledky potvrdily ve svých závěrech také studie ostatních autorů [33][95][96]. Naproti tomu, při hodnocení rozdílu mezi budovami s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla a budovami s přirozeným větráním nulovou hypotézu na zvolené hladině významnosti zamítáme.

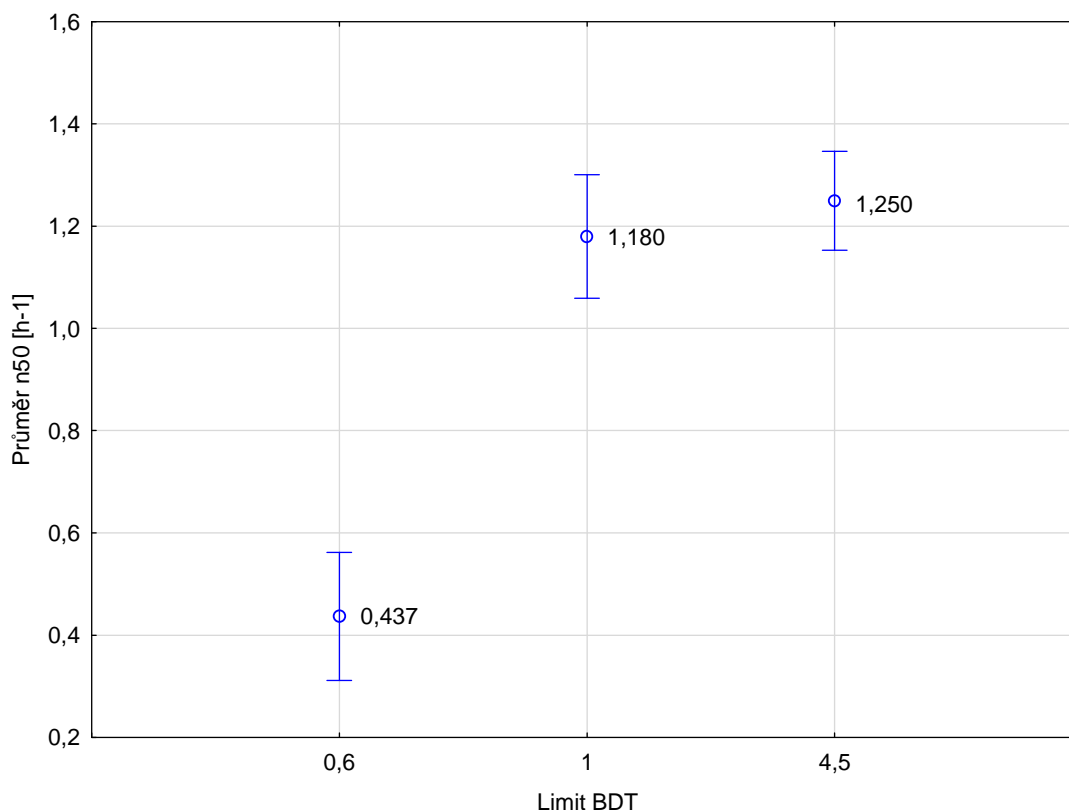
Při posouzení všech hodnot je patrné, že průměrná hodnota průvzdušnosti u budov s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla nesplňuje limitní

hodnotu stanovenou normou. Naproti tomu, průměrná hodnota průvzdušnosti, a většina výsledných hodnot měření, u domů s přirozeným větráním se pohybuje pod hodnotou jaká je normou požadována ($1,5 \text{ h}^{-1}$). Tento fakt může při nedodržení intenzity větrání způsobovat porušování hygienických předpisů (více se této problematice věnuje kapitola 5 a závěry kapitoly 7.2.9).

Následně byla provedena analýza rozptylu pouze **pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí**. Nulová hypotéza byla definována stejně jako v předchozím případě. Výsledky Tukeyova HSD vícenásobného srovnávacího testu jsou uvedeny v tabulce 23. Základní statistické údaje jsou zobrazeny v tabulce č. 22.

Tabulka 22 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle způsobu větrání uvedených v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Požadavek dle tab. 3	Limit BDT 0,6	Limit BDT 1	Limit BDT 4,5
Počet objektů [ks]	77	82	130
Průměrná hodnota [h-1]	0,437	1,180	1,250
Minimální hodnota [h-1]	0,175	0,405	0,315
Maximální hodnota [h-1]	7,555	3,045	4,040
Směrodatná odchylka [h-1]	0,110	0,582	0,686
Variační koeficient [%]	25,18	49,32	54,86



Obrázek 116 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí rozdělených dle typu větrání.

Tabulka 23 Výsledky Tukeyova testu dle požadavků na způsob větrání uvedených v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,31050, df = 285,00 Include condition: v6="Rámová konstrukce"				
Cell No.	Limit BDT	{1}	{2}	{3}
		,43656	1,1799	1,2497
1	0,6		0,000022	0,000022
2	1	0,000022		0,701930
3	4,5	0,000022	0,701930	

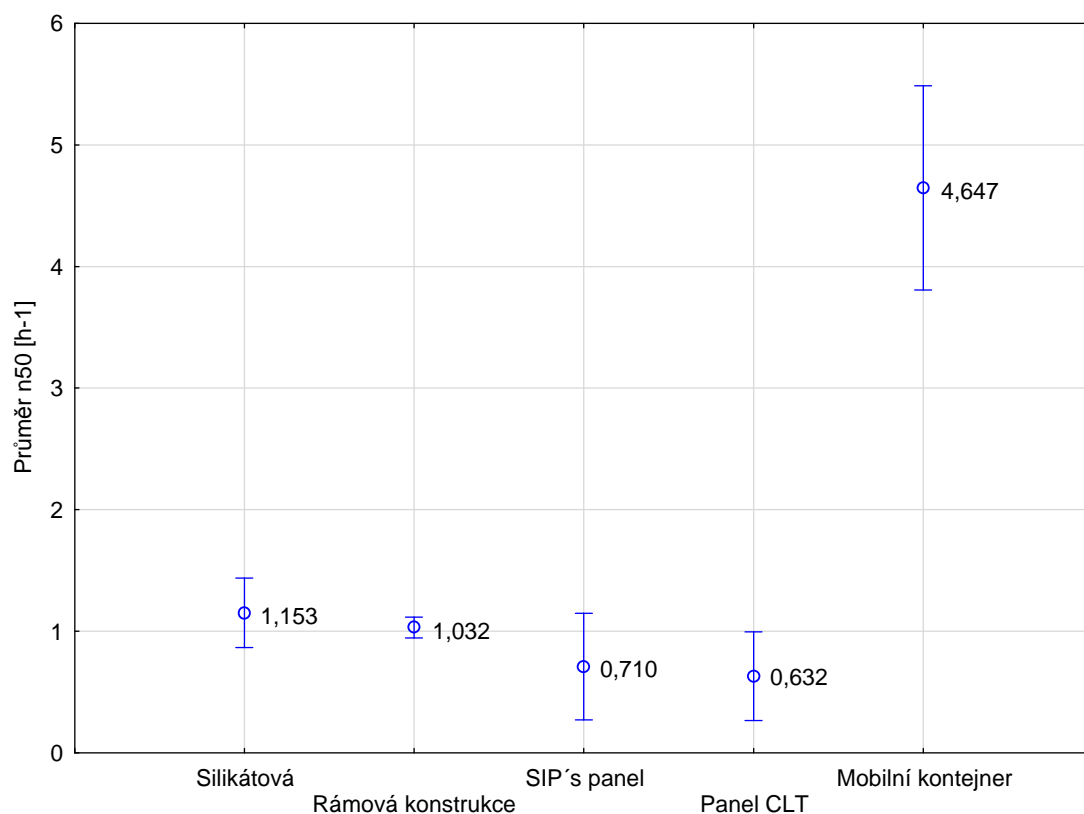
Z výsledků vícenásobného srovnávacího testu je patrné, že byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi hodnotami průvzdušnosti u pasivních budov s rekuperací a nuceným větráním oproti ostatním skupinám budov. Budovy s nosnou rámovou konstrukcí dosahovaly lepších průměrných výsledků vzduchové průvzdušnosti oproti celému měřenému souboru.

7.2.4. Posouzení vlivu svislé obvodové konstrukce na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

V této kapitole byl testován vliv typu svislé obvodové nosné konstrukce na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti. Základní statistické údaje jsou uvedeny v tabulce č. 24.

Tabulka 24 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro všechna měření.

Nosná konstrukce	Silikátová	Rámová konstrukce	SIP's panel	CLT panel	Mobilní kontejner
Počet objektů [ks]	26	289	11	16	3
Průměrná hodnota [h-1]	1,153	1,012	0,710	0,632	4,647
Minimální hodnota [h-1]	0,165	0,175	0,275	0,360	2,745
Maximální hodnota [h-1]	7,555	4,040	1,800	1,235	7,555
Směrodatná odchylka [h-1]	0,746	0,656	0,420	0,285	2,558
Variační koeficient [%]	64,76	64,82	59,13	45,12	55,05



Obrázek 117 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro všechna měření.

Tabulka 25 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce a všechny hodnoty.

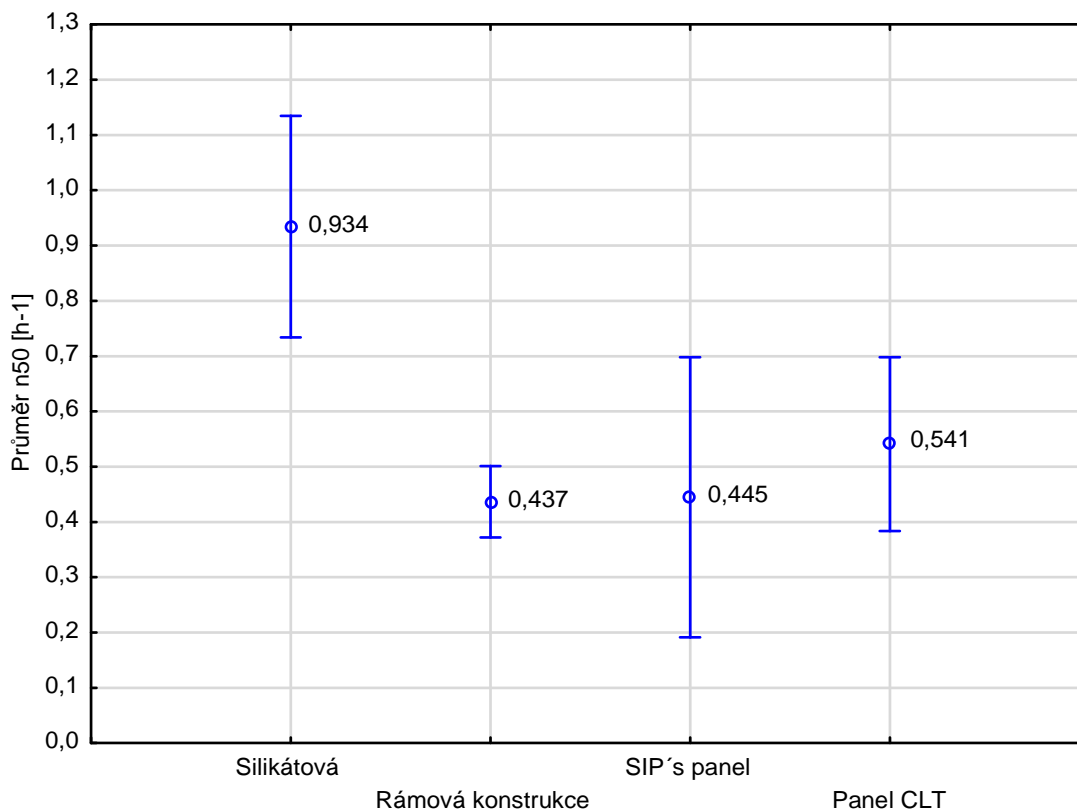
Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,45305, df = 339,00						
Cell No.	Typ stavby [-]	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		1,1525	1,0124	,71000	,63156	4,6467
1	Silikátová		0,94444C	0,535147	0,183747	0,000017
2	Rámová konstrukce	0,94444C		0,83014E	0,497123	0,000017
3	SIP´s panel	0,535147	0,83014E		0,99878C	0,000017
4	Panel CLT	0,183747	0,497123	0,99878C		0,000017
5	Mobilní kontejner	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Rozdíl ve výsledcích hodnot průvzdušnosti mohl být zapříčiněn rozdílnou skladbou materiálů a složitostí detailů jednotlivých stavebních systémů. Vícenásobným srovnávacím testem viz tabulka 25 (Tukeyův HSD test pro nesejný počet vzorků ve výběru) byl prokázán statisticky významný rozdíl pouze u domů na bázi mobilních kontejnerů. To může být zapříčiněno malou informovaností projektantů a montážních pracovníků s problematikou průvzdušnosti, případně také nevhodným poměrem mezi objemem budovy a obestavěným prostorem. U ostatních konstrukcí není možné konstatovat statisticky významný rozdíl na zvolené hladině významnosti. Z tohoto důvodu bylo provedeno šetření, zda se tento fakt potvrdí i při rozdělení budov dle požadavků větrání uvedených v tabulce 3.

Základní statistické údaje pro pasivní domy jsou uvedeny v tabulce 26.

Tabulka 26 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svíslé obvodové konstrukce pro pasivní domy.

Nosná konstrukce	Silikátová	Rámová konstrukce	SIP´s panel	CLT panel
Počet objektů [ks]	8	77	5	13
Průměrná hodnota [h-1]	0,934	0,437	0,445	0,541
Minimální hodnota [h-1]	0,165	0,175	0,275	0,360
Maximální hodnota [h-1]	7,555	0,655	0,550	1,130
Směrodatná odchylka [h-1]	0,965	0,110	0,110	0,220
Variační koeficient [%]	103,32	25,18	24,62	40,63



Obrázek 118 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro pasivní budovy.

Tabulka 27 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce a pasivní domy.

Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,08151, df = 99,000 Include condition: v4="0,6"					
Cell No.	Typ stavby [-]	{1}	{2}	{3}	{4}
		,93437	,43656	,44500	,54077
1	Silikátová		0,004100	0,039096	0,034561
2	Rámová konstrukce	0,004100		0,999968	0,788575
3	SIP's panel	0,039096	0,999968		0,951565
4	Panel CLT	0,034561	0,788575	0,951565	

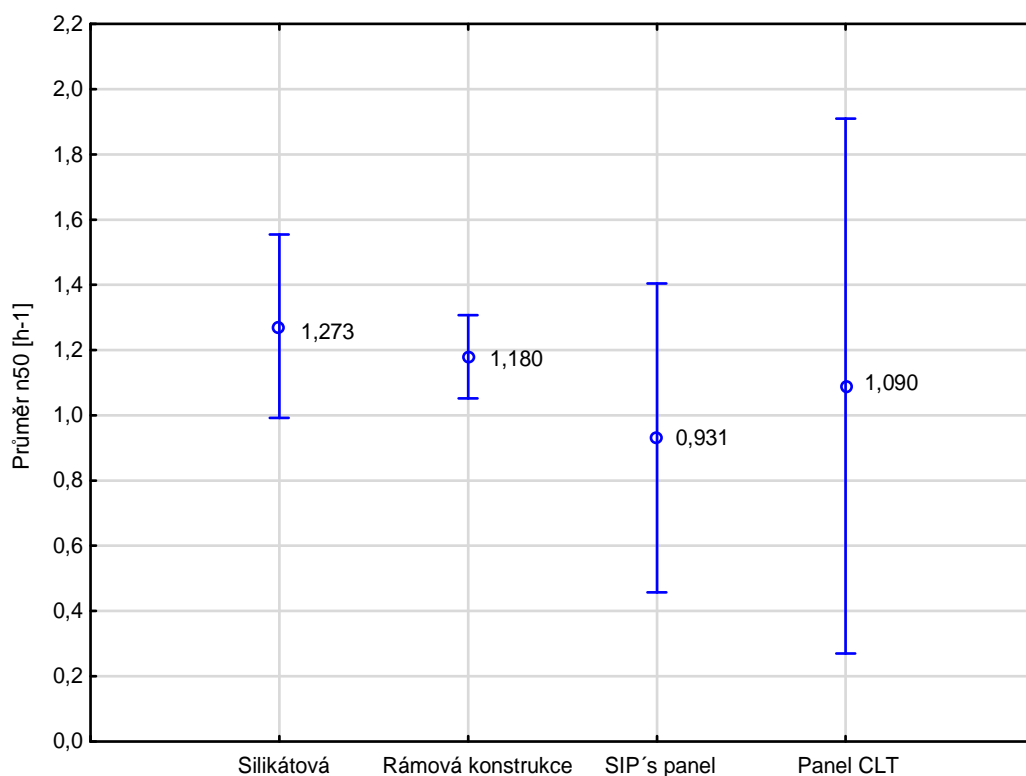
V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem viz tabulka 27 (Tukeyův HSD test pro nesterjný počet vzorků ve výběru), bylo prokázáno, že na hladině významnosti α 0,05 je v kategorii pasivních domů významný statistický rozdíl mezi silikátovou konstrukcí a ostatními nosnými konstrukcemi. Tento fakt však může být zapříčiněn dvěma zásadně nevyhovujícími budovami

a menším počtem měření silikátové nosné konstrukce, což mohlo významným způsobem ovlivnit průměrnou hodnotu průvzdušnosti u tohoto typu konstrukce.

Základní statistické údaje pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla jsou uvedeny v tabulce 28.

Tabulka 28 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla.

Nosná konstrukce	Silikátová	Rámová konstrukce	SIP's panel	CLT panel
Počet objektů [ks]	17	82	6	2
Průměrná hodnota [h ⁻¹]	1,273	1,180	0,931	1,090
Minimální hodnota [h ⁻¹]	0,650	0,405	0,480	0,945
Maximální hodnota [h ⁻¹]	7,555	3,045	1,800	1,235
Směrodatná odchylka [h ⁻¹]	0,646	0,582	0,463	0,205
Variační koeficient [%]	50,75	49,32	49,71	18,81



Obrázek 119 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla.

Tabulka 29 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla.

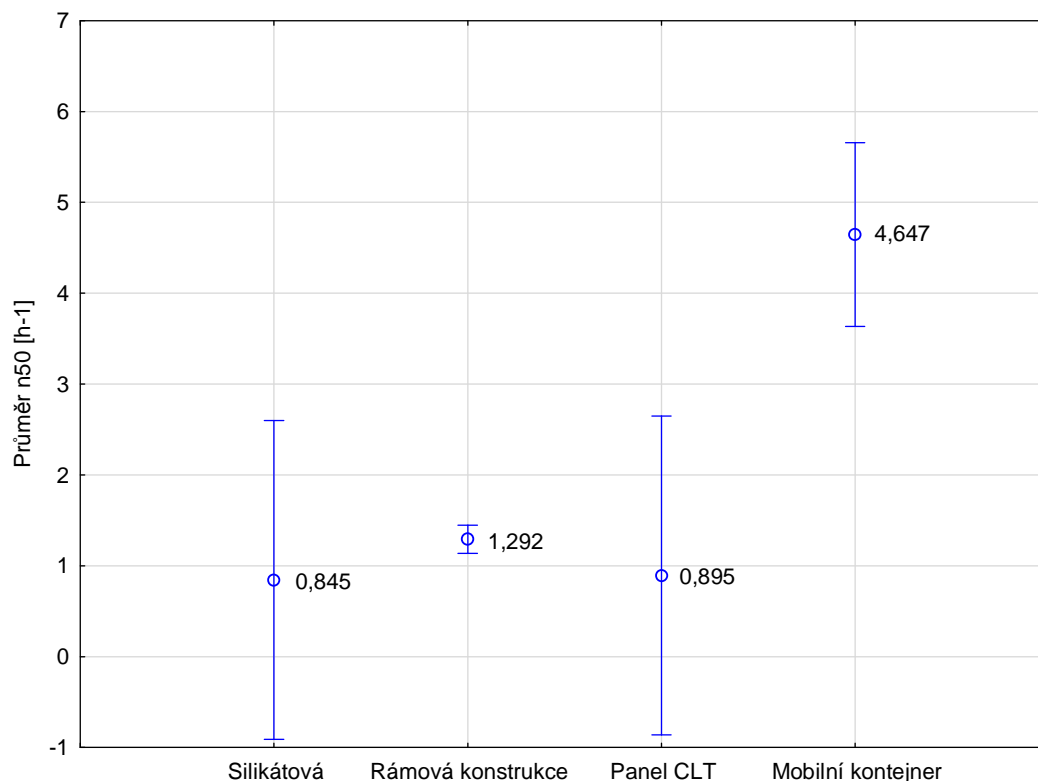
Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,34192, df = 103,00 Include condition: v4="1"					
Cell No.	Typ stavby [-]	{1}	{2}	{3}	{4}
		1,2732	1,1799	,93083	1,0900
1	silikátová		0,966480	0,741575	0,989365
2	rámová konstrukce	0,966480		0,881742	0,998765
3	SIP´s panel	0,741575	0,881742		0,992978
4	Panel CLT	0,989365	0,998765	0,992978	

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem viz tabulka 29 (Tukeyův HSD test pro nestejný počet vzorků ve výběru), nebylo prokázáno, že na hladině významnosti α 0,05 je statisticky významný rozdíl mezi konstrukcemi.

Základní statistické údaje pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním jsou uvedeny v tabulce 30.

Tabulka 30 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním.

nosná konstrukce	Silikátová	Rámová konstrukce	SIP´s panel	Mobilní kontejner
Počet objektů [ks]	1	130	1	3
Průměrná hodnota [h-1]	0,845	1,250	0,895	4,647
Minimální hodnota [h-1]	0,845	0,315	0,895	2,745
Maximální hodnota [h-1]	7,555	4,040	0,895	7,555
Směrodatná odchylka [h-1]	0,000	0,686	0,000	2,558
Variační koeficient [%]	0,00	54,86	0,00	55,05



Obrázek 120 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním.

Tabulka 31 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním.

Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,78658, df = 131,00 Include condition: v4="4,5"					
Cell No.	Typ stavby [-]	{1}	{2}	{3}	{4}
		,84500	1,2918	,89500	4,6467
1	silikátová		0,984518	0,999977	0,013025
2	rámová konstrukce	0,984518		0,989047	0,000028
3	Panel CLT	0,999977	0,989047		0,014763
4	mobilní kontejner	0,013025	0,000028	0,014763	

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem viz tabulka 31 (Tukeyův HSD test pro nesterýjný počet vzorků ve výběru), bylo prokázáno, že na hladině významnosti α 0,05 je významný statistický rozdíl mezi mobilními kontejnery a ostatními nosnými konstrukcemi v kategorii budov s přirozeným nebo kombinovaným větráním.

7.2.5. Posouzení vlivu přítomnosti komínového tělesa na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

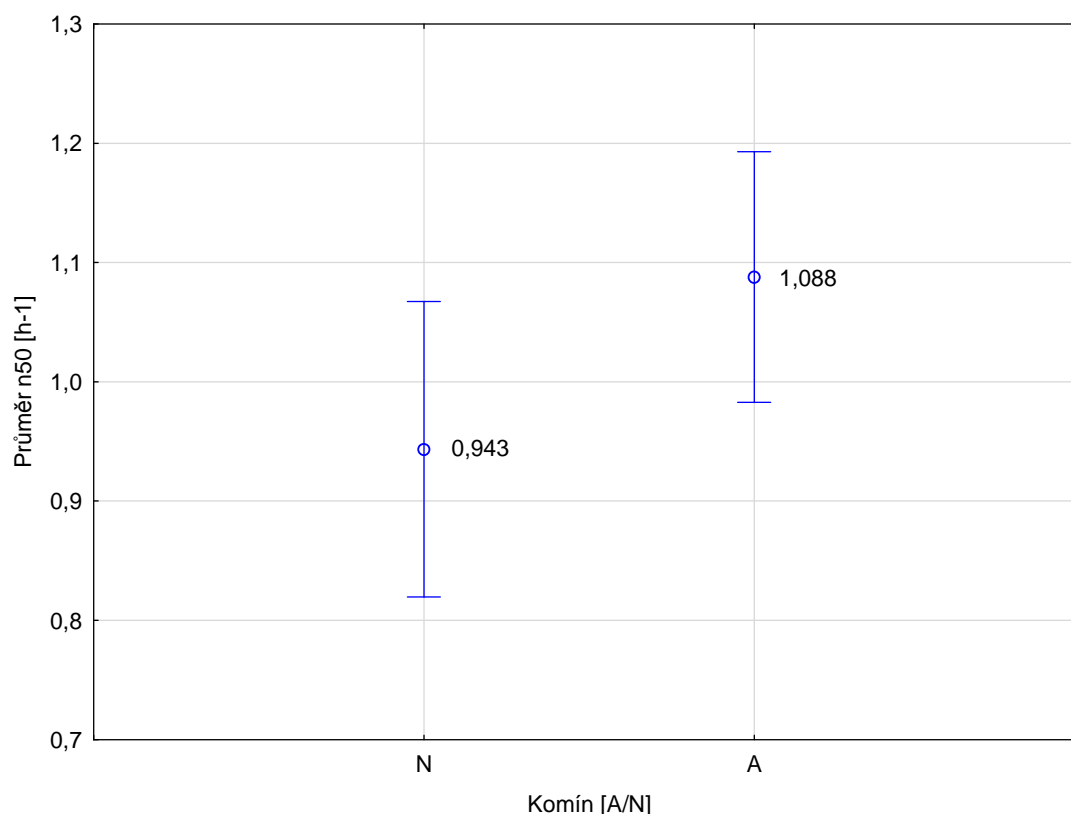
Krbová kamna a vložky v poslední době získávají na oblibě zejména jako designový doplněk interiéru. Při jejich instalaci je však potřeba zohlednit přívod dostatečného množství vzduchu. Otevřený krby spotřebuje až 300 m³ vzduchu za hodinu, moderní spotřebiče na pevná paliva spotřebují cca 30 m³. Při zapáleném ohni může být přívod vzduchu zajišťován netěsnostmi v budově. Jiná situace však nastává v případě, že jsou v domech současně používány mechanické odvody vzduchu (digestoře pro odtah páry, mechanické větráky v kuchyních a koupelnách a jiné). Tato dodatečná zařízení mohou při jejich současném provozu spotřebovat větší množství vzduchu než komín. Ten se poté stává přívodem vzduchu a do obytných místností se dostávají spaliny a nebezpečné plyny. [78] Proto je dobré, aby komínové těleso bylo vybaveno sekundárním přísáváním vzduchu. Výše popsaný efekt je nejnebezpečnější v dobře utěsněných budovách s přirozeným větráním. U budov s nucením větrání je možné na jednotce nuceného větrání nastavit větší přívod vzduchu a tento efekt do jisté míry eliminovat. V mnoha objektech jsou krbová kamna nadbytečným zařízením a mohou způsobovat přehřátí místnosti. Větrací jednotky jsou obvykle vybaveny automatickým senzorem teploty a při zvyšující se teplotě musí pro udržení přijatelného klima upravovat množství přívodního vzduchu.

Při stavbě a montáži komínového tělesa se vyskytuje celá řada problematických míst, protože těleso komínu prochází několika různými konstrukcemi. V těchto místech může dojít k narušení celistvosti hlavní vzduchotěsnící vrstvy vlivem nekvalitně provedených detailů. Komínové těleso je samo o sobě v mnoha případech problematickou konstrukcí (viz kapitola 7.1.8.), obzvláště pokud je vybaveno sekundárním přívodem vzduchu, který může vytvářet další problematická místa.

Základní statistické ukazatele souboru jsou uvedeny v tabulce 32. Z výše uvedených důvodů je v této kapitole testována hypotéza, zda přítomnost komínu negativně ovlivňuje výslednou hodnotu průvzdušnosti.

Tabulka 32 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na přítomnosti komínu pro všechny měření.

Požadavek na přítomnost komínového tělesa	Komín ne	Komín ano
Počet objektů [ks]	145	200
Průměrná hodnota [h-1]	0,943	1,088
Minimální hodnota [h-1]	0,190	0,165
Maximální hodnota [h-1]	7,555	4,040
Směrodatná odchylka [h-1]	0,838	0,691
Variační koeficient [%]	88,79	63,49



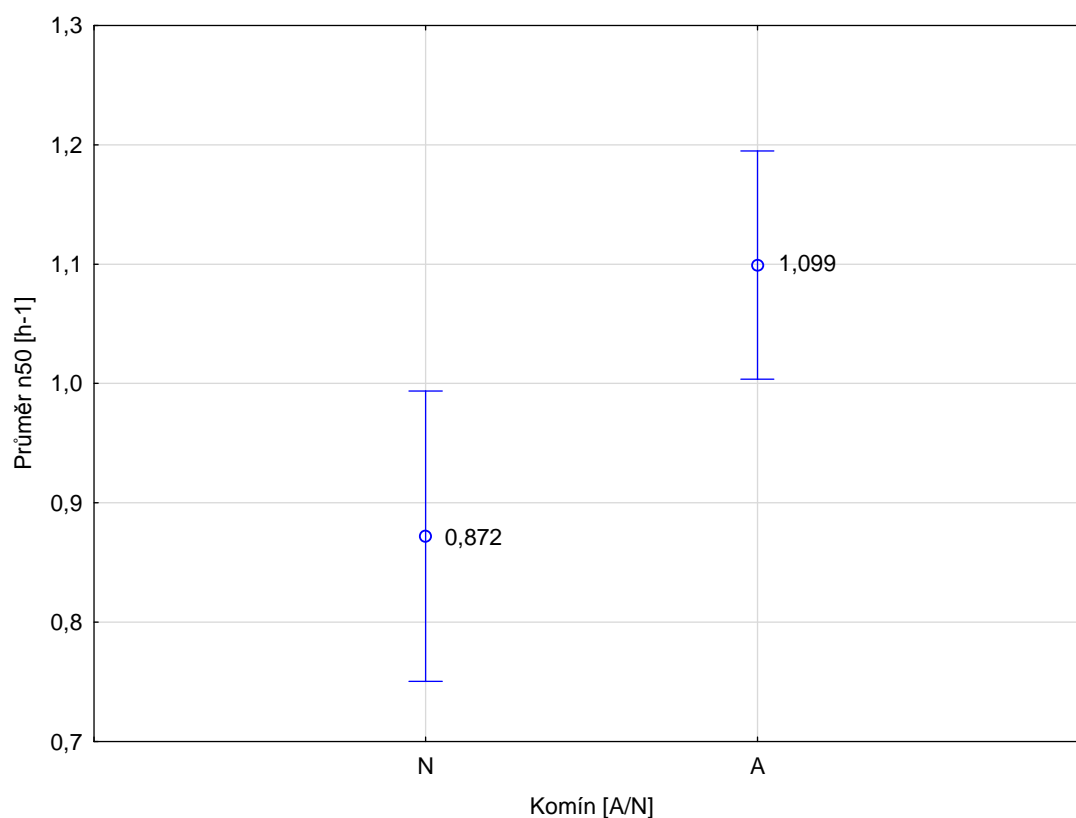
Obrázek 121 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na přítomnosti komínového pro všechna měření.

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem nebyl, zejména z důvodu větší variability, prokázán statisticky významný rozdíl (Tukeyuv HSD test; $p=0,081319$) mezi budovami s komínem a bez komínu. Ze zjištěných výsledků je ale patrné, že hodnoty průvzdušnosti v závislosti na přítomnosti komínu se od sebe liší. Domy vybavené komínem mají průměrnou hodnotu průvzdušnosti o 15,38 % vyšší.

Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení pouze pro skupinu budov s nosnou svíslou rámovou konstrukcí. Základní statistické hodnoty jsou uvedeny v tabulce 33.

Tabulka 33 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na přítomnosti komínu pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Požadavek na přítomnost komínového tělesa	Komín ne	Komín ano
Počet objektů [ks]	110	178
Průměrná hodnota [h-1]	0,872	1,099
Minimální hodnota [h-1]	0,190	0,175
Maximální hodnota [h-1]	7,555	4,040
Směrodatná odchylka [h-1]	0,573	0,690
Variační koeficient [%]	65,71	62,78



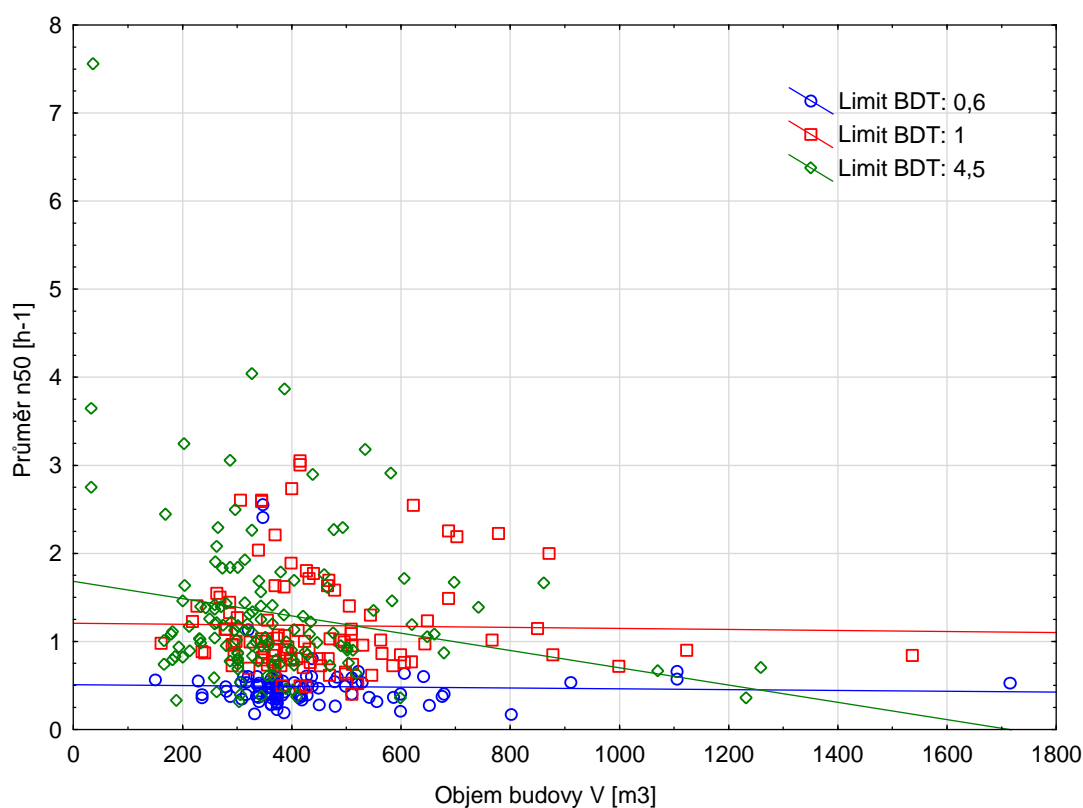
Obrázek 122 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na přítomnosti komínového pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem, byl na zvolené hladině významnosti u rámové nosné konstrukce, prokázán statisticky významný rozdíl (Tukeyuv HSD test; $p=0,009361$) mezi budovami s komínovým tělesem a budovy bez komínového tělesa. Z uvedených

informací je zřejmé, že vliv komínu je výrazný nejen v oblasti vzduchotěsnosti, ale i z výše uvedených hygienických důvodů. Konstrukce a umístění komínového tělesa by tedy měly být diskutovány nejen z pohledu designu, ale i z hlediska vlivu na lidské zdraví.

7.2.6. Posouzení vlivu objemu budovy na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

Jedním z obecně rozšířených názorů je, že výsledná hodnota průvzdušnosti je přímo závislá na vnitřním objemu budovy a že se stoupajícím objemem výsledné hodnoty průvzdušnosti klesají. Tento názor je založen na předpokladu, že budova o větším objemu, se stejným počtem netěsností jako budova s menším objemem, vykazuje lepší poměr úniku vzduchu k celkovému objemu vzduchu. Pro vyhodnocení tohoto názoru byla provedena regresní analýza. Výsledné hodnoty průvzdušnosti budov byly zaneseny do bodového grafu v závislosti na objemu budovy a způsobu větrání. Regresní rovnice jsou uvedeny pod obrázkem 123.



Obrázek 123 Závislost vzduchové průvzdušnosti na objemu budov dle způsobu větrání a požadavků popsaných v tabulce 3 pro všechna měření.

Limit BDT: 0,6 Objem budovy V [m³]:Průměr n₅₀ [h⁻¹]:

$$y = 0,5088 - 4,5799E-5*x; r = -0.0288; p = 0,7724; r^2 = 0.0008$$

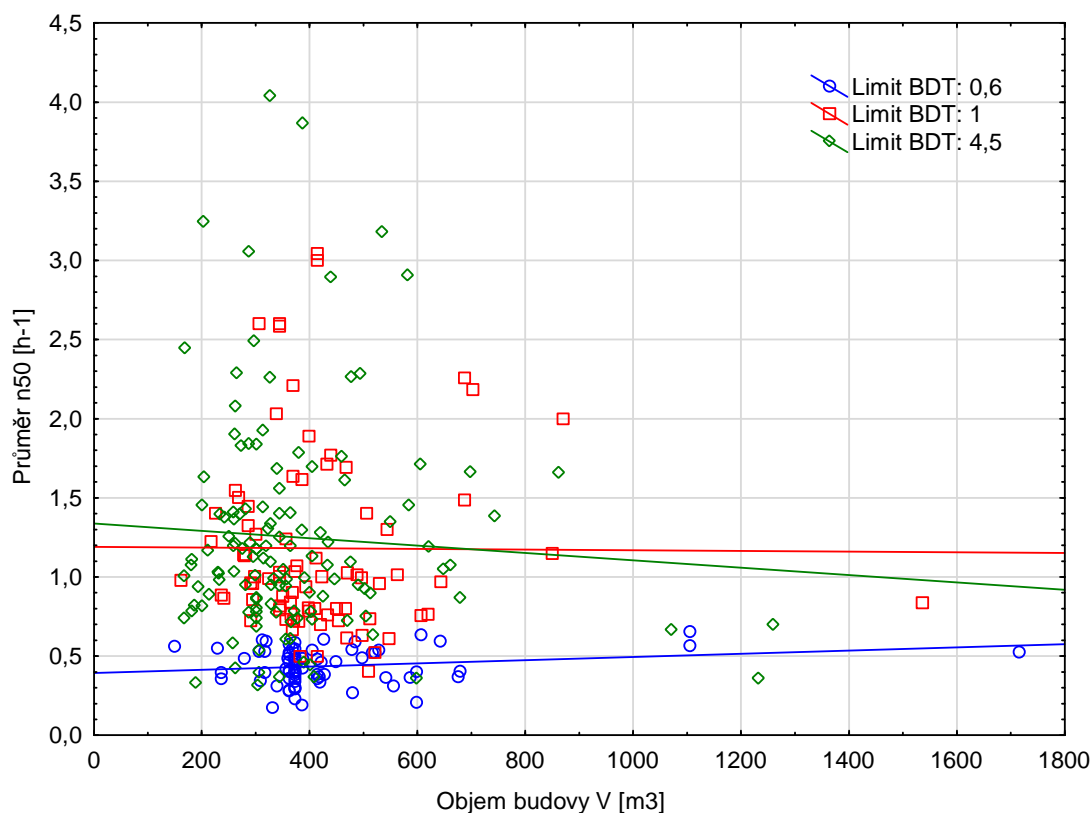
Limit BDT: 1 Objem budovy V [m³]:Průměr n₅₀ [h⁻¹]:

$$y = 1,2059 - 5,8705E-5*x; r = -0.0197; p = 0,8403; r^2 = 0.0004$$

Limit BDT: 4,5 Objem budovy V [m³]:Průměr n₅₀ [h⁻¹]:

$$y = 1,6498 - 0,0008*x; r = -0.1426; p = 0,0989; r^2 = 0.0203$$

Regresní rovnice dokládají velmi nízkou závislost mezi hodnotami průvzdušnosti a objemu budovy s velice nízkými koeficienty determinace. Obdobných výsledků lineární regrese bylo dosaženo i pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.



Obrázek 124 Závislost vzduchové průvzdušnosti na objemu budov dle způsobu větrání a požadavků popsanych v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Limit BDT: 0,6 Objem budovy V [m³]:Průměr n₅₀ [h⁻¹]:

$$y = 0,3923 + 0,0001 \cdot x; \quad r = 0.1927; \quad p = 0,0931; \quad r^2 = 0.0371$$

Limit BDT: 1 Objem budovy V [m³]:Průměr n₅₀ [h⁻¹]:

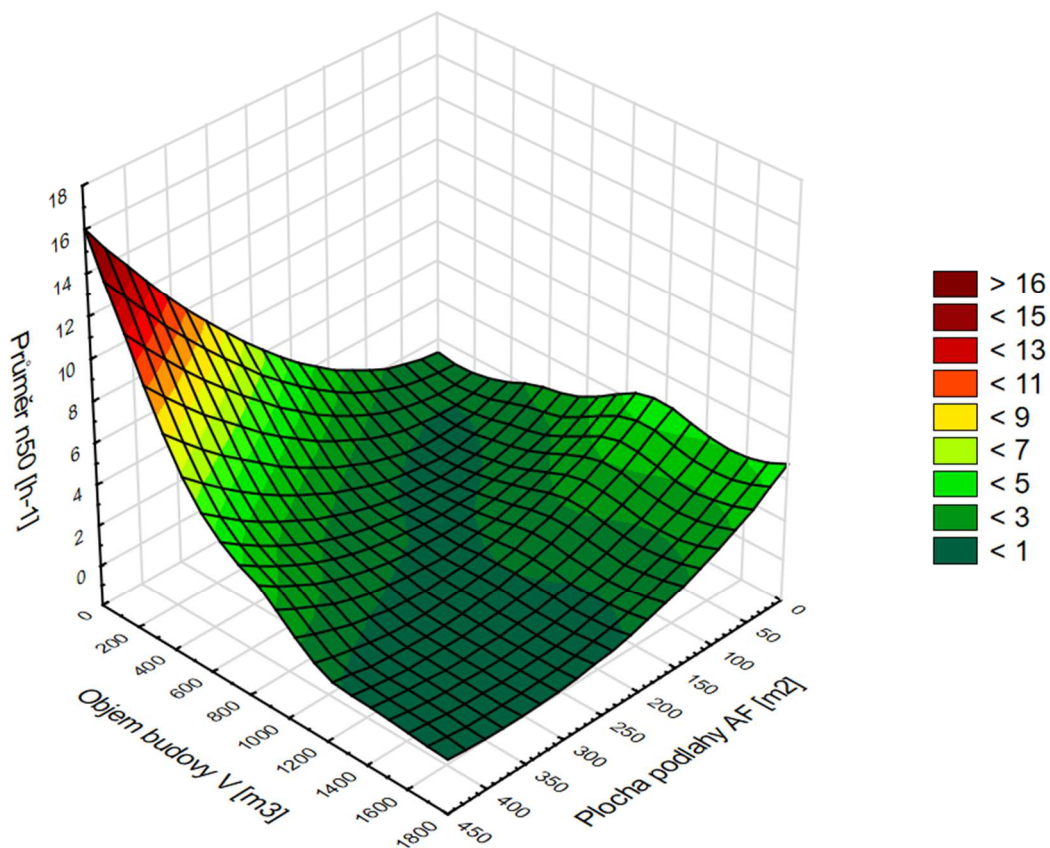
$$y = 1,1888 - 2,107E-5 \cdot x; \quad r = -0.0066; \quad p = 0,9533; \quad r^2 = 0.0000$$

Limit BDT: 4,5 Objem budovy V [m³]:Průměr n₅₀ [h⁻¹]:

$$y = 1,3368 - 0,0002 \cdot x; \quad r = -0.0610; \quad p = 0,4926; \quad r^2 = 0.0037$$

Z výsledků regresní analýzy je pro oba soubory domů zřejmé, že z důvodu neprokázané závislosti obou sledovaných veličin lze zamítnout hypotézu o vlivu objemu na výsledné hodnoty průvzdušnosti. Nejvyšší podíl vysvětlené závislosti dosahoval pouze 2 % u budov s přirozeným nebo kombinovaným větráním.

7.2.7. Vzájemný vztah mezi objemem vnitřního vytápěného prostoru, podlahovou plochou a průvzdušností



Obrázek 125 Vliv vnitřního vytápěného objemu budovy a podlahové plochy na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.

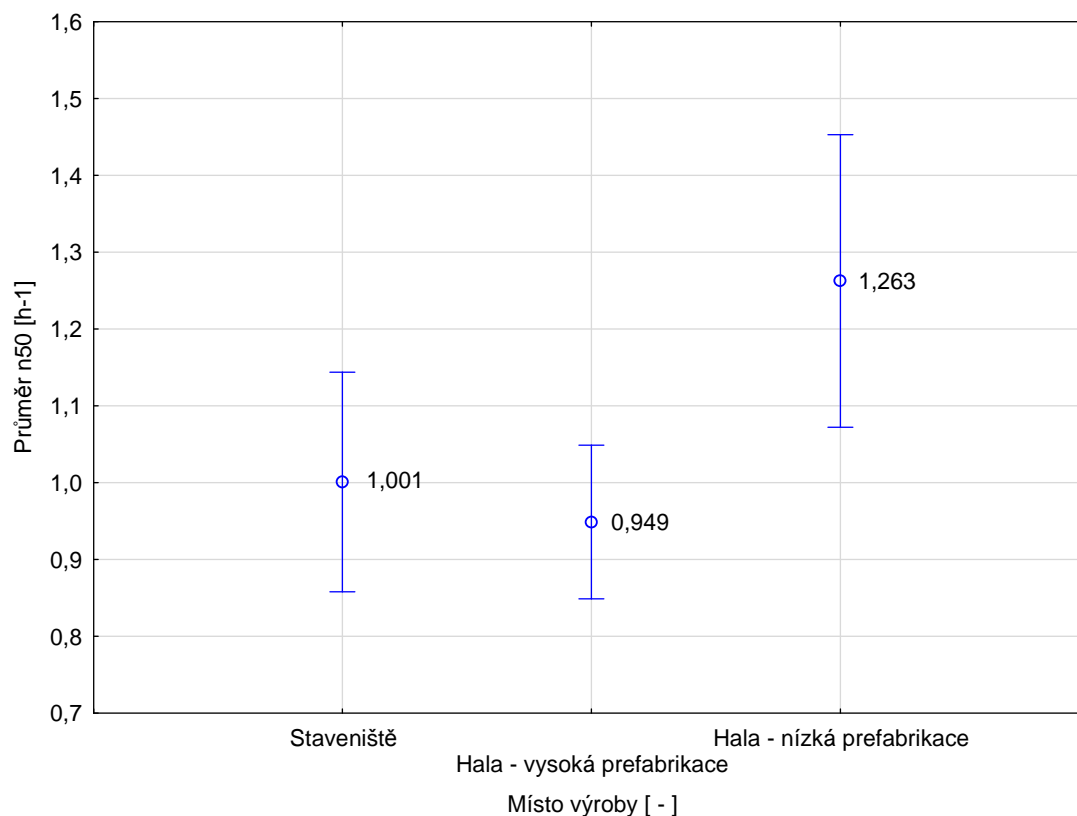
3D model zobrazuje vztah mezi průvzdušností, podlahovou plochou a obestavěným prostorem. Při velkém vnitřním objemu a malé podlahové ploše vychází nižší hodnoty vzduchové průvzdušnosti. Naproti tomu se zvyšující se velikostí podlahové plochy a snižujícím se obestavěným prostorem výsledná hodnota vzduchové průvzdušnosti stoupá.

7.2.8. Posouzení vlivu místa a způsobu výstavby na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

Tabulka 34 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na místě a způsobu výstavby pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Způsob a místo výstavby	Silikátová	Rámová konstrukce	SIP's panel
Počet objektů [ks]	17	82	6
Průměrná hodnota [h-1]	1,273	1,180	0,931
Minimální hodnota [h-1]	0,650	0,405	0,480
Maximální hodnota [h-1]	7,555	3,045	1,800
Směrodatná odchylka [h-1]	0,646	0,582	0,463
Variační koeficient [%]	50,75	49,32	49,71

V tabulce 34 jsou uvedeny základní statistické ukazatele o hodnoceném souboru. Byla testována hypotéza, zda má místo a způsob výroby vliv na hodnotu výsledné průvzdušnosti domů. Tato hypotéza je založena na předpokladu vycházejícím z provedené literární rešerše, že mezi montáží na staveništi a prefabrikovanou výstavbou jsou významné rozdíly. Dále pak na předpokladu, že hodnoty průvzdušnosti u staveništní montáže vycházejí hůře s ohledem na složitost provádění některých detailů, které se musí řešit přímo na stavbě. Např. na stěnové konstrukce se vzduchotěsnicí vrstva připevňuje ve vertikálním stavu, což je obtížnější na manipulaci a zručnost, než je tomu při výrobě v hale, kdy panel leží v horizontální poloze a je k němu snadný přístup ze všech stran. Tato hypotéza bude prověřena pouze na souboru budov s nosnou rámovou konstrukcí a to z důvodu, že ostatní nosné konstrukce nejsou zastoupeny ve všech kategoriích.



Obrázek 126 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na místě a typu výstavby 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem, viz tabulka 35 (Tukeyův HSD test pro nestejný počet vzorků ve výběru), nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Hodnota zjištěné pravděpodobnosti ($p=0,057028$) se však blíží kritické hodnotě, proto byl soubor otestován ještě Fischerovým LSD testem.

Tabulka 35 Výsledky Tukeyova testu pro vliv místa a způsob výstavby pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Unequal N HSD; variable Průměr n50 [h-1] Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,42142, df = 285,00 Include condition: v6="Rámová konstrukce"				
Cell No.	Místo výroby [-]	{1}	{2}	{3}
1	Staveniště	1,0009	,94899	1,2626
2	Hala - vysoká prefabrikace	0,868655		0,057028
3	Hala - nízká prefabrikace	0,135235	0,057028	

Tabulka 36 Výsledky Fischerova LSD testu vlivu místa a způsobu výstavby na výhlednou hodnotu průvzdušnosti pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Cell No.	Místo výroby [-]	LSD test; variable Průměr n50 [h-1] Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,42142, df = 285,00 Include condition: v6="Rámová konstrukce"		
		{1}	{2}	{3}
		1,0009	,94899	1,2626
1	stavenišť		0,558666	0,031353
2	hala - vysoká prefabrikace	0,558666		0,004434
3	hala - nízká prefabrikace	0,031353	0,004434	

Použitím přísnějšího vícenásobného srovnávacího testu viz tabulka 36 (Fischer LSD) již byl prokázán statisticky významný rozdíl na zvolené hladině významnosti α 0,05 mezi budovami postavenými nízkým stupněm prefabrikace a staveništní montáží a dále mezi vysokým stupněm prefabrikace a nízkým stupněm prefabrikace. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi staveništní montáží a montáží ve výrobní hale s vysokým stupněm prefabrikace. Tyto výsledky jsou v rozporu se závěry, ke kterým dospěli ostatní autoři zabývající se touto problematikou Novák, J. [33], Pan, W. [94] a Kalamess, T. [95].

Nejlepší hodnoty z hlediska vzduchové průvzdušnosti u výrobního způsobu v hale s vysokým stupněm prefabrikace lze vysvětlit tak, že při vysoké prefabrikaci (na rozdíl od nízkého stupně prefabrikace) je řada komplikovaných detailů řešena přímo na výrobní lince (otvorové výplně, rozvody instalací a jiné), a zhotovením těchto detailů se zabývají vyškolení montážníci, kteří je řeší opakovaně a to mnohdy i několikrát za směnu. Při tomto výrobním způsobu se také minimalizuje možnost poškození vzduchotěsní vrstvy. Rozdíl mezi staveništní montáží a montáží v hale s nízkou prefabrikací může být zapříčiněn více faktory. Jednou z možností je, že ačkoliv v obou případech je řada komplikovaných detailů řešena na stavbě, při staveništní montáží je evidentní zodpovědnost za celé dílo. Při nízkém stupni prefabrikace se však na výstavbě podílí jedna montážní skupina při výrobě panelů a druhá montážní skupina na staveništi. Tudíž v mnoha případech není jasně garantována zodpovědnost za provedené detaily. Další možností může být, že staveništní montáž v mnoha případech provádí osobně investor nebo majitel stavby, který dbá s větším důrazem na kvalitu prováděných prací v průběhu celé výstavby.

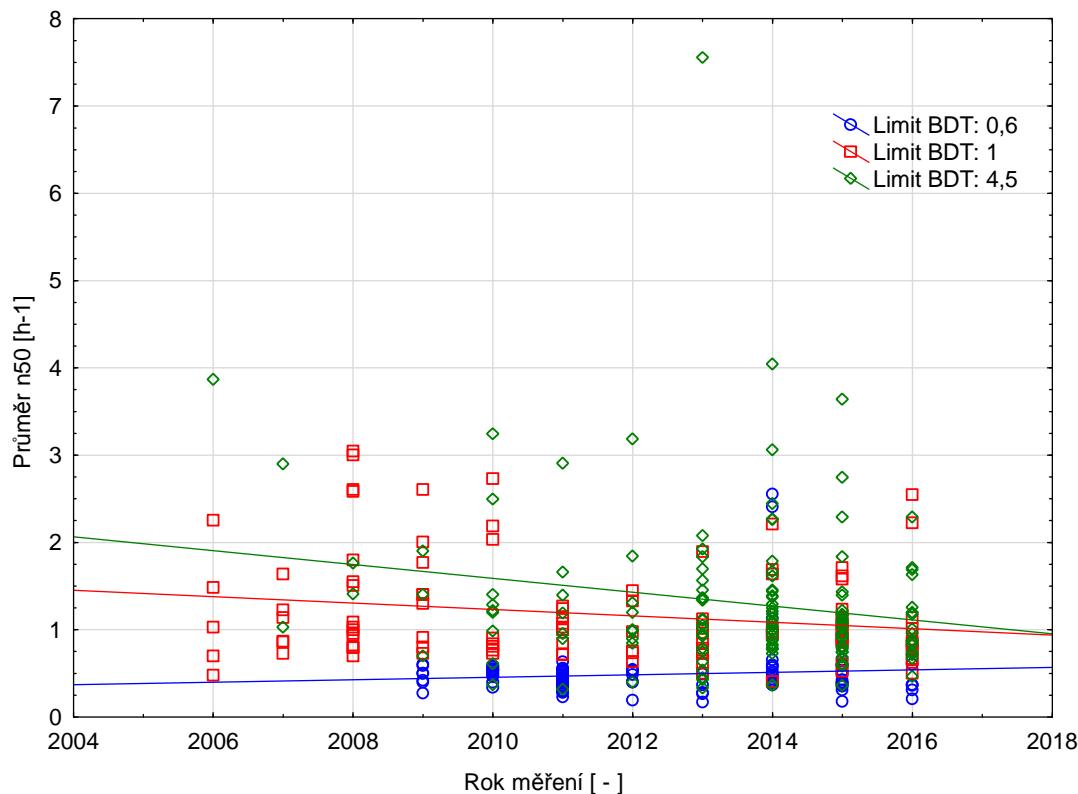
7.2.9. Posouzení vlivu roku výstavby na hodnoty výsledné vzduchové průvzdušnosti

Pro stanovení vývoje kvality staveb v České republice z hlediska průvzdušnosti bylo prováděno měření ve sledovaném období od r. 2006 do poloviny roku 2016. Základní statistické ukazatele souboru jsou uvedeny v tabulce 37.

Tabulka 37 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na roku výstavby pro všechna měření.

rok výstavby	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Počet objektů [ks]	6	8	18	19	28	50	22	39	58	62	35
Průměrná hodnota [h-1]	1,634	1,297	1,519	1,063	1,065	0,667	0,935	1,121	1,158	0,940	0,968
Minimální hodnota [h-1]	0,480	0,725	0,700	0,270	0,335	0,230	0,190	0,165	0,360	0,175	0,205
Maximální hodnota [h-1]	7,555	2,895	3,045	2,600	3,245	2,905	3,180	7,555	4,040	3,640	2,545
Směrodatná odchylka [h-1]	1,262	0,704	0,788	0,655	0,791	0,469	0,646	1,170	0,743	0,591	0,565
Variační koeficient [%]	77,26	54,32	51,91	61,66	74,31	70,28	69,04	104,38	64,15	62,89	58,36

Ze základních statistických ukazatelů je patrné, že s pokročilejším rokem výstavby klesá průměrná průvzdušnost, což může být označeno jako pozitivní trend. Zlepšování výsledných hodnot vzduchové průvzdušnosti potvrzují i studie dalších autorů [82] [91] [94]. Pro jednotlivé skupiny domů rozdělených dle způsobu větrání byla provedena regresní analýza.



Obrázek 127 Závislost průvzdušnosti na roku výstavby budov dle způsobu větrání uvedených v tabulce 3 pro všechna měření.

Limit BDT: 0,6 Rok měření [-]:Průměr n_{50} [h^{-1}]:

$$y = -27,8785 + 0,0141*x; r = 0,0953; p = 0,3382; r^2 = 0,0091$$

Limit BDT: 1 Rok měření [-]:Průměr n_{50} [h^{-1}]:

$$y = 74,9934 - 0,0367*x; r = -0,1991; p = 0,0398; r^2 = 0,0396$$

Limit BDT: 4,5 Rok měření [-]:Průměr n_{50} [h^{-1}]:

$$y = 161,2031 - 0,0794*x; r = -0,1906; p = 0,0274; r^2 = 0,0363$$

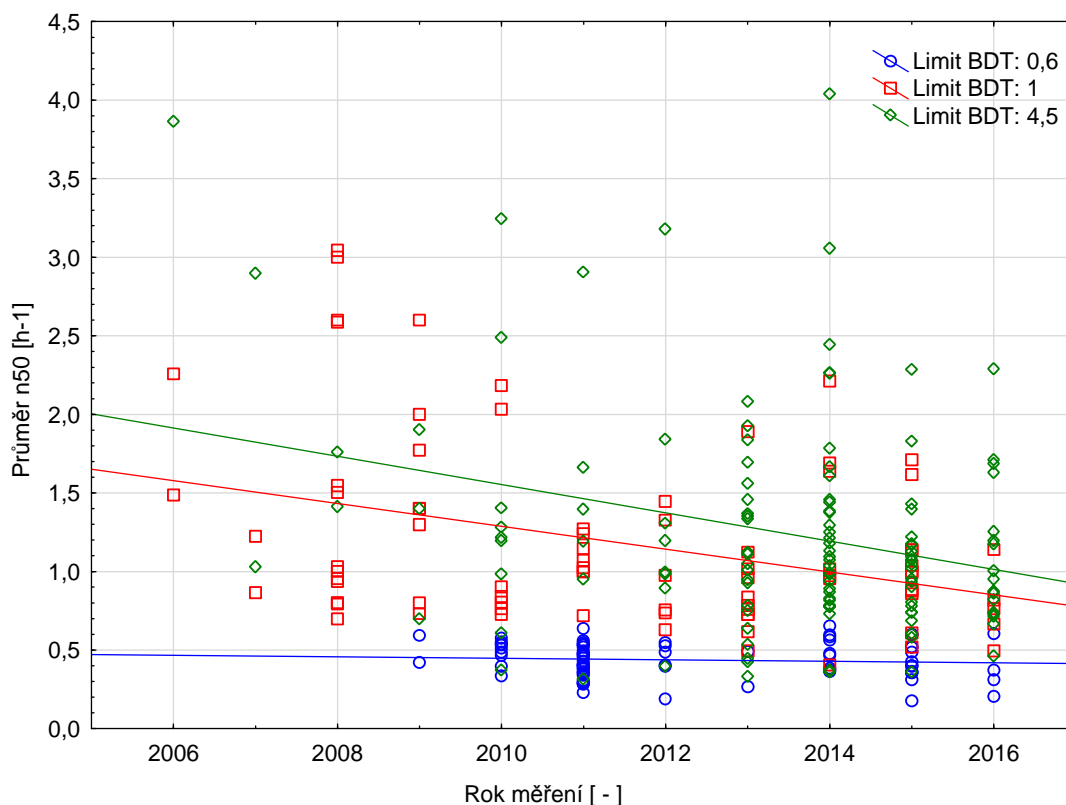
Z výsledků regresní analýzy je patrný velmi nízký stupeň zjištěné závislosti, což může být zapříčiněno velkou variabilitou výsledků při zahrnutí odlišných typů budov. Přesto však lze pozorovat klesající trend průvzdušnosti v závislosti na roku výstavby a to zejména u budov s přirozeným větráním a s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla. Ovšem u poslední kategorie pasivních domů je tento trend opačný (nebo se jedná v podstatě o ustálenou hodnotu). To je možné vysvětlit např. zvyšujícím se počtem firem zabývajících se výstavbou těchto domů. Tlak od investorů na realizační firmy

zvýšil dotační program „Zelená úsporám“, který je zaměřen a podporu výstavby pasivních domů. V posledních letech se proto na realizaci pasivních budov zaměřili i firmy bez předchozích zkušeností s výstavbou takovýchto objektů, a to zejména se silikátovou nosnou konstrukcí.

Z výše popsaných důvodů byla provedena regresní analýza pouze pro soubor budov s nosnou rámovou konstrukcí. Základní statistický přehled je uveden v tabulce 38. Grafické znázornění výsledků regresní analýzy je zobrazeno na obrázku č. 128. Pro jednotlivé skupiny jsou níže uvedené vypočtené regresní rovnice.

Tabulka 38 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na roku výstavby pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

rok výstavby	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Počet objektů [ks]	3	4	16	13	28	46	20	35	50	49	27
Průměrná hodnota [h-1]	2,535	1,504	1,528	1,308	1,017	0,660	0,960	1,010	1,166	0,875	0,926
Minimální hodnota [h-1]	1,485	0,865	0,700	0,420	0,335	0,230	0,190	0,265	0,360	0,175	0,205
Maximální hodnota [h-1]	7,555	2,895	3,045	2,600	3,245	2,905	3,180	2,080	4,040	2,285	2,290
Směrodatná odchylka [h-1]	1,475	0,882	0,687	0,417	0,551	0,237	0,452	0,234	0,531	0,187	0,226
Variační koeficient [%]	1,21	0,94	0,83	0,65	0,74	0,49	0,67	0,48	0,73	0,43	0,48



Obrázek 128 Závislost průvzdušnosti na roku výstavby budov rozdělaná dle způsobu větrání uvedených v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.

Limit BDT: 0,6 Rok měření [-]: Průměr n_{50} [h^{-1}]:

$$y = 9,9152 - 0,0047 * x; \quad r = -0,0852; \quad p = 0,4613; \quad r^2 = 0,0073$$

Limit BDT: 1 Rok měření [-]: Průměr n_{50} [h^{-1}]:

$$y = 147,6458 - 0,0728 * x; \quad r = -0,3568; \quad p = 0,0010; \quad r^2 = 0,1273$$

Limit BDT: 4,5 Rok měření [-]: Průměr n_{50} [h^{-1}]:

$$y = 206,7977 - 0,1021 * x; \quad r = -0,2654; \quad p = 0,0023; \quad r^2 = 0,0704$$

Pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí byly zjištěny velmi nízké koeficienty determinace, poukazující na velmi nízkou těsnost zjištěné závislosti. Nicméně z grafu je jasně patrný trend klesající průvzdušnosti v letech 2006 – 2016, zejména u nízkoenergetických domů s přirozeným větráním. Tento trend je možné vysvětlit zvyšující se informovaností o problematice průvzdušnosti, nejen projektantů a architektů, ale i montážníků na staveništi.

Dalším faktorem je stále se zlepšující kvalita materiálů pro zajištění vzduchotěsnosti, např. průchodky pro elektroinstalaci a ostatní rozvody.

Jedním z dalších důvodů je, že značnou část měřených budov zajišťují budovy stavebních firem, které měření realizují pravidelně nebo alespoň několikrát do roka a ze získaných poznatků vyvozují opatření pro další realizace. Tento pozitivní vývoj může ovšem u domů s přirozeným větráním způsobovat problémy s dodržováním hygienických předpisů pro přívod čerstvého vzduchu. Např. ČSN EN 15 665/Z1 vyžaduje zajištění minimální intenzity větrání. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí jsou uvedeny v kapitole 5, tabulce 5. Z těchto skutečností vyplývá, že výměna určeného množství vzduchu není v současnosti zaručena, a to zejména u domů s přirozeným větráním. Pokud by tedy i nadále pokračoval klesající trend intenzity výměny vzduchu, bylo by vhodné **zajistit vybavování všech nízkoenergetických staveb systémem s nuceným větráním**. Stavební netěsnosti a netěsnosti v otvorových výplních nejsou schopny zabezpečit dostatečnou intenzitu větrání pro zdravé užívání staveb.

U skupiny budov s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla lze pozorovat klesající trend hodnot vzduchové průvzdušnosti v závislosti na roku výstavby. Zde problematika intenzity větrání nemusí být řešena žádným dalším opatřením a klesající trend poskytuje pouze pozitivní zjištění.

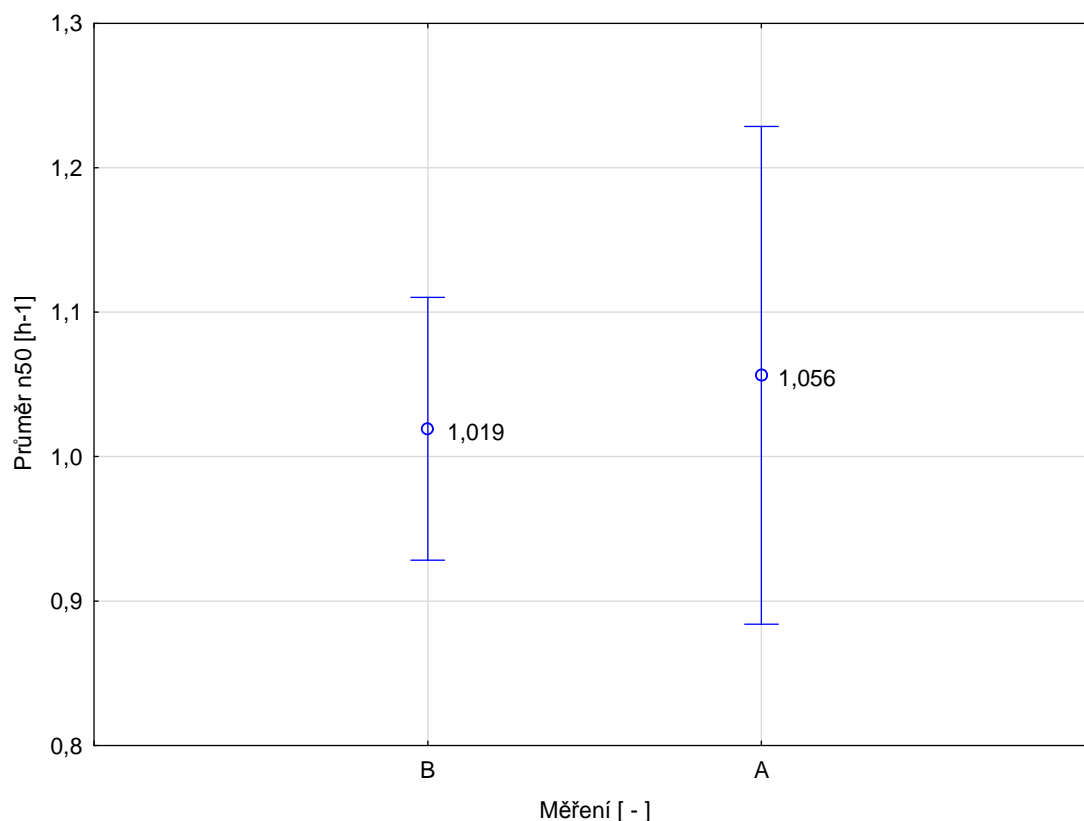
U pasivních domů jsou hodnoty výměny vzduchu ve sledovaném období takřka ustálené. To je pravděpodobně způsobeno poměrně striktními požadavky normy, cenovými nároky na výstavbu a současně již od počátku nízkými hodnotami průvzdušnosti. Kolísání průměrných hodnot průvzdušnosti může být ovlivněno množstvím měření vzhledem k počtu realizačních firem. Při nižším počtu měření mohou negativně ovlivnit výslednou hodnotu také jednotlivé nevyhovující stavby. Ovšem i přes výše uvedená fakta je zaznamenán klesající trend průvzdušnosti ve výstavbě nových budov. U těchto budov již nehrozí porušení požadavků na intenzitu větrání, ovšem za předpokladu, že je v činnosti zařízení zajišťující nucené větrání. Zjištěné výsledky jsou v souladu se zjištěními autorů [82] [91] [94], ale nejsou shodné s výstupy J. Nováka. [33]

7.2.10. Posouzení vlivu metody měření na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti

V této kapitole je ověřeno, zda metoda měření ovlivňuje výslednou průvzdušnost domů. Porovnání těchto metod je složitější z toho důvodu, že při metodě B jsou utěsněny všechny záměrné prostupy, zatímco u metody A jsou naopak již realizovány všechny povrchové vrstvy, což může zvýšit obtížnost pronikání vzduchu netěsnostmi. Byla prověřena hypotéza, že na zvolené hladině významnosti α 0,05 dosahuje horších výsledků průvzdušnost při měření metodou A. Základní statistické rozdělení je uvedeno v tabulce 39.

Tabulka 39 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na zvolené metodě pro všechna měření.

Zvolená metoda měření	Metoda B	Metoda A
Počet objektů [ks]	270	75
Průměrná hodnota [h-1]	1,019	1,056
Minimální hodnota [h-1]	0,175	0,165
Maximální hodnota [h-1]	7,555	3,640
Směrodatná odchylka [h-1]	0,767	0,728
Variační koeficient [%]	75,26	68,89



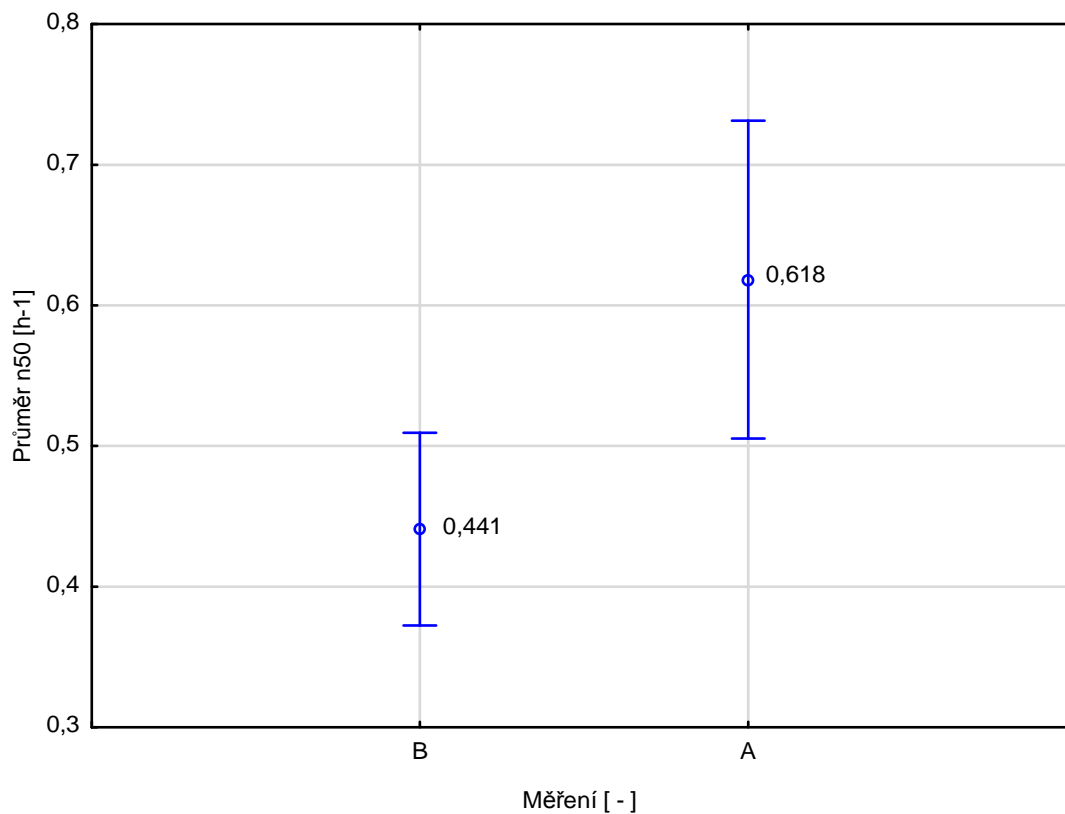
Obrázek 129 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na zvolené metodě měření pro všechna měření.

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem nebyl prokázán statisticky významný rozdíl (Tukeyův HSD test; $p=0,764947$), mezi měřeními dle metody A a B.

Stejná hypotéza byla prověřena pouze pro skupinu pasivních domů a to z důvodu, že pro toto porovnání bylo získáno nejvíce dat k metodě A. Základní statistické údaje pro toto porovnání jsou uvedeny v tabulce 40.

Tabulka 40 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na zvolené metodě pro pasivní domy.

Zvolená metoda měření	Metoda B	Metoda A
Počet objektů [ks]	75	28
Průměrná hodnota [h-1]	0,440	0,618
Minimální hodnota [h-1]	0,175	0,165
Maximální hodnota [h-1]	7,555	2,550
Směrodatná odchylka [h-1]	0,115	0,554
Variační koeficient [%]	26,17	89,57



Obrázek 130 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na zvolené metodě měření pro pasivní domy.

V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a vertikální sloupce označující 95% interval spolehlivosti. Vícenásobným srovnávacím testem byl prokázán statisticky významný rozdíl (Tukeyův HSD test; $p=0,029941$), mezi měřeními dle metody A a B.

8. ZÁVĚR

Cílem disertační práce bylo vyhodnocení kvality vzduchotěsníci vrstvy u obytných budov postavených na území České republiky v letech 2006 – 2016 pomocí metody Blower-door test. K dosažení cílů byla použita taková metodologie, kdy bylo využito analýzy problémů, syntézy dosažených výsledků a formulace závěrů. Při zkoumání problematiky byla použita metoda popisná za pomoci studia české a zahraniční literatury. Pro měření vzduchové průvzdušnosti bylo využito postupu popsáno v normě ČSN EN 13 829 a k měření bylo využito zařízení Blowtest 3000 splňující požadavky této normy. V závěrech bylo provedeno porovnání výsledků z literární rešerše a naměřených dat.

Byly představeny jednotlivé svislé obvodové nosné konstrukce, a to z hlediska místa výstavby, použitých stavebních materiálů, plošné hmotnosti a difúzního odporu. Byly popsány možnosti měření vzduchové průvzdušnosti, detailněji byla vysvětlena nejrozšířenější metoda dle ČSN EN 13 829 a popsán přístroj určený pro tuto metodu Blower-door, způsob jeho instalace, průběh měření a vyhodnocení výsledků. Byly představeny různé metody odhalování defektních míst v hlavní vzduchotěsníci vrstvě.

V praktické části byl proveden průzkum nejčastějších míst úniku vzduchu a byl vytvořen soubor s fotodokumentací defektních míst. Jako naprosto klíčový předpoklad pro dosažení nízkých hodnot průvzdušnosti se jeví nutnost věnování zvýšené pozornosti zejména provádění připojovacích spár oken, volba správného systému otevírání oken, používání vhodných těsnících materiálů, které jsou pro tyto účely vyvinuty, precizní napojení obvodové nosné a podlahové konstrukce, zvolení správného způsobu těsnění vnitřních příček, realizování co nejméně prostupů skrz hlavní vzduchotěsníci vrstvu při montáži a jiné. Detailní znalost těchto defektních míst, a znalost postupů vedoucích k jejich eliminaci, vede ke snižování průvzdušnosti staveb a to nejen v průběhu výstavby, ale již v průběhu vytváření projektové dokumentace. Dále mohou být vědomosti o nejčastějších místech průniku vzduchu vhodným vodítkem pro montážní dělníky o správném a důsledném způsobu dokončování jednotlivých stavebních detailů. V konečném důsledku tak mohou poznatky získané při

zpracování této disertační práce vést k výstavbě domů s optimalizovanými detaily z hlediska průvzdušnosti a celkově ke kvalitnějšímu dokončování výstaveb lidských obydlí.

Bylo taktéž zhodnoceno, jakým způsobem ovlivňuje výběr realizační firmy průvzdušnost domů. Hodnoty průvzdušnosti byly získány celkem od 52 dvou realizačních firem a pro účely posouzení byly rozděleny do dvou kategorií, dle energetické náročnosti. U obou souborů bylo prokázáno, že vliv realizační firmy výrazně ovlivňuje výsledné hodnoty vzduchové průvzdušnosti, což má v dlouhodobém horizontu vliv na kvalitní a bezproblémové užívání stavby. V důsledku špatných výsledků vzduchové průvzdušnosti může také např. dojít k pozastavení čerpání finanční podpory z dotačních titulů. Z těchto důvodů je vhodné před výběrem realizační firmy ověřit, zda má tato firma zkušenosti s požadovanou konstrukcí a s patřičnou třídou energetické náročnosti, stejně tak jako zjistit její renomé má na trhu.

Jedním z vlivů, který se prokázalo potvrdit jen z části, byl předpoklad, že výsledná průvzdušnost bude ovlivněna dle parametrů normy ČSN EN 73 0540-2, kde jsou uvedeny limity pro celkovou intenzitu výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa dle způsobu větrání. Již z normou předepsaných hodnot se dal předpokládat významný rozdíl ve výsledcích vzduchové průvzdušnosti. Tento vliv normovaných požadavků se potvrdil jen u budov se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění a s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla s poměrnou hodnotou $n_{50} = 0,49 \text{ h}^{-1}$. Ke stejnému závěru dospěli ve svých závěrech i další autoři [33] [95] [96]. Z výsledků bylo dále zjištěno, že průměrná hodnota budov s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla nevyhovuje požadavkům normy, což může mít za následek poddimenzování vzduchotechniky a otopné soustavy. Budovy s přirozeným větráním splňují limit pro nízkoenergetické domy $1,5 \text{ h}^{-1}$, což je ale současně hodnota uvedená v tabulce 3 pro domy s nuceným větráním. Nastává tedy otázka, jakým způsobem zaručit dostatečný přívod čerstvého vzduchu v budovách bez nuceného větrání s takto nízkou hodnotou vzduchové průvzdušnosti.

Převážná většina testovaných budov (316 z 345) měla svislou nosnou konstrukci tvořenou ze dřeva či materiálů na bázi dřeva a to nejčastěji rámovou

nosnou konstrukci (289 případů). Základní soubor dat zahrnoval i budovy s kovovou konstrukcí a silikátovou konstrukcí. Výrazně vyšších hodnot vzduchové průvzdušnosti dosahovaly mobilní kontejnery. Ostatní konstrukce dosahovaly podobných průměrných výsledků.

Dalším z dílčích cílů bylo prověřit rozdílnost výsledků při použití metody A nebo B. Z výsledků šetření pro všechna měřená data, bylo konstatováno, že není statisticky významný rozdíl mezi metodou A a B. Pro kategorii pasivních domů však je již možno statisticky významný rozdíl pozorovat. Tento rozdíl bude s největší pravděpodobností zapříčiněn tím, že měření dle metody A zahrnovalo více budov se silikátovou nosnou konstrukcí, u kterých se předtím neprovádělo měření v průběhu výstavby.

Při hodnocení vlivu přítomnosti komínového tělesa na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti nebyl vliv komínu prokázán, přestože průměrná hodnota vzduchové průvzdušnosti byla o 15,38 % větší u budov s komínovým tělesem. U budov s nosnou rámovou konstrukcí již významný statistický rozdíl zaznamenán byl, a to v neprospěch budov s komínovým tělesem, které vytváří řadu problematických detailů.

Při zkoumání vlivu místa a způsobu výstavby na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti, nebyl pomocí Tukeyova testu prokázán statisticky významný rozdíl, ovšem výsledné hodnoty pravděpodobnosti se blížily kritické hodnotě a naznačovaly, že při využití přísnějšího testu by se na stejné hladině významnosti již statisticky významné odchylky mohly prokázat. Bylo využito Fisherova testu, který statisticky významný rozdíl pro nízký stupeň prefabrikace a staveništní montáž dokázal. Možná příčina vyšší hodnoty vzduchové průvzdušnosti pro nízký stupeň prefabrikace může být vysvětlena tím, že se na výstavbě podílí více montážních skupin, bez jasně stanovené odpovědnosti za provedení jednotlivých detailů a jejich vlivu na vlastnosti realizovaného domu. Naproti tomu, staveništní montáž provádí obvykle menší firmy nebo investoři, kteří jsou přítomni na stavbě a lépe dozorují provedení složitých detailů. Současně je jasná zodpovědnost za výsledky hodnot vzduchové průvzdušnosti. Rozdíl mezi nízkým a vysokým stupněm prefabrikace je s největší pravděpodobností zapříčiněn technologií výroby,

kdy u vyššího stupně prefabrikace jsou složité detaily dokončeny již ve výrobní hale kvalifikovanými pracovníky.

Na celém souboru měření, i na souboru dat pouze pro rámové konstrukce, byla provedena regresní analýza přímého vlivu vnitřního vytápěného objemu na výsledné hodnoty vzduchové průvzdušnosti n_{50} . Nebyla prokázána závislost těchto hodnot.

Dále byl proveden výzkum vzájemného vztahu objemového toku vzduchu procházejícího ventilátorem při kladném a záporném talkovém rozdílu 50 Pa. Regresní analýza prokázala velmi dobrou závislost mezi hodnotami v podtlakovém a přetlakovém režimu s vysokým koeficientem terminace 94 %. Tato skutečnost byla potvrzena i při rozdělení souboru dat do kategorií dle způsobu větrání. Dále bylo zjištěno, že u 80,87 % měření vychází hodnota objemového toku vzduchu vyšší při podtlaku.

Rovněž byl hodnocen vztah velikosti čisté podlahové plochy, vnitřního objemu budovy a výsledných hodnot vzduchové průvzdušnosti. Bylo zjištěno, že při větším objemu a menší čisté podlahové ploše vychází hodnota vzduchové průvzdušnosti n_{50} příznivěji než když je tomu naopak.

Za nejvýznamnější výsledek své disertační práce považuji vyhodnocení vlivu roku výstavby na hodnotu vzduchové průvzdušnosti n_{50} . Přestože výsledky provedené regresní analýzy prokázaly pouze nízký stupeň závislosti, a to jak u souboru dat pro všechna měření tak pro skupinu budov s nosnou rámovou konstrukcí, je zřetelně patrná klesající tendence hodnot vzduchové průvzdušnosti v jednotlivých letech. Oba soubory byly ještě rozděleny do skupin dle požadavků na větrání. Klesající tendence hodnot vzduchové průvzdušnosti je zřetelně patrná zejména u budov s nuceným větráním. V kategorii pasivních domů je u souboru všech měření trend mírně stoupající, což zapříčiňuje větší počet měřených silikátových budov s vyššími hodnotami vzduchové průvzdušnosti. V souboru budov s nosnou rámovou konstrukcí je i v kategorii pasivních domů zaznamenána drobná klesající tendence. Největšího zlepšení hodnot vzduchové průvzdušnosti dosahují budovy s přirozením větráním. Tyto závěry se neshodují se zjištěním Nováka, J. [33], který ve své práci vyloučil vliv roku výstavby na výsledné hodnotě vzduchové průvzdušnosti n_{50} , ale jiní autoři klesající trend potvrzují. [82] [91] [94]

Provedený výzkum poskytuje ucelený přehled o vývoji vzduchové průvzdušnosti obytných domů vybudovaných v posledních letech na území České republiky.

9. DOPORUČENÍ

Ačkoliv jsou zjištěné údaje o klesající průvzdušnosti pozitivním zjištěním z hlediska energetiky, doporučuji investorům a realizačním firmám věnovat pozornost intenzitě větrání. Jsem přesvědčen, že při stále se zlepšujících výsledcích vzduchové průvzdušnosti již nelze dodržet hygienické limity pro intenzitu větrání. Spárová průvzdušnost současných otvorových výplní je výrobci záměrně eliminována na minimum z důvodu zpřísňujících se energetických požadavků.

Dále doporučuji věnovat pozornost využívání krbů a krbových vložek, které mohou způsobit problémy s přehříváním, a to nejen u pasivních budov, nebo dokonce problémy s hygienou vnitřního ovzduší, zejména u budov bez nuceného větrání s nízkou hodnotou vzduchové průvzdušnosti. Proto by se na krbová kamna a vložky nemělo pohlížet pouze jako na designový doplněk, ale i jako zdroj možných nežádoucích vlivů. Komínové těleso také vytváří řadu problematických míst při průchodu nosnými konstrukcemi a vzduchotěsnicí vrstvou.

Seznam použité literatury

- [1] *Zajímavosti ze Stavebního veletrhu Brno 2016*. Asociace dodavatelů montovaných domů, Brno: 13. květen 2016. TZB-info , [online] [cit. 19.5.2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/14197-zajimavosti-ze-stavebnich-veletrhu-brno-2016>
- [2] ČSN 73 0540-2. *Teplená ochrana budov: část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] HUDEC Mojmir. *Pasivní rodinný dům*. Praha, Grada Publishing 2008. 112 s. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [4] *Historie pasivních domů*. Slavona, 2010. [online]. [citace 20.4. 2016] Dostupné z: <http://www.slavona.cz/pasivni-domy/historie-pasivnich-domu.html>
- [5] *Historie pasivních domů*. Zelené zprávy, [online]. Praha: 19. září 2010 [cit. 20.4. 2016]. Dostupné z: <http://www.zelenezpravy.cz/historie-pasivnich-domu/>
- [6] *Z historie pasivních domů*. Centrum pasivního domu, [online]. Brno: 27. leden 2013 [cit. 20.4.2016]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/z-historie-pasivnich-domu/t1083>
- [7] POČINKOVÁ Marcela, ČUPROVÁ Danuše a kolektiv. *Úsporný dům*. Brno: ERAgroup, 2008. ISBN 978-80-7366-131-1.
- [8] TYWONIAK, Jan a kolektiv. *Nízkoenergetické domy 2*. Praha: Grada Publishing, 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [9] ZÍDEK, Jan. *Hodnocení průvzdušnosti pasivních dřevostaveb metodou blower-test*. Praha: 2013. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská
- [10] ZAHRADNÍČEK, Jan a HORÁK, Pavel. *Moderní dřevostavby*. Brno: Computer Press, 2011. 155 s. ISBN 978-80-251-3568-6.
- [11] *Co je pasivní dům?* Centrum pasivního domu, [online]. Brno: [2016] [cit. 20.4.2016]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2?chapterId=1634>
- [12] HAMPLOVÁ Monika. *Pasivní a nízkoenergetické budovy*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická
- [13] *Co je „nulový dům“?* Nulové domy [online]. Praha: 2016 [cit. 21.4.2016]. Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/co-jsou-nulove-domy/co-je-nulovy-dum.htm>
- [14] TYWONIAK, Jan. *Nulové domy*. TZB-info , [online]. Seminář: Dřevostavby: 5. září 2011 [cit. 21.4.2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/smernice-2010-31-eu/7785-nulove-domy>
- [15] KUHKOVÁ Erika. *Pasivní, aktivní, nulový dům. Víte, co přesně tyto pojmy znamenají?* HOME, [online]. Praha: 19. únor 2016 [cit. 21.4.2016]. Dostupné z: <http://homebydleni.cz/dum/ned-a-pasivni-domy/pasivni-aktivni-nulovy-dum-vite-co-presne-tyto-pojmy-znamenaji/>

- [16] TYWONIAK Jan. *Metodika hodnocení nízkoenergetických rodinných domů*. TZB-info, [online]. Praha: 22. září. 2008. [cit. 21. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5088-metodika-hodnoceni-nizkoenergetickych-rodinnych-domu>
- [17] SMOLAŘ, Jan. *Učební texty pro pozemní stavebnictví IV*. Fast, [online]. [S.l.]: [2004]. [cit. 22.4.2016]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-aterialy/ps4/index.html>
- [18] *Dřevěné nosné konstrukce*. ELUC, [online]. [S.l.]: [2015]. [cit. 22.4.2016]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2173>
- [19] NOVÁČEK, Petr. *Tepelně – technické vlastnosti dřevěných bytových staveb a diagnostika poruch*. Zvolen: 2012. Bakalářská práce. Technická univerzita ve Zvoleně, Dřevařská fakulta
- [20] HOLOUŠKA, Petr. *Pravé hrázděné stavby jsou již minulostí*. Dřevo&Stavby, [online]. [S.l.]: 2. říjen 2013 [cit. 22.4.2016]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/2524-prave-hrazdene-stavby-jsou-jiz-historii>
- [21] *Skeletové stavby*. Technologie stavby, [online]. 11. únor 2011 [cit. 22.4.2016]. Dostupné z: <http://www.technologie-stavby-domu.cz/skeletove-systemy>
- [22] ŠTEFKO, Josef; REINPRECHT, Ladislav a KUKLÍK Petr. *Dřevěné stavby – konstrukce, ochrana a údržba*. Hostivice: Jaga, 2009. 200 s. ISBN 978-80-8076-080-9.
- [23] *O systému novatop*. NOVATOP, [online]. [S.l.]: [2009] [cit. 23.4.2016]. Dostupné z <http://www.novatop-system.cz/system-novatop/co-je-novatop/>
- [24] HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Stavíme dům ze dřeva*. Brno: ERA, 2005. 100 s. ISBN 80-7366-008-3.
- [25] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: Principy a příklady*. Praha: Grada Publishing, 2005. 200 s. ISBN 80-247-1101-X.
- [26] SLANINA, Petr. *Všeobecně o parozábranách střech* [online]. [S.l.]: [2003]. [cit. 23.4.2016]. Dostupné z: http://www.slanina.cz/publikace/files/04_slanina_vseobecne_o_parozabranach_strech.pdf
- [27] HEJTMÁNEK, Jiří. *Difúze vodní páry – veličiny, hodnoty a jednotky*. Stavebnictví3000, [online]. [S.l.]: 18. prosinec 2010 [cit. 23.4.2016]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/>
- [28] HANZALOVÁ, Lenka. *Ploché střechy – navrhování a sanace*. Praha: Public History, 2001. 397 s. ISBN 80-86445-08-9.
- [29] SLANINA, Petr. *Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování* [online]. [S.l.]: [2003]. [cit. 23.4.2016]. Dostupné z: http://www.slanina.cz/publikace/files/03_slanina_parotesna_vrstva_terminologie_rozdeleni_navrhovani.pdf

- [30] SLANINA, Petr. *Definování parotěsné vrstvy u plochých jednoplášťových střech*. Praha: ČVUT – fsV, 2003, [cit. 23.4.2016].
Dostupné z:
http://www.slantina.cz/publikace/files/01_slantina_definovani_parotesne_vrstvy_u_plochych_jednoplastovych_strech.pdf
- [31] ANDERSON, Abba. *The History of the Blowerdoor*. Homeenergy. [online]. [S.l.] prosinec 1995 [cit. 23.4.2016]. Dostupné z:
<http://homeenergy.org/show/article/nav/blowerdoor/id/1171>
- [32] BILSS, Steven. *Guide to Blowerdoor & Air Infiltration in buildings*. A Pedia, [online]. [S.l.], 1995. [cit. 23.4.2016]. Dostupné z:
<http://inspectapedia.com/Energy/Blower Door Test Procedure.php>
- [33] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov. První vydání*. Praha: Grada Publishing, 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [34] ROULET, C. A. a VANDEALE, L. *Air flow patterns within buildings, measurement techniques*. AVIC TN 34. Coventry: Air infiltration and ventilation centre, 1991. 284 s.
- [35] PEŠTA, Jan; TESAŘ, David a ZWENER, Viktor. *Diagnostika staveb*. Praha: DEKTRADE, 2011. 113 s. ISBN 978-80-87215-09-8.
- [36] TYWONIAK, Jan a kolektiv. *Nízkoenergetické domy 3*. Praha: Grada Publishing, 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [37] ČSN EN 13 829 *Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.
- [38] TNI 73 0329 2010 *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [39] ZMRHAL, Vladimír. *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1*. TZB-info, [online]. [S.l.], 30. leden 2012. [cit. 25.4.2016]. 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>
- [40] MATOUŠOVÁ, Jana. *Význam dodatečného větrání budov*. TZB-info, [online]. Brno: 21. listopad 2005 [cit. 25.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.tzb-info.cz/2873-vyznam-dodatecneho-vetrani-budov>
- [41] ČSN EN 15 6665/Z1, 2009. *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [42] ŽÁK, Jiří. *Řízené větrání bytových a rodinných domů*. Presentace Elektrodesign ventilátory s.r.o. AZ Promo, [online]. 1.6.2016 Moderní materiály a technologie pro výstavbu rodinných domů a obytných budov [cit. 25.4.2016]. Dostupné z:
<http://www.azpromo.cz/dokumenty/seznamSouboru/111/PHAM616>

- [43] *Větrání budov z hlediska Hygienického a stavebně – fyzikálního.* [online]. [S.l.]: 14. duben 2005. [cit. 25.4.2016]. Dostupné z: www.lunos.cz/viewfile.asp?file=1329
- [44] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [45] HEJHALÁK, Jiří. *Způsob větrání bytů a rodinných domů.* Stavebnictví3000cz [online]. [S.l.]: 27. leden 2016 [cit. 27.4.2016]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zpusoby-vetrani-bytu-a-rodinnych-domu/>
- [46] PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu.* Praha: Grada Publishing, 2009. 128 s. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [47] RŮŽIČKOVÁ, Markéta. *Stanovení tepelných ztát pasivního domu prostřednictvím termokamery.* Plzeň: 2012. Diplomová práce. Západočeská Univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [48] URBAN, Miroslav, SVOBODA, Zbyněk a kol. *Metodika bilančního výpočtu energetická náročnost budov.* Metodická příručka. Praha: ČVUT v Praze. Fakulta stavební, 2009. 165 s.
- [49] CHYBÍK, Josef. *Energeticky úsporné výstavby.* Brno: Cerm, 2012. ISBN 978-80-7204-813-7.
- [50] ROSSKHOL, David. *Energeticky úsporné domy.* Olomouc: 2014. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Pedagogická fakulta.
- [51] *Izolace fasády, stěn a příček.* COMPRI, [online]. Brandýs nad Labem: 2011. [cit. 27.4.2016]. Dostupné z: <http://www.compri-izolace.cz/izolace/obsah/izolace-fasady-sten-a-pricek>
- [52]- *Sendvičová konstrukce.* DOMYDUHA, [online]. Cheb, 2011. [cit. 27.4.2016]. Dostupné z: <http://www.domyduha.cz/index.php?id=stranky/tech-skladba&menu=menu/pro>
- [53] *Stavíme srub – roubenky / Technologie výstavby srubů a roubenek.* OPPYRUS, [online]. Brno: 2012. [cit. 27.4.2016]. Dostupné z: <http://www.moderni-sruby.cz/technologie-vystavby-srubu-a-roubenky.html>
- [54] *Rekreační roubenka svépomocí.* Griffin, [online]. Mladkov: 2008. [cit. 30.4.2016]. Dostupné z: <http://www.drevostavby-rychle.cz/cs/roubenka-svepomoci-15.html>
- [55] *Dřevěné nosné konstrukce.* Eluc, [online]. [S.l.]: 2010. [cit. 30.4.2016]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2173>
- [56] *Co děláme – Lehké obvodové pláště.* ALUFRONT, [online]. Nové Město nad Metují: 2010. [cit. 11.5.2016]. Dostupné z: <http://www.alufront.cz/lehke-obvodove-plaste/co-delame/>
- [57] *Monolitický dům – Lité betonové konstrukce.* Rondel, [online]. Praha: 2015. [cit. 30.4.2016]. Dostupné z: <http://www.rodel.cz/produkty-monoliticky-dum-lite-betonove-konstrukce-p4-branik-detail-126>

- [58] JIŘÍČEK, Petr. *Stavba dřevostavby systémem two by four*. Dřevostavitel, [online]. Brno: 8. březen 2012 [cit. 11.5.2016]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/two-by-four-system>
- [59] *Rodinné bydlení na střeše obchodního centra vzniklo díky lehké ocelové konstrukci Lindab a deskám fermacell*. Český kutil [online]. [S.l.]: 1. srpen. 2015. [cit. 11.5.2016]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/rodinne-bydleni-na-strese-obchodniho-centra-vzniklo-diky-lehke-ocelove-konstrukci-lindab-a-deskam-fermacell>
- [60] JIŘÍČEK, Petr. *Montovaná dřevostavby za 3 týdny*. Dřevostavitel, [online]. Brno: 21. březen 2012 [cit. 11.5.2016]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/drevostavba-za-3-tydny>
- [61] REIMER, Pavel. *Zátěžová zkouška energetické spotřeby!* RD Rýmařov, [online]. Rýmařov: 17. květen. 2013 [cit. 13.5.2016]. Dostupné z: <http://www.rdrymarov.cz/novinky-a-akce/reference-od-zakaznika>
- [62] LIŠKA, Luděk. *SIPs technologie konstrukčních izolačních panelů*. ASB-portal.cz, [online]. Liberec: 9. prosinec. 2011 [cit. 13.5.2016]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/tepelne-izolace/sips-technologie-konstrukcnich-izolovanych-panelu>
- [63] SOLAŘOVÁ, Hana. *Obvodové stěny ve skeletových stavbách*. Stavebnictvi3000.cz, [online]. [S.l.]: 18. srpen. 2008. [cit. 13.5.2016]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/obvodove-steny-ve-skeletovych-stavbach/>
- [64] *Malá větrací jednotka s rekuperací tepla ECO ROOM*. Nazeleno, [online]. [S.l.]: 13. červenec. 2015. [cit. 13.5.2016]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bydleni/mala-vetraci-jednotka-s-rekuperaci-tepla-eco-room.aspx>
- [65] *Produkty inVENTer*. Inventer, [online]. Horažďovice: [2009]. [Cit. 13. květen 2016]. Dostupné z: <http://www.inventer.cz/produkty-inventer>
- [66] *Rekuperační jednotky LOSSNAY LGH*. Chladicí společnost, [online]. Karlovy Vary: [2010]. [cit. 27.5.2016]. Dostupné z: <http://www.chladicispolecnost.cz/vzduchotechnika/lossnay-vzt-jednotky.html>
- [67] *Návrh a postup realizace řízeného větrání s rekuperací tepla – Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (IV)*. TZB-info, [online]. Sezimovo Ústí: 11. prosinec 2013. [cit. 27.5.2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10681-navrh-a-postup-realizace-rizeneho-vetrani-s-rekuperaci-tepla>
- [68] *Pasivní domy. Katalog projektů pasivních domů*. Hostivice: Jaga, 2011. 174 s. ISBN 978-80-254-8508-8. 2011.
- [69] HRUBÝ, Lubor. *Umístění, tvar a rozložení místností pasivního domu*. TZB-info, [online]. Brno: 7. březen 2016 [cit. 27.5.2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13877-umisteni-tvar-a-rozvrzeni-mistnosti-pasivniho-domu>

- [70] MÜLLER, Stanislav. Blower-Door. In. *Seminář Dřevostavby v praxi 2*. Lísek: 2008.
- [71] ŠIMONOVÁ, Dagmar. *FIRMA z adresáře: AGROP NOVS (NOVATOP)*. Dřevo&Stavby, [online]. Ptení: 13. březen 2014 [cit. 3.6.2016]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/vybirame-z-adresare/2687-firma-z-adresare-agrop-nova-as>
- [72] *SOLID pro stěny a příčky*. Novatop, [online]. Ptení: [2012]. [cit. 3.6.2016]. Dostupné z: <http://www.novatop-system.cz/produkty/solid-pro-steny-a-pricky/>
- [73] TRIPES, Jan. *Vzduchotěsnost staveb – Blowerdoor test*. Energoportál, [online]. České Budějovice: 14. březen 2011. [cit. 3.6.2016]. Dostupné z: <http://www.energoportal.cz/magazin/vzduchotechnika-a-klimatizace/2011-3-14-vzduchotesnost-staveb-blower-door-test.html>
- [74] *Extra izolace a ochrana*. Velux, [online]. Brno: [2009]. [cit. 27.6.2016]. Dostupné z: <http://www.velux.cz/produkty/stresni-okna/system-montaze>
- [75] SHERMAN, H. a MODERA, P. Signal attenuation due to cavity leakage. *Acoustical Society of America* [online]. 1988, Vol. 84, Issue 6.
- [76] MATTSON, Björn. A Transient Pressurisation Method for Air Infiltration Measurements of Building Envelope Components. Gothenburg. *Journal of Building Physics*, 2007. 2014, Vol. 31, No. 1, s. 35-53.
- [77] MATTSON, Björn. New transient pressurization method for measurements of airtightness in building envelope components. In. *Fulda: sborník přednášek 1. Europäisches Blower Door-Synposium, Dichte Gebäudehülle und Wohnungslüftung*, 2006.
- [78] SODOMKA, Waltr. *Problémy v rámci projektování, realizace a užívání komínů v rodinných domcích*. Komíny komin, [online]. Olešnice: [2009] [cit. 9.7.2016]. Dostupné z: <http://www.kominy-komin.cz/prispevky/problemy-ramci-projektovani-realizace-uzivani-kominu>
- [79] BROŽKOVÁ, Jana. *Nové rodinné domy: stoupá zájem zejména o dřevostavby*. bydletcz, [online]. Praha: 26. duben 2016 [cit. 7.7.2016]. Dostupné z: <http://www.bydlet.cz/398444-nove-rodinne-domy-stoupa-zajem-zejmena-o-drevostavby>
- [80] *Češi stavějí čím dále více dřevostaveb*. Novinky, [online]. Praha: 13. květen 2016 [cit. 7.7.2016]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/bydleni/tipy-a-trendy/402698-cesi-staveji-cim-dal-vice-drevostaveb.html>
- [81] STARÁ, Jana a BLAHA, Vratislav. *Rizika dřevostaveb? Cena domu a firma, která jej bude stavět*. Dřevostavitel, [online]. Brno: [2016]. [cit. 7.7.2016]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/rozhovor-blaha>
- [82] PALEČEK, Stanislav. *Zkušenosti a techniky dosahování vzduchotěsnosti pláště budov v ČR*. TZB-info, [online]. Rakovník: 9. duben. 2012. [cit. 11.7.2016] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/8469-zkusenosti-a-techniky-dosahovani-vzduchotesnosti-plaste-budov-v-cr>

- [83] FEIST, Wolfgang, SØREN, Peter a GÖRG; Manfred. *Projectinformation No. 36 Final Technical Report*. [online]. Hanover: CEPHEUS, 2001. Project supported by the Thermie-Program of EU (BU/0127/97). Dostupné z: <http://www.phius.org/media/W1siZiIsIjIwMTEvMTIvMjIvMTBfMDFfNTBfOTk2X0NFUEhFVVNfZmluYWxfbG9uZy5wZGYiXV0?sha=a0c58caa>
- [84] CONCANNON, Peter. *Residential Ventilation. AIVC TN 57*. Air Infiltration and Ventilation Center. [online]. Brusel: 2002. 70 s. ISBN 2-9600355-1-8. Dostupné z: http://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Technotes/TN57%20Residential%20Ventilation.pdf
- [85] DORER, Viktor, PFEIFFER, Andreas a WEBER, Andreas. *Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings. AIVC TN 59*. Air Infiltration and Ventilation Center, Brusel: 2005. 120 s. ISBN 2-9600355-7-7.
- [86] GADSBY, K. J., LINTERIS, G. J., DUTT, G. S. a HARRJE, D. T. *The Blower Door*. [online]. Princeton: Princeton University, 1981. 124 s. Dostupné z: <https://www.princeton.edu/pei/energy/publications/reports/No.124.pdf>
- [87] ERHORN-KLUTTIG, Heike, ERHORN, Hans a LAHMIDI, Hicham. *Airtightness requirements for high performance building envelopes*. [online]. München: Fraunhofer Institute, 2009. 5 s. Dostupné z: http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/P_157_ASIEPI_Airtightness_req_hp_buildings-2.pdf
- [88] CALLOU, S., van ORSHOVEN, D. *Report on the building airtightness measurement method in European countries*. [S.l.]: IEE SAVE ASIEPI. 2010. 8 s.
- [89] JOHGHOOON, Park, YONGSUNG, Jang, YOUNGCHULL, Ahn, SEONGIR, Cheong a JAEKEUN Lee. Estimation of appropriate capacity of ventilation system based on the air infiltration rate in Korean classrooms. Seongsan-Dong. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2008, vol. 22. s. 788-797.
- [90] SHERMANN, M. H. a CHAN, W. R. *Building airtightness: research and practice*. [online]. Barkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004. 46 s. Dostupné z: <http://epb.lbl.gov/publications/pdf/lbnl-53356.pdf>
- [91] NOVÁK, Jiří; PALEČEK, Stanislav. *Měření vzduchotěsnosti budov v ČR – současnost a budoucí vývoj v evropském kontextu*. TZB-info, [online]. Praha: 9. 4. 2012. [cit. 11.7.2016]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/7010-mereni-vzduchotesnosti-budov-v-cr-soucasnost-a-budouci-vyvoj-v-evropskem-kontextu>
- [92] KIM Min-Hwi, JO Jea-Hun a JEONG Jea-Weon. Feasibility of building envelope air leakage measurement using combination of air-handler and blower door. *Energy and Buildings*. 2013, Vol. 62, s. 436–441.
- [93] BANDON, Gwendon a LEWIS, Alan. Reducing household energy consumption: A qualitative and quantitative Filed Study. *Journal of Environmental Psychology*. 1999, Vol. 19, Issue 1, s. 75-85

- [94] PAN Wei. Relationships between air-tightness and its influencing factors of post-2006 new-build dwellings in the UK. *Building and Environment*. 2010, Vol. 45, Issue 11, s. 2387–2399.
- [95] KALAMEES, Targo. Air tightness and air leakages of new light weight single-family detached houses in Estonia. *Building and Environment*. 2006, Vol. 42, Issue 6, s. 2369–2377.
- [96] SFAKIANAKI, Aikaterini, PAVLOU, Konsantinos, ASSIMAKOPOULOS, Margarita-Niki; SANTAMOURIS, Mattheos, LIVADA, Iro, KARKOULIAS, Nikos a MAMOURAS, John. Air – tightness measurements of forty residential houses in Athens, Greece. *Building and Environment*. 2008, Vol. 43, Issue 4, s. 398–405.
- [97] SINNOTT, Derek a DYER, Mark. Air-tightness field data for dwellings in Ireland. *Building and Environment*. 2011, Vol. 51, s. 269–275.
- [98] YUN Zhao, CHEN Bin, GUO Yanli, PENG Feifei a ZHAO Jinling. Indoor air environment of residential buildings in Dalian, China. *Energy and Buildings*. 2004, Vol. 36, Issue 12, s. 1235–1239.
- [99] PERSLY, A., MUSSER, A. a EMMERICH, S. J. Modeled infiltration rate distributions for U.S. housing. *Indoor Air*. 2010, č. 6, s. 473–485.
- [100] SEPPÄNEN, O. A., FISK, W. J. a MENDELL, M. J. Association of ventilation rates and CO₂-concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Published in Indoor Air*. 1999, Vol. 9, Issue 4, s. 226–252.
- [101] AWBI B. Hazib. *Ventilation of Buildings, Second edition*. London: Spon Press, 2003. 521 s. ISBN 0-203-63782-8.
- [102] ALLARD, Francis. *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook*. London: James a James (science Publishers) Ltd., 1998. 282 s. ISBN 1 873936 72 9.
- [103] YI Jiang; DONALD Alexander; ROB Arthur; CHEN Qingyan. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large-eddy simulation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2003, Vol. 91, Issue 3, s. 331–353.
- [104] BALARAS, A. Constantinos, DRUTSA, Killiopi, DASCALAKI, Elena a KONTOYIANNIDIS, Simon. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment building. *Energy and Buildings*. 2005, Vol. 37, Issue 5, s. 429–442.
- [105] HÜBNER, Hartmus a HERMELINK, Andreas. Passivhäuser für Mieter – Eine Chance für nachhaltiges Bauen und Wohnen. [online]. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*. 2002, Vol. 11, No. 2, s. 129–133(5). Dostupné z: <http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/oekom/09405550/v11n2/s10.pdf?expires=1469396090&id=88238510&titleid=6690&accname=Guest+User&checksum=E202CBB9347F3F694F759526156B598E>
- [106] SCHUSTER, Gerhard a LIPP, Bernhard. *Das ökologische Passivhaus. Grundlagenstudie*. Doonau-Universität. Krems, Zentrum für

Bauen und Wohnen. [online]. Wien: 2001. Dostupné z http://download.nachhaltigwirtschaften.at/download/endbericht_schuster.pdf

[107] *Certification as "Quality Approved Passive House", Criteria for Residential-Use Passive Houses*. Pasiv Haus Institut, [online]. Darmstadt: 9. srpen. 2009 [cit. 15.7.2016] Dostupné z: http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Passivhaus%20Standards/PH_Certification_Criteria_-_domestic.pdf

[108] CARRIE, François Rémi, ANDERSSON, Johnny a WOUTERS, Peter. *Improving Ductwork - A Time for Tighter Air Distribution Systems, Report, EU Project SAVE-DUCT*. Brusel: Air Infiltration and Ventilation Center, 1999. 126 s. ISBN 1902177104.

[109] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb*. TZB-info, [online]. [S.l.]: 25. leden. 2012. [cit. 15.7.2016] Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>

[110] KOŘÍNEK, Viktor. *Hodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických dřevostaveb metodou blower-test*. Praha: 2013. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská

Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní rozdělení budov podle energetické náročnosti. [10].....	20
Tabulka 2 Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převládající návrhovou teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně. [2].....	21
Tabulka 3 Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$. [2].....	22
Tabulka 4 Základní požadavky energeticky nulové budovy. [2].....	25
Tabulka 5 Požadavky na větrání budov. [41] [109].....	39
Tabulka 6 Účinky CO ₂ na lidský organismus. [109]	40
Tabulka 7 Závislost koncentrace CO ₂ na intenzitě větrání. [45]	43
Tabulka 8 Beaufortova stupnice síly větru. [37].....	57
Tabulka 9 Četnost měření dle roku výstavby.....	70
Tabulka 10 Rozdělení dle energetické náročnosti.	71
Tabulka 11 Rozdělení dle způsobu větrání.	72
Tabulka 12 Rozdělení dle místa výstavby.	73
Tabulka 13 Rozdělení dle Nosné svislé obvodové konstrukce.....	74
Tabulka 14 Rozdělení dle přítomnosti komínu.....	74
Tabulka 15 Rozdělení dle způsobu vytápění.	75
Tabulka 16 Rozdělení dle metody měření.	75
Tabulka 17 Četnost dle prováděcí firmy.....	76
Tabulka 18 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} pro celý soubor měření.	92
Tabulka 19 Četnost zastoupení protlaku přetlaku u naměřených hodnot.	96
Tabulka 20 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle způsobu větrání domů.	99
Tabulka 21 Výsledky Tukeyova testu.....	100
Tabulka 22 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle způsobu větrání uvedených v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	101
Tabulka 23 Výsledky Tukeyova testu dle požadavků na způsob větrání uvedených v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	102
Tabulka 24 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro všechna měření.....	103
Tabulka 25 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce a všechny hodnoty.....	103
Tabulka 26 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro pasivní domy.	104
Tabulka 27 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce a pasivní domy.	105
Tabulka 28 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla.....	106
Tabulka 29 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla.	107
Tabulka 30 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} dle svislé obvodové konstrukce pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním.....	107
Tabulka 31 Výsledky Tukeyova testu pro svislé obvodové konstrukce pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním.....	108
Tabulka 32 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na přítomnosti komínu pro všechny měření.	110
Tabulka 33 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na přítomnosti komínu pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	111

Tabulka 34 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na místě a způsobu výstavby pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	115
Tabulka 35 Výsledky Tukeyova testu pro vliv místa a způsob výstavby pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	116
Tabulka 36 Výsledky Fischerova LSD testu vlivu místa a způsobu výstavby na výslednou hodnotu průvzdušnosti pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	117
Tabulka 37 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na roku výstavby pro všechna měření.	118
Tabulka 38 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na roku výstavby pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	120
Tabulka 39 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na zvolené metodě pro všechna měření.	123
Tabulka 40 Statistický přehled naměřených hodnot n_{50} v závislosti na zvolené metodě pro pasivní domy.	124

Seznam obrázků

Obrázek 1 Potřeba energie na provoz stávajícího a současného domu, ND a PD, uvedeného Wh/(m ² ·a). [49]	18
Obrázek 2 Vztah potřeby energie na vytápění a energetická kritéria konstrukcí, které vytvářejí obvodový plášť stavby. [50].....	19
Obrázek 3 Umístění pasivního domu. [68]	23
Obrázek 4 Příklad ideálního umístění domu. Jižně orientovaná fasáda zůstává bez zastínění. [69]	23
Obrázek 5 Těžká obvodová konstrukce. [57]	27
Obrázek 6 Lehká obvodová konstrukce. [56]	27
Obrázek 7 Rybinový spoj. [54]	27
Obrázek 8 Roubenka. [53]	27
Obrázek 9 Příklad vícepatrových hrázděných staveb. [55].....	28
Obrázek 10 Příklad hrázděné stavby. [20]	28
Obrázek 11 Ocelová konstrukce Lindab.[59]	29
Obrázek 12 Dřevěná sloupková konstrukce letmá montáž. [58]	29
Obrázek 13 RD Rýmařov Nova 101. [61]	30
Obrázek 14 Způsob panelové výstavby. [60].....	30
Obrázek 15 Ocelová skeletová konstrukce.[63]	31
Obrázek 16 Schéma SIPs panelu. [62].....	31
Obrázek 17 CLT panely. [72]	32
Obrázek 18 Stavba z CLT panelu. [71].....	32
Obrázek 19 Příklad difúzně uzavřené skladby. [52]	34
Obrázek 20 Příklad difúzně otevřené skladby. [51].....	34
Obrázek 21 Princip zajištění vzduchotěsnosti. [33].....	36
Obrázek 22 Možná komplikace z důvodu rozdílné polohy HVV. [33]	37
Obrázek 23 Umístění instalačních rozvodu vůči HVV. [33].....	37
Obrázek 24 Paradox mezi větráním a úsporou energie. [42].....	39
Obrázek 25 Graf pro pohodu teploty vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. [43].....	41
Obrázek 26 Příklad skutečného měření - CO ₂ a relativní vlhkosti vzduchu. [42]	43
Obrázek 27 Decentrální jednotka s keramickou vložkou. [65].....	44
Obrázek 28 Trubičková decentrální jednotka. [64]	44
Obrázek 29 Rozvody centrální rekuperace. [67]	45
Obrázek 30 Centrální jednotka. [66].....	45
Obrázek 31 Schéma principu větracího zařízení se zpětným získáváním tepla. [46]46	46
Obrázek 32 Historie měření. [32]	46
Obrázek 33 Princip metody tlakového spádu s externím ventilátorem. [33].....	47
Obrázek 34 Princip metody tlakového spádu s interním ventilátorem. [33]	48
Obrázek 35 Princip metody s harmonickým proměnným tlakovým spádem. [33] ..	49
Obrázek 36 Vliv vzduchotěsnosti obálky budovy (hodnota n ₅₀) na energetickou náročnost pasivního rodinného domu. [33].....	52
Obrázek 37 Blowtest 3000.	53
Obrázek 38 Umístění měřícího zařízení se vzduchotěsnou plachtou.	54
Obrázek 39 Kouřová trubice KT1.....	55
Obrázek 40 Balónek na utěsnění.....	55
Obrázek 41 Průběh měření. [70]	56
Obrázek 42 Způsob výpočtu Čisté podlahy. [69]	58
Obrázek 43 Zabezpečení vzduchotěsníci vrstvy.....	59

Obrázek 44 Kouřová trubička.	63
Obrázek 45 Vyvíječ kouře. [73].....	63
Obrázek 46 Anemometr.	63
Obrázek 47 Utěsnění průchodu lokálního prvku rekuperace.....	64
Obrázek 48 Termosnímek utěsnění průchodu lokálního prvku rekuperace.	64
Obrázek 49 Výpočetní jednotka Blowtest 3000.	65
Obrázek 50 Návrh zakreslení objemových toků dle ČSN EN 13829 1-naměřený objemový tok,2- podtlak, 3- přetlak, 4- vypočtený tlakový rozdíl.....	66
Obrázek 51 Rozdělení dle roku výstavby.	69
Obrázek 52 Výsledek měření vzduchotěsnosti podle roku výstavby pro všechna měření. [33]	70
Obrázek 53 Dosažené průvzdušnosti měřených objektů v průběhu měřených objektů v průběhu hodnot. [82]	70
Obrázek 54 Rozdělení dle energetické náročnosti.....	71
Obrázek 55 Rozdělení dle způsobu větrání.....	72
Obrázek 56 Rozdělení dle místa výstavby.....	73
Obrázek 57 Porovnání vzduchotěsnosti dřevostaveb s různou technologií výstavby. Vlevo - všechny měřené dřevostavby bez rozlišení. Vpravo - pouze dřevostavby, u nichž byla uplatněna vzduchotěsnicí opatření. [33]	73
Obrázek 58 Rozdělení dle nosné svíslé obvodové konstrukce.	74
Obrázek 59 Rozdělení dle přítomnosti komínu.	74
Obrázek 60 Rozdělení dle způsobu vytápění.....	75
Obrázek 61 Rozdělení dle metody měření.	75
Obrázek 62 Četnost dle prováděcí firmy.	76
Obrázek 64 Instalace pouze na PUR pěnu.	78
Obrázek 63 Nedotěsněný roh okna.	78
Obrázek 65 Degradovaná PUR pěna po 2 letech užívání konstrukce.....	78
Obrázek 66 Nekvalitní expanzní páska.....	78
Obrázek 67 Připojovací spára střešního okna.	79
Obrázek 68 Sada na dotěsnění. [74].....	79
Obrázek 69 Únik pantem.	79
Obrázek 70 Horní pant u sklopně otvíravých otvorových výplní.....	79
Obrázek 71 Dřevěné okno na sraz.	80
Obrázek 72 Plastové okno na sraz.	80
Obrázek 73 Spodní kování posuvných dveří.	80
Obrázek 74 Horní kování posuvných dveří.	80
Obrázek 75 Detail celoobvodového těsnění.....	81
Obrázek 76 Dřevěné střešní okno.....	81
Obrázek 77 Zasklívací spára dřevěného okna.....	82
Obrázek 78 Zasklívací spára střešního okna.....	82
Obrázek 79 Plastová sestava na zámek.....	82
Obrázek 80 Dřevěná sestava na sraz.....	82
Obrázek 81 Napojení obvodové a stěnové konstrukce.	83
Obrázek 82 Spoj na butylový pásek.....	83
Obrázek 83 Napojení OSB desky na podlahovou konstrukci pomocí butylového pásku.....	83
Obrázek 84 Napojení CLT panelů na podlahovou konstrukci.....	83
Obrázek 85 Porušená parozábrana.	84
Obrázek 86 IR snímek OSB desky tloušťky 15 mm.....	84

Obrázek 87 Nenapojená parozábrana.	85
Obrázek 88 Parozábrana venkem.	85
Obrázek 89 Napojení stropní a obvodové konstrukce.	85
Obrázek 90 Nekvalitní polepení stopní konstrukce.	85
Obrázek 91 Neprolepený otvor pro schody.	86
Obrázek 92 Únik do stropní konstrukce.	86
Obrázek 93 Nekvalitní prolení konstrukcí.	86
Obrázek 94 Spoj parozábran, takzvaný varháněk.	86
Obrázek 95 Únik okolo vrcholové vaznice.	87
Obrázek 96 Neprolepená kleština.	87
Obrázek 97 Elektroinstalace v konstrukci bez předstěny.	88
Obrázek 98 Neutěsnitelný detail svazku kabelů.	88
Obrázek 99 Nedotěsněné odpadní potrubí.	88
Obrázek 100 Těsnění PUR pěnou.	88
Obrázek 101 Únik vzduchu skrz betonový komín.	89
Obrázek 102 Únik vzduchu do pláště komínu.	89
Obrázek 103 Únik přes ovládání předokenních žaluzií.	89
Obrázek 104 Únik z interiéru do roletových boxů.	89
Obrázek 105 Neutěsněná elektroinstalace ve vnitřní příčce.	90
Obrázek 106 Nesprávně provedená hlavní vzduchotěsnicí vrstva u vnitřní příčky.	90
Obrázek 108 Nedotěsněné rozvody ve zděné stavbě.	91
Obrázek 107 Vlasová trhlina v omítce s viditelnou infiltrací vzduchu.	91
Obrázek 109 Neomítnutý otvor pro interiérové dveře.	91
Obrázek 110 Infiltrace do neomítnutého zdiva.	91
Obrázek 111 Vliv realizační firmy na hodnoty n_{50} u pasivních domů.	93
Obrázek 112 Vliv realizační firmy na hodnoty n_{50} u nízkoenergetických domů.	95
Obrázek 113 Bodový graf - závislost průtoku vzduchu V_{50} při přetlaku a podtlaku pro všechna měření.	97
Obrázek 114 Závislost výsledků objemového toku při podtlaku a přetlaku vzhledem k požadavkům průvzdušnosti pro budovy s odlišným způsobem větrání.	98
Obrázek 115 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu pro všechna měřená data rozdělených dle typu větrání.	100
Obrázek 116 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí rozdělených dle typu větrání.	102
Obrázek 117 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro všechna měření.	103
Obrázek 118 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro pasivní budovy.	105
Obrázek 119 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro budovy s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla.	106
Obrázek 120 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na druhu nosné obvodové konstrukce pro budovy s přirozeným nebo kombinovaným větráním.	108
Obrázek 121 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na přítomnosti komínového pro všechna měření.	110
Obrázek 122 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na přítomnosti komínového pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	111

Obrázek 123 Závislost vzduchové průvzdušnosti na objemu budov dle způsobu větrání a požadavků popsaných v tabulce 3 pro všechna měření.	112
Obrázek 124 Závislost vzduchové průvzdušnosti na objemu budov dle způsobu větrání a požadavků popsaných v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	113
Obrázek 125 Vliv vnitřního vytápěného objemu budovy a podlahové plochy na výslednou hodnotu vzduchové průvzdušnosti.	114
Obrázek 126 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na místě a typu výstavby 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	116
Obrázek 127 Závislost průvzdušnosti na roku výstavby budov dle způsobu větrání uvedených v tabulce 3 pro všechna měření.	119
Obrázek 128 Závislost průvzdušnosti na roku výstavby budov rozdělaná dle způsobu větrání uvedených v tabulce 3 pro budovy s nosnou rámovou konstrukcí.	121
Obrázek 129 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na zvolené metodě měření pro všechna měření.	124
Obrázek 130 Výsledné hodnoty jednofaktorové analýzy rozptylu v závislosti na zvolené metodě měření pro pasivní domy.	125

Příloha 1 Přihláška pro test průvzdušnosti

ZÁVAZNÁ OBJEDNÁVKA DIAGNOSTIKY BUDOV			
(obch.jméno nebo jméno a příjmení fyz. osoby)			
2. Obec:	3. IČO:	4. *	
5. Ulice, č.:	6. PSČ:	7. Stát:	
8. tel.:	9. fax:	10. email:	
11. Bankovní	12. Číslo		
13. Statutární	14. tel.:	15.	
16. Zplnomocněný	17. tel.:	18.	
(pokud není shodný s žadatelem)			
20. Obec:	21. Ulice.	22. *	23.
24.	25. fax:	26.	
jedna stavba		více staveb (pro další stavbu použijte nový formulář, u dat objednatele stačí uvést jen	
28. Obec:	29. Ulice.	29. *	30.
30. Kraj:	31. Číslo	32.	
33. Typ stavby: (volbu označte křížkem)			
TĚŽKÝ SKELET		VÝROBA A MONTÁŽ NA STAVENIŠTI	
LEHKÝ SKELET		ČÁSTEČNÁ PREFABRIKACE	
ROUBENÁ nebo SRUBOVÁ		ÚPLNÝ NEBO PŘEVLÁDAJÍCÍ STUPEŇ PREFABRIKACE	
Jiná konstrukce:			
34. Rok	35. Typ		
36. TZB -	37. Výška		m (od úrovně terénu po hřeben)
38. Vnitřní zastavěná	m ²	Zastavěná plocha bez plochy obvodových stěn. (vnitřní stěny se	
39. Vnitřní obestavěný	m ³	Obestavěný prostor stavby bez objemu obvodových stěn.	
40. Plocha pláště budovy:	m ²	Celková plocha pláště kolem vnitřního obestavěného prostoru.	
K objednávce přiložte projektovou dokumentaci objektu v minimálním rozsahu – půdorysy podlaží a svislý			
41.			
BLOWERDOOR TEST (volbu označte křížkem)			
42. MĚŘENÍ A – CERTIFIKAČNÍ dle ČSN EN 13829		43. MĚŘENÍ B – PŘÍPRAVNÉ dle ČSN EN	
AKUSTICKÁ MĚŘENÍ (volbu označte křížkem a)			
44. AKUSTIKA DLE ISO 140-4 VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST		počet konstrukcí	45. AKUSTIKA DLE ISO 140-7 KROČŘEJOVÁ NEPRŮZVUČNOST
46. STAV BUDOVY V DOBĚ			
Objednatel prohlašuje, že objekt popsaný v polích 27-40 splňuje požadavky připravenosti k provedení měření. Tyto požadavky jsou definované na druhé straně objednávky. Čtete pozorně tyto instrukce. Připravenost pro Přípravné měření a pro Certifikační měření se částečně liší. Odesláním objednávky stvrzujete, že objekt již <u>splňuje</u> uvedené požadavky. Stav budovy před akustickými			
TERMOGRAFIKÁ			
Základní analýza = 4 fotografie v protokol o zkoušce			
Rozšířené měření = 6 fotografií v protokol o zkoušce			
Další měření do 50 km od 1 stavby dle rozsahu měření+ protokol o zkoušce			



Příloha 2 Ukázka výstupu z měřícího zařízení

Prüfbericht zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit gem. EN 13829

Objekt : ██████████ Auftraggeber : ██████████
 PLZ / Ort : Simonovice Straße : Liberecký
 Datum / Zeit : 11.02.2016 / 10:21 und 11.02.2016 / 10:28
 Messgerät : blowtest 3000

Angaben zum Objekt

Meßort / Raum : vchodove dveře Gebäudehöhe : 7 m
 Einbauort : Art der Heizung : podle,nuc,ko,uza,pd
 Netto-Grundfläche A_T : 120 m² und Lüftungsanlage :
 Raumvolumen V : 302 m³ Meßverfahren : A
 Hüllflächen A_E : 267 m²

Messwerte (Unterdruck)

Druckdifferenz	71	66	56	49	40	32	24	17	0	0
Volumenstrom	452	434	400	358	288	268	223	161	0	0

Strömungskoeffizient $C_{m,uv}$ = 34.30 m/(h Pa^{0.5}) $VB_{m,uv}$ = 28,4 bis 41,4
 Strömungsexponent n = 0.62 VB_n = 0.56 bis 0.67
 Leckagekoeffizient C_L = 33.90 m/(h Pa^{0.5}) VB_L = 26,1 bis 41,0
 Leckagestrom V_{L0} = 376 ml/h
 Luftdurchlässigkeit q_{L0} = 1.41 ml/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{L0} = 3.13 ml/(h m²)
 Luftwechselrate n_{L0} = 1.25 h⁻¹

Messbedingungen (Unterdruck)

Windstärke = 2 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 4.1 °C $\Delta p_{0,1}$ = -2.20 Pa $\Delta p_{0,2}$ = -1.01 Pa
 Innentemperatur = 10.0 °C $\Delta p_{0,1*}$ = 0.00 Pa $\Delta p_{0,2*}$ = 0.00 Pa
 Luftdruck = 951.00 mbar $\Delta p_{0,1s}$ = -2.20 Pa $\Delta p_{0,2s}$ = -1.01 Pa

Messwerte (Überdruck)

Druckdifferenz	72	63	57	48	40	33	24	17	0	0
Volumenstrom	421	416	357	315	276	238	204	147	0	0

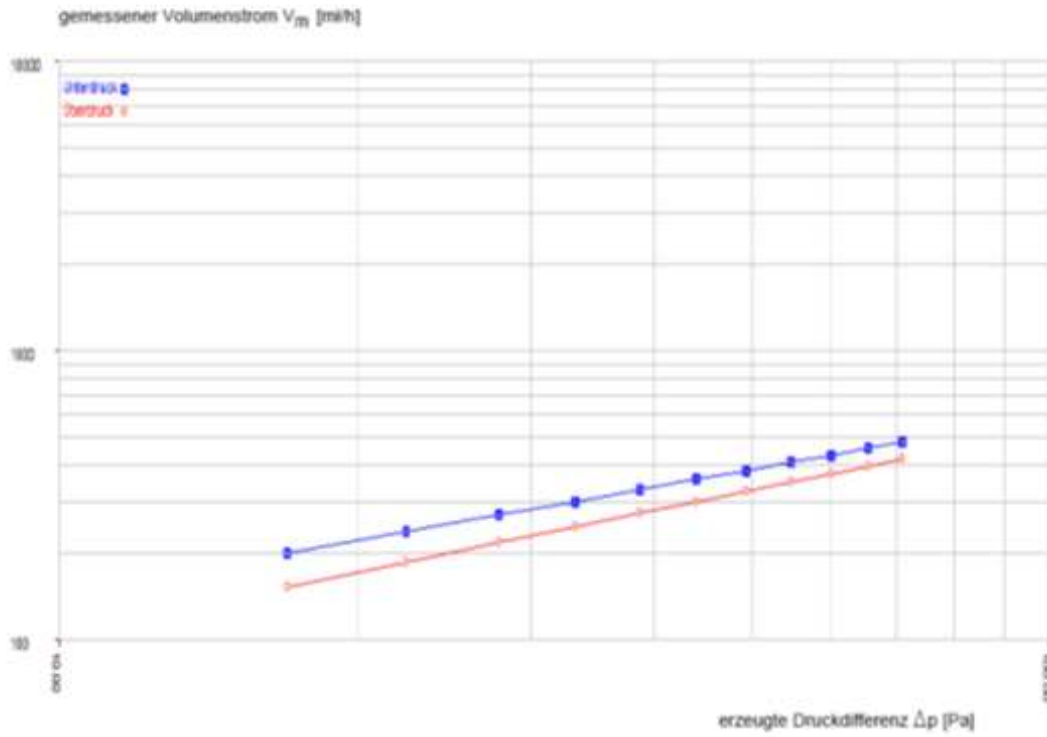
Strömungskoeffizient $C_{m,uv}$ = 20.40 m/(h Pa^{0.5}) $VB_{m,uv}$ = 16,0 bis 26,1
 Strömungsexponent n = 0.71 VB_n = 0.65 bis 0.78
 Leckagekoeffizient C_L = 20.50 m/(h Pa^{0.5}) VB_L = 16,0 bis 26,2
 Leckagestrom V_{L0} = 333 ml/h
 Luftdurchlässigkeit q_{L0} = 1.25 ml/(h m²)
 nettogrundflächenbezogener Leckagestrom W_{L0} = 2.77 ml/(h m²)
 Luftwechselrate n_{L0} = 1.10 h⁻¹

Messbedingungen (Überdruck)

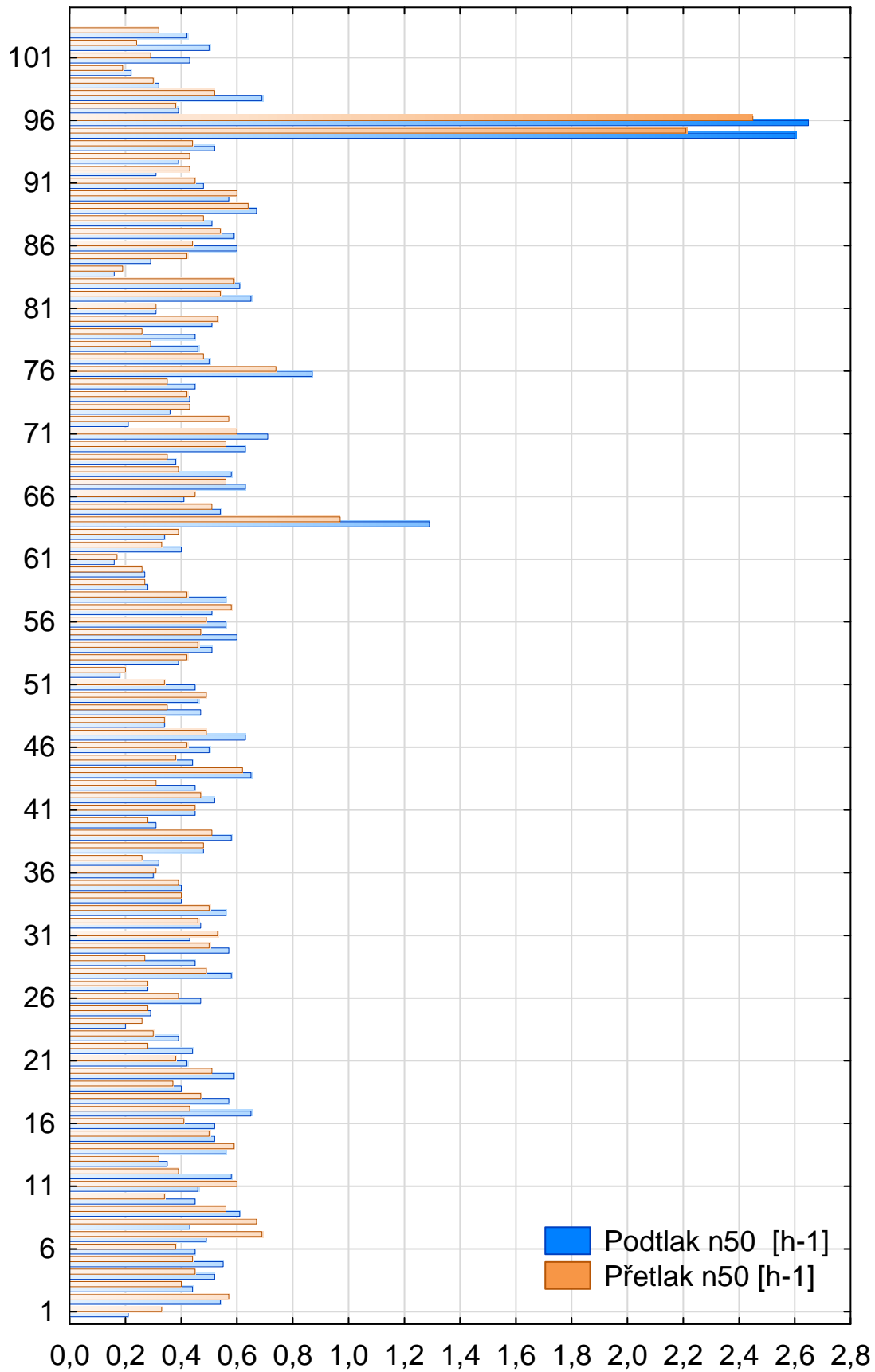
Windstärke = 2 Beaufort natürliche Druckdifferenz:
 Außentemperatur = 4.1 °C $\Delta p_{0,1}$ = -2.20 Pa $\Delta p_{0,2}$ = -1.01 Pa
 Innentemperatur = 10.0 °C $\Delta p_{0,1*}$ = 0.00 Pa $\Delta p_{0,2*}$ = 0.00 Pa
 Luftdruck = 951.00 mbar $\Delta p_{0,1s}$ = -2.20 Pa $\Delta p_{0,2s}$ = -1.01 Pa

arithmetischer Mittelwert der Unter- und Überdruckmessung

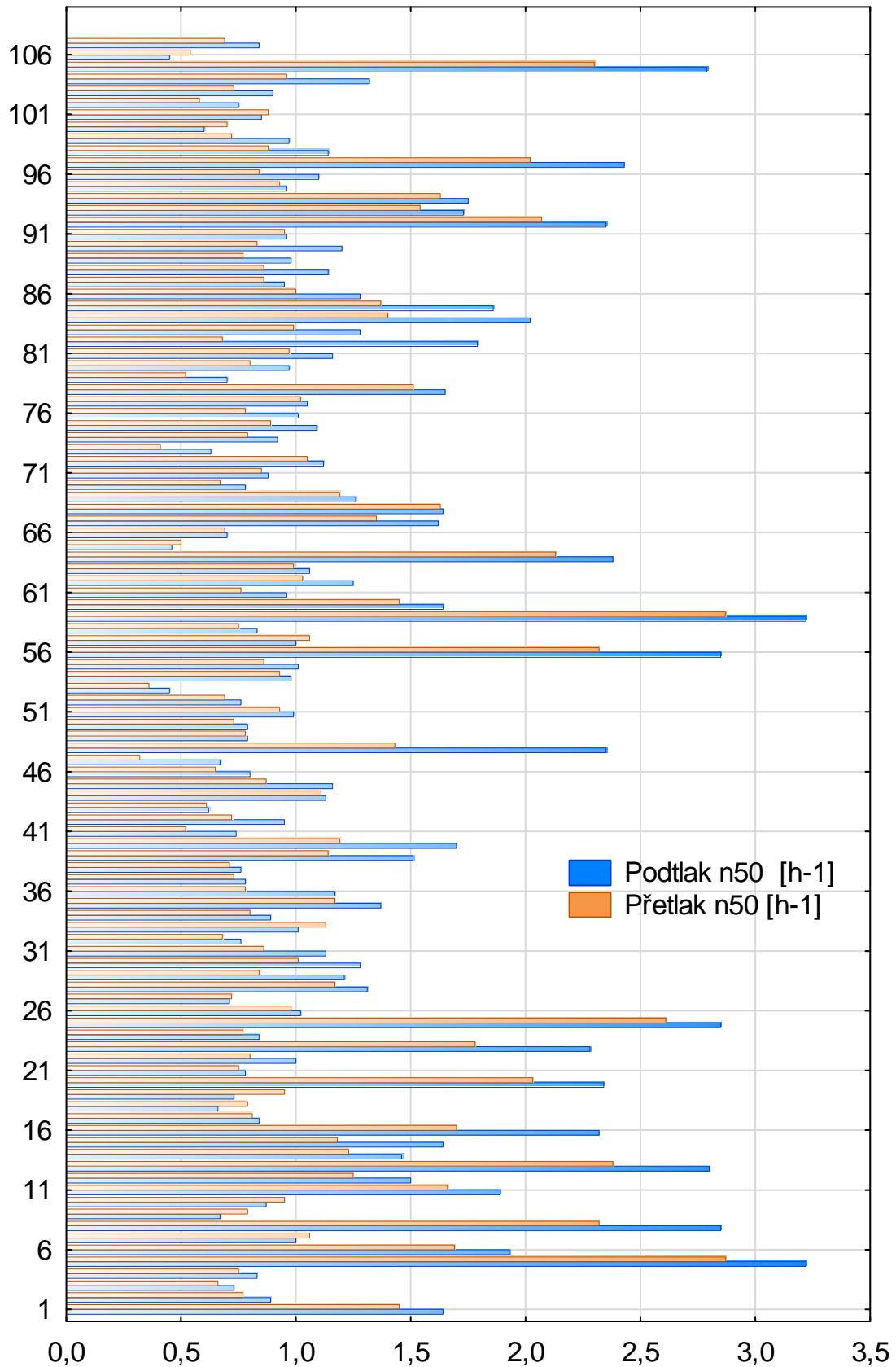
Leckagestrom V_{L0} = 354.5 ml/h
 Luftwechselrate n_{L0} = 1.2 h⁻¹



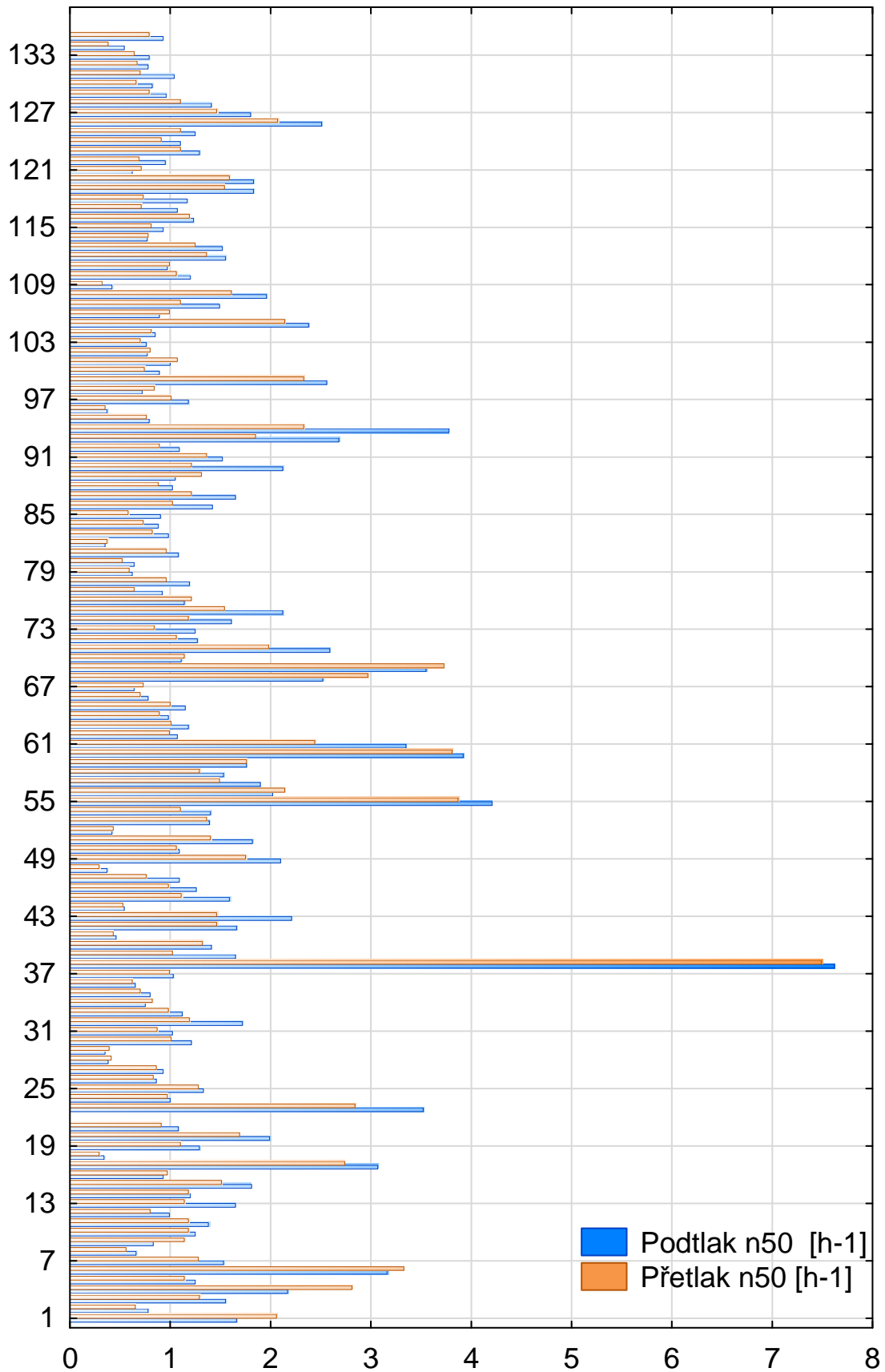
Příloha 3 Přehled naměřených hodnot pro pasivní domy



Příloha 4 Přehled naměřených hodnot budov s nuceným větráním a zpětným získáváním tepla



Příloha 5 Přehled naměřených hodnot budov s přirozeným větráním



Příloha 6 Normální rozložení naměřených dat

Níže je zobrazen příklad ověření normality naměřených dat pro výběr domů s rámovou konstrukcí a s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění. Shora dolů, zleva doprava, jsou zobrazeny: histogram, krabicový graf rozpětí a intervalu spolehlivosti, normální pravděpodobnostní graf s výsledky Shapiro-Wilkova testu a základní statistické údaje

