

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí**



**Diplomová práce**

**Hodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických  
dřevostaveb metodou blower-door test**

**Autor: Bc. Viktor Kořínek**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Böhm Ph.D.**

**2013**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kořínek Viktor

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Hodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických dřevostaveb metodou blower-door test**

Anglický název

**Estimation of air permeability of low-energy wooden houses using the blower-door test**

### Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických dřevostaveb postavených v posledních letech na území ČR při použití metody blower-door test. Součástí práce je posouzení důležitosti jednotlivých parametrů, které průvzdušnost ovlivňují.

### Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky a metodiky měření průvzdušnosti metodou blower-door test
3. Vypracování literární rešerše
4. Výběr vhodných objektů pro měření
5. Provedení zkušebních měření ve spolupráci s pracovníky Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského
7. Vyhodnocení zjištěných výsledků zkoušek
8. Dokončení a odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě (součástí diplomové práce je abstrakt a klíčová slova v českém a světovém jazyce – angličtině).

### Harmonogram zpracování

- 2/2012 - zadání diplomové práce
- 3/2012 - 8/2012 - zpracování literární rešerše
- 4/2012 - 12/2012 - provedení zkušebních měření
- 1/2013 - 3/2013 - vyhodnocení naměřených dat
- 3/2013 - odevzdání práce ke kontrole vedoucímu
- 4/2013 - odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě

## Rozsah textové části

textová část 40-60 stran, přílohy 10-20 stran

## Klíčová slova

průvzdušnost, dřevostavba, nízkoenergetická, blower-door test

## Doporučené zdroje informací

1. Doležal, J. (1973): Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu. Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Středisko interních publikací.
2. Kolb, J. (2007): Dřevostavby - Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Grada, ISBN: 978-80-247-2275-7.
3. Kuklík, P., Reinprecht, L., Štefko, J. (2009): Dřevěné stavby - Konstrukce, ochrana a údržba. Jaga, ISBN: 978-80-8076-080-9.
4. Tywoniak, J. (2005): Nízkoenergetické domy - Principy a příklady. Grada, ISBN: 80-247-1101-X.
5. Vědecké články na dané téma z databází dostupných z <http://infozdroje.sic.czu.cz/>.
6. Příslušné normy ČSN EN.

## Vedoucí práce

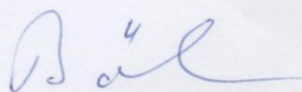
Böhm Martin, doc. Ing., Ph.D.

## Konzultant práce

Ing. Jaromír Srba

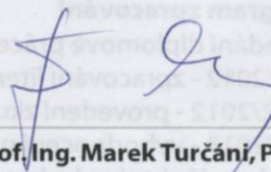
## Termín odevzdání

duben 2013



doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan fakulty

V Praze dne 25.3.2013

## Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Hodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických dřevostaveb metodou blower-door test“ vypracoval samostatně a použil jsem jen té literatury, která je uvedena v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne

---

## Poděkování

Mé upřímné poděkování patří doc. Martinu Böhmovi, Ph.D. za obětavou pomoc, ochotu a cenné připomínky, které mi v průběhu zpracování poskytl. Panu Ing. Miroslavu Srbovi a VVUD za poskytnutí praktických zkušeností a hlavně dat pro můj výzkum.

Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi jakkoliv pomohli a při zpracování práce podpořili.

V neposlední řadě patří mé poděkování celé rodině za morální pomoc a podporu při studiu.

# Hodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických dřevostaveb metodou blower-door test

**Abstrakt:** Diplomová práce je zaměřena na hodnocení průvzdušnosti nízkoenergetických domů v České republice. Představuje metody měření neprůvzdušnosti se zaměřením na blower-door test. Vzduchovou neprůvzdušnost ovlivňuje mnoho faktorů, jako přítomnost komínu, způsob větrání, rok výroby, kvalita projektů a provedení, úroveň prefabrikace či výběr stavební firmy. Několik desítek nízkoenergetických budov bylo podrobena měření neprůvzdušnosti a výsledky byly vyhodnoceny statistickými a grafickými metodami s cílem zhodnotit míru, jakou zmíněné prvky ovlivňují hodnotu neprůvzdušnosti.

**Klíčová slova:** průvzdušnost, vzduchotěsnicí systém, pronikání vzduchu, nízkoenergetický dům, blower-door test, dřevostavba.

## Estimation of air permeability of low-energy wooden houses using the blower-door test

**Summary:** The theses is focused on the evaluation of the factors influencing the non-airtightness in low-energy buildings in the Czech Republic. It presents methods of measuring airtightness focusing on blower-door test. Airtightness is influenced by many factors such as a presence of chimney, ventilation system, year of fabrication, project quality and implementation, level of prefabrication and construction company selection. Several dozen of low-energy buildings were subjected to measurement of airtightness and the results were analyzed by statistical and graphical methods to evaluate the degree of how those factors influencing the value of airtightness.

**Keywords:** airtightness, air barrier system, air infiltration, low-energy Buildings, blower-door test, wooden building.

# Obsah

<b>1.1</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3</b>	<b>SEZNAM ROVNIC .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b><u>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</u></b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b><u>ÚVOD .....</u></b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b><u>CÍL PRÁCE .....</u></b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b><u>LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</u></b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>DEFINICE BUDOV A JEJICH ENERGETICKÝCH STANDARDŮ .....</b>	<b>13</b>
5.1.1	NÍZKOENERGETICKÝ DŮM .....	13
5.1.2	PASIVNÍ DŮM.....	13
5.1.3	NULOVÝ DŮM.....	13
5.1.4	AKTIVNÍ DŮM.....	15
<b>6</b>	<b><u>PRŮVZDUŠNOST.....</u></b>	<b>15</b>
<b>6.1</b>	<b>DETEKCE NETĚSNOSTÍ V OBÁLCE BUDOVY .....</b>	<b>17</b>
6.1.1	DETEKCE ANEMOMETREM .....	17
6.1.2	DETEKCE TERMOVIZNÍM SNÍMKOVÁNÍM .....	18
6.1.3	VIZUALIZACE DÝMEM.....	19
<b>6.2</b>	<b>PŘÍKLADY TYPICKÝCH NETĚSNOSTÍ.....</b>	<b>20</b>
6.2.1	DEFEKTY HLAVNÍ VZDUCHOTĚSNÍCÍ VRSTVY .....	20
6.2.2	STYK OBVODOVÉ STĚNY A PODLAHY .....	21
6.2.3	SPOJE OKOLO DVEŘÍ A OKEN.....	21
6.2.4	OTVORY U ELEKTROINSTALAČNÍCH ROZVODŮ .....	21
<b>7</b>	<b><u>METODIKA MĚŘENÍ PŘI ZKOUŠCE BLOWER-DOOR TEST .....</u></b>	<b>22</b>
<b>7.1</b>	<b>BLOWER-DOOR TEST .....</b>	<b>22</b>
<b>7.2</b>	<b>VÝSTUPY Z MĚŘENÍ.....</b>	<b>23</b>
<b>7.3</b>	<b>NÁZEV PROVÁDĚCÍ FIRMY .....</b>	<b>26</b>
<b>7.4</b>	<b>ROK MĚŘENÍ .....</b>	<b>26</b>
<b>7.5</b>	<b>TYP STAVBY .....</b>	<b>27</b>
7.5.1	SILIKÁTOVÁ KONSTRUKCE .....	27
7.5.2	RÁMOVÉ KONSTRUKCE .....	27
7.5.2.1	KLASICKÁ RÁMOVÁ KONSTRUKCE .....	27
7.5.2.2	PANELOVÁ KONSTRUKCE.....	27
7.5.3	PANELY CLT - CROSS LAMINATED TIMBER.....	29
7.5.4	SIPS PANELY .....	29
<b>7.6</b>	<b>MÍSTO VÝROBY .....</b>	<b>30</b>
7.6.1	PREFABRIKACE PODLE STUPNĚ DOKONČENÍ.....	30
7.6.2	VÝHODY A NEVÝHODY PREFABRIKACE.....	31
<b>7.7</b>	<b>PLOCHA PODLAHY.....</b>	<b>32</b>
<b>7.8</b>	<b>OBJEM BUDOVY .....</b>	<b>32</b>

<b>7.9</b>	<b>PLOCHA PLÁŠTĚ .....</b>	<b>32</b>
<b>7.10</b>	<b>KOMÍN .....</b>	<b>32</b>
<b>7.11</b>	<b>TYP VYTÁPĚNÍ .....</b>	<b>33</b>
<b>7.12</b>	<b>TYP VĚTRÁNÍ .....</b>	<b>33</b>
<b>7.13</b>	<b>METODA MĚŘENÍ A A B .....</b>	<b>34</b>
<b>7.14</b>	<b>MĚŘENÍ TLAKŮ N<sub>50</sub> A V<sub>50</sub>.....</b>	<b>34</b>
<b>7.15</b>	<b>TEPLOTA VNITŘNÍ A TEPLOTA VNĚJŠÍ .....</b>	<b>35</b>
<b>7.16</b>	<b>ATMOSFÉRICKÝ TLAK.....</b>	<b>35</b>
<b>7.17</b>	<b>POVĚTRNOSTNÍ PODMÍNKY .....</b>	<b>36</b>
<b>8</b>	<b><u>VÝSLEDKY.....</u></b>	<b><u>37</u></b>
<b>8.1</b>	<b>VLIV VÝBĚRU PROVÁDĚCÍ FIRMY NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI.....</b>	<b>37</b>
<b>8.2</b>	<b>VLIV ROKU VÝSTAVBY NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI .....</b>	<b>39</b>
<b>8.3</b>	<b>VLIV PŘÍTOMNOSTI KOMÍNU NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI .....</b>	<b>40</b>
<b>8.4</b>	<b>VLIV ZPŮSOBU VÝROBY BUDOVY NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI .....</b>	<b>42</b>
<b>8.5</b>	<b>VLIV TYPU KONSTRUKCE NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI.....</b>	<b>43</b>
<b>8.6</b>	<b>VLIV TYPU VĚTRÁNÍ BUDOVY NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI .....</b>	<b>44</b>
<b>8.7</b>	<b>ZÁVISLOST PŘETLAKU A PODTLAKU N<sub>50</sub> V PRŮBĚHU BLOWER-DOOR TESTU.....</b>	<b>45</b>
<b>8.8</b>	<b>VLIV MĚŘENÍ METODOU A A B NA PRŮMĚRNOU PRŮVZDUŠNOST.....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b><u>DISKUSE.....</u></b>	<b><u>48</u></b>
<b>10</b>	<b><u>ZÁVĚR .....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b>11</b>	<b><u>SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY .....</u></b>	<b><u>54</u></b>
<b>12</b>	<b><u>PŘÍLOHY.....</u></b>	<b><u>57</u></b>



## 1.1 Seznam tabulek

TAB. 1 - REFERENČNÍ HODNOTA FAKTORU ENERGETICKÉ PŘEMĚNY PRO PŘEPOČET NA HODNOTY PRIMÁRNÍ ENERGIE Z NEOBNOVITELNÝCH ZDROJŮ .....	14
TAB. 2 DOPORUČENÉ HODNOTY CELKOVÉ INTENZITY VÝMĚNY VZDUCHU $N_{50}$ .....	16
TAB. 3 BEAUFORTOVA STUPNICE SÍLY VĚTRU .....	36
TAB. 4 : POČET MĚŘENÝCH DOMŮ U JEDNOTLIVÝCH FIREM.....	38

## 1.2 Seznam obrázků

OBR. 1 MĚŘENÍ ANEMOMETREM NA SPÁŘE OSB DESKY .....	17
OBR. 2 OKENNÍ RÁM V BĚŽNÉM SPEKTRU .....	18
OBR. 3 OKENNÍ RÁM V INFRAČERVENÉM SPEKTRU S PŘIROZENÝM TLAKEM V INTERIÉRU .....	18
OBR. 4 OKENNÍ RÁM V INFRAČERVENÉM SPEKTRU S PODTLAKEM V INTERIÉRU.....	18
OBR. 5 KOUŘOVÁ TYČINKA A PROUD KOUŘE DETEKUJÍCÍ NETĚSNOST. ....	19
OBR. 6 NEJČASTĚJŠÍ NETĚSNOSTI DOMŮ .....	20
OBR. 7 GRAF PRŮNIKU VZDUCHU .....	24
OBR. 8 DOSAŽENÉ PRŮVZDUŠNOSTI MĚŘENÝCH OBJEKTŮ V PRŮBĚHU LET 1996–2011 S VYLOUČENÍM MAXIMÁLNÍCH HODNOT .....	26
OBR. 8 PANEL ZKONSTRUOVANÝ SYSTÉMEM CLT .....	29
OBR. 9 VLIV VÝBĚRU PROVÁDĚCÍ FIRMY NA HODNOTY VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI $N_{50}$ .....	37
OBR. 10 ZAKLÁPĚNÍ ZATEPLENÉHO DOMU .....	38
OBR. 11 VÝVOJ HODNOT PRŮVZDUŠNOSTI V LETECH 2009- 2012.....	39
OBR. 12 VLIV PŘÍTOMNOSTI KOMÍNU V KONSTRUKCI STAVBY NA HODNOTY VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI $N_{50}$ .....	40
OBR. 13 POROVNÁNÍ ROZPTYLU INTERVALŮ .....	41
OBR. 14 VLIV MÍSTA A ZPŮSOBU VÝROBY NA VÝSLEDNÉ PRŮVZDUŠNOSTI $N_{50}$ .....	42
OBR. 15 VLIV TYPU KONSTRUKCE NA HODNOTU VZDUCHOVÉ PRŮVZDUŠNOSTI .....	43
OBR. 16 KRABICOVÝ GRAF ZNÁZORŇUJÍCÍ ZÁVISLOST PRŮVZDUŠNOSTI NA TYPU VĚTRÁNÍ.....	45
OBR. 17 VZTAH MEZI PŘETLAKEM $N_{50}$ A PODTLAKEM $N_{50}$ BĚHEM JEDNOHO MĚŘENÍ .....	46
OBR. 18 GRAF NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ PRŮVZDUŠNOSTI U METODY A A B.....	47

## 1.3 Seznam rovnic

RYCHLOST VÝMĚNY VZDUCHU $N_{50}$ .....	25
OBJEMOVÝ TOK VZDUCHU NETĚSNOSTMI $W_{REF}$ .....	25
DÁLE EKVIVALENTNÍ PLOCHU NETĚSNOSTÍ $A_{L,REF}$ .....	25
VZDUCHOVÁ PROPUSTNOST BUDOVY $Q_{REF}$ .....	26

## 2 Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/symbol	Definice	Jednotka
ND	Nízkoenergetický dům	
PD	Pasivní dům	
HVV	Hlavní vzduchotěsnící vrstva	
VVUD	Výzkumný a vývojový ústav dřevařský v Praze	
$n_{ref}$	Referenční vzduchová průvzdušnost	$[h^{-1}]$
$V_{ref}$	Referenční objemový toku vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$V_{50}$	Objemový toku vzduchu při referenčním tlaku 50 Pa	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$n_{50}$	Vzduchová průvzdušnost při referenčním tlaku 50 Pa	$[h^{-1}]$
U	součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$PE_A$	primární energie z neobnovitelných zdrojů	
$R^2$	Korelační koeficient	
V	Objem	$[m^3]$
$w_{ref}$	Měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi	$[m^2]$
$A_F$	Celková podlahová plocha budovy	$[m^2]$
$A_{L,ref}$	Ekvivalentní plocha netěsností	
$\rho$	Hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\Delta p_{ref}$	Referenční tlakový rozdíl	$[Pa]$
$C_D$	Výtokový součinitel	
$q_{ref}$	Vzduchová propustnost budovy	$[m^2]$
OSB	Oriented Strand Board	
CLT	Cross laminated timber	
SIP's	structural insulated panels	
EPS	expandovaný polystyren	
XPS	extrudovaný polystyren	

### 3 Úvod

Vlivem neustálého růstu cen energií se v České republice i v zahraničí stává trendem stavět budovy s co nejmenšími energetickými požadavky. Od nízkoenergetických budov až po budovy aktivní jsou stupňovány nároky na konstrukční vlastnosti, které mají za cíl snižovat spotřebu energií z běžných sítí a tím i snižovat finanční nároky budov. Zařazení domu do jedné z energetických kategorií (nízkoenergetický dům, pasivní dům, nulový dům, aktivní dům) ovlivňuje mnoho parametrů. Spotřeba kilowatthodin na metr čtvereční za rok, součinitel prostupu tepla stěnových konstrukcí, způsob vytápění a větrání a hlavně vzduchová průvzdušnost konstrukce, na kterou bude tato práce zaměřená.

Hodnota vzduchové průvzdušnosti domu ovlivňuje rychlost a intenzitu unikání ohřátého, případně ochlazeného vzduchu z budovy ven, a proto je důležitým parametrem, který je snaha co nejvíce snižovat. Tato snaha s sebou nese vysoké nároky na kvalitu připravovaného projektu a zároveň maximální pečlivost při konstrukci domu.

Nedodržení správných postupů, či nepoužití doporučených materiálů, má na průvzdušnost domu velmi silný vliv. Navíc existují vlivy, které mohou výslednou průvzdušnost značně ovlivnit a tato práce by část těchto vlivů měla odhalit, popsat a poskytnout závěry, z nichž bude možné hodnotu průvzdušnosti co nejvíce snížit.

Hlavním nástrojem pro zjištění kvality provedení hlavní vzduchotěsnicí vrstvy domu je blower-door test. Tento test, měřicí přístroj i metodika jeho použití v praxi není náročná a je efektivně schopná zjistit kvality postaveného domu, případně napomoci k odstranění defektů vzduchotěsnicí vrstvy v obvodovém plášti. Na základě této metody bylo změřeno několik desítek budov v České republice, přesněji řečeno nízkoenergetických rodinných domů a získané hodnoty spolu s fotografiemi a protokoly napomohly vzniku této práce.

## 4 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení vlivů působících na průvzdušnost nízkoenergetických domů v České republice. Z několika desítek měřených nízkoenergetických budov jsou na základě certifikačních protokolů vyhodnoceny vlivy a závislosti, které mohou ovlivňovat průvzdušnost budov.

V literární rešerši jsou definovány energetické standardy budov a je vysvětlen pojem vzduchová neprůvzdušnost. Dále je literární rešerše věnována problematice měření průvzdušnosti budov pomocí blower-door testu, detekci chyb v hlavní vzduchotěsnicí vrstvě, uvedení nejčastějších netěsností a návrhům na odstranění případných defektů.

V metodické části jsou představeny všechny měřené veličiny získané z certifikačních protokolů techniků VVUD a vše, co se jich týká.

Výzkum vyhodnocuje předpoklady odhadující zvýšení průvzdušnosti při instalaci komínového systému do budovy. Objasňuje, zda má výběr prováděcí firmy a konstrukce nízkoenergetického domu vliv na hodnotu průvzdušnosti či nikoli. Také odhaluje, zda kvalita budovaných domů roste s časem a vývojem technologií. Jedním z hlavních zkoumaných jevů je také vliv prefabrikace stěnových konstrukcí na průvzdušnost stavby. Z výzkumu dále vyplývá vliv volby konstrukce budovy na celkovou průvzdušnost domu a zkoumá i možný vliv instalace rekuperačního systému jako způsobu nuceného větrání oproti větrání přirozenému na celkovou průvzdušnost. Na několika desítkách budov je otestována závislost hodnoty průvzdušnosti během blower-door testu při podtlaku a přetlaku o 50 Pa. Diplomová práce si také klade za cíl zjistit, zda může být výsledek průvzdušnosti budovy ovlivněn použitím jedné z metod měření A a B.

Výsledků je dosaženo použitím grafického vyjádření hodnot a statistickými postupy. Pro zjištění výsledných vlivů je použita tabulka s hodnotami získanými pro 59 nízkoenergetických domů postavených v období 2008 – 2012 na území České republiky a statistický program Statistika 10.

## 5 Literární rešerše

### 5.1 Definice budov a jejich energetických standardů

#### 5.1.1 Nízkoenergetický dům

Za nízkoenergetickou budovu považujeme podle parametrů normy ČSN 730540:2 takovou budovu, která svou roční měrnou spotřebou tepla nepřesahuje  $50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ . V této energetické kategorii není v normě uveden interval, který by průvzdušností jasně charakterizoval nízkoenergetický dům. V literatuře jsou uvedené pouze doporučené hodnoty, které se vztahují k větrání budovy a jsou s vytápěním v synergii. Doporučené hodnoty průvzdušnosti budovy jsou u nízkoenergetických domů  $n_{50}$   $0,61 - 1,0 \text{ h}^{-1}$ . Vztahu větrání a průvzdušnosti pláště je podrobně věnovaná kapitola 7.12 a 8.6. [2], [15]

#### 5.1.2 Pasivní dům

Budova v pasivním standardu má roční spotřebu tepla na metr čtvereční menší než  $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ . Velice důležitou roli zde hraje průvzdušnost budovy. Na její hodnotu je kladen velký důraz. Hodnota  $n_{50}$  zde nesmí být vyšší než  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . [15] „*Současně nesmí u těchto budov celkové množství primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev teplé vody a elektrická energie pro spotřebiče a osvětlení) překračovat hodnotu  $120 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ .* [15]“

Technická specifikace pasivního domu se stále upřesňuje podle výpočetního modelu, jeho předpokladů a podle stále získávaných praktických zkušeností. Dalšími požadavky na pasivní domy jsou výpočet součinitele prostupu tepla  $U$ , který musí být menší nebo roven  $0,15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrný příkon tepla musí být menší nebo roven  $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , hodnotí se efektivnost přípravy teplé vody i zajištění pohody prostředí v letním období. [3], [15]

#### 5.1.3 Nulový dům

Tento typ domu zatím není nijak běžný. Na území České republiky můžeme tímto označením nazvat necelých deset staveb. V sousedním Rakousku jich však již nalezneme desítky. Nulový dům se snaží svými hodnotami dosáhnout hodnot pasivního domu, k tomu ve větší míře využívat obnovitelné zdroje energie a snížit tak bilanční energetickou náročnost domu. [9] „*Hodnocení vychází z roční bilance energetických*

potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, vyjádřené v hodnotách primární energie. [9]“ Budova je připojena na obvyklé energetické sítě. Jsou stanovena dvě základní úrovně hodnocení. [9]

Úroveň A – do energetických potřeb budovy se zahrne potřeba tepla na vytápění, potřeba energie na chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče.

Úroveň B – jako A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče. Pro A i B je dále definováno, co se považuje za dosažení úrovně energeticky nulového domu. [9]

Součinitel prostupu tepla  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  musí u tohoto typu domu dosahovat požadované hodnoty 0,3. Doporučené hodnoty pak jsou 0,18 – 0,12  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ . Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů  $PE_A$  kWh.m<sup>-2</sup>.a<sup>-1</sup> by pro úroveň A měla dosahovat hodnoty  $\leq 0,25$  u rodinných domů a  $\leq 0,35$  kWh.m<sup>-2</sup>.a<sup>-1</sup> u domů bytových. [9]

*„Do hodnocení primární energie vyprodukované v souvislosti s budovou se zahrne roční produkce z obnovitelných zdrojů energie, sloužící potřebám domu i energie využitá jinde prostřednictvím energetické sítě (například veřejná elektrická síť). Pro přepočet produkované energie na energii primární se použije odpovídající faktor přeměny energie podle tab.1. Pro dálkové teplo, kogenerační výrobu a další kombinované energetické systémy se hodnoty stanoví podle ČSN EN 15316-4-5. [9]“*

**Tab. 1 - Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočet na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů**

Zdroj	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]
Zemní plyn a další fosilní paliva	1,1
Elektrická energie	3,0
Dřevo, ostatní biomasa	0,05
Dřevěné peletky	0,15
Soustava zásobování teplem - fosilní paliva	1,5
Soustava zásobování teplem - kombinovaná výroby elektřiny (35 %) a tepla	1,1
Soustava zásobování teplem - kombinovaná výroby elektřiny (70 %) a tepla	0,8

Soustava zásobování teplem - biomasa	0,3
Solární systémy termické	0,05
Solární systémy fotovoltaické - použití pro vlastní potřebu budovy	0,05
Solární systémy fotovoltaické - zapojené do veřejné sítě	0,2
Solární systém fotovoltaický nahrazující konvenční výrobu elektrické energie <sup>1)</sup>	-2,8
Spalování biomasy nahrazující výrobu tepla spalováním plynu <sup>1)</sup>	-1,1
Hodnoty faktoru primární energie pro zde neuvedené zdroje a systémy se stanovují kvalifikovaným přepočtem z hodnot uvedených v tabulce a dále s využitím ČSN EN 15316-4-5.	
<sup>1)</sup> Hodnoty jsou odvozeny zjednodušeně, jako rozdíl faktoru energetické přeměny obnovitelného a konvenčního zdroje (pro fotovoltaický systém: 0,2 - 3,0 = -2,8 (záporná hodnota). Obdobně lze odvodit další hodnoty. Zvláštní předpis může stanovit odlišný způsob započtení takové produkce.	

Zdroj: [2], [9]

#### 5.1.4 Aktivní dům

Můžeme jej také nazvat plusový dům. Jedná se budovu ve velké míře vybavené zařízeními, vyrábějícími elektrickou energii z obnovitelných zdrojů. A to v takové míře, že budova nepotřebuje připojení na běžné sítě jako plynové či elektrické. Atributy tohoto domu jsou totožné s nulovým domem. Svými hodnotami se snaží dosáhnout parametrů pasivních domů. Liší se však nulovou spotřebou elektrické energie na jeden metr čtvereční za rok. Budova je schopna pokrýt své potřeby ze solárních panelů, kotlů na pelety, rekuperační jednotky a mnoha dalších zdrojů. [10]

## 6 Průvzdušnost

V předpisech a doporučeních pro nízkoenergetické domy, pasivní domy i nulové domy nalezneme požadavek na relativní vzduchotěsnost, nebo-li co nejmenší průvzdušnost budovy. U domů s deklarovanou extrémně nízkou spotřebou energie je tato hodnota velmi přísně kontrolována. U budov s přirozeným větráním už takovou důležitost nemá. [15]

Podle normy EN 13829 je průvzdušnosti (air permeability): „*průtok unikajícího vzduchu na plochu pláště při testovacím referenčním tlakovém rozdílu přes plášť budovy.* [4]“ V této normě i běžné praxi se pro hodnocení průvzdušnosti obálky používá intenzita výměny vzduchu  $n_{50}$  v  $h^{-1}$  a doporučuje se splnění podmínky  $n_{50}$  je menší nebo

rovna  $n_{50,N}$ , kde  $n_{50,N}$  je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, v  $h^{-1}$ . Tato podmínka se vztahuje na budovu jako celek nebo její ucelenou část (místnosti, či byty). Hodnota průvzdušnosti silně ovlivňuje vlastnosti vzduchu proudícího uvnitř konstrukce. Při vyšších hodnotách  $n_{50}$  může vzduch nasátý konstrukcí z exteriéru negativně ovlivnit regulovaný tok vzduchu v interiéru. Nejen, že způsobuje defekty projektovaného pohybu vzduchu, ale současně snižuje účinnost rekuperačních zařízení. V opačném případě, kdy vlivem rozdílného tlaku je vzduch z interiéru vytlačován do exteriéru, dochází nejen ke snížení efektivnosti cirkulace vzduchu, ale i k nezanedbatelným tepelným ztrátám. Ty jsou obzvlášť u staveb s deklarovanou nízkou tepelnou náročností nepřipustné a je snaha o jejich maximální redukci. [2], [15], [16]

**Tab. 2 Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$**

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 budovy)	0,6	0,4

Zdroj: [2]

Podstatným důvodem důležitosti vzduchotěsnosti je energetická bilance budovy. S tím úzce souvisí obměna odpadního vzduchu za vzduch čerstvý. U přirozeného větrání (otevřenými okny) dochází k obměně vzduchu, ale zároveň k velkým tepelným ztrátám, neboť energie spotřebovaná na ohřátí vzduchu (případně jeho ochlazení v letních měsících), je v tu chvíli nenávratně ztracena. To lze tolerovat u domů, které spadají do kategorií vyšších energetických náročností. Pro nízkoenergetické, pasivní, nulové a aktivní domy je toto ovšem zásadní problém. Ten je řešený instalací regulovatelného větracího systému. Tento systém zajišťuje hygienické požadavky na výměnu vzduchu a koncentrace odpadního vzduchu. Současně jsou tyto systémy opatřeny předehřevem vzduchu z obnovitelných zdrojů energie tzv. výměníky tepla a zároveň jsou schopné zpětně získávat teplo z odpadního vzduchu odcházejícího z budovy. Z toho vyplývá, že v budově je čerstvý vzduch, který neustále koluje a je



ohříván (či chlazen) na regulovatelnou teplotu a s odpadním vzduchem odcházejícím z budovy nepřicházíme o teplo a energii na něj spotřebovanou. [16]

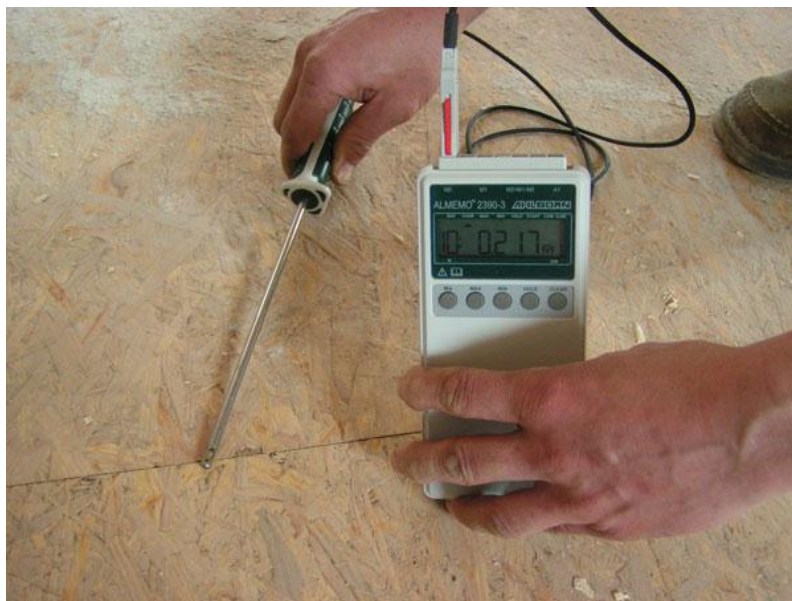
## 6.1 Detekce netěsností v obálce budovy

Detekce, neboli vyhledávání netěsností v obálce budovy je důležitým procesem. Prostřednictvím různých postupů můžeme netěsnosti obálky objevit již v průběhu stavby. Chyby pak lze eliminovat a neprůvzdušnost budovy tím výrazně zvýšit. Zároveň nám předběžná detekce, tedy ve fázi nedokončené stavby (fáze B), pomůže odhalit příčiny netěsností a být tak zdrojem zkušeností pro další projekty. Tato metoda je zpravidla používána u domů, kde je třeba dosáhnout nízkých hodnot. Tedy  $1 \text{ h}^{-1}$  a méně. Ve fázi, kdy je stavba zcela utěsněna, ale je možnost dodatečných stavebních úprav, je přistoupeno k detekování vad konstrukce a jejich případnému opravování. Netěsnosti v obálce je možné detekovat několika způsoby. [4], [7], [8]

### 6.1.1 Detekce anemometrem

Hledání netěsností pomocí anemometru je nejběžnější metodou detekce netěsností. Anemometr je digitální přístroj měřící rychlost proudění vzduchu. Postup měření je takový, že se v objektu vytvoří přetlak a anemometrem se v interiéru hledají problémová místa. Anemometr se přikládá k rámcům oken, elektroinstalacím či náročným konstrukčním spojům a podle hodnot, jež ukazuje, je určována míra velikosti chyby určitých míst. [7]

**Obr. 1** Měření anemometrem na spáře OSB desky



Zdroj: [7]

## 6.1.2 Detekce termovizním snímkováním

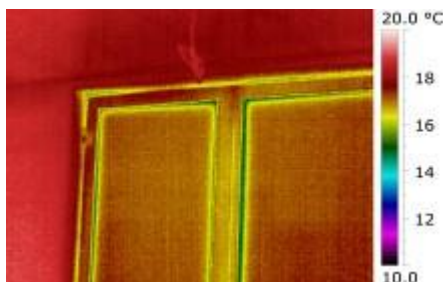
Tato metoda se provádí v interiéru s konstantním podtlakem. Objekt netěsnostmi nasává chladnější vzduch ze svého okolí a pomocí termovizní kamery může pověřený pracovník vidět rozdíly teplot v interiéru. Místa se špatnou neprůvzdušností se na kameře označí chladnějšími, většinou modrými odstíny oproti běžným barvám okolí. Metodu však lze použít jen při dostatečném teplotním rozdílu interiéru a exteriéru. Je tedy vhodná spíše v chladnějších měsících roku. [4], [7], [8]

**Obr. 2 Okenní rám v běžném spektru**



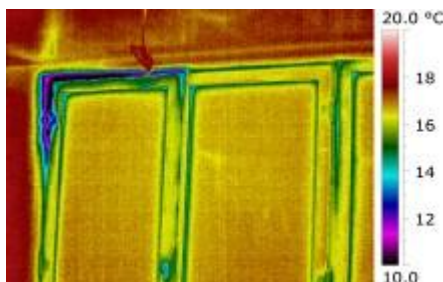
Zdroj: [8]

**Obr. 3 Okenní rám v infračerveném spektru s přirozeným tlakem v interiéru**



Zdroj: [8]

**Obr. 4 Okenní rám v infračerveném spektru s podtlakem v interiéru**



Zdroj: [8]

### 6.1.3 Vizualizace dýmem

Tato metoda má dvě úrovně realizace. V té první je do interiéru místnosti umístěn velmi silný vyvíječ dýmu. Ten je umístěn do blízkosti místa podezřelého ze vzduchového úniku. Místnost se pomocí tlakového přístroje přetlakuje a vyvíječ dýmu se spustí. Místem, kterým běžně uniká vzduch, uniká dým a jeho množství indikuje velikost úniku. [4], [7], [8]

Druhou metodou, která je v Čechách velmi používaná, je detekce netěsností pomocí kouřových tyčinek. Jedná se o metodu podobnou měření anemometrem, je však více vizuálně vypovídající. Měřený objekt je pomocí tlakového přístroje přetlakován. Nejčastěji pomocí blower-dooru o 50 Pa nad běžný tlak. Hlavním indikátorem je tenká skleněná trubička obsahující chemický prvek produkující kouř. Tato tyčinka je na jednom konci opatřena drobným otvorem a na druhém gumovým balónkem, jež při stisknutí vyhájí kouř z tyčinky. Tímto jednoduchým a levným způsobem pak pověřený pracovník měří místa úniku. Při přiložení kouřové tyčinky k problémovému místu je vylučovaný proud kouře unášen proudem vzduchu a je tak možné identifikovat směr a empirickou sílu úniku. [4], [7], [8]

**Obr. 5** Kouřová tyčinka a proud kouře detekující netěsnost.

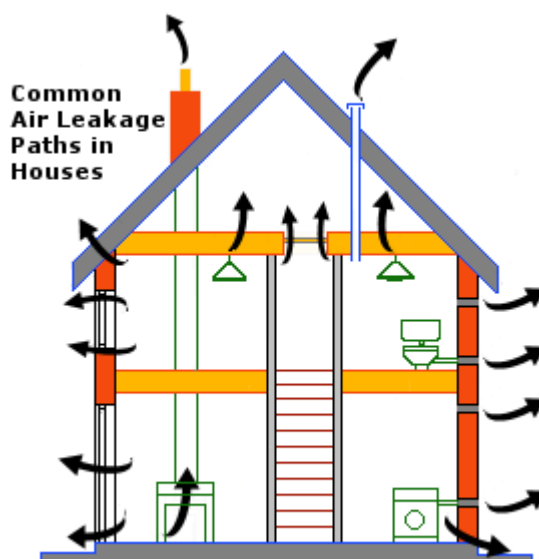


Zdroj: Fotografické materiály VVUD

## 6.2 Příklady typických netěsností

Ať už se v praxi používá jakákoli z uvedených metod, měřením průvzdušnosti v budově jsou téměř vždy nalezeny nedostatky, neboli defekty, kterými vzduch může proudit ven. V případě metody blower-door testu ve variantě B (u ne zcela dostavěné budovy), je detekování defektů nezbytnou součástí testu. Pokud odborný technik nalezne místa úniku vzduchu ve fázi stavby, kdy je ještě možné některé konstrukční detaily opravit, případně dokončit, dosáhne tak stavba mnohem lepších výsledků a případná oprava je o mnoho levnější. Při tomto hledání netěsností obálky se musí celá budova projít téměř centimetr po centimetru a musí se prozkoumat jednotlivé konstrukční detaily. Zkušení měřicí technici velmi dobře vědí, že některé vady těsnosti se projevují častěji než jiné a při jejich hledání jdou často najisto. V následujících kapitolách si probereme nejčastější konstrukční chyby a problémy při měření neprůvzdušnosti obálky domu. [6], [16]

Obr. 6 Nejčastější netěsnosti domů



Zdroj: [13]

### 6.2.1 Defekty hlavní vzduchotěsnicí vrstvy

Defektem hlavní vzduchotěsnicí vrstvy je jakákoli porucha, která narušuje spojitost této vrstvy. Ta by měla být v ideálním případě dokonale těsná okolo celé budovy ve vnějších stěnách. Nejčastějšími defekty této vrstvy jsou:

- Porušení v ploše, nejčastěji způsobené nesprávným skladováním a manipulací s fólií. Často také dochází k jejímu porušení v průběhu stavby neopatrným pohybem v její blízkosti.
- Nesprávné napojení těsnících fólií. V tomto případě se jedná o montážní chybu, která má za následek vytvoření míst s nedostatečnými těsnícími schopnostmi.
- Zbytečně velký počet spojů. Více spojů zvyšuje riziko vzniku předchozího problému. Fólie by měla být v co největších kusech a s co nejmenším množstvím spojů.
- Použití nesprávných materiálů. Pokud se chybou projektanta či dělníka provede spoj jinou, než speciální vzduchotěsnou páskou. [6], [16]

### **6.2.2 Styk obvodové stěny a podlahy**

Častým chybným konstrukčním detailem je nesprávné napojení hlavní vzduchotěsnící vrstvy na mazaninovou betonovou podlahu. Ta musí být napojena pomocí speciální pásky a správného technologického postupu. Je třeba podlahu v místě slepení napenetrovat vhodným přípravkem, aby bylo přilnutí pásky a fólie co nejkvalitnější. [6] , [16]

### **6.2.3 Spoje okolo dveří a oken**

Tento typ netěsností se vyskytuje v naprosté většině případů. Jedná se o místa, kde hlavní vzduchotěsnící vrstva není přímo napojena na rám výplně otvoru. Nedojde ke správnému zapáskování všech vzniklých otvorů a detailů kolem okenního rámu, případně rámu dveří. Dalším výrazným problémem je samotná těsnost mezi oknem a rámem okna. I přes stále se zlepšující konstrukce se velmi často stává, že výrobce není schopen vyrobit okno, které by na 100% eliminovalo tyto nedostatky. [16]

### **6.2.4 Otvory u elektroinstalačních rozvodů**

V případě, že kabely od elektrických zařízení prochází skrze hlavní vzduchotěsnící vrstvu, může se stát, že jejich průnik vrstvou není správně utěsněn speciální páskou. V případně nedokonalého utěsnění se setkáme s únikem vzduchu, který je markantně detekován u elektrických zástrček. Na tyto detaily je nutné dávat

velký pozor, neboť se po zaklopení stěny velmi špatně lokalizují a odstraňují. Jejich význam však může být obrovský. [16]

## **7 Metodika měření při zkoušce blower-door test**

### **7.1 Blower-door test**

Tímto termínem se nazývá metoda měření průvzdušnosti budov na principu tlakového spádu s použitím externího ventilátoru. Jedná se o nejrozšířenější měřicí metodu pro určení hodnoty průvzdušnosti budov. V České republice je prováděný podle normy ČSN EN ISO 13829. Měření se typicky používá pro kontrolu kvality vzduchotěsního systému v průběhu výstavby, pro možnost opravení vad a po úplném dokončení budovy a pro deklaraci dosažené úrovně vzduchotěsnosti. [16]

Pro měření se nejčastěji používá zařízení zvané Blower-door. Součástí měřicí sady je teleskopický rám, vzduchotěsná plachta s otvorem na ventilátor, ventilátor s plynule měnitelnými otáčkami, regulátor otáček a přístroje pro měření tlakového rozdílu a objemového toku vzduchu. Přesné požadavky na jednotlivé prvky jsou specifikovány v normě ČSN EN ISO 13829. [4], [16]

Po usazení ventilátoru do dveřního otvoru, přesné kalibraci a utěsnění všech potřebných prvků, začne přístroj vytvářet v budově přetlak tím, že nasává vzduch z exteriéru do interiéru budovy. V nejběžnější praxi se pro měření rodinných domů zvyšuje tlak o 50 Pa oproti lokálnímu naměřenému tlaku a následně se vzduch oproti lokálnímu naměřenému tlaku vyčerpá o 50 Pa. Získáme tak dvě hodnoty  $n_{50}$ . Přetlakovou hodnotu a podtlakovou hodnotu. Tlak měří velmi citlivé čidlo schopné pracovat v rozsahu 0-100 Pa. [4], [16]

Před spuštěním přístroje je nutné rozmístit čidla měřící tlak a teplotu v měřeném prostoru. Jejich umístění musí být provedeno velmi precizně. Čidla nesmí být během měření ovlivňována takzvanými parazitními vlivy, jako je například vzduch proudící od ventilátoru anebo větrem. Čidla lze chránit například přiklopením ne zcela těsnou nádobou. Současně by hadičky vedoucí k čidlům měly být umístěny vodorovně bez delších svislých úseků. Rovněž musí být hadičky chráněny před slunečním svitem. [16]

Po spuštění, ale před samotným měřením, je nutné v přístroji spustit sekvenci procesů, jež změří veličiny charakterizující klimatické podmínky. Teplotu uvnitř a vně měřené budovy či místnosti a atmosférický tlak. Obsluha stroje musí zadat jen rychlost větru, jež empiricky určí podle Beuforovy stupnice. [16]

Každý protokol a následně i vystavovaný certifikát o blower-door testu obsahuje množství měřených veličin a hodnot, které vypovídají o průběhu testu, atmosférických podmínkách a výsledku celé zkoušky. Pro účely této diplomové práce byla vypracována tabulka, jenž obsahuje přehledně uspořádané hodnoty vyňaté z protokolů naměřených pracovníky Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského v Praze. Jednotlivé položky, jejich vlivy a význam jsou uvedeny v kapitole 7.2. [16]

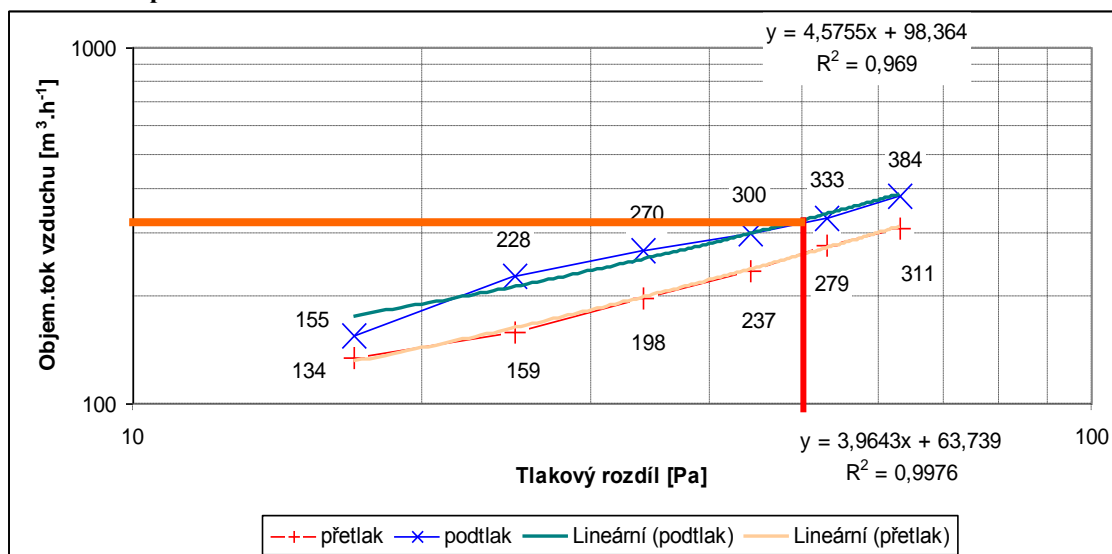
## **7.2 Výstupy z měření**

Před zahájením prvního měření je důležité určit základní tlakový rozdíl. Jedná se o přirozený tlakový rozdíl vyvolaný větrem a rozdílem teplot, který je nezávislý na činnosti měřicího zařízení. Je proměnlivý a je třeba jej změřit před samotným měřením a po dokončení testu. O hodnotu základního tlakového rozdílu je pak třeba opravit naměřené hodnoty tlakových rozdílů. Jelikož se může základní tlakový rozdíl během měření měnit (vlivem proměnlivého účinku větru), je před zahájením testu i po jeho ukončení měřen po dobu 30 vteřin a z naměřených hodnot se spočítá průměr, s nímž se následně pracuje. [4],[16]

Ve chvíli, kdy je vše připraveno, je spuštěn blower-door a začíná měření. Přístroj pomocí regulátoru otáček postupně zvyšuje tlak uvnitř prostoru a čidla zaznamenávají průběžné hodnoty. Množství hodnot naměřených v průběhu testu je nastavitelné uživatelem. Jednotlivé body, které zaznamenáváme, nazýváme měřící body. V literatuře jsou uváděny také jako úrovně tlakových rozdílů. Počtem jejich zvolení je možné ovlivnit kvalitu výsledku měření. Správným nastavením se mohou redukovat vlivy klimatických podmínek. „*Za větrného počasí je vhodné měřit při vyšších tlakových rozdílech.* [16]“ Doporučení pro volbu tlakových rozdílů jsou uvedena v normě EN 13829, přičemž nejnižší počet měřících bodů je pět.

Po dokončení procesu zvýšení tlaku uvnitř prostoru a následném snížení tlaku vygeneruje software graf průniku vzduchu. Tento graf má na svislé ose Y hodnoty objemového toku vzduchu  $V_{env}$  v  $[m^3 \cdot h^{-1}]$  a na vodorovné ose X tlakový rozdíl  $\Delta p$  v Pascalech. Pro přehledné zobrazení je využito logaritmické měřítko na obou osách.

Obr. 7 Graf průniku vzduchu



Zdroj: materiály VVUD

Zdrojová data pro graf se nachází v příloze 1

Tyto naměřené hodnoty vyhodnocuje software, který je součástí měřicího přístroje. Ze zadaných a naměřených hodnot automaticky vygeneruje protokol. V něm jsou uvedeny měřené hodnoty, nastavené hodnoty i výsledné hodnoty, které chceme zjistit a to  $V_{50}$  a  $n_{50}$ . Přesný postup získávání výsledků je následující. Při použití naměřené řady pro podtlak (hodnoty značené modrou barvou) je podle předešlého grafu řešeno šest hodnot. Vzestupná čísla na ose Y značí objemový tok vzduchu  $V_{50}$  v závislosti na tlakovém rozdílu osy X. Těmito šesti hodnotami je proložena lineární spojnice trendu a vygenerována rovnice regrese. V horní části grafu je k dispozici hodnota spolehlivosti  $R^2=0,969$ , jenž značí procentuální spolehlivost hodnot, od kterých se může proložená přímka lišit. Pokud je tedy zvolen sedmý bod v intervalu mezi dvěma po sobě jdoucími hodnotami na tlakové hodnotě 50 Pa, je zřejmé, že lze hodnotu průvzdušnosti spočítat na 96,9% přesně. Dopotčítání je pak provedeno podle rovnice regrese. U obrázku 7 se  $y=4,5755x+98,364$ . Má-li být určen přesný objemový tok vzduchu při referenčním tlaku 50 Pa, za hodnotu x je dosazeno 50. Výsledný objemový tok pak vyjde  $327,409 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \pm 3,1\%$ . Hodnoty je možné se dobrat i grafickou metodou. Pokud by byla na 50 Pa vztyčena kolmice k ose x, tak protne lineární spojnici trendu. Vodorovným vynesemím tohoto bodu na osu Y je možné získat hodnotu objemového toku při referenčním tlaku 50 Pa. [4]

Rychlost výměny vzduchu  $n_{50}$  lze následně získat ze vzorce, jenž je uvedený v normě EN 13829



### Rychlost výměny vzduchu $n_{50}$

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (1)$$

Kde  $V_{50}$  objemový tok vzduchu při referenčním tlaku 50 Pa [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$V$  vnitřní objem budovy [ $\text{m}^3$ ]

Dosadíme-li hodnoty, vyjde  $n_{50} = \frac{327,409}{365} = 0,97 \text{ h}^{-1} \pm 3,1\%$ . Stejným způsobem se provede výpočet pro přetlak. Opět je získána hodnota  $n_{50}$ , která bude pravděpodobně různá od měření podtlaku. Pro tyto hodnoty je vypočítán aritmetický průměr, jehož výsledek je průměrnou hodnotu rychlosti výměny vzduchu  $n_{50}$ . [4]

Hodnotu  $V_{\text{ref}}$  lze také využít při dalších výpočtech vlastností obálky domu. Například měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi  $w_{\text{ref}}$  který udává objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při referenčním tlakovém rozdílu vztaženému k celkové podlahové ploše budovy.

### Objemový tok vzduchu netěsnostmi $w_{\text{ref}}$

$$w_{\text{ref}} = \frac{V_{\text{ref}}}{A_F} \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

Kde  $V_{\text{ref}}$  objemový tok vzduchu při referenčním [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$A_F$  celková uzavřená podlahová plocha [ $\text{m}^2$ ]

### Dále ekvivalentní plochu netěsností $A_{L,\text{ref}}$

„Ekvivalentní plocha netěsností  $A_{L,\text{ref}}$  udává plochu ideálního otvoru, kterým by při preferenčním tlakovém rozdílu protékalo stejné množství vzduchu jako obálkou budovy“ [4],[16]

$$A_{L,\text{ref}} = 10000 \times V_{\text{ref}} \times \frac{\sqrt{\frac{\rho}{2 \times \Delta p_{\text{ref}}}}}{C_D} \quad [\text{cm}^2] \quad (3)$$

Kde  $\rho$  udává hustotu vzduchu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$\Delta p_{\text{ref}}$  je referenční tlakový rozdíl v Pa

$C_D$  je výtokový součinitel [-]

### Vzduchová propustnost budovy $q_{ref}$

$$q_{ref} = \frac{V_{ref}}{A_E} \quad [m^2] \quad (4)$$

Kde  $A_E$  celková plocha obálky budovy [ $m^2$ ]

$V_{ref}$  objemový toku vzduchu při referenčním [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

Samozřejmě je možné vypočítat mnoho dalších veličin udávajících vlastnosti obálky měřené budovy. [16]

Následující položky představují veličiny zaznamenávané do certifikačních protokolů týkajících se průvzdušnosti domů. Při měření blower-door testem jsou tyto hodnoty zaznamenávány a na jejich základě je vytvořen protokol o měření.

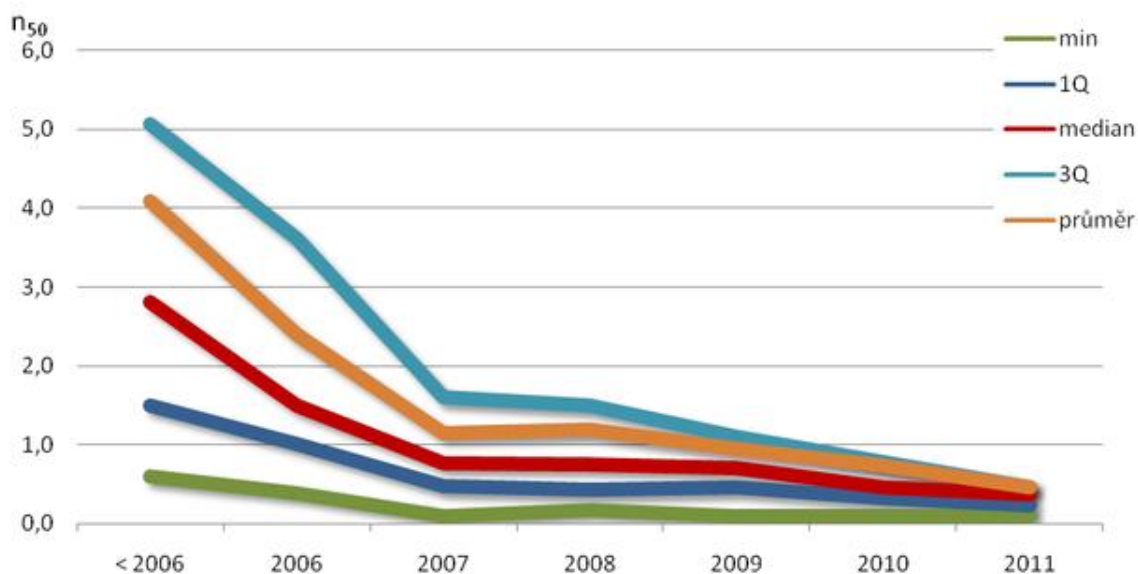
### 7.3 Název prováděcí firmy

V prvním sloupci tabulky jsou uvedeny kódy náležící názvům firem realizujícím dřevostavby. Jednotlivé firmy souhlasily s anonymním použitím jejich hodnot. Proto zde nejsou uvedeny přesné názvy, ale pouze kódy patřící názvům firem.

### 7.4 Rok měření

Rok výstavby je dodatkovou hodnotou. Může nám pomoci určit poměry výstavby nízkoenergetických a pasivních domů v ročních intervalech a je možné vyzorovat i kvalitu a množství dřevostaveb postavených a odzkoušených v daném roce.

**Obr. 8** Dosažené průvzdušnosti měřených objektů v průběhu let 1996–2011 s vyloučením maximálních hodnot



Zdroj: [11]

## 7.5 Typ stavby

Typ stavby je důležitý ukazatel, který silně ovlivňuje samotné složení konstrukce, konstrukční detaily a množnou kvalitu provedení. V našem případě se v měřeních vyskytuje několik typů konstrukcí.

### 7.5.1 Silikátová konstrukce

*„Do této skupiny konstrukcí patří množství odlišných řešení. Často užívaným výrazem masivní se bez dalšího upřesnění označuje skutečnost, že tyto konstrukce mají větší plošnou hmotnost než konstrukce lehké, např. dřevostavby. [15]“* Mluvíme tedy o konstrukci převážně z pálené keramiky, tvarovek, z lehčeného betonu, neboli porobetonu. [15]

### 7.5.2 Rámové konstrukce

Tuto skupinu můžeme rozdělit do dvou kategorií. Klasickou rámovou konstrukci, která se v podobě jednotlivých prvků z řeziva připravuje až na staveništi nebo konstrukci panelovou, která je ze stejných prvků, má však vyšší stupeň prefabrikace.

Systém dřevostaveb s nosnou kostrou z řeziva je tradičním a velmi rozšířeným systémem, oblíbeným především pro rychlou, suchou montáž a výsledek s dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Tento systém byl postupně zdokonalován z hlediska opracování jednotlivých prvků a prefabrikace. [19], [20]

#### 7.5.2.1 Klasická rámová konstrukce

Na staveništi se sestavuje dřevěný nosný rám z přířezů jednotného profilu a výšky jednoho podlaží. Ztužení celé konstrukce je provedeno pomocí výztužného opláštění z plošných materiálů, jako je stavební překližka, OSB deska či cementotřísková deska. [20]

*„Dřevěný rám tvoří spodní práh, horní rám a svislé stojky. [20]“* Obdobný rám je ve vodorovné poloze vytvořen pro stropy. Celý tento proces je prováděn na staveništi, což může mít negativní vliv na rychlost výstavby a kvalitu provedení. [20]

#### 7.5.2.2 Panelová konstrukce

Této konstrukci se také často říká sendvičová. Panely jsou konstrukčně stejné jako v předchozím případě. Nosnou konstrukci tvoří tyčová kostra z řeziva a z pláště stabilizujícího nosnou kostru sestavenou do obdélníkového rámu. Tyčová nosná kostra

slouží k přenášení svislého zatížení, zatímco plášť z desek na bázi dřeva přenáší vodorovná zatížení vznikající účinkem větru a dalších vodorovných sil. [21]

Pro výstavbu dřevostaveb jsou rámové konstrukce s prefabrikovanými panely na bázi dřeva upřednostňovány. U různých dodavatelů se setkáme s různým stupni předpřipravenosti. Nejen však při stavbě velkých domů je snaha o co nejvyšší stupeň prefabrikace. [18]

Je velmi nutné dbát na to, aby při tomto způsobu stavby domu byly jednotlivé prvky přesně pospojovány. Jestliže není parotěsnicí zábrana ve spáře důkladně slepená, může docházet k tepelným ztrátám a pronikání vlhkosti do stěn. Mimo sendvičového složení stěny jsou stejně jako výroba a zpracování rozhodující pro kvalitu stavby použité materiály a konstrukce jednotlivých vrstev. [18], [20]

Pro kvalitu stavby jsou důležité hlavně materiály a konstrukce jednotlivých vrstev. U nosného systému je několik možností. Vedle tradičních plných trámů se v posledních letech prosazují lepené nosníky, duo nebo trio trámy. V oblasti stavby pasivních domů se mohou uplatnit ocelové stojky tvaru dvojitého T s úzkou stojkou ze zvláště pevných dřevěných materiálů. Na základě svého minimálního průřezu představují jen malé riziko vzniku tepelných mostů oproti masivnímu dřevu. [18]

*„Mnohem pestřejší paletu typů představují izolační materiály. Většinou se pro vyplnění nosného systému používají izolační rohože z minerálních vláken. Z ekologického hlediska se těší velké oblibě izolace z celulózových nebo dřevovláknitých materiálů, které se například zhotovují ze starého papíru. [18]“* Pro využití recyklovaných izolačních hmot mluví také jejich schopnosti vyšší tepelné akumulace a lepší tlumivosti zvuku oproti minerálním materiálům. U přírodních izolací dochází v tepelných špičkách k lepší regulaci tepelných výkyvů. Problémem může být sesedání sypaných izolací. Stačí však v panelu umístit horizontálně do malých úseků mezistěnové a mezistojníkové konstrukce v podobě sítí či mřížek a sesedání se značně sníží. [18]

Hlavní rozdíly jednotlivých panelů jsou ve vnějších izolačních vrstvách. Tvoří širokou škálu od jednoduchých, tenkých dřevovláknitých desek, až po 200mm silný polystyren nebo kombinované dřevovláknité systémy. [18] *„Za minimum se dnes považuje vrstva 40 mm polystyrenu nebo ekvivalentní izolační vrstva z jiného materiálu. [18]“*

### 7.5.3 Panely CLT - Cross laminated timber

CLT je konstrukční systém z masivního dřeva. Konstrukce svislých i vodorovných panelů je tvořena vrstvami pravoúhlých přířezových prvků, kladených v jednotlivých vrstvách křížem (v rovině otočených o 90°). Prvky jsou vzájemně spojovány lepením a díky tomuto spoji a kladení přířezů ve dvou směrech jsou dílce velmi rozměrově i tvarově stabilní. Obecně se tvarová nestálost udává 1 mm na 10 m. Masivní dřevěné panely mohou být vytvořeny i jako celostěnové a díky tomu mají v současné době velký potenciál pro budování vícepatrových budov. [17] Tyto panely, vyrobené z masivního dřeva, jsou vhodné pro konstrukci budov, které jsou z exteriéru opatřeny difúzně otevřeným zateplovacím systémem. [15] Nevýhodou těchto panelů je jejich vysoká hmotnost a vyšší cena. [17]

Obr. 8 Panel zkonstruovaný systémem CLT



Zdroj: [14]

### 7.5.4 SIPs panely

Stavební technologie SIPs (structural insulated panels) neboli strukturované izolované panely. Tyto panely jsou vyrobeny nalepením desek z velkoplošných materiálů na bázi dřeva na jádro, které tvoří tepelný izolant. Hlavní podmínkou je dostatečná pevnost jádra panelu, protože panel neobsahuje žádné další ztužující prvky. Celoplošným slepením desek na bázi dřeva s izolačním jádrem vznikne velice pevný prvek, který se chová jako krabicový nosník. Jako plášť panelů se dnes nejčastěji používají desky z orientovaných velkoplošných třísek OSB. Jednoduše se zpracovávají jak při výrobě panelů, tak na stavbě a jsou cenově dostupné. Dražší

alternativou, méně používanou, jsou stavební překližky, cementotřískové nebo cementovláknité desky. Jádru panelu může tvořit stabilizovaný samozhášivý polystyren EPS (expandovaný polystyren), XPS (extrudovaný polystyren) nebo polyuretan. [12]

## 7.6 Místo výroby

Tento parametr je velmi významný a značně ovlivňuje výslednou kvalitu budovy. Pokud mluvíme o termínu místo výroby, máme na mysli oblast a podmínky, ve kterých konstrukce vznikala. Možnosti jsou pro tuto diplomovou práci tři. Staveniště, hala – nízká prefabrikace a hala – vysoká prefabrikace. Do kontrastu konstrukce stavby až na staveništi se u dřevostaveb staví možnost vyrobit jednotlivé stěny (stěnové panely, příčky), stropy, střešní konstrukce v kontrolovaných podmínkách uzavřených hal výrobců. Tento postup nazýváme prefabrikací.

Prefabrikace nebo také můžeme říci předvýroba, je označení stavební technologie, při níž dochází k výrobě (montáži) stavebních prvků mimo staveniště, nejčastěji pak ve výrobních halách. V halách také probíhá logistická optimalizace, díky které jsou na stavbu dováženy jednotlivé prefabrikované prvky v takovém pořadí, aby je bylo možné kontinuálně montovat na stavbu. Prefabrikace se může týkat také skeletových konstrukcí nebo srubových dílců. V této práci se však budeme věnovat prefabrikaci panelů rámových, masivních a sendvičových SIP'S panelů. [1]

*„Základní myšlenkou tovární prefabrikace je přesunutí výroby do kontrolovaných podmínek, a to především z důvodu ochrany před povětrnostními vlivy a přehlednější kontroly kvality výrob. [1]“* Díky prefabrikaci je možné vyrábět panely i během zimy či nepříznivých povětrnostních podmínek, čímž je značně prodloužena stavební sezóna a oproti běžným silikátovým stavbám může pokračovat i během zimních měsíců.

### 7.6.1 Prefabrikace podle stupně dokončení

Zásadním hodnocením prefabrikace je stupeň rozpracovanosti, můžeme také říct míra dokončenosti panelů. [1] *„Prefabrikace může spočívat v předpřipravení několika nejdůležitějších prvků nebo může zahrnovat přípravu prakticky celého konstrukčního prvku. S tím, jak roste stupeň rozpracovanosti, se automaticky zkracuje doba realizace stavby na staveništi. [1]“*

„První stupeň označme jako nízký stupeň prefabrikace. Prefabrikát, který je předpřipraven ve výrobní hale, obsahuje pouze nejzákladnější části, které alespoň částečně splňují požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu prvku. Plnou únosnost zajišťují často až další konstrukční prvky, které se montují následně v dalších technologických krocích až na samotné stavbě. Takový panel se skládá pouze z dřevěných fošen nebo hranolů a může být z jedné strany opláštěn například konstrukčními deskami (OSB, sádrovláknité desky apod.). [1] *„Opláštění dává vzniklé konstrukci potřebnou tuhost, která by se jinak musela provizorně řešit například diagonálně připojenými prkny. [1]“*

Vysokým stupněm prefabrikace je vytvoření panelů, které již obsahují všechny konstrukční prvky, izolace, okna a fólie. [1] *„Na staveništi jsou pouze dokončeny vnitřní rozvody a ošetřeny vzájemné styky mezi panely. Tento způsob je extrémně náročný na podmínky přepravy a jakékoliv manipulace. [1]“* Tímto způsobem staví například firma RD Rýmařov s.r.o. U těchto prvků není sice zhotovena fasádní vrstva, jsou do ní však zasazeny okna a dveře. Panely jsou vyráběny v halách, díky čemuž je zajištěna vysoká kvalita provedení.

### **7.6.2 Výhody a nevýhody prefabrikace**

Předností a největší výhodou prefabrikace je rychlost výstavby domu na staveništi. Pokud se jedná o vysoký stupeň prefabrikace, může být hrubá stavba hotová za dva až tři dny. Další práce pak probíhají pod střechou bez ohledu na počasí. Dále omezení technologických nedostatků na samotné stavbě. Snížení negativních vlivů stavební činnosti na okolí stavby, jako jsou vibrace, prašnost, hluk atd. Na rozdíl od srubových staveb je u panelové prefabrikace staveb výhodou ve využití méně kvalitního řeziva, jelikož se převážně používá boční řezivo. Výhodou jsou i mnohem menší rozměrové změny. [5], [20]

Jednou z hlavních nevýhod prefabrikace je fakt, že v případě, kdy je stavba objednaná a probíhá její výstavba, není možné udělat jakékoli změny v plánu. V současné době se dřevostavby staví s předpoklady pro nízkoenergetické a pasivní domy. V tomto případě se tedy klade silný důraz na přesnost prefabrikovaných výrobků. To je samozřejmě závislé na dokonalosti připraveného projektu. [1]

## 7.7 Plocha podlahy

Celková uzavřená podlahová plocha budovy je udávána v  $m^2$  a v normách a literatuře je značena  $A_F$ . Jedná se o plochu prostoru ohraničeného stěnami a stropem. Tato hodnota je nepostradatelná pro měření blower-door testem. Pomocí plochy podlah lze změřit hodnoty intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$  a lze počítat měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi. [16]

## 7.8 Objem budovy

Záměrně vytápěný, chlazený nebo mechanicky ventilovaný prostor uvnitř stavby nebo části měřené stavby. Tato hodnota je obvykle vypočítaná součinem plochy podlahy a světlé výšky místnosti či patra. Tato hodnota je udávána v  $m^3$  a v dokumentaci je značena písmenem V. [4]

## 7.9 Plocha pláště

Celková plocha obálky budovy je hranice nebo bariéra oddělující vnitřní objem testovaného subjektu od vnějšího prostředí nebo další části stavby. Tato hodnota je udávána v  $m^2$  a v dokumentaci je značena písmenem  $A_E$ . [4]

## 7.10 Komín

*„Komín je zpravidla svislá konstrukce s průduchem, jehož část od sopouchu po ústí komína je určena pro odvod spalin a část od sopouchu po půdici je určena pro jímání kondenzátu nebo tuhých částí spalin. Komín může obsahovat více průduchů. [5]“*

O tom, zda bude mít stavba komín či nikoliv, rozhoduje v první řadě investor. Jeho rozhodnutí závisí na volbě vytápěcího systému a také na jeho estetickém cítění. Při volbě kotle na pevná paliva, například pelety, biomasu nebo i plynový kotel, je nutné přizpůsobit tomu rozvody tepla v domě a i celý systém vytápění. Při spalování musí být bezpečnou cestou odváděny zbylé plyny a páry. Tím odvodem je komín.

I přesto, že investor zvolí jiný typ vytápění, který komín přímo nevyžaduje, často bývá na přání investora implementován do stavby krb, který slouží jako dekorace a jako záložní zdroj tepla. Vliv komínu na průvzdušnost je značný. Současné komíny používané ve dřevostavbách jsou dvouplášťové a je obtížné je správně utěsnit. Aby bylo



možné dodržet příslušnou těsnost stavby, musí být do komínu instalovány zpětné klapky a uzávěry. V současné literatuře neexistuje přesné vymezení závislosti průvzdušnosti na přítomnosti komína. Cílem této diplomové práce je tuto problematiku více objasnit.

## 7.11 Typ vytápění

V současné době existuje mnoho druhů vytápěcích systémů a jejich kombinací. Zatímco u pasivních domů zajistí vytápění z velké části rekuperační jednotka, u nízkoenergetických budov je třeba počítat se zabudováním nějakého topného systému. V případě nízkoenergetického standardu je potřeba kotel o maximálním výkonu 10 kW. Vyšší hodnota je již zbytečná. Na současném trhu lze použít kotle na biomasu, plynové kotle, elektrické přímotopy, podlahové vytápění elektrické či kapilární, infrazářiče, tepelná čerpadla, případně kombinace zde uvedeného. [17], [20]

## 7.12 Typ větrání

Větrání, neboli výměnu vzduchu v budově, můžeme rozdělit do několika kategorií. Dvě hlavní kategorie jsou větrání, neboli řízená výměna vzduchu a filtrace, neboli neřízená výměna vzduchu. [16]

Větrání – přirozenou výměnu vzduchu pak můžeme dělit na dvě kategorie, a to přirozené větrání a nucené větrání

- Přirozené větrání
  - „Výměna vzduchu je způsobena účinky větru a teploty, množství větracího vzduchu je řízené uživatelem (otvíráním oken, apod.). [16]“
- Nucené větrání
  - Výměna vzduchu je způsobena mechanickým systémem, množství větracího vzduchu je řízené uživatelem (nastavením systému) [16]

Zmíněná filtrace - neřízená výměna vzduchu, je způsobená účinky větru a teploty, případně i mechanickým systémem, probíhá bez zásahu uživatele, množství proudícího vzduchu je nekontrolovatelné a neregulovatelné. [16]

### 7.13 Metoda měření A a B

Pro měření budovy můžeme použít dvě základní metody. Metodu A, jejíž výsledek vypovídá o vzduchotěsnosti dokončené budovy jako celku, popisuje kombinovaný vliv netěsných konstrukcí, záměrných otvorů v obálce a přítomnosti technických zařízení. Z metody A lze získat informace pro energetické výpočty. [4], [16]

Metoda B je v praxi exponovanější. Touto metodou se měří vzduchotěsnost stavebních prvků a konstrukcí. Nejčastěji v případech, kdy před zaklopením těsnících prvků chce zhotovovatel či investor ověřit kvalitní provedení stavební práce. V této fázi je stále možné opravit netěsnosti a chyby v konstrukci před aplikací dalších obkladů a vrstev. Hodnota, kterou by měla stavba dosáhnout, je u nízkoenergetických, pasivních a nulových domů předem stanovena ve smlouvě a stavební společnost má povinnost investorovi doložit splnění podmínek. V případě, že smlouva údaj o hodnotě průvzdušnosti neuvádí, může investor sám test zaplatit a případně požadovat korekci chyb. [4], [16]

Přestože by z uvedených popisů mohlo vyplývat, že se od sebe hodnoty průvzdušnosti při použití metody A a metody B liší, není tomu tak. Zkušenosti z opakovaného měření ukazují, že po definitivním dokončení se u méně těsných budov vzduchotěsnost mění jen minimálně. [16]

### 7.14 Měření tlaků $n_{50}$ a $V_{50}$

Při měření vzduchotěsnosti obálky budovy jsou stěžejní dva údaje  $n_{\text{ref}}$  a  $V_{\text{ref}}$ . Veličina značená písmenem  $n$  se nazývá intenzita výměny vzduchu a její jednotkou je hodina na mínus první [ $\text{h}^{-1}$ ]. Intenzita výměny vzduchu se nejčastěji využívá při tlakovém rozdílu 50 Pa, a proto se ve většině případů setkáme s podobou  $n_{50}$ . Je to nejrozšířenější jednočíselná veličina pro hodnocení vduchotěsnosti obvodového pláště. „Pomocí  $n_{50}$  jsou definovány i doporučené úrovně celkové průvzdušnosti budov v ČSN 73 0540-2. [16]“. Hodnota se u obvodových plášťů běžně pohybuje v rozsahu 0,2 – 2,0  $\text{h}^{-1}$ . U dokonale neprůvzdušného materiálu, jako je například sklo, je  $n$  rovno 0. U průvzdušnějších materiálů se hodnota zvyšuje. Cílem u obálky domu je dosažení co nejnižší intenzity výměny vzduchu. [16]

Pro výpočet intenzity výměny vzduchu je nutné znát veličinu  $V_{\text{ref}}$  objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu. Jednotkou této hodnoty jsou  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Její

hodnoty se u obvodových plášťů budov pohybují od 80 po 1500 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Opět se při konstrukci obvodového pláště snažíme o co nejnižší hodnoty V<sub>ref</sub>. Nejčastěji se používá referenční hodnota 50 Pa. U všech našich protokolů z blower-door testu se setkáme s objemovým tokem vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa. [16]

Obě tyto hodnoty jsou přístrojem na blower-door test změřeny a vyhodnoceny do závěrečné zprávy ze dvou procesů. Z procesu přetlaku domu, zvýšení tlaku v budově o 50 Pa oproti původnímu tlaku a z procesu podtlaku domu při tlaku v budově o 50 Pa nižší než běžný tlak venku. Při těchto procesech je nutné sledovat i vnější povětrnostní vlivy. Výsledek procesu může ovlivnit příliš rozdílná teplota exteriéru a interiéru či vysoká rychlost větru. Více je uvedeno v následující kapitole věnované povětrnostním vlivům. [4], [16].

### 7.15 Teplota vnitřní a teplota vnější

Před a i v průběhu samotného měření je důležité měřit vnitřní a vnější teplotu. Příliš velký rozdíl mezi teplotou měřeného interiéru a vnějším prostředím může mít za následek vznik nezanedbatelné chyby. Hodnoty, za kterých může měření úspěšně proběhnout jsou specifikované v normě EN 13829. V jejím znění je uvedeno: „*Jestliže je výsledek teplotního rozdílu vnitřní a vnější teploty v K násobený výškou pláště budovy v m větší než 500 m.K, je nepravděpodobné, že bude dosaženo vyhovující zero flow tlakového rozdílu.* [4]“ Zero flow zde znamená nulový průtok.

### 7.16 Atmosférický tlak

Jedná se o tlak vzduchu, jehož průměrná hodnota je 101 325 Pa. Tato hodnota se může měnit podle nadmořské výšky, teploty a hustoty atmosféry v daném místě. Se zvyšující se nadmořskou výškou se tlak sloupce vzduchu snižuje. S klesající nadmořskou výškou naopak stoupá. Tato hodnota je pro měření velmi důležitá, neboť od ní přístroj odečítá a přičítá referenční tlakový rozdíl v měřené budově. U našich měření se hodnota atmosférického tlaku pohybuje v rozmezí 94 000 – 99 000 Pa, měří se před i po měření blower-door testem. [16]

## 7.17 Povětrnostní podmínky

Výsledek blower-door testu mohou ovlivnit i povětrnostní podmínky. Proudící vzduch, který působí na konstrukci stavby, může při překročení určité hranice intenzity ovlivňovat výsledky měření, a proto je třeba rychlost proudícího vzduchu měřit před realizací celého testu. Pro potřeby měření nejsou bezpodmínečně nutné elektronické přístroje. K určení síly větru se používá Beaufortova stupnice, jenž dělí rychlost proudícího vzduchu do dvanácti stupňů. Každý stupeň je definovaný intervalem rychlosti proudícího vzduchu a zároveň slovním popisem působení této rychlosti na okolní prostředí. [4], [16]

**Tab. 3 Beaufortova stupnice síly větru**

Stupeň	Vítr	m.s <sup>-1</sup>	ropoznávací 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	větřík	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 čerí 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 zpěnými 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

Zdroj: [4]

Aby při měření průvzdušnosti obálky nedošlo k negativnímu ovlivnění výsledku působením proudícího vzduchu v exteriéru, je třeba uskutečnit měření pouze tehdy, nepřekračuje-li rychlost proudícího vzduchu hranici 3 stupňů Beaufortovy stupnice, tedy rychlost proudícího vzduchu je menší než 19 km/h. [4], [16]

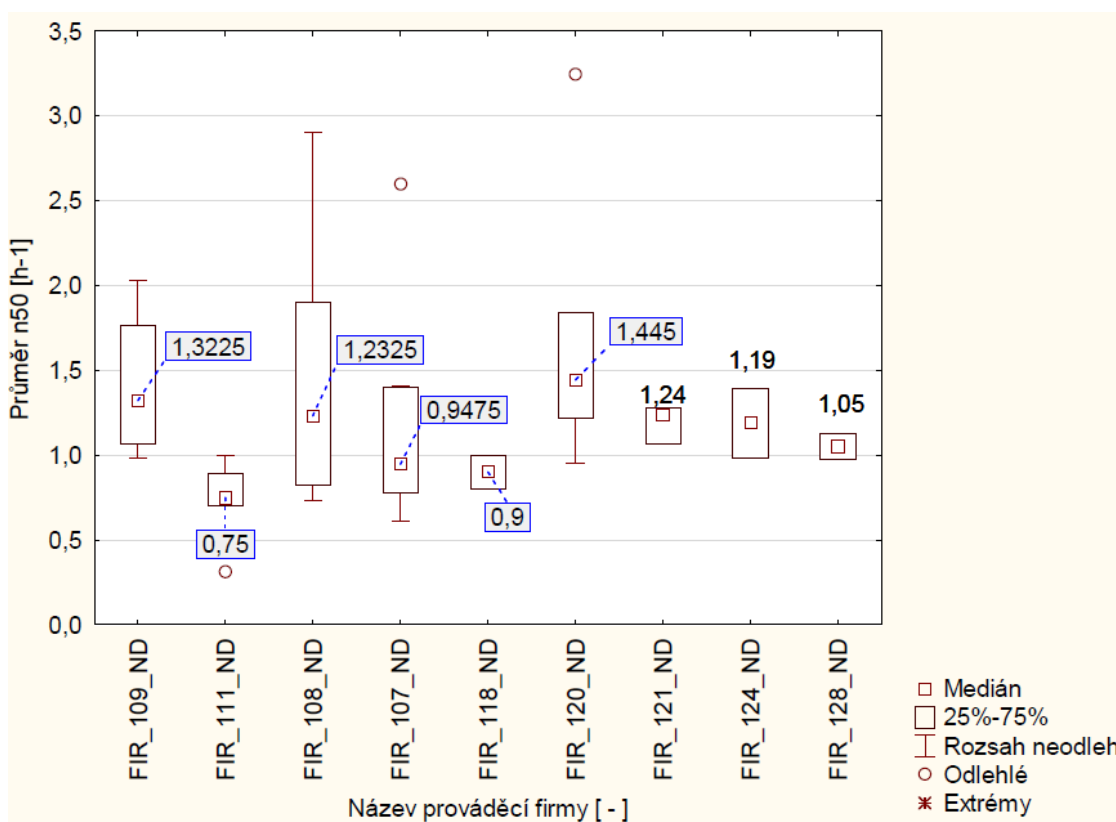
## 8 Výsledky

Hodnoty testovaných domů byly poskytnuty Výzkumným a vývojovým ústavem dřevařským, Praha, s.p. z prováděných měření na zakázkovou certifikaci v průběhu let 2008 - 2012. Použité výsledky pocházejí od 16ti firem věnujících se výstavbě nízkoenergetických domů na území České republiky.

### 8.1 Vliv výběru prováděcí firmy na hodnotu vzduchové průvzdušnosti

Na současném trhu existuje velké množství prováděcích firem, které se specializují na stavbu nízkoenergetických domů. Přestože používají podobné technologie a postupy, výsledky měření průvzdušnosti jejich domů jsou velmi rozdílné. Do následujícího grafu byly vybrány ty firmy, u nichž proběhlo měření blower-doorovým testem na dvou a více domech.

Obr. 9 Vliv výběru prováděcí firmy na hodnoty vzduchové průvzdušnosti  $n_{50}$



V tabulce 4 je vyjádřen počet měřených domů použitých v krabicovém grafu. Do grafu nebyly zaneseny firmy, u kterých byla měřena pouze jedna budova.

**Tab. 4 : Počet měřených domů u jednotlivých firem**

<b>Kód prováděcí firmy [ - ]</b>	<b>Počet měřených domů [ - ]</b>
FIR_107_ND	8
FIR_108_ND	16
FIR_109_ND	4
FIR_111_ND	6
FIR_118_ND	2
FIR_120_ND	7
FIR_121_ND	3
FIR_124_ND	2
FIR_128_ND	2

Ze zobrazených výsledků je patrný vztah mezi počtem měření u jedné prováděcí firmy a velikosti jejího rozptylu hodnot. Čím větší počet měření, tím je v naprosté většině případů větší rozptyl. Rozdílnost hodnot jednotlivých firem však ukazuje, že na výběru firmy, při snaze o docílení specifické hodnoty průvzdušnosti, záleží. Na výsledku se nepodílí pouze kvalitní projekt architekta a projektanta, nýbrž i samotné provedení na staveništi, pravidelné kontroly, dohled stavbyvedoucího, pečlivost a poučenost pracovníků. Všechny tyto faktory mohou výsledek velmi ovlivnit. Naměřená data naznačují, že u českých firem zahrnutých do měření není nízkoenergetický standard běžně zvládnutou praxí.

V knize Vzduchotěsnost obvodových plášťů hodnotí autor Jiří Novák úroveň tehdejších hodnot průvzdušnosti stejně kriticky. Jeho výzkum se týká let 1998 – 2006. Tato práce čerpá z hodnot naměřených v letech 2008 - 2012 a lze konstatovat, že je v těchto letech patrný pozitivní vývoj. Tato problematika bude podrobněji probrána v následující kapitole. [16]

**Obr. 10 Zakládání zatepleného domu**

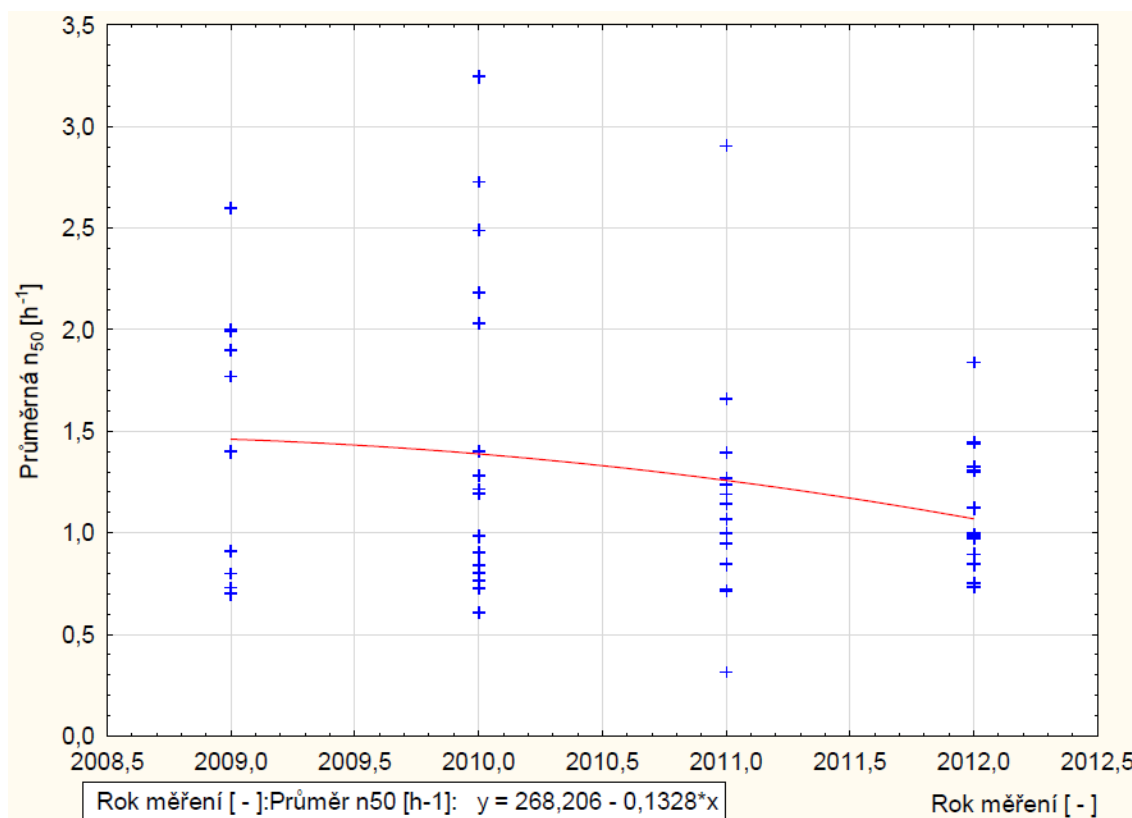


Zdroj: Jaromír Srba

## 8.2 Vliv roku výstavby na hodnotu vzduchové průvzdušnosti

Vezmeme-li v úvahu vývoj technologií, pracovních postupů, materiálů a informovanosti v této problematice, logickým závěrem by mělo být, že úroveň staveb se neustále zlepšuje, a to i v ohledu průvzdušnosti plášťů. Na hodnotu průvzdušnosti se začal klást důraz od roku 2002, kdy norma ČSN 730540 uvedla doporučené hodnoty  $n_{50}$  pro nízkoenergetické domy. Vývoj mezi lety 2009 a 2012 byl vyhodnocen z padesáti devíti hodnot měřených domů.

Obr. 11 Vývoj hodnot průvzdušnosti v letech 2009- 2012



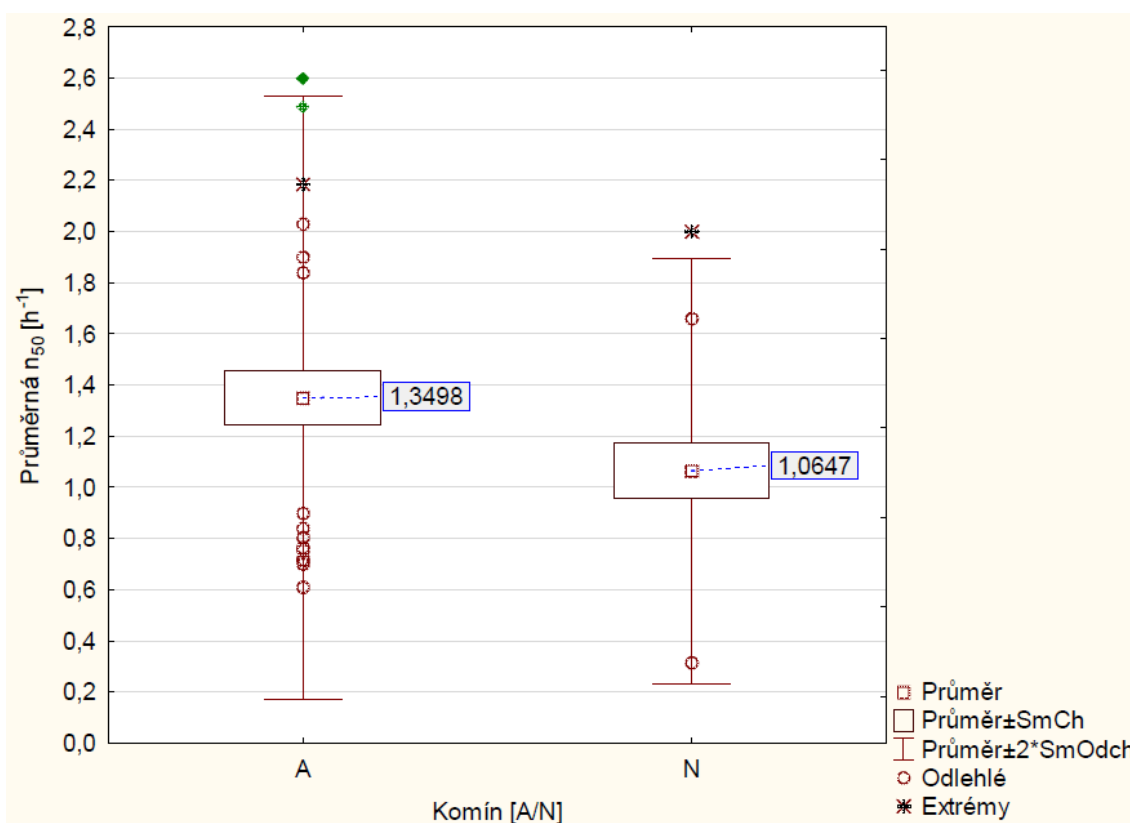
Z tvaru křivky lze vyčíst trend vývoje kvality budovaných domů. Ten se od roku 2009, kdy  $n_{50}$  dosahovala průměrně hodnot  $1,5 \text{ h}^{-1}$ , vyvíjí stále k lepším hodnotám blížícím se k doporučené hodnotě  $1,0 \text{ h}^{-1}$ .

Největší zlom v dosahování co nejnižších hodnot  $n_{50}$ , nastal podle Stanislava Palečka v roce 2006. Toho roku vznikla první komerční firma organizující vzdělávací semináře Centra pasivního domu a začala se prudce rozvíjet technika ověřování. S ní spojený i vývoj technologií v této oblasti. [11]

### 8.3 Vliv přítomnosti komínu na hodnotu vzduchové průvzdušnosti

V současné době je stále větším trendem vybavovat novostavby topnými systémy na bázi spalování. Ať už se jedná o biomasu, pelety nebo investor vyžaduje klasický krb. Všechny tyto systémy vyžadují aplikaci řešení odvodu spalin a škodlivých látek z nedokonalého hoření. Tím řešením je komín. Přesto, že dnes již existují systémy, které efektivně řeší jak přívod spalovacího vzduchu, tak odvod spalin, vzniká při navrhování a instalování komínového systému mnoho konstrukčních detailů. V případě jejich špatného návrhu nebo nekvalitního provedení mohou vzniknout netěsnosti, které zapříčiňují snížení neprůvzdušnosti domu. V tomto výzkumu bylo cíleno na zhodnocení vlivu přítomnosti komínu v budově vzhledem k její průvzdušnosti  $n_{50}$ . Z naměřených hodnot, ve kterých je zahrnuto 59 rodinných domů realizovanýchmi šestnácti společnostmi, byl vytvořen krabicový graf.

Obr. 12 Vliv přítomnosti komínu v konstrukci stavby na hodnoty vzduchové průvzdušnosti  $n_{50}$



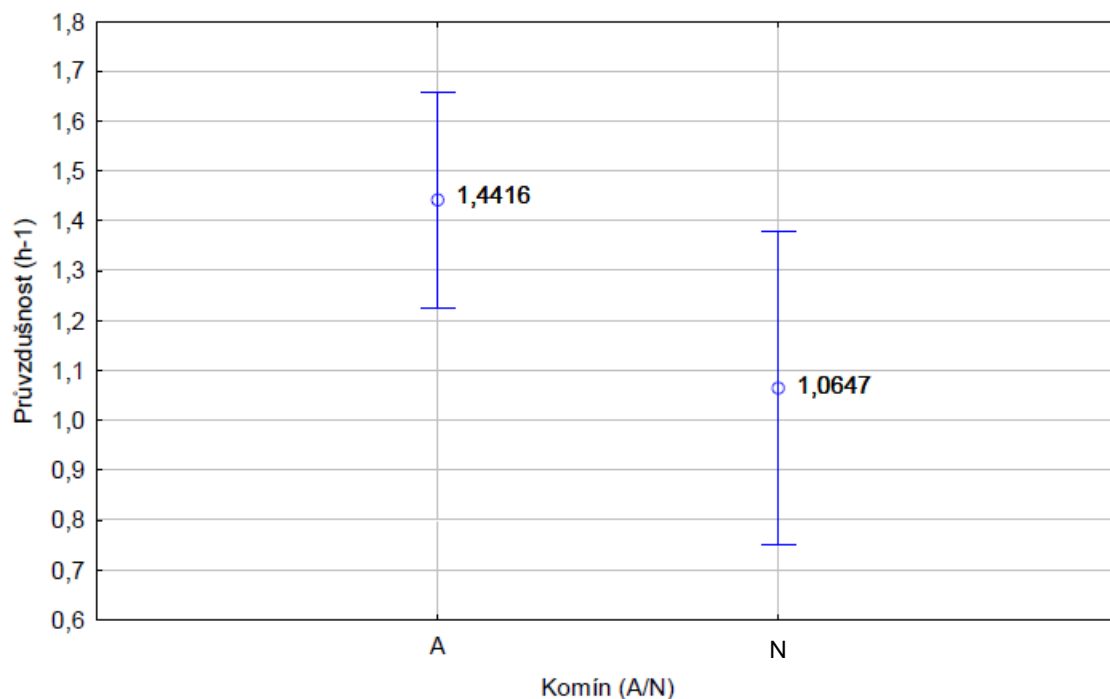
V grafu na obrázku 12 vidíme dvě provedení. Krabicový graf rodinných domů s komínem (A) a krabicový graf představující rodinné domy bez komínu (N). Z naměřených hodnot padesáti devíti domů vyplývá, že domy, v nichž je instalovaný



komínový systém, mají v průměru vyšší průvzdušnost  $n_{50}$ . Pro ověření tohoto tvrzení byla použita ANOVA, kterou však bylo prokázáno, že na hladině významnosti 95% není statisticky výrazný rozdíl mezi domy s komínem a bez komínu. Hodnota pravděpodobnosti vícenásobného srovnávacího testu Tukey HSD byla 0,053, což je na hranici kritické hodnoty 0,005, nikoli však za ní.

Z grafů je patrné, že se objevilo několik extrémních hodnot mimo interval směrodatné odchylky 25-75%. Tyto hodnoty mohly vzniknout nesprávným provedením více konstrukčních detailů domu, případně nedostatečným utěsněním prvků rekuperačního systému.

**Obr. 13** Porovnání rozptylu intervalů



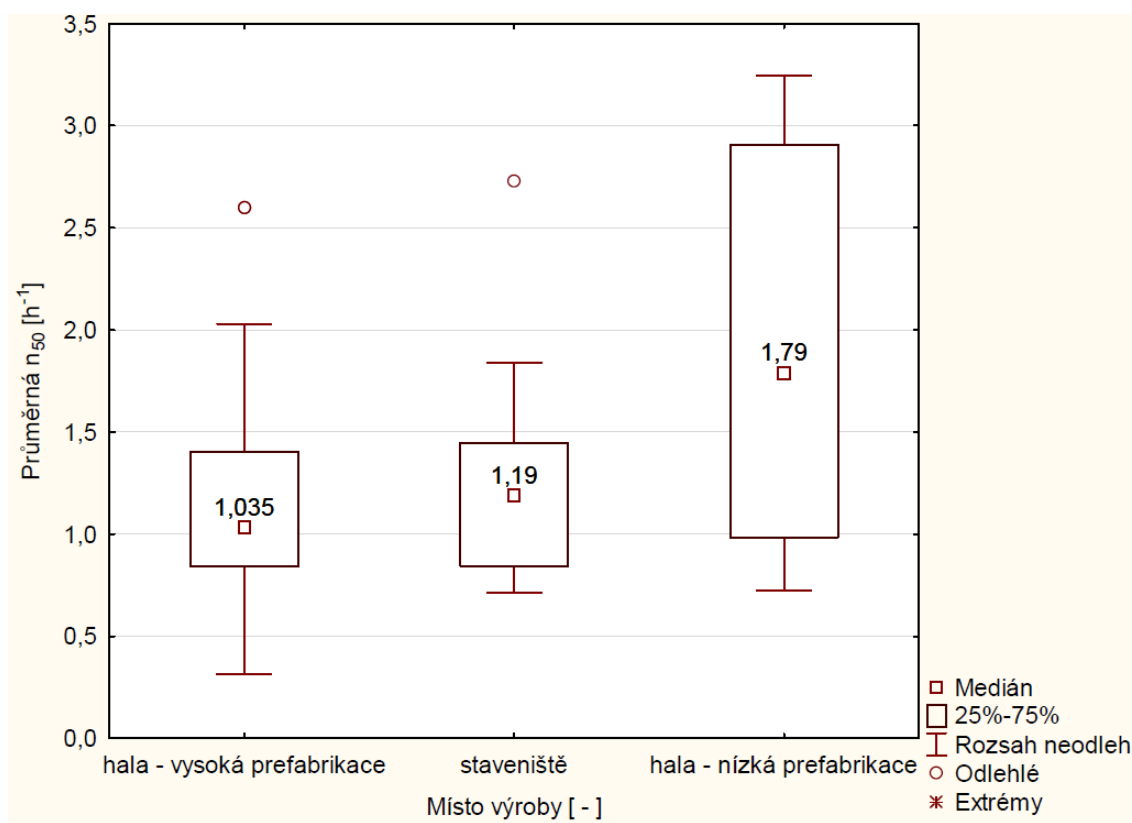
Z grafu na obrázku 12 lze vysledovat, že přestože nebyl statisticky prokázán vliv přítomnosti komínu na průvzdušnost na hladině 95%, tak lze vidět, že u staveb, které komín mají, je v průměru průvzdušnost vyšší.

V příloze 2 a 3 lze tento vliv vidět stejně jasně i u dvou vybraných firem, které staví domy s komíny i bez komínů.

## 8.4 Vliv způsobu výroby budovy na hodnotu vzduchové průvzdušnosti

V metodice měření je věnována velká část prefabrikaci stěnových panelů dřevostaveb. Mezi budovami měřenými pro tuto práci můžeme porovnat 30 domů vyrobených technologií vysoké prefabrikace v hale výrobce. 6 budov kompletovaných od nízkého stupně tovární prefabrikace a 13 staveb stavěných bez prefabrikace přímo na staveništi. Z těchto hodnot bylo možné vytvořit krabicový graf, potvrzující názory výrobců dřevostaveb, propagujících vysokou prefabrikaci jako nejefektivnější způsob výstavby dřevostaveb.

Obr. 14 Vliv místa a způsobu výroby na výsledné průvzdušnosti  $n_{50}$



Z naměřených hodnot je zřejmé, že nejkvalitnější stavby z hlediska průvzdušnosti jsou konstruovány systémem vysoké prefabrikace. Nejčastější hodnota průvzdušnosti  $n_{50}$  (medián) u třiceti měření předpřipravených budov v halách výrobce je  $1,035 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ . Rozptyl, představovaný směrodatnou odchylkou u tohoto typu staveb, je ovšem značný. Pohybuje se od  $0,289954$  až k  $1,933897 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ , interval je tedy  $1,643937 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ . Tento rozsah je výrazně větší než u staveb konstruovaných na staveništi bez prefabrikace. U těch byl na 12ti testovaných domech naměřen medián průvzdušnosti  $1,19 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ . Rozptyl

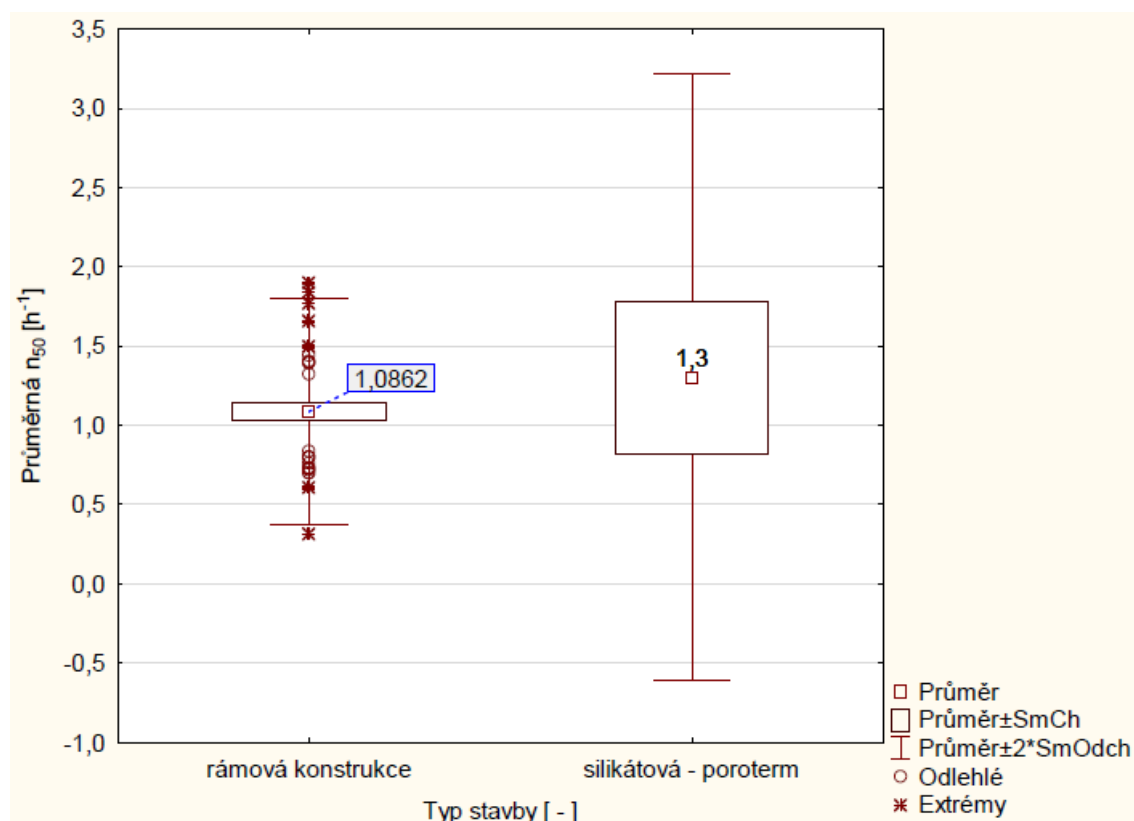
byl pouhých 0,21545 [h<sup>-1</sup>] od nejčastější hodnoty. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u domů připravovaných nízkou prefabrikací. Z šesti měření vyšel medián průměrné vzduchové průvzdušnosti 1,79 [h<sup>-1</sup>] s rozptylem 2,163291 [h<sup>-1</sup>].

Z těchto naměřených hodnot můžeme usoudit, že oproti předchozímu předpokladu není kvalita provedení domu přímo ovlivňována mírou prefabrikace. Budova konstruovaná na stavbě může dosahovat velmi podobných hodnot jako panelové domy dovážené z hal výrobců. Při statistickém testování analýzou rozptylu však bylo zjištěno, že na hladině významnosti 95% není statisticky významný rozdíl mezi domy budovanými na staveništi a ve výrobní hale výrobce.

## 8.5 Vliv typu konstrukce na hodnotu vzduchové průvzdušnosti

Mezi čtyřiceti pěti měřeními domy byly tři typy konstrukcí. Rámové konstrukce (41 vzorků), silikátové konstrukce (4 vzorky) a jedna stavba z panelů SIP'S. Poslední zmíněná musela být kvůli malému počtu vzorků z měření vyřazena. V grafu můžeme vidět rámové konstrukce, které reprezentují dřevostavby a silikátové konstrukce zastupující konstrukce z porothermu či pórobetonu.

Obr. 15 Vliv typu konstrukce na hodnotu vzduchové průvzdušnosti

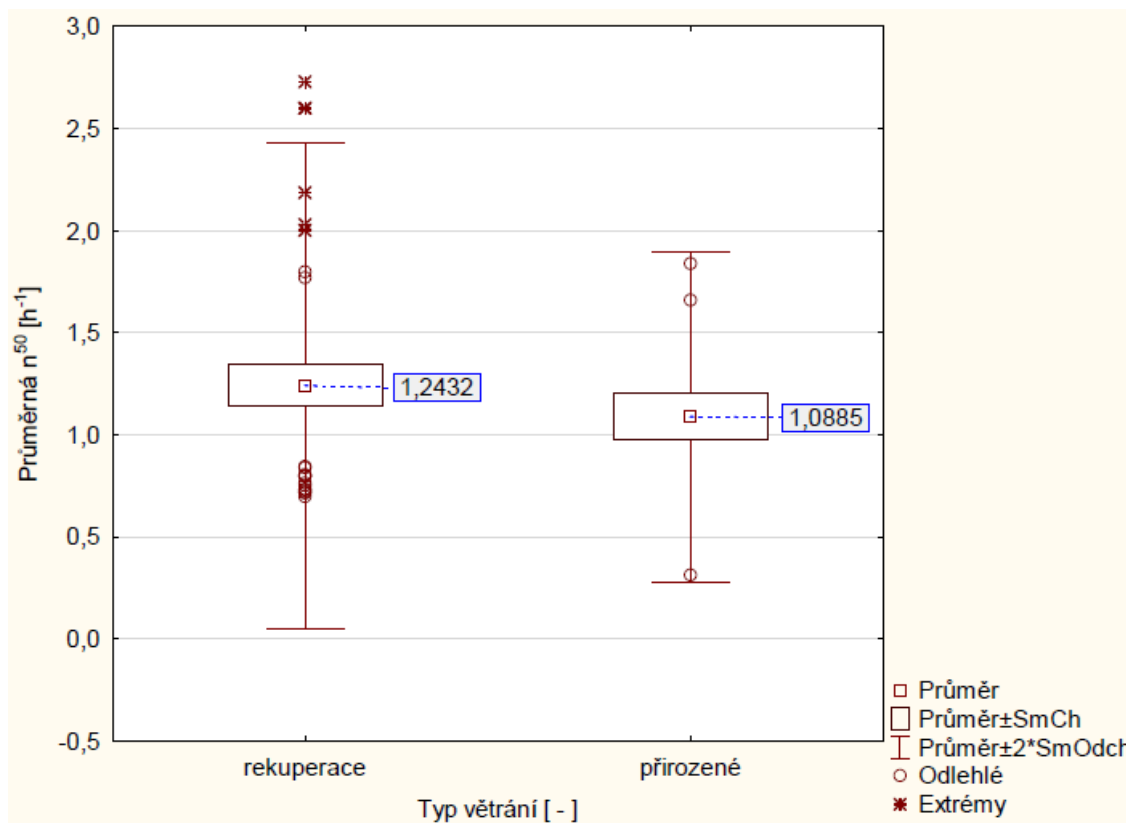


Z hodnot naměřených na pětáctyřiceti domech vyplývá, že domy konstruované technologií rámových konstrukcí, mají výrazně lepší hodnoty v porovnání se silikátovými. V průměru dosahují rámové konstrukce v průvzdušnosti o 0,2138 [h<sup>-1</sup>] lepších hodnot, než stavby silikátové. Tento výsledek může být zapříčiněn příliš malým množstvím měření u silikátových staveb. Nízkoenergetické domy se tímto způsobem staví naprosto běžně a jejich hodnoty dosahují na požadavky norem pro domy v tomto standardu.

## **8.6 Vliv typu větrání budovy na hodnotu vzduchové průvzdušnosti**

Pokud se investor rozhodne pro stavbu nízkoenergetického domu, téměř v 75 % případů se podle získaných hodnot rozhodne pro instalaci rekuperační jednotky na výměnu vzduchu. Tento systém se při stavbě domů s nízkou energetickou náročností velmi doporučuje. Není to však podmínka, a proto se jedna čtvrtina investorů uchyluje k přirozenému větrání. Tedy přirozené výměně vzduchu. Toto rozhodnutí mohou ovlivnit i finanční důvody. Jak se však projeví instalace rekuperačního systému na průvzdušnosti budovy? Rekuperační systém rozvodu vzduchu po celém domě zapříčiňuje mnohonásobné zásahy do pláště budovy a tím pádem i do jeho neprůvzdušné vrstvy. Mnoho otvorů a obtížných konstrukčních detailů by mohlo neprůvzdušnost domu ovlivnit oproti přirozenému systému větrání, u kterého je množství otvorů výrazně nižší.

Obr. 16 Krabicový graf znázorňující závislost průvzdušnosti na typu větrání



Z uvedeného grafu je patrné, že hodnota průvzdušnosti  $n_{50}$  je u staveb bez rekuperačního systému nižší a má menší rozptyl, než u budov větraných rekuperací. Tento výrazný rozdíl může být způsobený velkým množstvím konstrukčních detailů, které musí být při instalaci dodrženy a zároveň nedokonalostí utěsnění těsnících klapek v rekuperačním systému.

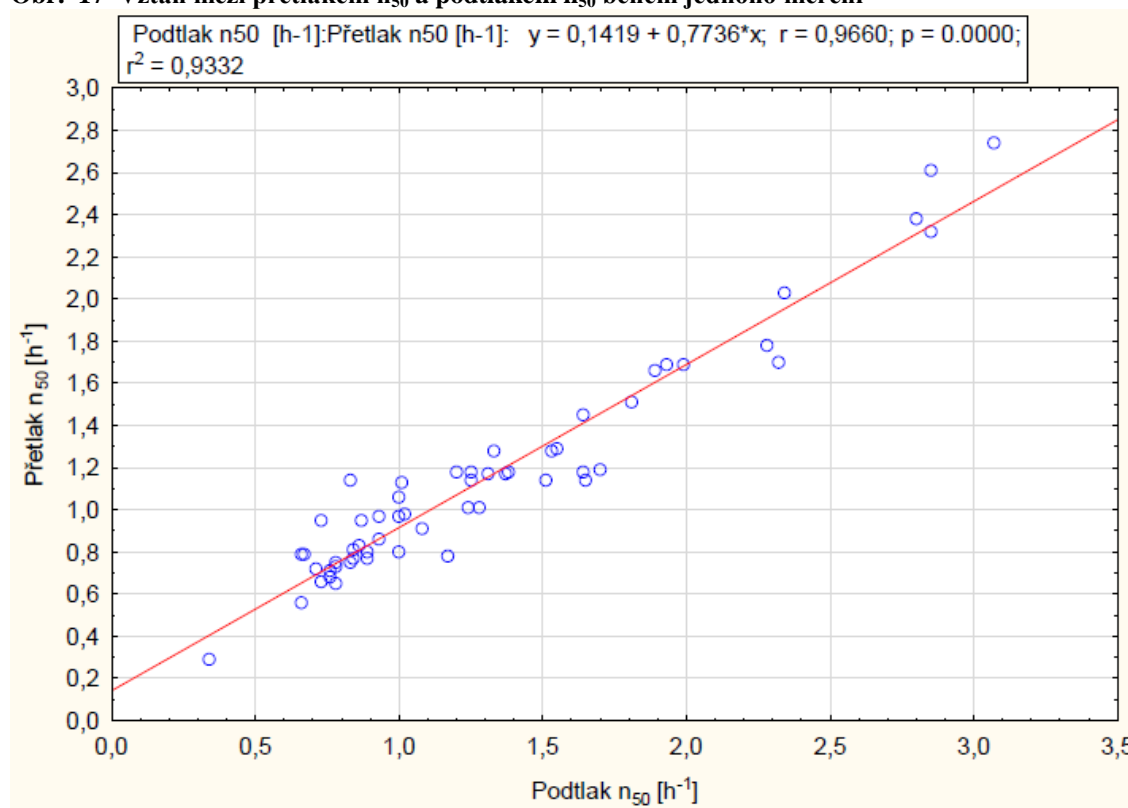
Při statistické analýze rozptylu budov s rekuperací a s přirozeným větráním nebyl na hladině významnosti 95% prokázán vliv přítomnosti rekuperace na průvzdušnosti domu. Z naměřených hodnot však můžeme předpokládat, že domy s přirozeným větráním mohou mít hodnotu průvzdušnosti nižší.

## 8.7 Závislost přetlaku a podtlaku $n_{50}$ v průběhu blower-door testu

Při testování budovy pomocí blower-door testu dochází k jejímu natlakování, tedy ke zvýšení tlaku o 50 Pa oproti místnímu atmosférickému tlaku a následně ke snížení tlaku o 50 Pa oproti místnímu atmosférickému tlaku. Tyto dva procesy se odehrají během přibližně 25 minut v závislosti na objemu budovy. Přístroj při dosažení

potřebného tlaku vyhodnotí rychlost jeho poklesu a na základě toho určí hodnotu přetlaku  $n_{50}$  a podtlaku  $n_{50}$ . Vzhledem ke krátkému časovému prodlení by bylo možné se domnívat, že hodnoty musí vyjít totožné. Není tomu tak. Některé závady vzduchové izolace se mohou projevit pouze při jednom z procesů. Například špatně přilepená páska se při přetlakování může ještě více přitisknout k materiálu, ale při podtlaku může dojít k jejímu odtrhnutí a razantní změně průvzdušnosti. To, jak závislé jsou tyto hodnoty, ukazuje následující graf.

**Obr. 17** Vztah mezi přetlakem  $n_{50}$  a podtlakem  $n_{50}$  během jednoho měření



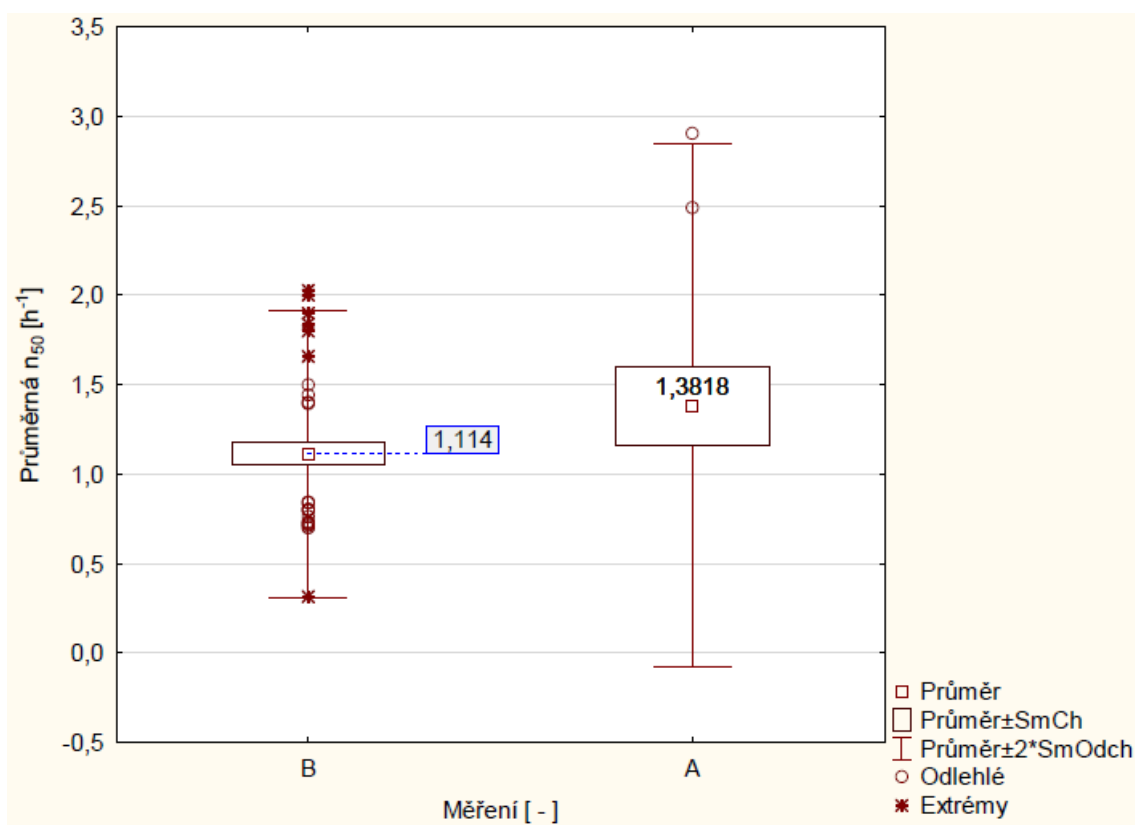
Z uvedených hodnot padesáti devíti měřených domů vyplývá jasná závislost mezi těmito dvěma veličinami. Převedeme-li koeficient determinace  $r^2$  na procentuální hodnotu, zjistíme 93,32% závislost. Z toho ovšem plyne také fakt, že rozdíl hodnot dosahuje průměrně během jednoho měření 6,68 %.

To může být způsobeno zmíněnými netěsnostmi, zvýšením teplotního rozdílu interiéru a exteriéru, případně zesílením síly větru, působícího na konstrukci.

## 8.8 Vliv měření metodou A a B na průměrnou průvzdušnost

Jak již bylo uvedeno v metodice, metoda měření A probíhá na zcela dokončené budově, zatímco metoda měření B je prováděna hned po dokončení hlavní vzduchotěsní vrstvy. Je tedy možné v případě netěsností zakročit a netěsnosti opravit. Z logického hlediska by se po měření B již neměla hodnota  $n_{50}$  dále měnit. Ovšem není tomu tak. Podle Jiřího Nováka a publikace Vzduchotěsnost obvodových plášťů, zkušenosti z opakovaného měření ukazují, že po definitivním dokončení budovy se její vzduchotěsnost změnit může. A to k lepšímu. U velmi těsných budov až o 30%. U méně těsných minimálně. Ke zhoršení dochází jen zřídka, například při nechtěném porušení hlavní vzduchotěsní vrstvy (HVV). [16]

Obr. 18 Graf naměřené průměrné průvzdušnosti u metody A a B



Vliv metody měření průvzdušnosti v grafu na obrázku 17 byl graficky zpracován ze 43 měření metodou B a 11 měření metodou A. Z grafu je patrné, že měření metodou A mají mnohem větší rozptyl a horší průměrnou průvzdušnost  $n_{50}$ . Na hodnotách byl proveden oboustranný F-test a T-test, z jejichž výsledků vyplývá, že na hladině významnosti 95 % se nepodařilo dokázat statisticky průkazný rozdíl mezi metodou A a

metodou B u měření ND. Metoda měření tedy neovlivňuje vzduchovou průvzdušnost budovy.

## 9 Diskuse

Na začátku literární rešerše byla uvedena definice nízkoenergetické budovy spolu s hodnotami technických parametrů podmiňujících zařazení budov do jednotlivých energetických standardů. Nízkoenergetické domy jsou na stupnici technických a technologických nároků na nejnižším místě. S ohledem na množství měřených domů v nízkém energetickém standardu, kterých bylo necelých šest desítek, je možné tvrdit, že v České republice není ani tento energetický standard stavitelskými firmami plně zvládnutý. Toto tvrzení můžeme doložit výsledky grafu na obrázku 11 vyjadřujícího vliv roku výstavby na hodnotu vzduchové průvzdušnosti. Průměrné hodnoty vzduchové průvzdušnosti u ND v jednotlivých letech sice viditelně klesají, stále však nedosahují potřebných hodnot pro zařazení do kategorie ND. Toto tvrzení je v souladu s autorem knihy Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov Jiřím Novákem, který v letech 2002 – 2006 došel ke stejnému závěru. I přes velký nárůst informovanosti v tomto odvětví však dnešní stavby nedosahují v průměru potřebných hodnot.

Během zkoumání existence vlivu výběru stavební firmy na hodnotu průvzdušnosti budovy byly z 59 měřených domů vybrány pouze ty domy, které stavěly stavební firmy, jež postavily alespoň dva domy z naměřených budov. Vzhledem k menšímu počtu hodnot u některých firem může být výsledek diskutován, ovšem nejčastější hodnoty (medián) firem s více domy jasně ukazují, že na výběru stavební firmy záleží. V dnešní době je evidentně na trhu mnoho firem garantujících určitou kvalitu provedení, z grafu na měřených hodnotách však vyplývá, že hodnoty různých firem rozhodně nesplývají a výrazně se od sebe liší.

Významným vlivem, který byl hodnocen, je přítomnost komínu v měřené budově. Tento vliv dosud nebyl příliš prozkoumáný. Z logického hlediska existoval předpoklad, že domy s komínem budou mít ve výsledku horší průvzdušnost, než domy bez komínu. Na devětapadesáti hodnotách byla tato hypotéza testována a domy, jejíž konstrukce je komín součástí, mají v průměru přibližně o tři desetiny vyšší hodnotu průvzdušnosti. Vícenásobným srovnávacím testem však bylo prokázáno, že na hladině významnosti 95% není statisticky výrazný rozdíl mezi domy s komínem a bez komínu.



Velmi podobného výsledku bylo dosaženo při zkoumání vlivu typu větrání na průvzdušnosti ND. Grafické znázornění prokázalo negativní vliv přítomnosti rekuperační jednotky na hodnoty vzduchové průvzdušnosti. Domy s přirozeným větráním dosahovaly v průměru o patnáct desetin lepších hodnot. Při statistickém testování vícenásobným srovnávacím testem nebyl ovšem prokázán, rozdíl mezi domy větranými přirozeně a rekuperačním systémem.

V literární rešerši byla velmi podrobně osvětlena problematika prefabrikace. Z tvrzení výrobců dřevostaveb a mnohdy i tvrzení některých odborných článků vyplývá, že nejlepších vlastností budovy je dosahováno s co nejvyšším možným stupněm prefabrikace. S úrovní prefabrikace pak podle úvah klesá i kvalita provedení a tím i stoupá hodnota průvzdušnosti budovy. Vyhodnocení měřeného vzorku budov však tuto hypotézu potvrdilo jen zčásti. Z grafického znázornění vlivu způsobu výroby budovy na hodnotu vzduchové průvzdušnosti, vytvořeného ze 49 hodnot vyplývá, že nejnižších hodnot vzduchové neprůvzdušnosti dosahují stavby v nejvyšším stupni tovární prefabrikace. Ty jsou však hned následovány budovami konstruovanými rovnou na staveništi. Tedy bez jakékoli prefabrikace. Do těchto budov spadají nejen dřevostavby jako v předchozím případě, ale i stavby silikátové, u kterých vysoká prefabrikace ani není možná. Při statistickém testování analýzou rozptylu však bylo zjištěno, že na není statisticky významný rozdíl mezi domy budovanými na staveništi a ve výrobní hale výrobce. Oproti původní hypotéze dosáhly stavby s nízkým stupněm prefabrikace nejvyšších průměrných hodnot průvzdušnosti a současně i největšího rozptylu. Toto zjištění lze vysvětlit několika způsoby. Nekvalitním zpracování projektů, nedostatečně precizní odvedenou prací nebo příliš malým vzorkem hodnot pro srovnání.

Při srovnání dřevěných konstrukcí a silikátových konstrukcí byl již rozdíl markantnější. Přestože dřevostavby převážně s rámovou konstrukcí tvořily téměř 98% ze 45 vzorků, dosáhly o dvě desetiny lepších hodnot průměrné vzduchové neprůvzdušnosti oproti silikátovým. I při velkém rozdílu měřených hodnot dosáhly dřevostavby velmi malého rozptylu oproti stavbám silikátovým. Tento výsledek by ovšem mohl být hodnocen jako nevypovídající kvůli příliš malému vzorku hodnot silikátových konstrukcí.

Důležitým bodem diplomové práce byla analýza hodnot naměřených pomocí metody měření A a měření B. Tyto metody se od sebe liší tím, že metoda B je aplikována při nedokončené stavbě v době, kdy je dokončena HVV, zatímco metoda A je aplikována ve chvíli definitivního dokončení budovy. V knize Vzduchotěsnost

obvodových plášťů budov autor Jiří Novák uvádí, že u velmi těsných budov může rozdíl mezi těmito hodnotami tvořit i 30%. U méně těsných budov je tento rozdíl méně výrazný, ale stále nezanedbatelný. Výsledky této diplomové práce ovšem neprokázaly u měřených nízkoenergetických domů prokazatelný vliv metody A a metody B na průvzdušnost. Hodnoty byly ověřeny studentovým T-testem i F-testem a na hladině významnosti 95% nebyla prokázána rozdílnost hodnot. Tím se tedy s Jiřím Novákem dostáváme do rozporu tvrzení. Metodou B bylo měřeno 43 budov, zatímco metodou A 11. I tento nepoměr může mít vliv na různost výsledků této práce a publikace Jiřího Nováka.

Poslední problematikou, jež byla zkoumána, je závislost  $n_{50}$  při přetlaku a podtlaku. Mohlo by se zdát, že by tyto hodnoty měly být stejné, ale není tomu tak. Důkazem je už samotná metodika měření průvzdušnosti blower-door testem, která je úmyslně prováděná přetlakem a pak podtlakem. Při položení těchto dvou hodnot do spojitého grafu jsme zjistili, že jejich závislost je 93,32%. Této hodnoty bylo dosaženo po odstranění některých extrémních hodnot. Přesto je toto číslo překvapivě nízké. Může tedy být řečeno, že rozdíl hodnot přetlaku a podtlaku je 6,68%. To může být zapříčiněno zejména defekty HVV, převážně u nesprávně provedených spojů.

## 10 Závěr

Do diplomové práce bylo zpracováno padesát devět nízkoenergetických domů, postavených v České republice v období let 2008 až 2012. Z naměřených hodnot budov byla statisticky vyhodnocována data potřebná pro určení vlivů působících na jejich vzduchovou průvzdušnost.

V diplomové práci byly představeny energetické standardy domů a jejich technické požadavky podle norem a metody měření s důrazem na hodnoty průvzdušnosti nízkoenergetických domů. Byla představena nejrozšířenější metoda měření této veličiny, blower-door test. Způsob jeho instalace, průběh měření i vyhodnocení. Byl osvětlen postup při odhalování defektů v hlavní vzduchotěsnicí vrstvě během testu a rovněž byly představeny nejčastější a nejproblémovější konstrukční detaily, u kterých dochází k úniku vzduchu z budovy.

Praktická část se zabývala vyhodnocením vlivů zjištěných ze statisticky a graficky zpracovaných dat. Výzkum byl zaměřen na sedm předpokládaných vlivů a jednu závislost.

Hodnoty měření byly zpracovány od šestnácti výrobců působících na území České republiky. Z grafů vyplynulo, že výběr prováděcí firmy má v naší republice výrazný vliv na požadované hodnoty vzduchové neprůvzdušnosti. Stavební společnosti se pohybují v širokém rozptylu hodnot a proto je v případě rozhodování se, jakou stavební společnost vybrat, třeba přihlížet k jejímu renomé na trhu, zkušenostem s výstavbou ND a k jejím referencím.

Porovnáním naměřených hodnot vzduchové průvzdušnosti v závislosti na roku výstavby byla zjištěna návaznost na předchozí průzkumy jiných autorů. Trend vývoje výstavby ND má optimistický vývoj a od samého počátku tohoto odvětví se kvalita provedení, hodnocená z hlediska úrovně průvzdušnosti, vyvíjí stále k lepšímu. Průměrné hodnoty však pořád nedosahují potřebné úrovně, aby se stal nízkoenergetický standard naprosto běžnou záležitostí.

Ve výzkumu byla hodnocena přítomnost systému na odvod spalin z topných systémů na tuhá a plynná paliva. Po analyzování hodnot nebyl statisticky prokázán rozdíl mezi domy s komínem a bez komínu.

Jednou z hypotéz, které měla tato diplomová práce objasnit, byla domněnka vlivu úrovně prefabrikace budovy na výsledné hodnoty její průvzdušnosti. I přes všechny předpoklady bylo z naměřených hodnot zjištěno, že konstruované systémem nejvyšší

úrovně prefabrikace měly nejnižší průměrné hodnoty vzduchové průvzdušnosti. Navzdory předpokladu měly druhé nejlepší průměrné hodnoty stavby konstruované přímo na staveništi s nulovým stupněm prefabrikace a s největším rozptylem hodnot i nejvyšším průměrem z hodnocení vyšly stavby s nízkým stupněm prefabrikace. Při statistickém testování však nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi domy budovanými na staveništi a ve výrobní hale výrobce.

Převážnou většinu testovaných staveb tvořily dřevostavby s rámovými konstrukcemi. Několik měřených budov však spadalo i do kategorie silikátových domů. Při porovnání průměrně dosahovaných hodnot vzduchové neprůvzdušnosti u dřevostaveb a silikátových staveb bylo zjištěno, že dřevostavby dosahují mnohem menšího rozptylu hodnot a současně i průměrné neprůvzdušnosti. Přibližně o dvě desetiny nižší než stavby budované mokřými metodami.

Přímý vliv přítomnosti jednotky obstarávající nucené větrání na hodnotu vzduchotěsnosti domu zjištěn nebyl. V diplomové práci byla hodnocena přítomnost rekuperačního systému v kontrastu s přirozeným větráním. Z grafu zkoumajícího tento vliv byly zjištěny vyšší průměrné hodnoty vzduchové průvzdušnosti u domů s rekuperačními systémy. Oproti tomu domy s přirozeným větráním dosahovaly hodnot vyšší neprůvzdušnosti. Vyhodnocení vícenásobným porovnávacím testem však tento vliv neprokázalo.

Zásadním zjištěním bylo ověřování vlivu druhu metody měření budovy na její výslednou průvzdušnost. Zda mají budovy měřené metodou B, tedy při nedokončené stavbě a pouze při dokončené HVV, rozdílné hodnoty od výsledků měřených metodou A, tedy při testu kompletní dokončené budovy. Z grafu a z výsledků statistických porovnání na hladině významnosti 95% nebyl prokázán u padesáti devíti měřených domů vliv metody na výslednou průvzdušnost nízkoenergetických domů.

Posledním cílem, který měla tato diplomová práce splnit, bylo zjištění závislosti měřené vzduchové průvzdušnosti při přetlaku 50 Pa a při podtlaku 50 Pa. U těchto hodnot byl předpoklad, že by se od sebe neměly příliš lišit. Výsledek ovšem prokázal, že rozdíl mezi těmito hodnotami, ze kterých se následně vypočítává výsledná průměrná vzduchová neprůvzdušnost, je 6,68%. To může být způsobeno nesprávně provedenými spoji hlavní vzduchotěsnící vrstvy.

Ze zjištěných výsledků vyplývá ideální kombinace zmíněných parametrů domu k získání co nejnižší hodnoty vzduchové průvzdušnosti připravovaného projektu pro nízkoenergetický dům. Aby bylo s co největší pravděpodobností dosaženo

požadovaných parametrů ND z pohledu vzduchové průvzdušnosti, můžeme na základě vyhodnocení padesáti devíti měřených domů konstatovat několik doporučení. Pro výběr stavební firmy je důležité se zaměřit na její zkušenosti se stavbou nízkoenergetických dřevostaveb s rámovou konstrukcí a vyžadovat co nejvyšší stupeň tovární prefabrikace budovy. Při tvorbě projektu zvolit dům bez komínu.

## 11 Seznam odborné literatury

- [1] MÜLLER, Stanislav. Prefabrikované dřevostavby : Výhra nad časem. *Dřevo & Stavby : bydlení nové generace*. 2010, 2. ročník, 3, s. 26-30. Dostupný také z WWW: <<http://www.earch.cz/clanek/5472-prefabrikovane-drevostavby-vyhra-nad-casem.aspx>>. ISSN 1803-6996.
- [3] HEJHÁLEK, Jiří. Pasivní dům v číslech. *Stavebnictví a interiér*. 2010, roč. 18, č. 7, s. 6-9. Dostupný také z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/pasivni-dum-v-cislech/>>. ISSN 1211-6017.
- [2] ČSN 730540-2. Tepelná ochrana budov: část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] EN 13829. Tepelné chování budov: Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda. září 2001. Praha 1, Biskupský dvůr 5: Český normalizační institut, 2001.
- [5] Slovník obecných pojmů: Názvosloví prvků komínového systému Komíny CZ. KOMÍNY CZ. Komínycz: Komínové systémy s řešením pro každého [online]. 15.9.2011. 2008, 15.9.2011 [cit. 2012-10-28]. Dostupné z: <http://www.kominycz.org/slovník/>
- [6] WAHLGREN a Eva SIKANDER. Methods and Materials for an Airtight Building. [online]. 2010, s. 10 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: [http://www.ornl.gov/sci/buildings/2012/B11%20papers/190\\_Wahlgren.pdf](http://www.ornl.gov/sci/buildings/2012/B11%20papers/190_Wahlgren.pdf)
- [7] NOVÁK, Jiří. Měření vzduchotěsnosti budov v rámci programu Zelená úsporám. In: Časopis stavebnictví [online]. číslo: 08/09. 2012 [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/mereni-vzduchotesnosti-budov-v-ramci-programu-zelena-usporam\\_N2596](http://www.casopisstavebnictvi.cz/mereni-vzduchotesnosti-budov-v-ramci-programu-zelena-usporam_N2596)
- [8] ZWIENER, Viktor. Odhalování netěsností v domech v pasivním a nízkoenergetickém standardu. TZB-info [online]. TZB-info, 2009 [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/5952-odhalovani-netesnosti-v-domech-v-pasivnim-a-nizkoenergetickem-standardu>

- [9] TYWONIAK, Jan. Nulové domy. TOPINFO S.R.O. *TZBinfo: Stavebnictví, úspory energií, technické zařízení budov* [online]. Thákurova 531/4, 160 00 Praha 6, 2011, 5.9.2011 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/smernice-2010-31-eu/7785-nulove-domy>
- [10] TYWONIAK, Jan. Metodika hodnocení nízkoenergetických rodinných domů. TOPINFO S.R.O. *TZBinfo: Stavebnictví, úspory energií*[online]. Thákurova 531/4, 160 00 Praha 6, 2008, 22.9.2008 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5088-metodika-hodnoceni-nizkoenergeticky-rodinnych-domu>
- [11] PALEČEK, Stanislav. Zkušenosti a techniky dosahování vzduchotěsnosti pláště budov v ČR. *Tzbinfo: Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov*[online]. 2012, 9.4.2012 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergeticky-staveb/8469-zkusenosti-a-techniky-dosahovani-vzduchotesnosti-plaste-budov-v-cr>
- [12] *Europanel : Stavební systém pro nízkoenergetické domy* [online]. Liberec : 2009 [cit. 2010-09-01]. Technické listy b. Dostupné z WWW: <<http://www.europanel.cz/download.php>>.
- [13] Airtight Building: Airtightness – Airtightness Testing. AIRTIGHTBUILDING.COM. *AirtightBuilding: Sealing the contract* [online]. 2012 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.airtightbuilding.com/airtightness.html>
- [14] Structural glued wood panel: cross-laminated. ARCHIEXPO. *ArchiExpo* [online]. 2011 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/binderholz/structural-glued-wood-panels-cross-laminated-55252-146638.html>
- [15] JAN TYWONIAK. Nízkoenergetické domy: Principy a příklady. první vydání. Tiskárny Havlíčkův Brod: Grada Publishing a.s., 2005. ISBN 80-247-1101-X.

- [16] JIŘÍ NOVÁK. Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov. První vydání. Tiskárny Havlíčkův Brod: Grada Publishing a.s., 2008. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [17] HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Stavíme dům ze dřeva*. Brno : ERA, 2005. Masivní stavby ze dřeva, s. 100. ISBN 80-7366-008-3.
- [18] KOTTJÉ, Johanness. *Jak se staví dřevěný dům : Od projektu k nastěhování*. První vydání, Praha 2008. U Průhonu 22, Praha 7 : Grada Publishing, a.s, 2008. 128 s. Dostupné z WWW:  
<[http://books.google.com/books?id=XdBve8JdrY4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=XdBve8JdrY4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>. ISBN 978-80-247-2531-4.
- [19] KUKLÍK, L., J. ŠTEFKO a J. REINPRECHT. *Dřevěné stavby - Konstrukce, ochrana a údržba*. Bratislava: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-080-9
- [20] VEVERKA, Jiří; HAVÍŘOVÁ, Zdena; JINDRÁK, Miroslav. *Dřevostavby pro bydlení*. 1. vyd. Praha : Grada, 2008. 376 s. Dostupné z WWW:  
<[http://books.google.com/books?id=z9CrC9WygYUC&pg=PA236&dq=d%C5%99evostavby&hl=cs&ei=kEZ5TNaRFtSd4QbO9oiEBg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=6&ved=0CE8Q6AEwBQ#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=z9CrC9WygYUC&pg=PA236&dq=d%C5%99evostavby&hl=cs&ei=kEZ5TNaRFtSd4QbO9oiEBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=6&ved=0CE8Q6AEwBQ#v=onepage&q&f=false)>. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [21] KOLB, Josef. *Dřevostavby : systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 1. vyd. . Praha : Grada, 2008. 312 s. ISBN 978-80-247-2275-7.



# 12 Přílohy

## Příloha 1 Zdrojová data měření



Příloha:

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. FCHL – 761/10

Str. 4/8

### 7.1 Přetlak

Rozdíly tlaku při nulovém průtoku

$\Delta p_{0,1}$	-1,45 Pa	$\Delta p_{0,2}$	-0,64 Pa
$\Delta p_{0,1+}$	0,66 Pa	$\Delta p_{0,2+}$	0,89 Pa
$\Delta p_{0,1-}$	-2,36 Pa	$\Delta p_{0,2-}$	-1,60 Pa

Hodnoty měření

Tlakový rozdíl [Pa]	62	52	44	34	26	14	0	0
Průtok vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	311	279	237	198	159	134	0	0

- koeficient průtoku vzduchu  $C_{env}$  : 27,10 m<sup>3</sup>/(h.Pa<sup>n</sup>)
- exponent průtoku vzduchu  $n$  : 0,58
- koeficient unikajícího vzduchu  $C_L$  : 27,70 m<sup>3</sup>/(h.Pa<sup>n</sup>)
- průtok úniku vzduchu  $V_{50}$  při 50 Pa : 266 m<sup>3</sup>/h
- průvzdušnost  $q_{50}$  při 50 Pa : 0,83 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)
- specifická rychlost úniku  $W_{50}$  při 50 Pa : 3,75 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)
- interval spolehlivosti  $VB_{env}$  : 13,4 – 55,0
- interval spolehlivosti  $VB_n$  : 0,38 – 0,78
- interval spolehlivosti  $VB_L$  : 13,7 – 56,1
- rychlost výměny vzduchu  $n_{50}$  při 50 Pa : 0,73 h<sup>-1</sup>

### 7.2 Podtlak

Rozdíly tlaku při nulovém průtoku

$\Delta p_{0,1}$	-1,45 Pa	$\Delta p_{0,2}$	-0,64 Pa
$\Delta p_{0,1+}$	0,66 Pa	$\Delta p_{0,2+}$	0,89 Pa
$\Delta p_{0,1-}$	-2,36 Pa	$\Delta p_{0,2-}$	-1,60 Pa

Hodnoty měření

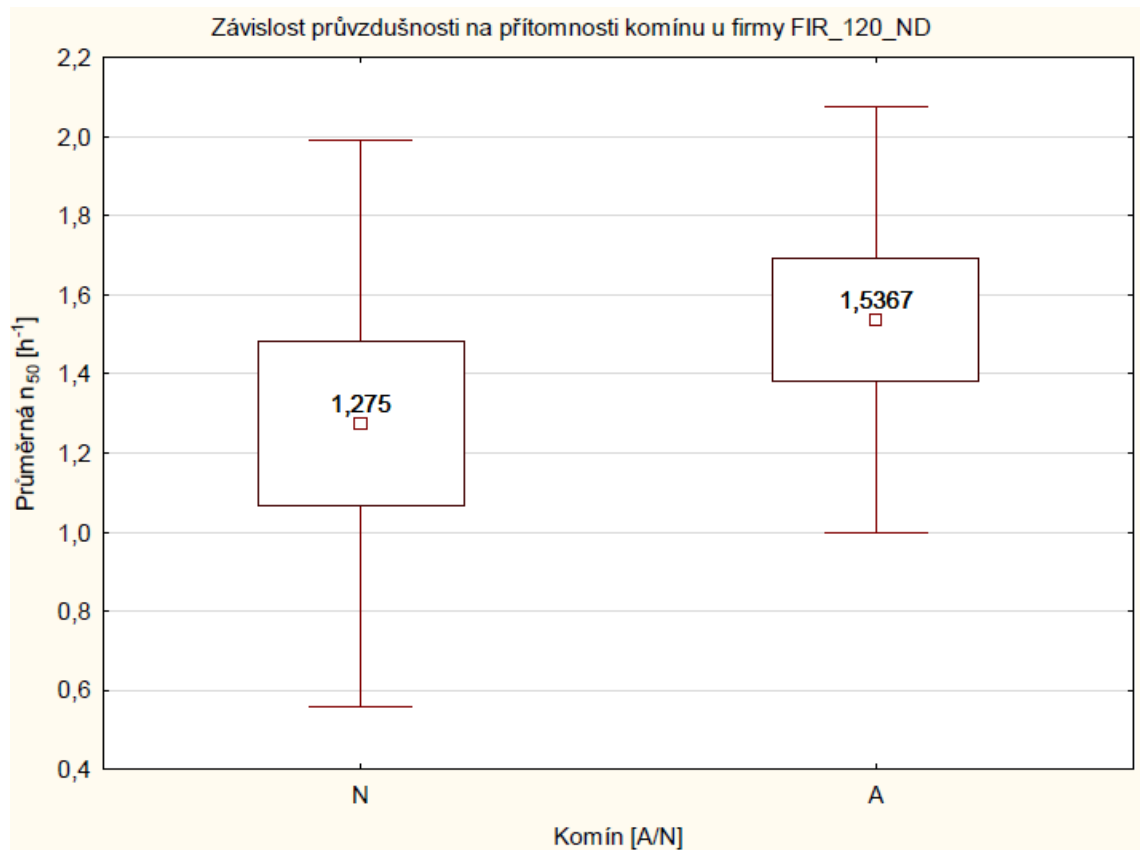
Tlakový rozdíl [Pa]	63	53	44	34	25	17	0	0
Průtok vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	384	333	300	270	228	155	0	0

- koeficient průtoku vzduchu  $C_{env}$  : 35,50 m<sup>3</sup>/(h.Pa<sup>n</sup>)
- exponent průtoku vzduchu  $n$  : 0,58
- koeficient unikajícího vzduchu  $C_L$  : 35,80 m<sup>3</sup>/(h.Pa<sup>n</sup>)
- průtok úniku vzduchu  $V_{50}$  při 50 Pa : 345 m<sup>3</sup>/h
- průvzdušnost  $q_{50}$  při 50 Pa : 1,07 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)
- specifická rychlost úniku  $W_{50}$  při 50 Pa : 4,86 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)
- interval spolehlivosti  $VB_{env}$  : 24,7 – 51,1
- interval spolehlivosti  $VB_n$  : 0,48 – 0,68
- interval spolehlivosti  $VB_L$  : 24,9 – 51,4
- rychlost výměny vzduchu  $n_{50}$  při 50 Pa : 0,95 h<sup>-1</sup>

### 7.3 Průměrná hodnota rychlosti výměny vzduchu

$n_{50}$  při 50 Pa      0,84 h<sup>-1</sup>

## Příloha 2



## Příloha 3

