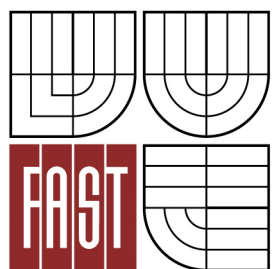




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

VLIV INTENZITY TLAKOVÉHO NAMÁHÁNÍ PLOŠNÝCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ NA HODNOTY PRŮVZDUŠNOSTI

AIR PERMEABILITY OF THE BUILDING STRUCTURES ACCORDING TO ARTIFICIAL AIR
PRESSURE ON THE SURFACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Dvořák
Název	Vliv intenzity tlakového namáhání plošných stavebních konstrukcí na hodnoty průvzdušnosti
Vedoucí diplomové práce	Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

.....
prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Katalogy a odborná literatura, Stavební zákon č.183/2006 Sb., Vyhláška č.499/2006 Sb., Vyhláška 268/2009 Sb., Vyhláška 398/2009 Sb., platné ČSN, příp. další podklady.....

Zásady pro vypracování

Zadání VŠKP: Vliv intenzity tlakového namáhání plošných stavebních konstrukcí na hodnoty průvzdušnosti

Cíl práce: Rámcové cíle práce jsou měření plošných stavebních konstrukcí a analýza vlivu tlakového namáhání na průvzdušnost těchto konstrukcí. Analýza kritických detailů z hlediska průvzdušnosti. Přesné stanovení cílů bude dohodnuto s vedoucím práce na základě odborné rozpravy v průběhu řešení teoretické části práce. Textová i výkresová část bude zpracována s využitím výpočetní techniky (v textovém a grafickém editoru). Výkresy budou opatřeny jednotným popisovým polem a k obhajobě budou předloženy složené do desek z tvrdého papíru potažených černým plátnem s předepsaným popisem se zlatým písmem.

Požadované výstupy dle uvedené Směrnice:

Textová část VŠKP bude obsahovat kromě ostatních položek také položku h) Úvod (popis námětu na zadání VŠKP), položku i) Vlastní text práce a položku j) Závěr (zhodnocení obsahu VŠKP, soulad se zadáním, změny oproti původní studii).

Předepsané přílohy

.....
Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vlivem intenzity tlakového namáhání plošných stavebních konstrukcí na hodnoty průvzdušnosti. Měření je prováděno za pomoci Blower door testu na šesti variantách použití OSB desek jako vzduchotěsní vrstvy v budově. Součástí výzkumu bylo ověření vhodnosti zkušební komory a měřícího zařízení k podobným účelům a úprava komory.

Klíčová slova

Vzduchotěsnost, průvzdušnost, Blower door, průtok vzduchu, intenzita výměny vzduchu n_{50} , OSB, dřevěné desky, latexový nátěr, vzduchotěsná komora.

Abstract

This thesis examines the influence of the intensity of pressure strain of structures printed on the value of air permeability. The measurement is carried out using Blower Door Test on six variants using OSB boards as airtightening layers in the building. Part of the research was to verify the suitability of the test chamber and measuring devices for similar purposes and adjustment chamber.

Key words

The air tightness, air permeability, blower door, air flow, air exchange rate n_{50} , OSB, wood panels, latex primer, airtight chamber.

Bibliografická citace VŠKP

DVOŘÁK, Jan, *Vliv intenzity tlakového namáhání plošných stavebních konstrukcí na hodnoty průvzdušnosti*. Brno, 2013, 73 s. , 32 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. David Bečkovský, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, že jsem uvedl všechny použité zdroje uvedené v seznamu na konci práce.

Ve Žďáře nad Sázavou dne 7. 1. 2014

.....

podpis autora

Bc. JAN DVOŘÁK

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Davidu Bečkovskému, Ph.D. za odborné vedení, poznatky a rady při měření a přípravě diplomové práce. Dále svým rodičům, díky kterým bylo umožněno studium na vysoké škole. A ostatním nejmenovaným, kteří mě při studiu podporovali.

Ve Žďáře nad Sázavou dne 7. 1. 2014

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. TEPELNÁ TECHNIKA	10
3. KONCEPCE NEPRŮVZDUŠNOSTI	12
4. TEORIE VZDUCHOTĚSNOSTI	14
4.1 Fyzikální souvislosti	14
4.2 Tlakový rozdíl	15
4.3 Výměna vzduchu v budově	16
4.3.1 Způsoby výměny vzduchu v budově	17
4.3.2 Souvislost výměny vzduchu a energetické náročnosti	18
4.4 Požadavky na výměnu vzduchu a vzduchotěsnost	19
5. MOŽNOSTI MĚŘENÍ VZDUCHOTĚSNOSTI	21
5.1 Možnosti hodnocení vzduchotěsnosti	21
5.2 Měření vzduchotěsnosti	22
5.2.1 Možné metody měření	22
5.2.2 Blower Door test	26
5.3 Měření vzduchotěsnosti stavebních dílů	29
5.3.1 Laboratorní metody	30
5.3.2 Metody měření in-situ	31
5.4 Detekce netěsností	32
5.5 Dosahovaná úroveň vzduchotěsnosti v praxi	34
6. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	35
6.1 Prostředky potřebné k našemu měření	35
6.2 Předběžné a přípravné práce	37
7. MĚŘENÍ VZDUCHOTĚSNOSTI VZORKŮ	41
7.1 Algoritmus měření	41

7.2	Vzduchotěsná komora	44
7.3	Zařízení Blower Door testu	49
7.4	Vzorky	51
8.	VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	54
9.	NAMĚŘENÉ HODNOTY V SOUVISLOSTECH	60
9.1	Referenční budova.....	60
9.2	Porovnání z pohledu energetické náročnosti	63
9.3	Spojitosť s difúzním odporem.....	65
9.4	Cenové posouzení jednotlivých variant.....	66
10.	ZÁVĚR.....	69
11.	SEZNAM ZDROJŮ	71
11.1	Seznam knižních publikací.....	71
11.2	Seznam internetových zdrojů	71
11.3	Seznam zdrojů obrazových příloh	72
12.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	73
13.	SEZNAM PŘÍLOH	73

1. ÚVOD

Téma práce je zaměřeno na zkoumání míry průvzdušnosti plošných dřevěných konstrukcí tzv. Blower door testem, možnosti zvýšení jejich vzduchotěsnosti a následné porovnání.

Při výběru tématu mě zaujala zejména užitečnost bližšího poznání této části problematiky tepelné techniky, ze které vychází stále častěji moderní představa pojetí stavitelství, zejména výstavba nízkoenergetických, nebo v dnešní době již velmi diskutovaných pasivních domů.

Práce v prvních kapitolách pojednává o tepelné technice- části stavební fyziky jako celku. Dále se pokusím rozvést problematiku větrání a vzduchotěsnosti, fyzikální souvislosti tématu, možnosti měření vzduchotěsnosti a detekce netěsností. V druhé půli pak představím vlastní náležitosti našeho pokusu s výsledky měření.

Nutnost šetření energií

Jak stavba domu, tak i jeho užívání a provoz je spojen s potřebou energií. Člověk se postupem času učí s těmito energiemi šetřit. V historii lidstva bylo vždy využíváno přírodních obnovitelných zdrojů a snaha byla i o využití možnosti pasivních zisků. V posledních dvou stoletích prodělalo lidstvo díky průmyslové a technické revoluci rychlý vývoj a dokázalo uvolnit obrovské množství energie z fosilních a později jaderných paliv. To se projevilo demografickým rozvojem, znamenajícím populační explozi, vyšším životním standardem, rozvojem dopravy a opětovně zvýšenou spotřebou energie. [1, s. 9]

To vede ke zhoršení životního prostředí, znečištění ovzduší a mizejícím zásobám fosilních paliv. Tímto tempem by lidstvo dokázalo během krátké doby zdevastovat celou planetu. Proto je třeba vyvíjet a prosazovat nové koncepce užívání energií, s tím spojené šetření a efektivní nakládání.

Zároveň si lidstvo zvyklo na svůj vysoký standard žití a bydlení, a i když ví a chápe, že je třeba šetřit naši přírodu, nechce se tohoto standardu vzdát. Proto se dostávají do popředí koncepce nízkoenergetických staveb, které jsou schopny řešit oba problémy.

2. TEPELNÁ TECHNIKA

Tepelná technika a obecněji stavební fyzika jako samostatný obor v minulosti neexistovala. U většiny různých staveb ale byla vnímána při návrhu materiálového, dispozičního a architektonického řešení. Současná doba přináší ekologické a další problémy a tak se tento obor stal významným nejen při návrhu nových objektů, ale i při rekonstrukcích. Dnes se při aplikaci stavební fyziky používá především výpočetní technika a to jak při výpočtech, tak při potřebě grafického znázornění návrhu.

I jednotky vnímané v této problematice se v posledních padesáti letech značně pozměnily. Např. velice důležitá jednotka tlaku Pascal (Pa) musela nahradit ve starší literatuře a projektech používané atmosféry, bary nebo milimetry rtuťového sloupce (torry) a podobně. S čímž se pak musely změnit i jednotky pro difúzní odpor, součinitele přestupu vodní páry atd. Součinitel tepelné vodivosti se kupříkladu určoval v kilokaloriích na metr, hodinu a stupeň celsiův a tak bychom mohli pokračovat téměř u všech jednotek v tepelné technice. K této transformaci jednotek pomohla Mezinárodní normalizační organizace ISO, která vyhlásila v roce 1960 Mezinárodní soustavu SI - Systéme International. V Československu pak bylo 1. 1. 1975 rozhodnuto, že se ve všech vědeckých podkladech a literatuře musí začít používat jednotky SI. [2, s. 15]

Vědní obor stavební fyziku lze rozdělit do následujících základních disciplín: akustika, tepelná technika, osvětlení a insolace. [2, s. 12]

Pro optimální návrh objektu tak aby byla zaručena energetická nenáročnost stavby a hlavně interiérová pohoda, je potřeba mít znalosti základních parametrů ze všech třech výše uvedených disciplín.

Tepelná technika patří do souboru disciplín, které nazýváme technicko-fyzikální navrhování konstrukcí budov. To znamená, že navržené jak obvodové, tak i vnitřní horizontální a vertikální konstrukce musí zabezpečit tepelnou pohodu vnitřního prostředí se zřetelem k vnějším klimatickým podmínkám při současném respektování požadovaných teplotních a vlhkostních parametrů. [2, s. 12]

Stavební tepelnou techniku si obsahově můžeme rozdělit do tří základních částí: Normativní a předpisové požadavky spolu s definováním požadovaných teplotních podmínek v interiéru stavby, zásady návrhu stavebních konstrukcí z pohledu energeticky optimálního řešení budovy a měřicí metody v rozsahu současně platných norem.

Pro projektanta i pro stavebníky provádějící stavbu je nejdůležitější osvojení si druhého bodu výše zmíněných částí, a to jsou **zásady návrhu**.

Mezi ně patří hlavně **navrhování vhodného tvaru a půdorysu budovy**. Sem patří obecné poučky jako zvolení co nejmenšího poměru plocha/objem budovy, jižní fasádu navrhnout jako největší a severní jako nejmenší, totéž platí u velikosti prosklených ploch. Obytné místnosti neorientovat k severu a podobně.

Dále zde platí **zásady pro tepelnou izolaci pláště**, kde je hlavní zásadou minimalizace tepelných ztrát. K tomu se v různých formách a systémech využívají tepelné izolace. Mezi nejznámější patří pěnový polystyren, nebo jeho extrudovaná podoba, polyuretan a montážní pěny. Dále izolace vláknité z minerálních vláken, rostlinných vláken a dřevěných vláken. Desky z dřevité vlny, korek, celulózová izolace, pěnové sklo, minerální násypy nebo transparentní izolace, která propouští světlo. Tepelné izolace z ovčí vlny, z bavlny, ze lnu a nebo izolace na principu vakua, které mají až desetkrát nižší tepelnou vodivost než ostatní izolační materiály. [3, s. 22-26] Důležité je věnovat pozornost **tepelným mostům**. Rozlišujeme následující čtyři typy tepelných mostů, které se mohou vyskytovat i ve vzájemné kombinaci: [3, s. 29]

1. Tepelné mosty způsobené nevýhodným tvarem stavebního dílu (např. vykonzolovaná balkonová deska)
2. Tepelné mosty způsobené materiály se značně rozdílnou tepelnou vodivostí (stěny dřevěného skeletu vyplněné izolací a další lineární a bodové tepelné mosty)
3. Tepelné mosty způsobené prouděním (v místech netěsností v konstrukci)
4. Tepelné mosty způsobené místním teplotním rozdílem (čím větší je teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem, tím větší je tepelný tok, např. u otopných těles).

Dále se v zásadách návrhu hovoří o koncepci neprůvzdušnosti a správném výběru větracího zařízení, což probereme podrobněji dále.

3. KONCEPCE NEPRŮVZDUŠNOSTI

V literatuře se můžeme dočíst, že všechny detaily na stavbě je nutné řešit tak, aby byly splněny tyto požadavky: [4, s. 9]

- Po celou dobu životnosti nesmí dojít k porušení konstrukce
- Vnitřní povrch konstrukce musí mít takovou teplotu, aby na ní nerostly plísň.
- Detail musí umožňovat, aby stavba byla plně funkční, tedy mít příslušnou nosnost dle umístění
- **Musí být vzduchotěsný**
- Musí být na stavbě realizovatelný

V posledních několika desítkách let se stala problematika vzduchotěsnosti obálky budovy jedním z důležitých a doceněných problémů v oblasti moderní výstavby. Tento trend je způsoben zejména nárůstem požadavku na vyšší energetickou efektivitu budov a subjekty pracující napříč stavebním spektrem od výrobců přes projektanty ke stavebníkům si začínají správně uvědomovat důležitost dosažení co nejmenší hodnoty průvzdušnosti obálky jejich stavebních děl.

Když tu hovoříme o trendu posledních několika desítek let, je třeba poznamenat, že české stavebnictví poněkud nástup tohoto progresivního postoje k realizaci budov zaspalo. Vzduchotěsnost byla donedávna vnímána jen jako problém okenních spár a styků obvodových dílců panelových budov. [5, s. 9]

Nyní však díky stále větší poptávce po nízkoenergetických a pasivních domech se toto vkládá do podvědomí českých stavařů. V příštích letech lze očekávat zvyšující se nároky na energetickou efektivitu a vyšší poptávku po budovách, které díky této efektivitě každým rokem své životnosti šetří svým uživatelům nemalé částky na výrobu tepla v zimě, ale i chladu v letním období. Proto je třeba budoucí stavební odborníky již nyní vzdělávat a vést je k dodržování principů zajištění nízké průvzdušnosti.

Problém vzduchotěsnosti vyvstává zejména u moderních montovaných staveb, které jsou stále oblíbenější díky své ceně a rychlosti realizace. U těchto staveb zajišťuje vzduchotěsnost zpravidla parotěsná folie a pojistná hydroizolace, v důsledku mechanického kotvení, prostupů instalací, neodborného nebo neopatrného zacházení jsou téměř vždy tyto důležité vrstvy perforovány a právě tomu je potřeba v nejvyšší možné míře zabránit. U klasických zděných budov je hodnota průvzdušnosti závislá hlavně na omítkách, venkovním

zateplovacím systému a vnější vrstvě chránící proti klimatickým vlivům. Tyto vrstvy bývají také znehodnoceny různými prostupy.

Nejen že do interiéru vniká zmíněnými netěsnostmi v chladných měsících studený vzduch a způsobuje tak vyšší potřebu vytápění, ale v okolí těchto konstrukčních chyb dochází k ochlazování konstrukce uvnitř a umožnění difundující vodní páře ulpívat v těchto konstrukcích a provlhat dál do konstrukce. To způsobuje jednak degradaci tepelné funkce konstrukce snížením tepelného odporu ale také zhoršení statické nosné funkce konstrukce a v neposlední řadě možnost vzniku plísní. Takže tyto nedostatky mohou v lepším případě znamenat vyšší účet za energii vynaloženou na topení, v horším případě však ohrozit zdraví a život uživatelů.

Je potřeba myslet i na dostatečný přívod vzduchu do budovy pro zajištění životních a hygienických požadavků uživatelů na množství čerstvého vzduchu. V případě ideálně těsné budovy to bude tak, že výměna vzduchu a potřebné množství bude plně pod kontrolou uživatele či vzduchotechnického systému bez nekontrolovaných příspěvků od netěsností. To má za následek rapidní zvýšení efektivnosti systémů, jako jsou vzduchotechnické jednotky, tepelná čerpadla, jednotky zpětného získávání tepla rekuperací či větrací systémy s využitím zemního výměníku.

Abychom správně pochopili příčiny a důsledky výměny a pohybu vzduchu netěsnostmi v obálce budovy, je v následující kapitole této práce vyhrazeno místo na základní pojmy a fyzikální souvislosti spojené s problémem. Dále jsou zde možnosti detekce problémů a metody měření. Druhá část diplomové práce se zabývá vlastním měřením různých variant konstrukcí na experimentální budově patřící Fakultě stavební při Vysokém učení technickém v Brně.

4. TEORIE VZDUCHOTĚSNOSTI

V této práci se zabýváme vzduchotěsností obálkových konstrukcí, tedy vzduchotěsnost budeme chápat jako schopnost naší konstrukce propouštět vzduch. Aby konstrukce propouštěla vzduch, je potřeba splnit dvě základní podmínky:

- Konstrukce musí obsahovat netěsnosti- místa kde může vzduch proudit.
- Konstrukce musí být vystavena tlakovému rozdílu, tlak ve vnitřním a vnějším prostředí se musí lišit natolik, aby měřicí zařízení bylo schopné zaznamenat pohyb vzduchu. Tento tlakový rozdíl budeme při měření vyvolávat uměle ventilátorem.

4.1 Fyzikální souvislosti

Čím větší bude tlakový rozdíl vzduchu před a za konstrukcí, tím více vzduchu konstrukcí protéká. Tato závislost průtoku vzduchu na tlakovém rozdílu vyjadřuje

tzv. empirická rovnice proudění: [6]

$$\tilde{V} = C \cdot (\Delta p)^n$$

Kde: $\tilde{V}$ je průtok vzduchu obálkou budovy v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

C je koeficient proudění vzduchu (součinitel proudění v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n}$)

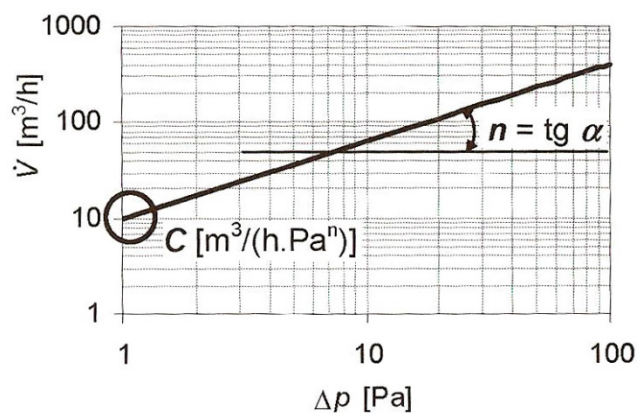
Δp je tlakový rozdíl v Pa

n je exponent proudění [-]

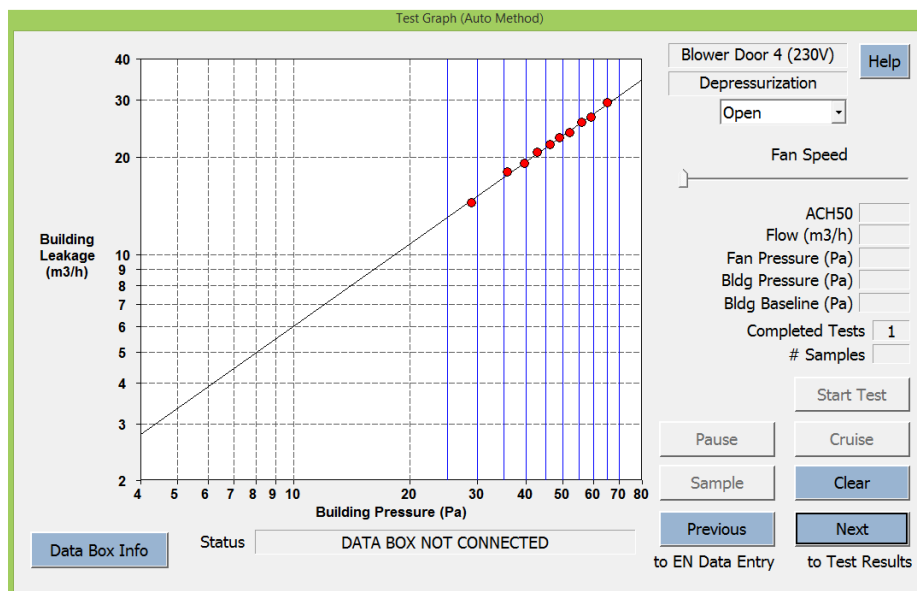
C a n v rovnici proudění popisují přímo vzduchotěsnost zkoumané konstrukce a určují, kolik vzduchu a jakým způsobem konstrukcí protéká. C je objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu 1 Pa. Parametr n popisuje charakter proudění, nabývá hodnot od 0,5 do 1,0. Nižší hodnoty n odpovídá turbulentnímu proudění a vyšší laminárnímu proudění. Pokud nejsou známy bližší údaje o konstrukci, volí se $n = 0,67$.

Parametry C a n se zjišťují experimentálně konkrétním měřením.

Graficky lze závislost vynést v logaritmickém grafu, kde se hodnota C odečte přímo jako průsečík vynesené přímky se svislou osou a n odpovídá směrnici této přímky.



Obr. 1 Příklad grafu závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi na tlakovém rozdílu. [5]



Obr. 2 Grafický výstup hodnot v logaritmickém měřítku vykreslený softwarem dodávaným k Blower door testu [archiv autora DP]

4.2 Tlakový rozdíl

V následující podkapitole se budeme blíže věnovat tlakovému rozdílu, který je obvykle způsoben kombinací účinku teplotního rozdílu, působením větru a případně tlakovým působením mechanického vzduchotechnického zařízení. Tlakový rozdíl v budově ale také závisí na rozložení netěsností v obálce a na uspořádání a kvalitě vnitřních dělících konstrukcí.

Tlakový rozdíl zapříčiněný rozdílem teplot

Tento tlakový rozdíl zapříčiňuje rozdílná hustota venkovního a vnitřního vzduchu. Hustota vzduchu závisí na barometrickém tlaku, teplotě a vlhkosti vzduchu, přičemž vliv vlhkosti je zanedbatelný a barometrický tlak se také v budově příliš nemění. A proto tlakový rozdíl závisí na rozdílu teplot a výšce budovy (vzniká komínový efekt). V budově se dole tvoří podtlak a v horních patrech přetlak. Mezi těmito rovinami existuje neutrální rovina, ta ale nemusí být nutně uprostřed výšky budovy, záleží totiž na rozložení netěsností a na vzduchotěsnosti vnitřních dělicích konstrukcí.

Tlakový rozdíl zapříčiněný účinkem větru

Zjednodušeně lze říci, že na návětrné straně dochází k tlaku vzduchu a na závětrné straně k podtlaku neboli sání vzduchu. Toto ale platí u deskových jednoduchých těles. V praxi záleží na spoustě dalších věcí, jako jsou tvar budovy, orientace směru větru vůči budově, stínící účinek okolní zástavby a zeleně a pochopitelně síla větru.

Tlakové účinky větru se často mění a zatěžují tak měření vzduchotěsnosti nejistotou, protože se nám nikdy nepodaří určit předem při nastavování vstupních parametrů přesné chování větru při měření.

Tlakový rozdíl zapříčiněný vzduchotechnickým zařízením

Tento tlakový rozdíl se zohledňuje hlavně u přetlakových nebo podtlakových systémů. U rovnotlakých systémů je zpravidla účinek zanedbatelný ve srovnání s vlivem teploty a větru. Existuje ale celá spousta dalších zařízení, která způsobují v objektu tlakový rozdíl. Patří mezi ně kuchyňské digestoře nebo spalovací spotřebiče kromě typů C s vlastním přiváděním vzduchu. Jsou to nejčastěji kotle, kamna a krby.

4.3 Výměna vzduchu v budově

V poslední době se dostává do popředí zpřísňování nároků na kvalitu vnitřního prostředí a zároveň nároky na minimalizaci energetické náročnosti budov. Když uvážíme, že zkvalitňování vnitřního prostředí potřebuje dostatečné větrání prostor a minimalizace energetické náročnosti se zase snaží zabránit odvodu tepla větráním, jdou tyto dva požadavky tzv. proti sobě. Je proto dobré se věnovat problematice větrání hlouběji a navrhovat co nejefektivnější systémy a možnosti větrání. S tím je právě spojená

vzduchotěsnost obálky budovy, protože čím více omezíme nekontrolovatelné úniky vzduchu z budovy, tím budou tyto systémy větrání efektivnější.

Hlavními účely výměny vzduchu v budově (větrání) jsou:

- Přívod dostatečného množství kyslíku pro dýchání
- Odvod vlhkosti a škodlivin uvolňovaných v budově

Minimální množství přiváděného vzduchu se stanovuje výpočtem, který musí zohlednit provoz budovy, počet obyvatel a další parametry tak, aby nedošlo k překročení maximálních koncentrací škodlivin.

Škodliviny jsou nejčastěji chápány jako metabolické produkty- CO_2 , oděrové škodliviny, nebo také produkty způsobené kouřením či přípravou pokrmů, popřípadě další specifikovatelné škodliviny dle různých provozů. Obecně platí zásada, že objemový tok větracího vzduchu pro odvod škodlivin by měl být na jednu osobu alespoň 8 l/s. Pro samotné zásobení lidského organismu kyslíkem ale stačí 1 l/s.

4.3.1 Způsoby výměny vzduchu v budově

Výměna vzduchu může probíhat dvěma způsoby:

- Záměrně a řízeně- větráním
- Samovolně bez možnosti regulace- filtrací

Oba způsoby jsou podmíněny tlakovým rozdílem.

Větrání

Může být nucené- složené z ventilátorů, klapek, potrubních rozvodů. Je zcela řízeno uživatelem nebo nastavením systému. Častější je větrání přirozené klasicky za pomoci oken a různých průduchů. Mezi nejčastější způsoby přirozeného větrání patřilo a dosud patří větrání okenními spárami, tedy filtrací vzduchu mezi okenním rámem a křídlem. Tento pohyb vzduchu zajišťují přírodní síly- působení větru a rozdíl teplot. U starších oken ale toto větrání není regulovatelné, neboť při zavřeném okně a nevhodných klimatických podmínkách byla filtrace vzduchu spíše na škodu. Starší metody pro výpočet tepelných ztrát proto oprávněně požadovaly započítání filtrace zavřenými okny do celkové tepelné ztráty místnosti. [5, s. 20]

Filtrace

Výměna vzduchu je způsobená přírodními silami- účinkem větru a rozdílem teplot, případně i tlakovým rozdílem vyvolaným mechanickým systémem. Filtrace probíhá bez zásahu uživatele, neplánovaně a nekontrolovatelně. Výskyt netěsností v obálce budovy je třeba vyloučit, a to jak ve fázi návrhu tak hlavně důsledným dodržováním pravidel na stavbě a opatrným nakládáním s důležitými vzduchotěsníci vrstvami.

Při proudění vzduchu netěsnostmi dochází k přenosu tepla, vlhkosti, pevných a chemických látek. Tyto transportní jevy mohou způsobit: [5, s. 33]

- Snížení účinnosti větracího systému
- Zvýšenou tepelnou ztrátu budovy
- Riziko kondenzace uvnitř konstrukce
- Urychlení degradačního procesu v okolí netěsností a z toho vyplývá snížená životnost celé konstrukce
- Snížení kvality vnitřního prostředí vlivem proudícího chladného vzduchu (průvan)
- Snížení kvality vnitřního prostředí vlivem ochlazení vnitřních povrchů („chladné sálání“)
- Zhoršení akustických vlastností konstrukce

4.3.2 Souvislost výměny vzduchu a energetické náročnosti

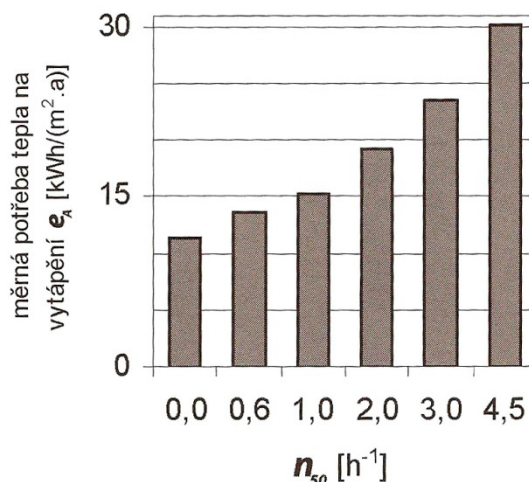
Větrání představuje nemalou část v tepelné bilanci budovy. Snažíme se tedy snížit potřebu větrání natolik, abychom aspoň splnili hygienické požadavky na minimální dávku čerstvého vzduchu. Dále ještě můžeme snížit tepelné ztráty doplněním zařízení na předeřhřev přiváděného vzduchu- např. zemní výměník tepla, či zařízení na zpětné získávání tepla z odpadního odváděného vzduchu (ZZT).

Vlivem filtrace vzduchu netěsnostmi mohou být často skutečné energetické vlastnosti budovy mnohem horší než vlastnosti deklarované. A to jen díky tomu, že se při návrhu a výstavbě málo dbalo na vzduchotěsnost konstrukcí. V těchto případech pak může dojít i k nechtěnému poddimenzování otopné soustavy. Pokud u běžných budov dochází v důsledku netěsné obálky k výraznému zvýšení tepelných ztrát, pak u budov s deklarovanou nízkou spotřebou energie na teplo, vybavenou větracími systémy se ZZT jsou energetické důsledky nekontrolovatelného unikání tepla obálkou mimořádně významné.

A to dalo impuls tvůrcům konceptu pasivních domů, aby zpracovali mimořádně přísné požadavky na vzduchotěsnost budovy.

Mezi hlavní propagátory pasivních domů je Dr. Wolfgang Feist, který v roce 1997 založil Passivhaus institut v Darmstadtu. [4, s. 29]

Splnění tohoto a dalších požadavků je klíčové pro vydání certifikátu o dosažení úrovně pasivního domu.



Obr. 3 Příklad vlivu vzduchotěsnosti obálky budovy (výměna vzduchu za hodinu při tlakovém rozdílu 50 Pa) na energetickou náročnost rodinného domu. Výpočet dle ČSN EN 832 Tepelné chování budov. [5]

4.4 Požadavky na výměnu vzduchu a vzduchotěsnost

Požadavky na limitní koncentrace škodlivin ve výrobních, školských a jiných budovách jsou zakotveny v právních předpisech: nařízení vlády č. 178/2001 Sb., vyhlášky č. 107,108/2001 Sb., 464/2000 Sb. a 6/2003 Sb. Co se týče tepelně technických požadavků, ty jsou specifikovány v ČSN 73 0540-2, Tepelná ochrana budov. Tato norma se věnuje výměně vzduchu v neužívaných nebo užívaných místnostech a omezení tepelné ztráty pomocí zařízení ZZT u větraných budov.

V neužívané místnosti stanovuje norma ČSN 73 0540 podmínku, že $n_{\min} \geq n_{\min,N}$, kde $n_{\min,N}$ je doporučená nejnižší intenzita výměny vzduchu v místnosti [h^{-1}] pro dobu, kdy není místnost užívána. Pokud nestanoví zvláštní předpis jinak, tak nabývá hodnot $0,1 h^{-1}$.

V užívané místnosti platí podmínka $n_N \leq n \leq 1,5 \cdot n_N$, kde n_N je požadovaná intenzita výměny vzduchu v užívaných místnostech dle zvláštních předpisů (vypsáno výše), pro obytné a obdobné budovy leží požadovaná intenzita výměny vzduchu obvykle mezi $0,3 h^{-1}$ až $0,6 h^{-1}$.

Požadavky na vzduchotěsnost jsou velmi přísné pro domy, u nichž má být deklarována velmi nízká potřeba tepla na vytápění, které jsou větrány nuceně, o něco méně přísné pak pro budovy s přirozeným větráním. Tento požadavek je řešen hlavně v zemích, kde je vysoké procento dřevostaveb a dále v zemích, kde je trend v prosazování nízkoenergetické a pasivní výstavby.

Česká verze normy ČSN 73 0540-2 byla rozšířena o požadavky převzaté ze zahraničních předpisů a obsahuje požadavky či doporučení, která se týkají celkové vzduchotěsnosti obálky budovy, vzduchotěsnosti místností s nuceným větráním nebo klimatizací, vzduchotěsností funkčních spár výplň otvorů, vzduchotěsností ostatních spár a netěsností v obálce budovy a ochrany tepelně izolačních vrstev proti působení náporu větru.

Pro hodnocení celkové vzduchotěsnosti obálky se používá intenzita výměny vzduchu n_{50} v h^{-1} , která by měla splnit podmínku: $n_{50} \leq n_{50,N}$, kde $n_{50,N}$ je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa.

Větrání v budově	$n_{50,N} [h^{-1}]$
Přirozené nebo kombinované	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6

Tab.1 Doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu dle ČSN 73 0540-2

U budov s nuceným větráním nebo klimatizací se doporučuje, aby vzduchotěsnost byla velmi dobrá i při normálních tlakových podmínkách. Toto se hodnotí pomocí výpočtem stanovené intenzity přirozené výměny vzduchu bez započtení funkce větracího, nebo klimatizačního přístroje n v h^{-1} pro zimní návrhové podmínky. Takto stanovená intenzita přirozené výměny vzduchu by měla splnit podmínku $n \leq 0,1 h^{-1}$. [5, s. 29]

5. MOŽNOSTI MĚŘENÍ VZDUCHOTĚSNOSTI

Měření na místě je jediný možný způsob, jak spolehlivě zjistit vzduchotěsnost obálky budovy. Možnosti výpočtu předem, ať je metoda jakkoliv sofistikovaná, je zatížena značnou nejistotou, protože netěsnosti obálky vznikají velmi často nahodile a v závislosti na různých specifikách, jako například zodpovědnost při práci a teoretická připravenost stavebních dělníků. Tyto vady mohou vznikat již při projekční přípravě a není proto možné dopředu znát jejich četnost a míru vlivu. Vzduchotěsnost se většinou vyjadřuje pomocí empirické rovnice proudění, díky součiniteli proudění C a exponentu proudění n můžeme vyjádřit vztah mezi objemovým tokem vzduchu proudícím netěsnostmi a tlakovým rozdílem. Pokud jsou hodnoty C a n známy, můžeme vykreslit do grafu spojitou funkci a stanovit s její pomocí množství protékajícího vzduchu při zvoleném tlakovém rozdílu. Pro snadnější porovnání budov mezi sebou se výpočty vztahují ke smluvně danému referenčnímu tlakovému rozdílu Δp_{ref} a dále se tyto veličiny vztahují k charakteristickému rozměru budovy - k objemu vnitřního vzduchu, ploše obálky, či podlahové ploše.

5.1 Možnosti hodnocení vzduchotěsnosti

Pro hodnocení vzduchotěsnosti pláště se nejčastěji používají tyto veličiny: [5, s. 36]

- intenzita výměny vzduchu	n_{ref}	$[\text{h}^{-1}]$
- měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi	w_{ref}	$[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$
- vzduchová propustnost budovy	q_{ref}	$[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$
- ekvivalentní plocha netěsnosti	$A_{\text{l,ref}}$	$[\text{cm}^2]$
- normalizovaná plocha netěsnosti	A_n	$[-]$

Dolní index "ref" pod značkou veličiny vyjadřuje hodnotu referenčního tlakového rozdílu, ta bývá definována v předpisech a normách různě pro různé země, nejčastěji to jsou hodnoty 4, 10, 25, 50, 75 Pa. U nízkých rozdílů se dá zjistit chování budovy za běžných podmínek, neboť tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem se obvykle při působení rozdílných teplot a větru pohybuje od 0 do 15 Pa.

Intenzita výměny vzduchu n_{ref}

S touto veličinou se můžeme setkat v praxi nejčastěji. Udává objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy vztažený k objemu vnitřního vzduchu v budově. Jako referenční tlakový rozdíl se nejčastěji používá hodnota 50 Pa. Pomocí n_{50} jsou definovány i doporučené hodnoty celkové vzduchotěsnosti budov v ČSN 73 0540-2.

$$n_{ref} = \frac{\dot{V}_{ref}}{V}$$

Kde $\dot{V}_{ref}$ je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu v [m³/h]

V je objem vnitřního vzduchu měřené budovy v [m³]

5.2 Měření vzduchotěsnosti

Metod měření vzduchotěsnosti je celá řada, ale ať už zvolíme jakoukoliv, její příprava a provedení by měla probíhat v těchto dílčích krocích:

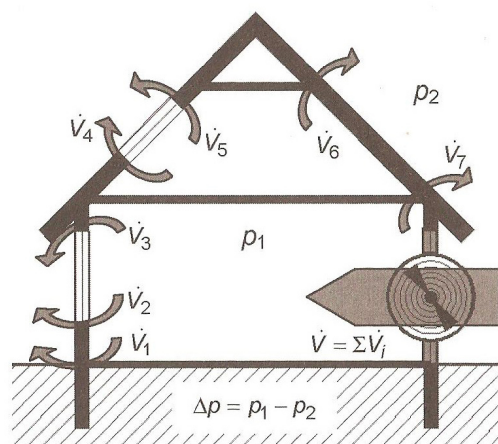
- Stanovení účelu měření (jestli chceme jen provést kontrolu před dokončením stavby, nebo měříme za účelem deklarace dosažené kvality hotové stavby)
- Výběr vhodné metody s ohledem na účel měření a velikost budovy
- Příprava budovy před měřením
- Vlastní měření
- Vyhodnocení výsledků a určení rovnice proudění
- Odvození jednočíselných veličin a určení možné chyby

Výsledek měření popisuje vlastnosti budovy a neměl by být ovlivněn aktuálními klimatickými podmínkami. Tyto podmínky je třeba vyloučit vhodnými opatřeními.

5.2.1 Možné metody měření

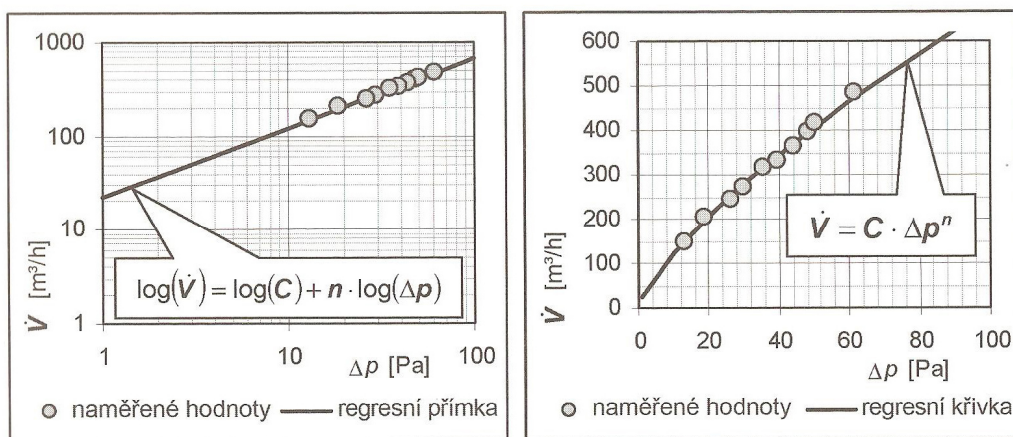
Metoda tlakového spádu s externím ventilátorem

Metoda spočívá v opakovaném měření objemového toku skrz obálku budovy při známém tlakovém rozdílu. Velikost tlakových rozdílů je větší, než běžně vyvolané rozdíly zapříčiněné klimatickými podmínkami, nejčastěji od 20 do 80 Pa.



Obr. 4 Schéma principu metody tlakového spádu s externím ventilátorem. [5]

Ventilátor má proměnné otáčky, čímž se reguluje tlakový spád a dá se osadit do obálky budovy (nejčastěji do vstupních dveří). Pro každou úroveň tlakového rozdílu se změří objemový tok vzduchu, který proudí ventilátorem a má se za to, že přesně takový objem vzduchu ve stejné chvíli prochází netěsnostmi v obálce budovy. Tyto dílčí výsledky se pak vynesou jako body do grafu. Při vykreslení v logaritmickém měřítku získáme pomocí vhodné metody lineární regrese přímku závislosti tl. rozdílu na objemovém toku vzduchu.



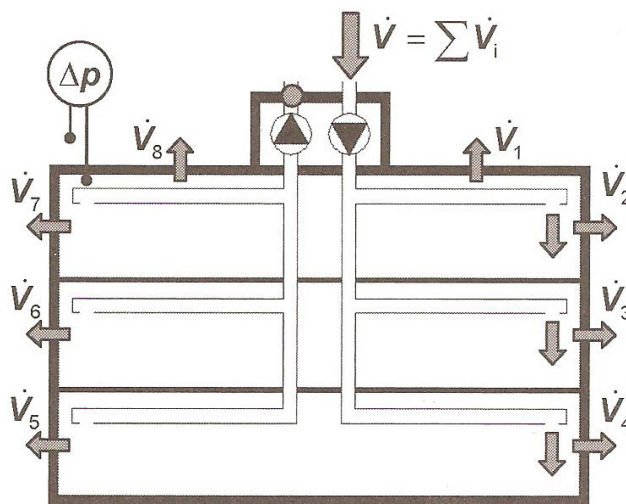
Obr. 5 Možnosti grafického vyobrazení výsledků měření. V logaritmickém měřítku (vlevo) a v běžném měřítku (vpravo). [5]

Měření může probíhat jako podtlakové či přetlakové. Obvykle se provádí obě měření a výsledek se pak určí jako aritmetický průměr obou.

Všechny typy zařízení vyvinuté pro tento druh měření se sestávají z ventilátoru, pomůcek pro jeho osazení do budovy a přístrojů pro měření objemového toku vzduchu a tlakového rozdílu. Nejznámějším zařízením je tzv. Blower door test.

Metoda tlakového spádu s vnitřním ventilátorem

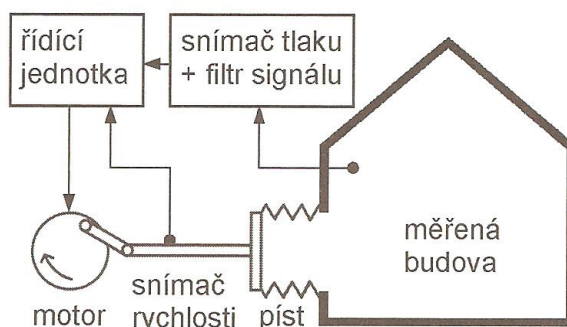
Tato metoda je alternativou pro metodu s vnějším ventilátorem. Je vhodná pro větší budovy, které jsou vybaveny vlastním větracím zařízením. Principiálně se od předchozí metody výrazněji neliší.



Obr. 6 Schéma principu metody tlakového spádu s interním ventilátorem. Podle Roulet, C.A., Vandaele, L. *Air flow patterns within buildings, measurement techniques*, AIVC TN 34. Coventry, 1991. [5]

Pro vyvolání tlakového rozdílu se však použijí ventilátory instalované v budově. Ne všechny ventilátory jsou pro toto měření vhodné a je třeba před započetím měření zkontrolovat vhodnost zařízení např. s výrobcem ventilátorů. Dále musí mít ventilátory možnost regulace otáček. Při měření podtlakem se zapnou pouze ventilátory na odváděcím potrubí. Na přiváděcím se vypnou a je nutno přiváděcí otvory ucpat, aby bylo zajištěno, že vzduch proudí pouze netěsnostmi. Při měření přetlakem je postup analogicky stejný, vypnou se odváděcí ventilátory a odváděcí otvory se ucpou. Dále je nutné zajistit dostatečně přesné měření objemového toku a tlakového rozdílu. U velkých budov se osvědčilo nepřímé měření objem. toku vzduchu s použitím konstantního vstřikování značkovacího plynu. [5, s. 42]

Metoda proměnného tlakového rozdílu



Obr. 7 Schéma principu metody s harmonicky proměnným tlakovým spádem. Podle Roulet, C.A., Vandaele, L. *Air flow patterns within buildings, measurement techniques*, AIVC TN 34. Coventry, 1991. [5]

V budově se vyvolá harmonicky proměnný tlakový rozdíl. Podle odezvy na tyto změny tlaku uvnitř budovy se odvozuje její vzduchotěsnost. Harmonická změna tlaku je vyvolána pohybem pístu, který neustále zatěžuje budovu podtlakem a přetlakem. Sledují se tyto veličiny: Amplituda tlakového rozdílu vyvolaného pístem a fázový posun mezi změnou tlaku v budově a polohou pístu. Z těchto dvou veličin se pak přímo odvodí ekvivalentní plocha netěsnosti A_L obálky budovy.

Touto metodou nelze měřit budovy s velkými netěsnostmi. Tlakový rozdíl vyvolaný pohybem pístu je relativně malý a může tak simulovat běžné namáhání přírodními silami. Výhodou je rychlost měření (zpravidla netrvá déle než 5 min), měření je méně citlivé na okolní vlivy než u jiných metod, neboť se dají snadno odfiltrovat signály s frekvencí jinou než je frekvence pístu (například u nárazového větru).

Tato metoda se však příliš nerozšířila.

Metoda tlakového impulzu

U této metody se využívá toho, že tlakový rozdíl, který je vyvolaný tlakovým impulzem v čase klesá. A právě rychlost tohoto poklesu se měří jako základní veličina pro určení vzduchotěsnosti obálky budovy. K měření pak potřebujeme zařízení, které je schopno zaznamenat rychlý pokles tlakového rozdílu (citlivý manometr a zařízení pro sběr dat s vysokou vzorkovací frekvencí). Pro vyvolání tlakového rozdílu u běžných rodinných domů pak stačí prudce zabouchnout dveře. Metoda je rychlá, ale pro měření budov se nepoužívá. Očekává se ovšem, že podobné metody by mohly sloužit k měření stavebních dílců v laboratorních podmínkách.

5.2.2 Blower door test

Blower door testem se běžně označuje metoda měření, u kterého se používá sestavy zařízení Blower door. Je to nejrozšířenější měřicí metoda. Oblíbená je zvláště díky své univerzálnosti, neboť zařízení Blower door je možno umístit jednoduše do dveří či jiného stavebního otvoru díky teleskopickému rámu. Zařízením tedy můžeme měřit jakoukoliv běžnou budovu i větší haly, kde je třeba jen osadit do otvoru větší počet ventilátorů.

Postup měření je v řadě zemí standardizovaný. V české republice se řídí normou ČSN EN ISO 13829 a používá se jak při výstavbě pro zjištění nedostatků před dokončením, tak i u hotových staveb v rámci deklarace dosažené úrovně vzduchotěsnosti.

Zařízení se může dle výrobce lišit, vždy má ale tyto základní části:

- teleskopický rám,
- vzduchotěsná plachta (panel) s otvorem pro ventilátor,
- ventilátor s plynule měnitelnými otáčkami,
- regulátor otáček,
- přístroje pro měření tlakového rozdílu a objemového toku vzduchu.

Teleskopický rám bývá zpravidla po obvodu doplněný pružným těsněním. Přes rám se natáhne vzduchotěsná plachta a tato sestava se vloží do otvoru, překontroluje se natažení plachty a následně se vše zaaretuje páčkami na rámu které rám ještě mírně rozšíří aby byla zaručena maximální těsnost po obvodu.

Do otvoru v plachtě se vsadí ventilátor. U ventilátorů, kde nelze zajistit opačný chod motoru se musí věnovat pozornost tomu, jestli děláme podtlakové nebo přetlakové měření a ventilátor vsadit dle toho. Snahou výrobce bývá univerzálnost zařízení, to by mělo být schopné měřit jak velké, střední, malé, tak i těsné a netěsné budovy. Každá budova si žádá specifický rozsah objemu proudícího vzduchu. U velkých netěsných budov bude objem vzduchu několikanásobně větší než u těsných malých rodinných domů a proto je zařízení doplněno výměnnými clonami o různých velikostech otvoru, které nám zaručí přesnější měření s lepší možností regulace otáček.

Tlakový rozdíl se měří citlivým čidlem v rozsahu 0 až 100 Pa s přesností ± 2 Pa (dle ČSN EN ISO 13829).

Objemový tok vzduchu bývá měřen nepřímou. Podle osazené kalibrované clony, u nichž je známa závislost objemového toku vzduchu otvorem na tlakovém rozdílu před a za clonou je

systém schopen vyhodnotit hodnotu objemového toku vzduchu. Ta musí být s přesností alespoň $\pm 7\%$ (dle ČSN EN ISO 13829).

V dnešní době bývá zařízení Blower door vybaveno i náležitým softwarem, takže veškeré hodnoty se při měření zobrazují a ukládají v osobním počítači. Program pak sám vyhodnotí a spočítá naměřené hodnoty a nabídne tisk výsledků ve formě jednoduchého protokolu. Náležitosti protokolu jsou definovány v ČSN EN 13829 a upřesněny v TNI 73 0330. V programu se na začátku nastaví nejdůležitější hodnoty potřebné pro výpočet jako objem vzduchu v objektu, podlahová plocha, plocha obálky, teploty vnitřního a vnějšího prostředí, momentální možný vliv větru na měření, s jakou přesností a s kolika naměřenými hodnotami má program počítat a podobně.

Pro zachování přesnosti měřicího zařízení je nutno jej v předepsaných lhůtách pravidelně kontrolovat a měřidla musí být pravidelně kalibrovány.

„ČSN EN 13829 rozlišuje dvě metody měření, které se vzájemně liší přípravou budovy před měřením:

metoda A – měření budovy v provozním stavu

Větrací otvory v obálce budovy se uzavřou (například okna a větrací mřížky), ostatní záměrné otvory (například komíny, odvětrání kanalizačního potrubí apod.) se ponechají ve stavu typickém pro období, kdy je v provozu systém vytápění nebo chlazení. Výsledky měření metodou A mají charakterizovat vzduchotěsnost budovy v provozním stavu. Měření by tedy mělo probíhat až po úplném dokončení budovy. Výsledky se použijí zejména jako vstupy do energetických výpočtů.

metoda B – měření vzduchotěsnosti obálky budovy

Větrací otvory v obálce budovy se uzavřou, ostatní otvory se utěsní (odpady , komín apod.). Metodou B lze měřit jak během výstavby, tak po jejím dokončení. Cílem tohoto testu je odhalit defekty v těsnosti a zjistit úspěšnost vzduchotěsnících opatření. Při provádění testu v průběhu výstavby je třeba, aby byla dokončena vzduchotěsnicí vrstva, zapravena okna a venkovní dveře.” [8]

Postup měření

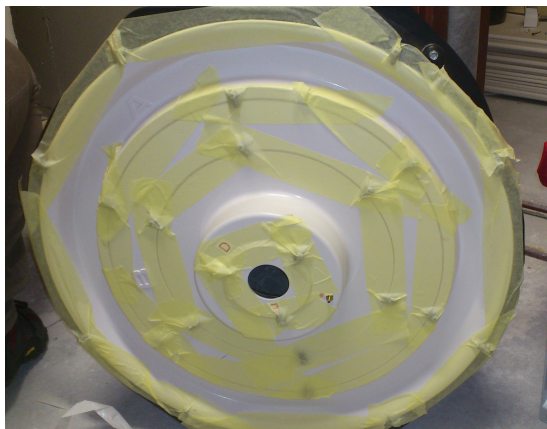
Podle ČSN EN ISO 13829 je postup měření složen z těchto kroků:

- kontrola klimatických podmínek před měřením,
- osazení měřicího zařízení,
- volba posloupnosti tlakových rozdílů,
- měření základního tlakového rozdílu před začátkem měření,
- vlastní měření (měření závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu),
- měření základního tlakového rozdílu po skončení testu.

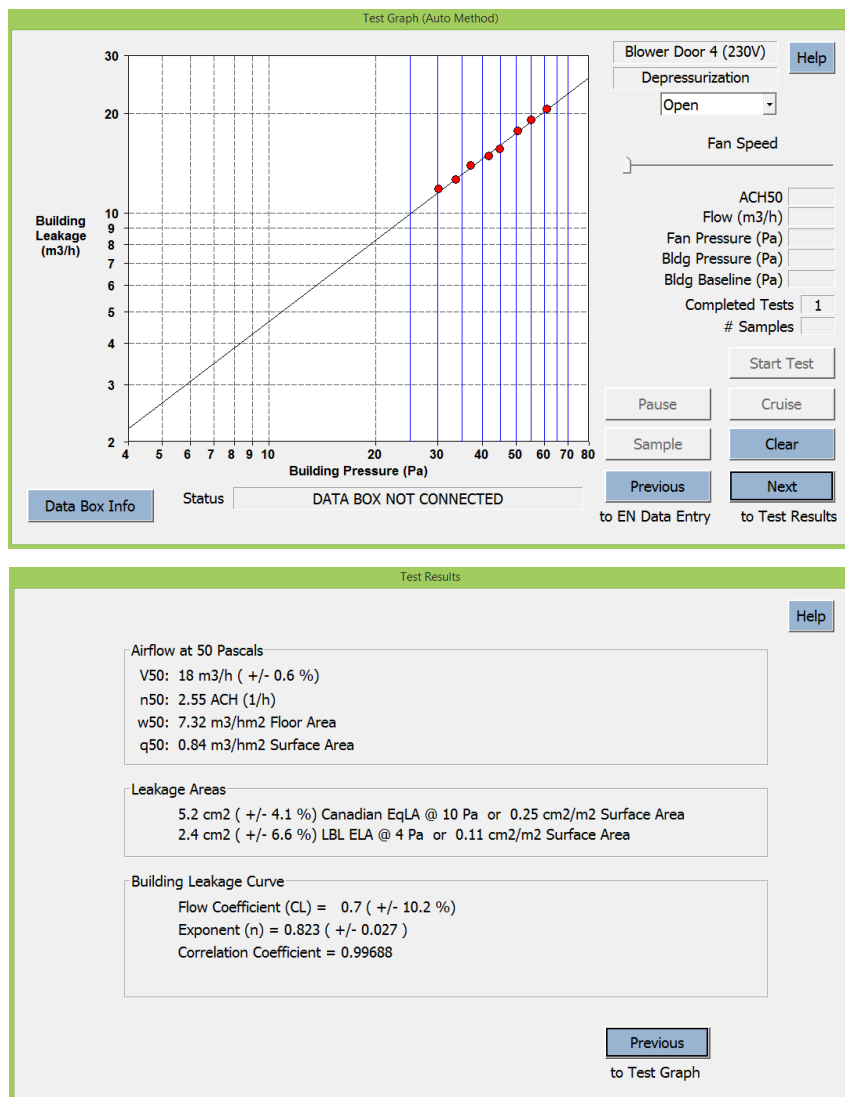
Každá budova by se měla měřit dvakrát- při podtlaku a při přetlaku v budově. Norma také udává, při jakých největších hodnotách síly větru a rozdílu teplot se může měřit. Splnění těchto podmínek musí být kontrolováno a rozdíl teplot spolu se silou větru se musí zaznamenat, později se tyto hodnoty využijí při vyhodnocování výsledků.



Obr. 8 Ukázka osazení měřicího zařízení místo dveří. [12]



Obr. 9 Ventilátor Blower door a na něm osazena nejmenší clona E. Vše řádně přelepeno páskami pro eliminaci zkreslení výsledků. [archiv autora DP]



Obr. 10, 11 Příklad výsledného grafu a výsledků testu zobrazených ve speciální programu pro ovládání Blower door. [archiv autora DP]

5.3 Měření vzduchotěsnosti stavebních dílů

Další podkapitola se nezabývá měřením celého objektu, ale pouze části konstrukce nebo výplně otvorů apod. Měření je založeno na podobných principech jako u měření obálky budovy. Opět je třeba zjistit závislost objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu, čili parametry **C** a **n** empirické rovnice proudění.

Odpadá zde dělení na měření metodou A nebo B, ale je zde potřeba rozlišovat měření v laboratorních podmínkách, nebo in-situ (na místě).

Přesnějších výsledků se dosahuje v laboratorním prostředí, hlavní výhody této možnosti jsou:

- vzorky pro měření mohou být lépe připraveny,
- je možno použít přesnějších přístrojů,
- vzorky se v laboratoři pečlivěji osazují,
- nedochází k ovlivňování měření klimatickými vlivy.

Laboratorního měření se využívá zejména u zkoušení sériově vyráběných stavebních dílů (například okna či dveře). Pro laboratorní měření ale nejsou zhotoveny konstrukce realizovatelné na stavbě, nýbrž jen jejich modely. Naměřené hodnoty tak nemusí odpovídat skutečnosti na stavbě, kde se mohou projevit různé vlivy na kvalitu zpracování, přístup pracovníků, technologické komplikace aj.

Interpretace měření in-situ bývá komplikovanější, ale lépe nám vyjadřuje opravdové chování zabudované konstrukce.

Hodnotící veličiny používané u stavebních dílů jsou: [5, s. 60]

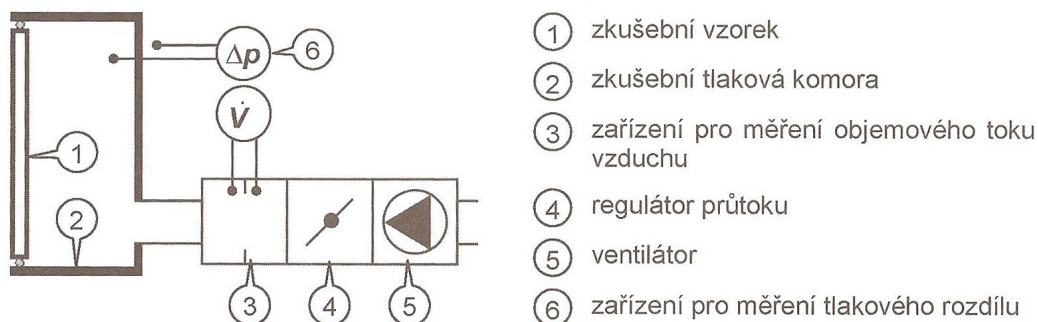
- ekvivalentní plocha netěsnosti	$A_{L,ref}$	$[m^2]$
- referenční plošná průvzdušnost	$Q_{ref,A}$	$[m^3/(h.m^2)]$
- referenční spárová průvzdušnost	$Q_{ref,L}$	$[m^3/(h.m)]$
- součinitel spárové průvzdušnosti	i_{LV}	$[m^3/(s.m.Pa^{0,67})]$

5.3.1 Laboratorní metody

Metoda tlakového spádu

Princip je podobný s metodou tlakového spádu s externím ventilátorem popsanou v kapitole 5.2.1. Prvek se osadí do vzduchotěsné komory. Existují zvláštní normy na měření oken, dveří a jiných lehkých stavebních prvků ČSN EN 1026 a ČSN EN 12153. Dále pak norma ČSN EN 12114 Tepelné chování budov- Stanovení průvzdušnosti stavebních dílců a prvků, která zohledňuje tu skutečnost, že žádná komora není nikdy zcela vzduchotěsná. Komora se jednou změří se zcela vzduchotěsným vzorkem a podruhé se vzorkem určeným k

samotnému měření a rozdílem naměřených hodnot se zjistí vlastní objemový tok skrz měřený vzorek. Podobný postup je detailněji popsán v druhé části diplomové práce.



Obr. 12 Schéma principu metody tlakového spádu u laboratorního měření podle ČSN EN 12114 [5]

Metoda měření při neustáleném tlakovém rozdílu

Tato možnost měření je velmi podobná metodě tlakového impulsu popsané v kapitole 5.2.1. Vzorek se osadí do komory, ventilátorem se pak v komoře vytvoří přetlak či podtlak. Ventilátor může být i obyčejný a musí být osazen na potrubí s velmi těsnou klapkou. Po uzavření přívodu vzduchu se měří, za jak dlouho se tlaky mezi komorou a okolním prostředím vyrovnají. Pokles rozdílu tlaku v čase je závislý na vzduchotěsnosti vzorku a pláště komory a pokud je čas ustálení přesně zaznamenán, lze z něj odvodit rovnici proudění. Výhodou metody je její jednoduchost a rychlost. Dá se očekávat rychlý vzestup obliby této možnosti.

5.3.2 Metody měření in-situ

Tyto metody využívají principu metody tlakového spádu. Je vždy potřeba zajistit, aby vzduch, jehož objemový tok měříme procházel pouze těmi částmi konstrukce, kde chceme. Toho se dá docílit **postupným utěšňováním**, při kterém při měření dotěsníme místa která jsou netěsná a necháme pouze oblast, kterou chceme změřit. Tato metoda má ale tu nevýhodu, že je prakticky nemožné utěsnit vše dokonale, a proto se vzduchotěsnost vzorku stanovuje nepřímou: změří se celá obálka budovy, následně se vzduchotěsnou folií zakryje testovaný prvek a celé měření proběhne ještě jednou. Výsledkem je pak rozdíl naměřených hodnot.

Je zde také možnost metody **měření s pomocnou komorou**, která umožňuje vytvořit řízený tlakový rozdíl pouze v blízkosti zkoušeného prvku. Komora musí být osazena na konstrukci velmi těsně. Tato metoda není zcela univerzální, protože u některých konstrukcí bude

docházet k výraznému úniku vzduchu bočními cestami jako jsou vzduchové dutiny v konstrukci. U malých prvků, jako jsou například okna, je možné nahradit komoru vzduchotěsnou folií, do které se vlepí kalibrovaná clona. Tyto a jiné metody měření in-situ, jako jsou měření v tlakově vyrovnané zóně a měření dílčích průtoků pomocí značkovacího plynu jsou podrobně popsány v literatuře (např. JIŘÍ NOVÁK. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*, str. 67-71).

5.4 Detekce netěsností

Před konečnou fází výstavby, dokud nejsou konstrukce zakryty a začištěny, je dobré provést při samotném měření detekci vad a pokud je to možné, tyto vady odstranit. Odhalování častých netěsností je také významným zdrojem zkušeností, které se pak promítnou do návrhu dalších budov. Netěsnosti ale nemusí být dobře zjistitelné, místo kde proniká vzduch do vnitřního prostoru (při podtlakovém měření) a místo kde je porušena vzduchotěsná vrstva nemusí být tytéž. To platí zejména u dřevostaveb, kde se nalézají vzduchové vrstvy pro instalace elektrotechniky a jiných vedení. Proto je důležité, jak bylo zmíněno výše, tuto kontrolu provádět, dokud nejsou vzduchotěsní vrstvy zakryté.

Pro samotnou detekci vad není nutné mít drahé zařízení pro měření (např. Blower door). Zpravidla nepotřebujeme znát přesný tlakový rozdíl či objemový tok vzduchu. Stačí osadit do dveří běžný ventilátor a za pomoci anemometru či jen pomocí navlhčené dlaně můžeme zjistit místa vad.

Pro detekci se nejčastěji používají tyto metody:

Detekce anemometrem

Je to nejběžnější možnost. Vzduchotěsní vrstvy se zpravidla v našich klimatických podmínkách umísťují k vnitřnímu povrchu obálky a proto se detekce provádí z interiéru při podtlakovém režimu. Výrobci anemometrů dnes nabízejí přístroje, které jsou schopny zachytit proudění v řádu desetin m/s a přitom jsou cenově dostupné. Smyslem této metody je pouze lokalizace vad, protože většinou nelze za pomoci naměřených hodnot rychlostí vzduchu zjistit objemový tok v netěsnosti. Z principu Bernoulliho rovnice není možné zjistit objemový tok, pokud neznáme plochu netěsnosti. Také zde nelze předpokládat čistě laminární proudění.



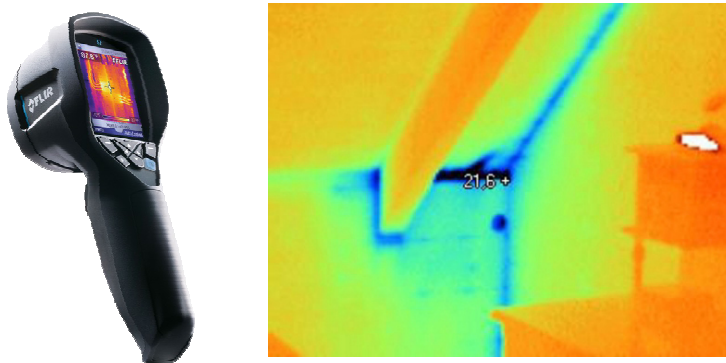
Obr. 13 Ukázka digitálního anemometru. [13]

Detekce pomocí ultrazvuku

U této metody je potřeba zdroj zvuku o vysoké frekvenci, který se dává obvykle do exteriéru a detektor, který je schopný pomocí sondy tento zvuk zaznamenat. Sonda zaznamená ultrazvuk pouze v těsné blízkosti netěsnosti, kterou se ultrazvuk může šířit. Obvykle sonda upozorňuje na to, že je v blízkosti netěsnosti zvukovým signálem. Tato metoda nepotřebuje tlakový rozdíl mezi venkovním a vnitřním prostředím. Není tedy závislá na měření vzduchotěsnosti. Detekce je poměrně rychlá a snadná, v praxi se ale příliš nepoužívá.

Detekce termovizním snímkováním

U této metody se zpravidla měří z vnitřního prostoru podtlakově a za ustáleného tlakového rozdílu. Také je důležité, aby venkovní vzduch byl výrazně chladnější než vnitřní. Vzduch pronikající dovnitř ochlazuje okolní konstrukce kolem netěsnosti, takže jsou tyto místa na termovizním snímku dobře patrná. Tato metoda má ovšem ten problém, že zatímco termovizní snímkování se nejlépe provádí v chladných měsících, měření vzduchotěsnosti by se mělo provádět za malého teplotního rozdílu, čili v teplejších měsících. Když už se tedy dělá jak detekce netěsností, tak měření vzduchotěsnosti v jeden den, musí se najít kompromis. Tato metoda tedy není použitelná vždy.



Obr. 14 Příklad termovizní kamery, termovizní snímek oblasti napojení střechy na stěnu. [14] [15]

Detekce dýmem

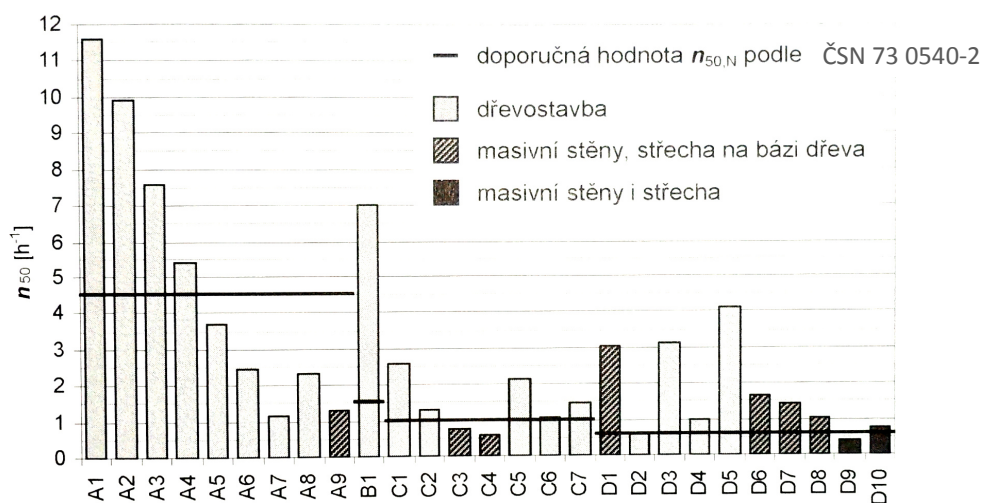
U této metody jsou netěsnosti velice dobře viditelné. Potřebujeme vyvíječ hustého dýmu a zařízení pro vyvolání tlakového rozdílu. Při umístění vyvíječe poblíž netěsnosti je dým strháván do netěsností (u přetlakového působení). Používají se zdravotně nezávadné, někdy zbarvené druhy dýmu.



Obr. 15 Vyvíječ dýmu. [16]

5.5 Dosahovaná úroveň vzduchotěsnosti v praxi

Praktické využití zkušeností z měření vzduchotěsnosti různých budov pomáhá v poslední době projektantům dosahovat stále lepších výsledků. V dnešní době se staví stále větší procento novostaveb z lehkých skládaných konstrukcí a je potřeba se o problému vzduchotěsnosti zajímat víc než kdy dřív.



A- budovy s přirozeným větráním,

B- budovy vybavené mechanickým větracím systémem,

C- budovy vybavené mechanickým větracím systémem se ZZT,

D- budovy s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění vybavené mech. vět. zařízením a ZZT.

Obr. 16 Přehled výsledků měření vzduchotěsnosti některých českých budov. [5]

6. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ve zbývajících částech práce vás seznámím s vlastními výsledky našeho měření. Z počátku byla představa, jak bude měření probíhat a co se bude měřit odlišná od skutečnosti, původní plán bude obsáhleji představen v kapitole 6.2- Předběžné a přípravné práce.

Měřením jsem chtěl zjistit, jak se zkoušené vzorky budou chovat za působení tlakového rozdílu vyvolaného ventilátorem Blower door testu v závislosti na jejich schopnosti propouštět vzduch. Chtěli jsme si tím ověřit jejich vhodnost k použití jako vzduchotěsná vrstva v budovách. Měřené vzorky jsou různé obdoby použití OSB desek, což je aktuální v dnešní době u dřevostaveb, které se stále častěji vystavují jako nízkoenergetické, nebo dokonce pasivní domy. Obecné podvědomí o OSB deskách na stavbách je takové, že se jedná o neprůvzdušný materiál, vhodný jako varianta místo parotěsné fólie. „*Je třeba ale mít na zřeteli, že se nebude, v případě desek OSB, jednat o parozábranu ale parobrzdu a tudíž jejímu užití musí předcházet kalkulace vlhkostní bilance v konstrukci a skladba směrem do exteriéru tomuto musí odpovídat. Difuzní vlastnosti desek OSB se často vyjadřují faktorem difuzního odporu (μ). Ten se u různých výrobců a provedení pohybuje v rozmezí 80 - 300*”. [9] Z uvedeného je zřejmé, že v odborném prostředí specialistů na problematiku vzduchotěsnosti se hovoří o OSB jako o jakémsi difuzním retardéru- parobrzdě, která nikdy nezaručí nepropustnost vodních par ve vzduchu. Takto na OSB desky nahlížíme i v této práci a dalšími pokusy zkoušíme vlastnosti různě upravených desek, nabízíme komparaci těchto výsledků.

6.1 Prostředky potřebné k našemu měření

Přístrojové vybavení:

Co se týče vybavení, fakulta stavební při univerzitě VUT v Brně disponuje přístroji na měření vzduchotěsnosti budov, kterých jsme také využili.

Jsou to: Minneapolis Blower DoorTM 4.1- ventilátor s proměnnými otáčkami, teleskopický osazovací rám s neprůvzdušnou plachtou dodávaný s ventilátorem. Sada kalibrovaných clon k ventilátoru. Regulátor otáček a přístroj na měření tlaků.



Obr. 17 Sbalené měřicí zařízení připravené na převoz. Vlevo- ventilátor. Vpravo- v tašce vzduchotěsná plachta, clony a další přístrojové vybavení zařízení. Nahoře- složený teleskopický rám [archiv autora DP]

Ke zjištění netěsností osazení vzorku a netěsností vlastní komory jsme využili anemometr Testo 405-V1 a termokameru Flir i7, která se ovšem ukázala jako nedostačující, neboť vlivem malého rozdílu teplot se nám termosnímek dostatečně neprokreslil. Dále jsme využívali osobního počítače- notebooku s operačním systémem Windows xp, protože u vyšších verzí operačního systému Windows jsme se setkali s nekompatibilitou ovladače dodávaného k měřicímu zařízení.

Jako softwarové zařízení jsme využili program Tectite Express 3.6.7.0, který je součástí měřicího zařízení. Pro zpracování výsledků posloužily programy balíku Microsoftu Office Excel a Word 2010.

Vzorky:

Počet vzorků byl z časových a organizačních důvodů nakonec ustálen na počtu šesti zkoumaných vzorků. Potažmo sedmi, ale vzorek s parotěsnou fólií sloužil spíše jako etalon neprůvzdušného vzorku navzdory tomu, že jednotlivá jeho měření se od sebe mírně liší jak bude uvedeno dále.

Vzorky byly vyrobeny ze dvou různě silných OSB desek, konkrétně šlo o tloušťky 12 a 22 mm. Oba tyto vzorky byly sešroubovány ze dvou desek 625x2500 mm tak, aby po výšce vzorku procházela spára. Neměřili jsme tedy samotnou průvzdušnost materiálu desky jako takového, ale vztáhli jsme výsledky i k závislosti chování spáry, což nám dalo objektivnější pohled na skutečně dosahovanou neprůvzdušnost na stavbách. Jedno měření probíhalo bez

přelepení spáry, druhé se spárou přelepenou speciální páskou a třetí po natření celého vzorku latexovým nátěrem. Podrobnější specifikace vzorků v kapitole 7.4.

Komora:

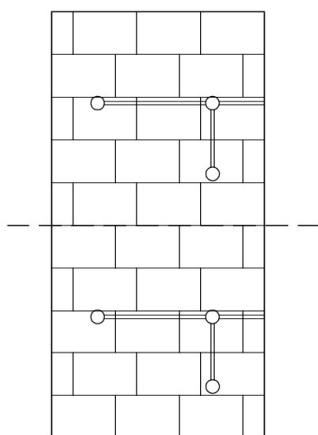
Stěžejním výsledkem pokusů a měření bylo dokončit a ověřit vhodnost neprůvzdušné komory, na kterou se vzorky osazují. Vnitřní půdorys komory má tvar obdélníku a stranách 1710x1405 mm a světlá výška je 2710 mm. Z přední strany je komora přístupná otvorem upraveným pro osazení rámu měřicího zařízení a rozměrech 715x1900 mm. Ze zadní strany je pak otvor upravený pro osazení vzorku o rozměrech 1000x2000 mm. Komora se postupně upravovala dokud nebyla maximálně vzduchotěsná. Bližší informace o způsobu uchycení vzorků, osazení rámu a bližší specifikace materiálového souvrství komory bude rozvedeno v kapitole 7.2.

6.2 Předběžné a přípravné práce

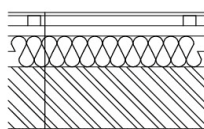
Z počátku plánování tématu diplomové práce byla představa taková, že by se na experimentální dřevostavbě při FAST VUT v areálu brněnské Prefy na ulici Kulkova měřily různé varianty zděných konstrukcí. Tyto konstrukce by se vystavěly do otvoru v komoře, a dále se měřily jejich vlastnosti při omítnutém/neomítnuté zdivu. Bez zateplení a dále s kontaktním zateplovacím systémem difuzně otevřeným a neotevřeným. Vliv Elektroinstalací ve zdivu- osazení vzduchotěsných/obyčejných elektroinstalačních krabiček a podobně. Rozdíl mezi vystavěním zdi z keramických příčně děrovaných bloků, a bloků na bázi plynosilikátu (např. Itong). Od tohoto plánu se upustilo. Hlavními důvody byla časová náročnost takového pokusu a složitost realizace na místě s ohledem na prostor ve dřevostavbě, zvláště na to, že ve dřevostavbě probíhá množství různých jiných výzkumů ať už z oblasti insolace, akustiky, vlhkostního zkoumání materiálů a podobně.

Bylo tedy potřeba vymyslet jinou možnost, která by nepotřebovala tak široký časový rámec pokusů a zároveň abychom na stavbě s naším pokusem co nejméně překáželi ostatním výzkumům.

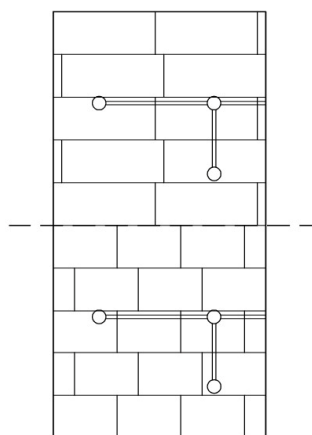
při tloušťce zdiva 250 mm
(v této tloušťce se půlky nevyrábí,)



36 ks broušené cihly PT 24 profi
lepidlo
nízkoexpanzní pěna
3,5 m² polystyren
3,5 m² izolační vaty
latě, záklop (pro variantu vzduchové mezery)
omítka jednovrstvá
venkovní stěrka
elektr. krabíčky, flexi trubka, zásuvky, sádra
hmoždiny, vruty, terče na desky z vaty

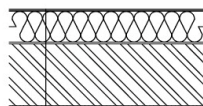


- záklop prkna 12mm
- latování- svisle, vodorovně, latě 40x50mm
- izolace vata 120mm připevněná mechanicky
- zdivo (keramika, porobeton) 240 nebo 300mm
- vnitřní jednovrstvá omítka sádrová cca 15mm



18 ks cihly PT 24 P+D
12 ks tvárnice itong 300x599x249
zdicí malta
3,5 m² polystyren

společně s první variantou:
lepidlo
nízkoex. pěna
3,5 m² iz. vaty
latě, záklop
omítka, venkovní stěrka
krabíčky, trubka, zásuvky, sádra, hmoždiny
vruty, terče



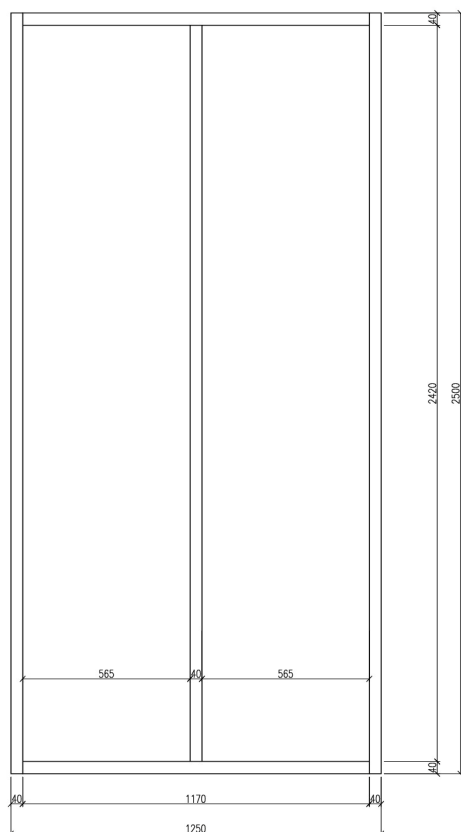
- venkovní stěrka
- stěrka (lepidlo co budeme používat)
- izolace EPS 120mm
- nízkoexpanzní pěna
- zdivo (keramika, porobeton) 240 nebo 300mm
- vnitřní jednovrstvá omítka sádrová cca 15mm

předpokládané U konstrukce: 0,29 W/m²K
(počítáno pro nejhorší ze zamýšlených variant: 120mm izolace, 240mm keramiky,
15mm vnitřní omítky, zvenku provětrávaná mezera)

Obr. 18 První návrhy vzorků pro měření vzduchotěsnosti. Výpočty potřebného materiálu a návrhy skladeb.

Poté, co se upustilo od časově a prostorově náročného zkoumání zděných konstrukcí
vystala možnost měřit sendviče na bázi dřevěných deskových materiálů s vnitřní izolací.
Simulovat tím skutečné chování obvodových stěn ve dřevostavbách. Tato varianta se ale
nakonec neuskutečnila a místo toho jsme se zaměřili na samotné možnosti použití desek
OSB jako hlavní vzduchotěsnící vrstvu budovy.

NÁVRH NOSNÉHO ROŠTU



HMOTNOST KONSTRUKCE 1 :

2 x OSB DESKA TL.12 mm – 2 x 23,03 kg ... 46,06 kg
9,76 m SMRKOVÉ LATĚ 40x60mm, OB.MHOT. 440 kg/m³ ... 10,3 kg
2,734 m² TEP.IZOLACE DESKY Z MIN. VLÁKEN, TL.60 mm
OB.HMOT. 112 kg/m³ ... 0,15864 m³ ... 18,37 kg
+3,125 m² PAROZÁBRANA, DIFUZNÍ FOLIE
+SPOJ. MATERIÁL, MADLA (ODŘEZ ZE SMRK. LATÍ)

HMOTNOST cca 80 kg

HMOTNOST KONSTRUKCE 2 :

1 x OSB DESKA TL.12 mm – 23,03 kg ... 23,03 kg
9,76 m SMRKOVÉ LATĚ 40x60mm, OB.MHOT. 440 kg/m³ ... 10,3 kg
15 m SMRKOVÉ LATĚ 40x40mm ... 10,56 kg
2,734 m² TEP.IZOLACE DESKY Z MIN. VLÁKEN, TL.60 mm
OB.HMOT. 112 kg/m³ ... 0,15864 m³ ... 18,37 kg
+3,125 m² PAROZÁBRANA, DIFUZNÍ FOLIE
+SPOJ. MATERIÁL, MADLA (ODŘEZ ZE SMRK. LATÍ)

HMOTNOST cca 65 kg

SKLADBA KONSTRUKCE 1 :



SKLADBA KONSTRUKCE 2 :



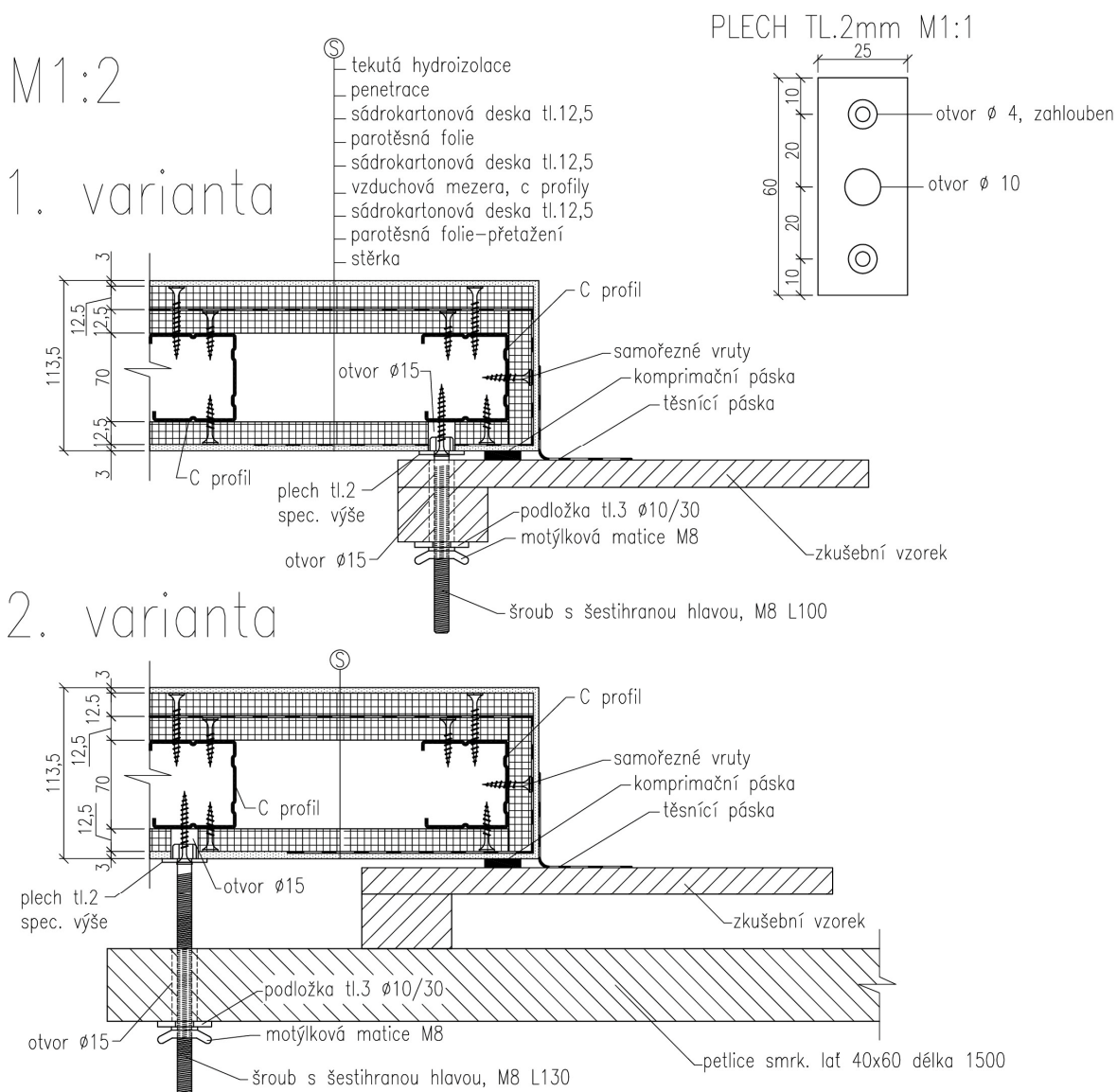
Obr. 19 Návrh skladby vzorku simulujícího skutečnou stěnu dřevostavby. Orientační výpočet váhy vzorku pro manipulaci v prostoru experimentální dřevostavby.

Dořešení Zkušební komory

Naši vzduchotěsnou komoru bylo potřeba před měřením jednak dodělat, ale také vyzkoušet a opravit případné nedostatky. Na dokončené komoře, kde byl již zhotoven druhý záklop sádrokartonových desek (viz skladba stěny komory v kap. 7.2) a okolo otvoru pro osazení vzorku byla nalepena komprimační páska bylo vyzkoušeno první podtlakové měření vzorku, který byl celoplošně opatřen vzduchově nepropustnou fólií. Za pomoci anemometru se zjistily nedostatky v koutech komory a také nevhodnost námi uvažovaného osazení vzorku, tj. že nestačí vzorek přiložit ke komprimační pásce aby se pod tlakem vyvolaným v komoře sám přitáhl, že je potřeba vymyslet sofistikovanější způsob pevného uchycení vzorku.

Po tomto měření se vnitřek komory opatřil nátěrem tekuté lepenky, dvousložkové směsi na bázi disperze kopolymerů a modifikovaných přísad s cementem. Tento materiál se může

využít i jako izolace proti pronikání radonu a proto je vhodný i pro zlepšení vzduchotěsnosti naší komory. Co se týče osazení vzorku, bylo vymyšleno několik variant uchycení. Nakonec se používal jednoduchý způsob popsáný v kap. 7.2.



Obr. 20 Návrhy osazení vzorku na otvor vzduchotěsné komory, ani jeden z návrhů se nakonec neuskutečnil.

7. MĚŘENÍ VZDUCHOTĚSNOSTI VZORKŮ

Po vyřešení problémů jsme mohli přistoupit k vlastnímu měření našich vzorků. V následující kapitole blíže rozvedu náš postup měření, vzduchotěsnou komoru, měřící zařízení a jednotlivé vzorky.

Jak bylo popsáno dříve, měření pomocí Blower Door testu je nejrozšířenější metoda tlakového spádu s externím ventilátorem. Postup měření je ve světě standardizovaný a v naší zemi se řídí normou ČSN EN ISO 13829. My však tento postup při řešení našich vzorků nemohli přesně využít díky specifičnosti našeho záměru. V našem případě jsme nemohli rozlišovat mezi metodami A či B (viz dříve) a volbu počátečního i koncového tlakového spádu jsme volili s ohledem na momentální podmínky, měřený vzorek a co nám program dodávaný k Blower Door sestavě v rámci svého primárního nastavení dovolil. Využili jsme měřící zařízení a jeho SW, zařízení jsme osadili do vzduchotěsné komory. Díky zkušenostem z předchozích měření a bližší znalosti problematiky měření Blower Door testem vedoucího dip. práce Ing. Davida Bečkovského, P.hD. a mnohdy zkoušek pokusomyl jsme vypracovali vlastní algoritmus měření pro naše podmínky. Dalo by se říci, že jsme využili měřící sestavu pro měření in situ v terénu a vytvořili z ní laboratorní metodu. Námi používaný ventilátor Blower door Minneapolis 4.1 je určen pro měření menších či větších staveb a tudíž má při malých objemech (objem naší komory je $6,9 \text{ m}^3$) vysoké procento možné chyby. Z tohoto důvodu jsme také museli použít nejmenší clonu E, která v sestavě pro nejmenší kubatury objektů zhruba od 6 m^3 . Měření jsme prováděli pouze podtlakové.

7.1 Algoritmus měření

Postup přípravy měření

1. Vytvoření jednoho vzorku z OSB desek a překrytí vzorku parotěsnou folií
2. Osazení neprůvzdušného vzorku do otvoru komory
3. Vizualní kontrola těsnosti a přiléhavosti vzorku ke komprimačním páskám
4. Předběžné osazení rámu sestavy B-D zařízení do druhého otvoru komory
5. přetažení vzduchotěsné plachty B-D zařízení přes rám a osazení do otvoru
6. Řádné přimáčknutí rámu a vypnutí plachty, utažení rámu
7. instalace nejmenší clony E na ventilátor a přelepení spár mezi clonami

8. Osazení ventilátoru do plachty.
9. Zapojení tlakových hadiček, ovladače otáček, měřiče tlaku a připojení počítače
10. Měření vzduchotěsného vzorku (viz níže) → hodnota vlastní těsnosti komory a osazení B-D sestavy
11. Po úspěšném měření (měření nemusí být úspěšné napoprvé) uložení dat, odejmutí vzorku a stržení parotěsné folie.
12. osazení vlastního vzorku a několik minut čekání na napětění komprimační pásky.

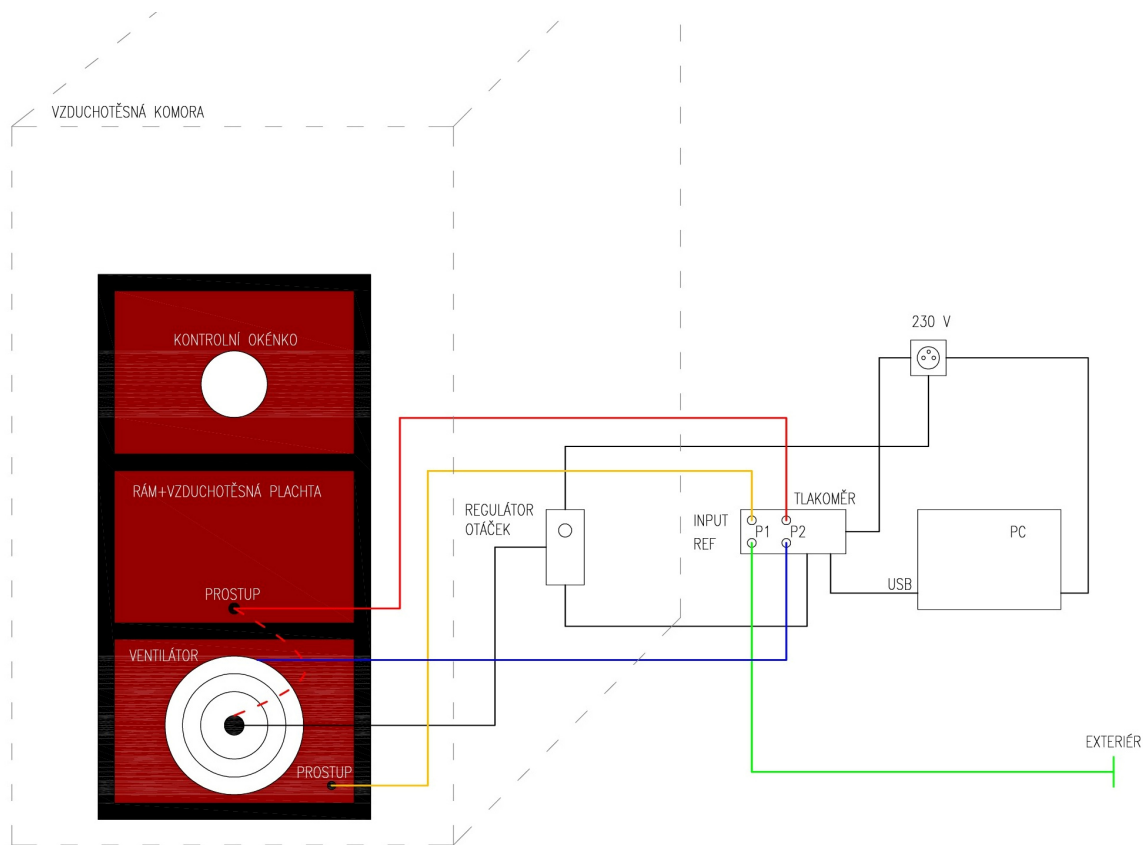
Provádění měření

1. Vyplnění kolonek objemu, ploch, teplot a metody měření v programu Tectite express.
2. Start měření- program si nyní zjistí úroveň tlaku vně komory a v komoře.
3. jsou-li tlaky stejné, nebo neliší-li se výrazněji od sebe (více než 0,3 Pa), zapnutí ventilátoru
4. Postupně přidávat otáčky až do rozdílu tlaku okolo 60-70 Pa
5. Po ustálení tlakového rozdílu zaznamenat první bod- Program z 20 hodnot aproximuje jeden bod
6. Snížení otáček a tím snížení tlakového rozdílu cca o 3-7 Pa. Po ustálení znova zaznamenat.
7. Opakovat předešlý bod až do vyčerpání možností měřicího systému- program napíše, že hodnota protékajícího vzduchu je natolik malá, že ji nelze přesně zaznamenat- program přeruší měření. (Toto se děje většinou okolo 20-30 Pa rozdílu). Uložení dat.

Každé měření jsme ještě jednou opakovali v jiný den. Výsledky velice záležely na kvalitě momentálního osazení vzorku a měřicí sestavy. Nikdy nebylo možné vše osadit 100% vzduchotěsně, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků.

Vyhodnocení výsledků

Program sám vyhodnotí výsledky měření, vykreslí graf v logaritmickém měřítku a zjistí mimo jiné hodnotu n_{50} , kterou potřebujeme pro další zpracování. Z hodnoty n_{50} a objemu komory vypočítáme množství vzduchu v m^3 za hodinu a odečtením hodnoty zjištěné u vzduchotěsného vzorku s parotěsnou folií získáme rozdíl, který připadá na měřený vzorek. Podělením plochou vzorku následně získáme hodnotu vzduchové plošné propustnosti $Q_{50} [\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$. S touto hodnotou počítáme dále při porovnávání jednotlivých vzorků mezi sebou a porovnávání difuzního odporu od výrobce s naší hodnotou Q_{50} .



Obr. 21 Schéma zapojení měřícího zařízení. Barevně- hadičky pro sledování tlaků [archiv autora DP]

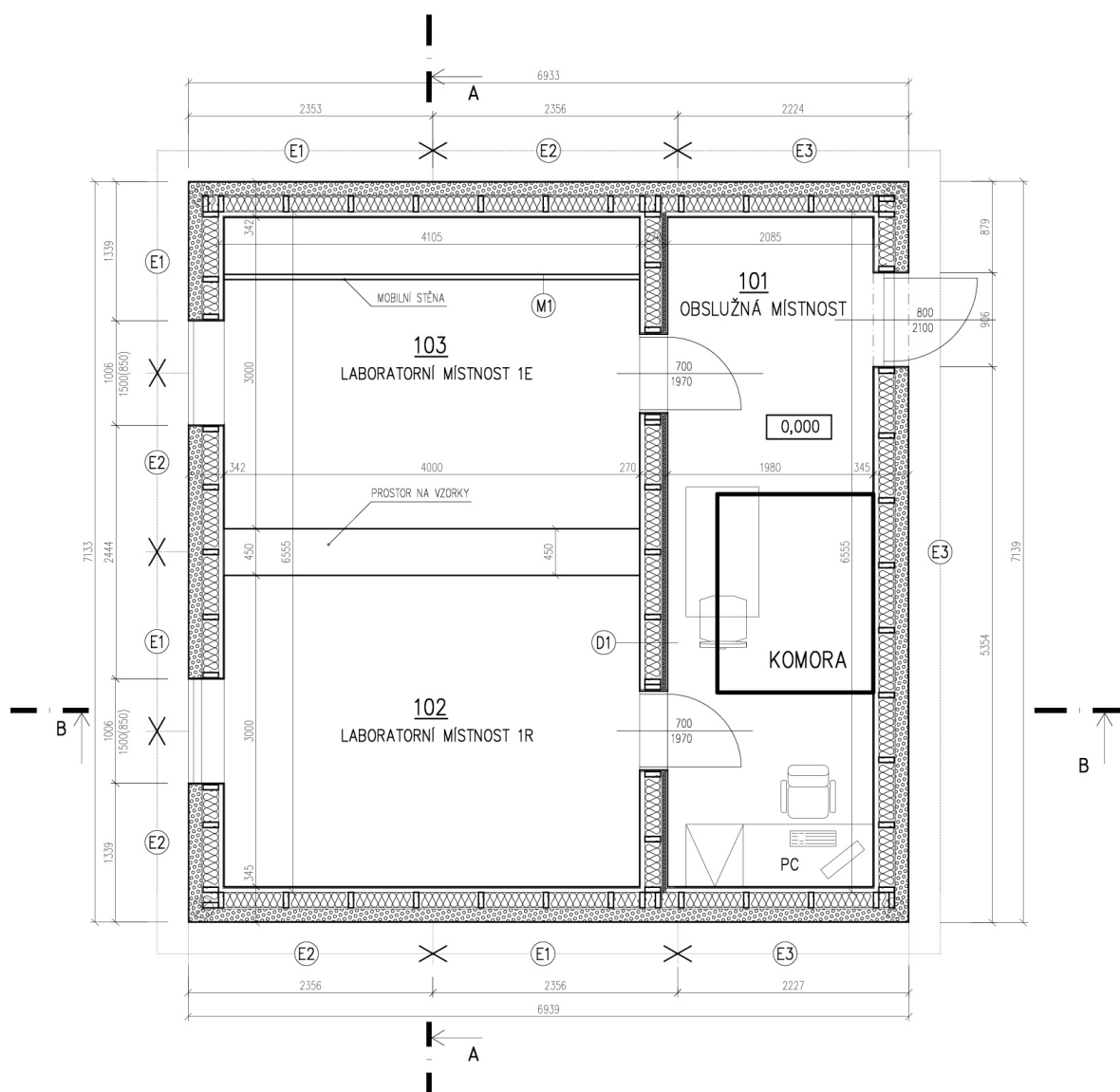
7.2 Vzduchotěsná komora

Naše vzduchotěsná komora se nachází v experimentální dřevostavbě (EXDR) která slouží fakultě stavební při VUT Brno k měření chování dřevostaveb a různých jiných výzkumů. EXDR se nachází v areálu Prefa Brno na ulici Kulkova. Dřevostavba má dvě patra. Komora je umístěna v přízemí hned za hlavním vstupem viz obr. 23. V současnosti se na experimentální dřevostavbě provádí výzkum a měření ohledně vlhkosti materiálů dřevostavby, denního osvětlení, zkoušky světlovodů, měření průvzdušnosti materiálů a další. Výhledově měření akustických vlastností lehkých příček.

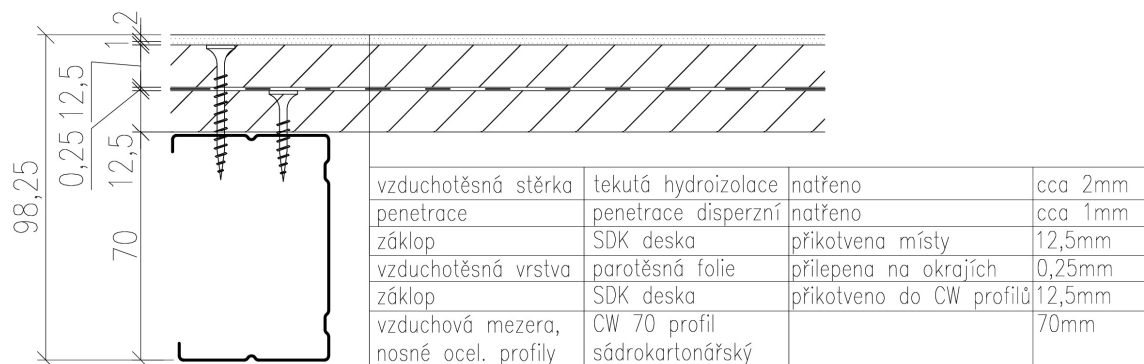
Jak bylo již dříve napsáno, vnitřní půdorys komory má tvar obdélníku a stranách 1710x1405 mm a světlá výška je 2710 mm. Z přední strany je komora přístupná otvorem upraveným pro osazení rámu měřícího zařízení a rozměrech 715x1900 mm. Ze zadní strany je pak otvor upravený pro osazení vzorku o rozměrech 1000x2000 mm. Skladba stěny komory viz obr. 24. Komora má objem vnitřního vzduchu 6,9195 m³, program ale počítá se zaokrouhlenou hodnotou 6,9 m³. Plocha komory je cca 21 m², ale pro náš výpočet a vyhodnocení potřebné hodnoty programem Tectite express je nejdůležitější objem vzduchu.



Obr. 22 Experimentální dřevostavba na ulici Kulkova [archiv autora DP]



Obr. 23 Umístění komory vzhledem v objektu- informativní půdorys [výkres poskytnut vedoucím DP]



Obr. 24 Řešení skladby stěny zkušební komory

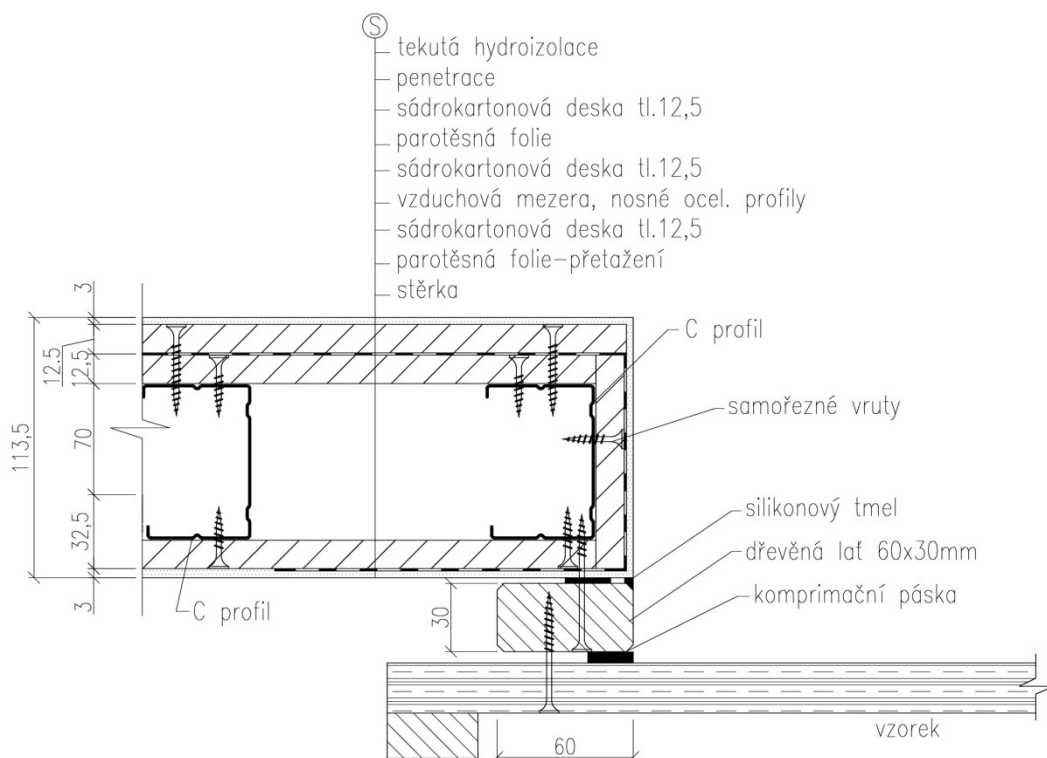
Hlavní vzduchotěsnicí vrstvou skladby komory je tedy parozábrana. Konkrétně se jedná o Fólii Dekfol N 140 Standart, což je třívrstvá fólie složená z PE mřížky, která je po obou stranách laminována polyetylenovou fólií. Fólie má ekvivalentní difúzní tloušťku $S_d = 50 \text{ m}$. Parozábrana je sevřena mezi dvěma sádkartonovými deskami. K první SDK desce je v krajích přilepena páskami a druhý záklop parozábranu mírně perforuje nejmenším potřebným množstvím vrutů v místech, kde se nachází vzduchotěsná páska na spárách desek, takže únik vzduchu touto perforací je minimální. Celé je to pak napenetrováno disperzním nátěrem a přetřeno tekutou hydroizolací specifikovanou již v kap. 6.2.



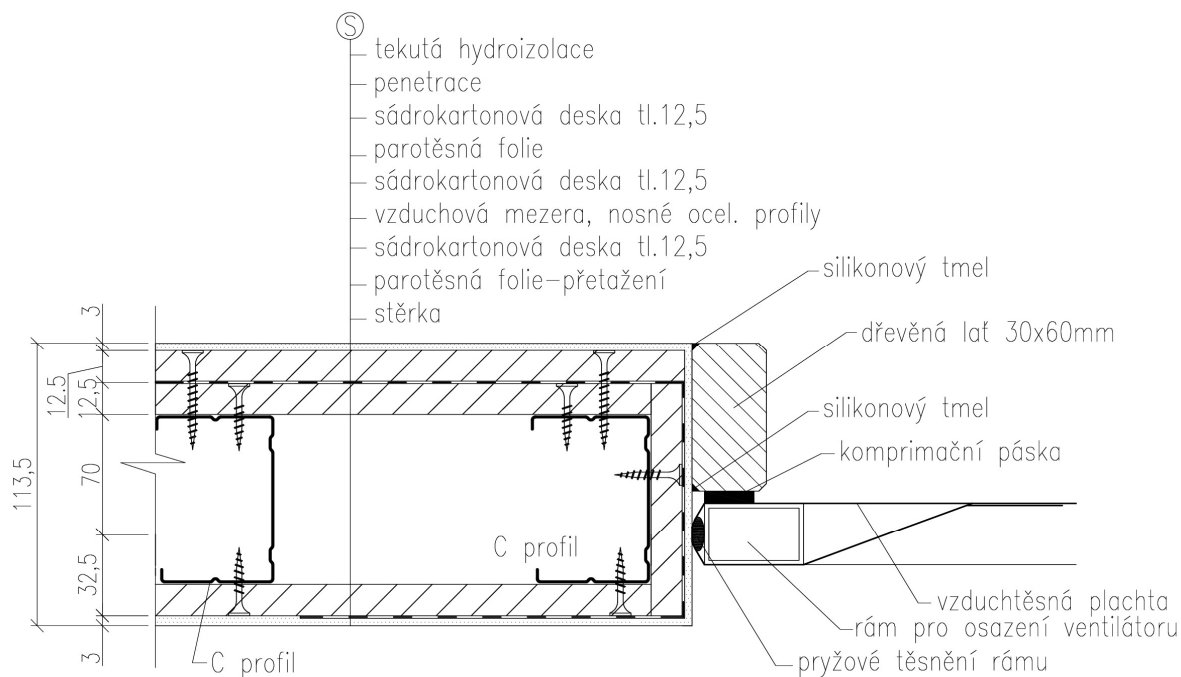
Obr. 25, 26 Rozestavěná komora [archiv autora DP]

Co se týče uchycení vzorku, na stávající komprimační pásku kolem otvoru pro vzorek se nastalo a napevno přichytila dřevěná lať, na kterou se nalepila další komprimační páska a vzorek se tak jednoduše za pomoci vrutů a akumulátorového šroubováku dle potřeby přišroubuje k lati. Tato metoda se nakonec ukázala jako nejrychlejší a nejjednodušší. Jakékoliv místo se navíc dá po detekci úniku vzduchu anemometrem dodatečně dotáhnout. U osazení rámu měřícího zařízení je také komprimační páskou zajištěna zlepšená hodnota spárové neprůvzdušnosti. Teleskopický rám sám o sobě by měl být dostatečně těsně osazen,

jelikož má po obvodu pryžové těsnění. Detaily osazení vzorku a rámu jsou znázorněny na obrázcích níže.



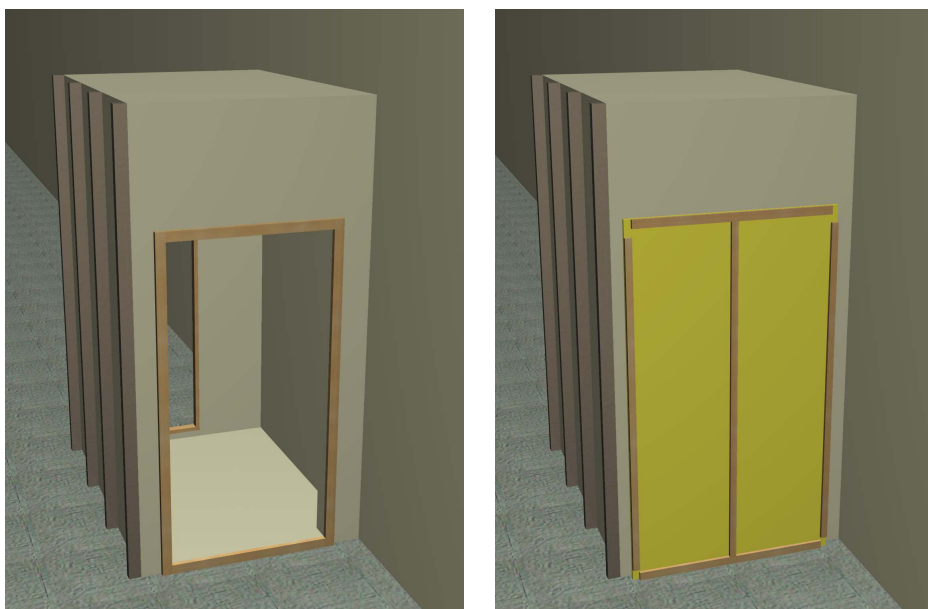
Obr. 27 Detail osazení vzorku na stěnu komory



Obr. 28 Detail osazení rámu měřícího zařízení



Obr. 29, 30 Vlevo- pohled na osazení vzorku, přimáčknutí komprimační pásky (vizuální kontrola těsnosti) zevnitř komory. Vpravo- kontrola těsnosti spáry zvenčí anemometrem.[archiv autora DP]



Obr. 31, 32 Model komory- pohled ze strany vzorku. Komora s osazeným vzorkem.[archiv autora DP]

7.3 Zařízení Blower Door testu

Fakulta stavební VUT v Brně má pro měření vzduchotěsnosti k dispozici měřicí zařízení Minneapolis Blower DoorTM 4.1. K ventilátoru je příslušenstvím teleskopický rám, vzduchotěsná plachta, měřič tlaku, regulátor otáček, software Tectite Express 3.6.7.0 a další. V manuálu pro užívání zařízení se dočteme následující: „*The Blower Door fan has 6 different flow capacity ranges depending on the configuration of Flow Rings on the fan inlet. Table 1 below show the approximate flow range of the Blower Door fan under each of the 6 inlet configuration. The greatest accuracy in fan flow readings will always be achieved by installing the Flow Ring with the smallest opening area, while still providing the necessary fan flow.*” [7] Přesnost měření tedy záleží na zvolené cloně a volba clony záleží na průtoku vzduchu. Při našem měření jsme předpokládali, že průtok vzduchu bude velice malý a tak jsme zvolili nejmenší clonu E. Tabulka zmiňovaná v citaci uvádí, jaká clona se má zvolit pro jaký průtok vzduchu. Z tabulky se dočteme, že měření se clonou E pracuje správně při průtoku od 11 do 50 krychlových stop za minutu (cfm). Při samotném měření se ukázalo, že u méně těsných vzorků se dostaneme těsně nad 11 cfm. U očekávané nejméně těsného vzorku- OSB tl. 12 mm bez přelepené spáry a bez nátěru to například bylo 14 cfm. Další vzorky se pohybovaly kolem kritické hranice 11 cfm a některé pod touto hranicí. Je tedy zřejmé, že námi používané zařízení a naše komora o relativně nízkém objemu vzduchu v souvislosti s plochou vzorku pouze 2 m² nejsou pro zjišťování hodnot průvzdušnosti příliš vhodné což podrobněji rozvedu ve vyhodnocení výsledků a v závěru práce.

Table 1: Fan Flow Ranges

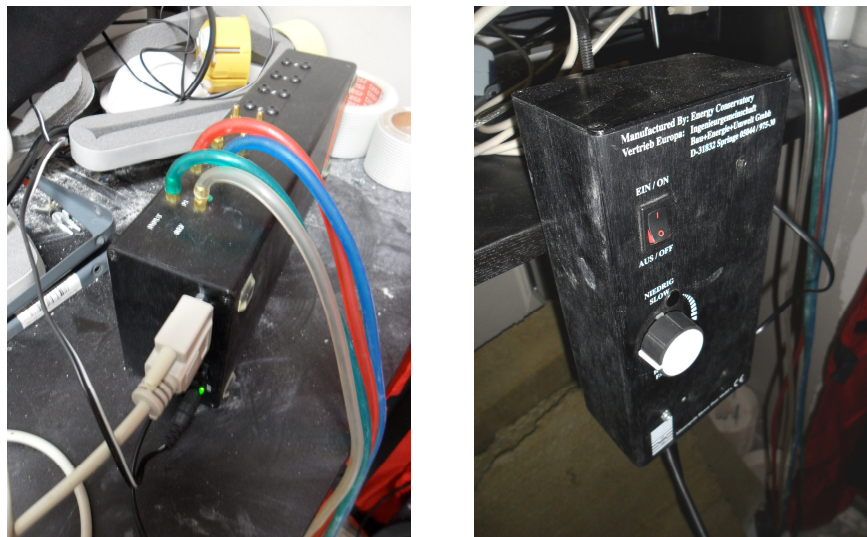
Fan Configuration	Flow Range (cfm) for Model 3 Fan	Flow Range (cfm) for Model 4 Fan
Open (no Flow Ring)	6,300 - 2,435	4,800 - 2,090
Ring A	2,800 - 915	2,500 - 790
Ring B	1,100 - 300	900 - 240
Ring C	330 - 85	260 - 45
Ring D	115 - 30	125 - 30
Ring E	45 - 11	50 - 11

Tab.2 Doporučené užití clon ventilátoru podle [7]

Pro lepší představu, o jakých vzduchových tocích se bavíme, přikládám přepočet krychlové stopy za minutu na u nás obvyklou jednotku krychlového metru za hodinu (m^3/h).

$$1 \text{ cfm} \approx 1,702 \text{ m}^3/\text{h}.$$

11 cfm se tedy přibližně rovná hodnotě **18,7** m^3/h . Další výpočty a výsledky měření již budu uvádět v m^3/h .



Obr. 33, 34 Vlevo- měřič tlaků. Vpravo- regulátor otáček ventilátoru. [archiv autora DP]



Obr. 35 Pohled na osazené měřící zařízení z prostoru komory. [archiv autora DP]

7.4 Vzorky

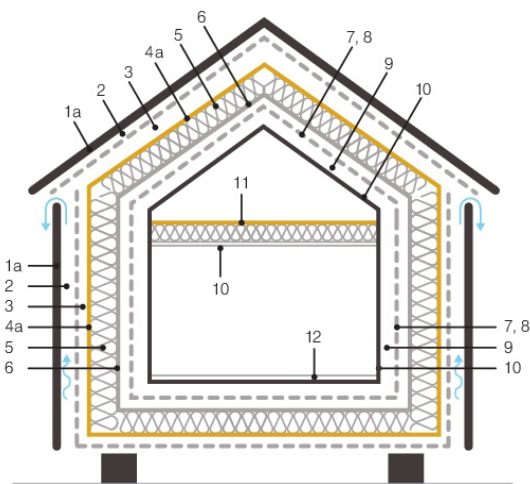
V následující podkapitole přiblížím materiálově i cenově naše měřené vzorky. Celkem jich je šest a s pomocí naměřených výsledků jsme se chtěli pokusit o zhodnocení vhodnosti jejich variant jako hlavní vzduchotěsnící vrstvy budovy. Máme dvě varianty tloušťky desky, tenčí je 12 mm a silnější 22 mm. Označení ECO znamená, že se jedná o progresivnější typ OSB desky. pro spojení třísek se používá pojiva zcela bez formaldehydu. Emise formaldehydu jsou omezeny na přirozený obsah formaldehydu ve dřevě ($<0,03$ ppm). Výrobce v následující tabulce uvádí, že desky OSB Superfinish jsou vhodné pro to, aby se staly vzduchotěsnící vrstvou.

• Rozdělení vrstev z hlediska jejich funkce

Většina používaných stavebních materiálů není schopna splnit zcela všechny funkce vyplývající z výše uvedených požadavků na stavbu. Proto dochází ke skládání různých typů materiálů, které je možné rozdělit podle jejich požadované funkčnosti do jednotlivých vrstev. Pořadí vrstev je určeno stavebně-fyzikálními zákonitostmi.

Obr.2:

1a) Ochrana před povětrností - vnější obklad stěn, 1b) Ochrana před povětrností - střešní krytina, 2 - Odvětrání - střechy, vnějšího obkladu, 3 - Ochranná vrstva izolace - větrotěsná vrstva, 4a) Vnější nosné opláštění dřev. rámu - obvod. stěny, 4b) Vnější nosné opláštění dřev. rámu - střešní plášť, 5 - Tepelná izolace mezi prvky nosného dřev. rámu, 6 - Vnitřní nosné opláštění dřev. rámu, 7 - Vrstva s difúzním odporem, 8 - Hlavní vzduchotěsná vrstva, 9 - Instalační mezera, 10 - Vnitřní obklad stěn a stropů, 11 - Vnitřní nosné bednění stropů a podlah, 12 - Nenosná podkladní vrstva
U určitých druhů sendvičových konstrukcí nejsou některé vrstvy nutné (např. 2, 9) nebo naopak lze některými materiály splnit funkci více vrstev najednou (např. 7+8, 6+7+8), popř. doplnit další vrstvy (zejména tepelně-izolační).



Informativní tabulka možností použití různých typů desek pro určitou funkční vrstvu. Neznamená to však, že je vždy možné nahradit jeden materiál druhým. Vše závisí na konstrukční skladbě, použitém systému atd.

Typ desky	Vrstva													
	1a	1b	2	3	4a	4b	5	6	7	8	9	10	11	12
P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	●
P5	● ¹	● ¹	-	-	●	○	-	●	○	○	-	● ²	●	●
P6	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	●
QSB	● ¹	● ¹	-	-	●	○	-	●	○	○	-	● ²	●	●
FireBoard	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	● ²	-	●
OSB Superfinish	● ¹	● ¹	-	-	●	○	-	●	●	●	-	● ²	●	●
OSB Firestop	● ¹	● ¹	-	-	●	○	-	●	●	●	-	● ²	●	●
OSB Airstop	-	● ¹	-	-	-	-	-	-	●	●	-	● ²	-	●
OSB Reflex	● ¹	● ¹	-	-	●	-	-	●	●	●	-	●	●	●
OSB Ply	● ¹	● ¹	-	-	●	-	-	●	●	●	-	● ²	●	●
MDF MR	-	-	-	-	●	-	-	○	-	○	-	● ²	●	●
MDF B1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	● ²	-	●
DFP	-	-	-	●	●	●	-	●	-	-	-	-	-	-
Betonyp	●	-	-	-	-	○	-	○	○	○	-	● ²	-	-
HPL	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-

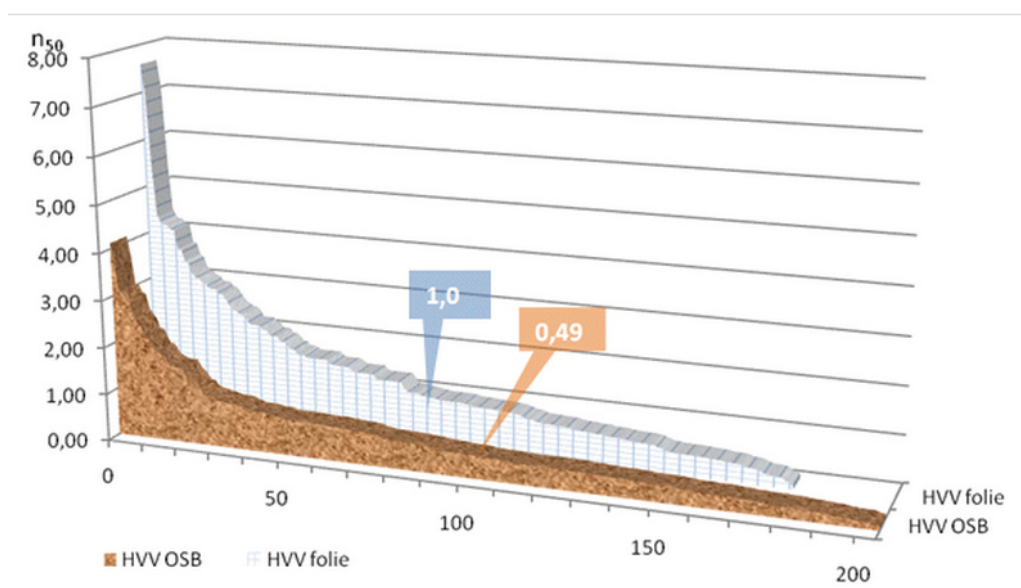
• - Vhodné použití, o - možné použití v určitých případech.

1 - Desky s použitím pouze ve třídě vlhkosti 2 (viz kapitola - ochrana před povětrnostními vlivy).

2 - Nutná povrchová úprava malbou, lakováním, laminováním apod. dle vhodnosti u typu použité desky.

Obr. 36 Vhodnost jednotlivých výrobků výrobce k různým účelům. [17]

V odborných člancích se můžeme dočíst, jak experti na problematiku vzduchotěsnosti chválí použití OSB desek jako hlavní vzduchotěsnicí vrstvy či parobrzdy. Článek [10] Předsedy asociace Blower door CZ Mgr. Stanislava Palečka ukazuje vhodnost použití deskových materiálů před tradičním použitím fóliové parozábrany, která díky nedokonalosti aplikace a mnohdy špatné kázni stavebních dělníků často vykazuje neuspokojivé vlastnosti vrstvy jako celku.



Obr. 37 Průvzdušnost (hodnota n_{50}) podle použité HVV. Štítky označují medián souboru. [10]

Vzorek A-1: Kronospan OSB Superfinish ECO 12 mm s volnou spárrou

materiál	faktor dif. Odporu μ [-]	ekvivalentní dif. Tloušťka S_d [m]	orientační cena [kč/m ²]
Kronospan OSB Superfinish ECO 12 mm	200	2,4	150

Vzorek je vyroben ze dvou desek, uprostřed se nachází po výšce průběžná spára, která není přelepena žádnou páskou. Obdobné i u vzorku B-1.

Vzorek B-1: Kronospan OSB Superfinish ECO 22 mm s volnou spárou

materiál	faktor dif. Odporu μ [-]	ekvivalentní dif. Tloušťka Sd [m]	orientační cena [kč/m ²]
Kronospan OSB Superfinish ECO 22 mm	200	4,4	280

Vzorek A-2: Kronospan OSB Superfinish ECO 12 mm s přelepenou spárou

materiál	faktor dif. Odporu μ [-]	ekvivalentní dif. Tloušťka Sd [m]	orientační cena [kč/m ²]
Kronospan OSB Superfinish ECO 12 mm	200	2,4	150
Páska Isover Vario KB 1			55

Celková cena vzorku na 1 m²

205 Kč

Přelepili jsme spáru u vzorku A-1, obdobné i u vzorku B-2.

Vzorek B-2: Kronospan OSB Superfinish ECO 22 mm s přelepenou spárou

materiál	faktor dif. Odporu μ [-]	ekvivalentní dif. Tloušťka Sd [m]	orientační cena [kč/m ²]
Kronospan OSB Superfinish ECO 22 mm	200	4,4	280
Páska Isover Vario KB 1			55

Celková cena vzorku na 1 m²

335 Kč

Vzorek A-3: Kronospan OSB Superfinish ECO 12 mm s přelepenou spárou a latexovým nátěrem

materiál	faktor dif. Odporu μ [-]	ekvivalentní dif. Tloušťka Sd [m]	orientační cena [kč/m ²]
Kronospan OSB Superfinish ECO 12 mm	200	2,4	150
Páska Isover Vario KB 1			55
Latexový nátěr PROLUX latex uni			20

Celková cena vzorku na 1 m²

225 Kč

Dřívější vzorek A-2 s přelepenou spárou jsme dále přetřeli latexovým nátěrem, konkrétně se jednalo o tři nátěry, aby se netěsnosti ve struktuře OSB desky co nejlépe utěsnily barvou. Natření se realizovalo štětcem, avšak dá se očekávat, že pro zefektivnění, zrychlení i pro

lepší utěsnění pórů desky by byla přímo na stavbě výhodnější aplikace nástřikem, u kterého by pravděpodobně stačila jedna, max. dvě vrstvy. Jak se ukáže v následující kapitole, vliv náteru na hodnotu průvzdušnosti je značný. Obdobné i u vzorku B-3

Vzorek B-3: Kronospan OSB Superfinish ECO 22 mm s přelepenou spárkou a latexovým nátěrem

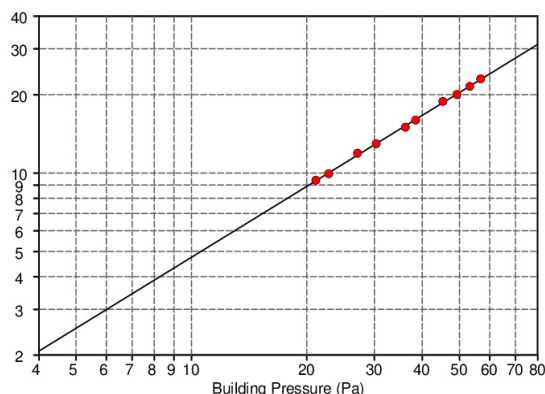
materiál	faktor dif. Odporu μ [-]	ekvivalentní dif. Tloušťka Sd [m]	orientační cena [kč/m ²]
Kronospan OSB Superfinish ECO 22 mm	200	4,4	280
Páska Isover Vario KB 1			55
Latexový nátěr PROLUX latex uni			20
Celková cena vzorku na 1 m ²			355 Kč

Pozn.: Faktory dif. odporu jsou dle výrobcem zveřejněné hodnoty za sucha (RH 25%, 23 °C)

8. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

S ohledem na provoz v experimentální dřevostavbě a návaznost jednotlivých měření jsme měřili ve čtyřech různých dnech. Následující tabulky rekapitulují změřené hodnoty a výpočet plošné průvzdušnosti každého vzorku.

Date of Test:	Technician:		
Test File: osb 12 1.měření			
Customer:	Building Address:		
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m3/h)	20 (+/- 0.3 %)		
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.96		
w50: m3/hm2 m3/hm2	8.50		
q50: m3/hm2 m3/hm2	0.97		
Leakage Areas:			
5.3 cm2 (+/- 1.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.25 cm2/m2			
2.2 cm2 (+/- 2.4 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.11 cm2/m2 Surface			
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv) = 0.6 (+/- 3.8 %)			
Air Leakage Coefficient (CL) = 0.6 (+/- 3.8 %)			
Exponent (n) = 0.905 (+/- 0.010)			
Correlation Coefficient = 0.99951			
Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	A	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door, S/N 547.4		
Inside Temperature:	16 °C	Volume:	7 m3
Outside Temperature:	16 °C	Surface Area:	21 m2
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	2 m2
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Obr. 38 Příklad výstupu hodnot z programu Tectite Express. Vlevo- rekapitulace vstupních dat, Vypočítané hodnoty výměny vzduchu n_{50} , průtok vzduchu V_{50} , parametry C a n rovnice proudění a další. Vpravo- graf závislosti rozdílu tlaku na průtoku vzduchu v logaritmickém měřítku. Zbývající výstupy z programu doplněné o konkrétní parametry naměřených bodů všech uvažovaných měření v příloze DP. [archiv autora DP]

1. den měření

Vzorek/veličina [jednotka]	Výměna vzduchu	Průtok vzduchu	Rozdíl průtoků	Plošná průvzdušnost
	n_{50} [h^{-1}]	m^3/h	m^3/h	Q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
Komora s neprůvzdušným prvkem (vzorek přetažen parotěsnou fólií)	1,65	11,385	-	-
A-1: OSB 12mm, volná spára	2,96	20,424	9,039	4,565
A-2: OSB 12mm, spára přelepena	2,50	17,250	5,865	2,962
B-1: OSB 22mm, volná spára	2,74	18,906	7,521	3,798
B-2: OSB 22mm, spára přelepena	2,55	17,595	6,210	3,136

Tab.3 Výsledky 1. dne měření

2. den měření

Vzorek/veličina [jednotka]	Výměna vzduchu	Průtok vzduchu	Rozdíl průtoků	Plošná průvzdušnost
	n_{50} [h^{-1}]	m^3/h	m^3/h	Q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
Komora s neprůvzdušným prvkem (vzorek přetažen parotěsnou fólií)	1,68	11,592	-	-
A-1: OSB 12mm, volná spára	3,38	23,322	11,73	5,924
A-2: OSB 12mm, spára přelepena	2,49	17,181	5,589	2,823
B-1: OSB 22mm, volná spára	3,08	21,252	9,66	4,879
B-2: OSB 22mm, spára přelepena	2,93	20,217	8,625	4,356

Tab.4 Výsledky 2. dne měření

3. den měření

Vzorek/veličina [jednotka]	Výměna vzduchu	Průtok vzduchu	Rozdíl průtoků	Plošná průvzdušnost
	n_{50} [h^{-1}]	m^3/h	m^3/h	Q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
Komora s neprůvzdušným prvkem (vzorek přetažen parotěsnou fólií)	2,01	13,869	-	-
A-3: OSB 12mm, latex. nátěr	2,55	17,595	3,726	1,882
B-3: OSB 22mm, latex. Nátěr	3,66	25,254	11,385	5,75

Tab.5 Výsledky 3. dne měření

4. den měření

Vzorek/veličina [jednotka]	Výměna vzduchu	Průtok vzduchu	Rozdíl průtoků	Plošná průvzdušnost
	n_{50} [h^{-1}]	m^3/h	m^3/h	Q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
Komora s neprůvzdušným prvkem (vzorek přetažen parotěsnou fólií)	2,07	14,283	-	-
A-3: OSB 12mm, latex. nátěr	2,08	14,352	0,069	0,035
B-3: OSB 22mm, latex. Nátěr	2,16	14,904	0,621	0,314

Tab.6 Výsledky 4. dne měření



Obr. 39 pohled na zapojené měřicí zařízení. [archiv autora DP]

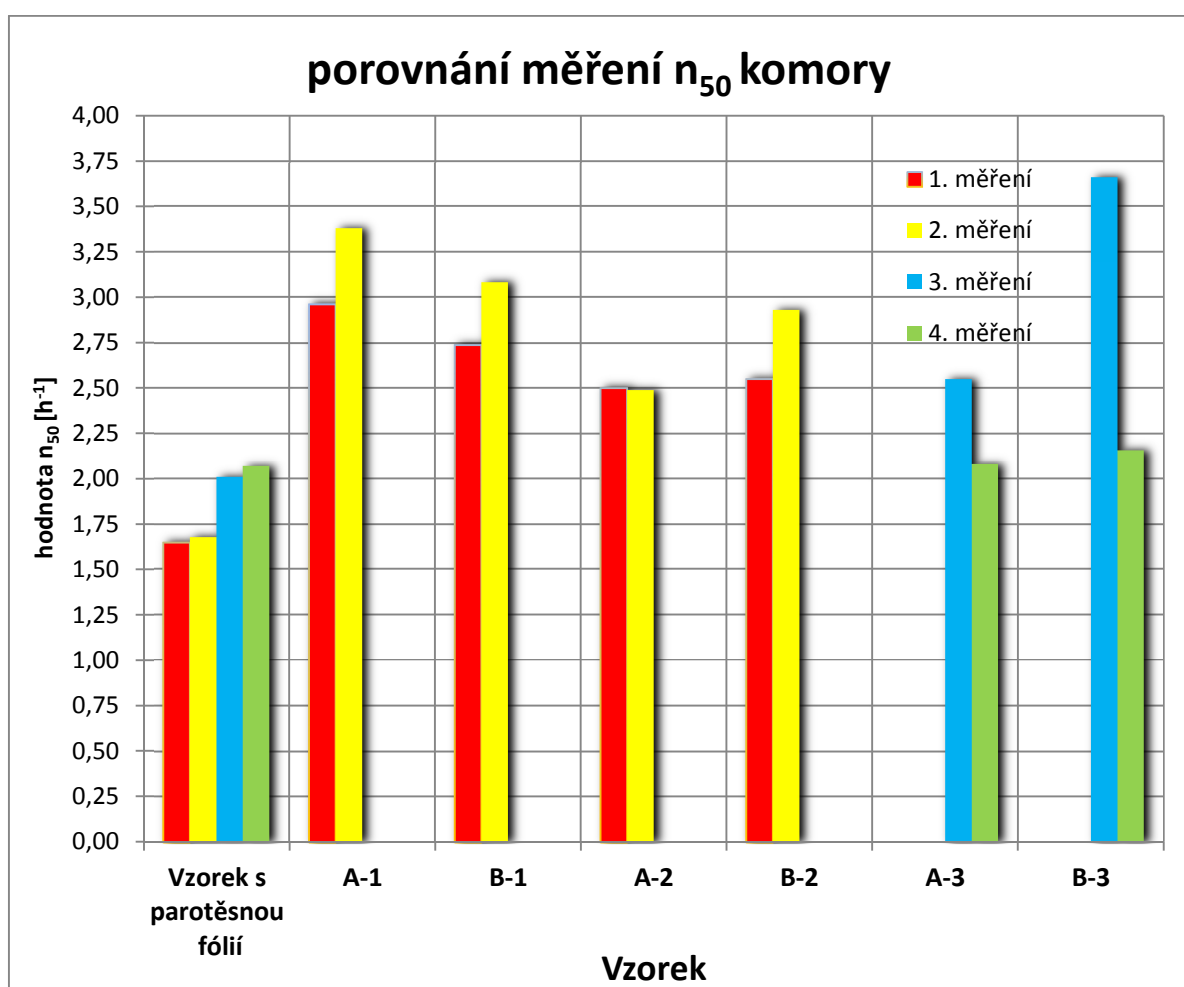


Obr. 40 Jedna z hlavních příčin netěsností při měření komory s osazeným vzorkem s parozábranou- nedokonalá těsnost mezi ventilátorem a plachtou a mezi rámem zařízení a otvorem.[archiv autora DP]

Pro přehlednost uvádím následující tabulky:

	Naměřené hodnoty komory n_{50}			
	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření
Vzorek:	$n_{50} [h^{-1}]$	$n_{50} [h^{-1}]$	$n_{50} [h^{-1}]$	$n_{50} [h^{-1}]$
Vzorek s parotěsnou fólií	1,65	1,68	2,01	2,07
A-1	2,96	3,38		
B-1	2,74	3,08		
A-2	2,50	2,49		
B-2	2,55	2,93		
A-3			2,55	2,08
B-3			3,66	2,16

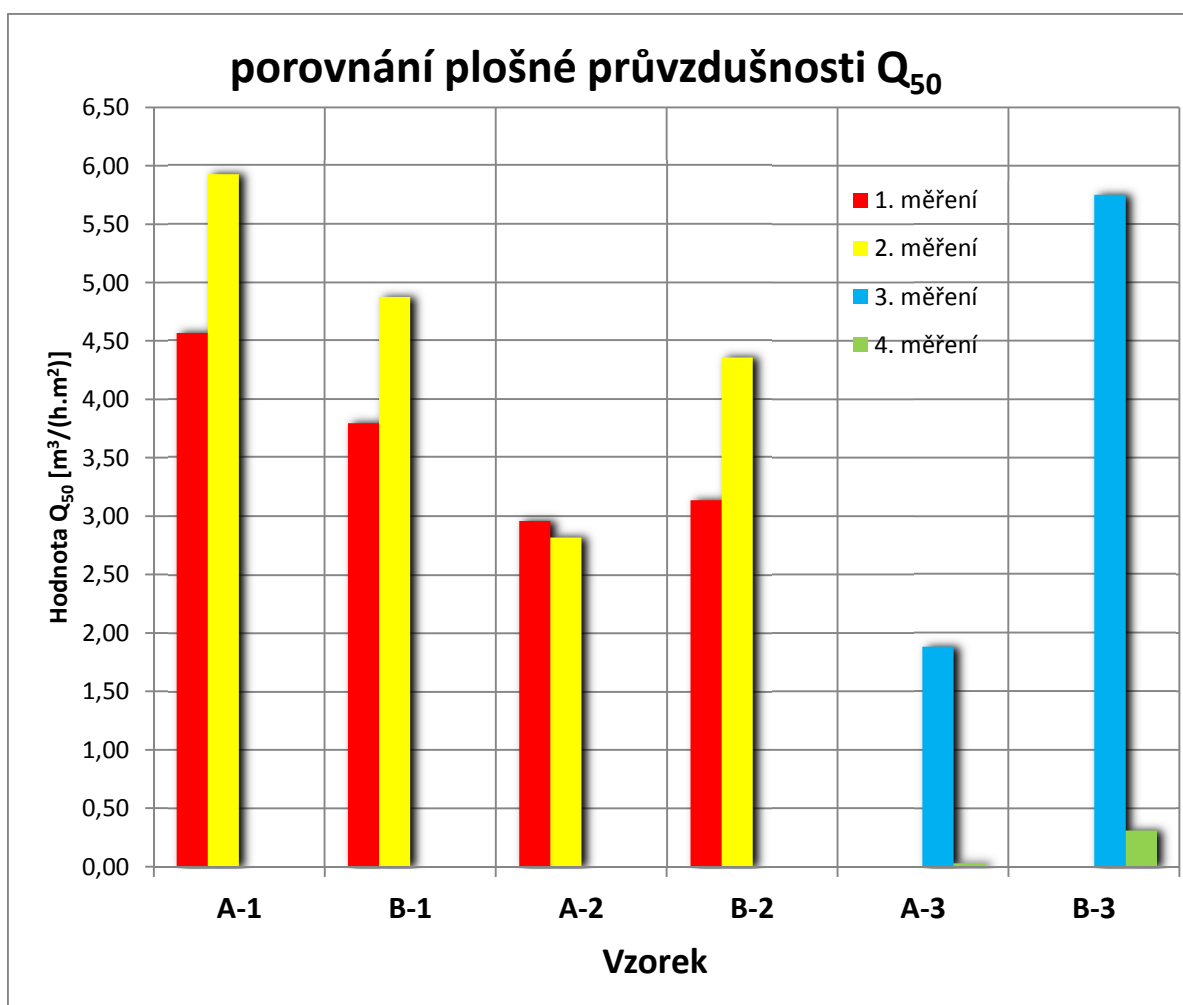
Tab.7 Naměřené hodnoty výměny vzduchu celé komory



Obr. 41 Naměřené hodnoty výměny vzduchu celé komory

	Vypočítané hodnoty Q_{50}			
	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření
Vzorek:	$Q_{50} [m^3/(h.m^2)]$	$Q_{50} [m^3/(h.m^2)]$	$Q_{50} [m^3/(h.m^2)]$	$Q_{50} [m^3/(h.m^2)]$
A-1	4,57	5,92		
B-1	3,80	4,88		
A-2	2,96	2,82		
B-2	3,14	4,36		
A-3			1,88	0,03
B-3			5,75	0,31

Tab.8 Vypočítané hodnoty plošné průvzdušnosti vzorku



Obr. 42 Vypočítané hodnoty plošné průvzdušnosti vzorku

Program Tectite Express vyhodnocuje chybu měření, tato chyba je možná odchylka v procentech v rámci lineární regrese naměřených bodů. V následujícím grafu jsou znázorněny odchylky našich měření. Maxima a minima jsou pro lepší přehlednost grafu zvětšeny třemi. Popisky max a min tak nekorespondují se svislou osou.



Obr. 43 Naměřené hodnoty n_{50} se znázorněnými odchylkami

Na obrázku 42 jsou v grafu vyneseny hodnoty Q_{50} plošné průvzdušnosti vzorků. Jak bylo řečeno dříve, každý vzorek byl na komoru nasazen a měřen dvakrát. Zatímco u prvních vzorků A-1, B-1, A-2 a B-2 jsou hodnoty Q_{50} podobné, u vzorků s latexovým nátěrem A-3 a B-3 se výsledky velice liší. U prvního měření vzorků s latexem se nepodařilo zcela utěsnit osazení vzorku na komoru a tím došlo k takto významné chybě. Při druhém měření jsme již použili ke kontrole osazení anemometr a vše řádně utěsnili. Na tomto příkladu můžeme vidět, jak velkou váhu má správné a dokonalé osazení vzorku v našich laboratorních podmínkách.

Pro další porovnání s referenční budovou (viz dále), pro porovnání s hodnotami od výrobce a porovnání s jinými měřeními této problematiky už budeme uvažovat menší ze dvou hodnot plošné průvzdušnosti, čili výsledek, který se více blíží skutečnosti. Také si všimněme v obrázku 41, že ve dvou posledních měřicích dnech se zvýšila výměna vzduchu n_{50} komory u měření s neprůvzdušným vzorkem. Tyto dvě poslední měření probíhaly po delší časové odmlce od prvních dvou a tak se fakt zhoršené vlastnosti komory dá vysvětlit reologickými procesy v konstrukci komory. Opláštění komory stejně tak jako nátěry v závislosti na čase a také snižující se okolní teplotě zřejmě mění své vzduchotěsné vlastnosti.

9. NAMĚŘENÉ HODNOTY V SOUVISLOSTECH

Následující kapitola se zabývá možností použití našich měřených plošných konstrukcí jako hlavní vzduchotěsnicí vrstvy (dále HVV).

9.1 Referenční budova

Představme si objekt rodinného domu. Jedná se o dřevostavbu, která má jako jedinou vzduchotěsnicí vrstvu stěnový a podstřešní záklop právě z materiálů našich měřených vzorků.

Stavba má vnitřní půdorysný rozměr 12 x 9 m, světlou výšku prvního nadzemního podlaží 2,7 m a podkroví 2,1 m v nejnižším místě, přičemž výška v nejvyšším místě je 3,6 m. Objekt je zateplen difuzně otevřenou tepelnou izolací (např. minerální vata, vlna, desky z konopných vláken a podobně), na vnější straně je tepelná izolace chráněna difúzně otevřenou ochrannou folií a provětrávanou dřevěnou fasádou.

Zjednodušující předpoklady:

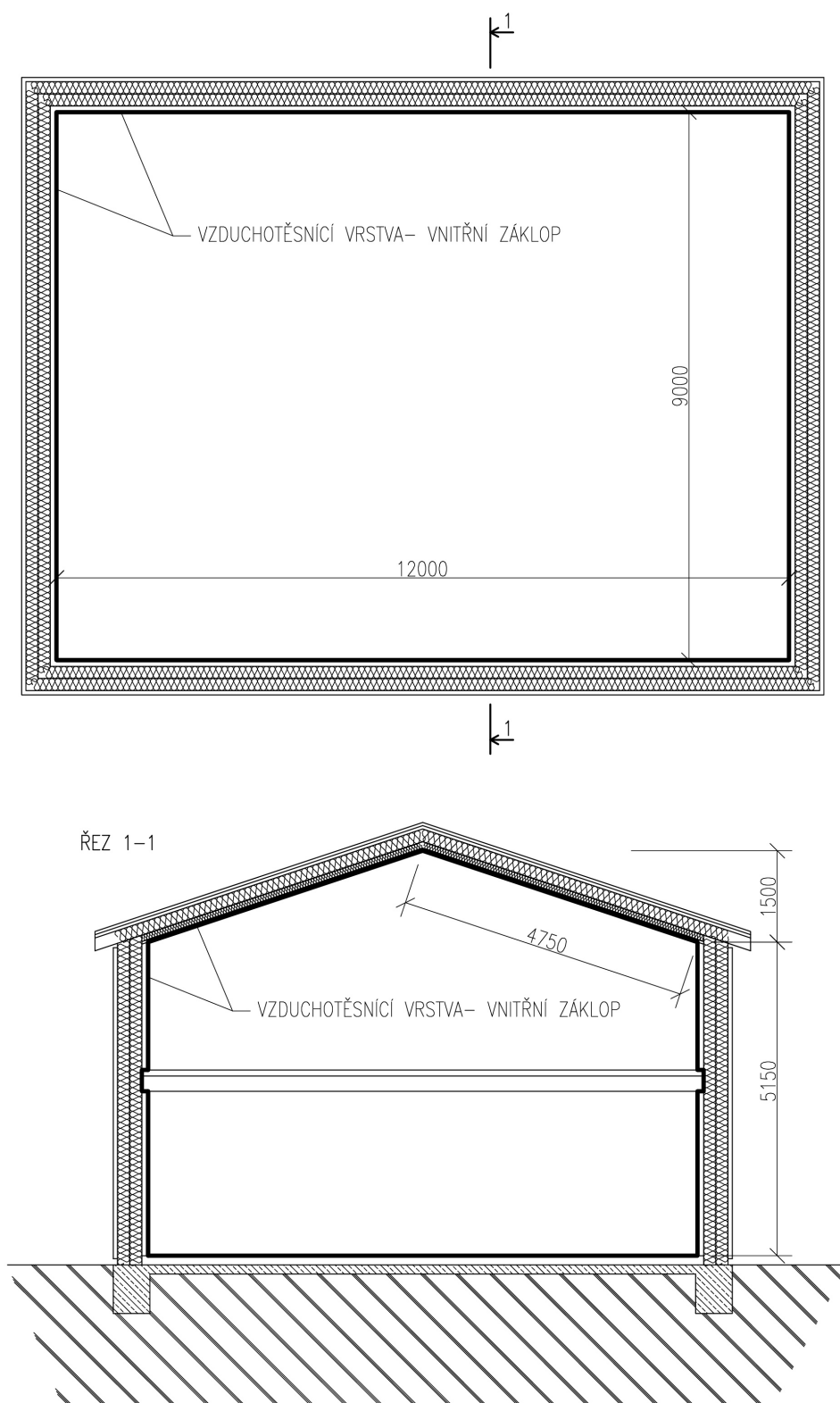
- Tepelná izolace a vnější ochranná fólie jsou difuzně otevřeny a mají zanedbatelnou vzduchotěsnost.
- Výplně otvorů jsou vzduchotěsně osazeny.
- Detailům napojení svislé konstrukce a stropu, napojení svislé konstrukce a střechy a napojení svislé konstrukce a podlahy byla věnována max. pozornost, aby nedocházelo k unikání vzduchu inkriminovanými místy.
- V objektu se nenachází komín, není zde krb ani kamna.
- Prostupy instalací v HVV jsou dokonale utěsněné.
- Větrací otvory mezi vnitřním a vnějším prostředím jsou ucpané.
- V objektu nejsou žádné vnitřní vzduchotěsné konstrukce, všechny vnitřní dveře jsou otevřeny.
- Podlaha na zemině je vzduchově nepropustná.
- Ze strany interiéru není provedena stěrka, vnitřní omítka ani sádkartonový záklop, tedy nic, co by dále zlepšovalo vzduchotěsnost budovy.

Výpočet objemu a plochy vzhledem k HVV:

Objem vzduchu v budově je 637,2m³, po vynásobení koeficientem 0,9 (pro odečtení podílu objemů vnitřních konstrukcí) je výsledný objem budovy po zaokrouhlení **573 m³**.

Plocha HVV z materiálu našich vzorků (bez plochy podlahy) je 330,3m², po odečtení plochy oken a dveří (zvoleno 38m²) je naše výsledná hodnota plochy HVV **292 m²**.

Můžeme si tedy nyní pro představu ukázat, jak by dopadl výše popsáný objekt v rámci blower-door testu u zjišťování výměny vzduchu n při tlakovém spádu 50 Pa pokud jediným jeho vzduchotěsnícím prvkem bude vrstva z našeho zkušebního vzorku.



Obr. 44 Schéma referenčního domu

Vzorek	Q_{50} vzorku [m ³ /(h.m ²)]	Objem. tok vzduchu [m ³ /h]	n_{50} objektu [h ⁻¹]
OSB Kronospan ECO 12 mm (A-1)	4,57	1334,44	2,33
OSB Kronospan ECO 22 mm (B-1)	3,80	1109,60	1,94
OSB Kronospan ECO 12 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1 (A-2)	2,82	823,44	1,44
OSB Kronospan ECO 22 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1 (B-2)	3,14	916,88	1,60
OSB Kronospan ECO 12 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1, natřené latexem (A-3)	0,04	10,22	0,02
OSB Kronospan ECO 22 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1, natřené latexem (B-3)	0,31	91,69	0,16

Tab.9 Předpokládané výměny vzduchu referenčního objektu

Objemový tok vzduchu v tabulce 7 jsem získal vynásobením Q_{50} jednotlivých vzorků a plochy HVV objektu, tuto hodnotu jsem následně podělil objemem objektu a získal tím vzduchotěsnost obálky budovy v h⁻¹.

9.2 Porovnání z pohledu energetické náročnosti

Reálně dosažitelnou vzduchotěsnost při tlakovém spádu 50 Pa u existujících budov si můžeme například představit u stavby pasivního domu v rakouském Kittsee. EPD Kittsee, jak se tomuto domu říká je projektem slovenské společnosti Greenstudio s.r.o. a je vystavěn ze stavebního materiálu Itong. Bližší specifikace domu je k dispozici na internetu. [11] Pro nás je nejdůležitější, jaké výměny vzduchu dosahuje tato certifikovaná stavba při zátěži Blower door testu. Na stavbě proběhlo měření typu A a bylo dosaženo výsledku vzduchotěsnosti budovy $n_{50} = 0,185 \text{ h}^{-1}$. Článek²¹ dále uvádí měrnou potřebu tepla na vytápění orientačně vypočítanou programem PHPP (PassivHaus Projektierungs Paket), ta činí 10 kWh/m² a rok.

V následující tabulce 8 předkládám porovnání naší referenční budovy a pasivního domu EPD Kittsee. Jsem si vědom neobjektivnosti hodnot n_{50} naší referenční budovy, kde by ve skutečnosti byly faktory zlepšující vzduchotěsnost, jako třeba vnitřní stěrky, příspěvek vzduchotěsnosti od izolace a difúzní fólie. Ale také by tu byly faktory zhoršující, mezi ně by

patřily hlavně netěsnosti u prostupů, netěsná osazení výplní otvorů, nedorešené detaily styků konstrukcí a jiné.

Měrnou potřebu tepla na vytápění jsem orientačně získal za pomoci programu PHVP. Pro zadání tepelných vlastností obvodových stěn a střechy, vlastnosti oken a dveří jsem volil hodnoty podle EPD Kittsee z článku²¹.

Materiál HVV referenční budovy	Q_{50} vzorku [m ³ /(h.m ²)]	Objem. tok vzduchu [m ³ /h]	n_{50} objektu [h ⁻¹]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² .a]
OSB Kronospan ECO 12 mm	4,57	1334,44	2,329	33,3
OSB Kronospan ECO 22 mm	3,80	1109,60	1,936	28,6
OSB Kronospan ECO 12 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1	2,82	823,44	1,437	22,7
OSB Kronospan ECO 22 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1	3,14	916,88	1,600	24,6
OSB Kronospan ECO 12 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1, natřené latexem	0,04	10,22	<u>0,018</u>	<u>8,7</u>
OSB Kronospan ECO 22 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1, natřené latexem	0,31	91,69	<u>0,160</u>	<u>9,8</u>
EPD Kittsee- vystavěno z Itongu			<u>0,185</u>	<u>10,0</u>

Tab.10 Orientační výpočet měrné potřeba tepla na vytápění. Podtržené hodnoty vyhovují požadavkům pro pasivní domy

Referenční objekt, který by měl HVV opatřenou latexovým nátěrem by splňoval požadavky pro pasivní domy ($n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$, měrná potřeba tepla $< 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$). Ale ani ostatní možnosti na tom nejsou špatně, splnily by požadavky dané pro nízkoenergetické domy a tak se dá konstatovat, že HVV z OSB desek je vhodná, relativně jednoduchá a levná možnost pro výstavbu energeticky efektivních budov.

9.3 Spojitost s difúzním odporem

Je zřejmé, že čím vyšší bude mít materiál ekvivalentní difúzní tloušťku, tím menší bude hodnota plošné průvzdušnosti. Výzkum v našich laboratorních podmínkách na toto téma by byl možný, avšak konkrétně naše měření bohužel o ničem nevypovídá. Muselo by se totiž jednat o statisticky věrohodné měření souboru většího množství vzorků. Takové měření nebylo možné realizovat z důvodů časových a prostorových. Při měření deseti a více vzorků stejných tloušťek a stejného výrobce by při dvou nebo třech variantách zaujímaly vzorky velké množství prostoru a do experimentální dřevostavby by se nevešly. Také časová náročnost takového měření by byla mimo možnosti diplomové práce. Délka každého měření je zhruba čtvrt hodiny, pokud je ovšem vzorek již připravený a správně osazený. Velice často se stávalo, že se měření muselo dvakrát nebo třikrát opakovat, protože program občas vyhodnotil tok ventilátorem jako příliš malý a měření zablokoval.

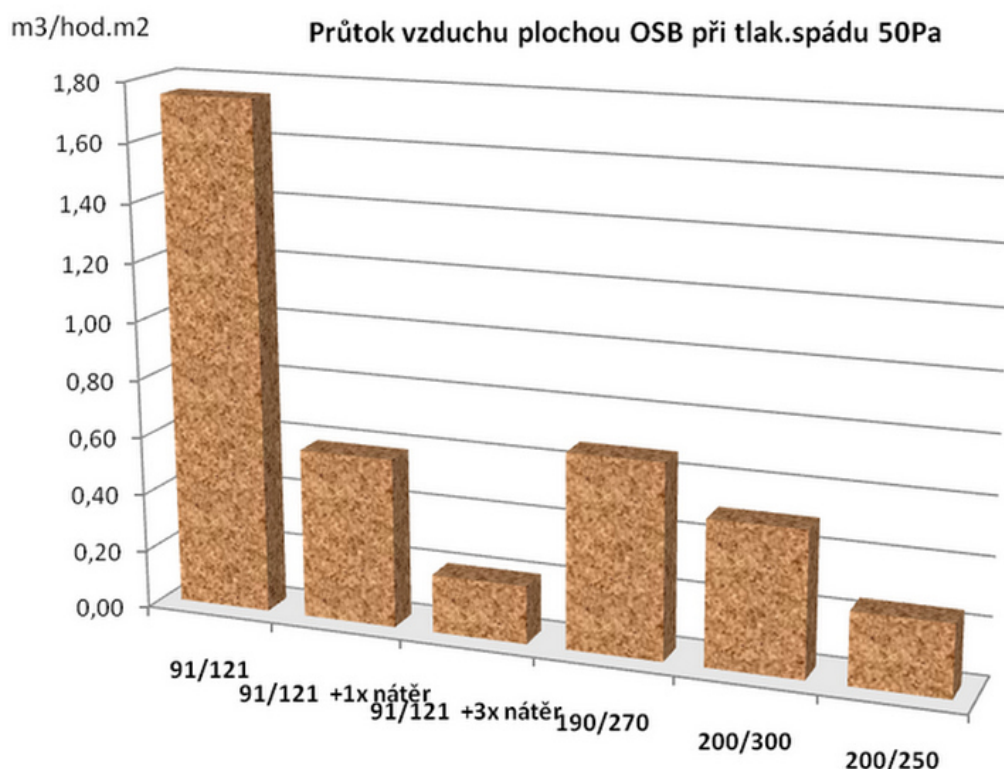
Pokud bychom chtěli dělat nějaké závěry z našeho měření, musíme se podívat na výsledky vzorků A-2 a B-2. Tyto vzorky měly přelepenou spáru a tudíž spára tolik neovlivňovala samotnou plošnou průvzdušnost OSB desky.

U vzorku A-2 i B-2 uvádí výrobce faktor difúzního odporu $\mu = 200$ v suchém stavu a $\mu = 100$ v mokřém stavu.

U desky tloušťky 12 mm to v suchém stavu představuje ekvivalentní difúzní tloušťku $S_d = 2,4 \text{ m}$ a hodnota Q_{50} nám vyšla $2,82 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

U desky tloušťky 22 mm je ek. dif. tloušťka v suchém stavu $S_d = 4,4 \text{ m}$ a Q_{50} vyšlo $3,14 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

Tyto vzorky se v našem měření nechovaly podle očekávání, protože u silnější desky se logicky očekávala lepší hodnota průvzdušnosti. Věřím ale, že při měření celého souboru vzorků by výsledky již podle očekávání byly. Také by bylo zajímavé měřit tyto vzorky jak v suchém tak ve vlhkém stavu a ověřit si tak vliv plošné průvzdušnosti na faktoru difúzního odporu i z tohoto hlediska. V České republice se v minulosti provedly pokusy, které zkoumaly přímou souvislost difúzního odporu a průvzdušnosti. Bylo to mimo jiné měření u různých budov s OSB deskami in-situ, které popisuje ve svém článku²⁰ předseda asociace Blower Door CZ Mgr. Stanislav paleček. Výsledky měření jsou přehledně zobrazeny na obr. 45.



Obr. 45 Výsledky měření závislosti difúzního odporu na a vlivu nátěru latexem na hodnotu plošné průvzdušnosti. Vodorovná osa- difúzní rozsah desky [10]

9.4 Cenové posouzení jednotlivých variant

Abychom zjistili, která varianta by se investorovi nejvíce vyplatila, pokud by hledal vhodný způsob provedení HVV s přihlédnutím na poměr cena/vzduchotěsnost, zpracoval jsem následující tabulku. V ní jsem porovnal vzorky, které jsme zkoumali a ještě k nim pro porovnání přidal možnost speciálních OSB desek s nakaširovanou fólií na bázi celulózy a druhou možnost záklopu s přisponkovanou parozábranou, jak můžeme běžně na stavbách vidět. Orientační ceny jednotlivých konstrukcí v Kč/m² jsou blíže popsány v kapitole 7.4 Vzorky. Našich osm variant je ale pouze zlomek z možností, které dnešní trh se stavebninami v rámci vzduchotěsnosti budov nabízí. A tak netvrdím, že mnou navrhovaná možnost je nejsprávnější. Z průběhů našeho měření se ale jako jedna z nejdostupnějších a nejlevnějších variant s ohledem na její výbornou hodnotu Q₅₀ jevila konstrukce z obyčejného, levného a snadno dostupného OSB kompozitu opatřeného latexem. Pokud na tuto vrstvu není nosný nebo ještě jiný požadavek než vzduchotěsnost, úplně postačí slabá

deska s přelepenými spárami a řádně přetřená latexovým nátěrem. Bylo by zajímavé zjistit, jestli by latexový nátěr nestačil i pro utěsnění spár mezi deskami, pokud jsou na pero a drážku, aby se ušetřilo i za pásku.

	Materiálová varianta HVV	Orientační cena [Kč/m²]	Cena za plochu referenční budovy [Kč]	Odhad n_{50} ref. budovy [h⁻¹] *	levnější (-) dražší (+) než varianta č.5 [%]
1	OSB Kronospan ECO 12 mm	150	43 800	2,33	-33 %
2	OSB Kronospan ECO 22 mm	280	81 760	1,94	24 %
3	OSB Kronospan ECO 12 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1	205	59 860	1,44	-9 %
4	OSB Kronospan ECO 22 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1	335	97 820	1,60	49 %
5	OSB Kronospan ECO 12 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1, natřené latexem	225	65 700	0,02	-
6	OSB Kronospan ECO 22 mm spáry přelepené páskou Isover Vario kb1, natřené latexem	355	103 660	0,16	58 %
7	OSB Kronospan ECO 12 mm s parotěsnou folií	200	52 852	0,10 **	-11 %
8	OSB Kronospan Airstop ECO spáry přelepené páskou	310	90 520	0,15 ***	38 %

* Bráno z tabulky č. 7

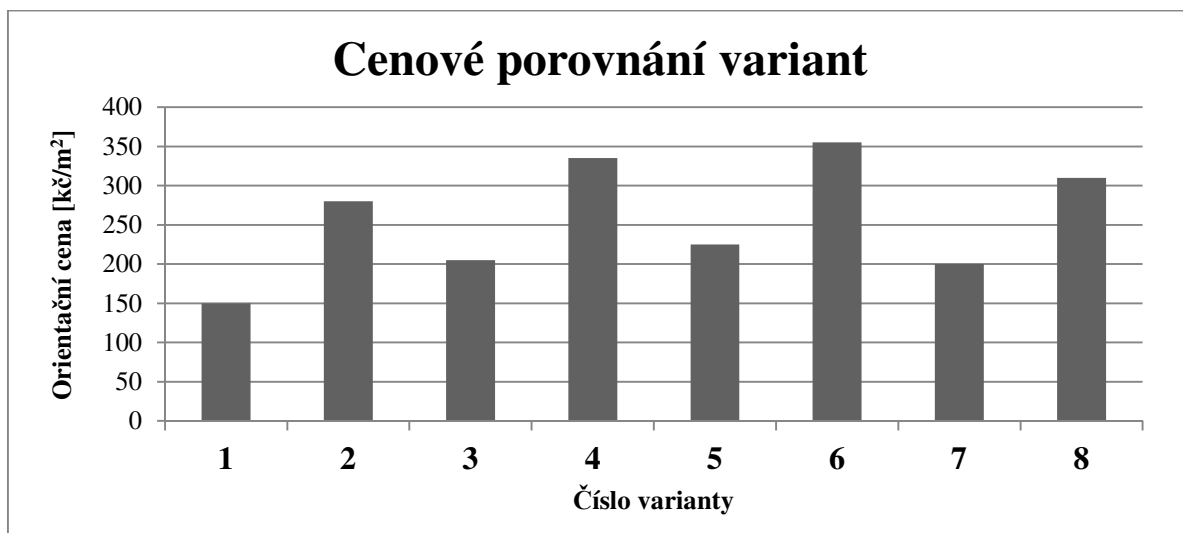
** Pouze odhad, možné výskyty vad v oblasti přesahů folie atd. proto 0,1

*** Pouze odhad

Tab.11 Orientační výpočet ceny jednotlivých variant a jejich vzájemné porovnání

Jako další levná a vhodná varianta se jeví prosté natažení parozábrany na konstrukci (varianta 7). U této varianty se běžně parozábrana přichycuje k podkladu sponkami, tím se fólie perforuje do té míry, že ztrácí významným způsobem svojí deklarovanou ekvivalentní difúzní tloušťku. Toho se můžeme zčásti vyvarovat přelepením každé sponky páskou, ovšem tento způsob je pracný a bez dozoru provádějících dělníků se může stát, že se ani

sponky nepřelépí. Vůbec je tato možnost velice náchylná na úroveň technologické kázně stavebních dělníků. Fólie se nesmí nikde mechanicky poškodit, všechny dodatečné prostupy se musí řádně zalepit a to se právě velmi často neděje. Složitě a zdlouhavé natažení parozábrany tak přijde vniveč. Z tohoto pohledu se mi zdá varianta 5 (OSB deska s přelepenými spárami a natřená latexem) jako nejlepší.



Obr. 46 Cenové porovnání



Obr. 47 Příklad špatné technologické kázně. Nešetrným způsobem upravená speciální vzduchotěsná krabice. Fotografie z objektu (místnost laboratoře), u kterého je přímo předepsaná nízká výměna vzduchu obálkou, aby nemohlo dojít ke kontaminaci okolního prostředí.[archiv autora DP]

10. ZÁVĚR

Jednalo se o pilotní pokus, jak měřit průvzdušnost různých materiálů v podmínkách experimentální dřevostavby při fakultě stavební VUT v Brně.

Nejdříve se mělo jednat o konstrukce zděné, u kterých by se zkoumal hlavně vliv omítky, ta by ve zděných konstrukcích měla představovat HVV (hlavní vzduchotěsnicí vrstvu). A také vliv materiálu a způsobu aplikace tepelné izolace na stěnu. Dále se mělo zkoumat, jak výrazným způsobem zděné konstrukce ovlivňují různé dodatečné perforace elektroinstalací, vhodnost použití elektroinstalačních krabiček a podobně. Od zkoumání zděných konstrukcí se upustilo, protože by to bylo s ohledem na technologii stavby zděné konstrukce v prostorách experimentální dřevostavby velice složité, navíc by se takových konstrukcí muselo postavit více. Nakonec se zvolila časově, prostorově i technologicky méně náročná varianta plošných konstrukcí na bázi dřeva, zkoumání tzv. OSB desek. V dnešní době s rostoucí popularitou dřevostaveb a nárůstem výstavby pasivních domů je to téma aktuálnější než kdy dřív.

Jeden z dílčích cílů, kterých by se po skončení našeho zkoumání mělo dosáhnout, bylo ověření vhodnosti či nevhodnosti vzduchotěsné komory a měřicího zařízení pro tento konkrétní záměr. V tomto ohledu výzkum přinesl hodnotné poznatky do budoucna. Na základě zkušeností z měření by se nyní měla samotná komora a měřící zařízení adaptovat. Námi používané zařízení Minneapolis 4.1 se neukázalo jako příliš vhodné. Z důvodu malé kubatury komory a relativně dobrým vzduchotěsným vlastnostem našich vzorků procházelo ventilátorem velmi malé množství vzduchu, které měřící zařízení určené pro celé obytné budovy nebylo schopno přesně zaznamenat. Proto velice záleželo na aktuálním osazení vzorku i osazení samotného zařízení, kolem kterého proudilo nejvíce vzduchu (obr.40). U velkých staveb by takový průtok vzduchu byl zanedbatelný, tady však představoval podstatné procento celkového úniku. Z tohoto je patrné, že měření bylo zatíženo značnou chybou. Také počet vzorků je pro objektivní zkoumání nízký. Abychom se mohli dopátrat k přesným výsledkům, bylo by potřeba od každého typu konstrukce naměřit velké množství vzorků a tyto výsledky pak statisticky vyhodnotit. Pro účely diplomové práce a ve stísněných podmínkách dřevostavby však velký počet vzorků nebyl možný.

Měřili jsme tři varianty vzhledem k průvzdušnosti u dvou různých OSB desek (jedna silná 12 mm a druhá 22 mm), takže dohromady šest vzorků. Jednalo se o OSB na pero a drážku s neupraveným povrchem a s volnou spárou, dále vzorek s přelepenou spárou speciální

neprůvzdušnou páskou a nakonec s latexovým nátěrem. Zjistili jsme, že i tenká deska s přelepenou páskou a s latexovým nátěrem může mít velmi dobré vzduchotěsné vlastnosti blížící se vzduchotěsnosti parozábrany. A alespoň u našich vzorků se neprokázalo, že by tloušťka samotné OSB desky, když je opatřena nátěrem, měla nějaký významný vliv, pouze v ceně a to negativním způsobem. Dá se tedy doporučit realizace HVV z tenkých OSB desek s nátěrem. Je to způsob jednoduchý, levný a zaručující vynikající výsledky při měření vzduchotěsnosti. Také opracovatelnost stavebních detailů se jeví jako vhodnější oproti použití fóliové parozábrany, které ve složitých detailech bývá nedořešené.

V budoucnu je plán na upravení komory a zařízení takový, že se počítá hned s několika vylepšeními. Jedno z nich je nahrazení měřícího Blower dooru menším ventilátorem s přesným měřičem průtoku vzduchu za pomoci anemometru. Ventilátor se osadí fixně do otevíravých dveří ze vzduchotěsného materiálu. Tyto dveře budou na komoře osazené dostatečně těsně za pomoci komprimačních pásek. Tlaky v komoře i mimo ní budou hlídat přesné manometry. V komoře kromě osvětlení bude osazena webkamera a termokamera propojená s venkovním monitorem, aby se daly identifikovat netěsnosti v osazení i netěsnosti ve struktuře vzorku. Pokud půjde vše podle plánu, měla by taková laboratorní sestava dávat již přesné výsledky průvzdušnosti různých materiálů.

11. SEZNAM ZDROJŮ

11.1 Seznam knižních publikací

- [1] MARCELA POČINKOVÁ, DANUŠE ČUPROVÁ a kol. *Úsporný dům. 2.* Aktualizované vydání. Brno: ERA Group spol s.r.o., 2008. 182 s. ISBN 978-80-7366-131-1.
- [2] JIŘÍ VAVERKA, JOSEF CHYBÍK, FRANTIŠEK MRLÍK. *Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika.* Brno: nakladatelství Vutium, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.
- [3] DIETER PREGIZER. *Zásady pro stavbu pasivního domu.* Praha: Grada Publishing, a. s., 2009. 128 s. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [4] ROMAN ŠUBRT a kol. *Tepelné mosty pro nízkoenergetické a pasivní domy.* Praha: Grada Publishing, a. s., 2011. 224 s. ISBN 978-80-247-4059-1.
- [5] JIŘÍ NOVÁK. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov.* Praha: Grada Publishing, a. s., 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [6] ČSN 73 0540-2: 2011, změna Z1 z 2012, Tepelná ochrana budov, část 2- požadavky
- [7] THE ENERGY CONSERVATORY. *Minneapolis Blower Door™ Operation Manual for Model 3 and Model 4 Systems.* Manual Edition: June 2007. 2801 21st Ave. S., Suite 160, Minneapolis, MN 55407

11.2 Seznam internetových zdrojů

- [8] *Blower door test* [online]. 2013 [cit. 21. 12. 2013]. Dostupné na <http://www.testblowerdoor.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=5>.
- [9] NOVÁK, Jiří. PALEČEK, Stanislav. *Měření vzduchotěsnosti budov v ČR - současnost a budoucí vývoj v evropském kontextu.* Zdroj: Konference Pasivní domy 2010 [online]. 2010. [cit. 27. 12. 2013], dostupné z <<http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/7010-mereni-vzduchotesnosti-budov-v-cr-soucasnost-a-budouci-vyvoj-v-evropskem-kontextu>>.
- [10] PALEČEK, Stanislav. *Zkušenosti a techniky dosahování vzduchotěsnosti pláště budov v ČR,* Zdroj: konference Pasivní domy 2011, Bratislava [online]. 2012. [cit. 29. 12. 2013], dostupné z <<http://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/8469-zkusenosti-a-techniky-dosahovani-vzduchotesnosti-plaste-budov-v-cr>>.
- [11] XELLA CZ s.r.o., *Pasivní dům v Kittsee na vlastní kůži,* firemní článek, Zdroj: TZB info [online]. 2013. [cit. 2. 1. 2014], dostupné z <<http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/10484-pasivni-dum-v-kittsee-na-vlastni-kuzi>>.

11.3 seznam zdrojů obrazových příloh

- [5] JIŘÍ NOVÁK. Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [12] *Ciur a.s.* [online]. 2013 [cit. 18. 12. 2013]. Dostupné na <<http://www.ciur.cz/clanek/zobrazit/nabizime-blower-door-test>>.
- [13] *Měřicí optické přístroje* [online]. 2013 [cit. 17. 12. 2013]. Dostupné na <<http://www.merici-opticke-pristroje.cz/anemometr-testo-405>>.
- [14] *Termogram* [online]. 2013 [cit. 17. 12. 2013]. Dostupné na <<http://www.termogram.cz/termovizni-kamera-flir-i5>>.
- [15] *Infrakamera.cz* [online]. 2013 [cit. 18. 12. 2013]. Dostupné na <<http://www.infrakamera.cz/cs/galerie-mereni.html>>.
- [16] *Ekodřevostavby* [online]. 2013 [cit. 18. 12. 2013]. Dostupné na <<http://www.ekodrevostavby.cz/video-ze-stavby/blower-door-test.html>>.
- [7] THE ENERGY CONSERVATORY. *Minneapolis Blower Door™ Operation Manual for Model 3 and Model 4 Systems*. Manual Edition: June 2007. 2801 21st Ave. S., Suite 160, Minneapolis, MN 55407
- [17] Katalog výrobce KRONOSPAN, *Kronobuild*, 2012
- [10] PALEČEK, Stanislav. *Zkušenosti a techniky dosahování vzduchotěsnosti pláště budov v ČR*, Zdroj: konference Pasívne domy 2011, *Bratislava* [online]. 2012. [cit. 29. 12. 2013], dostupné z <<http://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/8469-zkusenosti-a-techniky-dosahovani-vzduchotesnosti-plaste-budov-v-cr>>.

12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Ozn.	Veličina	Jednotka
$\tilde{V}$	Objemový tok vzduchu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
C	Koeficient proudění vzduchu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-n}$
Δp	Tlakový rozdíl	Pa
N	Exponent proudění	-
$n_{\min}$	Minimální intenzita výměna vzduchu	h^{-1}
$n_{\min,N}$	Minimální požadovaná intenzita výměny vzduchu	h^{-1}
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	h^{-1}
$n_{50,N}$	Doporučená intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	h^{-1}
n_{ref}	Intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu	h^{-1}
$\dot{V}_{\text{ref}}$	Objemový tok vzduchu při referenčním tlak. Rozdílu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
V	Objem vnitřního vzduchu budovy	m^3
μ	Faktor difúzního odporu	-
S_d	Ekvivalentní difúzní tloušťka	m
Q_{50}	Plošná průvzdušnost při rozdílu tlaku 50 Pa	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
E_{A}	Měrná potřeba tepla na vytápění	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$

Užité indexy

min	Minimální hodnota
min,N	Minimální požadovaná hodnota
ref	Hodnota referenčního tlakového rozdílu
N	Normová hodnota
50	Tlakový rozdíl 50 Pa

13. SEZNAM PŘÍLOH

Výstupy z programu Tectite Express. V tištěné verzi ukázka prvních dvou měření, v elektronické verzi kompletní výčet měření.