

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

**Návrh difuzně otevřené konstrukce dřevostavby za  
cenově přijatelných podmínek**

Diplomová práce

Autor: Bc. Miroslav Dolský  
Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Böhm Ph.D.

2014

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dolský Miroslav

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Návrh difuzně otevřené konstrukce dřevostavby za cenově přijatelných podmínek**

Anglický název

**Design of a diffusion-open composition of wooden house with acceptable cost conditions**

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je navrhnout difuzně otevřenou konstrukci dřevostavby, která se v cenové relaci přiblíží konkrétní konstrukci difuzně uzavřené. Součástí návrhu je vyhodnocení prostupu vodní páry, prostupu tepla a cenová kalkulace.

### Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky a vypracování literární rešerše
3. Návrh několika různých typů skladeb sendvičové konstrukce
4. Vyhodnocení prostupu vodní páry a tepla u navržených skladeb konstrukce
5. Cenová kalkulace a porovnání jednotlivých skladeb
7. Vyhodnocení zjištěných výsledků
8. Dokončení a odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě (součástí diplomové práce je abstrakt a klíčová slova v českém a světovém jazyce – angličtině).

### Harmonogram zpracování

- 2/2013 - zadání diplomové práce
- 3/2013 - 9/2013 - zpracování literární rešerše a návrh jednotlivých skladeb konstrukcí
- 10/2013 - 1/2014 - provedení výpočtů a kalkulací
- 2/2014 - 3/2014 - průběžné zpracovávání výsledků a vyhodnocení
- 31. 3. 2014 - odevzdání práce ke kontrole vedoucímu
- 20. 4. 2014 - odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě

## **Rozsah textové části**

textová část 50-60 stran, přílohy 10-20 stran

## **Klíčová slova**

difuzně otevřené dřevostavby, konstrukce, cena

## **Doporučené zdroje informací**

KOLB, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. 317 s. ISBN 978-80-247-4071-3.

LENOCH, J.; KALOUSEK, F. Ekonomická analýza dřevostaveb. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. 142 s. ISBN 978-80-7375-473-0.

LOKAJ, A.; KALOUSEK, F. Dřevostavby a dřevěné konstrukce. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. 309 s. ISBN 978-80-7204-732-1.

VAVERKA, J. Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.

ZAHRADNÍČEK, V.; HORÁK, P. Moderní dřevostavby. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. 155 s. ISBN 978-80-7366-109-0.

## **Vedoucí práce**

Böhm Martin, doc. Ing., Ph.D.

## **Termín odevzdání**

duben 2014

Elektronicky schváleno dne 5.8.2013

**doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7.8.2013

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan fakulty

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh difuzně otevřené konstrukce dřevostavby za cenově přijatelných podmínek vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martin Böhm Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Plané nad Lužnicí dne 30. dubna 2014



.....

Podpís autora

## **Poděkování:**

Děkuji doc. Ing. Martinu Böhmovi Ph.D. za vedení při zpracování diplomové práce. Děkuji také kolegům z fy. ELK s.r.o. za odborné konzultace a panu Ing. Janu Pencovi, DiS., za vyjádření k navržené skladbě stěny. Zvláštní poděkování patří rodině a přátelům za psychickou podporu.

## **Abstrakt:**

Diplomová práce pojednává o návrhu difuzně otevřené konstrukci dřevostavby za cenově přijatelných podmínek. Klade si za cíl navrhnout konstrukci, která bude splňovat parametry difuzně otevřené obvodové stěny, další nutné tepelně technické vlastnosti, bude obsahovat ekologické materiály a cenově se přiblíží konkrétní difuzně uzavřené konstrukci. Obsahuje vyjádření zájmových skupin projektu k navržené stěně pro její teoretické zavedení na trh. K tomuto musí splnit podmínky pro nutnou certifikaci.

V praktické části jsou navrženy 4 skladby difuzně otevřené konstrukce, které jsou hodnoceny podle počtu přírodních materiálů, tepelně technických vlastností a jsou porovnány s konkrétní difuzně uzavřenou konstrukcí. Pro všechny varianty je vytvořena cenová kalkulace, kdy se dospěje k zjištění, zda je možné dosáhnout stanoveného cenového cíle. Je vytvořen dotazník pro posudek podpory difuzně otevřené konstrukci v konkrétní firmě a vytvořeny podklady pro případnou certifikaci nejlevnější varianty.

Závěr bude obsahovat vyhodnocení všech návrhů dle stanovených cílů včetně cíle hlavního, kterým je dosažení stejné cenové relace difuzně otevřené konstrukce s konstrukcí difuzně uzavřenou.

## **Klíčová slova:**

Návrhy, difuze, dřevostavby, cena, konstrukce

## **Abstract:**

This thesis deals with draft of diffusion-open structure of wooden building under cost-acceptable conditions. It aims to design a structure which will meet the parameters of diffusion-open perimeter wall, will have the necessary thermal insulation properties, will include ecological materials and the price will be close to particular diffusion-closed structure.

In the practical part there are designed 4 compositions diffusion-open structure, which are evaluated by the number of natural materials, the thermal insulation properties and are compared with particular diffusion-closed structure. For all variants is made price calculation, where one can reach a findings whether it is possible to achieve a specified price target.

In the practical part there is also a short questionnaire, in which employees of a particular company commented on diffusion-open structure and its theoretical penetrating of the market. And there are also materials for eventual certification of the cheapest variant.

The conclusion then encompass an evaluation all drafts according to the aims, including the primary aim, which is to achieve the same price range of diffusion-open structure with structure diffusion-closed .

## **Keywords:**

draft, diffusion, wooden building, price, structure

# OBSAH

<b>1. Úvod</b> .....	15
<b>2. Cíle</b> .....	17
2.1. Dílčí cíle:.....	17
<b>3. Literární rešerše</b> .....	18
3.1. Historie dřevostaveb v Česku.....	18
3.2. Stručný popis konstrukčních systémů dřevostaveb.....	22
3.2.1. <i>Srubová stěnová konstrukce</i> .....	22
3.2.2. <i>Sloupková soustava</i> .....	23
3.2.3. <i>Skeletová soustava</i> .....	24
3.2.4. <i>Panelová konstrukce</i> .....	24
3.2.5. <i>Hrázděná konstrukce</i> .....	25
3.2.6. <i>Stěnová soustava z prefabrikovaných tvarovek</i> .....	25
3.2.7. <i>Prostorový (buňkový) systém</i> .....	26
3.3. Stavební fyzika – difuze vodní páry a kondenzace .....	26
3.3.1. <i>Problematika difuze</i> .....	26
3.3.2. <i>H-x diagram podle Molliera</i> .....	26
3.3.3. <i>Kondenzace vodních par v konstrukci dřevostavby</i> .....	27
3.3.4. <i>Rozdíl mezi difuzně uzavřenou a otevřenou konstrukcí</i> .....	28
3.3.5. <i>Tepelně technické parametry</i> .....	31
3.4. Používané materiály ve výstavbě panelových dřevostaveb s rámovou konstrukcí.....	34
3.4.1. <i>Hlavní konstrukční materiály pro nosné rámy</i> .....	35
3.4.2. <i>Velkoplošné materiály</i> .....	36
3.4.3. <i>Tepelné a zvukové izolace</i> .....	39
3.5. Uspořádání skladby sendvičových obvodových stěn.....	41
3.6. Certifikace panelů .....	42



3.7.	Základní ekonomické zhodnocení dřevostavby .....	44
<b>4.</b>	<b>Metodika práce .....</b>	<b>49</b>
4.1.	Představení používané difuzně uzavřené konstrukce ve společnosti ELK s.r.o.	49
4.1.1.	<i>Tepelně technické posouzení používané konstrukce .....</i>	<i>52</i>
4.1.2.	<i>Ekonomické zhodnocení používané konstrukce .....</i>	<i>55</i>
4.2.	Návrh stěny A .....	56
4.2.1.	<i>Tepelně technické posouzení návrhu A .....</i>	<i>59</i>
4.2.2.	<i>Ekonomické zhodnocení návrhu A .....</i>	<i>62</i>
4.3.	Návrh stěny B.....	63
4.3.1.	<i>Tepelně technické posouzení návrhu B.....</i>	<i>66</i>
4.3.2.	<i>Ekonomické zhodnocení návrhu B.....</i>	<i>69</i>
4.4.	Návrh stěny C.....	69
4.4.1.	<i>Tepelně technické posouzení návrhu C.....</i>	<i>73</i>
4.4.2.	<i>Ekonomické zhodnocení návrhu C.....</i>	<i>75</i>
4.5.	Návrh stěny D .....	76
4.5.1.	<i>Tepelně technické posouzení návrhu D .....</i>	<i>79</i>
4.5.2.	<i>Ekonomické zhodnocení návrhu D .....</i>	<i>81</i>
<b>5.</b>	<b>Vyhodnocení výsledků.....</b>	<b>82</b>
5.1.	Porovnání konstrukcí .....	82
5.1.1.	<i>Ekologický aspekt .....</i>	<i>82</i>
5.1.2.	<i>Součinitel prostupu tepla .....</i>	<i>82</i>
5.1.3.	<i>Difuzní otevřenost konstrukcí .....</i>	<i>84</i>
5.1.4.	<i>Akumulace tepla.....</i>	<i>86</i>
5.2.	Ekonomický aspekt.....	88
5.3.	Zájmové skupiny projektu.....	89
5.4.	Posouzení autorizovanou osobou.....	93
<b>6.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>94</b>

<b>7. Seznam literatury a použitých zdrojů .....</b>	<b>96</b>
7.1. Literatura .....	96
7.2. Elektronické zdroje .....	97
7.3. Normy .....	101
7.4. Software .....	102
<b>8. Přílohy .....</b>	<b>103</b>

## Seznam obrázků:

Obr. 1: Přístřešek a stanový příbytek.....	18
Obr. 2: a) Stavby palisádové, b) stavby pletivové .....	19
Obr. 3: První srubová obydlí (123RF, 2014).....	20
Obr. 4: Hrázděné stavby (Kratochvíl, 2014).....	20
Obr. 5: a) Dvojměrné šíření vlhkosti – parozábrana je porušena, b) Jednosměrné šíření vlhkosti – parozábrana je neporušena .....	31
Obr. 6: Skladba obvodové konstrukce ELK s.r.o. ....	49
Obr. 7: Bez zahrnutí výrobního faktoru.....	54
Obr. 8: Oblast kondenzace při zahrnutí výrobního faktoru s kvalitně odvedenou prací	54
Obr. 9: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna A.....	57
Obr. 10: Oblast kondenzace s výrazným snížením difuzního odporu.....	61
Obr. 11: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna B .....	63
Obr. 12: Oblast kondenzace s výrazným snížením difuzního odporu.....	68
Obr. 13: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna C .....	70
Obr. 14: Oblast kondenzace s výrazným snížením difuzního odporu.....	74
Obr. 15: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna D.....	77
Obr. 16: Oblast kondenzace s výrazným snížením difuzního odpor.....	80

## Seznam tabulek:

Tab. 1: Cena za materiál 1 m <sup>2</sup> stěny ELK.....	56
Tab. 2: Cena za materiál 1 m <sup>2</sup> návrhu stěny A.....	62
Tab. 3: Cena za materiál 1 m <sup>2</sup> návrhu stěny B.....	69
Tab. 4: Cena za materiál 1 m <sup>2</sup> návrhu stěny C.....	75
Tab. 5: Cena za materiál 1 m <sup>2</sup> návrhu stěny D.....	81

## **Seznam grafů:**

Graf 1: Počet použitých organických materiálů ve vrstvách konstrukcí .....	82
Graf 2: Výsledné hodnoty součinitele prostupu tepla navržených konstrukcí .....	84
Graf 3: Výsledné množství zkondenzované páry v hodnocených konstrukcích a teplota, při které ke kondenzaci dochází.....	85
Graf 4: Výsledné množství odpařené páry v hodnocených konstrukcích .....	85
Graf 5: Teplotní jímavost tepelně izolačních materiálů v hodnocených konstrukcích...	87
Graf 6: Fázový posun v hodnocených konstrukcích.....	87
Graf 7: Porovnání cenové relace hodnocených stěn .....	89
Graf 8: Profese a počet dotazovaných respondentů.....	90
Graf 9: Osobní preference dotazovaných respondentů.....	91
Graf 10: Vyhodnocení otázek 3 – 6 z dotazníku .....	92

## Seznam použitých zkratek:

ADMD	Asociace dodavatelů montovaných dřevostaveb
aj.	a jiné
AND	ateliér náš dům
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
DFF	izolační dřevovláknitá deska
DHF	izolační dřevovláknitá deska
EPS	expandovaný pěnový polystyren
et al.	a kolektiv
KVH	z německého Konstruktionvollholz – konstrukční plné dřevo
LSL	Laminated Strand Lumber – vrstvené lisované plošné třísky
LVL	laminated veneer lumber - vrstvený dýhový materiál
m. n. m.	metrů nad mořem
Obr.	obrázek
OSB	Oriented Strand Board (konstrukční deska z orientovaných třísek)
PE fólie	polyethylenová fólie
př. n. l.	před naším letopočtem
s.r.o.	s ručením omezeným
Tab.	tabulka
TZU	textilní zkušební ústav
tzv.	takzvaný
UNMZ	Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VVUD	Výzkumný a vývojový ústav dřevařský

## 1. Úvod

Díky zlepšujícímu se ekologickému myšlení globální společnosti se začínají stále častěji uplatňovat obnovitelné zdroje. I ve stavebnictví se začínáme navracet ke dřevu, jako základnímu stavebnímu materiálu, který byl využíván již od pradávna a má na našem území vybudovanou tradici. V průběhu historie sice došlo k několika závažným změnám, po kterých se dřevo ve stavebnictví téměř přestalo používat, ale dnes dokážeme ocenit velké množství výhod, které poskytuje, a opět se navracíme k jeho plnému uplatnění. Dřevo je jediná obnovitelná surovina, kterou lze ve stavebnictví plně využít.

Dřevo má jednoznačně největší využití ve stavebně truhlářské a tesařské oblasti, do které spadají dřevostavby. Se stavebnictvím dále souvisí i produkce dých, překližek a aglomerovaných materiálů. Nelze opomenout ani zpracování dřeva na dřevní vlákno a celulózu pro výrobu tepelné izolace a velkoplošných desek. Veškeré tyto materiály mají uplatnění ve výstavbě dřevostaveb.

Nejpoužívanějším a nejrozšířenějším konstrukčním systémem výstavby v oblasti dřevostaveb jsou sendvičové panelové dřevostavby s rámovou nosnou konstrukcí. Největší výhodou tohoto systému je prefabrikace stěnových panelů v uzavřené hale, kam je přenesena značná část výstavby. Díky této výhodě je výstavba méně limitovaná počasiem a doba montáže na stavbě se takto výrazně zkrátí.

Samotná dřevostavba je mnohem šetrnější k životnímu prostředí, než jsou stavby zděné. Ale i v oblasti výstavby panelových dřevostaveb mohou být velké rozdíly v uplatňování environmentálního učení. Záleží hlavně na používaných materiálech. V posledních letech je všeobecným trendem využívání ekologických materiálů, které nejenže přispívají ke zlepšování životního prostředí, ale také dokážou pracovat s vlhkostí, která je v konstrukci dřevostaveb nežádoucí.

Stále častěji slyšíme o výstavbě tzv. difuzně otevřených dřevostaveb, jejichž hlavní výhodou oproti dřevostavbám difuzně uzavřeným, je umožnění odvodu vlhkosti z nosné konstrukce obvodové stěny směrem do exteriéru. Tím se zabrání možnosti kondenzace v nosné konstrukci a následné případné hnilobě dřeva. Nachází zde velké

uplatnění právě např. tepelné izolace vyrobené ze dřevního vlákna, celulózy, nebo konopné izolace, které dokáží vlhkost přijmout a zase odevzdat bez jejich degradace.

Horší vlastností těchto přírodních materiálů je pořizovací cena. Na základě vlastní zkušenosti mohu podotknout, že by většina zákazníků využila možnosti ekologické výstavby, ale jakmile zjistí cenové navýšení oproti standardním materiálům, jako jsou například polystyren, minerální izolace, nebo sádrokarton, přestanou mít zájem o materiály šetrné k životnímu prostředí.

Toto byl podnět k tématu diplomové práce, ve které se budu snažit navrhnout skladbu konstrukce, která splní difuzní otevřenost, používané materiály budou na přírodní bázi a zároveň by měla být i cenově přijatelná, aby byla daná dřevostavba dostupná všem, kteří o ní jeví zájem. Samozřejmostí je splnění všech podmínek pro případné udělení certifikace.

Praktickou částí práce je tedy navrhnout vhodnou difuzně otevřenou konstrukci dřevostavby za cenově přijatelných podmínek.



## 2. Cíle

Podmětem k tomuto tématu diplomové práce byla osobní zkušenost s vysokou poptávkou zákazníků po tomto systému. Roste totiž ekologické myšlení společnosti a také větší informovanost o dřevostavbách. Většina lidí již chápe, že vlhkost z interiéru se nesmí dostat do konstrukce obvodové stěny, kde by mohla kondenzovat.

Záměrem diplomové práce je navrhnout difuzně otevřenou konstrukci dřevostavby, která se v cenové relaci alespoň přiblíží konkrétní konstrukci dřevostavby difuzně uzavřené, která se používá ve firmě ELK s.r.o. V této firmě by pak mohla být další alternativou k nabízeným skladbám. Zda je vůle zaměstnanců ELK s.r.o. podpořit novou skladbu stěny, bude posuzovat vytvořený dotazník, který bude záměrně koncipovaný na ekonomickou stránku difuzně otevřené konstrukce bez znalosti konkrétní skladby.

V práci tedy bude navrženo několik typů skladeb sendvičové konstrukce, které budou posouzeny a vyhodnoceny z hlediska použitých ekologických materiálů, prostupu tepla, prostupu vodní páry, dobré akumulace tepla a cenově vyčísleny. Pro objektivní posouzení cenové relace bude pokud možno použit vždy stejný zdroj nákupu materiálu na všechny zvolené skladby konstrukcí.

Výsledná ekonomicky nejvýhodnější difuzně otevřená konstrukce dřevostavby bude zhodnocená i autorizovanou osobou z důvodu nutné certifikace v případě jejího uvedení na trh.

### 2.1. Dílčí cíle:

- Vytvoření vlastních návrhů difuzně otevřených konstrukcí
- Posouzení zvolených konstrukcí (Množství ekologických materiálů, součinitel prostupu tepla, bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti a akumulace tepla)
- Ekonomické zhodnocení
- Průzkum podpory při zavedení difuzně otevřené konstrukce ve firmě ELK s.r.o.
- Vytvoření podkladů pro certifikaci stěny

### 3. Literární rešerše

#### 3.1. Historie dřevostaveb v Česku

Dřevo, kámen a hlína byly v historii nejvíce využívanými materiály pro budování lidských obydlí. Již naši předci dobře znali jeho přednosti, mezi které patří výborná opracovatelnost, tvárnost a především vysoká pevnost. Za první dochovanou dřevěnou stavbu u nás lze považovat zbytky dřevěného přístřešku z dob paleolitu 900 000 – 700 000 let př. n. l., která byla objevena v Přezleticích u Prahy (Kalinovský, 2012). Lovci a rybáři tyto stavby budovali ze dřeva, kůry, větví, kostí a kůží ulovených zvířat. Z této doby jsou také nálezy stanových příbytků, které jsou předchůdci všech dnešních domů. Spoje u stanových konstrukcích byly provedené lýkem (Veverka et al., 2008), (Obr. 1).

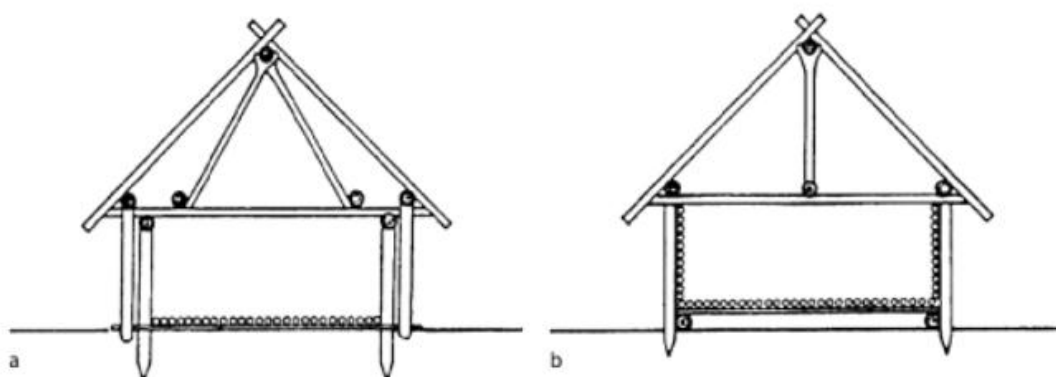


Obr. 1: Přístřešek a stanový příbytek (Veverka et al., 2008)

Další archeologické nálezy vypovídají o nástupu obydlí se svislými stěnami a konstrukčně oddělenou střechou. Tento nástup staveb zařazujeme do období neolitu 5 500 – 4 000 let př. n. l. V této době také vzniká zemědělství a počátek chovu dobytka. Vznikaly tak celé osady, které byly budovány ze dřeva. Stěny se vyplétaly proutím a následně vymazávaly hlínou. Osada byla vždy ohraničena dřevěnou palisádou popř. příkopem (Kalinovský, 2012). Domy v oblasti rašeliniště byly posazeny na nosnou konstrukci, která sloužila pro roznesení bodových sil. Desku tvořilo několik vrstev, kdy první vrstva byla tvořena z tenkých větví a kůry, následná vrstva byla ze silnější tyčoviny a vrstvu podlahy tvořily silné kmeny na nosných polštářích (Veverka et al., 2008).

Postupným vývojem tohoto typu staveb vznikají obydlí, která byla stavěna přímo na ve vodě na jezerech. Kůly byly zaraženy do dna jezera a na nich byla vystavěna deska, která byla pevně spojena se stavbou. Stavby byly dost často až 2m nad hladinou a měly tak ochraňovat obyvatele (Böttcher, 2000).

V místě rašeliniště vznikaly stavby, které dnes nazýváme palisádové. Stěny byly tvořeny kůly zaraženými těsně vedle sebe do rašelinového podloží a přímo na zem se ukládal povalový rošt, který tvořil podlahu a byl pevně spojený se svislými stěnami (Obr. 2 a). V neolitu (mladší době kamenné) vznikají stavby, které již potřebují pevné podloží a nazývají se stavby pletivové (Obr. 2 b). Na pevné zemi ležely 3 - 4 příčné trámy nesoucí povalový rošt tvořící podlahu. Kolem roštu byly zhruba po metru zaraženy svislé kůly a prostor mezi nimi byl vyplněn proutím a vymazán hlínou (Veverka et al., 2008).



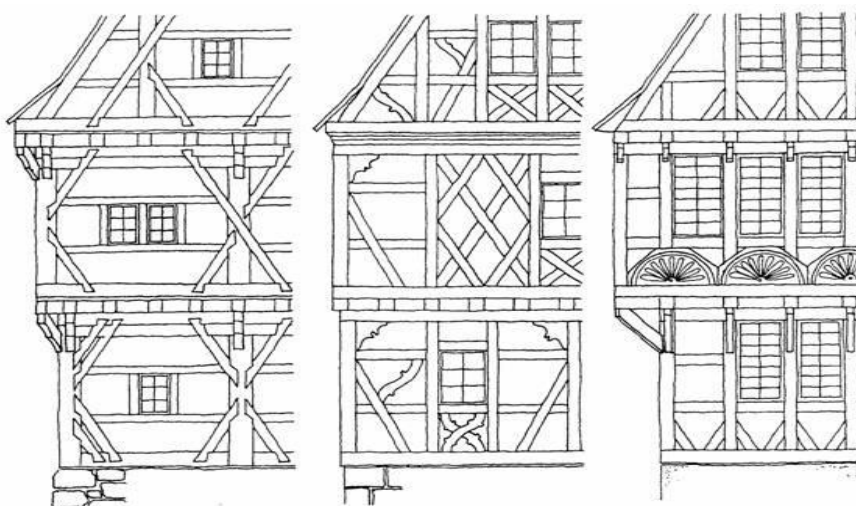
Obr. 2: a) Stavby palisádové, b) stavby pletivové (Veverka et al., 2008)

Zhruba 1 200 let př. n l. se začínají objevovat první srubová obydlí (Obr. 3), kdy byly vnější stěny vyplétané proutím nahrazeny kulatinou pokládanou v horizontální poloze a v rozích se vzájemně spojovaly. Vznikly tak celistvé stěny bez nutnosti velkých výplní. Podlaha byla tvořena povalovým roštem. Uvnitř byl pouze jeden velký prostor, kde probíhaly veškeré činnosti. Stěny plnily funkci ochrany interiéru před povětrnostními podmínkami i funkci nosnou (Böttcher, 2000). Postupem času s vývojem lepších nástrojů na opracování a zlepšením dovedností člověka se začaly dřevěné prvky stále lépe opracovávat a zdokonalovaly se tesařské spoje. Tím se i u srubové konstrukce zdokonalovala a začaly se používat hraněné a polohraněné profily. Takovéto stavění se v podstatě využívá dodnes (Veverka et al., 2008).



Obr. 3: První srubová obydlí (123RF, 2014)

Postupem času se srubové domy stále zdokonalovaly a přizpůsobovaly se potřebám člověka. Nová konstrukce dřevostaveb dorazila na naše území až v 15. století našeho letopočtu spolu s německými přistěhovalci. Byla to stavba hrázděná (Obr. 4). Zde byly použity již velmi vyspělé tesařské spoje tyčových prvků dřevěné kostry. Svislé a příčné trámy byly vyztuženy šikmými vzpěry a tato kostra tak splňovala nosnou funkci. Prostor mezi dřevěnými prvky byl z počátku vyplňován hlínou z plev (tzv. mazaninou), cihlami z nepálené hlíny (tzv. vepřovice) a až později z pálených cihel (Lenze, 2012).



Obr. 4: Hrázděné stavby (Kratochvíl, 2014)

Další konstrukční systém se dostal na území České republiky až roku 1891, kdy byl v Boleslavi vybudován první závod vyrábějící panel s dřevěným rámem. Panel byl patentován již v roce 1880 Dánem Johanem Gerhardem Clementem Döckerem. Vyráběl

se z dřevěného rámu, na který byla osazena deska podobná dnešní desce cementovláknité. Panely stěn se spojovaly zámkem se západkou a na spoje se připevňovaly lišty přichycené pomocí šroubů. Díky tomuto systému mohla být stavba rychle sestavena a opět demontována. Našla tedy využití při výstavbě polních nemocnic, lazaretů a ve vojenské správě (Liška, 2012).

První pokusy v oblasti objemové typizace rámových konstrukcí na našem území zaznamenáváme u vlakových nádraží. Na konci 19. století byly rámové konstrukce využité také na pár desítkách dočasných divadelních arénách. Po první světové válce se rozšiřují hospodářské styky našich zemí se západem, což vede k přísunu informací a to zejména u tzv. systému „Two by four.“ (To znamená dva krát čtyři palce, což je rozměr dřevěného prvku pro zhotovení rámu). Tesařské spoje jsou zde nahrazeny hřebíky. Výstavba tak ustupuje od silno-profilových trémových konstrukcí a je nahrazena levnějšími fošnovými konstrukcemi z jednotného unifikovaného profilu. Technologie prvkové dřevostavby tak umožňuje realizaci dřevěných objektů v jinak nepřístupných lokalitách. (Holydaypacific, 2014)

V 19. století v souvislosti s rozvojem průmyslu nastal velký rozmach dřevěných tesařských konstrukcí halových staveb. Vznikaly rámové, příhradové a spřažené dřevo-ocelové konstrukce. Byly vynalezeny také průkopnické tesařské konstrukce. Patřily mezi ně např. vzpěradlové a věšadlové soustavy, sbíjené nosníky, příhradové rámy, samonosné střešní konstrukce a soustavy skruží. V tomto období se začíná využívat i lepené lamelové dřevo (Štefko et al., 2006).

V průběhu historie také došlo k několika závažným změnám, po kterých se na našem území přestalo dřevo ve stavebnictví téměř používat. Prvním takovým obdobím byla doba Marie Terezie, která vydala 21. srpna 1744 Řád k hašení ohně pro města zemská, městečka a dědiny markrabství moravského. V tomto řádu stálo, že dřevěný dům mohl být postaven jen výjimečně a stavět se mělo hlavně z kamene a pálených cihel (Krejčí, 2012). Dalším obdobím bylo 20. století, kdy se po nástupu komunismu výstavba dřevěných domků prakticky zastavila a do popředí se dostalo železo a beton. Ve školství se dřevěné stavební konstrukce téměř přestaly vyučovat a byl zastaven i přísun odborné literatury ze zahraničí (Svět dřevostavby, 2014).

Rok 1968 byl významný nejen z hlediska politického, ale i průmyslového. Vzniká národní podnik Rudné doly Jeseník. Kvůli omezené těžbě rudy bylo nutné

vyřešit otázku zaměstnanosti a vzhledem k tomu, že bylo v okolí dostatek dřevní suroviny, vznikl projekt, který zahájil výrobu dřevěných domů v Rýmařově. Byla zakoupena licence od společnosti OKAL – Otto Kreinbaum a nově vzniká společnost Okál Rýmařov. V roce 1969 tak byl položen základní kámen výrobní haly pro výrobu panelového systému dřevěných montovaných domů (Pýcha, 2013).

Průlomovým obdobím pro dřevostavby je rok 1989. Po sametové revoluci a vzniku nové demokratické vlády přichází na český trh mnoho zahraničních investorů ze západu přivázejících s sebou své „know-how.“ K dispozici začíná být i velké množství zahraniční literatury, obor se vyučuje i na školách. Vzniká nepřehledné množství konstrukčních systémů dřevostaveb i díky vývoji nových stavebních materiálů. V 21. století tedy začíná zlatý věk dřevostaveb v České republice (Smola, 2011).

### **3.2. Stručný popis konstrukčních systémů dřevostaveb**

#### **3.2.1. Srubová stěnová konstrukce**

Srubové domy patří k nejstarším systémům dřevostaveb a jsou základem pro všechny masivní stavby ze dřeva, které se dnes realizují (Veverka et al. 2008). Již od pradávna byl tento systém výstavby využíván, postupem času se stále zdokonaloval a rozvíjel (Havířová, 2005).

Jako nosný prvek zde působí vodorovně na sebe ukládané nehraněné výřezy nebo polohraněné trámy a hraněné hranoly (Kolb, 2008).

Nosné prvky jsou vzájemně spojované:

- Spojem v ložní spáře - natupo s výřezem tvaru V, spojem na pero a drážku, vloženým perem, ozubeným spojem, spojovacím prostředkem.
- Rohovým spojem – s přeplátováním se záhlavím 100 až 200 mm, nárožním rovným plátem s kolíkem, prostorovým rybinovým spojem a zámkovým spojem.
- Spoj obvodové a vnitřní stěny – rybinový a zámkový spoj.

(Štefko et al., 2006)

Tloušťka srubových stěn se pohybuje okolo 150 až 300 mm. Tato stěna plnila v minulosti funkci nosnou i izolační. Netěsné a nedoléhající spáry byly vyplňované mechem nebo dřevní vlnou a následně vymazány mastnou hlínou nebo olištovány.

Kvůli slabé účinnosti těsnění se stěny často pokrývaly hliněnou mazaninou. U současné tzv. kanadské technologie z výřezů se v místě ložní spáry vyřízne tvar písmene U nebo V a vyplní se izolací (Schulze, 2005).

Sruby z nehraněných výřezů se zpravidla realizují z čerstvého dřeva, mající vysokou vlhkost. Po realizaci hrubé stavby je nutné počítat s vysoušením stěn, kde může dojít k seschnutí stavby až o 150 mm na výšku jednoho podlaží za první sezónu. Tomu se musí přizpůsobit patřičné detaily stavby (Štefko et al., 2009).

U srubů z hraněného dřeva se často používají již vysušené hranoly, které mají již velkou tvarovou stálost, úprava detailů nemusí být tak zásadní (Schulze, 2005). Rovný povrch stěn dává možnost vytvoření i sendvičové konstrukce s izolací a lze tak dnes postavit i srub s velmi nízkými ztrátami tepla (Štefko et al., 2009).

### **3.2.2. Sloupková soustava**

Sloupkový konstrukční systém výstavby je převzatý z amerického systému „Two by four“ (2 x 4), což je průřez nosného sloupku v palcích. Tomu v metrické míře odpovídá průřez sloupku 50 x 100 mm, sloupky jsou od sebe osově vzdálené 400 až 600 mm a kotvené jsou do základového prahu. Znamé jsou dva způsoby výstavby ve sloupkové soustavě. Tzv. systém Balloon frame, kde nosné sloupky probíhají od základového prahu až k okapu, stropní nosníky jsou přiložené k sloupkům. Druhým způsobem je systém Platform frame, kde sloupky vedou pouze ke stropu a tam jsou přerušené (Kolb, 2008). Stropní nosníky se ukládají na vrchní hranol spodního rámu (Štefko et al., 2009).

Současný sloupkový systém využívá spíše větší profily sloupků, dimenze 60 x 120 mm až 60 x 200 mm. Šířka je větší z nutnosti vysokých požadavků na tepelné vlastnosti budovy a tloušťka z důvodu větší plochy pro kotvení konstrukčních desek. Sloupky jsou osově vzdáleny v rastru maximálně 625 mm z důvodu formátů konstrukčních desek, které se vyrábí v šířce 1250 mm. Vytvořená rámová konstrukce je jimi opláštěná. Konstrukční desky zajišťují statickou stabilitu nosných stěn (Schluze, 2005).

### 3.2.3. Skeletová soustava

Skelet je prostorový nosný systém vytvořený ze sloupů a vodorovných nosných průvlaků. Výplně obvodových stěn a vnitřních příček jsou nenosné, ale staticky zabezpečují prostorovou tuhost (Kolb, 2008).

Jako nosné prvky se používají plnostěnné profily z lepeného lamelového dřeva o průřezech čtvercových, obdélníkových a tvaru písmene H. Dále jsou to složené průřezy tvaru písmene I, příhradové nosníky lepené, které mohou být doplněny diagonálami z profilovaných plechů (Štefko et al., 2009).

Nosné prvky skeletu mohou být jednoduché nebo zdvojené. Podle jejich vzájemného uspořádání rozlišujeme čtyři základní nosné systémy.

- Jednodílný sloup i hlavní nosník, konstrukce jednopodlažní.
- Jednodílný průběžný sloup, dvoudílný (kleštinový) hlavní nosník.
- Vícedílný (kleštinový) průběžný sloup, jednodílný hlavní nosník.
- Jednodílný průběžný sloup, jednodílný hlavní nosník, vedlejší nosník ve stejné výškové úrovni jako hlavní nosník (nesouosý systém).

(Havířová, 2005).

### 3.2.4. Panelová konstrukce

Je to jeden z nejrozšířenějších dřevěných stavebních systémů budov. Základem konstrukce panelu je dřevěný nosný rám, který je opláštěný konstrukční deskou, a ta plní funkci prostorové tuhosti. Prostor mezi sloupky je vyplněn tepelnou izolací. Hlavní výhodou tohoto systému je možnost prefabrikace stěn ve výrobní hale, což urychlí samotnou montáž a nejsme tolik limitováni povětrnostními podmínkami při výstavbě (Pfeifer, 1998). Stádia dokončení stěn, ale i jejich rozměry ve výrobní hale mohou být různé. Nemusí být prefabrikovány pouze svislé konstrukce, ale i vodorovné, do nichž spadají panely podlahové, stropní, štítové a střešní (Štefko et al., 2009).

Mezi panelové konstrukční systémy řadíme také způsob výstavy z masivního dřeva. Rozeznáváme systémy jako je křížově spleené řezivo, vrstvené řezivo, křížově kolíkované dílce, systém Lignotrend a LignoSwiss.



Nosné a výztužné stěnové konstrukční prvky lze také vyrobit z plošně lisovaných desek nebo desek OSB v jedné vrstvě nebo slepené ve více vrstvách. Tloušťky stěn mohou být od 75 mm do 250mm (Kolb, 2008).

Hojně využívaný je i systém z konstrukčně izolačních panelů. Panel se skládá ze dvou OSB desek, izolační výplně ze stabilizovaného samozhášivého polystyrenu EPS nebo Neopor (Czechpan, 2008).

### **3.2.5. Hrázděná konstrukce**

Stěny hrázděných staveb jsou tvořeny z hranolové kostry, která sama osobě zajišťuje statiku celé stavby, kdy všechny statické síly přenáší pruty hrázděné konstrukce. Svislé síly přenáší sloupky a posuny proti smykovým silám zabezpečují vzpěry. Prostor mezi pruty byl dříve vyzdíván, dnes je většinou vyplněn izolačním materiálem (Kolb, 2008). Kostra je tvořena prahem, sloupy, vzpěrami, vaznicemi a překlady. Prahový věnec bývá vyrobený z trvanlivějšího dřeva (např. dubu, modřínu). Je přiznaná a dominuje architektonickým prvkem dané konstrukce. Kvůli zvyšujícím se požadavkům na minimální tepelné ztráty se uplatňuje skladba s vrstvou účinné tepelné izolace z vnitřní strany obvodové stěny (Lenze, 2012).

### **3.2.6. Stěnová soustava z prefabrikovaných tvarovek**

Stavění z prefabrikovaných tvarovek připomíná stavění z velkoformátových cihel, pouze s tím rozdílem, že se jedná o suchý způsob výstavby a tvarovky jsou ze dřeva. Tvarovky mají standardizované moduly a jsou průmyslově vyráběné (Kolb, 2008).

Základní tvarovka je tvořena z lehkého, dutého, 5 až 10 kg vážícího modulu. Délku má 600 mm, výšku přibližně 300 mm. Pro celistvost systému se vyrábějí i doplňkové poloviční nebo čtvrtinové moduly a další prvky, jako jsou prahy, horní rámy, rámy kolem oken, dveří apod. Tvarovky jsou na sebe kladené buď systémem pero a drážka, nebo kolíkovými spoji. Pro ztužení stěny jsou po výšce vloženy hranoly nebo zvenku nabitými latěmi. Následně jsou vyplněny izolací a z vnější strany se obkládají kontaktním zateplovací fasádou (Štefko et al., 2009).

### **3.2.7. Prostorový (buňkový) systém**

Prostorové systémy se sestavují v závodě včetně podlahy, stěn a stropu. Takto hotová prostorová konstrukce převezena na místo montáže je sestavována na sebe a vedle sebe podle projektu (Kolb, 2008). V některých případech tento systém využívá maximální možný způsob prefabrikace, kdy již může být sestavena celá stavba ve výrobním závodě a na staveništi se pouze osadí na základový pas nebo desku a připojí se na řád. Je zde ale velikostní omezení objektu kvůli přepravě (Dolský, 2012).

## **3.3. Stavební fyzika – difuze vodní páry a kondenzace**

### **3.3.1. Problematika difuze**

Difuze a kondenzace vodních par v obvodových konstrukcích dřevostaveb jsou jedním z nejdůležitějších témat z hlediska stavební fyziky. Difuzí se rozumí molekulární přenos plynů. Ve stavebnictví jde hlavně o binární směs suchého vzduchu s vodní parou. To, jak se bude stavební konstrukce chovat z hlediska difuze vodní páry, závisí velmi na pořadí jednotlivých vrstev obálky budovy. Vodní pára se v zimním období tlačí z interiéru směrem ven a na své cestě se nesmí zarazit nikde jinde než v místech, kde jsou teploty shodné s interiérem. Kdyby došlo k zadržení vodní páry v oblasti s nízkou teplotou, což je vnější část skladby konstrukce, vodní pára z kondenzuje a materiál, ve kterém ke kondenzaci dochází, začíná navlhat (Schulze, 2005).

Vodní pára je v interiéru produkována samotnými obyvateli, rostlinami, vařením, v koupelně při hygieně a jiných aktivitách. Tato pára je obsažena ve vzduchu. Její vlhkostní procento je závislé na teplotě prostředí. Při vyšší teplotě se vlhkostní procento snižuje, při nižší se naopak zvyšuje (Zahradníček, Horák, 2007). V případě dosažení meze, kdy tlak nasycených vodních par již není schopný dále přijímat další vodní páru, dochází ke kondenzaci (SIEMENS, 2000).

### **3.3.2. H-x diagram podle Molliera**

K určení bodu kondenzace nám může posloužit H-x diagram podle Molliera, který graficky zobrazuje stav páry a její změny při určité teplotě a tlaku vzduchu (H-x diagram v příloze č. 1), (Schulze, 2005).

Pro určení bodu kondenzace jsou pro nás v grafu důležité hlavně tyto hodnoty:

- $t$  = teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $\varphi$  = relativní vlhkost [%]
- $x$  = obsah vody [g/kg] - vztahující se na 1 kg suchého vzduchu
- $h$  = entalpie vlhkého vzduchu [kJ/kg] – množství tepla v J potřebné k ohřátí 1 kg vzduchu z  $0^{\circ}\text{C}$  na určitou teplotu.

(SIEMENS, 2000)

H-x diagram je konstruován pro konstantní atmosférický tlak vzduchu, což je přibližně 100 kPa a to odpovídá průměrnému tlaku ve výšce 111 m. n. m. V grafu můžeme na stupnici teploty vidět bod, který je zakreslený v  $20^{\circ}\text{C}$ . Tento bod nám protíná stupnici teploty při  $20^{\circ}\text{C}$  se stupnicí absolutního obsahu vody ve vzduchu s 5 g/kg a s křivkou relativní vlhkosti, kde je hodnota cca. 35%. Víme tedy, že při teplotě  $20^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti vzduchu 35% bude obsah vody ve vzduchu 5 g/kg. Jakmile se nám ale teplota sníží na  $4^{\circ}\text{C}$ , dosáhneme při stejném obsahu vody (5 g/kg) ve vzduchu 100% relativní vlhkosti a to je výše zmíněná hranice, kdy vzduch již není schopen přijmout větší množství vlhkosti. Sníží-li se teplota na  $3^{\circ}\text{C}$ , dochází ke kondenzaci (SIEMENS, 2000).

### 3.3.3. Kondenzace vodních par v konstrukci dřevostavby

Významný požadavek České státní normy ČSN 73 0540-4 určuje zejména u dřevostaveb bilanci zkondenzovaných a odpařených vodních par v konstrukcích vertikálních i horizontálních (Veverka et al., 2008).

Dřevostavby s nejlépe navrženou skladbou konstrukce, vylučují kondenzaci vodní páry a tím nedojde k ohrožení trvanlivosti materiálu. Také podle ustanovení ČSN 73 0540-4 je stanoveno pro stavební konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce ( $M_c$  v  $\text{kg/m}^2\cdot\text{a}$ ) mohla ohrozit její požadovanou funkci, že nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce (ČSN 73 0540-7, 2005).  $M_c$  se tedy rovná 0 [ $\text{kg/m}^2\cdot\text{a}$ ] zkondenzované vody uvnitř konstrukce. Takovouto stavební konstrukcí jsou právě dřevostavby, kde by mohlo vlivem vlhkosti docházet ke vzniku plísní, objemovým změnám, zvýšení hmotnosti mimo rezerv statického výpočtu a zvýšení hmotnostní vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci (Šála et al., 2008).

Výpočet podle ČSN 73 0540-4 ale posuzuje pouze dvoudenní extrémně nízké zimní venkovní návrhové teploty za určité statistické období. ČSN EN ISO 13788 oproti národní metodice vychází z měsíčních průměrných venkovních teplot, kdy vyhodnotí chování konstrukce jen do venkovní teploty  $-5\text{ °C}$ , nepostihuje proto extrémní chování konstrukce při dvoudenních teplotních výchylnkách. Podle ČSN EN ISO 13788 tedy bývá konstrukce bez kondenzace v době, kdy ČSN 73 0540 kondenzaci vykazuje (Šála et al., 2008).

Na základě ČSN EN ISO 13788 projektant může připustit kondenzaci vodní páry pouze tehdy, pokud prokáže, že zkondenzované množství vody neohrozí spolehlivost a životnost konstrukce. To prokáže tak, že roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce ( $M_c$  v  $\text{kg/m}^2\cdot\text{a}$ ) musí být nižší než roční množství vypařené vodní páry uvnitř konstrukce ( $M_{ev}$  v  $\text{kg/m}^2\cdot\text{a}$ ). Při zabudování dřeva a materiálů na bázi dřeva do stavebních konstrukcí dále musí být dodrženo pravidlo, že při normových podmínkách užívání nesmí rovnovážná hmotnostní vlhkost těchto materiálů překročit 18% a musí být provedena ochrana impregnací na základě normy ČSN 49 0600-1 (Šála et al., 2008).

Je-li to však možné, je vždy lepší provést výpočet roční bilance oběma možnými metodikami. Výsledky obou postupů se často liší a vyjde-li hodnocená konstrukce jako vyhovující při obou výpočetních postupech, je návrh opravdu spolehlivě ověřen (Šála et al., 2008).

Zvláštní pozornost při výstavbě dřevostaveb je potřeba věnovat konstrukčním detailům, kde mohou vznikat tepelné mosty. Tepelným mostem je myšlen bod v konstrukci, kde je materiál s nízkou tepelnou vodivostí narušen materiálem s vyšší tepelnou vodivostí (Schulze, 2005). V místech styků dvou konstrukcí také dochází k takzvaným tepelným vazbám, což je opět styk materiálů s vyšší tepelnou vodivostí. V těchto místech tedy může snadněji dojít ke kondenzaci vodní páry, protože jsou jejich povrchy chladnější. Nutné je navrhovat konstrukce a spoje tak, aby obsahovali minimum tepelných mostů (Veverka et al., 2008).

#### **3.3.4. Rozdíl mezi difuzně uzavřenou a otevřenou konstrukcí**

Znemožnění nebo omezení prostupu vodní páry do konstrukce dosáhneme parotěsnicí vrstvou ve skladbě obvodové stěny, kterou v případě difuzně uzavřených

konstrukci nazýváme parozábrana a v případě difuzně otevřených konstrukcí parobrzdá. Zatímco parozábrana má velmi vysoký difuzní odpor, parobrzdá ho má zdatelně nižší (Zahradníček, Horák, 2007).

Nejdůležitější vlastností každé parotěsnicí vrstvy je propustnost pro vodní páru, která může být vyjádřena několika veličinami:

- Součinitel difuze vodní páry materiálu  $\delta_p$  [kg/(Pa.s.m)], vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difuzí.
- Faktor difuzního odporu  $\mu$  [-], vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páru difuzí. Je poměrem difuzního odporu materiálu a difuzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce při definovaných podmínkách.
- Ekvivalentní difuzní tloušťka  $S_d$  [m], vyjadřuje ekvivalentní difuzní tloušťku vrstvy vzduchu, která by kladla stejný difuzní odpor jako tloušťka dané vrstvy konstrukce.

(Slanina, 2004).

Vzájemné vztahy veličin:

$$S_d = \mu \cdot d = \frac{\delta_o}{\delta_p} \cdot d = \frac{d}{N \cdot \delta_p} [m]$$

- Kde  $S_d$  [m] vyjadřuje ekvivalentní difuzní tloušťku vrstvy vzduchu. Pokud bychom do skladby použili jako parotěsnicí vrstvu např. OSB desku s faktorem difuzního odporu  $\mu = 300$  a deska by měla sílu 0,015m, dosáhli bychom hodnoty 4,5 m. Vzduch o tloušťce 4,5 m by měl tedy stejný difuzní odpor jako OSB deska o tloušťce 0,015 m (Slanina, 2004).

-  $d$  [m] je tloušťka materiálu (Slanina, 2004).

-  $\delta_p$  [kg/(Pa.s.m)] je součinitel difuze vodní páry ve vzduchu. Hodnota součinitele závisí na teplotě a barometrickém tlaku, ale tyto vlivy jsou v normě ČSN EN ISO 13788 zanedbány a je uvažováno s hodnotou  $\delta_o = 2 \cdot 10^{-10}$  [kg/(Pa.s.m)] (Slanina, 2004).

-  $\mu$  [-] je faktor difuzního odporu. Čím větší je tato hodnota, tím větší je nepropustnost materiálu pro vodní páru. Faktor difuzního odporu  $\mu$  pro vzduch je 1. Zatímco parozábrana může mít tuto hodnotu až 500000u parobrzdý je tato hodnota maximálně

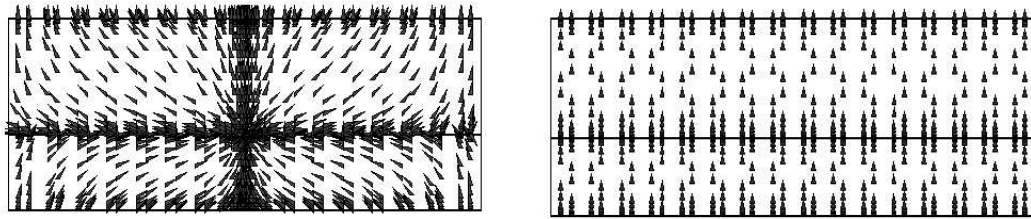
50000 (Rypl, 2006). Ve skutečnosti jsou hodnoty ale nižší. Jako parozábrana se nejvíce využívá PE fólie o hodnotách kolem 130000 a jako parobrzdu vidíme ve skladbě konstrukce nejčastěji OSB desky, které mají hodnotu 200 – 350 (Slanina, 2004).

-  $N [s^{-1}]$  je teplotní difuzní funkce závisící na teplotě a barometrickém tlaku a její hodnoty jsou tabelizovány (Slanina, 2004).

- **Difuzně uzavřená konstrukce**

Difuzně uzavřená stěna má z interiérové strany ve většině případů osazenou PE fólii, která má velmi vysoký difuzní odpor. Fólie s velmi vysokým difuzním odporem musí být v této konstrukci instalována, aby bylo v maximální možné míře zamezeno vstupu vodní páry do obvodové stěny (Krňanský, 2008). Důvodem jsou totiž další vrstvy sendvičové konstrukce. Zatímco za vrstvou parozábrany je nosná konstrukce mezi sloupky vyplněna tepelnou izolací s velmi malým difuzním odporem, kdy hodnota  $\mu$  je dost často stejná jako samotný vzduch (tedy 1), tak následná vrstva zateplovacího systému má difuzní odpor oproti izolaci mezi sloupky velmi vysoký. Hodnota  $\mu$  okolo 20–250 (záleží na používaných materiálech). V případě proniknutí vodní páry na tuto vrstvu, která má již chladnější povrch by mohlo dojít ke kondenzaci a následné degradaci tepelné izolace, v horším případě k hnilobě nosného rámu a narušení statiky (Veverka et al., 2008).

Parozábrana sama o sobě plní funkci spolehlivě, vodní páru do konstrukce nepropustí. Také veškeré spoje a prostupy jsou vždy přelepeny co nejtěsněji lepicími páskami. Ve výrobním faktoru je ale velmi složité předejít lokálním narušením. Mechanické spojovací prostředky tuto vrstvu velmi snadno poruší (Obr. 5). Vzniklé netěsnosti se výrazněji projeví právě u parozábran s vyšším faktorem difuzního odporu (Veverka et al., 2008). Pro omezení možného narušení ve výrobě je mnohdy v interiéru používána ještě vrstva předstěny. Jsou v ní zakomponované elektroinstalace a vodoinstalace, které by jinak mohly vrstvu parozábrany poškodit (Schulze, 2005).



a)

b)

Obr. 5: a) Dvojměrné šíření vlhkosti – parozábrana je porušena, b) Jednosměrné šíření vlhkosti – parozábrana je neporušena (Slanina, 2004)

- **Difuzně otevřená konstrukce**

Difuzně otevřená konstrukce je tedy celkově bezpečnější pro nosný rám stěny a také zdravější pro vnitřní prostředí. Opět je to dáno skladbou vrstev v obvodové stěně. Z vnitřní strany je osazena parobrzdá, která má hodnotu  $\mu$  okolo 200 – 300. Je zřejmě nižší než u parozábrany, a proto v zimním období připustí malé množství prostupu vodní páry do konstrukce. Tím i redukuje množství vlhkosti v interiéru. Z tohoto důvodu se často uvádí, že difuzně otevřená stavba je zdravější. Vrstva izolace mezi sloupky má opět faktor difuzního odporu  $\mu$  1, ale další vrstva zateplovacího systému má hodnotu  $\mu$  5, která je zde zřejmě nižší než u difuzně uzavřeného systému. Tak ke kondenzaci nedochází a tím chráníme nosný rám před potenciálními plísněmi (Nagy, 2002).

Vrstva zateplovacího systému je zde převážně z měkké dřevovláknité desky, která je zřejmě cenově náročnější než třeba polystyren, používaný u dřevostaveb difuzně uzavřených. Má oproti polystyrenu ale zcela ojedinělé výhody. Jsou pravým nositelem kvalitního posunu v chování celé konstrukce. Mezi zásadní vlastnosti patří zejména vysoká tepelná kapacita, požární odolnost, dobré akustické vlastnosti, absorpce vlhkosti, velice nízký difuzní odpor a dobré mechanické vlastnosti. Materiál je zcela ekologický, což je jeho další nesporně obrovskou výhodou (Krňanský, 2008).

### 3.3.5. Tepelně technické parametry

Tepelně technický požadavek budov je jednou z nejhlavnějších vlastností, na níž jsou kladeny stále větší nároky, které zajistíme použitím vhodného izolačního materiálu. Důležitým parametrem materiálu z hlediska jeho izolačních vlastností je součinitel

tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m·K] vyjadřující schopnost materiálu vést teplo. Tzn., že čím nižší je hodnota, tím lepší má materiál tepelně izolační vlastnosti. Z tepelné vodivosti materiálu  $\lambda$  lze vypočítat pro konkrétní tloušťku konkrétního materiálu součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>·K]. Tato hodnota je uvedena v normě ČSN 73 0540-2 jako základní parametr, podle kterého se posuzuje splnění požadavku na dostatečnou tepelnou izolaci (Zahradníček, Horák, 2007).

- **Součinitel prostupu tepla  $U$**

Vystihuje šíření tepla z ustáleného prostředí na jedné straně konstrukce do prostředí na druhé straně konstrukce při dvojrozměrném a trojrozměrném šíření tepla. Je definován pro konstantní teploty vzduchu v nenarušených přilehlých prostředích. Mezi prostředím a konstrukcí přitom dochází k prostupu tepla, které se vyjadřuje odporem při prostupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce ( $R_{si}$  - vnitřní a  $R_{se}$  - vnější), (Šála et al., 2008). Tepelný odpor materiálu je potom závislý na jeho tloušťce v metrech a tepelné vodivosti  $\lambda$ .

Součinitel prostupu tepla je definovaný vztahem:

$$U = \frac{1}{R + (R_{si} + R_{se})} [W/(m^2 \cdot K)]$$

Tepelný odpor konstrukce je definovaný vztahy:

$$R = \frac{1}{U} - (R_{si} + R_{se}) [(m^2 \cdot K)/W]$$

$$R = \frac{d}{\lambda} [(m^2 \cdot K)/W]$$

(Šála et al., 2008)

Konstrukce vytápěných nebo klimatizovaných budov musí mít v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60$  % součinitel prostupu tepla  $U$ , ve W/m<sup>2</sup>·K takový, aby splňoval podmínku  $U \leq U_N$ , kde  $U_N$  je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla, ve W/m<sup>2</sup>·K. Splnění této podmínky pro doporučenou hodnotu  $U_N$  je vhodné pro energeticky úsporné budovy. Požadovaná a doporučená hodnota  $U_N$  se pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20$  °C stanoví podle tabulky v příloze č. 2, (Šála et al., 2008).



- **Tepelná akumulace**

Další tepelně technickou vlastností je tepelná akumulace, která se vyjadřuje tepelnou jímavostí  $b$ , což je součin tepelné vodivosti  $\lambda$  · objemové hmotnosti  $\rho$  · měrné tepelné kapacity  $c$  · Tepelnou vodivost  $\lambda$  jsme si vysvětlili již výše. Měrná (objemová) hmotnost  $\rho$  vyjadřuje hmotnost  $1\text{m}^3$  materiálu a měrná tepelná kapacita  $c$  vyjadřuje množství energie, které je potřebné dodat 1 kg materiálu, aby se ohřál o 1 K. Z těchto hodnot, ovlivňuje tepelnou jímavost nejvýrazněji objemová hmotnost, protože má největší rozptyl (Šála et al., 2008). Jednoduše lze tedy říci, že čím větší má materiál objemovou hmotnost, tím lepší má schopnost akumulovat teplo. Schopnost materiálu akumulovat teplo slouží k vyrovnání teplot mezi materiálem a jeho prostředím. Při teplém prostředí je materiál schopen teplo přijmout a při ochlazení prostředí je materiál schopen opět teplo vydat. Nejmenší akumulační schopnost ve skladbě obvodové stěny dřevostavby mají tepelné izolace. Největší schopnost akumulovat mají nosná masivní část a povrchové vrstvy stěny. Čím lépe materiál izoluje, tím hůře akumuluje (Zahradníček, Horák, 2011).

$$b = \lambda \cdot \delta \cdot c \text{ [kW}^2 \cdot \text{s/(m}^4 \cdot \text{K}^2\text{)]}$$

-  $\lambda$  = součinitel tepelné vodivosti [  $\text{W/m} \cdot \text{K}$  ]

-  $\delta$  = objemová hmotnost [  $\text{kg/m}^3$  ]

-  $c$  = měrná tepelná kapacita [  $\text{J/kg} \cdot \text{K}$  ]

Důležitým faktorem je zde také měrná tepelná kapacita, jejíž hodnota je uváděna výrobci stavebních materiálů. Tepelná kapacita je množství tepla, které materiál pohltí nebo vydá při ohřátí resp. ochlazení o  $1^\circ\text{C}$  (nebo jeden kelvin, K). Abychom se nemuseli zabývat rozdíly v hmotnosti téže látky, jejíž tepelná kapacita je rozdílná při rozdílné hmotnosti, byla zavedena měrná tepelná kapacita, která říká, jakou tepelnou kapacitu má jeden kilogram látky (Šála et al., 2008). Měrnou tepelnou kapacitu lze vyjádřit pomocí vzorce:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \text{ [J/kg} \cdot \text{K]}$$

-  $c$  = měrná tepelná kapacita [  $\text{J/kg} \cdot \text{K}$  ]

-  $Q$  = teplota [  $\text{J}$  ]

-  $m$  = hmotnost [  $kg$  ]

-  $\Delta T$  = rozdíl počáteční teploty  $T_1$  a koncové teploty  $T_2$  [  $K$  ]

(VAPIS, 2014)

U dřevostaveb často narážíme na přehřívání budov v teplých letních měsících. Vyjadřujeme ho fázovým posunem teplotního kmitu  $\psi$  [  $h$  ], což je vyjádření času, za který se změna teploty na vnějším povrchu konstrukce projeví na straně interiéru. Jedná se o vlastnost konstrukce ovlivňující působení externích teplot vyvolaných slunečním zářením, které nám povrch obvodového pláště objektu ohřívají (Nagy, 2002). Zvýšená teplota materiálu se pak šíří směrem do interiéru. Vyšší hodnota fázového posunu znamená, že interiér v domě je lépe chráněn proti přehřívání vlivem slunečního záření. Výpočet opět nejvýrazněji ovlivňují měrná tepelná kapacita, objemová hmotnost a součinitel tepelné vodivosti (Holger, 2014).

- **Vzduchotěsnost budovy**

Současný trend výstavby domů s minimální spotřebou energie na vytápění nelze zajistit pouze dostatečnou vrstvou tepelné izolace, ale musí být také zajištěna dokonalá vzduchotěsnost. Nemůžeme připustit, aby docházelo k úniku tepla netěsnostmi a spárami v obálce budovy (Nagy, 2002).

Celkovou průvzdušnost obvodového pláště budovy stanovuje norma jako hodnotu  $n_{50}$  celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa. Čím menší je tato hodnota, tím větší je vzduchotěsnost stavby. Například pro pasivní dům s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla je hraniční hodnota  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Tedy při tlaku 50 Pa se v budově za jednu hodinu nesmí vyměnit více vzduchu, než je 60 % celkového objemu budovy (Hudec, 2008).

### **3.4. Používané materiály ve výstavbě panelových dřevostaveb s rámovou konstrukcí**

V této kapitole budou představeny materiály, které jsou nejčastěji používané při panelovém systému výstavby dřevostaveb, kde je hlavní část stěny tvořena nosným dřevěným rámem (Kolb, 2008).

Kvalita provedení dřevostaveb je do značné míry tvořena volbou a použitím jednotlivých materiálů. Nedá se říct, že pokud použijeme kvalitnější či dražší materiál,

bude automaticky kvalitnější i stavba. Je nutné mít o jednotlivých materiálech jasnou představu, maximální informace a vhodně je použít (Zahradníček, Horák, 2011).

### **3.4.1. Hlavní konstrukční materiály pro nosné rámy**

- **Deskové a hraněné řezivo**

Hlavním stavebním materiálem panelových dřevostaveb s rámovou konstrukcí je deskové a hraněné řezivo. Používají se převážně domácí jehličnaté dřeviny jako smrk, jedle, borovice a modřín. Používáme deskové omítané řezivo mající tloušťku do 100 mm, šířka je rovna nebo větší dvojnásobku tloušťky. Další hraněné řezivo zahrnuje všechno řezivo pravoúhlého příčného průřezu, jehož výška je menší nebo rovna trojnásobku šířky. Hranoly přitom musejí mít šířku větší než 40 mm, výšku minimálně rovnou šířce (Štefko et al., 2009). Kvůli požadavkům na větší tvarovou stálost a mechanickou únosnost (absence suků a prasklin) se začaly vyrábět KVH profily. Ze základního sušeného profilu jsou vyřezány všechny suky, praskliny a další nekvalitní části. Poté jsou k sobě opět slepeny tzv. zubovitým spojem. Nastavení probíhá pouze na délku daného prvku. Tloušťka a šířka je již neměnná a absolutní vlhkost je maximálně 15 %. KVH profil je v současnosti nejpoužívanější prvek pro výrobu rámových konstrukcí panelových dřevostaveb (Pfeifer et al., 1998).

- **Nosníky tvaru písmene I**

Vznikají složením několika materiálů. Typickým příkladem je „I“ nosník složený ze stojiny z tvrdé dřevovláknité desky, z OSB nebo překližky a spodních a horních pásnic z KVH profilu. Výhodou je možnost větších rozponů při použití na stropní nosníky. Díky vyráběné šířce až 400 mm je možnost osazení větší tloušťky tepelné izolace v konstrukci. Zároveň nám také eliminují tepelné mosty (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Profily z vrstvených dýh**

Ultralam – materiál podobný překližovaným deskám. Oproti nim má ale jednotlivé dýhy skládané vůči sobě rovnoběžně. Používá se jako nosný trám, na horní a spodní pásy I nosníků, pásnice v rámech dřevostaveb, na stropní trámy aj. Rozměry může mít tloušťky 19 – 106 mm, výšky až 1,25 m a délky 20,5 m (Pfeifer et al., 1998).

Vrstvené dřevo LVL. Používá se zejména v dřevostavbách a na dřevěné prvky staveb. Vyrábí se z loupaných dých měkkých dřevin o tloušťce 3,2 mm. Směr vláken sousedních vrstev dých je rovnoběžný. Desky mají tloušťku 19 až 90 mm. Šířka desek je 100 až 1 200 mm, délka 2,5 až 25 m. LVL se vyrábí v provedeních: KERTO S – všechny dýhy mají souběžný směr vláken. Vykazuje vysoké hodnoty pevnosti. Vyrábí se jako deska, která je následně rozmítnuta na pásy. KERTO Q je dýhový materiál s každou šestou dýhou kolmou k delší straně desky. Microllam – kde jsou dýhy náhodně přerýté a lisované (Pfeifer et al., 1998).

Parallam PSL (Parallel Strand Lumber) - je vrstvený dýhový materiál. Listy dých jsou po vysušení rozstříhány na pásy 3 mm tlusté, 13 mm široké a až 2,4 m dlouhé. Proužky dých se uspořádávají tak, aby průběh vláken byl navzájem paralelní. Poté se lepí a lisují. Parallam PSL je vyroben jako kompaktní hranol maximálního průřezu 285 × 400 mm, který může být následně rozříznut a zkrácen na standardní délku (až 20 m). Tento materiál vykazuje vyšší pevnosti v tlaku a v tahu v porovnání s klasickým dřevem, nemá přírodní vady ani jiné nehomogenosti jako dřevo. Dalšími přednostmi jsou větší stejnorodost, zatížitelnost než dosud známé lepené materiály podobného charakteru a rozměrová stálost (Pfeifer et al., 1998).

Intrallam LSL je téměř stejný jako parallam, pouze je vyroben z plošných třísek o rozměrech 0,9 × 30 × 300 mm. Třísky jsou vrstveny a lisovány do velkoplošného materiálu (Pfeifer et al., 1998).

### **3.4.2. Velkoplošné materiály**

- **OSB desky**

Desky se vyrábí z tenkých a velkoplošných třísek, které se šetrně vysuší, nanasou syntetickými pryskyřicemi a stanoveným podílem parafinové emulze. Lisování desek probíhá v nepřetržitém procesu kontinuálního lisu při spolupůsobení vysokých tlaků a teplot (Kronospan, 2014). Desky se dají velmi dobře opracovávat a spojovat. Mají velkou objemovou i tvarovou stálost. Dokáží spolupůsobit v kombinovaných nosných prvcích při tlakovém, ohybovém, či smykovém napětí. Lze je využít např. jako opláštění rámových panelů, roznášecí vrstvy v podlaze, stěny I nosníků a krabicových nosníků, u konstrukčně izolačních panelů jako hlavní nosná konstrukční stěna, broušené a lakované mohou být použity i jako nášlapná vrstva podlahy. Vyrábějí se ve čtyřech

provedeních OSB 1 – 4, což je to rozdělení, které značí použitelnost do prostředí v závislosti na vlhkosti. OSB 1 je do suchého prostředí, OSB 4 je do prostředí s velmi vysokou vlhkostí (Štefko et al., 2009).

- **MFP desky**

Desky, které svým vzhledem připomínají dřevotřískové materiály, ale svými vlastnostmi se podobají spíše deskám OSB. Je to tedy konstrukční deska, kterou lze použít jako alternativu místo desky OSB. Nehodí se jako deska pohledová (Zahradníček, Horák, 2011).

- **DHF desky**

Moderní materiál, který je určený především pro difúzně otevřené konstrukce, kde je využíván jako vnější konstrukční deska s nízkým difúzním odporem ( $\mu$  okolo 11). Dřevovláknitá deska s dobrou odolností proti vlhkosti, proto se často využívá pod odvětrávané fasádní systémy. Ekologický materiál (Zahradníček, Horák, 2011).

- **DFF desky**

Dřevovláknitá deska stejně jako DHF, ale má nižší objemovou hmotnost (250 – 270 kg/m<sup>3</sup>). Dodává se ve větších tloušťkách než DHF. Používá se jako tepelná a zvuková izolace na nosný rám stěn nebo krokve střech. Jedná se o ekologický materiál (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Dřevovláknité desky**

Deska na bázi dřevní hmoty. Má dobré tepelně izolační i zvukoizolační vlastnosti. Vyrábí se v několika provedeních a tloušťkách. Je to vhodný materiál pro izolování difúzně otevřené konstrukce, protože má velice dobrou paropropustnost. Výhodou je ekologičnost vzhledem k používaným surovinám, bezproblémová recyklovatelnost (Pfeifer et al., 1998).

- **Cementotřískové desky**

Deska je především konstrukční pro zavětrování svislých rámových konstrukcí, ale také ji lze využít jako roznášecí desku do suchých podlah. V poslední době je využívána jako vnější fasádní obklad díky velké trvanlivosti vůči povětrnostním vlivům

a své charakteristické šedocementové barvě. Desku lze také využít v místech, kde je nutná zvýšená požární ochrana (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Cementovláknité desky**

Setkáváme se s podobným využitím a vlastnostmi jako u desek cementotřískových. Vyrábí se ve velmi kvalitní povrchové úpravě v několika barevných odstínech. Pro konstrukční prvky se používá výjimečně a uplatňuje se spíše na obklady fasád, kde je využíváno jejich homogenních vlastností oproti deskám cementotřískovým (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Sádrovláknité desky**

Deska s velmi dobrými statickými i protipožárními vlastnostmi. Základní suroviny pro její výrobu jsou sádra, též vlákna celulózy získané z recyklace. Ve všech případech plnohodnotně nahrazují sádrokarton. Navíc jsou to desky konstrukční, které lze využít pro stabilitu nosné rámové konstrukce. Nevhodné jsou vzhledem k nasákavosti k použití v exteriéru, ale v interiéru je lze využít pro jejich velkou pevnost např. na zavěšení těžkých břemen (kuch. linka, knihovny, police aj.), (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Sádrokartonové desky**

Asi nejrozšířenější systém pro vnitřní povrchy dělicí stěny v suché výstavbě. Desky nelze využít jako konstrukční pro ztužení stěn, ale jejich uplatnění je v dřevostavbách obrovské, protože se používají pro obložení vnitřních povrchů. Nevýhoda je v případě potřeby zavěšení těžkých předmětů na stěny (např. kuchyňské linky, police, knihovny atd.). Vyrábí se ve variantách základních, protipožární a do vlhkého prostředí (Pfeifer et al., 1998).

- **Desky na bázi slámy**

Desky se slámovým jádrem obaleným kartonem. Mají všestranné využití ve speciálně pro tuto desku koncipovaných dřevostavbách. Mají funkci ztužení v obvodových a vnitřních stěnách až po vnitřní samostatné dělicí příčky. Ač by se to nezdálo, tak desky mají výborné protipožární vlastnosti. Standardní tloušťka panelu je 58 mm (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Překližky**

Vrstvené dýhy pokládány vždy kolmo na sebe v lichém počtu. Nejméně mohou být tři vrstvy. Jsou to desky s dlouhou historií. Dnes jsou již ale postupně vytlačovány ostatními typy desek a to hlavně kvůli jejich vysokým cenám. Využití je tedy většinou omezené pouze na obkladový materiál interiéru (Pfeifer et al., 1998).

- **Biodesky**

Biodesky jsou třívrstvé (či vícevrstvé) masivní desky. Biodeska je na rozdíl od překližek, které jsou tvořeny slepením několika vrstev dýh, slepena minimálně ze tří vrstev navzájem kolmých dřevěných lamel. Stejně jako u překližek se kvůli ceně využívá spíše pro estetické pohledové desky, ale vlastnostmi by mohl plnit funkci konstrukčního materiálu (Zahradníček, Horák, 2011).

### **3.4.3. Tepelné a zvukové izolace**

- **Polystyren**

Je to jedna z nejlevnějších, ale také z nejefektivnějších tepelných izolací, která je využívána jak do konstrukce, tak k dodatečnému zateplení vnějšího pláště. Tento druh izolace není vhodný do difúzně otevřené konstrukce, protože má oproti dřevovláknitým izolacím velký difúzní odpor. Naopak je velice vhodný do vodorovných konstrukcí jako izolace podlah či difúzně uzavřené ploché střechy. Vyrábí se v několika tloušťkách (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Minerální vlákno**

Vyrábí se z minerálů jako je čedič, křemen hojně se vyskytujících v přírodě (Štefko et al., 2009). Jsou charakteristické šedozelenou barvou, nabízí se různé druhy pevností a tlouštěk. Uplatnění je téměř v celé stavbě. Nejběžnější je ale výplň nosného rámu, výplň mezi krokvemi vnějšího zateplovacího systému i jako kročejová izolace do podlah (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Skelné vlákno**

Mají vysoký podíl recyklovaného vysoce hodnotného skla (asi 65%), (Štefko et al., 2009). Charakteristické je svou žlutou barvou. Stejně jako minerální vlákno je

nabízeno v několika tloušťkách a pevnostech. Liší se způsobem balení. Skelné vlákno je baleno do rolí, kdežto minerální můžeme vidět spíše v deskách. Uplatnit ho lze v téměř celé stavbě (Pfeifer et al., 1998).

- **Izolace z konopí**

Jedna z alternativ k tradičním izolacím. Tyto materiály vynikají vysokou mírou ekologičnosti jak vzhledem k surovinám, tak i k vyloučení škodlivých přidaných látek nebo pojidel. Je to také příležitost pro zemědělství, kdy lze pěstovat i rostliny pro tepelné izolace. Opět nabízena v různých variantách tlouštěk a pevností. Použití je stejné jako u konvenčních izolací (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Ovčí vlna**

Výrobci uvádějí, že tento výrobek je čistě přírodní a šetrný k lidskému zdraví. Při aplikaci nehrozí nepříjemné škrábání, jež je charakteristické pro anorganické izolace. Vhodné je použití do difúzně otevřených konstrukcí, avšak pro svou nízkou objemovou hmotnost je izolace zase nevhodná do podlah. Má výborné izolační vlastnosti. Je opatřena ochranou proti napadení moly (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Celulózová izolace**

Je vyráběná na bázi recyklovaného novinového papíru. Izolace je pro přepravu a skladování vtačena do pytlů hranatých tvarů, ze kterých se při použití vysype do aplikačních strojů. Tyto stroje pomocí hadice a trysek dopraví izolační materiál do stěn, kde jsou již připravené otvory. Izolace se tedy aplikuje až po hrubé montáži domu. Je vhodná také pro zateplení stropů, podlah či střech. Materiál je sypký, nelze ho použít pro zateplení vnějšího pláště. Vhodný pro difúzně otevřené konstrukce. Proti škůdcům, ohni a plísním je impregnována boritanem sodným. Výhodou této přírodní izolace je přirozená schopnost vyrovnávat vlhkost, akumulovat teplo oproti minerálním a skelným izolacím (Štefko et al., 2009).

- **Sláma**

Používá se jak ve formě slisované desky (viz 5.4.2. Velkoplošné materiály – Desky na bázi slámy), tak jako tepelná izolace. Velkou výhodou slámy, stejně jako u mnoha dalších materiálů na přírodní bázi, je dostupnost materiálu z místních zdrojů a



minimální spotřeba fosilních paliv při zpracování. Nevýhodou je nutná ochrana proti vodě a dalším klimatickým vlivům. Pro dostatečné zateplení musí být použita velká vrstva slámy. Používá se sláma balíkováná (Zahradníček, Horák, 2011).

- **Izolační materiál na bázi lnu**

Len jako surovina tepelně izolačního materiálu není příliš běžná, je to však další alternativa rozšiřující již poměrně širokou škálu přírodních či ekologických izolačních materiálů. Izolaci lze využít do stěn, příček, stropů a střech. Vyrábí se v podobě desek, rolí nebo granulátů ze lnu s přísadou bramborového škrobu (Zahradníček, Horák, 2011).

### **3.5. Uspořádání skladby sendvičových obvodových stěn**

Pořadí vrstev směrem z interiéru do exteriéru je u sendvičové konstrukce určeno stavebně fyzikálním namáháním. Tímto pravidlem jsou dány aktuální i budoucí požadavky na vysoké tepelně, akusticky izolační standardy, neprůvzdušný plášť budovy a zohlednění difuze vodních par (Kolb, 2008).

Při navrhování a projektování ovlivňují tyto požadavky celkové rozhodování. Pouze koncepce, které jsou od počátku správně zvolené, vedou ke stavbám s vysokým standardem při bydlení a nízkou spotřebou energie (Gunsner, 1997).

#### **Skladba obvodového pláště:**

Při navrhování skladby obvodového pláště se musí vždy dbát na to, aby každá vrstva splňovala svou funkci (Holger et al., 2014). Směrem z interiéru do exteriéru jsou tedy navrhovány následující vrstvy:

- **Instalační vrstva** – je určená pro vedení elektrických a sanitárních instalací. Slouží jako ochrana před narušením vrstvy parozábrany nebo parobrzdy (Kolb, 2008). Je možné na ni nanášet povrchové úpravy (malba, tapeta, obklady aj.). Skládá se z dřevěného roštu a velkoplošné desky. Instalační prostor bývá v rozmezí tloušťky 40 – 60 mm, který lze vyplnit izolací (Dolský, 2012).
- **Vrstva parozábrany či parobrzdy a prostorové tuhosti** – tato vrstva je velice důležitá. Zabraňuje vniknutí vodních par do konstrukce stěny a následně jejich kondenzaci. Také zajišťuje vzduchotěsnost obálky budovy (Holger et al., 2014). Je realizována z polyethylenových či polypropylenových fólií. Může být

doplněna o konstrukční desku zajišťující prostorovou tuhost konstrukce. U difuzně otevřených konstrukcí stačí pouze parobrzdá, která plní funkci prostorové tuhosti, zároveň omezuje prostup vodních par. Vrstva parobrzdý je často realizována z OSB desky. Veškeré spoje parozábran a parobrzd musí být řádně utěsněné těsníci páskami (Dolský, 2012).

- Nosná a tepelně izolační vrstva – u rámových konstrukcí je nosná dřevěná konstrukce vyplněna tepelnou izolací. Tloušťka se pak pohybuje od 120 mm až po 400 mm. Pro rámovou konstrukci se používají nejčastěji KVH profily, masivní vysušené dřevo, profily tvaru I a krabicové (Kolb, 2008).
- Druhá vrstva prostorové tuhosti – u difuzně otevřených konstrukcí se tato vrstva nepoužívá, protože má vyšší difúzní odpor a vodní páry by se na ní mohla srážet. Nahrazuje se proto difúzní fólií nebo zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace (Dolský, 2012). U difuzně uzavřených konstrukcí může tato vrstva připravovat zároveň podklad pro nanesení fasádního systému či roštu pro provětrávanou mezeru. Je tvořena velkoformátovou konstrukční deskou (Štefko et al., 2009).
- Vrstva kontaktního zateplovacího systému – v některých případech tato vrstva odpadá, jelikož je již dostatečné množství izolace použito v rámu nosné konstrukce. V jiných případech je ale tato vrstva důležitá pro vylepšení tepelných vlastností konstrukce, může mít tloušťku až 200 mm a je bez tepelných mostů v podobě nosných sloupků (Holger et al., 2014). Tepelné izolace zároveň plní funkci izolace zvukové. Mohou být z polystyrenu, minerálních izolací, dřevovláknitých či jiných přírodních izolačních desek (Dolský, 2012).
- Fasádní vrstva – má funkci ochrannou a estetickou. Mohou to být například silikonové omítky (mají dobrou paropropustnost), dřevěný obklad na provětrávaném roštu, obklady z cementotřískových desek, aj. Tato vrstva chrání konstrukci před povětrnostními podmínkami (Štefko et al., 2009).

### **3.6. Certifikace panelů**

Každý výrobek uváděný na trh musí být podle zákona certifikovaný. Certifikace výrobku je postup, osvědčující shodu jeho vlastností s technickou specifikací. Tzn., že osvědčuje jeho jakost minimálně na tzv. obvyklé úrovni. Certifikát dokládá splnění

požadavků na užité vlastnosti a na bezpečnost výrobku, které jsou požadované danou technickou specifikací. Na trh musí být v souladu s ustanovením zákona č. 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti uváděny pouze bezpečné výrobky. Tato povinnost platí pro všechny typy výrobků obecně. Výrobek, který je uváděný na trh, musí podle zákona splňovat povinnou certifikaci (TZU, 2013).

Certifikaci tedy podléhají i stavební výrobky, které jsou popsány v zákoně č. 22/1997 Sb. v plném znění. Mezi tyto stavební výrobky patří i pro nás důležité prefabrikované panely dřevostaveb, které jsou ukládány do svislé, vodorovné i šikmé polohy a takto je z nich zkompleťovaná celá stavba. Stavební prvek tedy tvoří celé stěnové, stropní, střešní panely kompletně dokončené ve výrobní hale. Takto jsou dodávány na stavbu, kde se smontují. Panely uváděné na trh musí splňovat řadu kritérií, jako jsou především mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí, bezpečnost při užívání, ochrana proti hluku, úspora energie a ochrana tepla. Tyto vlastnosti ověřuje zákonem pověřená autorizovaná osoba, která vydává certifikát kvality, jež umožní výrobek uvádět na trh. Součástí certifikace je i prověření výrobního procesu a technologického postupu výroby (Müller, 2009).

Seznam autorizovaných osob spravuje Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, zřízený zákonem České národní rady č. 20/1993 Sb. o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, meteorologie a státního zkušebnictví. Je organizační složkou státu v resortu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. Hlavním posláním je zabezpečovat úkoly stanovené zákonem. Od roku 2009 zajišťuje také tvorbu a vydávání českých technických norem (UNMZ, 2012).

Výrobce si sám stanoví konstrukci svého výrobku, prostřednictvím autorizované osoby zažádá o její certifikaci. Autorizovaná osoba má pak za úkol prověřit její vlastnosti. Výsledkem je certifikát, který je výrobce podle zákona povinen na požádání předložit. Investor si následně může ověřit, zda používaná skladba používané konstrukce opravdu odpovídá certifikované skladbě (Müller, 2009).

Zárukou kvality dřevostaveb by mělo být sdružení ADMD (Asociace dodavatelů montovaných domů), jejichž členové jsou zavázáni pravidelně absolvovat certifikaci a kontrolní dohledy. To pro ADMD zajišťuje nezávislý certifikační orgán VVUD (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský) v Praze. Členství v ADMD klade důraz na

výslednou kvalitu postavených domů. Není zde rozlišován způsob realizace dřevostavby (tedy prefabrikace nebo montáž na staveništi), ale hledí se zde především na důkladnost při montáži, v závěru na zhodnocení hotové stavby oproti certifikaci, kde je hlavní zaměření na vyrobený panel dřevostavby (Müller, 2009).

### **3.7. Základní ekonomické zhodnocení dřevostavby**

Zákazník slyší nejčastěji na co nejnižší pořizovací náklady stavby. Firma, která je schopna tento požadavek nabídnout, na trhu vítězí. Zákazník si ale mnohdy neuvědomuje, že cena stavby není pouze náklad na pořízení, ale je nutné počítat s celkovými náklady na stavbu. Patří sem náklady vynaložené na pořízení stavby, její užívání po celou dobu životnosti a také náklady vynaložené na její ekologickou likvidaci. Do nákladů na užívání stavby patří mimo jiné i provozní náklady, které po dobu používání stavby mohou až několikanásobně převyšovat pořizovací náklady. Jsou to zejména náklady na energie (Lenoch, 2010).

#### **Pořizovací náklady**

Jedná se o pevné ceny stavby na klíč. Jsou v ní započítány veškeré náklady, spojené s přípravou, realizací a dokončením stavby. V pořizovacích nákladech je tedy nutné počítat s:

- cenou pozemku,
- cenou za projektové a průzkumné práce, včetně inženýrských činností,
- cenou za zhotovení stavebních objektů (stavební část stavby),
- cenou za dodávky, montáž provozních souborů a zařízení
- stroji, zařízením a inventářem, jež nejsou součástí provozních souborů,
- rozpočtovou rezervu ke krytí rizik a věcných změn,
- ostatními výdaji spojenými s pořízením stavby.

(Vyskočilová, 2009)

Cena pozemku je stanovena podle okolností jako cena administrativní nebo jako cena tržní. Stavba tvoří s pozemkem fyzicky i ekonomicky jeden celek. Právně ale pozemek není součástí stavby. Cenu pozemku určuje především jeho umístění, územně technické podmínky, např. zastavitelnost pozemku, vybavenost inženýrskými sítěmi. Kupní cena za 1 m<sup>2</sup> pozemku snadno zastavitelného, jednoduše napojitelného na

inženýrské sítě může být i několikanásobně vyšší, přesto může být v rámci pořizovacích nákladů stavby výhodnější, než cena za 1 m<sup>2</sup> bez této snadné a jednoduché možnosti (Lenoch, 2010).

Výsledkem projektování je dokumentace stavby. Ta určuje technické řešení stavby, se kterým je spjata i stránka ekonomická (Kolb, 2008). Projektant tak předurčuje architektonickým ztvárněním, zejména volbou konstrukčního řešení a volbou kvality materiálu, kolik bude stavebníka stát realizace stavby (Vyskočilová, 2009).

Konstrukčnímu řešení stavby je v našem případě kladen největší důraz, protože ostatní položky v pořizovacích nákladech jsou pro všechny druhy staveb stejné. Záleží zde na mnoha různých faktorech, je nutné jejich individuální řešení. U dřevostaveb jsou jednoznačně největší cenové rozdíly při volbě konkrétní konstrukce (Kolb, 2008). Např. u společnosti ELK s.r.o., která nabízí různé varianty konstrukcí, jsou v základní ceně domu bez vybavení o stejné podlahové ploše, patrového domu se sedlovou střechou cenové rozdíly velmi znatelné:

- Nízkoenergetický dům, 128 m<sup>2</sup>, sedlová střecha – 2 142 500 Kč
- Pasivní dům, 128 m<sup>2</sup>, sedlová střecha – 3 290 500 Kč
- Srubový dům, 128 m<sup>2</sup>, sedlová střecha – 3 455 500 Kč

(Vlastní zdroj)

Ceny jsou pouze orientační, ale je z nich jasně patrné, že volba konstrukce dřevostavby značně ovlivňuje pořizovací náklady.

Výši cen dále ovlivňuje doba realizace stavby a stanovený standard její kvality. Je třeba na samém začátku prací na výstavbovém projektu zvážit i možná rizika, která mohou nastat v jeho průběhu, např. nedodržení termínu realizace nebo nedodržení plánované kvality u provedených stavebních prací a nakonec i překročení stanovené ceny (Kolb, 2008).

Rámcový odhad celkových nákladů na pořízení stavby musí stavebník znát již od počátku prvních úvah o pořízení stavby z důvodů jejího finančního zajištění. Rozhodující část nákladů na pořízení stavby tvoří cena pozemku a cena za zhotovení stavebních objektů, příp. cena dodávky, montáže strojů a zařízení provozního souboru (Vyskočilová, 2009).

Cenu stavebního objektu zjišťujeme s různou přesností, která odpovídá podrobnosti dokumentace stavby z procesu projektování (Vyskočilová, 2009). Jiná podrobnost je v architektonických studiích, v dokumentaci k územnímu řízení, jiná v dokumentaci pro provedení stavby (Lenoch, 2010).

Je-li k dispozici pouze informace o rozsahu objektu a jeho kvalitativním standardu, stanovíme orientační cenu stavebního objektu propočtem na základě ukazatelů průměrné orientační ceny. Umíme-li popsat stavební konstrukce, práce na stavebním objektu v jejich kvalitě i množství, pak k určení ceny vypracujeme položkový rozpočet (Vyskočilová, 2009).

### **Provozní náklady**

Provozní náklady jsou takové náklady, jež souvisí s užíváním stavby. V celkových výdajích hrají velkou roli a úzce souvisí s pořizovací cenou stavby. Na základě volby konstrukce dřevostavby je nutné volit vytápění objektu. Po výpočtu tepelných ztrát budovy by si měl zákazník nechat zpracovat projekt na vhodný systém vytápění pro daný typ stavby. Pokud by nebyl vhodně navržený, mohou provozní náklady až několikanásobně převyšovat pořizovací cenu za dobu životnosti stavby (Lenoch, 2010). Do provozních nákladů zahrnujeme (AND, 2014):

- Vytápění domu
- Ohřev teplé užitkové vody
- Elektrické spotřebiče a osvětlení
- Vodné a stočné
- Likvidace odpadků
- Pozemková daň
- Daň z nemovitosti
- Fond oprav
- Pojištění domácnosti apod.

Pouze položka vytápění domu souvisí se skladbou a volbou konstrukce. Ostatní položky jsou velice individuální, kde nezáleží na volbě konstrukčního systému dřevostaveb, ale na způsobu a intenzitě užívání rodinného domu (Lenoch, 2010). Pro představu je v příloze č. 2 uvedeno porovnání nákladů na vytápění rozdílných konstrukcí společnosti ELK s.r.o. (Vlastní zdroj).

### **Udržovací náklady**

Náklady na údržbu se stanovují na základě životnosti jednotlivých prvků stavby. V objektu rodinného domu máme prvky dlouhodobé životnosti, které by měly vydržet bez zásadních oprav celou životnost stavby. Do těchto prvků patří:

- Základové konstrukce
- Svislé nosné konstrukce
- Vodorovné nosné konstrukce
- Rozvody – voda, kanalizace, elektřina
- Nosná a krycí konstrukce střechy

(Lenoch, 2010)

Dále pak máme ve stavbě prvky krátkodobé životnosti, u nichž si stanovíme cyklus a rozsah oprav. Jsou jimi:

- Odvodnění střechy - cyklus oprav 5 let, rozsah oprav 10%
- Zateplovací fasádní systém – cyklus oprav 15 let, rozsah oprav 20%
- Vnitřní omítky - cyklus oprav 25 let, rozsah oprav 20%
- Malby - cyklus oprav 4 roky, rozsah oprav 10%
- Dlažby a obklady - cyklus oprav 25 let, rozsah oprav 10%
- Venkovní dveře - cyklus oprav 10 let, rozsah oprav 10%
- Okna, dveře na terasu (balkon) - cyklus oprav 5 let, rozsah oprav 10%
- Podlahy - cyklus oprav 10 let, rozsah oprav 10%
- Zdroj tepla - cyklus oprav 4 let, rozsah oprav 10%
- Kuchyňská linka bez spotřebičů - cyklus oprav 5 let, rozsah oprav 20%

Do základních udržovacích nákladů patří zejména náklady na údržbu, opravy, rekonstrukce, modernizace staveních prvků krátkodobé životnosti (Lenoch, 2010).

## **Náklady na likvidaci stavby**

V nákladech na likvidaci budou opět velké rozdíly na základě zvoleného konstrukčního systému. V případě volby ekologických materiálů a plnostěnných dřevěných panelů, srubů a rámových konstrukcí s výplněmi z přírodních materiálů budou náklady na likvidaci mnohonásobně nižší než při volbě materiálů anorganického původu (AND, 2014).

Náklady na likvidaci stavby můžeme hodnotit jako součet nákladů na demolici domu, rozřídění jednotlivých materiálů, odvoz a uložení rozříděných stavebních materiálů a stavební sutě na sběrné místo. V případě potřeby také úpravu terénu po stavbě (Lenoch, 2010).



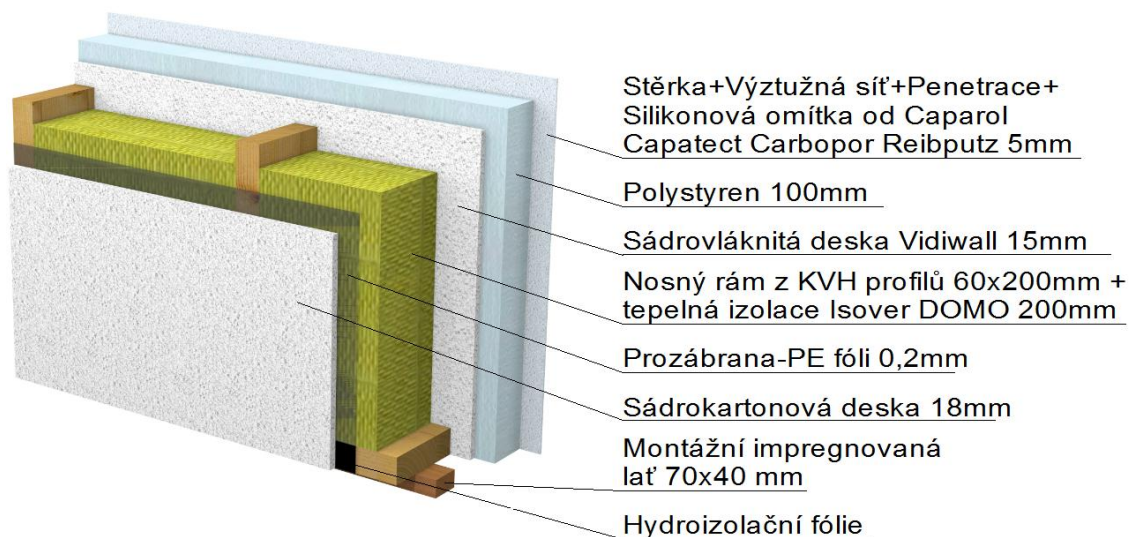
## 4. Metodika práce

Pro objektivní porovnání ekonomických, technických, fyzikálních vlastností difuzně otevřené konstrukce budou navrženy a posouzeny 4 varianty skladeb. Konstrukce budou vyobrazeny, popsány, hodnoceny stejným způsobem jako konstrukce difuzně uzavřená od společnosti ELK s.r.o. Výsledná nejlépe hodnocená skladba by pak mohla v této firmě sloužit jako alternativa ke stávající konstrukci.

Pro lepší představu bude tato v současnosti nejpoužívanější skladba difuzně uzavřené konstrukce ve společnosti ELK s.r.o. nejprve představena.

### 4.1. Představení používané difuzně uzavřené konstrukce ve společnosti ELK s.r.o.

Tato konstrukce je složena převážně z anorganických materiálů, u nichž je velká spotřeba energie na jejich výrobu a také případnou likvidaci. Jediným přírodním materiálem je nosný dřevěný rám, dále pak sádkartonové, sádrovláknité desky, kde je pro jejich výrobu použitý papírový karton a recyklovaný papír, které jsou nutným doplňkem složení desek, jejich převážnou část tvoří anorganická sádra. Stěna tedy není příliš vhodnou variantou pro ekologicky smýšlející zákazníky (Obr. 6).



Obr. 6: Skladba obvodové konstrukce ELK s.r.o. (vlastní zdroj).

Jedná se o panelovou difuzně uzavřenou dřevostavbu, jejíž nosnou konstrukci tvoří dřevěný rám, doplněný dalšími tepelně a zvukově izolačními vrstvami, dále pak

vrstvami statickými, pohledovými a ochrannými. Skladba stěny je směrem z interiéru navržená takto:

1) Knauf sádrokartonová protipožární deska o rozměrech 18 x 1250 x 2750 mm. Je to první vrstva z interiérové strany. Spáry neboli fáze mezi jednotlivými deskami jsou vytmelené, přebroušené, na desky je již nanesena malba popř. tapety.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $750 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,22 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,06 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $9$

(Teplo, 2010)

2) Vrstva parozábrany, která je hned za sádrokartonovou deskou. Fólie s velmi vysokým difuzním odporem musí být v této konstrukci osazena, abychom v maximální možné míře zamezili vstupu vodní páry do obvodové stěny. V místě osazení elektrikářských krabic je fólie zvlněna, aby při osazení tepelné izolace nedošlo k napnutí a následnému protržení. Pro vodoinstalace o velkých průměrech jsou vytvořeny instalační předstěny, menší průměry parozábranou procházejí. Jsou však v maximální možné míře prolepeny těsnícími páskami. U těchto míst a u spousty dalších, kde jsou složité detaily, dochází k napojování a přelepování parozábran hrozí ale velké riziko.

Technické parametry fólie jsou:

- Objemová hmotnost  $900 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,35 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,47 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $144\,000$

(Teplo, 2010)

3) Další vrstvou je nosná dřevěná konstrukce z KVH profilů. Rám se skládá ze sloupků, spodní pásnice o rozměrech 60 x 200 mm a horní pásnice 100 x 200 mm. Jejich délky se různí podle potřeby délky panelů a v místech výměn stavebních otvorů. Na spodní pásnici je připevněna impregnovaná montážní lať o rozměrech 70 x 40 mm. Tyto části jsou od sebe odděleny hydroizolační fólií.

4) Nosná dřevěná rámová konstrukce je vyplněna tepelnou izolací ISOVER Domo 20, která je vyrobena ze skelné plsti. Izolace má rozměry 3500 x 1200 x 200 mm.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $15 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,043 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $0,84 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $1$

(Isover, 2012)

5) Sádroláknitá deska Knauf Vidiwall. Její rozměry jsou 15 x 1249 x 2640 mm. Působí jako deska spolunosného a výztužného opláštění na přenesení vodorovných sil. Skládá se ze speciální sádry a celulósových vláken ze starého papíru.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $1150 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,30 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,1 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $21$
- Pevnost v tahu při ohybu  $4,5 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost v tlaku  $7,5 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost v tahu  $2,3 \text{ N/mm}^2$

- Modul pružnosti v ohybu E 3900 N/mm<sup>2</sup>

(Knauf, 2009)

6) Polystyren Isover EPS 70F je další vrstvou tvořící fasádní zateplovací systém. Rozměry jedné desky polystyrenu jsou 100 x 500 x 1000 mm. Jedná se o expandovaný polystyren, který není zátěžový a je určený přímo na zateplení stěn.

Technické parametry fasádní izolace jsou:

- Objemová hmotnost 18 kg/m<sup>3</sup>
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,039 W/mK
- Měrná tepelná kapacita c 1,27 kJ/kgK
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$  40

(Isover, 2012)

7) Silikonová omítka Caparol Capatect Carbopor Reibputz je dekorativní omítka se strukturou „zrno na zrno,“ určenou pro povrchovou úpravu fasád. Je nanášena na vrstvu stěrky s výztužnou sítí a penetrací. Je použita jako krycí vrstva kontaktního zateplovacího systému plněna uhlíkovými vlákny, má vysokou difuzní schopnost a je vodoodpudivá. Celá vrstva má tloušťku 5 mm. Difuze vodních par  $\mu$  je 5, nasákavost 0,005 kg/m<sup>2</sup> 24 h<sup>0,5</sup> (Caparol, 2012).

#### **4.1.1. Tepelně technické posouzení používané konstrukce**

##### **- Součinitel prostupu tepla**

Používaná konstrukce byla zhodnocena v tepelně technickém programu Teplo 2010. Do výpočtu byly zahrnuty tepelné mosty v podobě nosné rámové konstrukce, jež výrazně ovlivní konečný součinitel prostupu tepla dané skladby. Naopak do výpočtu nebyly zahrnuty kotvící hřebíky desek, které tento faktor ovlivňují minimálně z důvodu malé hloubky zaražení do konstrukce. Fasádní polystyren je na sádrovláknitou desku Vidiwall kotven pomocí lepidla. Zde tedy žádné tepelné mosty v podobě kotvících prostředků nevznikají. Součinitel prostupu tepla a tepelný odpor pro skladbu konstrukce ELK s.r.o. byl počítán podle ČSN EN ISO 6946. Do programu Teplo 2010 byly

zadány součinitele teplotní vodivosti a tloušťky jednotlivých materiálů. Výsledky jsou následovné:

- Tepelný odpor konstrukce  $R = 6,27 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U = 0,155 \text{ W/m}^2\text{K}$

Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou pro vnější stěnu pasivního domu dle ČSN 73 0540-2: 2011 stanoveny na rozmezí  $U = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Používanou skladbu ve společnosti ELK s.r.o. lze tedy využít pro výstavbu pasivních domů.

### **- Kondenzace vodní páry**

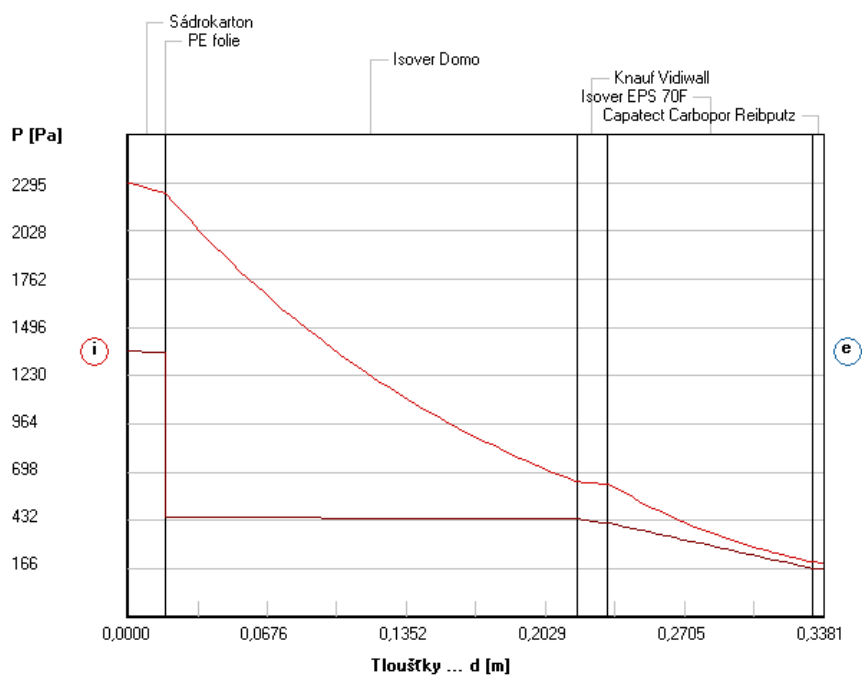
V zadávacích podmínkách byl do výpočtu zahrnut i difuzní odpor jednotlivých materiálů. Aby byl výpočet objektivní na posouzení prostupu vodní páry a s určitostí bychom mohli posoudit, zda v konstrukci dochází ke kondenzaci, či nikoliv, byla do výpočtu zahrnuta korekce difuzního odporu parozábrany, při uvažování kvalitního zapracování ve výrobě i na stavbě. I s uvažováním kvalitně odvedené práce při zabudování parozábrany, došlo k zcela zásadnímu snížení difuzního odporu a to z hodnoty PE fólie, která má  $\mu = 144\,000$  na hodnotu  $\mu = 10\,000$ . V konstrukci bez kondenzace (Obr. 7) se náhle kondenzace objevila (Obr. 8). Na základě normy ČSN EN ISO 13788 během modelového roku ke kondenzaci sice nedochází ani v jednom z případů, ale na základě normy ČSN 73 0540 při snížení difuzního odporu ke kondenzaci v konstrukci dochází, a to již při venkovní teplotě nižší než  $5^\circ\text{C}$ . Vzhledem tomu, že dochází ke kondenzaci na styku s nosnou dřevěnou konstrukcí, není tato varianta povolena.

- Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$  je  $0,265 \text{ kg/m}^2$  za rok
- Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$  je  $2,077 \text{ kg/m}^2$  za rok

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že u této varianty je velmi nutná kvalitní instalace parozábrany.

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



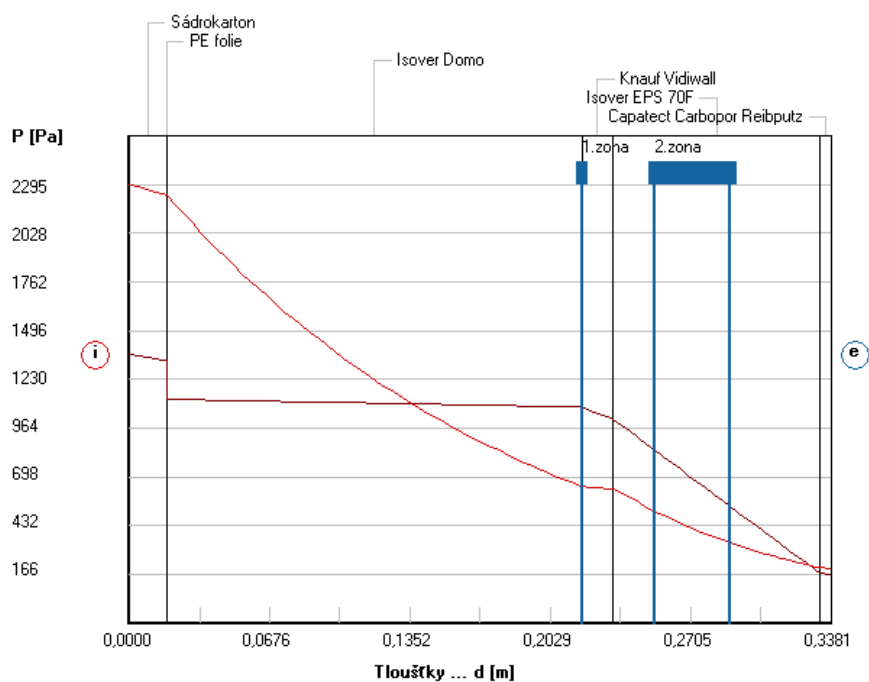
#### LEGENDA:

ELK	
Rozložení tlaků:	
Okr. podmínky:	
Interiér	21,0 C
	55,0 %
Exteriér	-13,0 C
	84,0 %
<span style="color: red;">—</span>	nasyc. tlak
<span style="color: darkred;">—</span>	teoret. tlak
<span style="color: green;">—</span>	skut. tlak
<span style="color: blue;">—</span>	kond. zóna

Obr. 7: Bez zahrnutí výrobního faktoru (vlastní výpočet).

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



#### LEGENDA:

ELK	
Rozložení tlaků:	
Okr. podmínky:	
Interiér	21,0 C
	55,0 %
Exteriér	-13,0 C
	84,0 %
<span style="color: red;">—</span>	nasyc. tlak
<span style="color: darkred;">—</span>	teoret. tlak
<span style="color: green;">—</span>	skut. tlak
<span style="color: blue;">—</span>	kond. zóna

Obr. 8: Oblast kondenzace při zahrnutí výrobního faktoru s kvalitně odvedenou prací (vlastní výpočet).

## - Akumulace tepla

K tomuto změřeni bylo nutné do výpočtu zadat vždy měrnou tepelnou kapacitu, objemovou hmotnost a součinitel teplotní vodivosti každému materiálu ve skladbě konstrukce. Díky výpočtu zjistíme teplotní jímavost a fázový posun teplotního kmitu konstrukce. V případě teplotní jímavosti byly ale hodnoceny pouze vrstvy tepelné izolace, které ve všech navrhovaných variantách ovlivňují tepelnou akumulaci nejvíce.

Ve skladbě konstrukce ELK jsou na tepelnou izolaci použité materiály s nižšími objemovými hmotnostmi s nižší tepelnou kapacitou. Bude zde tedy vycházet horší tepelná akumulace stěny. Níže je tedy tepelná kapacita vyjádřena pomocí teplotní jímavosti  $b$  použitých tepelně izolačních materiálů a pomocí fázového posunu teplotního kmitu, který zohledňuje všechny použité materiály ve skladbě konstrukce.

$$b = \lambda \cdot \delta \cdot c [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Isover DOMO} - b = 0,5418 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Isover EPS 70F} - b = 1,9812 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

Fázový posun teplotního kmitu  $\psi$  je 7,5 hodiny.

### 4.1.2. Ekonomické zhodnocení používané konstrukce

V tabulce (Tab. 1) jsou zobrazeny pořizovací ceny za materiál na výrobu 1 m<sup>2</sup> stěny ELK. Ceny byly čerpány ze tří zdrojů, konkrétně se jednalo o společnosti Dektrade, Caparol a MTA, jelikož požadovaný materiál není žádná prodejní společnost schopna komplexně nabídnout.

Stěna byla hodnocena pouze z hlediska nákupních cen materiálů jednotlivých vrstev konstrukce, protože k porovnání s ostatními návrhy má tento sektor nákladů největší vypovídající hodnoty. Další položky, jako např. výrobní a montážní čas 1 m<sup>2</sup> stěny, spojovací prostředky, náklady na dopravu, projekční příprava aj., jsou u všech variant téměř totožné, nebo pouze s minimálními rozdíly, které nemají zásadní vliv na cenu konstrukce. Z tohoto důvodu nejsou v kalkulaci zahrnuty.

<b>Skladba stěny ELK</b>	<b>Kč/m<sup>2</sup></b>	<b>MJ</b>	<b>Kč/MJ</b>	<b>Spotřeba na m<sup>2</sup></b>
SDK 18 mm tl.	74,86	m2		
PE fólie 0,2mm	8,64	m2		
Isover DOMO 200 mm	114,48	m2		
KVH profily 60x200 mm	323,7125	m3	8625	0,0373
Podkladní lat' 40x70 mm	5,6675	mb	14,67	0,25
Vidiwall 15 mm tl.	225	m2		
Lepidlo na polystyren	59	m2		
Polystyren 70 F 100 mm tl.	113,48	m2		
Fasáda 5 mm	366,99	4 kg/m2		
<b>Cena stěny celkem</b>	<b>1291,83</b>			

Tab. 1: Cena za materiál 1 m<sup>2</sup> stěny ELK (vlastní výpočet), (Zdroj: Dektrade 2013, Caparol 2010, MTA 2013).

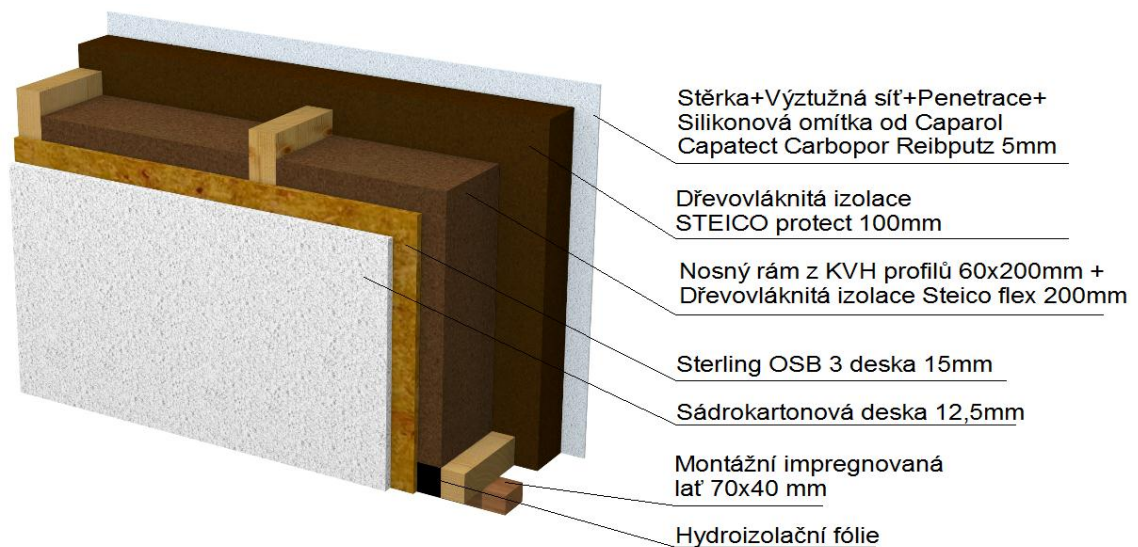
Celkové náklady na materiál 1 m<sup>2</sup> stěny ELK tedy činí 1291,83 Kč. Tato cena je poměrně nízká, a to z důvodu použití anorganických materiálů, které jsou v globálním měřítku na trhu dostupnější, cenově výhodnější, než materiály na bázi přírodních surovin.

#### 4.2. Návrh stěny A

Tato konstrukce je složena převážně z organických materiálů, kde je sice velká spotřeba energie na jejich výrobu, ale dřevní hmota v průběhu svého růstu spotřebuje více CO<sub>2</sub>, než je vyprodukované při jejím zpracování. Také případná likvidace je méně náročná. Navíc lze materiál použít i několikanásobně bez ztráty jeho vlastností. Hlavním účelem dřevovláknitých izolací je zpožděné vnikání tepla přes konstrukci budovy v letním období. Výrobky STEICO se kromě nízké tepelné vodivosti od ostatních izolací odlišují velmi vysokou akumulací tepla. Hromadí tepelnou energii celý den. Převádějí teplo do místnosti teprve po 12 hodinách, kdy je venku chladněji (Dekwood, 2012). Díky celulóze obsažené v dřevních vláknech dokáže izolace pracovat s vlhkostí, kdy vlhkost při jejím velkém množství v prostředí přijme a naopak při sušším prostředí vlhkost opět odevzdá.

Na obrázku (Obr. 9) je zobrazen první návrh s popiskami jednotlivých vrstev. V tomto návrhu jsem se snažil maximálně přiblížit používané skladbě. Rozdílné jsou pouze použité materiály, též je vynechána vrstva Vidiwallu, která měla pro difuzně otevřenou konstrukci příliš velký difuzní odpor.





Obr. 9: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna A (vlastní zdroj).

Jedná se o panelovou difuzně otevřenou dřevostavbu. Skladba stěny je směrem z interiéru navržena takto:

1) První vrstva z interiérové strany je Knauf sádrokartonová protipožární deska o rozměrech 12,5 x 1250 x 2750 mm. Spáry neboli fáze mezi jednotlivými deskami jsou vytmelené, přebroušené, na desky je již nanesena malba popř. tapety.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $750 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,22 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,06 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $9$

(Teplo, 2010)

2) Deska Sterling OSB 3. Její rozměry jsou 15 x 675 x 2500 mm. Deska je nebroušená, po obvodě má pero-drážku. Působí jako deska konstrukční a ztužující na přenesení vodorovných sil, také jako deska parobrzdná.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $630 \text{ kg/m}^3$

- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,13 W/mK
- Měrná tepelná kapacita  $c$  1,7 kJ/kgK
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$  200

Mez pevností:

- Pevnost kolmo na podélnou osu desky 30 N/mm<sup>2</sup>
- Pevnost kolmo na příčnou osu desky 15 N/mm<sup>2</sup>

Modul pružnosti:

- Pevnost kolmo na podélnou osu desky 5 N/mm<sup>2</sup>
- Pevnost kolmo na příčnou osu desky 2 N/mm<sup>2</sup>

(MTA, 2005)

3) Další vrstvou je nosná dřevěná konstrukce z KVH profilů. Rám se skládá ze sloupků, spodní pásnice o rozměrech 60 x 200 mm a horní pásnice 100 x 200 mm. Jejich délky se různí podle potřeby délky panelů a v místech výměn stavebních otvorů. Na spodní pásnici je připevněna impregnovaná montážní lať o rozměrech 70 x 40 mm. Tyto části jsou od sebe odděleny hydroizolační fólií.

4) Nosná dřevěná rámová konstrukce je vyplněna tepelnou izolací Steico flex, která je vyrobena z dřevních vláken. Izolace má rozměry 200 x 575 x 1220 mm, je vysoce difuzně otevřená, ekologická a oproti skelné izolaci lépe akumuluje teplo.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost 79 kg/m<sup>3</sup>
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,038 W/mK
- Měrná tepelná kapacita  $c$  2,139 kJ/kgK
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$  1,5

(Dekwood, 2012)

5) Dřevovláknitá izolace Steico protect je další vrstvou tvořící fasádní zateplovací systém. Deska je voděodolná, difuzně otevřená, ekologická oboustranně broušená s perem a drážkou. Rozměry desky jsou 1325 x 615 x 100 mm.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $265 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,046 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $2,1 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $5$

(Dekwood, 2012)

#### 6) Fasáda

Dekoratивní omítka se strukturou „zrno na zrno,“ určenou pro povrchovou úpravu fasád. Je nanášena na vrstvu stěrky s výztužnou sítí a penetrací. Použita jako krycí vrstva kontaktního zateplovacího systému. Omítka je plněna uhlíkovými vlákny, má vysokou difuzní schopnost, je vodoodpudivá. Celá vrstva má tloušťku 5 mm. Difuze vodních par  $\mu$  je 5 a nasákavost  $0,005 \text{ kg/m}^2 \text{ 24 h}^{0,5}$  (Caparol, 2012).

#### 4.2.1. Tepelně technické posouzení návrhu A

##### - Součinitel prostupu tepla

Používaná konstrukce byla zhodnocena v tepelně technickém programu Teplo 2010. Do výpočtu byly zahrnuty tepelné mosty v podobě nosné rámové konstrukce, která výrazně ovlivní konečný součinitel prostupu tepla dané skladby. Naopak do výpočtu nebyly zahrnuty kotvící hřebíky a sponky desek, jež tento faktor ovlivňují minimálně z důvodu malé hloubky zaražení do konstrukce. Součinitel prostupu tepla a tepelný odpor pro skladbu návrhu A byl počítán podle ČSN EN ISO 6946. Do programu Teplo 2010 byly zadány součinitele teplotní vodivosti a tloušťky jednotlivých materiálů. Výsledky jsou následovné:

- Tepelný odpor konstrukce  $R = 5,98 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U = 0,162 \text{ W/m}^2\text{K}$

Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou pro vnější stěnu pasivního domu dle ČSN 73 0540-2: 2011 stanoveny na rozmezí  $U = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Skladbu návrhu A lze tedy využít i pro výstavbu pasivních domů.

### **- Kondenzace vodní páry**

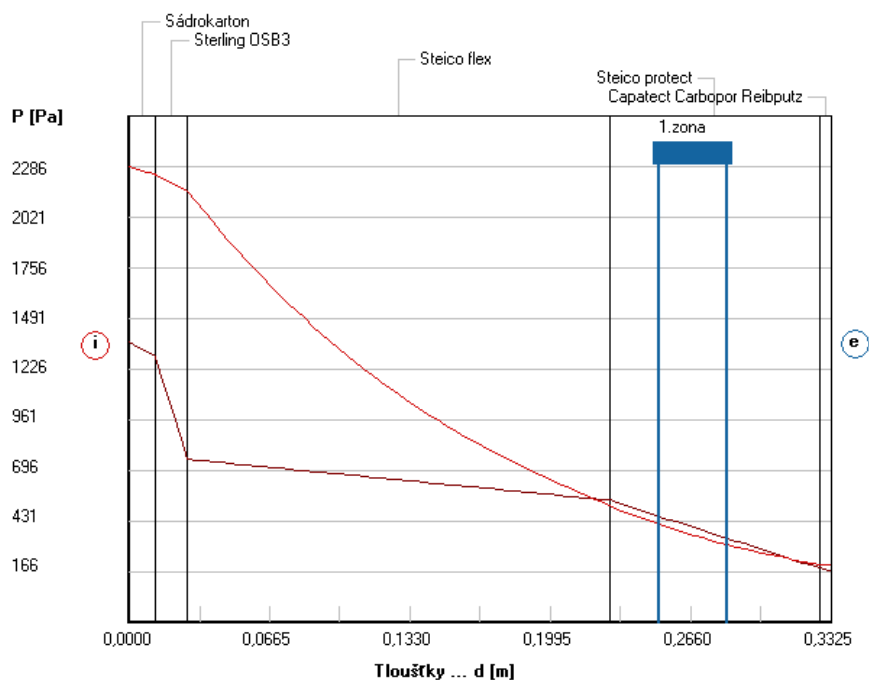
V zadávacích podmínkách byl ve výpočtu zahrnut i difuzní odpor jednotlivých materiálů. Aby byl výpočet objektivní na posouzení prostupu vodní páry a abychom s určitostí mohli posoudit, zda v konstrukci dochází ke kondenzaci, či nikoliv, byla do výpočtu zahrnuta korekce difuzního odporu parobrzděné OSB desky. I přesto, že desku lze daleko lépe ošetřit proti náhodným poruchám, než např. parozábranu, došlo k ponížení z hodnoty  $\mu = 200$  na hodnotu  $\mu = 50$ . I přes toto velmi výrazné ponížení vznikla ve skladbě konstrukce pouze velmi malá kondenzace, která ale není v nosné vrstvě, nýbrž ve vrstvě zateplovacího systému. Zde je osazená dřevovláknitá deska, jež dokáže s vlhkostí pracovat. V nosné části skladby konstrukce tedy k žádné kondenzaci nedošlo (Obr. 10). Velmi nízké množství vzniklé kondenzace v zateplovacím systému je na základě normy ČSN 73 0540 povolené. Ke kondenzaci dochází až při venkovní teplotě nižší než  $-10^\circ\text{C}$ , což je hodnota, ke které dojde v roční bilanci zcela výjimečně. Na základě normy ČSN EN ISO 13788 během modelového roku ke kondenzaci nedochází vůbec.

- Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$  je  $0,019 \text{ kg/m}^2$  za rok
- Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$  je  $8,708 \text{ kg/m}^2$  za rok

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že navržená konstrukce A je velice bezpečná, protože ponížení difuzního odporu na hodnotu  $\mu = 50$  je velmi nepravděpodobné a i tak je množství kondenzace velice nízké, navíc až ve vrstvě zateplovacího systému, kde nehrozí poškození nosné konstrukce a vzniká pouze při teplotě  $-10^\circ\text{C}$ . Množství zkondenzované vody se během modelového roku bez problémů odpaří.

## Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



### LEGENDA:

#### NÁVRH STĚNY A

#### Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:  
 Interiér 21,0 C  
 55,0 %  
 Exteriér -13,0 C  
 84,0 %

— nasyc. tlak  
 — teoret. tlak  
 — skut. tlak  
 — kond. zóna

Obr. 10: Oblast kondenzace s výrazným ponížením difuzního odporu (vlastní výpočet).

### - Akumulace tepla

K tomuto změření bylo nutné do výpočtu zadat vždy měrnou tepelnou kapacitu, objemovou hmotnost a součinitel teplotní vodivosti každému materiálu ve skladbě konstrukce. Díky výpočtu zjistíme teplotní jímavost i fázový posun teplotního kmitu konstrukce. V případě teplotní jímavosti byly ale hodnoceny pouze vrstvy tepelné izolace, které ve všech navrhovaných variantách ovlivňují tepelnou akumulaci nejvíce.

U této skladby jsou na tepelnou izolaci použité materiály s vyššími objemovými hmotnostmi a vyšší teplotní kapacitou, proto zde bude dobrá akumulace tepla. Níže je tedy tepelná kapacita vyjádřená pomocí teplotní jímavosti a použitých tepelně izolačních materiálů a pomocí fázového posunu teplotního kmitu zohledňující všechny použité materiály ve skladbě konstrukce.

$$b = \lambda \cdot \delta \cdot c [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Steico flex} - b = 6,42 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Steico protect} - b = 25,6 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

Fázový posun teplotního kmitu  $\psi$  je 14,8 hodiny.

#### 4.2.2. Ekonomické zhodnocení návrhu A

V tabulce (Tab. 2) jsou zobrazeny pořizovací ceny za materiál na výrobu 1 m<sup>2</sup> stěny návrhu A. Ceny byly čerpány ze čtyř zdrojů. Konkrétně se jednalo o společnosti Dektrade, Caparol, MTA s Steico, protože požadovaný materiál není žádná prodejní společnost schopna komplexně nabídnout. Pro materiály, které byly stejné se skladbou stěny ELK, byl použitý vždy stejný zdroj.

Stěna byla hodnocena také pouze z hlediska nákupních cen materiálů jednotlivých vrstev konstrukce.

Skladba návrhu stěny A	Kč/m <sup>2</sup>	MJ	Kč/MJ	Spotřeba na m <sup>2</sup>
SDK 12,5 mm tl.	50,4	m <sup>2</sup>		
OSB eurostrand 3 15 mm tl.	123,52	m <sup>2</sup>		
Steico flex 200 mm tl.	467,22	m <sup>2</sup>		
KVH profily 60x200 mm	323,7125	m <sup>3</sup>	8625	0,0373
Podkladní lať 40x70 mm	5,6675	mb	14,67	0,25
Steico protect 100 mm tl.	641	m <sup>2</sup>		
Fasáda 5 mm	366,99	4 kg/m <sup>2</sup>		
<b>Cena stěny celkem</b>	<b>1978,51</b>			

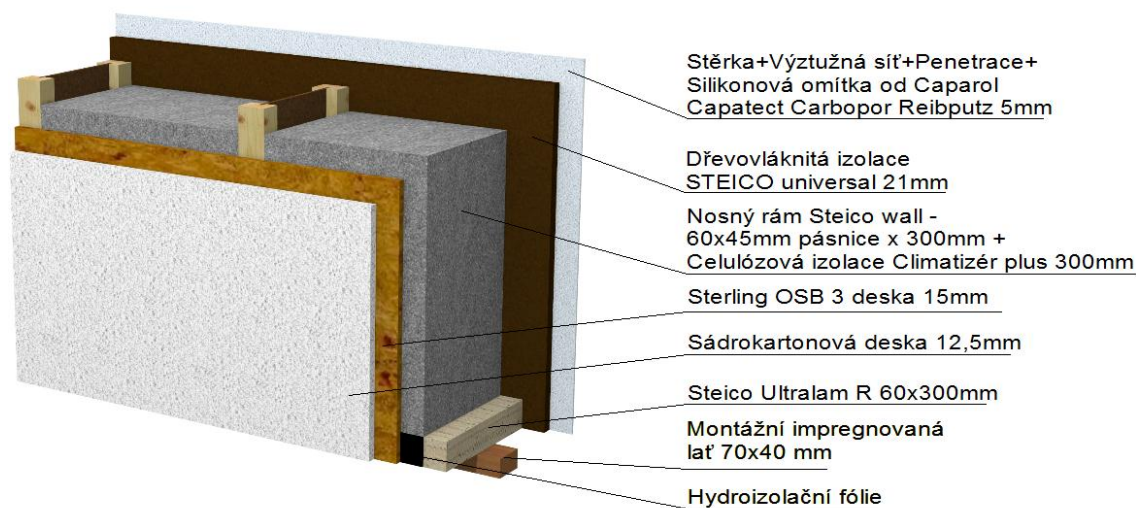
Tab. 2: Cena za materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny A (vlastní výpočet), (Zdroj: Dektrade 2013, Caparol 2010, MTA 2013, Steico 2013).

Celkové náklady na materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny A činí 1978,51 Kč. Tato cena je již v porovnání se stěnou ELK výrazně nákladnější i přes to, že ve skladbě konstrukce chybí vrstva desky Vidiwallu. Stěna je ale téměř celá navržena z přírodních materiálů, které jsou v celkovém měřítku výrazně nákladnější, než materiály anorganického původu.

### 4.3. Návrh stěny B

Tato konstrukce je opět složena převážně z organických materiálů, kde je sice velká spotřeba energie na jejich výrobu, ale dřevní hmota v průběhu svého růstu spotřebuje více CO<sub>2</sub>, než je vyprodukované při jejím zpracování. Také případná likvidace je méně náročná a navíc lze materiál použít i několikanásobně bez ztráty jeho vlastností. Zde je místo dřevovláknité izolace použita izolace celulózová, která je do konstrukce foukána speciálním zařízením. Tento materiál je vyrobený z recyklovaného novinového papíru, tudíž je vysoce ekologický a šetrný k životnímu prostředí. Opět pozitivně působí na zpožděné vnikání tepla přes konstrukci budovy v letním období. Díky celulóze obsažené v dřevních vláknech i celulózové izolaci samotné dokáže izolace pracovat s vlhkostí, kdy vlhkost při jejím velkém množství v prostředí přijme, naopak při sušším prostředí vlhkost opět odevzdá.

Na obrázku (Obr. 11) je zobrazen druhý návrh s popiskami jednotlivých vrstev. V tomto návrhu jsem zkoumal, jaký vliv bude mít na difuzi vodní páry zvětšení tloušťky nosné vrstvy a oslabení vrstvy zateplovacího systému. Použité materiály jsou téměř totožné s návrhem A, kromě izolace mezi sloupky.



Obr. 11: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna B (vlastní zdroj).

Jedná se o panelovou difuzně otevřenou dřevostavbu. Skladba stěny je směrem z interiéru navržena takto:

1) Knauf sádrokartonová protipožární deska o rozměrech 12,5 x 1250 x 2750 mm. Je to první vrstva z interiérové strany. Spáry neboli fáze mezi jednotlivými deskami jsou vytmelené, přebroušené a na desky je již nanesena malba popř. tapety.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $750 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,22 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,06 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $9$

(Teplo, 2010)

2) Deska Sterling OSB 3. Její rozměry jsou 15 x 675 x 2500 mm. Deska je nebroušená a po obvodě má pero-drážku. Působí jako deska konstrukční, ztužující na přenesení vodorovných sil a také jako deska parobrzdná.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $630 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,13 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,7 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $200$

Mez pevnosti:

- Pevnost kolmo na podélnou osu desky  $30 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost kolmo na příčnou osu desky  $15 \text{ N/mm}^2$

Modul pružnosti:

- Pevnost kolmo na podélnou osu desky  $5 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost kolmo na příčnou osu desky  $2 \text{ N/mm}^2$

(MTA, 2005)



3) Další vrstvou je nosná konstrukce z „I“ nosníků Steico wall, které mají pásnice z KVH profilů o rozměrech 60 x 40 mm, stojiny jsou z tvrdé dřevovláknité desky s drážkovým spojem. Tloušťka stojiny je 6 mm. Je charakterizována vysokou pevností ve stříhu. Celková výška nosníku je 300 mm, délky se různí podle potřeby délky panelů a v případě výměn stavebních otvorů. „I“ nosník Steico wall značně eliminuje tepelné mosty díky stojině z tvrdé dřevovláknité desky. Spodní i horní pásnice rámu jsou z profilu vytvořeného slepením dýh Steico Ultralam R o rozměrech 60 x 300 mm. Na spodní pásnici je připevněna impregnovaná montážní lat' o rozměrech 70 x 40 mm. Je od spodní pásnice oddělena hydroizolační fólií.

4) Nosná dřevěná rámová konstrukce je vyplněna celulózovou izolací Climatizer plus, jež je vyrobena z recyklovaného novinového papíru. Izolace je instalována až po montáži nosné konstrukce pomocí foukacího stroje a trysek. Objemová hmotnost materiálu pak závisí na tlaku, kterým je izolace do konstrukce aplikována. Díky celulóze dokáže pracovat s vlhkostí stejně jako dřevovláknité desky. Je vysoce difuzně otevřená, ekologická a oproti skelné izolaci lépe akumuluje teplo.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost 60 – 65 (ve výpočtu 62) kg/m<sup>3</sup>
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,038 W/mK
- Měrná tepelná kapacita c 2,015 kJ/kgK
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$  1,2

(CIUR, 2009)

5) Dřevovláknitá izolace Steico universal je další vrstvou tvořící fasádní zateplovací systém. Deska je voděodolná, difuzně otevřená, ekologická, oboustranně broušená s perem a drážkou. Rozměry desky jsou 21 x 585 x 2480 mm.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost 270 kg/m<sup>3</sup>
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,052 W/mK

- Měrná tepelná kapacita  $c$  2,1 kJ/kgK
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$  5

(Dekwood, 2012)

#### 6) Fasáda

Dekoratивní omítka se strukturou „zrno na zrno,“ určenou pro povrchovou úpravu fasád. Je nanášena na vrstvu stěrky s výztužnou sítí a penetrací. Použita jako krycí vrstva kontaktního zateplovacího systému. Omítka je plněna uhlíkovými vlákny, má vysokou difuzní schopnost, je vodoodpudivá. Celá vrstva má tloušťku 5 mm. Difuze vodních par  $\mu$  je 5, nasákavost  $0,005 \text{ kg/m}^2 24 \text{ h}^{0,5}$  (Caparol, 2012).

### 4.3.1. Tepelně technické posouzení návrhu B

#### - Součinitel prostupu tepla

Používaná konstrukce byla zhodnocena v tepelně technickém programu Teplo 2010. Do výpočtu byly zahrnuty tepelné mosty v podobě nosné konstrukce z „I“ nosníků Steico wall, která ale v minimální míře ovlivní konečný součinitel prostupu tepla dané skladby. Do výpočtu nebyly zahrnuty kotvící hřebíky a sponky desek, tento faktor ovlivňují minimálně z důvodu malé hloubky zaražení do konstrukce. Součinitel prostupu tepla a tepelný odpor pro skladbu návrhu B byl počítán podle ČSN EN ISO 6946. Do programu Teplo 2010 byly zadány součinitele teplotní vodivosti a tloušťky jednotlivých materiálů. Výsledky jsou následovné:

- Tepelný odpor konstrukce  $R = 8,08 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U = 0,121 \text{ W/m}^2\text{K}$

Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou pro vnější stěnu pasivního domu dle ČSN 73 0540-2: 2011 stanoveny na rozmezí  $U = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Skladba návrhu B odpovídá spodní hranici stanoveného rozmezí. Je tedy naprosto ideální pro výstavbu pasivních domů.

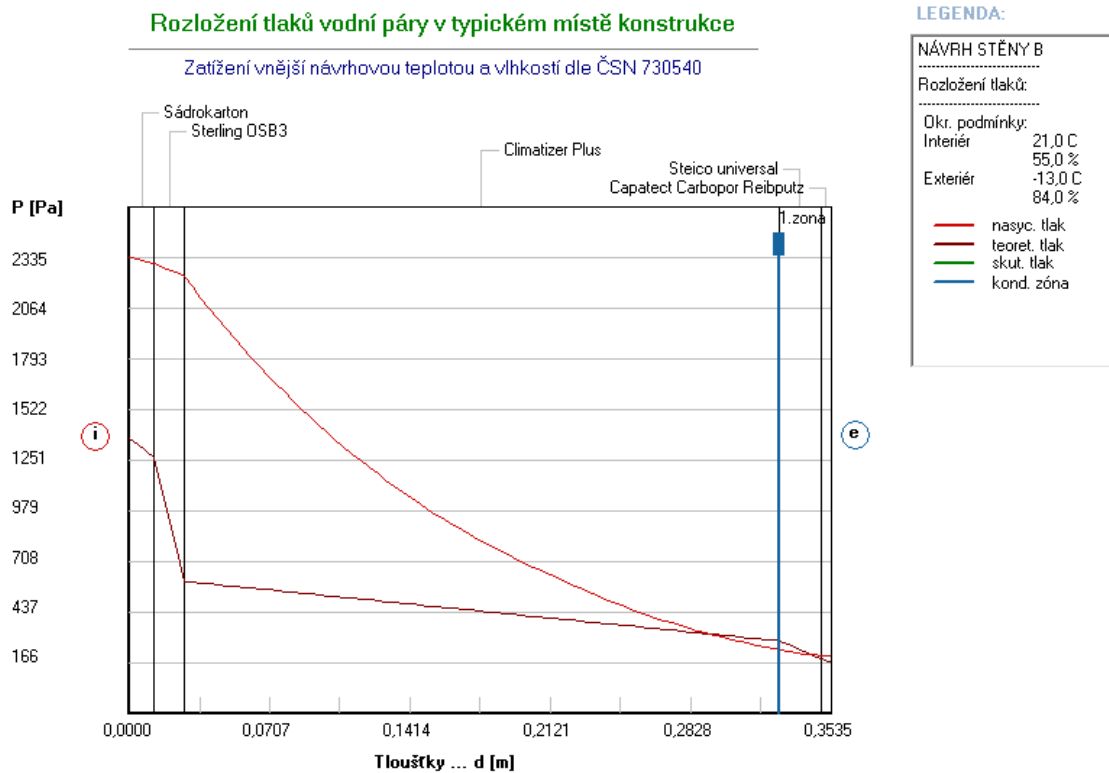
#### - Kondenzace vodní páry

V zadávacích podmínkách byl ve výpočtu zahrnut i difuzní odpor jednotlivých materiálů. Aby byl výpočet objektivní na posouzení prostupu vodní páry, abychom

s určitostí mohli posoudit, zda v konstrukci dochází ke kondenzaci či nikoliv, byla do výpočtu zahrnuta korekce difuzního odporu parozbrdné OSB desky. I přesto, že desku lze daleko lépe ošetřit proti náhodným poruchám než např. parozábranu, došlo k ponížení z hodnoty  $\mu = 200$  na hodnotu  $\mu = 50$ . I přes toto velmi výrazné ponížení vznikla ve skladbě konstrukce pouze malá kondenzace a to na hraně vrstvy nosné konstrukce s vrstvou vnější dřevovláknité desky Steico universal, jež ale opět dokáže s vlhkostí pracovat. Z navržené konstrukce lze ale pozorovat, že zvětšením vrstvy s nízkým difuzním odporem a zmenšením venkovní vrstvy s vyšším difuzním odporem se posunula kondenzace blíže k nosné konstrukci. Z tohoto důvodu je na základě normy ČSN 73 0540 méně bezpečná (Obr. 12). Velmi nízké množství vzniklé kondenzace na hraně vrstev je na základě normy ČSN EN ISO 13788 povolené. Ke kondenzaci dochází až při venkovní teplotě nižší než  $-5^{\circ}\text{C}$ . Během modelového roku ke kondenzaci nedochází vůbec.

- Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$  je  $0,088 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$
- Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$  je  $15,836 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že navržená konstrukce B je méně bezpečná než varianta návrhu A. Ponížení difuzního odporu na hodnotu  $\mu 50$  je velmi nepravděpodobné, a i tak je množství kondenzace nízké. Dochází k ní až při teplotě  $-5^{\circ}\text{C}$ . Množství zkondenzované vody se během modelového roku bez problémů odpaří. Návrh tedy lze povolit.



Obr. 12: Oblast kondenzace s výrazným snížením difuzního odporu (vlastní výpočet).

### - Akumulace tepla

K tomuto změření bylo nutné do výpočtu zadat vždy měrnou tepelnou kapacitu, objemovou hmotnost a součinitel teplotní vodivosti každému materiálu ve skladbě konstrukce. Díky výpočtu zjistíme teplotní jímavost i fázový posun teplotního kmitu konstrukce. V případě teplotní jímavosti byly ale hodnoceny pouze vrstvy tepelné izolace, které ve všech navrhovaných variantách ovlivňují tepelnou akumulaci nejvíce.

U této skladby jsou na tepelnou izolaci použité materiály s vyššími objemovými hmotnostmi a vyšší teplotní kapacitou, proto zde bude lepší akumulace tepla. Níže je tedy tepelná kapacita vyjádřena pomocí teplotní jímavosti  $b$  použitých tepelně izolačních materiálů a pomocí fázového posunu teplotního kmitu, ten zohledňuje všechny použité materiály ve skladbě konstrukce.

$$b = \lambda \cdot \delta \cdot c \text{ [ kW}^2 \cdot \text{s}/(\text{m}^4 \cdot \text{K}^2)\text{]}$$

$$\text{Climatizér plus - } b = 4,75 \text{ [ kW}^2 \cdot \text{s}/(\text{m}^4 \cdot \text{K}^2)\text{]}$$

$$\text{Steico universal - } b = 29,484 \text{ [ kW}^2 \cdot \text{s}/(\text{m}^4 \cdot \text{K}^2)\text{]}$$

Fázový posun teplotního kmitu  $\psi$  je 12,4 hodiny.

#### 4.3.2. Ekonomické zhodnocení návrhu B

V tabulce (Tab. 3) jsou zobrazeny pořizovací ceny za materiál, na výrobu 1 m<sup>2</sup> stěny návrhu B. Aby byl návrh cenově porovnatelný s předchozími, byly použity stejné zdroje pro nákup materiálů, jako v předchozích případech.

Stěna byla hodnocena také pouze z hlediska nákupních cen materiálů jednotlivých vrstev konstrukce.

Skladba návrhu stěny B	Kč/m <sup>2</sup>	MJ	Kč/MJ	Spotřeba na m <sup>2</sup>
SDK 12,5 mm tl.	50,4	m2		
OSB eurostrand 3 15 mm tl.	123,52	m2		
Climatizér plus 300 mm tl.	489	m3	1100	0,3
Steico wall 60x45x300 mm	375	mb	186,5	2
Steico Ultralam 60x300 mm	212	mb	420	0,5
Podkladní lať 40x70 mm	5,6675	mb	14,67	0,25
Steico universal 21 mm tl.	178	m2		
Fasáda 5 mm	366,99	4 kg/m2		
<b>Cena stěny celkem</b>	<b>1800,578</b>			

Tab. 3: Cena za materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny B (vlastní výpočet), (Zdroj: Dektrade 2013, Caparol 2010, MTA 2013, Steico 2013).

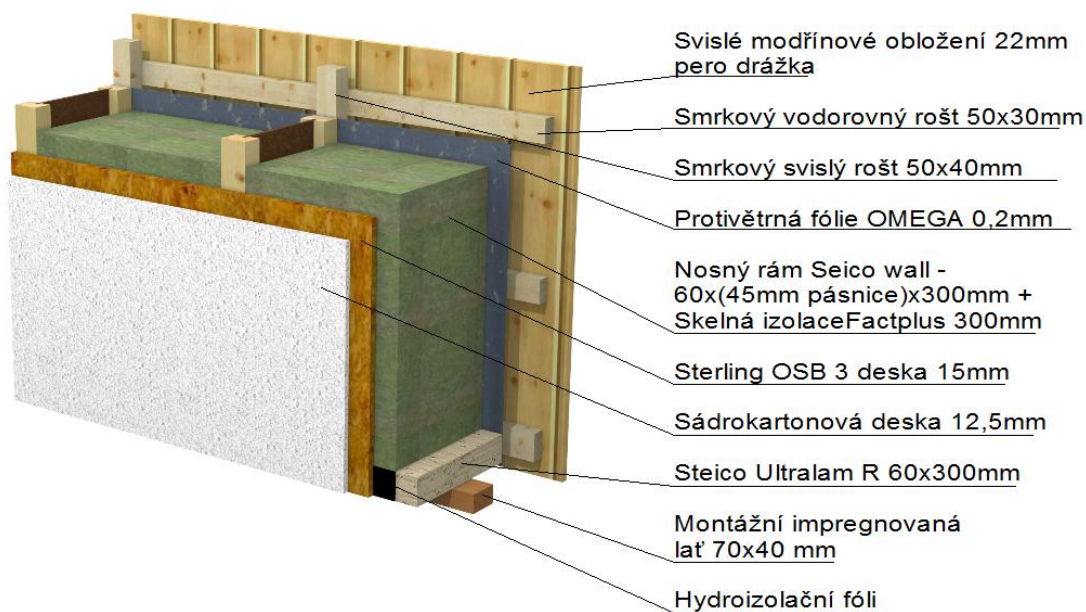
Celkové náklady na materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny B činí 1800,58 Kč. Tato cena je levnější než návrh stěny A, ale stále je podstatně nákladnější, než je stěna ELK. Tento návrh zlevnilo oslabení vrstvy fasádního zateplení a zvětšení vrstvy nosné konstrukce na 300 mm, která byla vyplněna levnější celulózovou izolací. Stěna je téměř celá navržena z přírodních materiálů, což opět znamená vyšší náklady oproti stěně ELK.

#### 4.4. Návrh stěny C

Tato konstrukce je složena převážně z organických a z části z anorganických materiálů. Je zde místo dřevovláknité resp. celulózové izolace použita izolace minerální Factplus. Tato izolace je sice anorganického původu, ale je vyrobena z obnovitelných a recyklovaných materiálů. Výrobce udává, že má izolace velmi dobré akustické vlastnosti a vynikající požární odolnost. Objemová hmotnost je sice podobná Climatizéru plus, ale má oproti ní velmi malou tepelnou kapacitu, tudíž hůře akumuluje

teplo. Místo fasádního zateplovacího systému zde byla použita provětrávaná fasáda, ta měla zajistit jednoznačně nejsnazší průnik vzdušné vlhkosti bez kondenzace.

Na obrázku (Obr. 13) je zobrazen třetí návrh s popiskami jednotlivých vrstev. V tomto návrhu jsem zkoumal, jaký vliv bude mít na difuzi vodní páry osazení provětrávané fasády. Skladba je podobná návrhu B, kromě osazené izolace a zapracování odvětrávané fasády.



Obr. 13: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna C (vlastní zdroj).

Jedná se o panelovou difuzně otevřenou dřevostavbu. Skladba stěny je směrem z interiéru navržena takto:

1) Knauf sádrokartonová protipožární deska o rozměrech 12,5 x 1250 x 2750 mm. Je to první vrstva z interiérové strany. Spáry neboli fáze mezi jednotlivými deskami jsou vytmelené, přebroušené, na desky je již nanášena malba popř. tapety.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $750 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,22 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,06 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $9$

(Teplo, 2010)

2) Deska Sterling OSB 3. Její rozměry jsou  $15 \times 675 \times 2500 \text{ mm}$ . Deska je nebroušená, po obvodě má pero-drážku. Působí jako deska konstrukční, ztužující na přenesení vodorovných sil a také jako deska parobrzdná.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $630 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,13 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,7 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $200$

Mez pevnosti:

- Pevnost kolmo na podélnou osu desky  $30 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost kolmo na příčnou osu desky  $15 \text{ N/mm}^2$

Modul pružnosti:

- Pevnost kolmo na podélnou osu desky  $5 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost kolmo na příčnou osu desky  $2 \text{ N/mm}^2$

(MTA, 2005)

3) Další vrstvou je nosná konstrukce z „I“ nosníků Steico wall, které mají pásnice z KVH profilů o rozměrech  $60 \times 40 \text{ mm}$ , stojiny jsou z tvrdé dřevovláknité desky s drážkovým spojem. Tloušťka stojiny je  $6 \text{ mm}$  a je charakterizována vysokou

pevností ve stříhu. Celková výška nosníku je 300 mm, délky se různí podle potřeby délky panelů a v místech výměn stavebních otvorů. „I“ nosník Steico wall značně eliminuje tepelné mosty díky stojině z tvrdé dřevovláknité desky. Spodní i horní pásnice rámu jsou z profilu vytvořeného slepením dýh Steico Ultralam R o rozměrech 60 x 300 mm. Na spodní pásnici je připevněna impregnovaná montážní lať o rozměrech 70 x 40 mm. Je od spodní pásnice oddělena hydroizolační fólií.

4) Nosná dřevěná rámová konstrukce je vyplněna izolací Factplus, která je vyrobena z obnovitelných a recyklovaných minerálních materiálů. Izolace je vyráběna ve formě desek o rozměrech 40 – 200 x 600 x 1200 mm. Do konstrukce budou použity desky o rozměrech 160 x 600 x 1200 mm. Izolace má dobré izolační, akustické a protipožární vlastnosti. Kvůli anorganickému původu ale nedokáže pracovat s vlhkostí.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $62 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,039 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $0,850 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $1$

(Factplus, 2012)

5) Protivětrná fólie OMEGA vyrobena z třívrstvé polypropylenové netkané textilie, ta má poměrně vysoký difuzní odpor, ale díky její malé tloušťce (0,0002 mm) je hodnota  $S_d = 0,012 \text{ m}$ , což je velmi dobrá hodnota pro zapracování do konstrukce v této vrstvě. Je určena k přímému položení na tepelnou izolaci a k větrotěsnému zabezpečení tepelné izolace u odvětraných fasád.

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $48 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,17 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1 \text{ kJ/kgK}$



- Součinitel difuzního odporu  $\mu$

60

(Isocell, 2012)

#### 6) Fasáda

Vrstva je tvořena smrkovým svislým roštem o rozměru latě 40 x 50 mm, ten je kotvený k nosným sloupkům konstrukce. Tato vrstva zajišťuje proudění vzduchu ve svislém směru. Další vrstvou je rošt vodorovný s rozměrem latě 30 x 50 mm. Tento rošt zajišťuje proudění vzduchu ve vodorovném směru, slouží jako nosná konstrukce pro vnější palubkové obložení z modřínu. Modřínové paubky jsou 22 mm silné.

### 4.4.1. Tepelně technické posouzení návrhu C

#### - Součinitel prostupu tepla

Používaná konstrukce byla zhodnocena v tepelně technickém programu Teplo 2010. Do výpočtu byly zahrnuty tepelné mosty v podobě nosné konstrukce z „I“ nosníků Steico wall, ta ale v minimální míře ovlivní konečný součinitel prostupu tepla dané skladby. Do výpočtu nebyly zahrnuty kotvící hřebíky a sponky desek, které tento faktor ovlivňují minimálně z důvodu malé hloubky zaražení do konstrukce. Součinitel prostupu tepla i tepelný odpor pro skladbu návrhu C byl počítán podle ČSN EN ISO 6946. Do programu Teplo 2010 byly zadány součinitele teplotní vodivosti a tloušťky jednotlivých materiálů. Výsledky jsou následovné:

- Tepelný odpor konstrukce  $R = 7,51 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

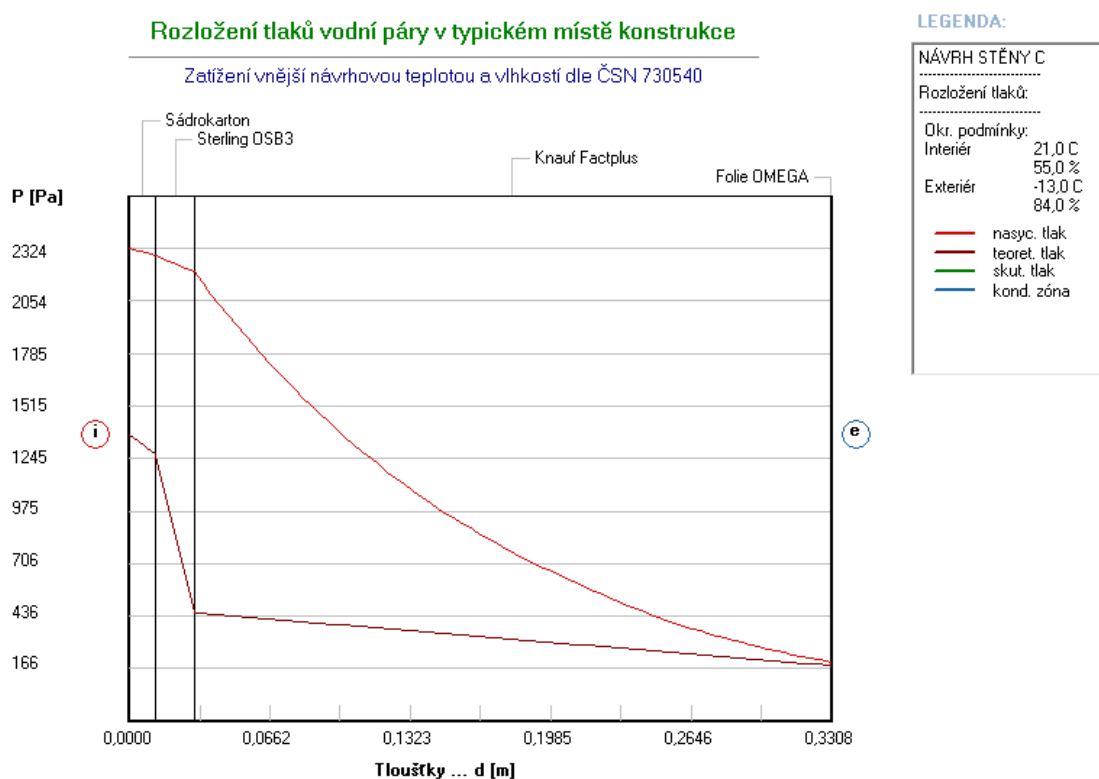
Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou pro vnější stěnu pasivního domu dle ČSN 73 0540-2: 2011 stanoveny na rozmezí  $U = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Skladba návrhu C odpovídá spodní hranici stanoveného rozmezí. Je tedy naprosto ideální pro výstavbu pasivních domů.

#### - Kondenzace vodní páry

V zadávacích podmínkách byl ve výpočtu zahrnut i difuzní odpor jednotlivých materiálů. Aby byl výpočet objektivní na posouzení prostupu vodní páry, abychom s určitostí mohli posoudit, zda v konstrukci dochází ke kondenzaci či nikoliv, byla do

výpočtu zahrnuta korekce difuzního odporu parobrzděné OSB desky. I přesto, že desku lze daleko lépe ošetřit proti náhodným poruchám než např. parozábranu, došlo k ponížení z hodnoty  $\mu = 200$  na hodnotu  $\mu = 50$ . I přes toto velmi výrazné ponížení nevznikla ve skladbě konstrukce na základě obou norem (ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 13788) žádná kondenzace. Tato konstrukce je tedy naprosto ideální pro průnik vzdušné vlhkosti do exteriéru (Obr. 14). Ke kondenzaci nedochází ani při venkovní teplotě  $-13^{\circ}\text{C}$ .

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že navržená konstrukce C je nejbezpečnější, protože ponížení difuzního odporu na hodnotu  $\mu = 50$  je velmi nepravděpodobné a i tak ani při teplotě  $-13^{\circ}\text{C}$  nedochází k žádné kondenzaci.



Obr. 14: Oblast kondenzace s výrazným ponížením difuzního odporu (vlastní výpočet).

### - Akumulace tepla

K tomuto změření bylo nutné do výpočtu zadat vždy měrnou tepelnou kapacitu, objemovou hmotnost a součinitel teplotní vodivosti každému materiálu ve skladbě konstrukce. Díky výpočtu zjistíme teplotní jímavost i fázový posun teplotního kmitu

konstrukce. V případě teplotní jímavosti byly ale hodnoceny pouze vrstvy tepelné izolace, ty ve všech navrhovaných variantách ovlivňují tepelnou akumulaci nejvíce.

V této konstrukci je použita pouze jedna vrstva hlavní tepelné izolace Factplus, u které je nízký součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$ . Tepelná izolace má bohužel nízkou tepelnou kapacitou a nižší objemovou hmotnost, proto zde bude horší i akumulace tepla. Níže je tedy tepelná kapacita vyjádřena pomocí teplotní jímavosti  $b$  tepelné izolace Factplus a pomocí fázového posunu teplotního kmitu, ten zohledňuje všechny použité materiály ve skladbě konstrukce.

$$b = \lambda \cdot \delta \cdot c [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Izolace Factplus} - b = 2,06 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

Fázový posun teplotního kmitu konstrukce  $\psi$  je 6,8 hodiny.

#### 4.4.2. Ekonomické zhodnocení návrhu C

V tabulce (Tab. 4) jsou zobrazeny pořizovací ceny za materiál, na výrobu 1 m<sup>2</sup> stěny návrhu C. Aby byl návrh cenově porovnatelný s předchozími, byly použity opět stejné zdroje pro nákup materiálů, jako v předchozích případech.

Stěna byla hodnocena také pouze z hlediska nákupních cen materiálů jednotlivých vrstev konstrukce.

Skladba návrhu stěny C	Kč/m <sup>2</sup>	MJ	Kč/MJ	Spotřeba na m <sup>2</sup>
SDK 12,5 mm tl.	50,4	m2		
OSB eurostrand 3 15 mm tl.	123,52	m2		
Factplus 300 mm tl.	564	m2		
Steico wall 60x45x300 mm	375	mb	186,5	2
Steico Ultralam 60x300 mm	212	mb	420	0,5
Podkladní lať 40x70 mm	5,6675	mb	14,67	0,25
Protivětrná fólie OMEGA	34,3	m2		
SM lať 50x40 mm	26,34	mb	12,17	2
SM lať 50x30 mm	18,74	mb	8,37	2
Modřínové palubky 22 mm tl.	418,84	m2		
<b>Cena stěny celkem</b>	<b>1828,808</b>			

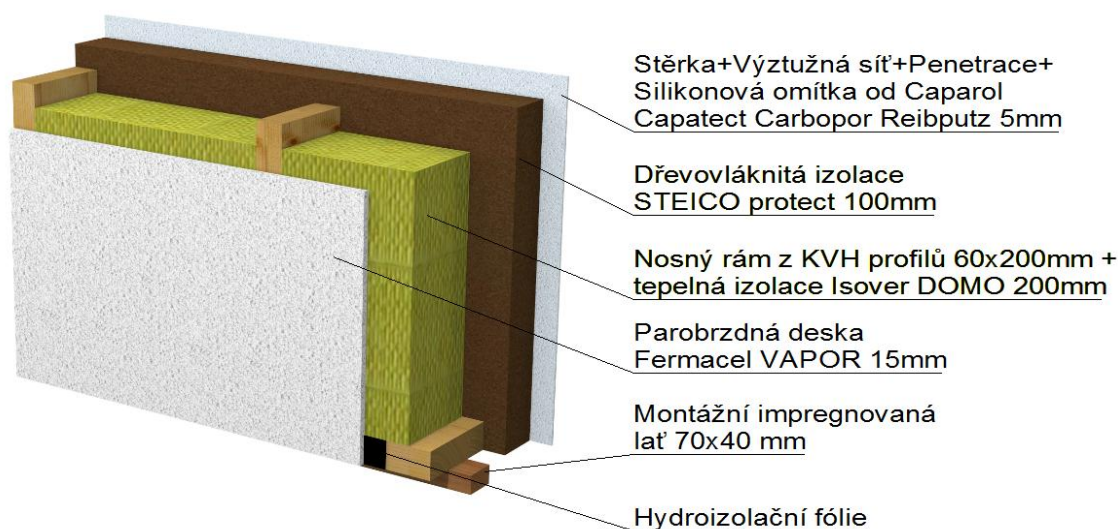
Tab. 4: Cena za materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny C (vlastní výpočet), (Zdroj: Dektrade 2013, Caparol 2010, MTA 2013, Steico 2013).

Celkové náklady na materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny C činí 1828,81 Kč. Tato cena je velice podobná návrhu stěny B, kde byla použita stejná nosná konstrukce. Rozdílný byl materiál tepelné izolace mezi nosnými sloupky, místo fasádního systému s omítkou byla navržena odvětrávaná fasáda s dřevěným roštem a modřínovými palubkami. Ani při tomto návrhu se tedy cenově nepodařilo přiblížit difuzně uzavřené konstrukci ELK.

#### **4.5. Návrh stěny D**

Tato konstrukce je opět složena převážně z organických, z části z anorganických materiálů. Je zde místo dřevovláknité resp. celulózové izolace použita izolace skelná Isover DOMO, kde je velká spotřeba energie na jejich výrobu, též případnou likvidaci. Má dobrou požární odolnost i velmi dobré tepelně izolační vlastnosti. Objemová hmotnost a tepelná kapacita je nízká, tudíž hůře akumuluje teplo. Ekologickou stránku této konstrukce zachraňuje fasádní zateplovací systém z dřevovláknitých izolačních desek Steico protect. Hlavním účelem této vrstvy je zpoždění vnikání tepla přes konstrukci budovy v letním období. Výrobky STEICO se kromě nízké tepelné vodivosti od ostatních izolací odlišují velmi vysokou akumulací tepla. Hromadí tepelnou energii celý den. Převádějí teplo do místnosti teprve po 12 hodinách, kdy je venku chladněji (Dekwood, 2012). Díky celulóze obsažené v dřevních vláknech dokáže izolace pracovat s vlhkostí, kdy vlhkost při jejím velkém množství v prostředí přijme a naopak při sušším prostředí vlhkost opět odevzdá.

Na obrázku (Obr. 15) je zobrazen čtvrtý návrh s popiskami jednotlivých vrstev. V tomto návrhu jsem se snažil navrhnout konstrukci s nejmenším počtem vrstev s nejlepší ekonomickou stránkou ze všech difuzně otevřených stěn. Skladba je podobná návrhu A a difuzně uzavřené variantě ve společnosti ELK s.r.o.



Obr. 15: Skladba difuzně otevřené konstrukce – stěna D (vlastní zdroj).

Jedná se o panelovou difuzně otevřenou dřevostavbu. Skladba stěny je směrem z interiéru navržena takto:

1) Speciálně kaširovaná sádrovláknitá deska Fermacell Vapor (deska+parobrzdá). Je navržena speciálně pro difuzně otevřené konstrukce od firmy Xella. Její rozměry jsou 15 x 1249 x 2750 mm (tl. x š x v). Působí jako deska konstrukční, ztužující na přenesení vodorovných sil a také jako deska parobrzdná.

Technické parametry desky jsou:

- Objemová hmotnost  $1150 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,32 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $1,1 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $240$

2) Další vrstvou je nosná dřevěná konstrukce z KVH profilů. Rám se skládá ze sloupků a spodní pásnice o rozměrech 60 x 200 mm (tl. x š.) a horní pásnice 100 x 200 mm. Délky se různí podle potřeby délky panelů a v místech výměn stavebních otvorů. Na spodní pásnici je připevněna impregnovaná montážní lať o rozměrech 70 x 40 mm. Je od spodní pásnice oddělena hydroizolační fólií.

3) Nosná dřevěná rámová konstrukce je vyplněna tepelnou izolací ISOVER Domo 20, která je vyrobena ze skelné plsti. Izolace má rozměry 3500 x 1200 x 200 mm (l x š. x tl.)

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $15 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,043 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $0,84 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $1$

4) Dřevovláknitá izolace Steico protect je další vrstvou tvořící fasádní zateplovací systém. Deska je voděodolná, difuzně otevřená, ekologická oboustranně broušená s perem a drážkou. Rozměry desky jsou 1325 x 615 x 100 mm (l x š. x tl.).

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $265 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,046 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $2,1 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $5$

#### 5) Fasáda

Dekoratívni omítka se strukturou „zrno na zrno,“ určenou pro povrchovou úpravu fasád. Je nanášena na vrstvu stěrky s výztužnou sítí, penetrací a použita jako krycí vrstva kontaktního zateplovacího systému. Omítka je plněna uhlíkovými vlákny, má vysokou difuzní schopnost, je vodoodpudivá. Celá vrstva má tloušťku 5 mm. Difuze vodních par  $\mu$  je 5 a nasákavost  $0,005 \text{ kg/m}^2 24 \text{ h}^{0,5}$  (Caparol, 2012).

#### 4.5.1. Tepelně technické posouzení návrhu D

##### - Součinitel prostupu tepla

Používaná konstrukce byla zhodnocena v tepelně technickém programu Teplo 2010. Do výpočtu byly zahrnuty tepelné mosty v podobě nosné rámové konstrukce, která výrazně ovlivní konečný součinitel prostupu tepla dané skladby. Naopak do výpočtu nebyly zahrnuty kotvící hřebíky a sponky desek, jelikož tento faktor ovlivňují minimálně z důvodu malé hloubky zaražení do konstrukce. Součinitel prostupu tepla i tepelný odpor pro skladbu návrhu D byl počítáný podle ČSN EN ISO 6946. Do programu Teplo 2010 byly zadány součinitele teplotní vodivosti a tloušťky jednotlivých materiálů. Výsledky jsou následovné:

- Tepelný odpor konstrukce  $R = 5,58 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U = 0,174 \text{ W/m}^2\text{K}$

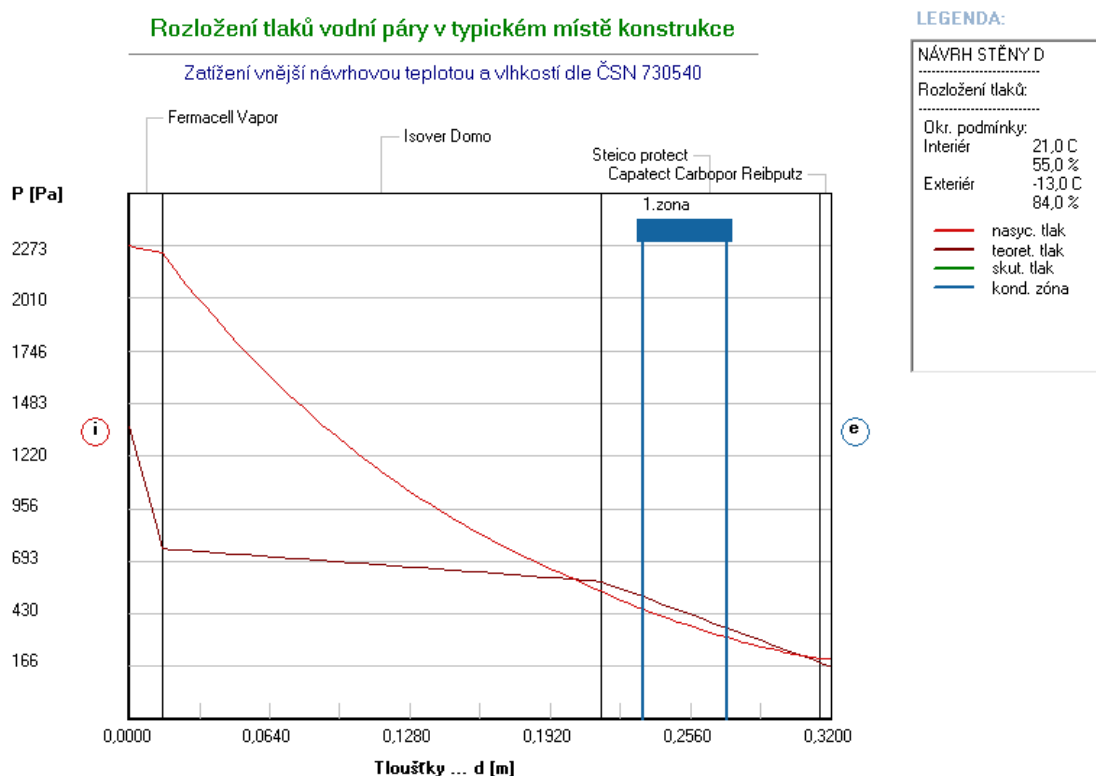
Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou pro vnější stěnu pasivního domu dle ČSN 73 0540-2: 2011 stanoveny na rozmezí  $U = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Skladba návrhu D dosahuje horní hranice ve stanoveném rozmezí. I přesto ji lze využít i pro výstavbu pasivních domů.

##### - Kondenzace vodní páry

V zadávacích podmínkách byl ve výpočtu zahrnut i difuzní odpor jednotlivých materiálů. Aby byl výpočet objektivní na posouzení prostupu vodní páry, abychom s určitostí mohli posoudit, zda v konstrukci dochází ke kondenzaci, či nikoliv, byla do výpočtu zahrnuta korekce difuzního odporu parobrzděné desky Fermacell Vapor. I přesto, že deska musí být daleko lépe ošetřena proti náhodným poruchám, než např. parozábrana, bylo nasimulováno ponížení z hodnoty  $\mu = 240$  na hodnotu  $\mu = 50$ . I přes toto velmi výrazné ponížení vznikla ve skladbě konstrukce pouze velmi malá kondenzace, která ale není v nosné vrstvě. Nýbrž ve vrstvě zateplovacího systému, kde je osazená dřevovláknitá deska pracující s vlhkostí. V nosné části skladby konstrukce tedy k žádné kondenzaci nedošlo (Obr. 16). Velmi nízké množství vzniklé kondenzace v zateplovacím systému je na základě normy ČSN 73 0540 povolené. Ke kondenzaci dochází až při venkovní teplotě nižší než  $-5^\circ\text{C}$ . Na základě normy ČSN EN ISO 13788 během modelového roku ke kondenzaci nedochází vůbec.

- Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$  je  $0,042 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$
- Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$  je  $9,464 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že navržená konstrukce D je velice bezpečná, protože snížení difuzního odporu na hodnotu  $\mu$  50 je velmi nepravděpodobné a i tak je množství kondenzace velice nízké, navíc až ve vrstvě zateplovacího systému, kde nehrozí poškození nosné konstrukce, vzniká pouze při teplotě  $-5^\circ\text{C}$ . Množství zkondenzované vody se během modelového roku bez problémů odpaří.



Obr. 16: Oblast kondenzace s výrazným snížením difuzního odporu (vlastní výpočet).

### - Akumulace tepla

K tomuto zjištění bylo nutné do výpočtu zadat vždy měrnou tepelnou kapacitu, objemovou hmotnost a součinitel teplotní vodivosti každému materiálu ve skladbě konstrukce. Díky výpočtu zjistíme teplotní jímavost i fázový posun teplotního kmitu konstrukce. V případě teplotní jímavosti byly ale hodnoceny pouze vrstvy tepelné izolace, které ve všech navrhovaných variantách ovlivňují tepelnou akumulaci nejvíce.

V případě této skladby je výhodou materiálu na fasádním zateplovací vrstvě s vyššími objemovými hmotnostmi, vyšší teplotní kapacitou, proto zde bude lepší



akumulace tepla. Níže je tedy tepelná kapacita vyjádřená pomocí teplotní jímavosti  $b$  použitých tepelně izolačních materiálů a pomocí fázového posunu teplotního kmitu, ten zohledňuje všechny použité materiály ve skladbě konstrukce.

$$b = \lambda \cdot \delta \cdot c [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Isover DOMO} - b = 0,5418 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

$$\text{Steico protect} - b = 25,6 [kW^2 \cdot s / (m^4 \cdot K^2)]$$

Fázový posun teplotního kmitu konstrukce  $\psi$  je 10,2 hodiny.

#### 4.5.2. Ekonomické zhodnocení návrhu D

V tabulce (Tab. 5) jsou zobrazeny pořizovací ceny za materiál, na výrobu 1 m<sup>2</sup> stěny návrhu D. Znovu byly použity stejné zdroje pro nákup materiálů, jako v předchozích případech.

Stěna byla hodnocena také pouze z hlediska nákupních cen materiálů jednotlivých vrstev konstrukce.

Skladba návrhu stěny D	Kč/m <sup>2</sup>	MJ	Kč/MJ	Spotřeba na m <sup>2</sup>
Fermacell Vapor 15 mm tl.	252,2	m2		
Isover DOMO 200 mm	114,48	m2		
KVH profily 60x200 mm	323,7125	m3	8625	0,0373
Podkladní lať 40x70 mm	5,6675	mb	14,67	0,25
Steico protect 100 mm tl.	641	m2		
Fasáda 5 mm	366,99	4 kg/m2		
<b>Cena stěny celkem</b>	<b>1704,05</b>			

Tab. 5: Cena za materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny D (vlastní výpočet), (Zdroj: Dektrade 2013, Caparol 2010, MTA 2013, Steico 2013).

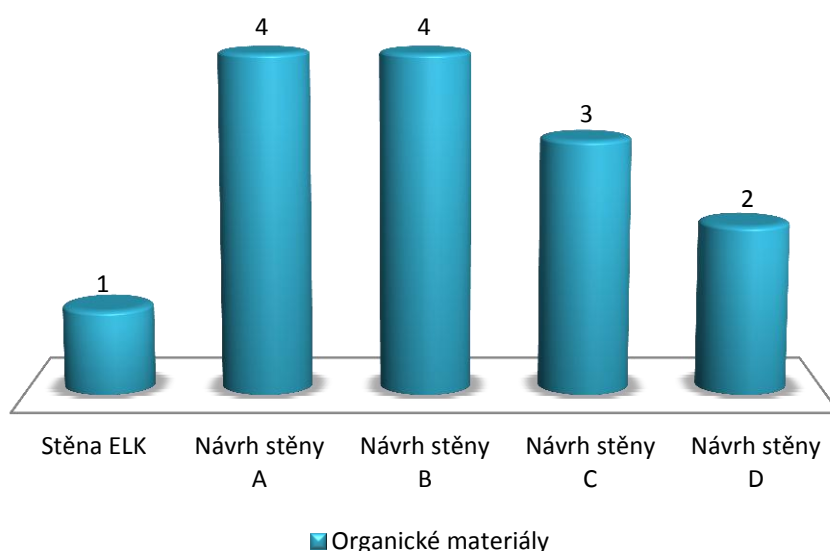
Celkové náklady na materiál 1 m<sup>2</sup> návrhu stěny D činí 1704,05 Kč. U této konstrukce jsem se snažil maximálně omezit množství vrstev ve skladbě, v čemž jsem předpokládal velkou úsporu. Na fasádní zateplovací systém byla použita opět dřevovláknitá deska zabezpečující malý difuzní odpor. Bohužel je ale mnohonásobně dražší, než je cena fasádního polystyrenu. Tato varianta se tak stala cenově nejvýhodnější ze všech návrhů difuzně otevřených stěn, ale bohužel ani zde se mi nepodařilo přiblížit se cenové relaci stěny ELK.

## 5. Vyhodnocení výsledků

### 5.1. Porovnání konstrukcí

#### 5.1.1. Ekologický aspekt

Ekologický aspekt konstrukcí byl hodnocen na základě používaných materiálů ve skladbě obvodové stěny. Měřítkem při tom byl počet organických a anorganických materiálů ve skladbě konstrukce. Byla uvažována i nosná konstrukce, ta je ve všech případech organického původu. Aby mohl být použitý materiál považovaný v tomto smyslu za ekologický, obsah organického původu musel být alespoň 50% z celkového objemu použitého materiálu (Graf 1).



Graf 1: Počet použitých organických materiálů ve vrstvách konstrukcí (vlastní zdroj i data).

Z ekologického hlediska tedy vycházejí nejlépe konstrukce návrhu A a návrhu B, kde bylo v daných vrstvách použito největší množství organických materiálů.

#### 5.1.2. Součinitel prostupu tepla

Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou pro vnější stěnu pasivního domu dle ČSN 73 0540-2: 2011 stanoveny na rozmezí  $U = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Všechny hodnocené stěny splnily toto rozmezí. Navrhované konstrukce lze tedy využít pro výstavbu pasivních domů.

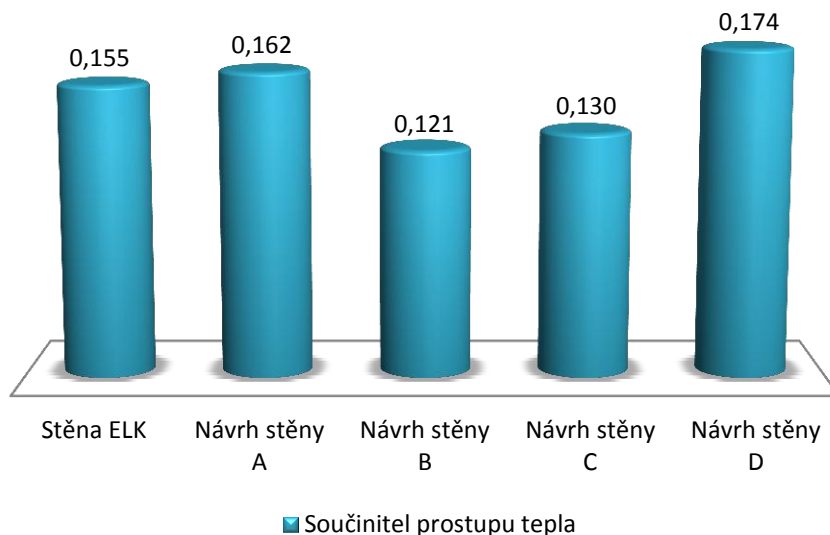
Všechny varianty konstrukcí jsem navrhoval tak, aby byla vždy stejná tloušťka tepelné izolace jako u používané stěny ve společnosti ELK s.r.o. Pouze u návrhu B jsem musel nutně použít dřevovláknitou desku na zaklopení z exteriérové strany, a to z důvodu použité foukané izolace Climatizér plus a nanesení omítky. To značně ovlivnilo celkový součinitel tepla. Konstrukce tak dosahovala nejlepších výsledků.

Ve výpočtu bylo ale dále zjištěno, že tepelné mosty v podobě dřevěných nosných sloupků jsou poměrně výrazné. U návrhů stěn B a C byly totiž použity sloupky z „I“ – profilů Steico wall, které značně omezují tepelný most sloupku díky stojině z tvrdé dřevovláknité desky. Ta má oproti celodřevěnému profilu výrazně nižší tepelnou vodivost  $\lambda$ . Z tohoto důvodu dopadly tyto varianty v hodnocení nejlépe.

Naopak u návrhu stěny D byly použity v celkové skladbě konstrukce pouze 4 vrstvy. Tato stěna má být totiž nejjednodušší na výrobu, díky omezení vrstev má být i cenově přijatelná. To ale ovlivnilo součinitel prostupu tepla, který je u této varianty nejhorší.

Ve stěně ELK a návrhu stěny A je stejný počet vrstev ve skladbě konstrukce i stejná tloušťka tepelné izolace. Proto mají tyto dvě varianty nejmenší rozptyl. V návrhu A jsou ale použity materiály s horší tepelnou vodivostí  $\lambda$ , proto je celkový součinitel prostupu tepla  $U$  také nepatrně horší.

Výpočtové hodnoty daných konstrukcí v programu Teplo 2010 jsou zobrazeny v grafu (Graf 2).



Graf 2: Výsledné hodnoty součinitele prostupu tepla navržených konstrukcí (vlastní zdroj i data).

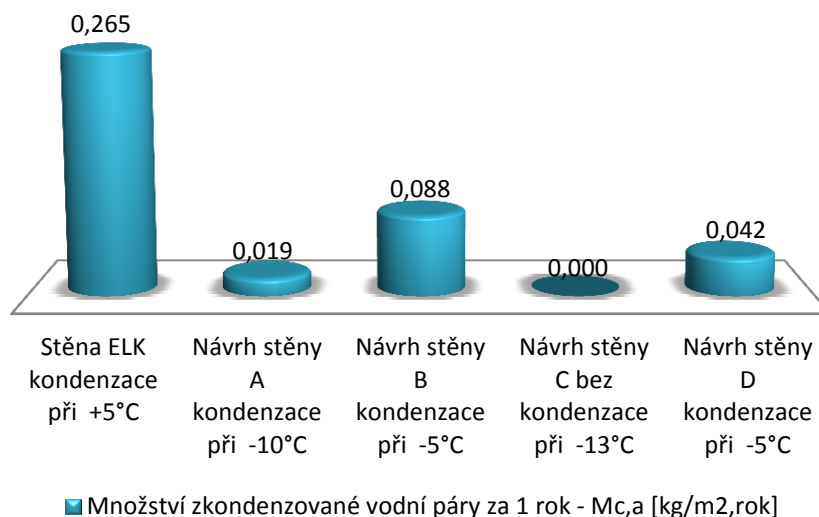
Nejlepší součinitel tepla tedy vychází u návrhu stěny B, kde bylo použito větší množství tepelné izolace a zároveň byly korigovány tepelné mosty díky použití „I“ – profilů Steico wall.

### 5.1.3. Difuzní otevřenost konstrukcí

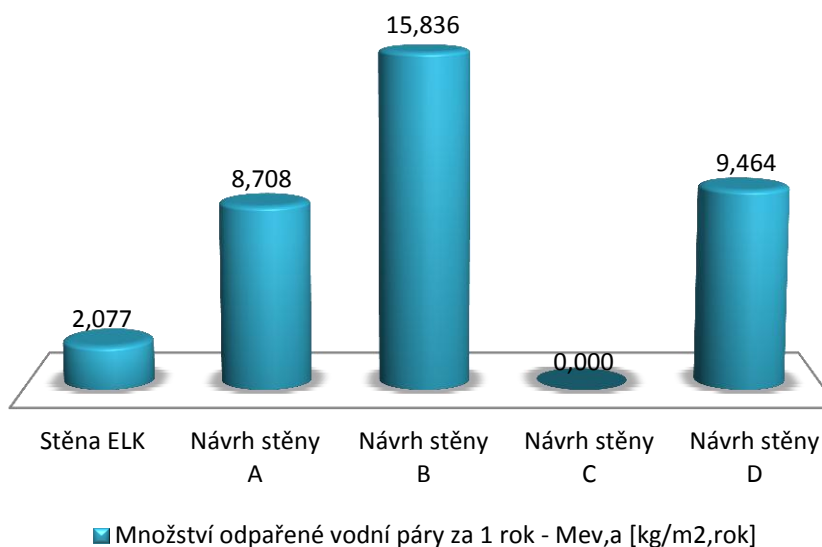
Výpočet byl proveden na základě norem ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 17388. V zadávacích podmínkách byl ve výpočtu zahrnut difuzní odpor jednotlivých materiálů. Pro objektivnost posouzení prostupu vodní páry byl u všech návrhů záměrně ponížen difuzní odpor parotěsné vrstvy, což mělo simulovat narušení v podobě kotvících prostředků a nepatrné chyby při její instalaci. Ve skladbě konstrukce společnosti ELK s.r.o. byl difuzní odpor parozábrany v podobě PE fólie ponížen z hodnoty 144 000 na hodnotu 10 000. U návrhů s OSB deskou byla hodnota difuzního odporu ponížena z 200 na 50. Také u posledního návrhu D, kde byla použita parobrzdná deska Fermacell Vapor, která má hodnotu difuzního odporu 240, došlo k ponížení na 50.

Na základě výpočtu podle normy ČSN EN ISO 17388 nedošlo v žádné z konstrukcí ke kondenzaci ani při ponížení difuzního faktoru.

Na základě výpočtu podle normy ČSN 73 0540 ke kondenzacím již docházelo. Na grafech (Graf 3 a Graf 4) je zobrazeno množství kondenzace i množství odpařené vody.



Graf 3: Výsledné množství zkondenzované páry v hodnocených konstrukcích a teplota, při které ke kondenzaci dochází (vlastní zdroj i data).



Graf 4: Výsledné množství odpařené páry v hodnocených konstrukcích (vlastní zdroj i data).

Z grafu (Graf 3) je jasně patrné, že nejlepší variantou byl vyhodnocen návrh stěny C, kde ani v extrémních podmínkách i při ponížení difuzního odporu parobrzděné vrstvy nedochází ke kondenzaci.

Návrhy stěn A a D jsou také poměrně bezpečné, protože dochází pouze k minimální kondenzaci ve vrstvě zateplovacího systému. Nosná dřevěná konstrukce tak není ohrožena. Množství zkondenzované vody se během modelového roku bez problémů odpaří.

Návrh stěny B je horší variantou. Zde je množství kondenzace sice malé a během modelového roku se odpaří, ale ke kondenzaci dochází ve styku s nosnou konstrukcí, což není podle ČSN 73 0540 povoleno. Z tohoto hlediska tedy konstrukce nevyhoví.

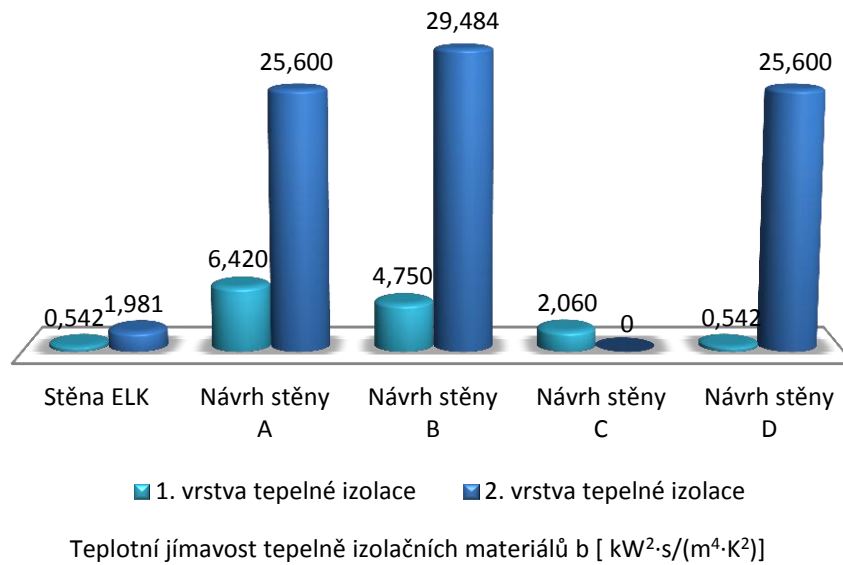
Difuzně uzavřená stěna ELK dopadla podle očekávání nejhůře, kdy je na grafu jasně patrné, že množství kondenzace je ze všech variant nejhorší. Dochází k ní již při teplotě +5°C. Během modelového roku se sice voda odpaří, ale k poměrně velké kondenzaci dochází na styku s nosnou konstrukcí, což norma ČSN 73 0540 nepovoluje.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že opravdu velký důraz musí být kladen na pečlivou instalaci parotěsné vrstvy, aniž by došlo k jejímu porušení.

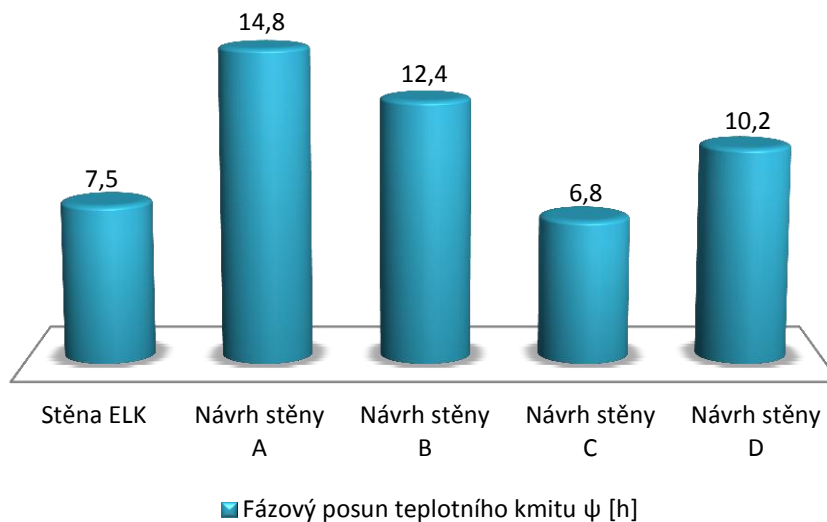
#### **5.1.4. Akumulace tepla**

Akumulace tepla byla hodnocena podle teplotní jímavosti použitých tepelně izolačních materiálů a na základě fázového posunu teplotního kmitu všech vrstev v konstrukci.

V grafech (Graf 5 a Graf 6) je jasně patrné, že ve stěnách, u nichž jsou použité materiály s vyšší měrnou tepelnou kapacitou a vyšší objemovou hmotností, je dosahováno lepších hodnot akumulace tepla. Jasně je také patrné, že nejvíce tepelnou akumulaci ovlivňuje vnější vrstva zateplovacího systému z fasádní dřevovláknité izolace Steico.



Graf 5: Teplotní jímavost tepelně izolačních materiálů v hodnocených konstrukcích (vlastní zdroj i data).



Graf 6: Fázový posun v hodnocených konstrukcích (vlastní zdroj i data).

Z grafů tedy můžeme vyhodnotit návrh stěny A za nejlepší z pohledu tepelné akumulace. V této variantě byly použité dřevovláknité izolace vykazující nejlepší hodnoty měrné tepelné kapacity a objemové hmotnosti.

V návrzích stěn B i D jsou v hlavní vrstvě tepelné izolace použity materiály s nižší objemovou hmotností a tepelnou akumulací, proto tyto varianty vykazují horší tepelnou akumulaci.

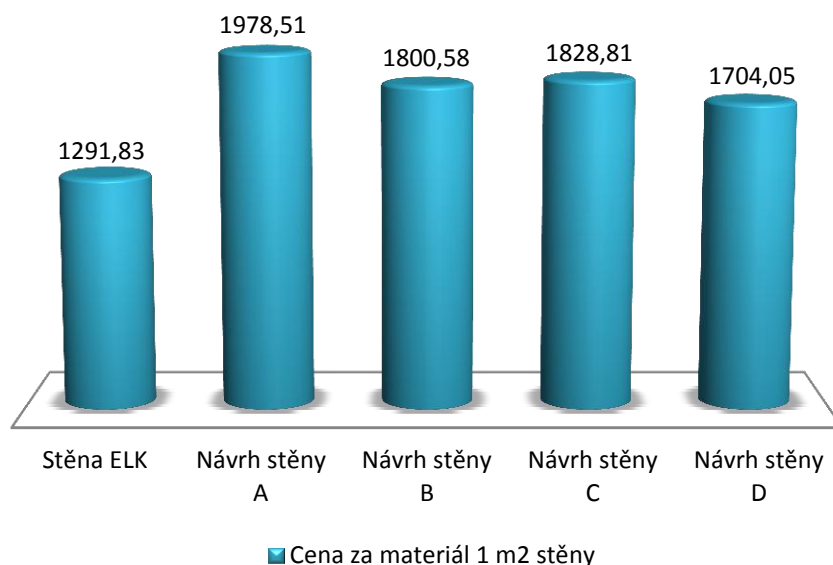
Nejhůře akumulují teplo varianty stěny ELK a návrh stěny C, kde byly v obou případech hlavní vrstvy tepelné izolace použity anorganické materiály s malou objemovou hmotností, s malou měrnou tepelnou kapacitou. V návrhu stěny ELK pak byl na fasádní zateplovací systém použit polystyren, ten také vykazuje velmi malé hodnoty. U návrhu stěny C byla navržena provětrávaná fasáda bez vnějšího zateplovacího systému, proto vyšla tato varianta s nejhorší tepelnou akumulací.

## **5.2. Ekonomický aspekt**

V grafu (Graf 7) je zobrazeno cenové porovnání všech hodnocených stěn. Ceny jsem čerpal ze 4 zdrojů, protože požadovaný materiál není žádná prodejní společnost schopna komplexně nabídnout. Byly jimi prodejní společnosti materiálů pro stavby a dřevostavby Dektrade, Caparol, MTA a Steico. Použil jsem vždy aktuální ceník uváděný na internetových stránkách v roce 2014.

Stěny byly hodnoceny pouze z hlediska nákupních cen materiálů jednotlivých vrstev konstrukce, protože k porovnání s ostatními návrhy má tento sektor nákladů největší vypovídající hodnoty. Další položky jako jsou např. výrobní a montážní čas 1 m<sup>2</sup> stěny, spojovací prostředky, náklady na dopravu, projekční příprava aj., jsou u všech variant téměř totožné nebo pouze s minimálními rozdíly bez zásadního vlivu na cenu konstrukce. Z tohoto důvodu nejsou v kalkulaci zahrnuty.





Graf 7: Porovnání cenové relace hodnocených stěn  
(vlastní zdroj i data).

Z uvedeného grafu vyplývá, že stěna ELK je v porovnání s ostatními navrhovanými variantami difuzně otevřených konstrukcí nejlevnější. Ani návrh stěny D, u nichž jsem použil minimum vrstev pro zlevnění celé konstrukce, není se stěnou ELK cenově srovnatelný. Difuzně otevřené stěny jsou znatelně dražší z důvodu použití přírodních materiálů. Například cenový rozdíl fasádního polystyrenu nebo fasádní tepelné dřevovláknité izolace Steico Protect je téměř 528 Kč/m<sup>2</sup>. Z tohoto vyplývá, že přírodní materiály nemohou anorganickým materiálům cenově konkurovat.

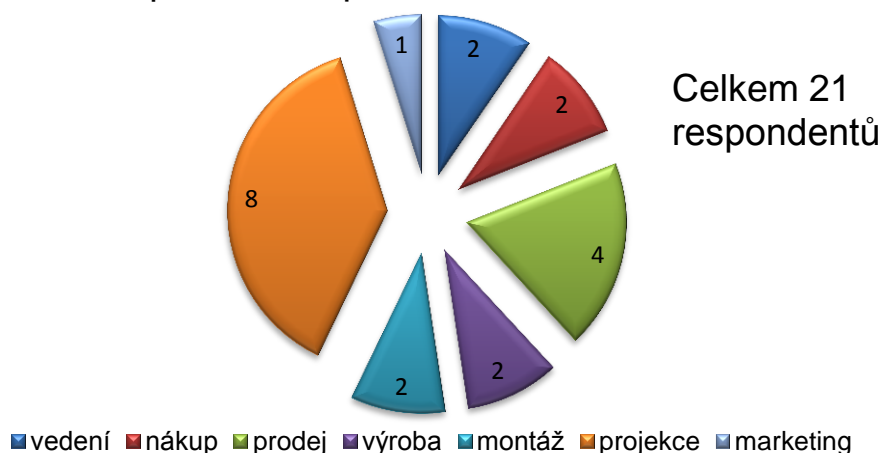
### 5.3. Zájmové skupiny projektu

Společnost ELK s.r.o. zastává na českém trhu poměrně výraznou část výstavby panelových dřevostaveb. Firma si zakládá na rychlosti výstavby svých montovaných domů. Hlavní používanou skladbou obvodové stěny je již výše představená difuzně uzavřená konstrukce, kde je kladen vysoký důraz na její kvalitní výrobu a montáž. Tuto konstrukci vedení společnosti i zaměstnanci prosazují i přes to, že u zákazníků vzniká stále větší poptávka po difuzně otevřených dřevostavbách.

Stále se zvyšující tlak a poptávka zákazníků mě přiměl i k tématu této diplomové práce. Vzhledem tomu, že mé sympatie k difuzně otevřené konstrukci jsou velké, zajímal mě i názor zaměstnanců společnosti ELK s.r.o. Co si i oni o difuzně otevřené konstrukci myslí a zda by ji podpořili při případném zavedení na trh.

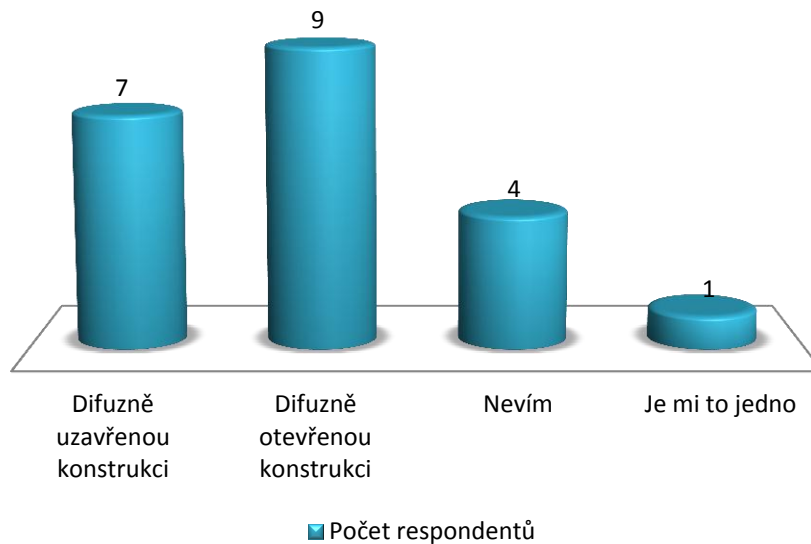
Abych zjistil podporu pro případné zavedení difuzně otevřené konstrukce ve společnosti ELK s.r.o., vytvořil jsem dotazník s šesti otázkami (příloha číslo 9). Celkem jsem požádal o vyplnění 21 zaměstnanců společnosti z různých profesí. Na grafu (Graf 8) je zobrazen počet dotazovaných respondentů v dané profesy.

Počet dotazovaných respondentů různých profesí ve společnosti ELK s.r.o.



Graf 8: Profese a počet dotazovaných respondentů  
(vlastní zdroj i data).

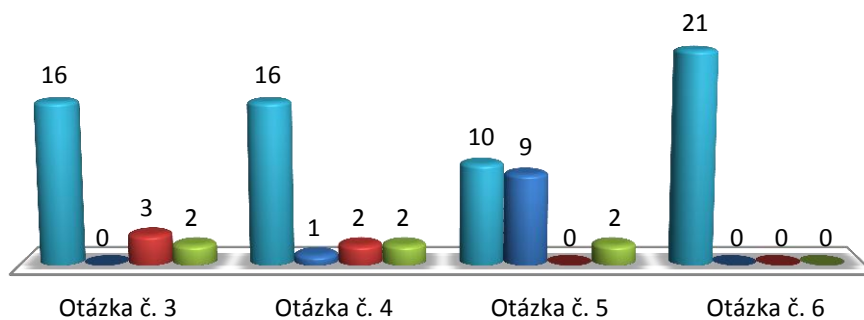
Všichni dotazovaní byli z firmy ELK s.r.o. a znali problematiku difuze vodních par, základní rozdíly mezi difuzně uzavřenou i otevřenou skladbou konstrukce dřevostavby. Zajímalo mě, jaký druh konstrukce zaměstnanci preferují. Na grafu (Graf 9) jsou proto zobrazeny odpovědi na tuto otázku.



Graf 9: Osobní preference dotazovaných respondentů  
(vlastní zdroj i data).

Vzhledem tomu, že ve společnosti ELK s.r.o. je používána pouze skladba difuzně uzavřené konstrukce, všichni ji otevřeně propagují, překvapil mě výsledek této položené otázky 9 lidí preferující difuzně otevřenou konstrukci, 7 difuzně uzavřenou, 4 byli nerozhodní a 1 nejevil o preferenci zájem.

V další části dotazníku byly již otázky pokládány se stejnými typy odpovědí. Vyhodnocení otázek číslo 3 – 6 je vyobrazeno na grafu (Graf 10).



- č. 3 - Zajímá Vás problematika difuzně uzavřených a otevřených konstrukcí?  
 č. 4 - Preferujete ekologické materiály ve stavbě?  
 č. 5 - Podpoříte difuzně otevřenou konstrukci jako dražší alternativu současné konstrukce difuzně uzavřené?  
 č. 6 - Podpoříte difuzně otevřenou konstrukci jako alternativu stejné cenové relace současné konstrukce difuzně uzavřené?

■ ANO ■ NE ■ Spíše ANO ■ Spíše NE

Graf 10: Vyhodnocení otázek 3 – 6 z dotazníku  
 (vlastní zdroj i data).

V otázce číslo 3 bylo zjištěno, že převážná většina zaměstnanců jeví zájem o danou problematiku a dokonce ani jeden nezvolil možnost absolutního nezájmu.

Dále mě zajímal názor na ekologické materiály ve stavbách, které jsou převážně používané v difuzně otevřených konstrukcích. Zde jsem byl také mile překvapený, 16 zaměstnanců přímo preferovalo ekologické materiály, další dva by je pravděpodobně také volili, 2 zaměstnanci by je spíše nevolili a jeden je nepreferoval.

Zajímavé bylo zjištění v zásadních otázkách číslo 5 a 6, které se týkaly ceny difuzně otevřené skladby konstrukce. V otázce číslo 5 mě zajímalo, zda by zaměstnanci podpořili difuzně otevřenou stěnu v případě dražší varianty než je v současnosti používaná difuzně uzavřená stěna. Pro podporu se vyslovilo 10 zaměstnanců, proti 9 a 2 by ji za těchto podmínek spíše nepodpořili. Oproti tomu v případě navržení konstrukce, která by byla cenově srovnatelná se současnou stěnou, by ji podpořilo všech 21 dotazovaných zaměstnanců.

Jednoznačným výsledkem dotazníku je tedy vyjádření podpory zaměstnanců ve společnosti ELK s.r.o. difuzně otevřené konstrukci, v případě cenové srovnatelnosti se

současně používanou difuzně uzavřenou konstrukcí. Podporu by vyjádřili i ekologickým materiálům.

#### **5.4. Posouzení autorizovanou osobou**

Na základě kalkulačního výpočtu, byl návrh stěny D vyhodnocen, jako cenově nejpříjatelnější varianta ze všech navrhovaných difuzně otevřených konstrukcí, proto byla právě tato varianta vybrána pro certifikaci autorizovanou osobou.

Certifikace výsledné konstrukce byla do práce zařazena z důvodu zjištění, zda stěna vyhovuje patřičným normám a bylo by ji tedy možné uvést na trh.

Pro certifikaci stěny jsem si vybral Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, s.p. (VVUD), který je oprávněný působit jako autorizovaná osoba č. 222 ve věci posuzování shody a certifikace výrobků uváděných na český trh a jako Oznamovaný subjekt č. 1393 je rovněž pověřen k posuzování výrobků uváděných na trh evropský.

Byly vytvořeny podklady pro certifikaci stěny návrhu D, které jsou uvedeny v příloze číslo 10 jako Žádost o výkon činnosti autorizované osoby. Na základě této žádosti byla stěna autorizovanou osobou vyhodnocena. Na základě vytvořených podkladů VVUD zaslalo Vyjádření k vhodnosti konstrukce pro certifikaci, které je uvedeno v příloze číslo 11.

Výsledkem vyjádření autorizované osoby bylo, že takovouto konstrukci je možné certifikovat, a používat ji tedy pro výstavbu rodinných domů.

## 6. Závěr

Práce hodnotí navržené difuzně otevřené konstrukce dřevostaveb, u kterých se zaměřuje na problematiku použitých materiálů, prostup tepla, difuzi vodní páry a akumulaci tepla. Taxuje také ekonomickou stránku navržených variant, což je pro praxi neopomenutelný faktor. Nejlépe hodnocená obvodová stěna má sloužit jako alternativa ke konkrétní difuzně uzavřené konstrukci používané ve společnosti ELK s.r.o. Ta prošla stejným výzkumem z důvodu možného porovnání.

Posouzení materiálů, z nichž byly stěny navrženy, se soustředilo na výrobní surovinu z hlediska ekologie. Návrhy byly hodnoceny podle počtu použitých organických materiálů ve skladbě konstrukce. Z tohoto pohledu vyšly nejlépe návrhy stěn A a B, kde byly v obou variantách ve skladbě konstrukce použity 4 vrstvy přírodních materiálů.

Dalším požadavkem bylo zachování tepelně izolačních vlastností, jako u stěny ELK. Výpočet v softwaru Teplo 2010 prokázal, že všechny návrhy splňují doporučené hodnoty součinitele prostu pro pasivní domy dle ČSN 73 0540-2: 2011. U nejlepšího návrhu stěny B stanovil výpočet hodnotu  $0,121 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Návrh stěny C uspěl nejlépe v umožnění průchodu vodních par konstrukcí, kdy za modelový rok nedošlo v konstrukci k žádné kondenzaci. Ve výpočtu bylo záměrně simulováno porušení parotěsných vrstev, což mělo navodit stav, kdy ve výrobě či na montáži není tato vrstva dokonale utěsněna. U všech navrhovaných konstrukcí během modelového roku došlo v případě velmi malé kondenzace vody k jejímu odpaření. U návrhu A a D navíc docházelo ke kondenzaci pouze ve vrstvě fasádního zateplovacího systému, kde vlhkost neohrozí nosnou konstrukci. Na základě norem ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 17388 byly v případě narušení parotěsné vrstvy navrhované konstrukce A, C a D bezpečné. Podle přísnější normy ČSN 73 0540 nevyhověl pouze návrh stěny B.

Bylo prokázáno, že difuzně otevřené varianty vykazují lepší akumulaci tepla díky používání přírodních materiálů pro tepelné izolace. Ty mají vyšší hodnoty měrné tepelné kapacity a vyšší objemové hmotnosti. To určily výpočty, kde u stěny A s největším množstvím dřevovláknité izolace, byla akumulace tepla nejlepší.

Kalkulace stanovila, jako ekonomicky nejvýhodnější variantu návrh stěny D. U tohoto typu se povedlo dosáhnout nejnižší ceny díky omezení počtu vrstev ve skladbě.

Takto se povedlo dosáhnout cenově přijatelné difuzně otevřené konstrukce i přesto, že se cena nepřiblížila stěně ELK. Kalkulace tedy zjišťuje, že používání přírodních materiálů stěny prodražuje a z tohoto důvodu jsou difuzně otevřené konstrukce dražší než konstrukce difuzně uzavřené.

Dotazník, který byl rozeslán 21 zaměstnancům společnosti ELK s.r.o. zkoumal, zda má ve firmě nový návrh konstrukce podporu. Celých 100 % dotazovaných zaměstnanců se vyjádřilo pozitivně k podpoře difuzně otevřené konstrukci za předpokladu, že bude stejné cenové relace, jako současná používaná difuzně uzavřená obvodová stěna. V případě dražší varianty by podporu nově navržené stěně vyjádřilo pouze 10 zaměstnanců. 16 zaměstnanců pak vyjádřilo podporu ekologickým materiálům ve skladbě obvodové stěny.

Nejlevnější varianta návrhu D byla vybrána pro posouzení Výzkumným a vývojovým ústavem dřevařským v Praze, což mělo prokázat, zda by bylo možné konstrukci certifikovat z důvodu teoretického uvedení na trh. Práce proto zahrnuje příslušné podklady, na jejichž základě bylo certifikovanou osobou rozhodnuto, že takovouto konstrukci je možné certifikovat a použít ji pro výstavbu rodinných domů.

Dosažené výsledky jsou velice důležité a uspokojivé, protože zvolený návrh stěny D je možné uplatnit v praxi, což zaručuje certifikovaná osoba poskytnutým vyjádřením. Výsledky budou předány společnosti ELK s.r.o., která může výsledný návrh stěny D použít jako alternativu k současně používané difuzně uzavřené konstrukci.

## 7. Seznam literatury a použitých zdrojů

### 7.1. Literatura

- BÖTTCHER, Detlef. *Erhaltung und Umbau historischer Tragwerke: Holz- und Steinkonstruktionen*. Berlin: Ernst & Sohn, 2000. 399 s. ISBN 978-3-43301-774-6
- DOLSKÝ, Miroslav. *Panelové konstrukční systémy domů na bázi dřeva*. Zvolen: TUZVO, Drevárska fakulta. 2012. Bakalářská práce.
- GUNSSER, Christoph. *Einfamilienhäuser*. Stuttgart: Deutsche Verlags - Anstalt, 1997. 159 s. ISBN 34-210-3151-7.
- HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Dům ze dřeva*. Brno: ERA Group, 2005. Stavíme. Stavba, 99 s. ISBN 80-7366-008-3
- HOLGER, Schopbach, Helmhart NEUENHAGEN, Petra MARPE und koll. *Grundwissen moderner Holzbau: Praxis Handbuch für den Zimmerer*. Köln: BRUDERVERLAG Albert Bruder GmbH & Co. KG, 2014. 424 s. ISBN 978-3-87104-177-8
- HUDEC, Mojmir. 2008. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. 108 s. ISBN 978-80-247-2555-0
- KOLB, Josef. *Dřevostavby: Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada, 2008. 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
- KREJČÍ, Eva. *Role dobrovolných hasičů v životě vesnické komunity na příkladě obcí Bohuslávky, Oprostovice, Radoslavice a Týn nad Bečvou*. Brno: Masarykova universita, Filozofická fakulta. 2012. Diplomová práce.
- KRŇANSKÝ, Jan. *Difuzně otevřené konstrukce dřevostaveb*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. 2008. 22 s.
- LENOCH, Josef a František KALOUSEK. *Ekonomická analýza dřevostaveb: Economic analysis of wood structures: recenzovaná monografie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. 142 s. ISBN 978-80-7375-473-0.



- LENZE, Wolfgang. *Fachwerkhäuser restaurieren – sanieren – modernisieren: Material Verfahren für eine dauerhafte Instandsetzung*. München: Fraunhofer IRB Verlag, 2012. 260 s. ISBN-13: 978-3-8167-8949-9.
- NAGY, Eugen. *Nízkoenergetický ekologický dům*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2002. 289 s. ISBN 80-889-0574-5.
- PFEIFER, Günter, Antje LIEBERS und Holger REINERS. *Der neue Holzbau: Aktuelle Architektur, Alle Holzbausysteme, Neue Technologien*. München: Callwey, 1998. 253 s. ISBN 3-7667-1281-0
- SCHULZE, Horst. *Holzbau: Wände – Decken – Dächer – Konstruktionen – Bauphysik - Holzschutz*. Stuttgart: Taubner B. G. GmbH, 2005. 552 s. ISBN 978-3-519-25258-0.
- SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. 352 s. ISBN 978-80-247-2995-4
- ŠÁLA, Jiří, Lubomír KEIM, Zbyněk SVOBODA a Jan TYWONJAK. *Tepelná ochrana budov: Komentář k ČSN73 0540*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 292 s. ISBN 978-80-87093-30-6
- ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT, a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: Konstrukce, ochrana a údržba*. 2. čes. vyd. Bratislava: Jaga, 2009. 196 s. ISBN 978-80-8076-080-9.
- VEVERKA, Jiří, Zdeňka HAVÍŘOVÁ, Miroslav JINDRÁ a kol. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.
- ZAHRADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK. *Moderní dřevostavby*. Brno: Era, 2007. 21. století. 155 s. ISBN 978-80-7366-109-0.
- ZAHRADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK. *Moderní dřevostavby*. 2. vyd. Brno: C. Press, 2011. 21. století. 155 s. ISBN 978-80-251-3568-6.

## 7.2. Elektronické zdroje

- 123RF. *Vector - Prehistoric huts of wood and reeds, hand drawing*. [Online]. [cit. 2014-03-02]. Dostupné z www: [http://www.123rf.com/photo\\_7442924\\_prehistoric-huts-of-wood-and-reeds-hand-drawing.html](http://www.123rf.com/photo_7442924_prehistoric-huts-of-wood-and-reeds-hand-drawing.html)
- AKASTAV. *Maloobchodní ceník*. [Online]. 2013. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z www: [http://www.akastav.cz/UserFiles/File/steico/STEICO%20cenik%20od%201\\_7\\_2013.pdf](http://www.akastav.cz/UserFiles/File/steico/STEICO%20cenik%20od%201_7_2013.pdf)
- AND. *Provozní náklady domu*. [Online]. [cit. 2014-02-02]. Dostupné z www: <http://www.nasdum.cz/novy-dum-krok-za-krokem/provozni-naklady-domu>
- CAPAROL. *Ceník 2010*. [Online]. 2010. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z www: [http://www.caparol.cz/Portals/\\_cz/upload/Prospekty/Cen%C3%ADk\\_CZ\\_2010.pdf](http://www.caparol.cz/Portals/_cz/upload/Prospekty/Cen%C3%ADk_CZ_2010.pdf)
- CAPAROL. *Technická informace: Capatect Carbopor: Strukturované omítky*. [Online]. 2013. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z www: [http://www.caparol.cz/Portals/\\_cz/upload/IMPProdukte/pictureCache/caparol\\_cz/ti/119592/Capatect\\_Carbopor\\_TI\\_CZ.pdf](http://www.caparol.cz/Portals/_cz/upload/IMPProdukte/pictureCache/caparol_cz/ti/119592/Capatect_Carbopor_TI_CZ.pdf)
- CIUR. *Technické vlastnosti izolace CLIMATIZER PLUS*. [Online]. 2009. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z www: <http://www.climatizer.cz/laik/zobrazit/co-je-climatizer-plus>
- ČVUT. *H-x diagram*, In Index of/images/podklady/22. [Online]. 2013. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z www: <http://tzb.fsv.cvut.cz/images/podklady/22/hx.gif>
- DEKTRADE. *Stavební materiály: Ceník DEK 2013*. [Online]. 2013. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z www: [http://dektrade.cz/data/docs/pl/cenik\\_CZ\\_2013.pdf](http://dektrade.cz/data/docs/pl/cenik_CZ_2013.pdf)
- DEKWOOD. *Steico – dřevovláknité izolace*. [Online]. 2012. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z www: <http://dekwood.cz/produkty/steico-drevovlaknite-izolace-68>

- DŘEVOPORTÁL. *Marshal – CZ – Český výrobce technologií pro dřevostavby*. [Online]. [cit. 2014-03-23] Dostupné z www: <http://www.drevoportal.cz/clanky/advertorial-profispecial/marshal-cz-cesky-vyrobce-technologie-pro-drevostavby>
- FACTPLUS. *Technický list*. [Online]. 2012. [cit. 2014-02-19] Dostupné z www: <<http://factplus.cz/UserFiles/files/technicke-listy/263614655ki-techlistipb037.pdf>>
- HOLYDAYPACIFIC. *Zajímavosti z historie dřevostaveb: Náhled do historie dřevostaveb*: [Online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z www: <http://www.holidaypacific.cz/historie-drevostaveb-u-nas>
- ISOCELL. *OMEGA Protivětrná fólie*. [Online]. 2012. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z www: <[http://www.isocell.at/uploads/media/PDBL\\_OMEGA\\_Winddichtung\\_CZ\\_01.pdf](http://www.isocell.at/uploads/media/PDBL_OMEGA_Winddichtung_CZ_01.pdf)>
- ISOVER. *Isover DOMO: Minerální izolace ze skelných vláken*. [Online]. 2012. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z www: <<http://www.isover.cz/data/files/domo-11-cz.pdf>>
- ISOVER. *Isover EPS 70S: Stabilizované desky z pěnového polystyrenu* [Online]. 2011. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z www: <<http://www.isover.cz/data/files/eps-70s-251-cz.pdf>>
- KALINOVSKÝ, Zdeněk. *Dřevostavby: Vývoj dřevěných staveb na našem území: Doba předslovanská*. [Online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z www: <http://home.tiscali.cz/drevostavby/historie2.html>
- KNAUF. *K 811 Vidiwall* [Online]. 2009. [cit. 2014-02-11] Dostupné z www: <[http://www.knauf.cz/wpimages/other/doc4/41\\_K811\\_Vidiwall.pdf](http://www.knauf.cz/wpimages/other/doc4/41_K811_Vidiwall.pdf)>
- KRATOCHVÍL, Vít. *Historie dřevostaveb*. [Online]. Nedatováno. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z www: <<http://uloz.to/xe9krBb/historie-drevostaveb-pptx>>
- KRONOSPAN. *OSB Superfinishco*. [Online]. [cit. 2014-02-08] Dostupné z www:

<[http://www.kronospan.cz/upload/stavba/catalogues/osb\\_superfinish\\_eco/katalog\\_osb\\_eco\\_cz\\_03\\_2009.pdf](http://www.kronospan.cz/upload/stavba/catalogues/osb_superfinish_eco/katalog_osb_eco_cz_03_2009.pdf)>

- LIŠKA, Luděk. *Historie panelových dřevostaveb*. In Tepelná ochrana budov. [Online]. 2012 [cit. 2014-02-10] Dostupné z www: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8545-historie-panelovych-drevostaveb>
- MTA. *Ceníky*. [Online]. 2013. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z www: <http://www.mta.cz/ceniky/>
- MTA. *Technické informace*. [Online]. 2005. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z www: <<http://www.mta.cz/site/assets/files/1024/sterling-osb-technicke-informace.pdf>>
- SIEMENS. *H-x diagram: Konstrukce a použití*. [Online]. Nedatováno. 2000. [cit. 2014-03-03]. Dostupné z www: <[http://homen.vsb.cz/~gal04/Zdenek%20GALDA/VETRANI%20A%20KLIMATIZACE%20I%20\(P+K\)/CZ\\_h-x%20chart%20-%20\(by%20SIEMENS\).pdf](http://homen.vsb.cz/~gal04/Zdenek%20GALDA/VETRANI%20A%20KLIMATIZACE%20I%20(P+K)/CZ_h-x%20chart%20-%20(by%20SIEMENS).pdf)>
- SLANINA, Petr. *Parozábrany v plochých střechách*. [Online]. 2004. [cit. 2014-03-22] Dostupné z www: <<http://www.slanina.cz/publikace/>>
- SVĚT DŘEVOSTAVBY. *Historie dřevostaveb*. [Online]. [cit. 2014-03-22] Dostupné z www: <http://www.svet-drevostavby.cz/cs/Drevostavby/o-drevostavbach/Histirie-drevostaveb/?PHPSESSID=e9bd3ff87e59286a387a3b25b95a3360>
- TZU. *Co je to certifikace výrobku*. [Online]. 2013. [cit. 2014-01-08] Dostupné z www: <<http://www.tzu.cz/co-je-to-certifikace-vyrobku-CZ12269>>
- PÝCHA, Adam. *Historie společnosti RD Rýmařov - není okál jako Okal*. In uspornedomy.cz: dřevostavby na klíč do měsíce. [Online]. 2013 [cit. 2014-02-15] Dostupné z www: <<http://www.uspornedomy.cz/magazin/historie-spolecnosti-rd-rymarov-neni-okal-jako-okal-36>>
- MÜLLER, Stanislav. *Dřevostavby a certifikace*. In Dřevo & Stavby. [Online]. 2009. [cit. 2014-10-01] Dostupné z www:

<<http://www.drevoportal.cz/clanky/clanky-redakce-drevoportalu/drevostavby-a-certifikace>>

- UNMZ. *Charakteristika úřadu*. [online]. 2012 [cit. 2014-01-17] Dostupné z www: <<http://www.unmz.cz/urad/o-uradu>.>
- VAPIS. *Tepelná akumulace*. [Online]. 2012 [cit. 2014-02-10] Dostupné z www: <http://www.vapis-sh.cz/pro-projektanty/stavebne-fyzikalni-vlastnosti/tepelna-ochrana-akumulace/soucinitel-tepelne-vodivosti/tepelna-akumulace.html>
- VYSKOČILOVÁ, Šárka. *Celkové náklady pořízení stavby: propočet, ceny za projektové práce a inženýrskou činnost*. [Online databáze]. 2009 [cit. 2014-01-10] Dostupné z www: <<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&ved=0CEMQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.otazky.over.cz%2F25p.doc&ei=ytUUU7nvD6iL7AbRmoAw&usg=AFQjCNGChDGFaR2Yx062Q2zU5uDG5pn3PA&sig2=JXaxsVhAYX-YwTigv7kmTg>>

### 7.3. Normy

- ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.
- ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 60 s.
- ČSN EN ISO 13788. *Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody*. Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2013. 56 s.
- ČSN 49 0600-1. *Ochrana dřeva – Základní ustanovení – Část 1: Chemická ochrana*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 20 s.
- ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 28 s.

#### **7.4. Software**

- Microsoft Office 2010, Microsoft Corporation – MS Word, MS Excel
- Teplo 2010, KCAD, Svoboda software – program je určen pro základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry.
- Sema Soft, Sema GmbH – software pro projektování dřevostaveb.

## 8. Přílohy

### Seznam příloh

Příloha č. 1: H-x diagram podle Molliera

Příloha č. 2: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N$

Příloha č. 3: Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny ELK při kvalitním zapracování parozábrany

Příloha č. 4: Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny ELK při nekvalitním zapracování parozábrany

Příloha č. 5: Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu A při kvalitním zapracování parozábrany

Příloha č. 6: Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu B při kvalitním zapracování parozábrany

Příloha č. 7: Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu C při kvalitním zapracování parozábrany

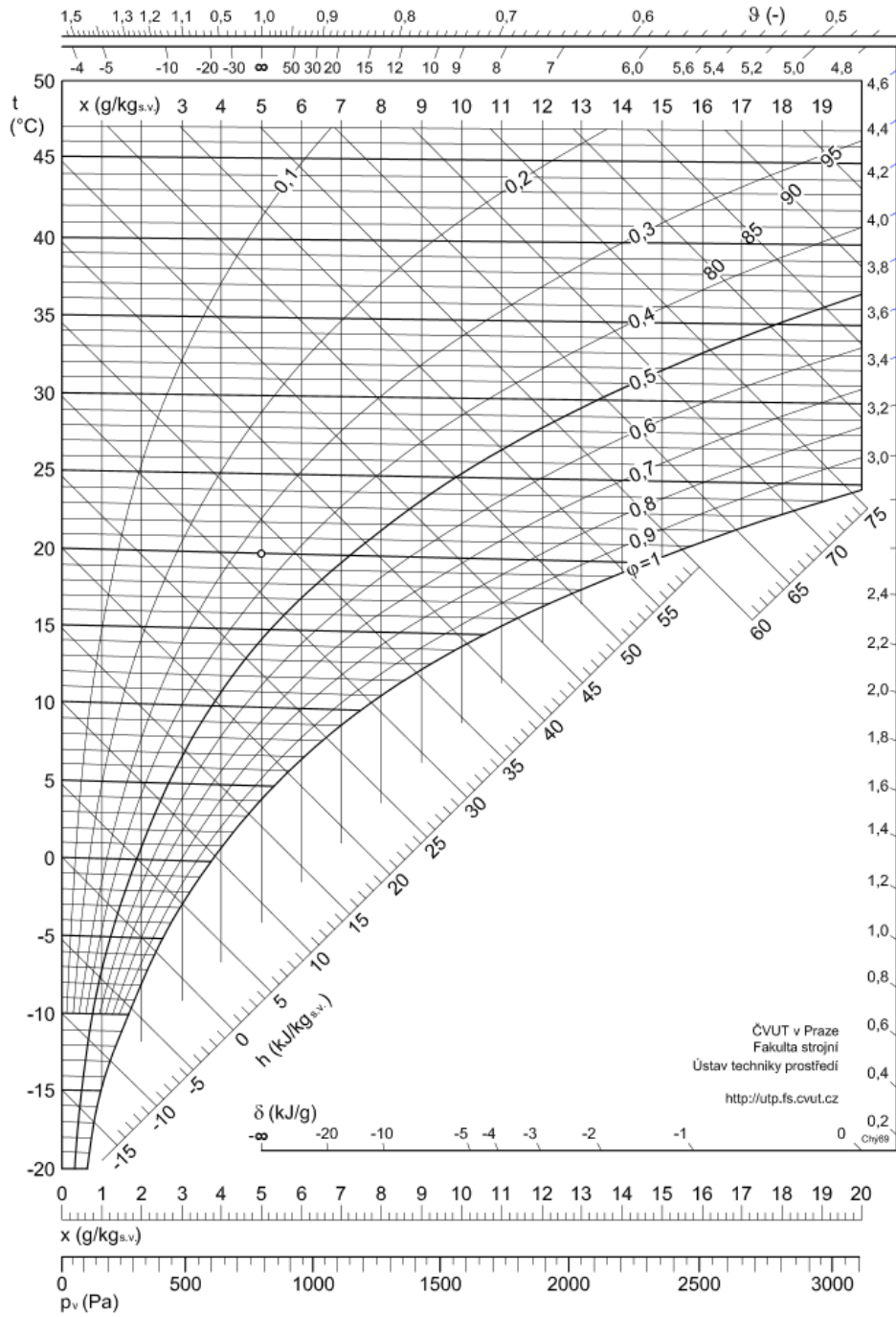
Příloha č. 8: Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu D při kvalitním zapracování parozábrany

Příloha č. 9: Dotazník

Příloha č. 10: Žádost o výkon činnosti autorizované osoby

Příloha č. 11: Vyjádření k vhodnosti konstrukce pro certifikaci

**Příloha č. 1:** H-x diagram podle Molliera





**Příloha č. 2:** Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N$

Popis konstrukce	Typ konstrukce	Požadované hodnoty $U_N$	Doporučené hodnoty $U_N$	Součinitel typu konstrukce	Činitel teplotní redukce
		[W/(m <sup>2</sup> .K)]	[W/(m <sup>2</sup> .K)]	$e_2$ [-]	$b_1$ [-]
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně Podlaha nad venkovním prostorem Strop pod nevytápěnou půdou se střechou bez tepelné izolace Podlaha a stěna s vytápěním	lehká	<b>0,24</b>	<b>0,16</b>	0,8	1,25
	těžká	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	0,8	1,00
Stěna venkovní Střecha strmá se sklonem nad 45°	lehká	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	1,0	1,25
	těžká	<b>0,38</b>	<b>0,25</b>	1,0	1,00
Podlaha a stěna přilehlá k zemině (s výjimkou podle poznámky 2) Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		<b>0,60</b>	<b>0,40</b>	0,8	0,49
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru		<b>0,75</b>	<b>0,50</b>	0,8	0,40
Stěna mezi sousedními budovami Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně		<b>1,05</b>	<b>0,70</b>	0,8	0,29
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně		<b>1,30</b>	<b>0,90</b>	1,0	0,29
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		<b>2,2</b>	<b>1,45</b>	0,8	0,14
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		<b>2,7</b>	<b>1,80</b>	1,0	0,14
Okno a jiná výplň otvoru podle 4.6, z vytápěného prostoru (včetně rámu, který má nejvýše 2,0 W/(m <sup>2</sup> .K))	nová	<b>1,80</b>	<b>1,20</b>	5,5	1,15
	upravená	<b>2,0</b>	<b>1,35</b>	6,0	1,15
Dveře, vrata a jiná výplň otvoru podle 4.6, z částečně vytápěného nebo nevytápěného prostoru vytápěné budovy (včetně rámu)		<b>3,5</b>	<b>2,3</b>	6,0	0,66

**Příloha č. 3:** Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny ELK  
při nezohlednění výrobního faktoru

## ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

**Teplo 2010**

Název úlohy : **ELK**  
Zpracovatel : Mirek  
Zakázka :  
Datum : 15.3.2014

### **KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :**

Typ hodnocené konstrukce : Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

### **Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Sádrokarton	0.0180	0.2200	1060.0	750.0	9.0	0.0000
2	PE folie	0.0001	0.3500	1470.0	900.0	144000.0	0.0000
3	Isover Domo	0.2000	0.0560	1000.3	52.0	1.0	0.0000
4	Knauf Vidiwall	0.0150	0.3200	1100.0	1150.0	21.0	0.0000
5	Isover EPS 70F	0.1000	0.0390	1270.0	18.0	40.0	0.0000
6	Capatect Carbo	0.0050	0.8700	1050.0	1565.0	5.0	0.0000

Výpočet bude proveden s uvažováním redistribuce vlhkosti.

### **Doplňená skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	Směrnice K	u <sub>23/80</sub> [%]	W <sub>c</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	W <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Redistribuce
1	Sádrokarton	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
2	PE folie	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
3	Isover Domo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
4	Knauf Vidiwall	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
5	Isover EPS 70F	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
6	Capatect Carbo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO

### **Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R<sub>si</sub> : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R<sub>si</sub> : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R<sub>se</sub> : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R<sub>se</sub> : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota T<sub>e</sub> : -13.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T<sub>ai</sub> : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R<sub>He</sub> : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R<sub>Hi</sub> : 60.0 %

Měsíc	Délka[dny]	T <sub>ai</sub> [C]	R <sub>Hi</sub> [%]	P <sub>i</sub> [Pa]	T <sub>e</sub> [C]	R <sub>He</sub> [%]	P <sub>e</sub> [Pa]
1	31	21.0	43.1	1071.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	21.0	45.1	1121.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.1	1270.1	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	56.9	1414.3	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	61.8	1536.1	15.9	72.0	1300.1

7	31	21.0	64.3	1598.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	63.5	1578.3	17.0	70.9	1373.1
9	30	21.0	57.8	1436.7	13.3	74.1	1131.2
10	31	21.0	51.7	1285.0	8.3	77.1	843.7
11	30	21.0	47.6	1183.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %  
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

### **TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

#### **Teplný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Teplný odpor konstrukce R : 6.27 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.155 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub> : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 1.0E+0011 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* : 150.5

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* : 7.5 h

#### **Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.70 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.962

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>			
1	11.3	0.586	8.0	0.444	20.1	0.962	45.5
2	12.0	0.589	8.7	0.436	20.2	0.962	47.5
3	12.8	0.547	9.5	0.360	20.3	0.962	49.8
4	13.9	0.466	10.5	0.211	20.5	0.962	52.7
5	15.6	0.346	12.1	-----	20.7	0.962	58.0
6	16.9	0.189	13.4	-----	20.8	0.962	62.5
7	17.5	-----	14.0	-----	20.9	0.962	64.8
8	17.3	0.073	13.8	-----	20.8	0.962	64.1
9	15.8	0.327	12.4	-----	20.7	0.962	58.9
10	14.1	0.455	10.7	0.188	20.5	0.962	53.3
11	12.8	0.548	9.5	0.362	20.3	0.962	49.7
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.2	0.962	48.0

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,  
 T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

#### **Difúze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:** **(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)**

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.7	19.3	19.3	0.8	0.5	-12.8	-12.8
p [Pa]:	1491	1480	481	467	445	168	166
p,sat [Pa]:	2295	2235	2235	646	634	202	202

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G<sub>d</sub> : 1.387E-0008 kg/m<sup>2</sup>s

#### **Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

### Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2010**

**Příloha č. 4:** Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny ELK při kvalitním zpracování parozábrany

## ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

**Teplo 2010**

Název úlohy : **Stěna ELK**  
Zpracovatel : Miroslav Dolský  
Zakázka :  
Datum : 15.3.2014

### **KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :**

Typ hodnocené konstrukce : Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

### **Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Sádrokarton	0.0180	0.2200	1060.0	750.0	9.0	0.0000
2	PE folie	0.0001	0.3500	1470.0	900.0	10000.0	0.0000
3	Isover Domo	0.2000	0.0560	1000.3	52.0	1.0	0.0000
4	Knauf Vidiwall	0.0150	0.3200	1100.0	1150.0	21.0	0.0000
5	Isover EPS 70F	0.1000	0.0390	1270.0	18.0	40.0	0.0000
6	Capatect Carbo	0.0050	0.8700	1050.0	1565.0	5.0	0.0000

Výpočet bude proveden s uvažováním redistribuce vlhkosti.

### **Doplňná skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	Směrnice K	u,23/80 [%]	W,c[kg/m <sup>2</sup> ]	W,m[kg/m <sup>2</sup> ]	Redistribuce
1	Sádrokarton	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
2	PE folie	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
3	Isover Domo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
4	Knauf Vidiwall	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
5	Isover EPS 70F	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
6	Capatect Carbo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO

### **Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -13.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	21.0	43.1	1071.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	21.0	45.1	1121.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.1	1270.1	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	56.9	1414.3	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	61.8	1536.1	15.9	72.0	1300.1

7	31	21.0	64.3	1598.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	63.5	1578.3	17.0	70.9	1373.1
9	30	21.0	57.8	1436.7	13.3	74.1	1131.2
10	31	21.0	51.7	1285.0	8.3	77.1	843.7
11	30	21.0	47.6	1183.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %  
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

### **TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

#### **Teplný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Teplný odpor konstrukce R : 6.27 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.155 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub> : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 3.0E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N<sub>y</sub>\* : 150.5

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* : 7.5 h

#### **Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.70 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.962

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>			
1	11.3	0.586	8.0	0.444	20.1	0.962	45.5
2	12.0	0.589	8.7	0.436	20.2	0.962	47.5
3	12.8	0.547	9.5	0.360	20.3	0.962	49.8
4	13.9	0.466	10.5	0.211	20.5	0.962	52.7
5	15.6	0.346	12.1	-----	20.7	0.962	58.0
6	16.9	0.189	13.4	-----	20.8	0.962	62.5
7	17.5	-----	14.0	-----	20.9	0.962	64.8
8	17.3	0.073	13.8	-----	20.8	0.962	64.1
9	15.8	0.327	12.4	-----	20.7	0.962	58.9
10	14.1	0.455	10.7	0.188	20.5	0.962	53.3
11	12.8	0.548	9.5	0.362	20.3	0.962	49.7
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.2	0.962	48.0

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,  
 T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

#### **Difúze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:** (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.7	19.3	19.3	0.8	0.5	-12.8	-12.8
p [Pa]:	1367	1333	1122	1080	1014	172	166
p <sub>sat</sub> [Pa]:	2295	2235	2235	646	634	202	202

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0.2181	0.2181	8.186E-0008
2	0.2534	0.2899	4.622E-0009

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.265 kg/m<sup>2</sup>,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 2.077 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2010**

**Příloha č. 5:** Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu A  
při kvalitním zpracování parozábrany

## ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

**Teplo 2010**

Název úlohy : **Návrh stěny A**  
Zpracovatel : Miroslav Dolský  
Zakázka :  
Datum : 15.3.2014

### **KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :**

Typ hodnocené konstrukce : Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

### **Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Sádrokarton	0.0125	0.2200	1060.0	750.0	9.0	0.0000
2	Sterling OSB3	0.0150	0.1300	1700.0	630.0	50.0	0.0000
3	Steico flex	0.2000	0.0520	2139.4	79.1	1.5	0.0000
4	Steico protect	0.1000	0.0510	2100.0	250.0	5.0	0.0000
5	Capatect Carbo	0.0050	0.8700	1050.0	1565.0	5.0	0.0000

Výpočet bude proveden s uvažováním redistribuce vlhkosti.

### **Doplňná skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	Směrnice K	u <sub>23/80</sub> [%]	W <sub>c</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	W <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Redistribuce
1	Sádrokarton	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
2	Sterling OSB3	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
3	Steico flex	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
4	Steico protect	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
5	Capatect Carbo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO

### **Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -13.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH<sub>i</sub> : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	21.0	43.1	1071.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	21.0	45.1	1121.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.1	1270.1	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	56.9	1414.3	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	61.8	1536.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	21.0	64.3	1598.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	63.5	1578.3	17.0	70.9	1373.1



9	30	21.0	57.8	1436.7	13.3	74.1	1131.2
10	31	21.0	51.7	1285.0	8.3	77.1	843.7
11	30	21.0	47.6	1183.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %  
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.  
 Počet hodnocených let : 1

### **TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

#### **Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R : 5.98 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.162 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m<sup>2</sup>K  
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difuzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 9.0E+0009 m/s  
 Teplotní útlum konstrukce Ny\* : 308.1  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* : 14.8 h

#### **Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.65 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.960

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m	T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m			
1	11.3	0.586	8.0	0.444	20.1	0.960	45.6
2	12.0	0.589	8.7	0.436	20.1	0.960	47.6
3	12.8	0.547	9.5	0.360	20.3	0.960	49.9
4	13.9	0.466	10.5	0.211	20.5	0.960	52.8
5	15.6	0.346	12.1	-----	20.7	0.960	58.1
6	16.9	0.189	13.4	-----	20.8	0.960	62.6
7	17.5	-----	14.0	-----	20.9	0.960	64.9
8	17.3	0.073	13.8	-----	20.8	0.960	64.1
9	15.8	0.327	12.4	-----	20.7	0.960	58.9
10	14.1	0.455	10.7	0.188	20.5	0.960	53.3
11	12.8	0.548	9.5	0.362	20.3	0.960	49.8
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.1	0.960	48.1

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,  
 T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

#### **Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:** **(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)**

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	e
tepl.[C]:	19.6	19.3	18.7	-2.1	-12.8	-12.8
p [Pa]:	1367	1287	753	540	184	166
p,sat [Pa]:	2286	2243	2157	512	202	202

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny [m]		Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
	levá	pravá	
1	0.2514	0.2834	3.375E-0008

#### **Celoroční bilance vlhkosti:**

Množství zkondenzované vodní páry M<sub>c,a</sub>: 0.019 kg/m<sup>2</sup>,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.708 kg/m<sup>2</sup>,rok  
Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2010**

**Příloha č. 6:** Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu B  
při kvalitním zpracování parozábrany

## ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

**Teplo 2010**

Název úlohy : **Návrh stěny B**  
Zpracovatel : Miroslav Dolský  
Zakázka :  
Datum : 15.3.2014

### **KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :**

Typ hodnocené konstrukce : Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

### **Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Sádrokarton	0.0125	0.2200	1060.0	750.0	9.0	0.0000
2	Sterling OSB3	0.0150	0.1300	1700.0	630.0	50.0	0.0000
3	Climatizer Plu	0.3000	0.0400	2015.0	62.2	1.2	0.0000
4	Steico univers	0.0210	0.0520	2100.0	270.0	5.0	0.0000
5	Capatect Carbo	0.0050	0.8700	1050.0	1565.0	5.0	0.0000

Výpočet bude proveden s uvažováním redistribuce vlhkosti.

### **Doplňná skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	Směrnice K	u <sub>23/80</sub> [%]	W <sub>c</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	W <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Redistribuce
1	Sádrokarton	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
2	Sterling OSB3	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
3	Climatizer Plu	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
4	Steico univers	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
5	Capatect Carbo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO

### **Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -13.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH<sub>i</sub> : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	21.0	43.1	1071.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	21.0	45.1	1121.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.1	1270.1	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	56.9	1414.3	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	61.8	1536.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	21.0	64.3	1598.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	63.5	1578.3	17.0	70.9	1373.1

9	30	21.0	57.8	1436.7	13.3	74.1	1131.2
10	31	21.0	51.7	1285.0	8.3	77.1	843.7
11	30	21.0	47.6	1183.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %  
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.  
 Počet hodnocených let : 1

### **TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

#### **Teplný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R : 8.08 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.121 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.14 / 0.17 / 0.22 / 0.32 W/m<sup>2</sup>K  
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difuzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 7.2E+0009 m/s  
 Teplotní útlum konstrukce Ny\* : 238.8  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* : 12.4 h

#### **Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.98 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.970

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m	T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m			
1	11.3	0.586	8.0	0.444	20.3	0.970	45.0
2	12.0	0.589	8.7	0.436	20.3	0.970	47.0
3	12.8	0.547	9.5	0.360	20.5	0.970	49.3
4	13.9	0.466	10.5	0.211	20.6	0.970	52.4
5	15.6	0.346	12.1	-----	20.8	0.970	57.8
6	16.9	0.189	13.4	-----	20.8	0.970	62.4
7	17.5	-----	14.0	-----	20.9	0.970	64.7
8	17.3	0.073	13.8	-----	20.9	0.970	64.0
9	15.8	0.327	12.4	-----	20.8	0.970	58.6
10	14.1	0.455	10.7	0.188	20.6	0.970	52.9
11	12.8	0.548	9.5	0.362	20.5	0.970	49.2
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.4	0.970	47.4

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,  
 T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

#### **Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:** **(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)**

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	e
tepl.[C]:	20.0	19.8	19.3	-11.2	-12.8	-12.8
p [Pa]:	1367	1267	601	282	188	166
p,sat [Pa]:	2335	2302	2236	233	201	201

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny [m]		Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
	levá	pravá	
1	0.3275	0.3275	8.204E-0008

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry M<sub>c,a</sub>: 0.088 kg/m<sup>2</sup>,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{v,a}$ : 15.836 kg/m<sup>2</sup>,rok  
Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2010**

**Příloha č. 7:** Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu C  
při kvalitním zpracování parozábrany

## ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2010

Název úlohy : **Návrh stěny C**  
Zpracovatel : Miroslav Dolský  
Zakázka :  
Datum : 15.3.2014

### **KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :**

Typ hodnocené konstrukce : Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

### **Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Sádrokarton	0.0125	0.2200	1060.0	750.0	9.0	0.0000
2	Sterling OSB3	0.0180	0.1300	1700.0	630.0	50.0	0.0000
3	Knauf Factplus	0.3000	0.0410	850.1	62.2	1.0	0.0000
4	Folie OMEGA	0.0003	0.1700	1000.0	48.0	60.0	0.0000

Výpočet bude proveden s uvažováním redistribuce vlhkosti.

### **Doplňná skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	Směrnice K	u <sub>23/80</sub> [%]	W <sub>c</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	W <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Redistribuce
1	Sádrokarton	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
2	Sterling OSB3	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
3	Knauf Factplus	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
4	Folie OMEGA	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO

### **Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R<sub>si</sub> : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R<sub>si</sub> : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R<sub>se</sub> : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R<sub>se</sub> : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota T<sub>e</sub> : -13.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T<sub>ai</sub> : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R<sub>He</sub> : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R<sub>Hi</sub> : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	T <sub>ai</sub> [C]	R <sub>Hi</sub> [%]	P <sub>i</sub> [Pa]	T <sub>e</sub> [C]	R <sub>He</sub> [%]	P <sub>e</sub> [Pa]
1	31	21.0	43.1	1071.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	21.0	45.1	1121.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.1	1270.1	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	56.9	1414.3	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	61.8	1536.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	21.0	64.3	1598.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	63.5	1578.3	17.0	70.9	1373.1
9	30	21.0	57.8	1436.7	13.3	74.1	1131.2
10	31	21.0	51.7	1285.0	8.3	77.1	843.7

11	30	21.0	47.6	1183.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

### **TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

#### **Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Teplotní odpor konstrukce R : 7.51 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.130 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.15 / 0.18 / 0.23 / 0.33 W/m<sup>2</sup>K  
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 7.1E+0009 m/s  
 Teplotní útlum konstrukce Ny\* : 92.4  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* : 6.8 h

#### **Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.91 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.968

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m	T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m	T <sub>si</sub> [C]			
1	11.3	0.586	8.0	0.444	20.3	0.968	45.1
2	12.0	0.589	8.7	0.436	20.3	0.968	47.1
3	12.8	0.547	9.5	0.360	20.4	0.968	49.4
4	13.9	0.466	10.5	0.211	20.6	0.968	52.5
5	15.6	0.346	12.1	-----	20.7	0.968	57.8
6	16.9	0.189	13.4	-----	20.8	0.968	62.4
7	17.5	-----	14.0	-----	20.9	0.968	64.7
8	17.3	0.073	13.8	-----	20.9	0.968	64.0
9	15.8	0.327	12.4	-----	20.8	0.968	58.7
10	14.1	0.455	10.7	0.188	20.6	0.968	53.0
11	12.8	0.548	9.5	0.362	20.4	0.968	49.3
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.3	0.968	47.6

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,  
 T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

#### **Difúze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:** (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
tepl.[C]:	19.9	19.7	19.1	-12.8	-12.8
p [Pa]:	1367	1266	453	183	166
p <sub>sat</sub> [Pa]:	2324	2289	2204	201	201

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G<sub>d</sub> : 1.805E-0007 kg/m<sup>2</sup>s

#### **Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

##### Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2010**



**Příloha č. 8:** Základní komplexní tepelně technické posouzení stěny návrhu D  
při kvalitním zpracování parozábrany

## ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

**Teplo 2010**

Název úlohy : **Návrh stěny D**  
Zpracovatel : Miroslav Dolský  
Zakázka :  
Datum : 15.3.2014

### **KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :**

Typ hodnocené konstrukce : Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

### **Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Fermacell Vapo	0.0150	0.3200	1100.0	1150.0	50.0	0.0000
2	Isover Domo	0.2000	0.0560	1000.3	52.0	1.0	0.0000
3	Steico protect	0.1000	0.0510	2100.0	250.0	5.0	0.0000
4	Capatect Carbo	0.0050	0.8700	1050.0	1565.0	5.0	0.0000

Výpočet bude proveden s uvažováním redistribuce vlhkosti.

### **Doplňná skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	Směrnice K	u <sub>23/80</sub> [%]	W <sub>c</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	W <sub>m</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Redistribuce
1	Fermacell Vapo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
2	Isover Domo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
3	Steico protect	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO
4	Capatect Carbo	0.00	0.00	0.00	0.00	ANO

### **Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R<sub>si</sub> : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R<sub>si</sub> : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R<sub>se</sub> : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R<sub>se</sub> : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota T<sub>e</sub> : -13.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T<sub>ai</sub> : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R<sub>He</sub> : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R<sub>Hi</sub> : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	T <sub>ai</sub> [C]	R <sub>Hi</sub> [%]	P <sub>i</sub> [Pa]	T <sub>e</sub> [C]	R <sub>He</sub> [%]	P <sub>e</sub> [Pa]
1	31	21.0	43.1	1071.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	21.0	45.1	1121.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.1	1270.1	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	56.9	1414.3	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	61.8	1536.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	21.0	64.3	1598.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	63.5	1578.3	17.0	70.9	1373.1
9	30	21.0	57.8	1436.7	13.3	74.1	1131.2
10	31	21.0	51.7	1285.0	8.3	77.1	843.7

11	30	21.0	47.6	1183.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

### **TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

#### **Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Teplotní odpor konstrukce R : 5.58 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.174 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.19 / 0.22 / 0.27 / 0.37 W/m<sup>2</sup>K  
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou příbližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 7.8E+0009 m/s  
 Teplotní útlum konstrukce Ny\* : 143.7  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* : 10.2 h

#### **Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.55 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.957

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m	T <sub>si</sub> ,m[C]	f <sub>Rsi</sub> ,m				
1	11.3	0.586	8.0	0.444	20.0	0.957	45.8
2	12.0	0.589	8.7	0.436	20.1	0.957	47.8
3	12.8	0.547	9.5	0.360	20.2	0.957	50.0
4	13.9	0.466	10.5	0.211	20.4	0.957	52.9
5	15.6	0.346	12.1	-----	20.6	0.957	58.1
6	16.9	0.189	13.4	-----	20.8	0.957	62.6
7	17.5	-----	14.0	-----	20.9	0.957	64.9
8	17.3	0.073	13.8	-----	20.8	0.957	64.2
9	15.8	0.327	12.4	-----	20.7	0.957	59.0
10	14.1	0.455	10.7	0.188	20.5	0.957	53.4
11	12.8	0.548	9.5	0.362	20.2	0.957	49.9
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.1	0.957	48.3

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,  
 T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

#### **Difúze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:** (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
tepl.[C]:	19.6	19.3	-1.4	-12.7	-12.8
p [Pa]:	1367	756	594	187	166
p <sub>sat</sub> [Pa]:	2273	2235	544	203	202

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0.2342	0.2726	5.219E-0008

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry M<sub>c,a</sub>: 0.042 kg/m<sup>2</sup>,rok  
 Množství vypařitelné vodní páry M<sub>ev,a</sub>: 9.464 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

*Roční cyklus č. 1*

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2010**

## **Příloha č. 9:** Vzor dotazníku

### **Dotazník**

Vážená paní, vážený pane,

student České zemědělské univerzity v Praze provádí průzkum, jehož cílem je zjistit, jakou podporu má mezi zaměstnanci společnosti ELK s.r.o. zavedení difuzně otevřené konstrukce dřevostavby, která by mohla být alternativou k současně používané difuzně uzavřené konstrukci „Fertighausu“ (montovaného domu). Tento dotazník je součástí diplomové práce a předpokládá objektivní a pravdivé posouzení. Je anonymní. Správnou odpověď označte červeně (příklad správné odpovědi a): **a) vedení**, b) nákup, c) prodej, ...)! Nic nedoplňujte a nemažte!

1) **Profese:**

- a) vedení
- b) nákup
- c) prodej
- d) výroba
- e) montáž
- f) projekce
- g) marketing

2) **Preferujete:**

- a) Difuzně uzavřenou konstrukci
- b) Difuzně otevřenou konstrukci
- c) Nevím
- d) Je mi to jedno

3) **Zajímá Vás problematika difuzně uzavřených a otevřených konstrukcí dřevostaveb?:**

- a) ANO
- b) NE
- c) Spíše ANO
- d) Spíše NE

4) **Preferujete ve stavbě ekologické materiály?:**

- a) ANO
- b) NE
- c) Spíše ANO
- d) Spíše NE


5) **Podpořil(a) byste zavedení difuzně otevřené konstrukce jako alternativu k současně používané konstrukci v případě, že by to byla dražší varianta?:**

- a) ANO
- b) NE
- c) Spíše ANO
- d) Spíše NE

6) **Podpořil(a) byste zavedení difuzně otevřené konstrukce jako alternativu k současně používané konstrukci v případě, že by to byla varianta stejné cenové relace?:**

- a) ANO
- b) NE
- c) Spíše ANO
- d) Spíše NE

**Příloha č. 10:** Žádost o výkon činnosti autorizované osoby

		<b>ŽÁDOST O VÝKON ČINNOSTI AUTORIZOVANÉ OSOBY</b>	
<b>1. ŽADATEL:</b> Bo, Miroslav Dolský, Díl. <small>(obč./jmeno nebo jmeno a příjmení /jt. osoby)</small>			
<b>2. Obec:</b> Myslétice		<b>3. IČ:</b>	<b>4. DIČ:</b>
<b>5. Ulice, č.:</b> 38		<b>6. PSČ:</b> 688 68	<b>7. Stát:</b> ČR
<b>8. tel.:</b>	<b>9. fax:</b>	<b>10. email:</b> m.dolsky@centrum.cz	
<b>11. VÝROBEK:</b> Difuzně otevřená obvodová stěna panelové dřevostavby			
<small>Uveďte přesný název podle technického dokumentu, podle kterého výrobek vyrábíte vč. všech upřesnění (podtyp, provedení, šouřlivou třídu apod.)</small>			
<b>31. Výrobek</b>	<input type="checkbox"/> je / <input type="checkbox"/> není	<input type="checkbox"/> opakovaně vyráběn (sériová výroba)	<input type="checkbox"/> (nehodící se šitímě nebo smatka)
<b>12. ŽADATEL OBJEDNÁVÁ U AUTORIZOVANÉ OSOBY (AO) VÝKON PODLE PARAGRAFU 4.:</b>			
<small>Popis jednotlivých paragrafů je uveden níže. Jedná se o paragrafy 3, 5, 7 a 9 obzadně v nařízení vlády 163/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů.</small>			
<b>33. Byly již na výrobku prováděny zkoušky?</b>	<input type="checkbox"/> ano / <input type="checkbox"/> ne	<small>(pokud ano, přiložte kopii zkušebního protokolu)</small>	
<b>34. Byl již certifikován systém jakosti?</b>	<input type="checkbox"/> ano / <input type="checkbox"/> ne	<small>(pokud ano, přiložte kopii certifikátu, záznamů a posouzení)</small>	

K žádosti přiložte podrobný popis výrobku a vymezení způsobu jeho použití ve stavbě, projektové a výrobní výkresy výrobku, popřípadě jinou dokumentaci konkretizující vlastnosti výrobku vzhledem k jeho použití, technologický postup pro jeho výrobu a pro použití ve stavbě, údaje o technických vlastnostech výrobku vztahující se k základním požadavkům nařízení vlády 163/2002 ve znění NV 312/2005 v rozsahu §4.

Popis vybraných paragrafů z NV 163/2002, ve znění NV 312/2005 je uveden na druhé straně tohoto listu.

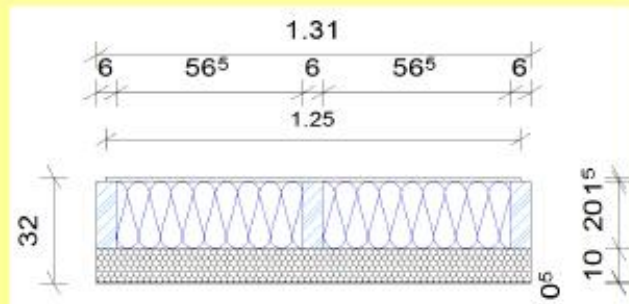
Zasláním této žádosti, žadatel zároveň prohlašuje, že nepožádal jinou AO o výkon výše jmenovaných činností k uvedenému výrobku.

**POPIS VYBRANÝCH PARAGRAFŮ Z NV 163/2002, VE ZNĚNÍ NV 312/2005:**

- §3 -Vystavení Stavebního technického osvědčení (STO) osvědčující technické vlastnosti výrobku dle §3.**  
V případě, že výrobce nebo dovozce hodlá uvést na trh výrobek, přičemž požadavky na tento výrobek nejsou plně obsazeny v určených normách nebo pokud takové normy nebo technické předpisy nekonkretizují z hlediska určeného použití výrobku ve stavbě základní požadavky, nebo pokud nehodlá výrobce nebo dovozce postupovat dle určených norem;
- §5 -Certifikace výrobku dle § 5, kde AO přezkoumá podklady předložené výrobcem nebo dovozcem, provede příslušné zkoušky, ověří zda výrobek odpovídá technickým požadavkům, technickým předpisům nebo STO a provede posouzení systému řízení výroby (při dovozu - způsob kontroly výrobků dovozcem). AO vystaví certifikát výrobku a minimálně jedenkrát za rok provádí dohled nad řádným fungováním systému řízení výroby nebo nad řádným fungováním kontroly výrobků u dovozce. Provádí se odběr vzorků a jejich zkoušení a kontrola dodržení stanovených požadavků u výrobků;**
- §5a -Certifikace bez zkoušek při dohledu dle § 5a, kde AO přezkoumá podklady předložené výrobcem nebo dovozcem, provede příslušné zkoušky, ověří zda výrobek odpovídá technickým požadavkům, technickým předpisům nebo STO a provede posouzení systému řízení výroby (při dovozu - způsob kontroly výrobků dovozcem). AO vystaví certifikát výrobku a minimálně jedenkrát za rok provádí dohled nad řádným fungováním systému řízení výroby nebo nad řádným fungováním kontroly výrobků u dovozce a kontrolu dodržení stanovených požadavků u výrobků;**
- §6 -Posouzení systému řízení výroby dle §6, kde AO provede posouzení systému řízení výroby a vydá o tom doklad. Nejméně jedenkrát za 12 měsíců provádí autorizovaná osoba dohled nad systémem řízení výroby;**
- §7 -Ověření shody dle §7, kde AO provede zkoušky vzorku výrobku a posoudí, zda typ výrobku odpovídá určeným normám, technickým předpisům nebo stavebnímu technickému osvědčení. O výsledcích zkoušek a jejich posouzení vystaví protokol s uvedením doby platnosti.;**
- §9 -Posouzení shody při kusové výrobě dle §9. Autorizovaná osoba vydá na základě posouzení technické dokumentace „Stavební technické osvědčení“ podle §3 upravené pro kusovou výrobu tak, aby posouzení shody podle tohoto STO zahrnovalo pouze takové provedení výrobku, které dovolí jeho určené použití při vzniku minimálně přijatelného rizika ve vztahu k určenému použití výrobku.**

Zasláním této žádosti, žadatel zároveň prohlašuje, že nepožádal jinou AO o výkon výše jmenovaných činností k uvedenému výrobku.

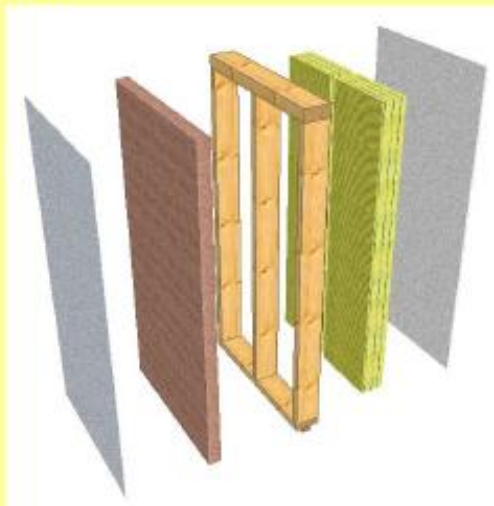
Podklad pro certifikaci navrhované difúzně otevřené  
obvodové stěny panelové dřevostavby





### Popis konstrukce

Jedná se o panelovou difuzně otevřenou dřevostavbu. Skladba stěny je směrem z interiéru navržena takto:



1) Speciálně kaširovaná sádrovláknitá deska Fermacell Vapor (deska+parobrzda). Je navržena speciálně pro difuzně otevřené konstrukce od firmy Xella. Její rozměry jsou 15 x 1249 x 2750 mm (tl. x š x v). Působí jako deska konstrukční a ztužující na přenesení vodorovných sil a také jako deska parobrzdná.

Technické parametry desky jsou:

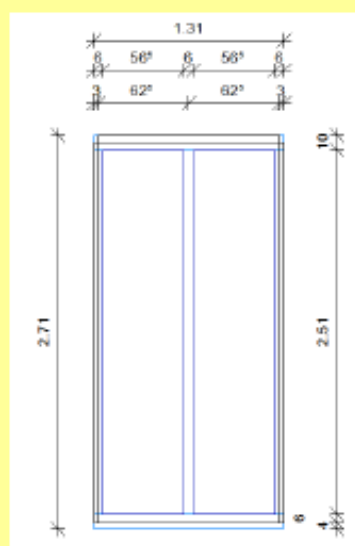
- Objemová hmotnost 1150 kg/m<sup>3</sup>
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  0,32 W/mK
- Měrná tepelná kapacita c 1,1 kJ/kgK
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$  240

2) Další vrstvou je nosná dřevěná konstrukce z KVH profilů. Rám se skládá ze sloupků a spodní pásnice o rozměrech 60 x 200 mm (tl. x š.) a horní pásnice 100 x 200 mm. Délky se různí podle potřeby délky panelů a v případě výměn stavebních otvorů. Na spodní pásnici je připevněna impregnovaná montážní lať o rozměrech 70 x 40 mm. Je od spodní pásnice oddělena hydroizolační fólií.

3) Nosná dřevěná rámová konstrukce je vyplněna tepelnou izolací ISOVER Domo 20, která je vyrobena ze skelné plsti. Izolace má rozměry 3500 x 1200 x 200 mm (l x š. x tl.)

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $15 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,043 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $0,84 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $1$



4) Dřevovláknitá izolace Steico protect je další vrstvou tvořící fasádní zateplovací systém. Deska je voděodolná, difuzně otevřená, ekologická oboustranně broušená s perem a drážkou. Rozměry desky jsou  $1325 \times 615 \times 100 \text{ mm}$  (l x š. x tl.).

Technické parametry izolace jsou:

- Objemová hmotnost  $265 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$   $0,046 \text{ W/mK}$
- Měrná tepelná kapacita  $c$   $2,1 \text{ kJ/kgK}$
- Součinitel difuzního odporu  $\mu$   $5$

### 5) Fasáda

Dekoratívni omítka se strukturou „zmo na zmo,“ určenou pro povrchovou úpravu fasád. Je nanášena na vrstvu stěrky s výztužnou sítí a penetrací. Použita jako krycí vrstva kontaktního zateplovacího systému. Omítka je piněna uhlíkovými vlákny, má vysokou difuzní schopnost, je vodoodpudivá. Celá vrstva má tloušťku 5 mm. Difuze vodních par  $\mu$  je 5 a nasákavost  $0,005 \text{ kg/m}^2 \cdot 24 \text{ h}^{0,5}$ .

### Vymezení způsobu použití

Difuzně otevřená obvodová stěna panelové dřevostavby bude sloužit výhradně jako nosná svislá obálka budovy rodinných a bytových domů. Jedná se o celostěnový systém, což znamená, že na potřebnou délku stěny je vyroben jeden nedělený panel do délky max. 13,5 m, což je maximální délka pro přepravu. Má být použita jako varianta k současné používané difuzně uzavřené obvodové stěně ve firmě ELK s.r.o. (pouze návrh pro studijní účely). Do stěn budou ve výrobě osazována okna, terasové dveře a vchodové dveře. Má plnit funkce ochranné, tepelné izolační, zvukoizolační, nosné a statické, ekologické a estetické. Na detaily napojení (rohové, stěna strop, stěna podlaha, stěna a interiérová příčka aj.) není práce zaměřena, proto jsou opomenuty a nejsou součástí žádosti.

### Technologický postup výroby

Používané stroje a zařízení:

Kapovací pila, formátovací pila, hřebíkovací a sponkovací pistole, pracovní stoly, jeřáb a manipulační vozík, manipulační ramena, boxy nebo kolejnice pro skladování panelů, dlabací frézy, srovnávací frézy, protahovací frézy, pokosové pily, vysokozdvíhový vozík.

Postup výroby:

- Zakrácení a nařezání KVH profilů na potřebné délky.
- Zhotovení rámu na základním stole. Pásnice se sloupky jsou k sobě přisazeny natupo a chyceny vlnovcemi. Dále přišroubovány skrz pásnice vruty. Osazena hydroizolační fólie a montážní lať.
- Po zaměření uhlopříček a přesných rozměrů je osazena deska Fermacell Vapor. Deska je přistřílena hřebíky. Tlak a rozestup a dimenzi hřebíků stanoví dodavatel desek. Pokud jsou v panelu projektovány elektroinstalační krabice, vyvrtá se vykrůžovačkou přesný otvor a krabice se osadí. Kvůli nepruvzdušnosti musí být použita vzduchotěsná krabice, která musí být utěsněna i ve spoji deska – krabice.
- Překlopení panelu na druhý stůl. Vsazení izolace do prostoru mezi sloupky. Izolace je přisponkovaná k nosné konstrukci, aby při přepravě a manipulaci nedošlo k jejímu sedání.
- Dále je osazena dřevovláknitá deska STEICO protect, která je kotvena sponkami přímo na nosný rám. Rozestup, tlak pistole a rozměr sponek opět podle stanov dodavatele desek. Desky na sebe dosedají na pero – drážku.



## ŽÁDOST O VÝKON ČINNOSTI AUTORIZOVANÉ OSOBY

- Panel se manipulačním stolem přesune do sektoru osazení oken a dveří, kde je již ve svislé poloze. Jsou osazena okna a dveře a spáry v napojení utěsněny. Osazení desek Fermacell Vapor na špalety oken z interiérové strany.
- Po osazení oken se panel manipulačním stolem přesune do sektoru nanesení fasády. Panel je opět ve vodorovné poloze. Okna jsou zakryta fólií, aby se při nánosu neznečistila a nepoškodila. Dojde k nanesení stěrky s výztuží a finální omítka bude provedena až na montáži.
- Následně se panel přesune opět pomocí manipulačního stolu do boxů, kde ve svislé poloze vytvrzuje a vysychá stěrka.
- V závěrečné fázi dojde ke kontrole a nakládce na kamion.

### Technologický postup montáže na stavbě

- Na stavbě jsou k sobě přisazeny a přikotveny interiérové stěny a až následně se osazují stěny obvodové. Jsou k sobě kotveny v rozích z interiérové strany šrouby s podložkami minimálně ve třech výškových pozicích (určí statika). Stěna, která je kotvena k druhé nemá v rohu interiérovou desku, aby mohla být pohodlně přišroubována. Spoj je nutné vzduchotěsně přelepit a následně může být osazena rohová deska Fermacell Vapor.
- Po pevném spojení stěn mezi sebou a spojení s interiérovými stěnami jsou rohy doizolovány i v rozích z exteriérové strany.
- Dojde k přikotvení stěn k základové desce z interiérové strany pomocí úhelníků a kotev do betonu.
- V poslední fázi dojde k nanesení omítky na připravený podklad z výroby.

#### Přílohy:

- Rozložení tlaku a vodní páry v navrhované konstrukci
- Základní komplexní tepelné technické posouzení navrhované konstrukce



Výzkumný ústav  
Timber Institute

## ŽÁDOST O VÝKON ČINNOSTI AUTORIZOVANÉ OSOBY

Mysletice, 02. 03. 2014

místo a datum

DOLSKÝ MIROSLAV

podpis žadatele

Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, s. p.  
Autorizovaná osoba č. 222  
Na Florenci 7-9, 111 71 Praha 1

email: [ao@vvud.cz](mailto:ao@vvud.cz)  
web: [www.vvud.cz](http://www.vvud.cz)

telefon: +420 221 773 718  
+420 221 773 730  
fax: +420 224 222 844

	Datum odeslání	Datum registrace	Registrace číslo	Registrace
NEVYPLŮJTE:				

**Příloha č. 11:** Vyjádření k vhodnosti konstrukce pro certifikaci



**Výzkumný a vývojový ústav dřevařský**

Bc. Miroslav Dolský, DiS  
Mysletice 39  
38859 Telč

Váš dopis zn.:  
ze dne: 2. 3. 2014  
Naše značka:  
Vyřizuje: Penc  
Datum: 2014-03-14

Věc: Vyjádření k vhodnosti konstrukce pro certifikaci

Vážený pane Dolský,

Po prostudování podkladů, které jste nám zaslal, Vám sděluji, že konstrukce je vhodná pro zabudování do rodinných domů a bylo by jí možné certifikovat. Přiložený výpočet součinitele prostupu tepla, nejnižší povrchové teploty a bilance vlhkosti splňuje požadavky normy ČSN 73 0540:2011. Předpokládaná statická zatížení by měli být bez problémů přeneseny vcelku masivními sloupky profilu 200/60 mm. Požární odolnost konstrukce by měla dosahovat přibližně 30 minut pro parametry RE a I, případně W. Sádrovláknitá deska dle výpočtů dle ČSN EN 1995-1-2 sama splní minimálně 21 minut a konstrukce na odhořívání minimálně 8 minut.

Takovouto konstrukci by tedy bylo možné certifikovat.

S pozdravem

Ing. Jan Penc, DiS  
auditor pro dřevěné konstrukce  
VVÚD Praha, s.p.

Výzkumný a vývojový ústav dřevařský,  
Praha, s.p.  
Na Florenci 7-9, 111 71 Praha 1  
IČO: 00014125; DIČ: CZ00014125  
(60)

