

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra technologie staveb



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

***Multikriteriální analýza modifikovaných roubených staveb***

*Multi-criterial analysis of modify log cabin*

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, provoz a realizace staveb

Vedoucí práce: **Ing. Václav Pospíchal, Ph.D.**

**Jan Bittner**

Praha 2016



## Zadání



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma „Multikriteriální analýza modifikovaných roubených staveb“ vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího bakalářské práce. A uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských státních závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této bakalářské práce, či její části.

V Praze dne .....

.....

Jan Bittner



## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Václavu Pospíchalovi Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce za rady, připomínky a pomoc při vypracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat pražské pobočce ATELIER DEK za zapůjčení licence do programu WUFI a DEKSOFT. Zvláště pak pracovníkům ATELIER DEK Ing. Martinu Černoorskému a Ing. Janu Staškovi za ochotu kdykoliv pomoci, či poradit s jakýmkoliv problémem. Neméně důležité je poděkování mé rodině a kamarádům, kteří mi dopomohli k dokončení této bakalářské práce.



## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem nových skladeb stěn roubených staveb, z materiálu obráběném na CNC strojích. Úvodní kapitoly jsou věnovány současným praktikám v oblasti výstavby roubených staveb. V další části je práce zaměřena na návrh nových skladeb, jejich tepelně technické posouzení a na šíření relativní vlhkosti uvnitř konstrukce v průběhu času. Dále se budou vybrané skladby posuzovat z ekonomicko technologického hlediska. Cílem této práce je nalézt vhodnou skladbu roubených staveb, která by odpovídala všem platným normám ČSN.

## **Klíčová slova**

Roubené stavby, součinitel prostupu tepla, faktor difuzního odporu, relativní vlhkost, šíření vlhkosti, dřevěné konstrukce, spory, podhoubí, klíčení spor, růst podhoubí



## **Abstract**

This bachelor thesis focuses on designing new masonry structure of log cabin, from material machined on CNC machines. The first chapters are dedicated to present good practice in the field of building new log cabins. In followings chapters is thesis focused on designing new masonry structure of log cabin, their thermo-technical analysis and on relative humidity propagation in construction according to time. Additionally, selected structure will be assessed by economic and technological terms. Key objective of this thesis is to find suitable compound of log cabins, which would meet all the requirements specified in Czech Technical Standard.

## **Key words**

Log cabins, heat transfer coefficient, diffusion resistance factor, relative humidity, relative humidity propagation, timber structures, spore, mycelium, spore germination, mycelium growth



## Seznam použitých zkratk a symbolů

ČSN – Česká technická norma

CNC – Computer Numerical Control (Číslicové řízení pomocí počítače)

CLT – Cross Laminated Timber (křížem lepené lamelové dřevo)

GLT – Glued Laminated Timber (lepené lamelové dřevo)

BSH – Brettschichtholz (lepené lamelové dřevo)

LIM – Lowest Isopleth Mould (nejnepříznivější křivka pro růst plísní)

XPS – Extrudovaný polystyren

EPS – Expandovaný polystyren

d - Tloušťka/vzdálenost vrstvy materiálu [m]

U - Součinitel prostupu tepla [ $W/m^2K$ ]

RT - Tepelný odpor konstrukce [ $m^2K/W$ ]

$R_{si}$  - Tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí [ $m^2K/W$ ]

$R_{se}$  - Tepelný odpor při přestupu tepla z vnějšího prostředí [ $m^2K/W$ ]

$\theta$  - Teplota [ $^{\circ}C$  nebo K]

$\theta_{ai}$  - Návrhová teplota vnitřního vzduchu [ $^{\circ}C$ ]

$\theta_e$  - Návrhová teplota venkovního vzduchu [ $^{\circ}C$ ]

$\theta_w$  - Teplota rosného bodu [ $^{\circ}C$ ]

$f_{Rsi}$  - Faktor vnitřního povrchu [-]

$f_{Rsi,cr}$  - Kritický faktor vnitřního povrchu [-]

$\lambda$  - Součinitel tepelné vodivosti [ $W/mK$ ]

q - Hustota tepelného toku [ $W/m^2$ ]

$\rho$  - Hustota [ $kg/m^3$ ]

m - Hmotnost [g]

$\Delta t$  - Rozdíl teplot [ $^{\circ}C$  nebo K]

w - Vlhkost [%]



## Význam pojmů

<sup>1)</sup> **Juta** – jutové textilní vlákno se získává z rostlin jutovníků. „Jutovníky jsou byliny s vláknitým stonkem vysokým 2 až 4 metry, obvykle jsou nerozvětvené nebo jen s několika málo postranními lodyhami.“ [1] Stonky juty se nejdříve zbavují dřeviny na lámacích strojích. Vlákna se pak kropí vodou, rybím tukem a petrolejem a zpracovávají na mnucím stroji.

<sup>2)</sup> „**Spora (výtrus)** je struktura sloužící k nepohlavnímu rozmnožování, adaptovaná k rozšiřování a přežití i v nepříznivých podmínkách i na dlouhou dobu. Spory jsou součástí životního cyklu mnoha bakterií, rostlin (např. kapradiny, mechy, ...), řas, hub a prvoků.“ [2]

<sup>3)</sup> „**Podhoubí (mycelium)** je shluk vzájemně propletených vláken, charakteristický zejména pro houby a některé bakterie. Vlákna mohou být rozdělena septy (přepážkami) na jednotlivé buňky, nebo tato septa chybějí a celé mycelium je tvořeno jednou buňkou. Mycelium pronikající půdou se nazývá mycelium bazální (vegetativní); část nad půdou je mycelium vzdušné nebo reproduktivní (tvoří-li spory).“ [3]





## Obsah

1	ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	11
2	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....	12
2.1	Návrh nových skladeb roubených stěn.....	12
2.2	Multikriteriální posouzení hodnocených skladeb.....	12
2.3	Validita teoretických výsledků s prakticky naměřenými výsledky .....	12
3	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	13
3.1	Legislativní požadavky na stavby .....	13
3.2	Historie a význam dřevostaveb .....	14
3.2.1	Výhody dřevostaveb.....	14
3.2.2	Nevýhody dřevostaveb.....	14
3.3	Konstrukční uspořádání masivních dřevěných staveb .....	15
3.3.1	Srubové stavby .....	15
3.3.2	Roubené stavby .....	18
3.3.3	Novodobé konstrukce .....	20
3.4	Konstrukční uspořádání masivních dřevěných staveb .....	22
3.4.1	Rostlé dřevo – kulatina.....	22
3.4.2	Rostlé dřevo – hranoly .....	22
3.4.3	Lepené lamelové dřevo – hranoly .....	22
3.4.4	Thermo-log.....	23
3.4.5	Holz100.....	24
4	ZÁKLADNÍ TEORIE K POSUZOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ .....	25
4.1	Tepelně vlhkostní charakteristiky .....	25
4.1.1	Součinitel prostupu tepla .....	25
4.1.2	Tepelný odpor konstrukce .....	26
4.1.3	Součinitel tepelné vodivosti .....	26
4.1.4	Šíření vlhkosti konstrukcí .....	28
5	PRAKTICKÁ ČÁST .....	29
5.1	Zadávaní hodnot do programu DEKSOFT.....	29
5.1.1	Okrajové podmínky .....	29
5.1.2	Korekce součinitele prostupu tepla $\Delta U$ .....	29
5.1.3	Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ) BSH profilů .....	30



5.1.4	Vyhodnocení výsledků z programu DEKSOFT .....	31
5.2	Výběr skladeb .....	34
5.2.1	Skladba S1 – Bez vzduchové mezery .....	36
5.2.2	Skladba S2 – S neprovětrávanou vzduchovou mezerou .....	38
5.2.3	Skladba S3 – Se silně provětrávanou vzduchovou mezerou .....	39
5.2.4	Skladba S4 – Smrk240 .....	40
5.2.5	Skladba S5 – Uherka100 .....	42
5.2.6	Skladba S6 – Uherka200 .....	43
5.2.7	Skladba S7 – Bez vzduchové mezery, bez parozábrany .....	45
5.3	Zadávaní hodnot do programu WUFI .....	47
5.4	Teplotně vlhkostní analýza.....	49
5.4.1	Podmínky pro růst spor a podhoubí .....	50
5.4.2	Vyhodnocení ohrožení skladeb dřevokaznými houbami a plísněmi.....	52
5.5	Porovnání výsledků s naměřenými hodnotami .....	56
5.6	Technologická a ekonomická analýza vybraných skladeb.....	57
5.7	Technologická a finanční analýza řešení ložných spár.....	59
6	ZÁVĚR.....	60
6.1	Zhodnocení vytýčených cílů .....	60
6.1.1	Návrh nových skladeb roubených stěn.....	60
6.1.2	Multikriteriální posouzení hodnocených skladeb .....	60
6.1.3	Validita teoretických výsledků s prakticky naměřenými výsledky .....	60
6.2	Přínos pro praxi.....	61
6.3	Možnosti dalšího postupu a vývoje.....	61
	Použité zdroje .....	62
	Seznam obrázků .....	64
	Seznam tabulek .....	65
	Seznam příloh .....	66
	Přílohy.....	67



# 1 ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Roubené stavby jsou již od nepaměti součástí naší venkovské architektury a stavitelství. Mají svůj typický raz a dotváří krajinu. Tato tradice vychází z místních podmínek a zejména z dostupnosti materiálu. V lokalitách kde převládaly skalnaté masivy se nejčastěji používal jako základní stavební materiál kámen, v místech rovinatých nepálená hlína a v oblastech s velkým výskytem lesů dřevo.

V zájmu širšího využití dřev ve stavebnictví u nás, je potřeba překopat zkreslené představy veřejnosti o dřevu jako o stavebním materiálu. Dřevostavby jsou u mnoha lidí spojovány s objekty sloužícími pouze k rekreačním účelům, nevhodným k trvalému bydlení. Je to zčásti způsobeno tradicí, kde obytný objekt byl hmotný na pevných nejčastěji kamenných nebo betonových základech. Dřevo u těchto staveb sloužilo jako materiál použitý na krov, okna a podlahy. Běžně bylo používáno pro doplňkové vnější konstrukce a stavby jako přístřešky, oplocení, kůlny apod.

S přihlédnutím k fyzikálně-statickým vlastnostem dřeva a ekologickým parametrům interiérového mikroklimatického komfortu se dřevo stává opět významným konstrukčním materiálem. Soudobé trendy dřevěného stavění mají jen málo společného s historickými stavebními systémy, dřívějšími chatami nebo se stavěním pro sociálně slabší vrstvy. Také se neomezují na obytné domy nebo halové konstrukce.

V současné době se kladou čím dál tím větší nároky na tepelně technické vlastnosti staveb, především pak na spotřebu energií. S tím je spojen především součinitel prostupu tepla  $U$  všech konstrukcí obálky budovy. Roubené stavby prováděné v klasické roubené technologii – tedy z masivních dřevěných prvků z jednoho kusu dřeva kladených na sebe, bez dodatečné tepelné izolace, nejsou schopny v rozumných tloušťkách splnit normový požadavek na součinitel prostupu tepla obvodovou stěnou. Proto je nezbytné pro další využívání tohoto systému najít řešení odpovídající stávajícím normovým a energetickým požadavkům.



## 2 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Je velmi obtížné splnit požadavek na součinitel prostupu tepla u tradičního systému roubených staveb z rostlého dřeva. Proto přistupujeme k variantám skladeb z lepeného lamelového dřeva a vnitřní tepelné izolace. Hlavním cílem této bakalářské práce je najít takovou skladbu stěny roubené stavby, aby splňovala současné tepelně technické požadavky dle platné normy ČSN a zároveň byla co nejméně technologicky a ekonomicky náročná. Konkrétní cíle bych definoval takto:

### 2.1 Návrh nových skladeb roubených stěn

Byly navrženy nové skladby roubených staveb s tendencí zachování přírodního roubeného vzhledu jak z interiéru, tak i z exteriéru. Krajní vrstvy byly navrhovány z BSH profilů, čímž zajistíme roubený vzhled z obou stran. V návrhu se přistupovalo pouze k materiálům, které jsou vyrobeny z přírodních vláken. Za tepelnou izolaci budou zvoleny materiály z konopných vláken, z vláken juta, nebo materiály na bázi dalších přírodních materiálů. Ve skladbách, kde byla použita parozábrana, se vybíraly takové parozábrany, která jsou na bázi zesílených papírových fólií, nebo na bázi minerálních materiálů.

Důraz na přírodní materiály byl kladen zejména kvůli předpokladu, že potenciální zákazník, který si bude chtít nechat postavit roubenou stavbu, nebude tolerovat ve své eko stavbě umělá a syntetická vlákna. Pokud by si potenciální zákazník ovšem přál použít i jiné materiály, není problém skladby upravit a posoudit.

### 2.2 Multikriteriální posouzení hodnocených skladeb

Všechny navržené skladby je nutno posoudit na součinitel prostupu tepla. Stěna roubených staveb je dle platné legislativy chápána jako stěna vnější těžká a musí proto splňovat požadovanou hodnotu na součinitel prostupu tepla  $U = 0,3$  [W/m<sup>2</sup>K].

U roubených staveb, jakožto u všech dřevěných prvků, je dle platné legislativy požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry  $M_c = 0,0$  [kg/m<sup>2</sup>a]. Při překročení této hodnoty dřevěné prvky ztrácejí svou únosnost a zvyšuje se riziko napadení dřevokaznými houbami, plísněmi a dřevokazným hmyzem.

Dále se budou posuzovat dvě skladby stěn, které ve své diplomové práci [4] navrhl Ing. Pavel Uherka. Tyto skladby jsou zkonstruovány v experimentální budově stavebnin DEK a probíhá na nich dlouhodobé měření teploty a vlhkosti.

Navržené skladby se budou dále posuzovat z hlediska technologické a cenové náročnosti.

### 2.3 Validita teoretických výsledků s prakticky naměřenými výsledky

Hlavním cílem této kapitoly bude porovnání výsledků získaných z teoretických modelů a výsledků z praktického měření vlhkosti a teploty na reálných zkušebních stěnách. Stěny se nacházejí v experimentální budově v Brně v areálu stavebnin DEK na ulici Pražákova. Jedná se o speciálně navrženou stavbu, uzpůsobenou pro měření všech sledovaných hodnot.



## 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V této kapitole se budeme věnovat současnému stavu dřevostaveb. Dřevostavby můžeme chápat jako roubené, či srubové stavby anebo jako stavby z rostlého dřeva. K této tématice bylo napsáno mnoho publikací. Použité zdroje jsou: [5], [6], [7], [8].

### 3.1 Legislativní požadavky na stavby

Tato bakalářská práce se zabývá především tepelně technickými požadavky a požadavky na kondenzaci vodní páry v dřevostavbách. Požadavky jsou odvozené od základních požadavků na bezpečnost a vlastnosti staveb uvedených ve vyhlášce č. 268/2009 SB., především je to pak §16 Úspora energie a tepelná ochrana:

#### **Mechanická odolnost a stabilita**

#### **Ochrana proti hluku a vibracím**

#### **Bezpečnost při provádění a užívání staveb**

#### **Požární odolnost**

#### **Ochrana zdraví osob, zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí**

#### **Úspora energie a tepelná ochrana**

- (1) Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, umělé osvětlení, popřípadě klimatizaci byla co nejnižší. Energetickou náročnost je třeba ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací a velikostí výplňí otvorů, použitými materiály a výrobky a systémy technického zařízení budov. Při návrhu stavby se musí respektovat klimatické podmínky lokality.
- (2) Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly dlouhodobě po dobu jejich užívání zaručeny požadavky na jejich tepelnou ochranu splňující:
  - a) tepelnou pohodu uživatelů,
  - b) požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov,
  - c) tepelně vlhkostní podmínky technologií podle různých účelů budov,
  - d) nízkou energetickou náročnost budov.
- (3) Požadavky na tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovými hodnotami.

Předmětnou normou pro tepelně technické vlastnosti budov je především norma ČSN 73 0540-2.



## 3.2 Historie a význam dřevostaveb

Dřevo patřilo od pradávna k nejrozšířenějšímu materiálu ve stavebnictví. Nejstarší prokazatelné stopy nás zavedou do starší a střední doby kamenné. Mezi první stavby s nosným systémem ze dřeva řadíme příbytky lovců a rybářů. V mladší době kamenné – neolitu – kdy se postupně přecházelo z lovu na zemědělství, chov dobytka a obecně usedlejší způsob života, se začínají masivně rozvíjet trvalejší stavby obydlí s delší životností. Technologie dřevostaveb se pochopitelně postupně vyvíjela. Od původních stěn z masivních kulatin a palisádových domů, přes hrázděné stavby až po dnešní dvouvrstvé roubení s vloženou tepelnou izolací.

Dřevostavby se v dnešní době vyskytují hlavně ve venkovské architektuře, zejména v podhorských a horských oblastech. O dřevostavby se v současné době zvedá zájem jak ve světě, tak i v České Republice. Největším lákadlem je vždy čisté a ekologické bydlení. Mnoho výzkumů v různých zemích ukazuje, že život v dřevostavbách přináší relaxaci, zpomaluje tepovou frekvenci a posiluje imunitní systém [9]. Nárůstu popularity také přispěl moderní systém výstavby dřevostaveb s dodatečnou tepelnou izolací. Tyto systémy ovšem nezachovávají klasický, přírodní ráz tradičních dřevostaveb. Z tohoto důvodu je dobré zabývat se dalším vývojem dřevostaveb pro udržení klasického vzhledu jak z interiéru, tak i z exteriéru.

### 3.2.1 Výhody dřevostaveb

Přírodní materiál, který nezatěžuje životní prostředí.

Nejlepší možná ochrana proti vysokofrekvenčnímu záření.

Vytváří příjemné klima v interiéru a působí dobře na lidskou psychiku.

Rychlost výstavby.

Nižší cena v porovnání se zděnými domy.

### 3.2.2 Nevýhody dřevostaveb

Možnost napadení dřevokaznými houbami, plísněmi a biologickými škůdci.

Dřevo je hořlavý materiál.

Nižší životnost oproti cihelným nebo kamenným stavbám.

Horší akustické vlastnosti.



### 3.3 Konstrukční uspořádání masivních dřevěných staveb

Tato bakalářská práce se zabývá primárně roubenými stavbami. V této kapitole budou popsány systémy dřevostaveb, které svou technologií, vizuálním vzezřením i podstatou odpovídají roubeným stavbám.

#### 3.3.1 Srubové stavby

Technologie srubových staveb se začala používat především v oblastech bohatých na jehličnaté lesy, jako například ve východní a střední Evropě a ve Skandinávii. Vstupní surovinou je surové, nevysušené, odkorněné dřevo. Při návrhu srubových staveb je proto nutné počítat s postupným sedáním a dotvarováním stavby. Do časového harmonogramu výstavby musí být proto zahrnuta technologická přestávka pro sednutí stavby. Systém srubových staveb spočívá v kladení jednotlivých vodorovných klád přímo na sebe. V rozích se spojují jednotlivé klády překřížením a příslušným tesařským spojem, tzv. dlabem. Klády jsou ze spodní strany opracovány tak, aby přesně kopírovali zakřivení horní hrany spodní klády. Nově vzniklá podélná drážka se dodatečně vyplní izolací. Nejčastěji se využívá ovčí rouno, nebo konopná izolace. V této drážce je zároveň prostor pro vytvoření výsušné trhliny, která v tomto místě nejméně ovlivňuje mechanické i tepelně technické vlastnosti.

##### 3.3.1.1 Kanadská technologie

Kanadská srubová technologie představuje typ srubové stavby, kterou si většina lidí představí pod pojmem srub, či roubenka. Tato technologie využívá celých, opracovaných a odkorněných kmenů. Zachování přirozených ohybů kmenů tak vytváří jedinečnost každé stavby. Průměr kladených klád se pohybuje v rozmezí 280mm – 500mm a jsou přiznané jak z interiéru, tak i z exteriéru. Absence mezer mezi kládami se dosahuje za použití speciálního značkovacího přípravku a izolace se umístí podél klády v izolačním kanálu. Tento způsob výstavby žádá velkou zručnost především v rohových spojkách, kde se upravují prvky s přesností na milimetr. V rozích je vytvořen tesařský spoj ve tvaru písmene „V“ [10].



Obr. 2 Příklad výstavby srubu kanadskou technologií



Obr. 1 Příčný řez kmenu používaného při kanadské technologii



### 3.3.1.2 Norská technologie

Norská technologie se od kanadské liší hlavně stylem opracování dřeva. Kulatiny se z vnitřní i vnější strany opracovávají tzv. prizmou (lafetou). Tím se docílí rovného povrchu na interiérové i exteriérové straně stěny. Norský způsob se vyznačuje použitím unikátního "norského spoje". Jednotlivé klády se do sebe při sedání a vysychání zaklíňují způsobem klín do klínu. Proti vybočení prizem ve stěnách a tím narušení rovnosti stěny srubu jsou jednotlivé klády propojeny ve svislém směru dřevěnými kolíky ze stejného materiálu jako jednotlivé trámy. Takto vytvořená skladba má v porovnání se srubem vytvořeným v kanadské technologii kratší dobu vyzrávání. [11]



Obr. 4 Příklad výstavby srubu norskou technologií



Obr. 3 Příčný řez kmenu používaného při norské technologii





### 3.3.1.3 Háková technologie

Tato technologie je kombinací norské a kanadské technologie. Kulatiny jsou seříznuté pouze z jedné strany. Tím je docíleno hladkého povrchu na interiérové straně a oblého vzhledu na venkovní straně. Zvenčí tak háková technologie připomíná kanadskou srubovou technologii. Občas se také hovoří o stěnových prvcích ve tvaru písmene „D“. V rozích jsou pak jednotlivé klády spojovány jako u kanadské technologie – sedlovým spojem ve tvaru písmene „V“ [12]



Obr. 5 Příklad výstavby srubu hákovou technologií



Obr. 6 Příčný řez kmenu používaného při hákové technologii



### 3.3.2 Roubené stavby

Roubené stavby jsou v naší krajině nejtýpčtější dřevostavbou. Od srubových staveb se liší tím, že se stěny skládají ze čtyř stran opracovaných dřevěných trámů. Tesařské spoje prošly velkým vývojem a existuje dnes mnoho typů např. rohových spojů. Nejtýpčtějším spojením zůstává ovšem spoj rybinový. V souvislosti s tím, kde se daná roubenka nachází, můžeme zejména exteriérové stěny často odlišit, s přihlédnutím na místní zvyklosti. Jedná se především o řešení štítů, ostění a nadpraží oken anebo např. způsoby sražení hrany.

#### 3.3.2.1 Roubenky s mezerou mezi štětovnicemi

V tomto systému dřevostavby se ze čtyř stran opracované trámy nekladou přímo na sebe, ale nechává se mezi nimi mezera a tloušťce cca 30 mm. Díky těmto mezerám je zajištěno dostatečné proudění vzduchu kolem jednotlivých trámů a tím pádem se zkracuje doba vyžrávání stavby. Po technologické přestávce, která je nutná pro vyžráání a usednutí stavby, se mezery vyplňují tepelnou izolací a vnější spáry se zatmelí spárovací hmotou. Jako izolace se využívaly přírodní materiály jako např. ovčí vlna a spárovací hmoty na bázi smíchané hlíny, jílu a slámy (případně podobných, lokálně dostupných materiálů). V současné době se používají speciální plastoelastické tmely se štukovou strukturou [7].



Obr. 7 Roubenka s mezerou mezi štětovnicemi. Foto DEKWOOD



### 3.3.2.2 Roubenky s perem a drážkou

Kladení trámů s vyfrézovaným perem a drážkou řadíme do relativně nových typů roubených staveb. Jednotlivé klády se kladou přímo na sebe a pomocí pera a drážky docílíme velmi dobré mechanické stability. Počet a velikost per a drážek se mění v závislosti na uvážení projektanta, nebo požadavcích investora. Každá drážka, či pero, znamená další výdaj v celkových nákladech stavby. Minimální (a zároveň nejčastěji používaný) počet jsou dvě pera na šířku trámu. Výška pera bývá nejčastěji 15 mm a hloubka drážky 22 mm. Vzniklé spáry se vyplňují těsnícími materiály. Používají se jak přírodní, tak i syntetické materiály. Velmi často se do spár vkládají kompresní pásy, někdy i ve více úrovních. Kompresní pásy se velmi snadno stlačí a následně vyplní celý volný prostor. Tím zamezují proudění vzduchu ve stěnách a přispívají tak ke zlepšení celkového součinitele prostupu tepla. V závislosti na velikosti sražení hran jednotlivých roubených profilů se vytmelní vodorovné spáry. Jako spárovací hmota vodorovné spáry se v minulosti využívaly přírodní materiály na bázi smíchané hlíny, jílu a slámy (případně podobných, lokálně dostupných materiálů). V současné době se používají speciální plastoelastické tmely se štukovou strukturou [7].

Tímto typem roubených stěn se bude blíže zabývat tato bakalářská práce v dalších kapitolách, při návrhu nových skladeb.



Obr. 8 Roubená stěna s perem a drážkou, bez sražení hran. Foto DEKWOOD



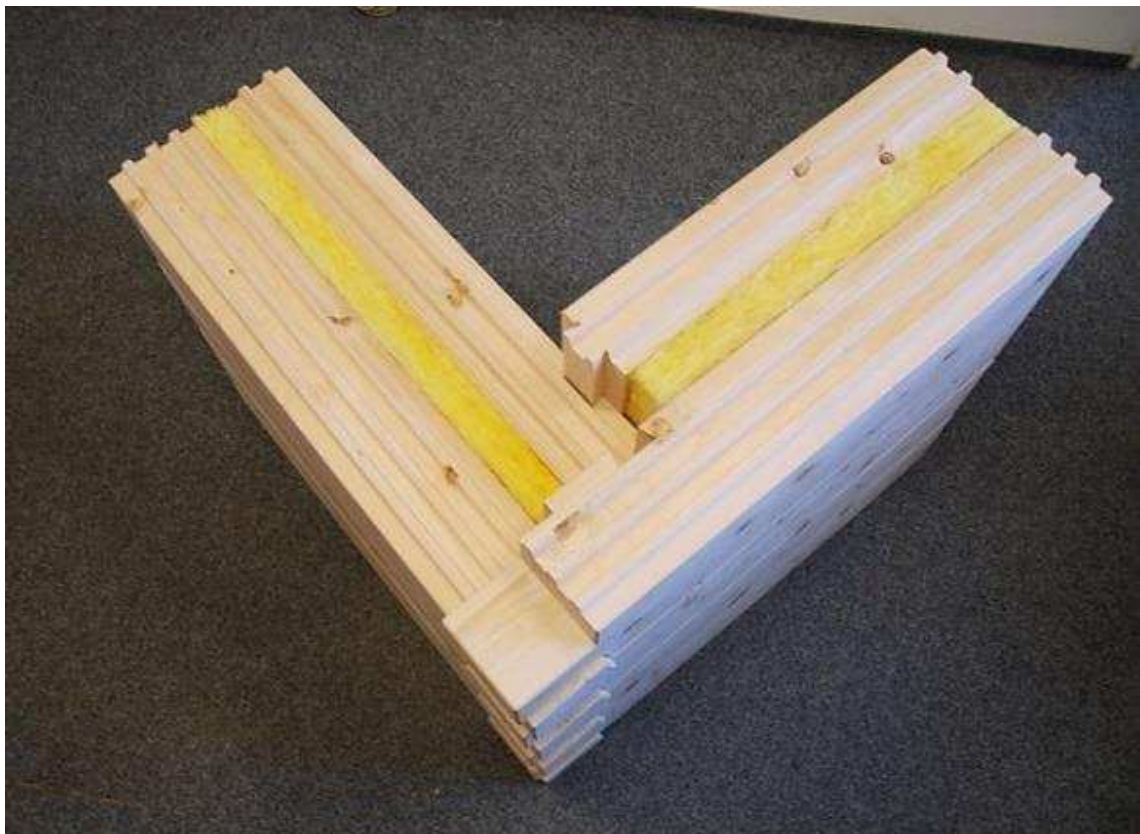
### 3.3.3 Novodobé konstrukce

#### 3.3.3.1 Dvouvrstvé roubení s vloženou tepelnou izolací

Pro zachování estetického vzhledu roubené konstrukce z exteriéru i interiéru a zároveň pro splnění platných norem na tepelně technické požadavky, se nabízí možnost vložit mezi dvě vrstvy relativně tenkých roubených stěn tepelnou izolaci. Dojde tak k výraznému zlepšení součinitele prostupu tepla konstrukcí a zároveň bude zanechán ráz roubených staveb. Vkládané tepelné izolace se volí s ohledem na koncepci přírodní stavby. Nejčastěji jsou to konopné izolace, dřevovláknité desky, případně ovčí, či jiné rouno. Tyto tepelné izolace musejí zároveň umožňovat dobrý prostup vodní páry, aby se předešlo kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce.

Vzhled takovéto stavby bude v ploše připomínat klasickou roubenku, avšak v místě rohových spojů bude zřetelnější menší tloušťka roubených prvků. Delší stěny je pak nutné místně ztužit pomocí dřevěného svlaku – jejich četnost a rozmístění je dáno konkrétním projektem, především pak statickým návrhem [13].

Tímto typem roubených stěn se bude blíže zabývat tato bakalářská práce v dalších kapitolách, při návrhu nových skladeb.



Obr. 9 Roubená stěna s přidanou tepelnou izolací. Foto [www.moderni-sruby.cz](http://www.moderni-sruby.cz)



### 3.3.3.2 Air House

Objekt nazvaný Air House je experimentálním objektem týmu lidí z ČVUT, který se velmi dobře umístil v soutěži Solar Decathlon 2013 v USA v Kalifornii. Koncept tvoří dva samostatné pláště. První (obvodový) plášť tvoří difuzně otevřená skladba. Vnitřní vrstvu tvoří CLT panely a spáry jsou lepeny airstop páskou. Z vnější strany jsou panely z dřevovláknité izolace položené mezi nosné sloupky. Fasáda je zakončena provětrávanou dutinou a fasádou z překližky. Druhý plášť tvoří horizontální a vertikální stínící lamely. Ten funguje jako „nárazníková“ zóna a zmírňuje tepelnou zátěž objektu. Vodorovná orientace lamel směrem na jih stíní fasádu proti vysoko položenému polednímu slunci, svisle orientované lamely na západní straně proti nízkému západnímu slunci.

Air House je brán jako koncept pro generaci 50+. Návrh zohledňuje minimální vnitřní obytný prostor s velkorysým venkovním prostorem. Architekti se nechali inspirovat tradiční venkovskou architekturou a chatařstvím. [14]



Obr. 10 Air House. Foto [www.airhouse.cz](http://www.airhouse.cz)



### 3.4 Konstrukční uspořádání masivních dřevěných staveb

V minulosti se používalo při výrobě srubových, nebo roubených staveb čerstvě poražené dřevo. Poražené dřevo se pouze zbavilo větví a odkornilo se. Dřevo bylo ale stále velmi vlhké a dotvarovávalo dalších cca 12 měsíců. V dnešní době technologie postoupila a umožňuje nám tak vyrábět materiály o výrazně stálejších technických vlastnostech. Především se jedná o vysušení vstupní suroviny.

#### 3.4.1 Rostlé dřevo – kulatina

Jedná se o dřevěné trámy, vyrobené z jednoho kusu rostlého dřeva. Poražené kmeny se nejprve zbaví větví a následně odkorní. Takto opracované klády mají stále velikou počáteční vlhkost. Každý prvek je unikátní a při výstavbě je nutné počítat s technologickou přestávkou na dotvarování jednotlivých prvků. Stavba je velmi náročná na přesné sesazení jednotlivých stavebních dílců. Výhodou kulatiny je pak zachování celistvé vnější vrstvy dřeva, což se příznivě odráží v odolnosti povrchu kulatiny.

#### 3.4.2 Rostlé dřevo – hranoly

Dřevěné trámy a hranoly se vyrábí z jednoho kusu poraženého dřeva, stejně tak jako kulatiny. Protože má čerstvě poražené dřevo vysoký obsah vody vázané i volné. To způsobuje, že hranoly jsou velmi náchylné na napadení dřevokaznými houbami, škůdci a plísněmi. Z tohoto důvodu je třeba dbát zvýšené pozornosti při používání těchto hranolů, především pak zajistit jejich dostatečné odvětrání a vysychání.

Po sestavení stěn z hranolů, stejně tak jako v případě stěn z kulatin, dochází k výrazným objemovým změnám ve dřevě. Dřevo, s vysokým obsahem vody, sesychá a dotvarovává. Doba dotvarování se pohybuje kolem jednoho roku a je závislá na dimenzi hranolů, na zvoleném konstrukčním systému a na velikosti stavby. Obecně se uvádí, že stavba si „sedne“ o 70 – 100 mm.

Zároveň v nevysušeném dřevě dochází časem k tvorbě vodorovných výsušných trhlin, které mají za následek zhoršení mechanických, tepelně technických a v neposlední řadě i estetických vlastností.

#### 3.4.3 Lepené lamelové dřevo – hranoly

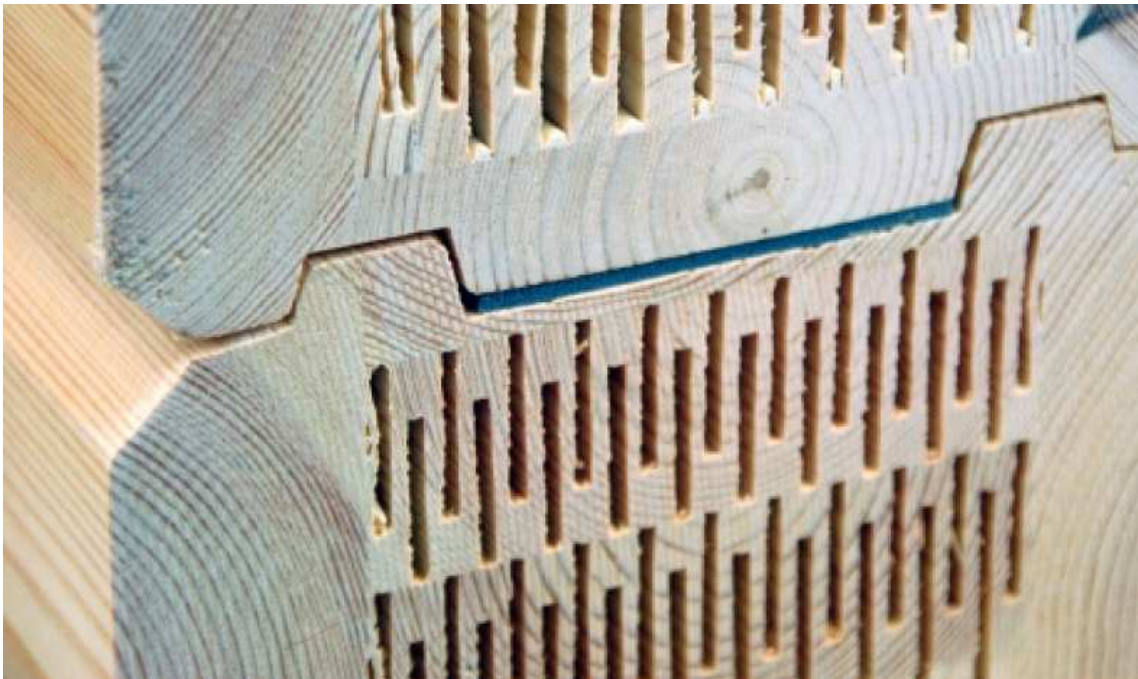
V současné době se stávají více a více populárními profily z lamelového dřeva. Profily z lepeného lamelového dřeva označované taky jako BSH (z německého Brettschichtholz), nebo jako GLT (z anglického Glued Laminated Timber). Tloušťka jednotlivých lamel se pohybuje od 40 mm do 70 mm a jsou k sobě pod tlakem slepeny nejčastěji melaninovým lepidlem.

Jednotlivé lamely jsou předem technicky vysušeny na vlhkost 10-12% ( $\pm$  2%). Díky vysušení dochází u staveb k výrazně menšímu dotvarování, k sesychání a k menším objemovým změnám. Zároveň se tím také zkracuje doba výstavby, neboť se redukuje doba nutná k vyžrání stavby na úplné minimum a stavba může probíhat i ve vlhkých a chladných podmínkách. Díky snížené zabudované vlhkosti je dřevo navíc chráněno před napadením dřevokaznými houbami, škůdci a plísněmi.



### 3.4.4 Thermo-log

Jedná se o nový systém speciálně upravených lepených hranolů pocházející ze severní Evropy (Finsko, Lotyšsko...). Vnitřní lamely jsou nařezány v pravidelném rastru a vytváří tak pravidelné uzavřené vzduchové dutiny. Systém Thermolog je prakticky obdoba cihelných „therm“ tvárnic. Používané jsou dva způsoby. U prvního (staršího) jsou veškeré vnitřní i vnější lamely orientovány svisle. Tím pádem jsou vzduchové dutiny orientovány vodorovně. Druhý – novější – způsob spočívá v tom, že vnitřní lamely jsou orientovány vodorovně a vnější lamely svisle. Drážkování ve vnitřních vrstvách je pak svislé a tvoří větší překážku pro prostup tepla. Svislé vnější lamely pak zajišťují požadovaný vzhled masivní dřevěné stěny. Profily jsou vyfrézovány na pero a drážku, podélná spára se vyplňuje komprimační páskou. Nicméně tyto způsoby vyžadují tvorbu drážek ještě před samotným slepením hranolů a vysokou přesnost opracování i lepení. Složitý proces výroby se také projeví na finální ceně [15].



Obr. 11 Systém Thermolog s komprimační páskou. Foto [www.thermo-log.com](http://www.thermo-log.com)



### 3.4.5 Holz100

Novou technologii dřevostaveb představila rakouská firma Thoma, a to systém zvaný Holz100, neboli 100% dřevo. Thoma staví své budovy z CLT (Cross Laminated Timber) panelů. CLT panely jsou dřevěné desky, kladené horizontálně, vertikálně i diagonálně do kompaktních dílců. Napříč všemi vrstvami jsou do předem vyvrtaných děr hnány dřevěné kolíky (nejčastěji z bukového dřeva), které nasáknou zbytkovou vlhkost z jednotlivých vrstev dřevěných desek. Kolíky poté nabobtnají a dokonale a permanentně se spojí s okolním dřevem. Takto vyrobené desky se chovají jako jeden masivní blok.

Spojením jednotlivých desek, jejichž vlákna jsou orientována do všech směrů, získáváme stavební materiál s velmi dobrou únosností. Na rozdíl od zdiva cihelného, kamenného, nebo betonového mají CLT panely vynikající odolnost vůči zemětřesení, neboť v jednotlivých spojích může docházet k dodatečným posunům. Stavby firmy Thoma pomocí systému Holz100 již vydrželo mnoho zemětřesení například v Japonsku.

Systém Holz100 se dováží na stavbu v podobě prefabrikovaných dílců, ve kterém jsou předem vyfrézované drážky pro rozvody elektřiny, vynechané mezery pro pozdější osazení oken apod. Tím se dosahuje velmi rychlé výstavby i ve vlhkých a chladných podmínkách.

Systém Holz100 se vyznačuje velmi dobrými tepelnými vlastnostmi. Certifikovaný součinitel tepelné vodivosti byl stanoven na hodnotu  $\lambda = 0,079$  [W/mK] a tím docílil světového rekordu napříč všemi stavebními nosnými materiály. Masivní dřevěná struktura Holz100 si ponechává velmi dobré odrazné a pohltivé vlastnosti dřeva a může tak minimalizovat propustnost vysokofrekvenčního záření. Zároveň se jedná o 100% přírodní materiál bez toxických chemikálií, je tedy výhodný pro veškerou populaci, zejména pro alergiky. [16]



Obr. 12 Systém Holz100 firmy Thuma. Foto [www.thuma.at](http://www.thuma.at)





## 4 ZÁKLADNÍ TEORIE K POSUZOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ

### 4.1 Tepelně vlhkostní charakteristiky

#### 4.1.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ] je definovaný v normě ČSN EN 73 0540-2 v kapitole 5.2.1. Vypočte se ze vztahu:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

kde  $R_T$  – tepelný odpor konstrukce [ $m^2K/W$ ].

V normě ČSN EN 73 0540-2 se dále píše, že konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorách s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60\%$  součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ] takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \quad (2)$$

kde  $U_N$  – je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla ve [ $W/m^2K$ ], kterou pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im}$  v intervalu  $18\text{ }^\circ\text{C}$  až  $20\text{ }^\circ\text{C}$  včetně a pro všechny návrhové venkovní teploty udává Tabulka 1

Pro budovy s odlišnou převažující návrhovou teplotou se  $U_N$  stanoví dle vztahu:

$$U_n = U_{N,20} * e_1 \quad (3)$$

kde  $U_{N,20}$  – součinitel prostupu tepla z tabulky 1, ve [ $m^2K/W$ ];  
 $e_1$  – součinitel typu budovy, který se vypočte ze vztahu:  $e_1 = 16 / (\theta_{im} - 4)$ ;  
 $\theta_{im}$  – převažující návrhová vnitřní teplota [ $^\circ\text{C}$ ].

Tabulka 1 Požadavky na součinitel prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou teplotou  $\theta_{im}$  v intervalu  $18\text{ }^\circ\text{C}$  až  $20\text{ }^\circ\text{C}$  včetně. (Výňatek z tab. 3 normy ČSN 73 0540-2:2012 ZMĚNA Z1)

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [ $W/m^2K$ ]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Dop. hodnoty pro pasivní domy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	Těžká: 0,25	0,18 – 0,12
		Lehká: 0,20	



#### 4.1.2 Tepelný odpor konstrukce

Tepelný odpor konstrukce slouží k výpočtu součinitele prostupu tepla  $U$  a znamená úhrnný tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředím oddělenými od sebe danou stavební konstrukcí s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. Vypočte se ze vztahu:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_j + R_{se} \quad (4)$$

kde  $R_T$  – tepelný odpor konstrukce [ $m^2K/W$ ];

$R_{si}$  – tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí [ $m^2K/W$ ];

$R_j$  – tepelný odpor jednotlivých vrstev [ $m^2K/W$ ];

$R_{se}$  – tepelný odpor při přestupu tepla z vnějšího prostředí [ $m^2K/W$ ].

Tepelný odpor jednotlivých vrstev se vypočte ze vztahu:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (5)$$

kde  $d_j$  – tloušťka  $j$ -té vrstvy v konstrukci [m];

$\lambda_j$  – výpočtová tepelná vodivost materiálu [ $W/mK$ ].

#### 4.1.3 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel (koeficient) tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $W/mK$ ] vyjadřuje množství tepla, které proteče jednotkovou plochou za jednotku času při jednotkovém gradientu teploty. Koeficient tepelné vodivosti tedy popisuje změnu teploty v prostoru a předpokládá konstantní průběh v čase, což odpovídá stacionárním podmínkám děje.

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta} \quad (6)$$

kde  $q$  – vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým isotropním materiálem [ $W/m^2$ ];

$grad\theta$  – gradient teploty [ $K/m$ ].

Určujícími vlastnostmi součinitele tepelné vodivosti je vlhkost, objemová hmotnost odpovídající míře stlačení / zatížení, střední teplota, stáří materiálů / výrobků měnící jejich vlastnosti po dobu předpokládaného užití (např. v případě, kde póry nebo dutiny obsahují plyn s odlišnými vlastnostmi než vzduch), tloušťka výrobků, u kterých dochází k intenzivnímu přenosu tepla sáláním (zejména tepelně izolační výrobky z pěnových plastů) nebo prouděním (zejména vláknité tepelně izolační výrobky).



Součinitel tepelné vodivosti se většinou udává v jedné z hodnot:

### Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti – $\lambda_d$ [W/mK]

Deklarovaná hodnota je hodnota stanovená výrobcem podle příslušné výrobní normy při definovaných podmínkách (střední teplota při měření  $10 \pm 0,3$  °C; vlhkost zkušebních vzorků, která je dána kondicionováním zkušebních vzorků nejméně 6 h při teplotě vzduchu  $23 \pm 5$  °C a relativní vlhkosti  $50 \pm 5$  %, te dy ve stavu neustálené sorpční, popř. desorpční vlhkosti  $u_{23/50}$  – některé normy výrobku upřesňují kondicionování zkušebních vzorků. Pro jednotlivé tepelněizolační materiály se postupuje dle norem výrobku řady ČSN EN 13162 až ČSN EN 13171. Deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti mohou tvořit podklad pro stanovení návrhových hodnot.

### Charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti – $\lambda_k$ [W/mK]

Charakteristická hodnota je odvozena pro stanovenou charakteristickou hodnotu vlhkosti  $u_{23/80}$ . Charakteristická hmotnostní vlhkost  $u_{23/80}$  je rovnovážná sorpční hmotnostní vlhkost materiálu, stanovena za podmínek: teplota vzduchu  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkost vzduchu  $80 \pm 3$  %.[15] Charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti lze stanovit z deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti (hodnota stanovena v suchem stavu) dle vztahu:

$$\lambda = \frac{\lambda_k}{1 - Z_u * w_{mk}} \quad (7)$$

kde  $\lambda_d$  – deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti [W/mK]

$Z_u$  – vlhkostní součinitel dle přílohy A1 v ČSN 73 0540-3 [–]

$w_{mk}$  – charakteristická vlhkost materiálu, obvykle  $u_{23/80}$  [%]

### Návrhová (výpočtová) hodnota součinitele tepelné vodivosti – $\lambda_u$ [W/mK]

Návrhová hodnota je odvozena pro určené teplotní a vlhkostní podmínky, popř. mechanické namáhání. Určené tepelné a vlhkostní podmínky musí odpovídat tepelnému a vlhkostnímu namáhání a způsobu zabudování výrobku do stavby a užívání dané konstrukce, čímž se zajišťuje bezpečný návrh stavebních konstrukcí. Návrhové hodnoty vlastností vybraných stavebních výrobků jsou uvedeny v tabulkách v přílohách ČSN 73 0540-3 a jsou stanoveny pro nejméně příznivé zabudování výrobku do stavební konstrukce. Návrhové hodnoty vlastností stavebních výrobků lze také stanovit výpočtem pro konkrétní užití, na základě charakteristických hodnot a součinitelů podmínek působení. Součinitele podmínek působení zohledňují způsob zabudování materiálu do stavební konstrukce vystavené působení venkovního i vnitřního prostředí.

POZNÁMKA: Daný výrobek může mít více než jednu návrhovou hodnotu fyzikální vlastnosti v závislosti na jeho určeném užití, podmínkách prostředí apod.



Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti pro vnější konstrukce se dle normy ČSN 73 0540-3 vypočítá dle vzorce:

$$\lambda = \lambda_k * [1 + z_1 * z_u * (z_{23})] \quad (8)$$

kde  $z_1$  – součinitel vnitřního prostředí pro vnitřní konstrukce, kde dochází ke kondenzaci vodní páry, viz. tabulka A7 v ČSN 73 0540-3 [–];

$z_{23}$  – sdružený součinitel podmínek působení (součinitel materiálu a způsobu zabudování materiálu ve stavební konstrukci), který se stanoví ze vztahu:

$$z_{23} = u_{\text{exp}} - u_{23/80} \text{ popř. } z_{23} = u_u - u_{23/80} \quad (9)$$

kde  $u_{\text{exp}}$  – okamžitá hodnota hmotnostní vlhkosti stavebního materiálu odebraná ze stavební konstrukce [%]

$u_u$  – odhad návrhové hodnoty hmotnostní vlhkosti [%]

#### 4.1.4 Šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky na šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích jsou uvedeny opět v normě ČSN 73 0540-2. Jelikož se jedná o dřevěné stěny, lze předpokládat, že zkondenzovaná vodní pára ve větším množství může ohrozit funkci konstrukce.

„Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce  $M_C$  [kg/m<sup>2</sup>a] mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. V případě, že k ohrožení konstrukce nedojde, platí limity uvedené v kapitole 6.1.2 této normy:

$$M_C \leq M_{C,N} \quad (10)$$

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším zateplovacím systémem nebo vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukcí s difuzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot:

$$M_{C,N} \leq 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (11)$$

Nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>; pro materiál s objemovou hmotností  $\rho \leq 100$  kg/m<sup>3</sup> se použije 6 % jeho plošné hmotnosti; pro ostatní stavební konstrukce je nižší z hodnot:

$$M_{C,N} \leq 050 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (12)$$

Nebo 5 % plošné hmotnosti, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>; pro materiál s objemovou hmotností 100 kg/m<sup>3</sup> se použije 10 % jeho plošné hmotnosti.“ [17]



## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části se tato bakalářská práce zabývá samostatným návrhem nových skladeb roubených stěn. Všechny návrhy se budou posuzovat z tepelně technického hlediska a dále z hlediska prostupu vodních par a množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce i relativní vlhkosti jednotlivých prvků. Vybrané skladby se budou dále posuzovat z ekonomického a technologického hlediska.

### 5.1 Zadávání hodnot do programu DEKSOFT

Program DEKSOFT je webový portál, jehož hlavním obsahem je sada výpočetních webových aplikací (programů) pro stavebnictví, zejména pro oblast energetiky a stavební fyziky. Vlastníkem ochranné známky DEKSOFT je společnost DEK a.s. Provozovatelem DEKSOFT je společnost DEKPROJEKT s.r.o. Programy DEKSOFT využívají zejména energetičtí specialisté, projektanti pozemních staveb a architekti. V této bakalářské práci byl z webového portálu použit pouze program Tepelná technika 1D, ve kterém se posuzovaly všechny skladby z hlediska součinitele prostupu tepla a šíření vodní páry v konstrukci.

#### 5.1.1 Okrajové podmínky

Pro interiérové okrajové podmínky byla pro vnitřní vlhkostní zatížení, pro stanovení průměrných měsíčních hodnot dle ČSN EN ISO 13788, vybrána 3. třída. Jednotlivé třídy jsou specifikovány v příloze A2 této normy. Pro třetí třídu platí návrhová vnitřní teplota  $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i = 50 \text{ } \%$ . Přirážka na vyrovnání rozdílu mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch byla stanovena na  $\Delta\theta_{ai} = 0,6^\circ\text{C}$  a bezpečnostní vlhkostní přirážka  $\Delta\varphi_i = 5 \text{ } \%$ .

Pro exteriérové podmínky byla zvolena, dle přílohy H v ČSN 73 0540-3, teplotní oblast horských oblastí a třídu 3. Program Tepelná technika 1D umožňuje pracovat pouze se stacionárním zadáváním hodnot. Jako návrhová teplota venkovního vzduchu byla proto zvolena hodnota  $\theta_e = -17 \text{ }^\circ\text{C}$ , pro uvedení konstrukce do extrémních podmínek. Nutno podotknout, že dle ČHMÚ se hodnoty pod  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  pohybují každoročně v časovém horizontu pouze kolem 150 hodin. Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu byla stanovena na  $\varphi_e = 84 \text{ } \%$ .

Do výpočtu šíření tepla byl dále zahrnut odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $R_{si} = 0,13 \text{ [m}^2\text{K/W]}$  a odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce  $R_{se} = 0,04 \text{ [m}^2\text{K/W]}$ .

#### 5.1.2 Korekce součinitele prostupu tepla $\Delta U$

Celkový součinitel prostupu tepla musel být zhoršen o hodnotu  $\Delta U$ . Tato korekce vyplývá z vlivu kotev, které drží vnější obvodový plášť proti vlivu sání větru. Do programu DEKSOFT bylo započítáno množství kotev a jejich dimenze, které budou skladbou procházet na ploše  $1 \text{ m}^2$ .

Tloušťka kotvícího prvku byla stanovena na 6mm. Příčná průřezová plocha jednoho kotvícího prvku je tedy  $1,13\text{E-}3 \text{ m}^2$ . Na jeden  $\text{m}^2$  byli započítány tyto kotvící prvky dva.



Jako materiál kotvícího prvku byla vybrána ocel se zinkovou galvanickou povrchovou úpravou. Hodnota součinitele tepelné vodivosti tohoto prvku je uváděna jako  $\lambda_f = 20$  [W/mK]. Výsledná korekce součinitele prostupu tepla byla stanovena na  $\Delta U = 0,013$  [W/m<sup>2</sup>K].

### 5.1.3 Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ) BSH profilů

Určit přesnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti dřeva, sloužícího jako obvodová konstrukce je nesmírně složitý úkol. S ohledem na rychlost sorpce dřeva, rovnovážnou vlhkost dřeva, rozdílné rozložení vlhkosti a teploty v průřezu masivní dřevěné stěny je vhodné nepřistupovat k určení součinitele tepelné vodivosti konzervativně, ale zvolit raději jiný z možných přístupů.

Součinitel tepelné vodivosti dřeva dle ČSN 73 0540-3 je charakterizován v normativní příloze A, konkrétně v tabulce A1. Dřevo je charakterizováno parametry dle *Tabulka 2*.

*Tabulka 2 Vybrané hodnoty tepelných a vlhkostních vlastností dřeva (Výňatek z tabulky A. 1 uvedené v normě ČSN 73 0540-3, str. 31) [18]*

Název	Objemová hmotnost v suchém stavu [kg/m <sup>3</sup> ]	Hmotnostní vlhkost $u_{23/80}$ [%]	Vlhkostní součinitel materiálu $Z_u$ [%]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_k$ [W/mK]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_u$ [W/mK]
Dřevo rostlé měkké, tepelný tok kolmo k vláknům	400	13	0,029	0,15	0,18

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti získané z ČSN 73 0540-2 jsou získané při vysoké teplotě i vlhkosti. Dřevěné stěny v roubených stavbách těchto hodnot teploty a vlhkosti nedosahují. Z výsledků celé řady praktických měření na reálných konstrukcích je zřejmé, že dřevo dosahuje výrazně lepších hodnot součinitele tepelné vodivosti. Praktická měření vykazují hodnoty součinitele tepelné vodivosti lepší i o více jak 50 % (viz. Tabulka 3). Z tohoto hlediska norma ČSN 73 0540-3 udává hodnotu, která s největší pravděpodobností neodpovídá reálným podmínkám zabudování dřevěných prvků v masivních dřevěných stěnách. Hodnoty obdržené měření více odpovídají hodnotám uváděným v ČSN EN 10 456 a velmi často jsou naměřeny ještě výrazně lepší výsledky. Z tohoto důvodu bude v dalších tepelně technických výpočtech v této práci počítáno s hodnotou  $\lambda_u = 0,130$  [W/mK]. Stejnou hodnotu udávají i výrobci BSH profilů.



Tabulka 3 Srovnání hodnot součinitele tepelné vodivosti dle jiných přístupů

zdroj	Objemová hmotnost dřeva [kg/m <sup>3</sup> ]	Hmotnostní vlhkost [%]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_u$ [W/mK]
ČSN 73 0540-3	400 (suchý stav)	13	0,18
ČSN EN 10 456	450*	-	0,12
	500*	-	0,13
	700*	-	0,18
Měření dle ISO 8302 [10]	390,5	16,88	0,1066
	380,7	18,95	0,1048
	399,4	16,64	0,1003
Tabulka uvedená v [10]	773	2,99	0,0871
		6,0	0,080
		8,0	0,084
		10,0	0,087
		20,0	0,106
		30,0	0,123
* Měřeno v rovnovážném stavu při teplotě 20 °C a 65 % relativní vlhkosti vzduchu			

#### 5.1.4 Vyhodnocení výsledků z programu DEKSOFT

Program dokáže na základě vložených okrajových podmínek a materiálů vypočítat a posoudit skladbu z hlediska součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN 73 0540-4. Každý materiál musí být definován pěti vstupními parametry. Vstupní parametry jsou:

Tabulka 4 Vstupní parametry v programu DEKSOFT

Parametr	Jednotka
Tloušťka (d)	[m]
Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ )	[W/mK]
Měrná tepelná kapacita (c)	[J/(kgK)]
Objemová hmotnost ( $\rho$ )	[kg/m <sup>3</sup> ]
Faktor difuzního odporu ( $\mu$ )	[-]

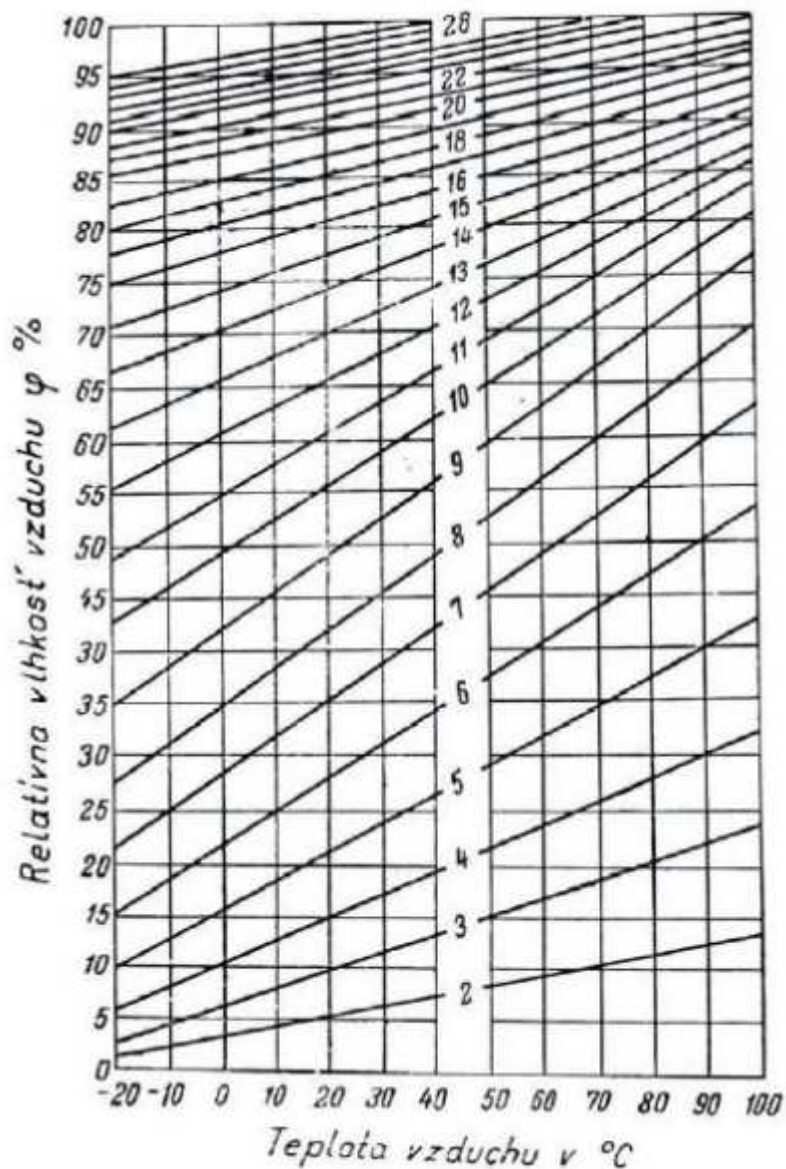
Dále nás zajímal faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4 a šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4.

Pro vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci je nutné znát základní chování dřeva z hlediska uložení vody.

„Z hlediska uložení vody ve dřevě rozeznáváme vodu volnou, která vyplňuje duté prostory buněk a mezibuněčné prostory, vodu vázanou v buněčných stěnách a vodu chemicky vázanou, která je součástí chemických sloučenin. Čerstvě pokácené dřevo má v průměru 80 až 120 % vlhkosti, její výše závisí na dřevině a na době kácení. Ihned po



kácení dřevo postupně vydává svoji vlhkost – vysychá. Nejprve se uvolňuje vlhkost volná, potom teprve vlhkost vázaná. Tento stav trvá tak dlouho, až se vlhkost ve dřevě rovnoměrně rozloží a dojde k rovnováze mezi vlhkostí dřeva a teplotou a vlhkostí okolního vzduchu – nastává tzv. rovnovážný stav, při kterém má dřevo rovnovážnou vlhkost.“ [19] Na základě těchto skutečností vytvořil N.N. Čulický diagram rovnovážné vlhkosti smrkového dřeva (Obr. 13). Pro každou kombinaci teploty a vlhkosti vzduchu odpovídá určitá vlhkost dřeva, která prakticky nezávisí na typu dřeviny. V normě ČSN 73 0540-4 je uvedeno, že dřevokazné houby a plísně mohou dřevo ohrožovat, překročí-li hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva hranici 18%.



Obr. 13 Diagram rovnovážné vlhkosti dřeva N.N. Čulického





#### **5.1.4 Změna materiálů pro výpočet v programu DEKSOFT**

Protože po vyhodnocení výsledků v programu DEKSOFT jsme, pro detailnější posouzení, používali ještě program WUFI, museli jsme změnit vstupní údaje materiálů. V programu WUFI jsou materiály předem definovány křivkami pro tepelnou vodivost v závislosti na teplotě a vlhkosti, pro faktor difusního odporu vodních par v závislosti na vlhkosti a mnoha jinými. Vybrali jsme z dané databáze materiály, které svými vlastnostmi nejvíce připomínali (nebo se shodovali) s materiály použité v programu DEKSOFT. Takto definované materiály jsme poté vložili do programu DEKSOFT, který počítá pouze s tloušťkou materiálu, součinitelem tepelné vodivosti, měrnou tepelnou kapacitou, objemovou hmotností a faktorem difusního odporu.

**Výsledná data z DEKSOFTU, za použití takto nadefinovaných materiálů, se prakticky nezměnila.**

Program DEKSOFT pracuje pouze se stacionárními podmínkami a pro přesnější analýzu výsledků jsme nuceni použít program, který umí vytvářet výsledky za ze zadaných nestacionárních údajů. Detailnějšímu posouzení se budeme věnovat v dalších kapitolách v programu WUFI.

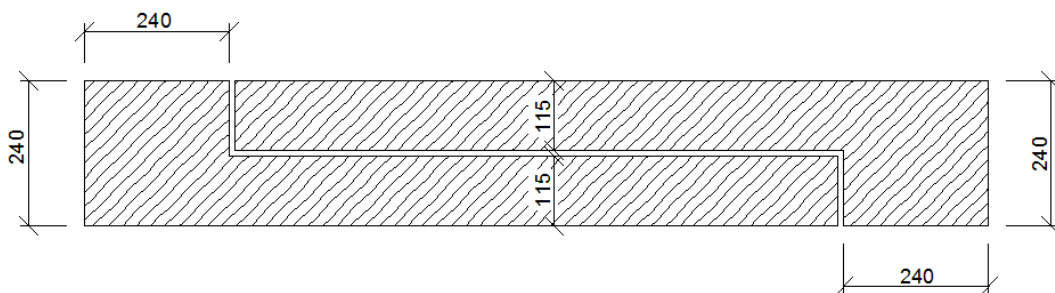


## 5.2 Výběr skladeb

Při výběru jednotlivých navrhovaných skladeb, bylo bráno v úvahu zachování celkového konceptu roubených staveb – stavba bude koncipována tak, aby svou realizací nezatěžovala životní prostředí, zachovala si typický vzhled roubených staveb a v horských oblastech dodržela přírodní krajinný ráz. Zároveň byly vybrány přírodní materiály, nebo materiály na bázi obnovitelných zdrojů.

V průběhu výzkumu bylo zahrnuto mnoho variant, které se ale dříve, či později ukázaly jako nevyhovující buď z hlediska špatných tepelně technických vlastností, z hlediska náročnosti realizace, nebo třeba nesplnění podmínek na materiály na bázi obnovitelných zdrojů. Jedná se například o skladby s tepelnou izolací z dřevovláknitých desek, z rozvlákněného papíru, nebo z minerální vlny. Později byly nalezeny materiály s lepším součinitelem prostupu tepla, nebo s lepší propustností vodních par. Těmto skladbám se tedy tato bakalářská práce nebude v dalších kapitolách již dále věnovat.

Původní návrhy skladeb se vždy skládali ze dvou částí BSH profilů na vnitřní i vnější straně a vložení tepelné izolace mezi tyto profily. Tloušťky těchto profilů byly brány 0,115 m a obě strany byly koncipovány jako nosné. Dle informací od Ing. Jana Stacha (technika firmy Dekwood), jsou nejčastěji používané BSH profily tloušťky 0,24 m. Dle návrhu mého kamaráda a kolegy Ondřeje Plíhala, který se ve své bakalářské práci zabývá technologiemi výstavby roubenek, jsme proto s ohledem na možné dělení a úsporu materiálu, uvažovali s tloušťkou 0,115 m. Navrhované dělení viz. Obr. 14.



Obr. 14 Schématické dělení BSH profilů

Toto dělení se ale později ukázalo jako nemožné. Po konzultaci s ředitelem pily Dekwood Ing. Jaroslavem Sklenářem jsme dospěli k závěru, že takovéto dělení není možné provést. Pro dělení takto velkých profilů není na CNC strojích dostatečná kapacita co do velikosti řezných kotoučů, a také by se s největší pravděpodobností profily rozlomily již při obrábění nebo při pozdějším zvedání jednotlivých panelů na jeřábových mechanismech.

Dalším návrhem skladeb bylo otočení celkové skladby. Jako nosnou vrstvu jsme brali vnitřní BSH profily, které jsme rozšířili (dle doporučení od Ing. Stacha) na tloušťku 0,2 m. Poté jsme na nosnou dřevěnou stěnu připevnili parozábranu a tepelnou izolaci. Vnější stěna z BSH profilů byla brána jako samostatně stojící, ale již neměla nosnou funkci. U



této skladby se navíc otevíral prostor pro odvětrávanou, či neodvětrávanou vzduchovou mezeru.

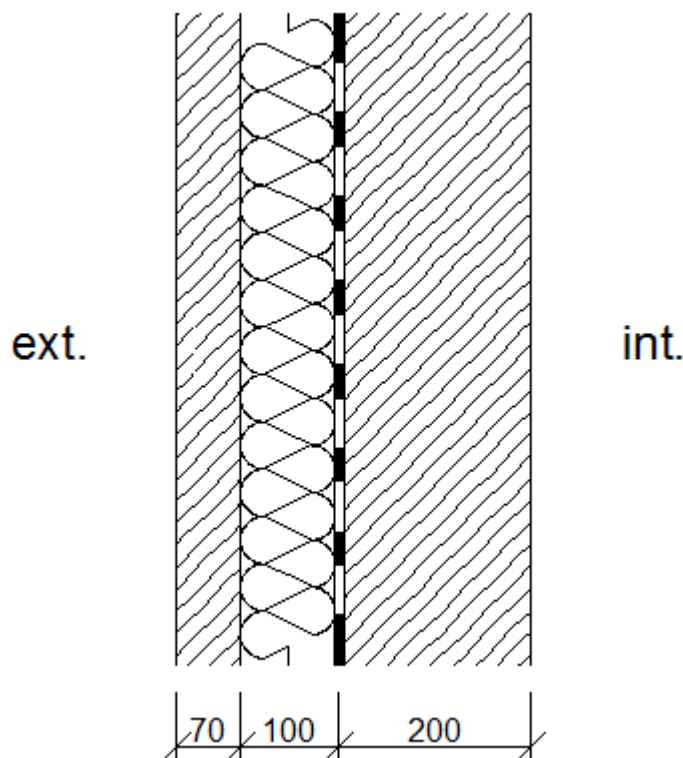
Při výběru tepelné izolace byl kladen velký důraz na to, aby byla zhotovená z přírodních obnovitelných zdrojů. Odpadly nám tak z možností veškeré pěnové i extrudované polystyreny, polyizokyanuráty apod. Do nejužšího výběru se tak dostaly především izolace z konopných vláken a z vláken juty <sup>1)</sup>. Byly posuzovány materiály české firmy IZOLACE KONOPÍ CZ s.r.o., aby byla udržena dostupnost zboží na českém trhu. Po prostudování technických listů jednotlivých materiálů a po konzultaci s technickým oddělením firmy IZOLACE KONOPÍ CZ s.r.o., byla vybrána tepelná izolace pod označením Juta100. Tento materiál měl ze všech posuzovaných materiálů nejlepší tepelně izolační vlastnosti.

Pro parobrzdnou vrstvu byla vybrána parobrzdná fólie ISOCELL ÖKO NATUR (PLUS). Jedná se o zesílenou papírovou parobrzdnou fólii.



### 5.2.1 Skladba S1 – Bez vzduchové mezery

Jako první varianta byla navržena skladba s dvouvrstvým roubením. Oproti ostatním již realizovaným skladbám byla ovšem přidána ještě parobrzda Isocell öko natur (plus). Parobrzda Isocell öko natur (plus) má deklarovaný faktor difuzního odporu  $\mu = 25800$  [–]. Tato hodnota ale nemohla být použita. Hodnota musela být zohledněna vůči prostupům kotev vnějšího pláště a zredukována s ohledem na případnou (ne)kvalitu realizace. Při redukci faktoru difuzního odporu bylo vycházeno z redukčních konstant, které jsou uvedeny v [20]. Výsledný faktor byl snížen 10-ti násobně. Výsledná hodnota faktoru difuzního odporu parobrzdy je tedy  $\mu = 2580$  [–]. Tuto hodnotu budeme používat i při posouzení dalších skladeb kde se parobrzda nachází.



Obr. 15 Schéma S1 – bez vzduchové mezery

Při posouzení této skladby se ukázalo, že v konstrukci kondenzuje voda. Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_c = 0,016 \text{ kg/m}^2\text{a}$  je ale nižší, než roční množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev} = 0,184 \text{ kg/m}^2\text{a}$  a to dokonce deseti násobně. Při vyhodnocování rizika ohrožení dřevěných prvků a prvků v konstrukci se ukázalo, že hmotnostní vlhkost vnějšího dřeva ovšem překročí hranici 18%, stejně tak i hmotnostní vlhkost tepelné izolace. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Přílohy

Příloha 1.



Tabulka 5 Šíření vodní páry ve Skladbě S1

Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_c$	0,016	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	0,184	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry		
<i>Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.</i>			

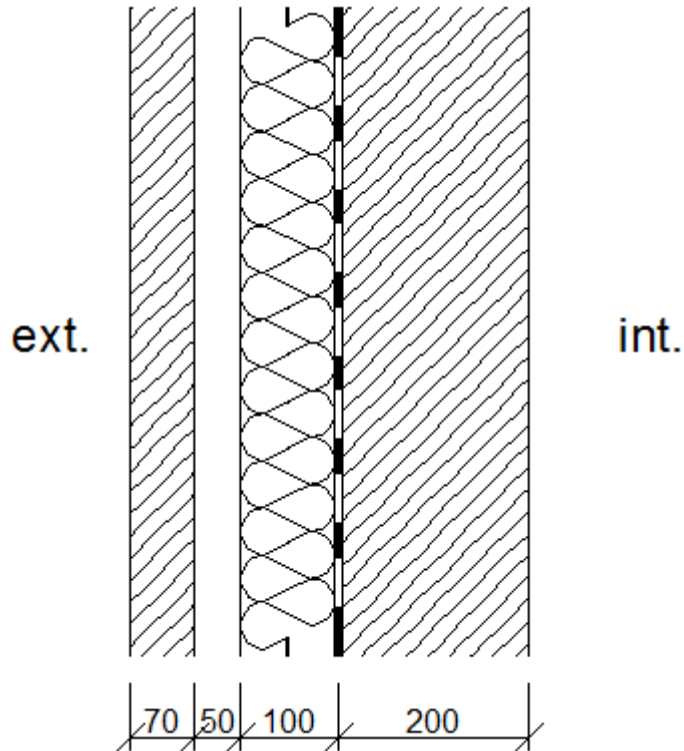
Tabulka 6 Vyhodnocení rizika ohrožených prvků ve skladbě S1

Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	TI - Pavaflex
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:		
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE	
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:		
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	87 %
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	1,2 °C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83 %
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO	
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.	
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	5	Laminated veneer lumber
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:		
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO	
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{c,dř}$	5,26e-9 kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:		
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	92 %
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,4 °C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83 %
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO	
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.	



### 5.2.2 Skladba S2 – S neprovětrávanou vzduchovou mezerou

Při návrhu druhé skladby bylo vycházeno ze skladby S1. Mezi vrstvu tepelné izolace a vnějšího BSH profilu byla přidána vrstva vzduchové dutiny. Ostatní parametry zůstaly nezměněné. Vzduchová vrstva je koncipována jako neprovětrávaná.



Obr. 16 Schéma skladby S2 – s neprovětrávanou vzduchovou mezerou

Při posouzení této skladby se ukázalo, že v konstrukci kondenzuje voda. Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_c = 0,015 \text{ kg/m}^2\text{a}$  je ale nižší, než roční množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev} = 0,187 \text{ kg/m}^2\text{a}$  a to dokonce deseti násobně. Zkondenzované množství vodní páry  $M_c$  vyšlo o prakticky zanedbatelnou hodnotu lépe, než ve skladbě S1. Při vyhodnocování rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci se ukázalo, že hmotnostní vlhkost vnějšího dřeva ovšem překročí hranici 18%, stejně tak i hmotnostní vlhkost tepelné izolace. Obě hodnoty, zvláště pak hodnota pro maximální vlhkost vzduchu v místě tepelné izolace se ale příznivě změnili. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Příloha 2.

Tabulka 7 Šíření vodní páry ve skladbě S2

Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_c$	0,015	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	0,187	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:			aktivní
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry		
<small>Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.</small>			

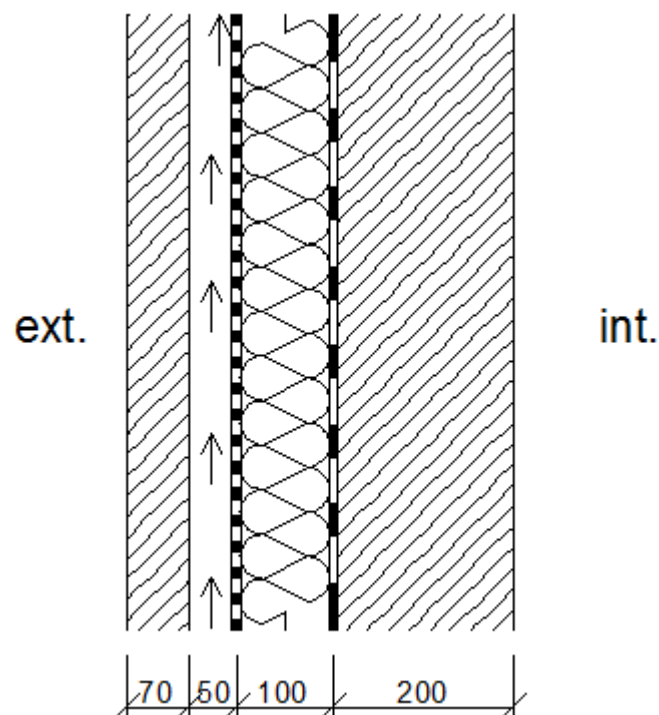


Tabulka 8 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S2

Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	87	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	1,2	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	5	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{c,dr}$	5,26e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	92	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,4	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		

### 5.2.3 Skladba S3 – Se silně provětrávanou vzduchovou mezerou

Při návrhu třetí skladby se vycházelo ze skladby S2. Vzduchová vrstva byla tentokrát koncipována jako provětrávaná. Na tepelnou izolaci byla přidána ještě difúzní fólie, která je díky mikroperforaci propustná pro vodní páru, ale zároveň izolaci ochraňuje před případným mechanickým poškozením, nebo před případným hnaným deštěm, který by se do takovéto dutiny mohl dostat. Ostatní parametry zůstaly nezměněné.



Obr. 17 Schéma Skladby S3 – se silně provětrávanou vzduchovou mezerou

Při posouzení této skladby se ukázalo, že v konstrukci nekondenzuje voda. Je to dané tím, že program se silně provětrávanou mezerou počítá tak, že veškeré vrstvy, které jsou od provětrávané vrstvy (včetně) směrem do exteriéru, již nezapočítává do výpočtu. Proto



program nedokáže posoudit konstrukce ani z hlediska šíření vodních par. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Příloha 3.

Tabulka 9 Šíření vodní páry ve skladbě S3

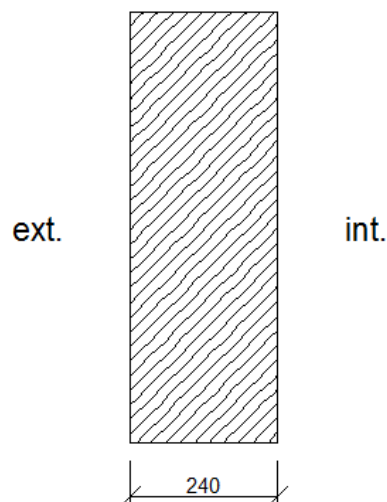
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{0,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_0$	-	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	-	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry		
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti			

Tabulka 10 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S3

Vstava s materiálem na bázi dřeva	1	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\Psi_a$	48	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	19,3	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\Psi_{cr}$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřetřoucí 18%.		

#### 5.2.4 Skladba S4 – Smrk240

Pod tímto označením se bude tato bakalářská práce zabývat variantou z rostlého smrkového dřeva. Není to návrh nové skladby, ale je nutné ověřit, že taková varianta nespĺňuje tepelně technické požadavky dle platných norem.



Obr. 18 Schéma skladby S4 – smrkové dřevo

Při posouzení v programu DEKSOFT se jasně projevilo, že rostlé dřevo v této dimenzi nespĺňuje součinitel prostupu tepla a to výrazně. Aby bylo možné dosáhnout požadované minimální hodnoty součinitele prostupu tepla  $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ , musela by být tato stěna široká nejméně 0,55 m.

Skladba ovšem velmi dobře vyhověla z hlediska šíření vodní páry napříč konstrukcí, neboť se jedná o difusně otevřenou konstrukci a vodní pára v konstrukci prakticky nekondenzuje. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Příloha 4.





Tabulka 11 Vyhodnocení součinitele prostupu tepla skladby S4

Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:			
Korekce součinitele prostupu tepla:	$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)
Odpor při přestupu tepla:	$R_T$	1,966	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>	<b>U</b>	<b>0,51</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_N$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_{rec}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-11: smrk nesplňuje požadavky ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.		

Tabulka 12 Šíření vodní páry ve skladbě S4

Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_c$	0,003	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	0,303	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry		
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.			

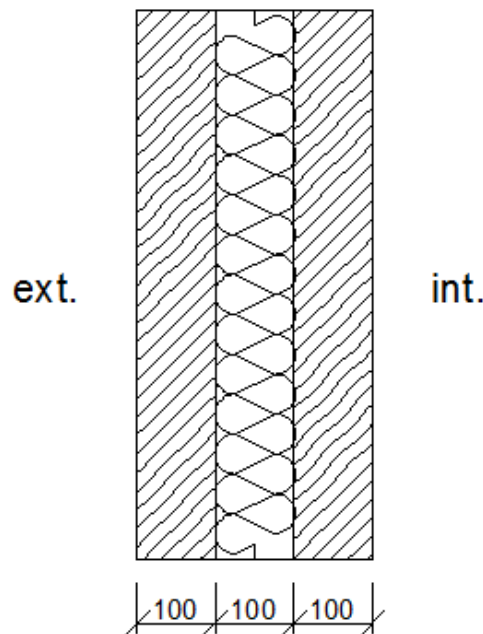
Tabulka 13 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S4

Vrstva s materiálem na bázi dřeva	1	Dřevo rostlé měkké - tepelný tok kolmo k vláknům; desky z rostlého dřeva	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{c,dr}$	3,8e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	78	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	-1,8	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	82	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.		



### 5.2.5 Skladba S5 – Uherka100

Tato skladba představuje tradiční dvouvrstvé roubení. Jedná se o dvě nosné stěny z BSH profilů šíře 100 mm, mezi které je vložena tepelná izolace tloušťky 100 mm. Skladba je pojmenována podle Ing. Pavla Uherky, který se touto skladbou zabýval ve své diplomové práci - *Tepelně-vlhkostní analýza konstrukcí masivních dřevostaveb* [4]. Číslice 100 označuje tloušťku tepelné izolace.



Obr. 19 Schéma skladby S5 – Uherka100

Na této skladbě probíhají měření v experimentální budově společnosti DEKPROJEKT s.r.o. Po uplynutí měření bude možné validovat výsledky získané z programu DEKSOFT a WUFI, porovnáním s naměřenými výsledky.

U této skladby byl zaznamenán nárůst ročního množství zkondenzované vodní páry, viz. Tabulka 14. V této skladbě se opět projevila hmotnostní vlhkost dřevěných prvků vyšší než 18%. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Příloha 5.

Tabulka 14 Šíření vodní páry ve skladbě S5

Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_c$	0,056	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	0,186	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry		
<small>Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.</small>			

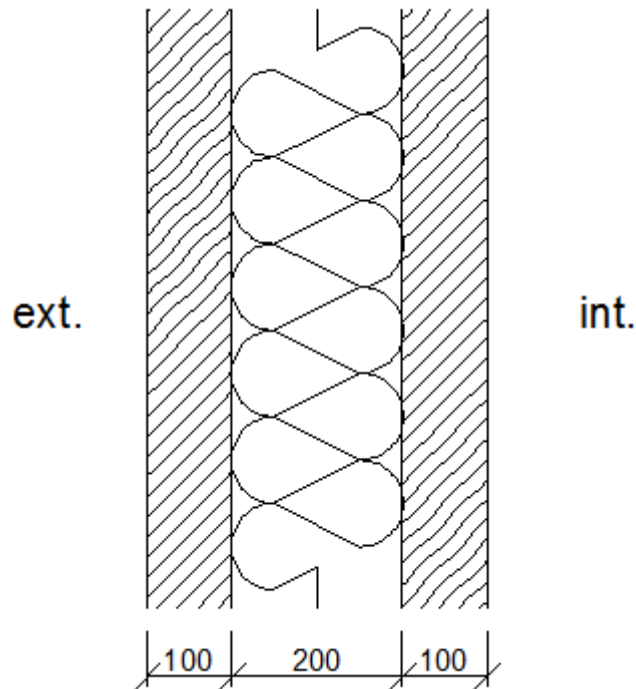


Tabulka 15 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S5

Vstava s materiálem na bázi dřeva	3	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{e,cr}$	1,15e-8	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	100	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	2,0	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		

### 5.2.6 Skladba S6 – Uherka200

Tato skladba představuje tradiční dvouvrstvé roubení. Jedná se o dvě nosné stěny z BSH profilů šíře 100 mm, mezi které je vložena tepelná izolace tloušťky 200 mm. Skladba je pojmenována podle Ing. Pavla Uherky, který se touto skladbou zabýval ve své diplomové práci - *Tepelně-vlhkostní analýza konstrukcí masivních dřevostaveb* [4]. Číslice 200 označuje tloušťku tepelné izolace.



Obr. 20 Schéma skladby S6 – Uherka200

Na této skladbě probíhají měření v experimentální budově společnosti DEKPROJEKT s.r.o. Po uplynutí měření bude možné validovat výsledky získané z programu DEKSOFT a WUFI, porovnáním s naměřenými výsledky.

U této skladby byl zaznamenán nárůst ročního množství zkondenzované vodní páry (viz. Tabulka 16) ještě větší, než u skladby S5. Z těchto výsledků vyplývá, že zvětšením tepelné izolace se zároveň i zvětšuje roční množství zkondenzované vodní páry. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Příloha 6.



Tabulka 16 Šíření vodní páry ve skladbě S6

Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_c$	0,079	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	0,164	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry		
<i>Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.</i>			

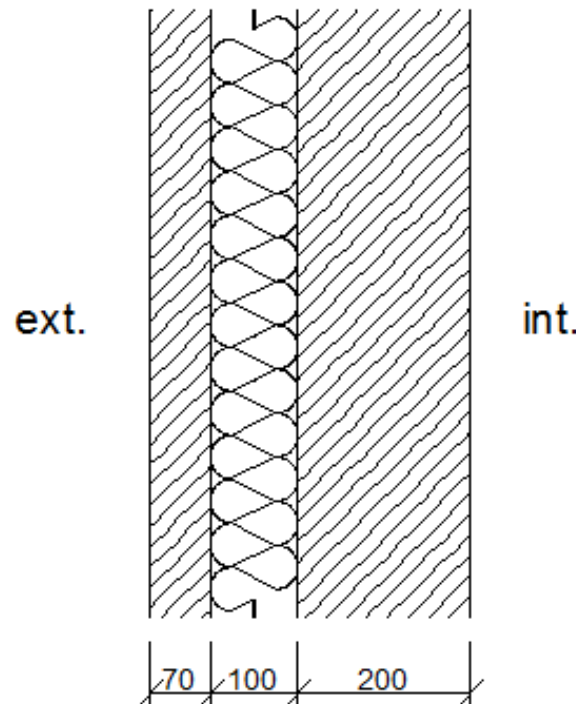
Tabulka 17 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S6

Vrstva s materiálem na bázi dřeva	2	TI - Pavaflex
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:	ANO	
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO	
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{c,d}$	1,20e-8 kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:	ANO	
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\phi_{s,max}$	100 %
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,5 °C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\phi_{s,crit}$	83 %
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO	
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.	
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	Laminated veneer lumber
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:	ANO	
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO	
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{c,d}$	1,20e-8 kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:	ANO	
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\phi_{s,max}$	100 %
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,5 °C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\phi_{s,crit}$	83 %
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO	
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.	



### 5.2.7 Skladba S7 – Bez vzduchové mezery, bez parozábrany

Pro porovnání navržených skladeb dřevěných stěn, byla do programu DEKSOFT i WUFI přidána ještě skladba s identickými rozměry jako skladba S1 s tím rozdílem, že byla vynechána vrstva parobrzdy. Po výpočtu dojde k porovnání, jak se mění roční množství zkondenzované vodní páry a hmotnostní vlhkosti dřevěných prvků.



Obr. 21 Schéma skladby S7 – Bez vzduchové mezery, bez parozábrany

Z vypočítaných výsledků je vidět, že roční množství zkondenzované vodní páry je na stejné hodnotě, jako v případě skladby S1. Při porovnání hmotnostní vlhkosti jednotlivých prvků se ovšem ukázalo, že ve skladbě bez parobrzdy konstrukce na bázi dřeva obsahují větší relativní vlhkosti, než v případě s parobrzdou. Kompletní protokol z tepelně technického posouzení konstrukce viz. Příloha 7.

Tabulka 18 Šíření vodní páry ve skladbě S7

Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> ·a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_c$	0,016	kg/(m <sup>2</sup> ·a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{ev}$	0,184	kg/(m <sup>2</sup> ·a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry		
<small>Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.</small>			



Tabulka 19 Vyhodnocení rizika ohrožených dřevěných prvků ve skladbě S7

Vrstva s materiálem na bázi dřeva		2	TI - Pavaflex	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci				
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{z,d}$	5,55e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)	
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_{s1}$	94	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,2	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO			
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		3	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci				
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{z,d}$	5,55e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)	
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_{s1}$	94	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,2	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO			
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.			



### 5.3 Zadávání hodnot do programu WUFI

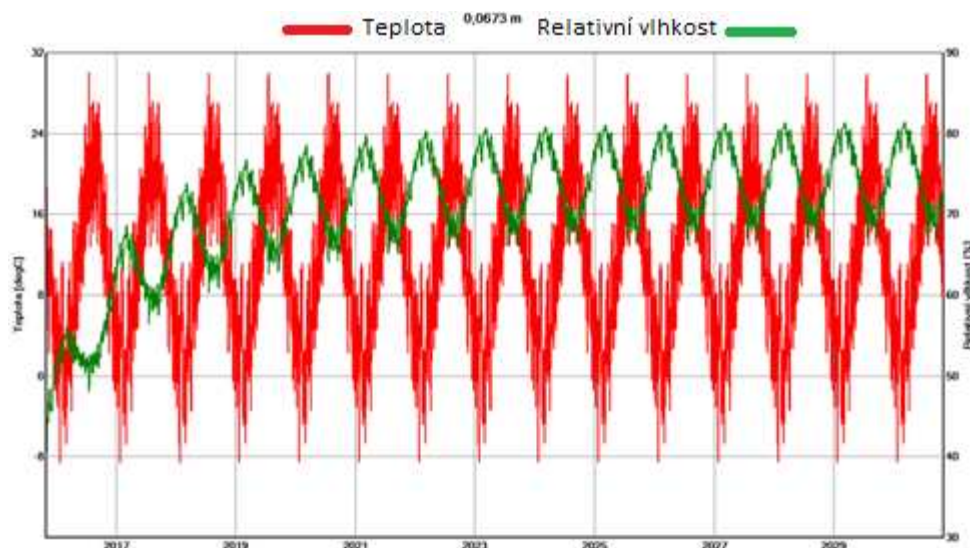
Program WUFI je software pro dynamické modelování šíření tepla, vlhkosti a energie ve stavebních konstrukcích a materiálech. Umožňuje dynamické hodnocení energetické náročnosti a komfortu vnitřního prostředí budov, nebo jejich částí. V programu WUFI jsou materiály předem definovány křivkami pro tepelnou vodivost v závislosti na teplotě a vlhkosti, pro faktor difusního odporu vodních par v závislosti na vlhkosti a mnoha jinými. Vybrali jsme z dané databáze materiály, které svými vlastnostmi nejvíce připomínali, nebo se shodovali, s materiály použité v programu DEKSOFT [21]

Po zadání jednotlivých materiálů a jejich tloušťek, se museli nastavit počáteční podmínky výpočtu. Software WUFI dokáže pracovat s nestacionárními podmínkami, takže místo stacionárních počátečních podmínek, jako tomu bylo v programu DEKSOFT, se zadávají konkrétní roční klimatická data. Pro tuto bakalářskou práci byla vybrána klimatická data z lokality Hradec Králové. Referenční klimatický rok pro Hradec Králové byl poskytnut Ing. Petrem Slaninou Ph.D. na základě dat z Českého hydrometeorologického ústavu. Datový soubor byl složen z následujících měsíců: leden 91, únor 97, březen 04, duben 04, květen 99, červen 02, červenec 01, srpen 01, září 00, říjen 99, listopad 04 a prosinec 03 podle normy ČSN EN ISO 15927-4. Chybějící hodinová data srážek pro leden a únor byla vytvořena Ing. Slaninou na základě naměřených denních průměrů srážek, slunečního záření a relativní vlhkosti venkovního vzduchu. Vnitřní počáteční podmínky byly stanoveny dle normy ČSN EN 15026 – rodinný dům.

Při nastavování výpočtu se nesmělo také zapomenout zohlednit vliv deště a přizpůsobit tomu faktor redukce dešťové vody. Při nezohlednění by totiž vložené skladby byly brány jako střechy a výpočetní model by byl chybný.

První skladba byla posouzena na 15 let. Hledalo se období, při kterém se roční vlhkostní a teplotní poměry uvnitř skladby ustálí. I při měnění počáteční vlhkosti a teploty, se vždy vlhkostní a teplotní poměry ustálily po cca devíti letech. Z tohoto důvodu, a z důvodu úspory času potřebného k vypočítání jednotlivých skladeb, byla u dalších skladeb zvolena posuzovaná doba 10 let. Na Graf 1 je znázorněn vývoj rel. vlhkosti a teploty v průběhu 15ti let na skladbě S1.

Graf 1 Vyhodnocení tepelně vlhkostních poměrů ve skladbě S1 v průběhu 15ti let.



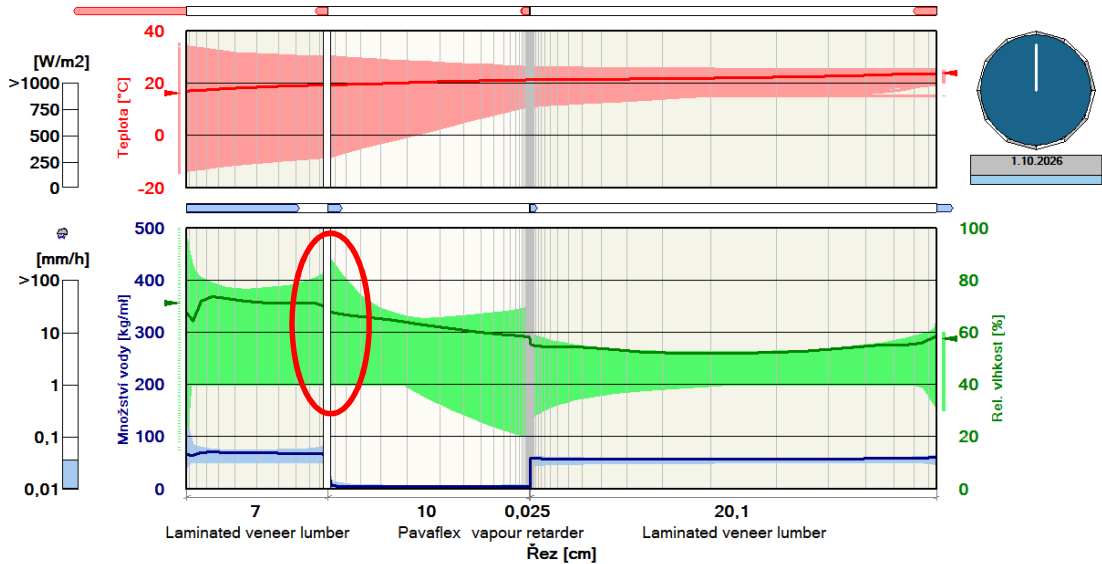


Po vypočítání skladby na deset let bylo zjištěno, že největší vlhkost se vždy projeví na rozhraní vnější dřevěné stěny a tepelné izolace, popř. vzduchové vrstvy (viz. Graf 2). Z tohoto důvodu bylo pozdější hodnocení zaměřeno právě na tuto část konstrukce.

Graf 2 Výsledek průběhu teploty a vlhkosti ve skladbě S1 z posouzení na 10 let

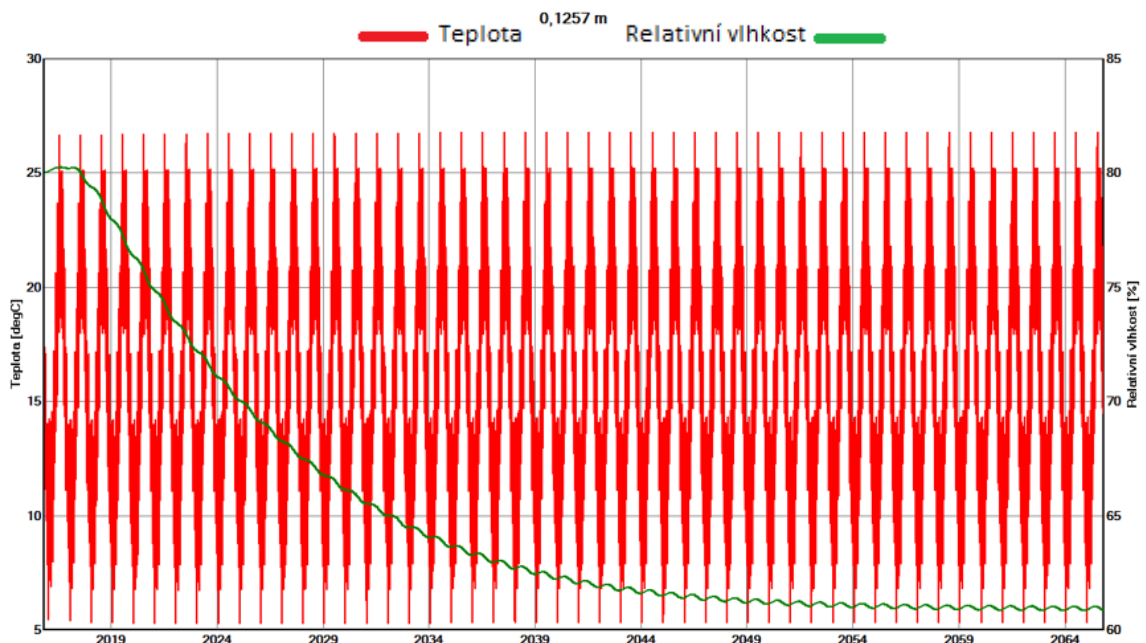
Lokalita: Hradec Králové; Hradec Králové;

WUFI®



Dle výsledků z trojosých grafů pro časové období, teplotu a relativní vlhkost se ukázalo, že nejnepříznivější období je vždy až po ustálení tepelně vlhkostních poměrů. Proto byly brány do dalších výpočtů výsledky z posledního (desátého) hodnoceného roku. Výjimkou byla skladba S4 (smrkové dřevo), kde se vlhkostní poměry ustálily až po cca 40 letech. Protože je skladba S4 difúzně otevřená, klesla relativní vlhkost pod 80 % po velmi krátké době. Skladba S4 již proto nebyla dále posuzována z hlediska vzniku plísní.

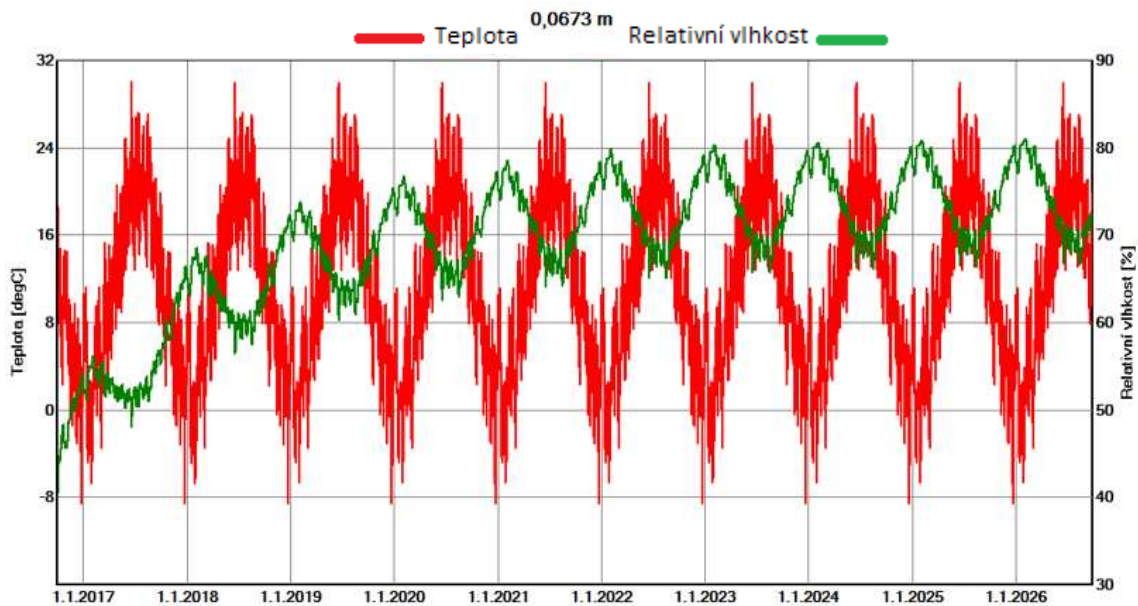
Graf 3 Průběh relativní vlhkosti skladbou S4 po dobu 50 let







Graf 4 Typický průběh relativní vlhkosti a teploty ve skladbách (na grafu skladba S2)



Kompletní grafy z průběhu relativní vlhkosti a teploty z posuzovaného období (ke každé skladbě) viz. Příloha 8 až Příloha 14.

## 5.4 Teplotně vlhkostní analýza

Pro další analýzu skladeb bylo zapotřebí znát, kolik hodin ročně se relativní vlhkost dostane nad hranici 80 %. Tato hranice byla zvolena jako ukazatel 18 ti % hmotnostní vlhkosti dřevěných prvků. Tato hranice se ale pohybuje hluboko na straně bezpečnosti, neboť 18 % hmotnostní vlhkost dřevěných prvků se na hranici 80 % relativní vlhkosti vzduchu dostane (dle Čulického diagramu viz Obr. 13) zhruba při  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Z programu WUFI bylo tedy nutné vyexportovat data do programu MS Excel a podrobit detailnější analýze. Výsledná data (kolik hodin ročně přesáhla rel. vlhkost hranici 80 %) jsou přehledně zobrazena v Tabulka 20. V žádné normě ovšem není psáno, jak dlouho a jaké podmínky musí nastat pro tvorbu dřevokazných hub a plísní. Tyto hodnoty jsou popsány v následující kapitole.

Tabulka 20 Porovnání roční vlhkostní bilance nad 80% v hodinách pro jednotlivé skladby

Označení	Skladba	hodin za rok	max teplota	min. teplota	prům. teplota
S1	parozabrána Bez vzduchové mezery	1193	29,9	-8,4	11,1
S2	parozabrána S neprovětrávanou vzduchovou mezerou	839	29,9	-8,5	11,1
S3	parozabrána S provětrávanou vzduchovou mezerou	1817	34,8	-13,9	10,1
S4	24cm smrkové dřevo	0	26,7	5,3	15,8
S5	Uherka100	2938	28,4	-5,5	11,9
S6	Uherka200	3930	28,5	-7,3	11,1
S7	Bez vzd. mezery, bez parozabrány (1)	1954	29,9	-8,3	11,2

Z porovnání je zřejmé, že mezi jednotlivými skladbami jsou markantní rozdíly. Zároveň ale může být vyvozen závěr, že skladbou S6 cesta nevede. Se zvyšující se tloušťkou tepelné izolace přibývá i množství zkondenzované vody uvnitř konstrukce. U skladby S3 si ale nemůžeme být jisti správností výsledků. Do programu silně větraná mezera nelze zadat a počítá se s ní pouze tak, že poslední vrstva konstrukce je, v našem případě,



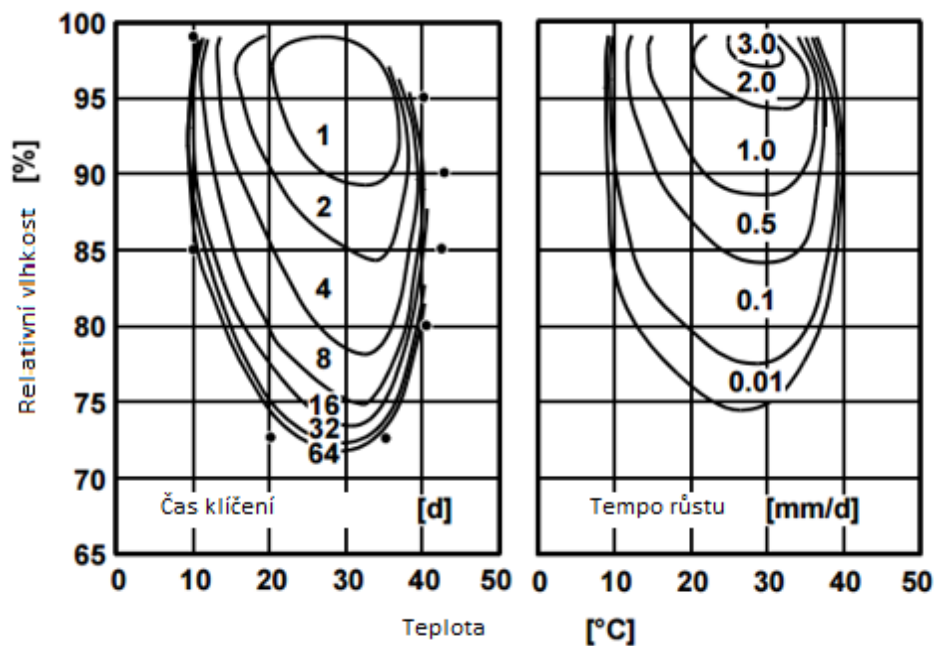
difuzně otevřená fólie. Z těchto důvodů se skladbami S3 a S6 tato bakalářská práce nebude již nadále zabývat.

#### 5.4.1 Podmínky pro růst spor a podhoubí

Literatura často uvádí, že rozhodujícím kritériem pro růst plísní na povrchu stěn je relativní vlhkost 80 %, nezávisle na teplotě. Někdy se uvádí, že některé typy plísní můžou ale růst i při nižších vlhkostech [17].

Tyto podmínky pro růst plísní jsou popsány v tzv. izopletech. Ty byly provedeny převážně britskými biology v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století (Graf 5). Tyto diagramy nabývají různých hodnot pro různé typy plísní a uvádějí čas pro klíčení a tempo růstu plísní. Pod nejnižší čarou veškerá plísňová aktivita přestává. Pod touto čarou jsou natolik nepříznivé teploty a vlhkosti, že klíčení spor <sup>2)</sup> a růst podhoubí <sup>3)</sup> může být vyloučeno. Tyto izoplety jsou vytvořeny na základě ustáleného stavu, tj. konstantní teploty a relativní vlhkosti [22].

Graf 5 Vlevo – čas potřebný pro klíčení spor, vpravo - tempo růstu podhoubí. Zdroj: [22].



**Figure 2** Isopléty pro plísně a spory *Aspergillus restrictus*  
Levá strana: Isopléty pro klíčení spor  
Pravá strana: Isopléty pro růst podhoubí



Aby se spolehlivě zabránilo klíčení spor, nebo růstu podhoubí, je třeba brát v úvahu všechny druhy možných hub a určit nejnižší podmínky, při kterých se mohou vyskytovat. Tato křivka je nazvána Lowest Isopleth for Mould (nejnepříznivější křivka pro růst plísní). LIM (Graf 6) zobrazuje nejnepříznivější podmínky pro růst spor (horní) a pro růst podhoubí (spodní). [22]

Graf 6 Nejnepříznivější podmínky pro růst spor (horní) a pro růst podhoubí (spodní). Zdroj: [22].

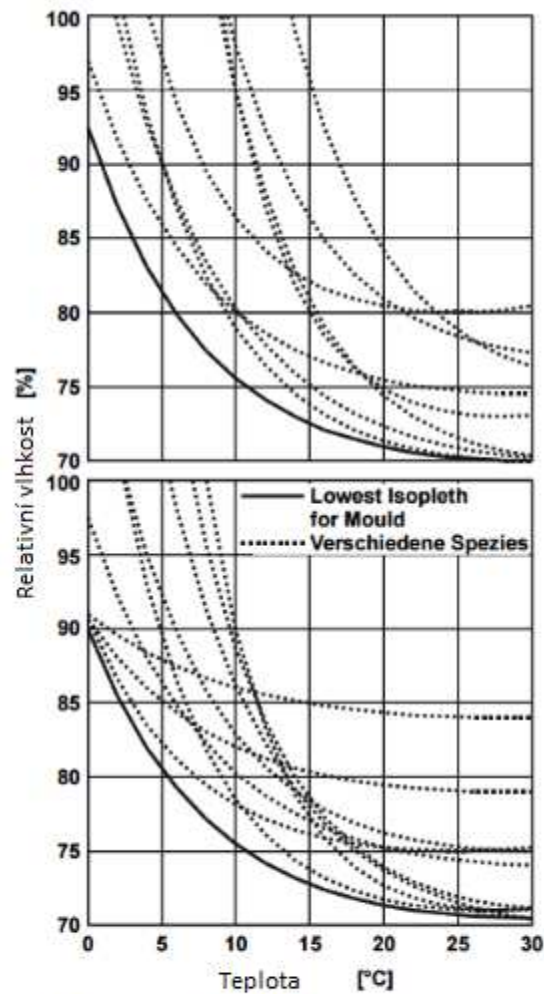


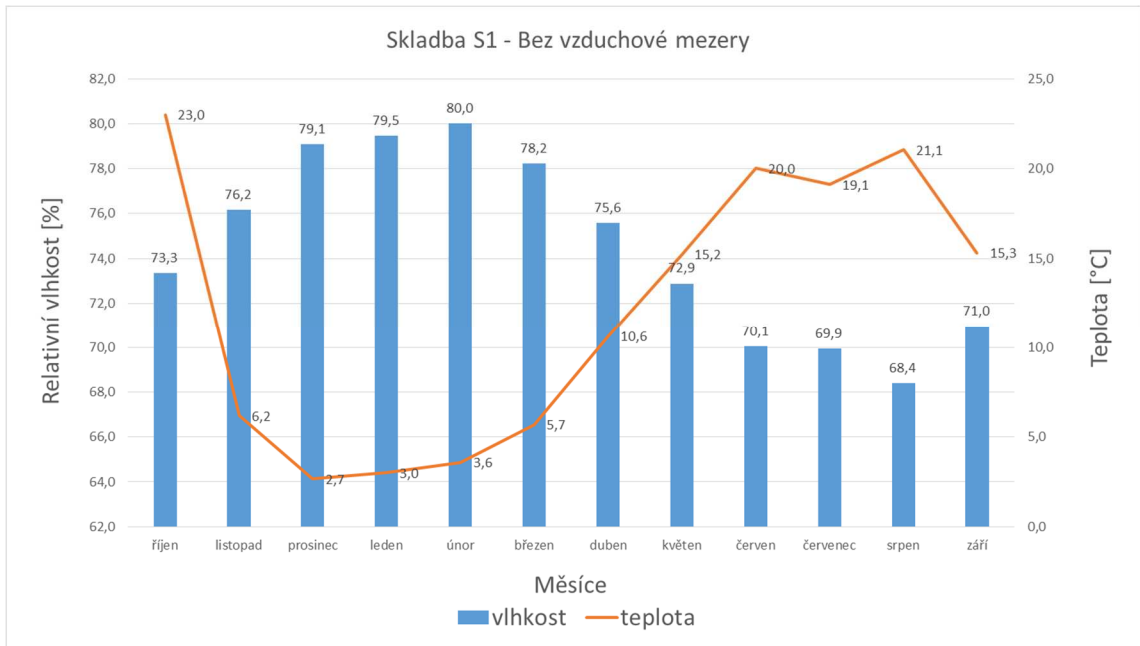
Figure 5 Vývoj LIM z Isoplétů různých druhů  
Nahoře: Klíčení spor  
Dole: růst podhoubí



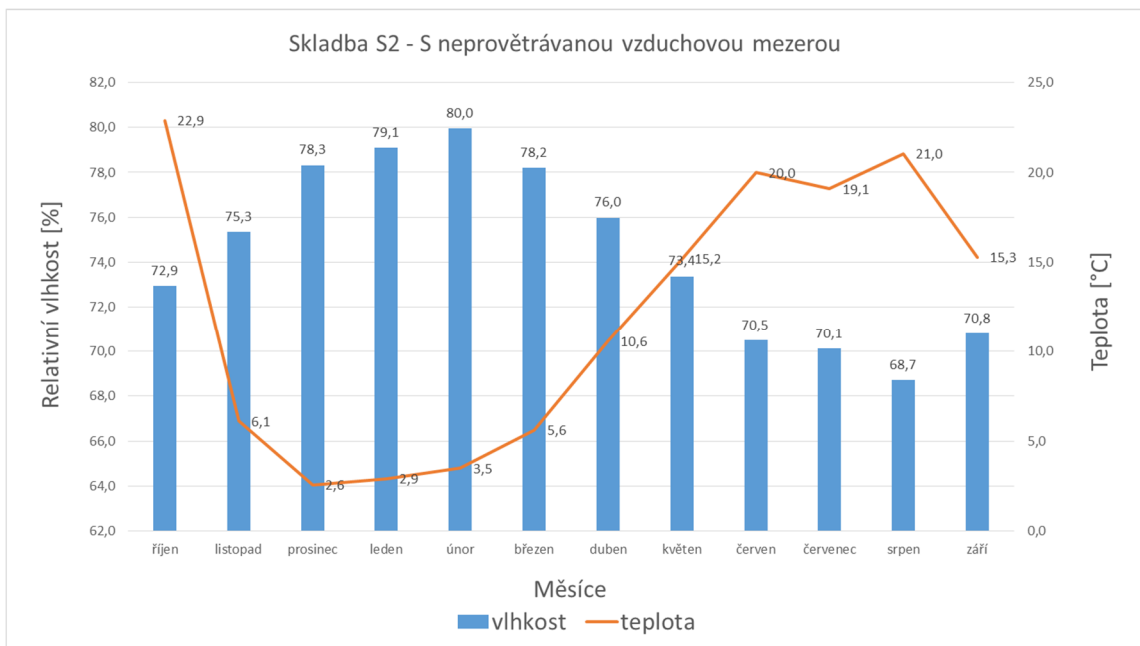
### 5.4.2 Vyhodnocení ohrožení skladeb dřevokaznými houbami a plísněmi

Z důvodu velkého množství dat z programu WUFI (v rámci hodinového jednotkového kroku výpočtu po dobu 10ti let), byly postupnou optimalizací vypočítány průměrné hodnoty relativní vlhkosti a teploty za období jeden měsíc v průběhu jednoho (desátého) hodnoceného roku. Tyto hodnoty byly následně vloženy do trojosých grafů.

Graf 7 Analýza teploty a relativní vlhkosti skladby S1

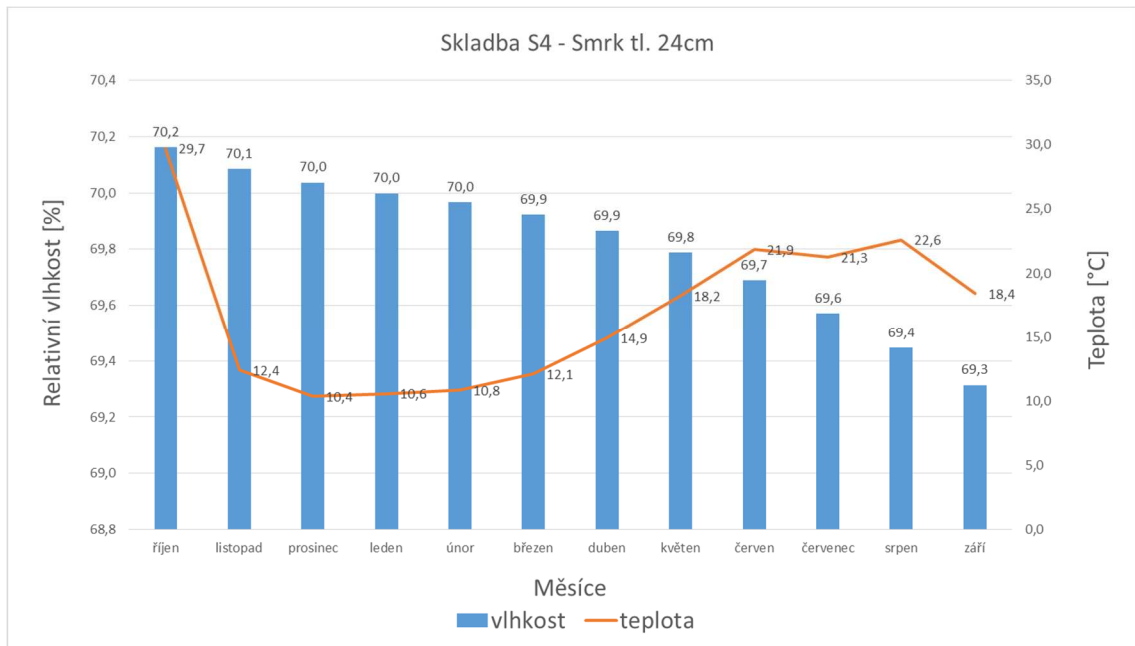


Graf 8 Analýza teploty a relativní vlhkosti skladby S2

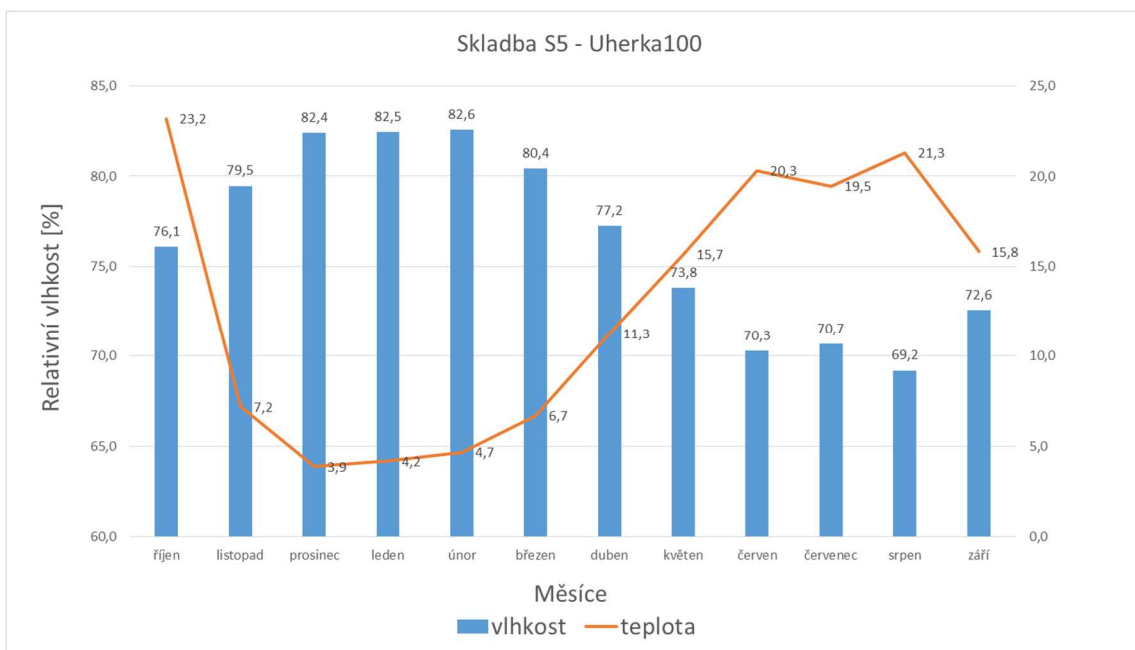




Graf 9 Analýza teploty a relativní vlhkosti skladby S4

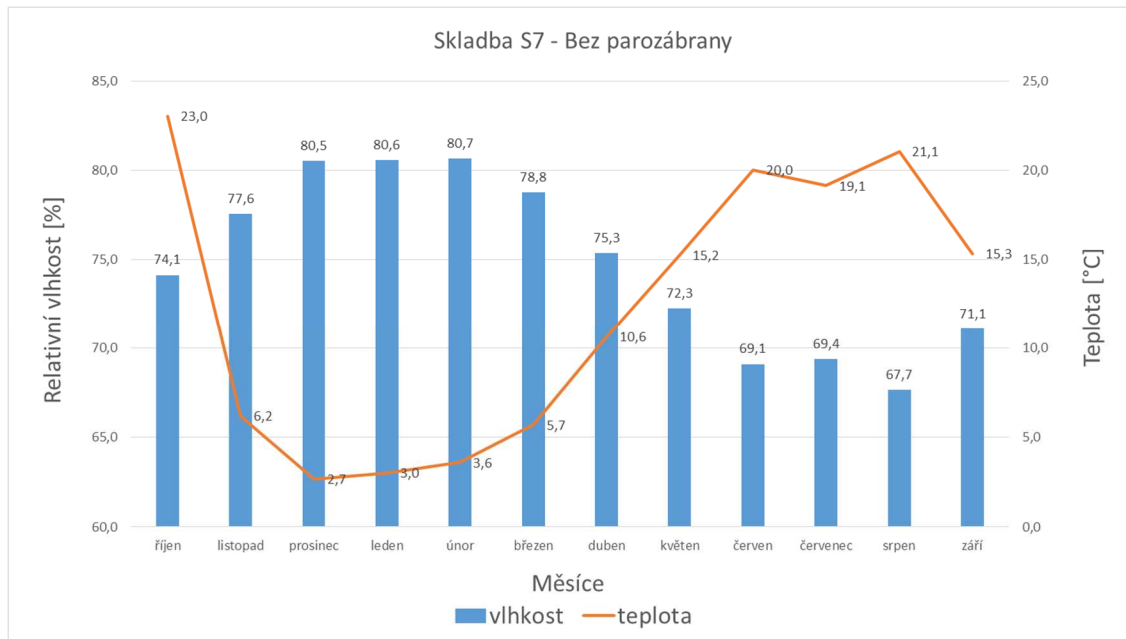


Graf 10 Analýza teploty a relativní vlhkosti skladby S5





Graf 11 Analýza teploty a relativní vlhkosti skladby S7



Po vytvoření těchto grafů byla vzata každá kombinace teploty a relativní vlhkosti. Tyto kombinace byly následně vloženy do Graf 6, kde byly porovnány s LIM. Pokaždé, když se daná kombinace vyskytla za hranicí LIM, byla tato varianta zaznamenána. Výsledné hodnoty jsou přehledně uvedeny v Tabulka 21.

Tabulka 21 Vyhodnocení kombinací vlhkostí a teplot v jednotlivých skladbách

LIM	Skladba S1	Skladba S2	Skladba S4	Skladba S5	Skladba S7
Říjen	•	•		•	•
Listopad				•	
Prosinec				•	
Leden				•	
Únor				•	
Březen				•	
Duben	•	•		•	•
Květen	•	•			•
Červen					
Červenec					
Srpen					
Září				•	

Z Tabulka 21 je patrné, že riziko růstu podhoubí nebo spor, se vyskytuje téměř ve všech skladbách. Ve skladbě S4 (smrkové rostlé dřevo) ani jedna kombinace nevykázala zvýšené riziko. Relativní vlhkosti ve skladbě S4 se díky své difuzní propustnosti pohybují na dostatečně nízké hodnotě. U ostatních skladeb je dále nutné v rizikových měsících posoudit, jestli dle Graf 5 daná kombinace splňuje časový interval pro klíčení spor. Vyhodnocení výsledků je znázorněno v Tabulka 22.

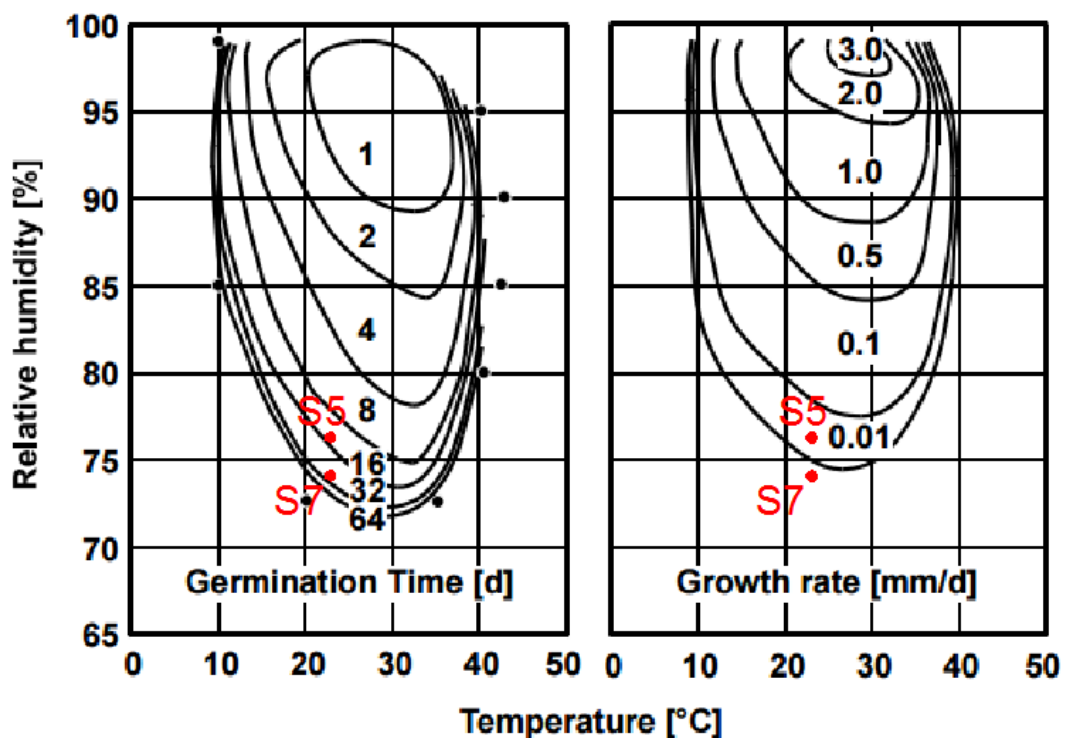


Tabulka 22 Vyhodnocení výsledků potřebné doby pro klíčení spor

Doba růstu	Skladba S1	Skladba S2	Skladba S4	Skladba S5	Skladba S7
Říjen	✓	✓		X	X
Listopad				✓	
Prosinec				✓	
Leden				✓	
Únor				✓	
Březen				✓	
Duben	✓	✓		✓	✓
Květen	✓	✓			✓
Červen					
Červenec					
Srpen					
Září				✓	

Po analýze kombinací relativní vlhkosti a teploty v rizikových měsících bylo prokázáno, že rizikovými skladbami jsou skladby S5 a S7. U skladby S5 je průměrná teplota za měsíc říjen 23,2 °C a relativní vlhkost 76,1 %. Doba potřebná pro klíčení spor byla stanovena na 15 dnů. Za tuto dobu by mohlo vyklíčit zhruba 0,75 mm podhoubí. Za celý nepříznivý měsíc by se hodnota mohla vyšplhat na 1,5 mm. Ve skladbě S7 je průměrná teplota za měsíc říjen 23,0 °C a relativní vlhkosti 74,1 %. Doba potřebná pro klíčení spor byla stanovena na 30 dnů. Za tuto dobu by ovšem podhoubí mohlo vyklíčit na hodnotu cca 0,25 mm.

Graf 12 Vynesení výsledků rizikových skladeb



**Figure 2** Isoleths for mould spores of *Aspergillus restrictus*.  
Left side: Isoleth for spore germination  
Right side: Isoleth for mycelium growth



## 5.5 Porovnání výsledků s naměřenými hodnotami

Pro ověření teoretických výsledků byly zhotoveny dva modely roubených stěn. Konkrétně se jednalo o stěnu skladby S5 a S6. Obě stěny měly rozměry 2×2 m a aby bylo docíleno srovnatelných výsledků, byly umístěny vedle sebe v experimentální budově. Měření budou probíhat dlouhodobě, aby byly potvrzeny nebo vyvráceny předpoklady o chování dřevěných stěn v reálných podmínkách a stavbách.

Začátkem roku 2016 probíhala montáž výše zmíněných stěn a čidel v experimentální budově v Brně. Vzhledem k časovému skluzu, který si vyžádala stavba experimentální budovy, bohužel nebyly k datu odevzdání této bakalářské práce k dispozici měření na vzorcích roubených stěn v budově. Stěny byly pouze sestaveny, osazeny čidly a poté se čekalo na další dokončovací práce.



Obr. 22 Pohled na měřené stěny v experimentální budově stavebnin DEK

Měření budou probíhat v období minimálně jednoho roku, pro zajištění dostatečně přesných informací, které by mohly validovat výsledky získané z programů DEKSOFT, WUFI, případně Area2D a další.





## 5.6 Technologická a ekonomická analýza vybraných skladeb

Analýza má za úkol porovnat dvě běžně realizované konstrukce v ČR (skladbu S4 a S5) a nově navrhnoutou skladbu s provětrávanou vzduchovou mezerou – skladbu S3. Cílem technologické a ekonomické analýzy bude zjistit, zdali nově navrhnoutá konstrukce bude cenově a časově srovnatelná s běžně realizovanými konstrukcemi.

### a) Skladba S4 – Smrk 240

V ceně je uváženo řešení dilatací pro značné sedání stavby tyto úpravy se tedy cenově odrazí již při montáži stavby. Je nutno podotknout, že tato skladba nesplňuje tepelně technické požadavky dle ČSN 73 0540-2 na součinitel prostupu tepla.

Do technologického normálu i do celkové ceny musí být také zahrnuta nutná položka impregnace dřeva, která je nezbytná pro použití rostlého dřeva. Stejně tak do ceny výstavby objektu se musí zahrnout nutná technologická přestávka v podobě sedání a dotvarování dřevěných prvků, která je nezbytná, kvůli vysoké počáteční hmotnostní vlhkosti dřevěných prvků.

### b) Skladba S5 – Uherka100

Zde je doba výstavby výrazně kratší, než v porovnání s předešlou skladbou S4. Odpadá zde technologická přestávka kvůli dotvarování a dosedání konstrukcí. BSH profily se dodávají již předem technicky vysušené na maximální hodnotu relativní vlhkosti 12% ( $\pm 2\%$ ). Odpadá zde také nutnost impregnace dřeva. Výroba BSH profilů ovšem zahrnuje nástřik lepidla na jednotlivé hranoly a slisování vrstev k sobě. Po vytvoření požadované tloušťky musí profil projít opracováním na CNC strojích a vyřezáním pera/drážky.

Tato skladba vyhoví na požadavky ČSN 73 0540-2, ale dle posouzení z programu WUFI se ukázalo, že skladba je riziková z pohledu kondenzace vodních par uvnitř konstrukce.

### c) Skladba S3 – S provětrávanou mezerou

Třetí posuzovanou skladbou byla zvolena skladba S3, která dle dosavadních výpočtů z programu DEKSOFT vyhověla dle tepelně-technických požadavků nejlépe. Díky rychlosti a přesnosti výroby BSH profilů a za použití vhodných technologických postupů může konkurovat ostatním uvedeným konstrukcím.

Cena a čas výstavby a materiálu se mění pouze pro obvodové stěny. Nejsou zde tedy uvedeny ceny za časovou náročnost pro projektovou dokumentaci, přípravu a realizaci ostatních konstrukcí. Není zde také uvedena cena pro dopravu, skladování a balení materiálu. Cena za dopravu by pro BSH profily vycházela lépe díky jejím nižším hmotnostem, oproti rostlému dřevu. Tato bakalářská práce se zabývá pouze výrobou a realizací roubených stěn. Cena pro montáž se odvíjí dle složitosti návrhu roubené konstrukce dle PD.

Z porovnání harmonogramů (Příloha 15, Příloha 16 a Příloha 17) je zřejmé, že obecně výstavba z profilů BSH je rychlejší, než výstavba z profilů rostlého dřeva. Nejlépe by takto vycházela výstavba konstrukce se skladbou S5. Dále se ukázalo, že cena konstrukce roste s její složitostí, ale ne díky ceně za realizaci, ale díky ceně za



opracování a tato cena dále stoupá, pokud se jedná o konstrukci z rostlého dřeva. Složitost opracování však nezávisí pouze na architektonickém návrhu, ale také na kvalitě zpracování výrobní dokumentace a vhodnosti agregátů k této výrobě použitých. Z ekonomického hlediska vychází nejlépe konstrukce z rostlého dřeva (cena za celý objekt), a to zejména kvůli nízké ceně vstupního materiálu. Tato konstrukce ovšem nesplňuje tepelně technické podmínky dle ČSN 73 0540-2, a proto bych takovou konstrukci nedoporučil neboť finance ušetřené při výstavbě, budou v průběhu let utraceny za vytápění a zároveň takováto stavba dle zákona může sloužit pouze k dočasnému bydlení a individuální rekreaci. Dle srovnání skladeb za cenu na 1 m<sup>2</sup> vyjde nejlevněji skladba S5. U skladby S4 je cena na 1 m<sup>2</sup> navýšena o rektifikaci prvků především z důvodu sesedání trámů. Po stránce technologické jsou obecně výhodnější stavby z BSH profilů, kvůli vyloučení delších technologických přestávek při výstavbě. Lze proto dosáhnout velmi rychlé realizace stavby. Výstavba je také urychlena tím, že dřevo je sušeno v komorových sušárnách, což přispívá jak k urychlení stavby, tak k minimalizaci porušení dřeva při sušení [23].

Tabulka 23 Porovnání skladeb za 1 m<sup>2</sup>. Zdroj: [23]

Skladba	Cena za 1 m <sup>2</sup>
S4 – Smrk240	6391,00 Kč/m <sup>2</sup>
S5 – Uherka100	5186,00 Kč/m <sup>2</sup>
S3 – S provětrávanou vzduchovou mezerou	6435,00 Kč/m <sup>2</sup>

Tabulka 23 srovnává ceny posuzovaných skladeb na 1 m<sup>2</sup>. Ceny vycházejí z [23]. Jednotlivé rozborové listy a technologické normály těchto skladeb viz. Příloha 15, Příloha 16 a Příloha 17.

Cena je brána jako komplexní částka za 1 m<sup>2</sup> skladby obvodového pláště roubenky. V ceně je zahrnuto opracování BSH profilů na CNC strojích a částka za vysoušení a impregnaci dřevěných trámů v případě skladby S4. Cena zároveň zahrnuje tepelnou izolaci i její montáž, stejně tak jako montáž celé skladby obvodového pláště, včetně parobrzdných a difuzních fólií a spojovacích a těsnících materiálů. Souhrnný rozpočet, který vychází z bakalářské práce Ondřeje Plíhala [23], je uveden v Příloha 18, Příloha 19 a Příloha 20.



## 5.7 Technologická a finanční analýza řešení ložných spár

Pro ložné spáry roubených staveb z BSH profilů se nejčastěji používají těsnící profily v podobě komprimačních pásek. Komprimační pásy umožňují jednoduchou aplikaci spojenou s velmi dobrou účinností a aplikací. Typickým zástupcem těchto pásek je například páska Illbruck TP 600 (Illmod 600). Jedná se o impregnovanou jednostranně lepící polyuretanovou těsnící pásku se strukturou otevřených buněk. Páska je impregnovaná za pomoci syntetické pryskyřice. Dodává se v různých šířkách a tloušťkách. Konkrétní výběr pásy je daný tvarem a typem zámku roubení, hlavně pak tloušťkou těsněné spáry.

Další možností těsnění spár je pomocí těsnících provazců. Těsnící provazce jsou nejčastěji vyrobeny z lehčeného polyetylenu. Slouží zejména jako ideální lůžko pro tmelené spáry. Při jeho použití těsnících provazců dochází k úspoře těsnícího tmele a zároveň správnou dilatační funkci spáry. Provazce fungují jako základní těsnění proti prachu a průvanu, přerušení tepelného mostu a zamezení nežádoucích styků konstrukcí.

U roubenek jsou velmi oblíbené těsnící provazce z ovčí vlny. Zachovávají tak koncept stavby stavěné z přírodních materiálů. Pásky z ovčí vlny lze stlačit, čímž dokonale vyplní a utěsní prostor mezi hranoly a dokáží se přizpůsobit také změnám tvaru sesychajícího dřeva.

Tabulka 24 Srovnání cen těsnících materiálů za 1 bm

Typ izolantu	Cena na 1 bm
Těsnící profil Illbruck TP illmod 600 (200 mm)	47,50 Kč/bm
Těsnící provazce z PE (2 na šířku profilu)	10,08 Kč/bm
Těsnící provazce z ovčí vlny (200 mm)	72,60 Kč/bm

Dle průzkumu trhu se jednotlivé izolační materiály pohybují v cenových mezích viz. Tabulka 24. Je nutné ale říci, že v případě těsnících provazců z PE se jedná o dva provazce šíře 8 mm, položené na kraje per BSH profilů, spoje budou následně přetmeleny těsnícím tmelem. Komprimační páska, stejně tak jako těsnící provazec z ovčí vlny vyplní celý prostor, mezi jednotlivými pery BSH profilu.

Detailnější analýzou těsnících prvků ložných spár roubených staveb se budu dále zabývat ve své diplomové práci. Je třeba jednotlivé materiály nasimulovat ve 2D programu (Area2D) a zjistit změny v součiniteli tepelné vodivosti a prostupu vodních par skrz tyto varianty možných těsnění.



## 6 ZÁVĚR

### 6.1 Zhodnocení vytýčených cílů

#### 6.1.1 Návrh nových skladeb roubených stěn

Bylo navrženo několik skladeb stěn roubených staveb. Okrajové vrstvy byly navrženy z BSH profilů, čímž se nám podařilo zachovat přírodní roubený vzhled jak z interiéru, tak i z exteriéru. Tepelné izolace byly zvoleny na bázi přírodních vláken, konkrétně z vláken juty. Při návrhu parobrzdné vrstvy se zachoval přírodní ráz a byla zvolena zesílená papírová fólie. Skladby byly navrženy jak se vzduchovou mezerou, tak i bez vzduchové mezery. Pro ověření důležité funkce parozábrany byla navržena i skladba bez parozábrany.

#### 6.1.2 Multikriteriální posouzení hodnocených skladeb

Všechny navržené skladby byly posouzeny na součinitel prostupu tepla. Byla zvolena taková dimenze tepelné izolace, že všechny nově navržené skladby splnili jak požadovanou, tak i doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla.

Při posouzení skladeb z hlediska šíření vodní páry konstrukcí se prokázalo, že parobrzda v těchto konstrukcích hraje důležitou roli. Všechny posuzované skladby, které v sobě neměli parobrzdnou vrstvu dopadli v porovnání se skladbami s parobrzdnou vrstvou mnohem hůř.

Po vyhodnocení a posouzení skladeb z hlediska možného růstu podhoubí a spor se prokázalo, že skladby bez parobrzdné fólie jsou náchylné k tvorbě plísní. U skladeb S5 a S7 (skladby bez parobrzdné vrstvy) se totiž jako u jediných posuzovaných skladeb projevila zvýšená náchylnost k těmto problémům. Na základě těchto výsledků můžeme konstatovat, že parobrzdná fólie hraje ve skladbě stěn roubených staveb důležitou roli a s absencí parobrzdné fólie jsou skladby náchylné k tvorbě plísní.

Velký potenciál při budoucím návrhu skladem roubených stěn vidím ve skladbě S3 – skladba s větranou vzduchovou mezerou. Na základě zkušeností a obecných znalostí stavebních konstrukcí usuzuji, že větraná mezera by mohla vyřešit problémy s kondenzací vodních par. Vnější plášť by chránil tepelnou izolaci proti mechanickému poškození a proti vniku atmosférických srážek. Zároveň by zajišťoval ochranu proti přehřívání budovy a proti úniku tepla před chladnou noční oblohou. Celá skladba by tak byla difúzně otevřená a vodní pára by zde prakticky neměla šanci kondenzovat.

#### 6.1.3 Validita teoretických výsledků s prakticky naměřenými výsledky

Tento cíl ke dni odevzdání bakalářské práce nebyl splněn. V experimentální budově jsou sestaveny zkušební stěny, na kterých jsou osazena měřící zařízení pro měření teploty a relativní vlhkosti. Naměřená data ale nejsou takového objemu, aby byla dostatečně průkazná. Každopádně praktická měření stále probíhají. Kompletní výsledky a porovnání bude možné vyhodnotit až po nasbírání dostatečně velkého množství dat.

Ověřením výsledků z praktického měření se budu dále zabývat ve své diplomové práci.



## 6.2 Přínos pro praxi

Největším přínosem pro praxi budou dlouhodobá praktická měření na vzorcích roubených stěn. Tato měření budou probíhat v průběhu celého roku a budou sledovány průběhy teplot a vlhkostí v masivních dřevěných stěnách. Na základě naměřených hodnot budou moci být ověřeny teoretické modely a bude lépe pochopena problematika šíření teplot a vlhkosti v masivní dřevěné konstrukci.

Vypočtené výsledky také ukazují, že absence parozábrany ve skladbě může znamenat velké riziko ohrožení konstrukce napadením plísněmi a dřevokaznými houbami. Bylo by dobré, aby se při dalších návrzích skladeb roubených staveb vycházelo z této skutečnosti.

## 6.3 Možnosti dalšího postupu a vývoje

Největším potenciálem pro další rozvoj této bakalářské práce vidím v sestavení vhodného mechanismu pro zadávání silně větrané mezery do výpočetních programů. Aktuální softwary počítají s větranou mezerou pouze tak, že do výpočtu započítávají pouze poslední vrstvu od interiéru před větranou mezerou. S ohledem na závislost součinitele tepelné vodivosti dřeva na vlhkosti dřeva a vzhledem k nerovnoměrnému rozložení vlhkosti dřeva po průřezu dřevěné stěny vidím možnost výpočtového nástroje, který by zohledňoval více parametrů dřeva, jako je například rychlost sorpce dřeva po průřezu, nebo redistribuce vlhkosti v dřevní hmotě.

Dalším možným směrem vývoje je simulace ložných spár ve 2D nebo 3D výpočetním programu. Porovnat změny v součiniteli tepelné vodivosti a prostupu vodních par, při různých variantách izolačních materiálů.

Pro detailnější posouzení z hlediska výskytu podhoubí a spor se otevírá prostor pro posouzení skladeb v softwaru WUFI BIO. Tento software se zabývá klíčením spor a růstem podhoubí ve zvolených skladbách, při započítání nestacionárních podmínek.



## Použité zdroje

1. kol., Souček a. Wikipedia.org. [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Juta>.
2. Wikipedia. [Online] [Citace: 17. 5 2016.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Spora>.
3. Wikipedia. [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mycelium>.
4. Uherka, Ing. Pavel. *Tepelně-vlhkostní analýza konstrukcí masivních dřevostaveb*. Brno : autor neznámý, 2015.
5. VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd.* Praha : Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2205-4.
6. KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce. 1. vyd.* Praha : Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činých ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
7. KOLB, Josef. *Dřevostavby - Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště. 3., aktualizované vydání.* ISBN 978-80-247-4071-3.
8. Dřevostavby. *Tzb-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 2015. <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby>.
9. Thoma. *Benefits of Holz100*. [Online] <http://www.thoma.at/en/argumente>.
10. Monivet: Výstavba srubů - používané technologie. [Online] MONIVET s.r.o., 2011 [cit. 2016-5-7]. <http://www.vystavba-srubu.cz/sruby/pouzivane-technologie/>.
11. WIKIPEDIA. *Wikipedia.org*. [Online] [cit. 2016-5-7]. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Srub>.
12. Technologie. *Woodvilla*. [Online] 2011. <http://www.woodvilla.eu/technology/>.
13. ŽIDLICKÝ, Atelier. *moderní-sruby*. [Online] 2005. <http://www.moderni-sruby.cz/surovina-na-stavbu-srubu-a-roubenky.html>.
14. Airhouse. [Online] <http://www.airhouse.cz/air-house/architektonicky-koncept/>.
15. THERMO-LOG. [Online] 2015. <http://www.thermo-log.com/about>.
16. Thoma. *Holz100*. [Online] Thoma Holz GmbH. <http://www.thoma.at>.
17. ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Úřad pro technologickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
18. ČSN 73 0540-3: *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
19. Jiří Vaverka, Zdena Havířová, Miroslav Jindrák a kol. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha : Tiskárny havlíčkův Brod, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-7014-7.



20. Frantiček, MRLÍK. *Difuzní konstanty některých stavebních látek a konstrukcí.* místo neznámé : VÚPS, 1980.
21. Ph.D., Ing. Petr Slanina. Wufi Software. [Online] [Citace: 10. 5 2016.] <http://www.wufi.cz/>.
22. M. Krus, K. Sedlbauer, W. Zillig, H.M. Kunzel. A New Model for Mould Prediction and its Application on a Test Roof. místo neznámé : Fraunhofer Institute for Building Physics.
23. PLÍHAL, Ondřej. *Návrh modifikované roubené konstrukce.* Praha : autor neznámý, 2016.
24. Vacková, Pavla, Valentin, Jan a Neuvirt, Václav. *OVĚŘENÍ VLIVU REJUVENÁTORŮ A VYBRANÉ POVRCHOVĚ AKTIVNÍ.* Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure. 2014.



## Seznam obrázků

Obr. 1 Příčný řez kmenu používaného při kanadské technologii.....	15
Obr. 2 Příklad výstavby srubu kanadskou technologií .....	15
Obr. 3 Příčný řez kmenu používaného při norské technologii .....	16
Obr. 4 Příklad výstavby srubu norskou technologií .....	16
Obr. 5 Příklad výstavby srubu hákovou technologií .....	17
Obr. 6 Příčný řez kmenu používaného při hákové technologii .....	17
Obr. 7 Roubenka s mezerou mezi štětovicemi. Foto DEKWOOD.....	18
Obr. 8 Roubená stěna s perem a drážkou, bez sražení hran. Foto DEKWOOD .....	19
Obr. 9 Roubená stěna s přidanou tepelnou izolací. Foto www.moderni-sruby.cz .....	20
Obr. 10 Air House. Foto www.airhouse.cz.....	21
Obr. 11 Systém Thermolog s komprimační páskou. Foto www.thermo-log.com .....	23
Obr. 12 Systém Holz100 firmy Thuma. Foto www.thuma.at .....	24
Obr. 13 Diagram rovnovážné vlhkosti dřeva N.N. Čulického .....	32
Obr. 14 Schématické dělení BSH profilů .....	34
Obr. 15 Schéma S1 – bez vzduchové mezery.....	36
Obr. 16 Schéma skladby S2 – s neprovětrávanou vzduchovou mezerou .....	38
Obr. 17 Schéma Skladby S3 – se silně provětrávanou vzduchovou mezerou .....	39
Obr. 18 Schéma skladby S4 – smrkové dřevo.....	40
Obr. 19 Schéma skladby S5 – Uherka100.....	42
Obr. 20 Schéma skladby S6 – Uherka200.....	43
Obr. 21 Schéma skladby S7 – Bez vzduchové mezery, bez parozábrany .....	45
Obr. 22 Pohled na měřené stěny v experimentální budově stavebnin DEK.....	56





## Seznam tabulek

Tabulka 1 Požadavky na součinitel prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou teplotou $\theta_{im}$ v intervalu 18 °C až 20 °C v četně. (Výňatek z tab. 3 normy ČSN 73 0540-2:2012 ZMĚNA Z1) .....	25
Tabulka 2 Vybrané hodnoty tepelných a vlhkostních vlastností dřeva (Výňatek z tabulky A. 1 uvedené v normě ČSN 73 0540-3, str. 31) [18] .....	30
Tabulka 3 Srovnání hodnot součinitele tepelné vodivosti dle jiných přístupů .....	31
Tabulka 4 Vstupní parametry v programu DEKSOFT .....	31
Tabulka 5 Šíření vodní páry ve Skladbě S1 .....	37
Tabulka 6 Vyhodnocení rizika ohrožených prvků ve skladbě S1 .....	37
Tabulka 7 Šíření vodní páry ve skladbě S2 .....	38
Tabulka 8 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S2 .....	39
Tabulka 9 Šíření vodní páry ve skladbě S3 .....	40
Tabulka 10 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S3 .....	40
Tabulka 11 Vyhodnocení součinitele prostupu tepla skladby S4 .....	41
Tabulka 12 Šíření vodní páry ve skladbě S4 .....	41
Tabulka 13 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S4 .....	41
Tabulka 14 Šíření vodní páry ve skladbě S5 .....	42
Tabulka 15 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S5 .....	43
Tabulka 16 Šíření vodní páry ve skladbě S6 .....	44
Tabulka 17 Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků ve skladbě S6 .....	44
Tabulka 18 Šíření vodní páry ve skladbě S7 .....	45
Tabulka 19 Vyhodnocení rizika ohrožených dřevěných prvků ve skladbě S7 .....	46
Tabulka 20 Porovnání roční vlhkostní bilance nad 80% v hodinách pro jednotlivé skladby .....	49
Tabulka 21 Vyhodnocení kombinací vlhkostí a teplot v jednotlivých skladbách .....	54
Tabulka 22 Vyhodnocení výsledků potřebné doby pro klíčení spor .....	55
Tabulka 23 Porovnání skladeb za 1 m <sup>2</sup> . Zdroj: [23] .....	58
Tabulka 24 Srovnání cen těsnících materiálů za 1 bm .....	59



## Seznam příloh

Příloha 1 Tepelně technické posouzení skladby S1.....	67
Příloha 2 Tepelně technické posouzení skladby S2.....	70
Příloha 3 Tepelně technické posouzení skladby S3.....	73
Příloha 4 Tepelně technické posouzení skladby S4.....	76
Příloha 5 Tepelně technické posouzení skladby S5.....	79
Příloha 6 Tepelně technické posouzení skladby S6.....	82
Příloha 7 Tepelně technické posouzení skladby S7.....	85
Příloha 8 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S1.....	88
Příloha 9 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S2.....	88
Příloha 10 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S3.....	89
Příloha 11 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S4.....	89
Příloha 12 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S5.....	90
Příloha 13 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S6.....	90
Příloha 14 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S7.....	91
Příloha 15 Rozborový list a technologický normál skladby S4.....	92
Příloha 16 Rozborový list a technologický normál skladby S5.....	93
Příloha 17 Rozborový list a technologický normál skladby S3.....	94
Příloha 18 Souhrnný rozpočet skladby S4.....	95
Příloha 19 Souhrnný rozpočet skladby S5.....	95
Příloha 20 Souhrnný rozpočet skladby S3.....	96



## Přílohy

### Příloha 1 Tepelně technické posouzení skladby S1

<b>STN-9: Skladba S1</b>									
Vnitřní konstrukce:						NE			
Charakter konstrukce:						Stěna (vodorovný tepelný tok)			
Konstrukce dvouplošňová s větranou vzduchovou vrstvou:						NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:						NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:						výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
			$\lambda$	$\lambda_{uv}$					
-	-	d	$\lambda$	$\lambda_{uv}$	c	$\rho$	$\mu$		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
1	Laminated veneer lumber	0,2000	0,130	-	2 500	462	156,0		
2	WUFI vapour retarder	0,0003	2,300	-	2 300	130	3 300,0		
3	TI - Pavaflex	0,1200	0,039	-	2 100	53	1,4		
4	Laminated veneer lumber	0,0700	0,130	-	2 500	462	156,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{si}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_T$	4,979	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,20</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_h$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{rec}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-9: Skladba S1 splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:				
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{int}$	0,951	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{int,sk}$	0,760	-
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si}$	18,8	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min,sk}$	11,6	°C
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-9: Skladba S1 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.			
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:				
Podmínky na rozhraních mezi materiály:				
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]
i - 1	18,9	1 334	2 179	61%
1 - 2	8,2	233	1 090	21%
2 - 3	8,2	204	1 090	19%
3 - 4	-13,0	198	198	100%
4 - e	-16,7	115	140	82%
Kondenzační zóny:				
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]	
1	0,320	0,320	5,37e-9	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:			$M_{c,sk}$	0,000 kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:			$M_c$	0,016 kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:			$M_{ev}$	0,184 kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:			aktivní	
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry			
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiační a zabudované vlhkosti.				



Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	1	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	47	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	19,6	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	TI - Pavaflex	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{cond}$	5,37e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	93	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,2	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	4	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{cond}$	5,37e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	93	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,2	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		



## Příloha 2 Tepelně technické posouzení skladby S2

STN-8: Skladba S2									
Vnitřní konstrukce:						NE			
Charakter konstrukce:						Stěna (vodorovný tepelný tok)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:						NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:						NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:						výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
			$\lambda$	$\lambda_{\text{skv.}}$					
-	-	d	$\lambda$	$\lambda_{\text{skv.}}$	c	$\rho$	$\mu$		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
1	Laminated veneer lumber	0,2000	0,130	-	2 500	462	156,0		
2	WUFI vapour retarder	0,0003	2,300	-	2 300	130	3 300,0		
3	TI - Pavaflex	0,1000	0,039	-	2 100	53	1,4		
4	Vzduchová mezera neprovětrávaná	0,0500	0,280	-	1 000	1	0,3		
5	Laminated veneer lumber	0,0700	0,130	-	2 500	462	156,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{s,i}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{s,e}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{a,i}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírůstek:						$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%	
Nadmožská výška budovy (terénu):						h	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_c$	4,686	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,21</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{ik}$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{req}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-8: Skladba S2 splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:				
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{\text{int}}$	0,948	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{\text{int,R0}}$	0,760	-
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{si}}$	18,6	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{si,min,R0}}$	11,6	°C
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-8: Skladba S2 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.			
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:				
Podmínky na rozhraních mezi materiály:				
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]
i - 1	18,8	1 334	2 164	62%
1 - 2	7,4	238	1 032	23%
2 - 3	7,4	208	1 032	20%
3 - 4	-11,4	203	228	89%
4 - 5	-12,7	203	203	100%
5 - e	-16,7	115	141	82%
Kondenzační zóny:				
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]	
1	0,350	0,350	5.26e-9	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:			$M_{\text{c,R}}$	0,000 kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:			$M_{\text{c}}$	0,015 kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:			$M_{\text{av}}$	0,187 kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:			aktivní	
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry			
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.				



Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		1	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_s$	47	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	19,5	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_{cr}$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		3	TI - Pavaflex	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_s$	87	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	1,2	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		5	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě		$M_{cond}$	5,26e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_s$	92	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	0,4	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.			





Příloha 3 Tepelně technické posouzení skladby S3

STN-10: Skladba S3									
Vnitřní konstrukce:						NE			
Charakter konstrukce:						Stěna (vodorovný tepelný tok)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:						NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:						NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:						výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
			$\lambda$	$\lambda_{uv}$					
-	-	d	[W/(m.K)]		c	$\rho$	$\mu$		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
1	Laminated veneer lumber	0,2000	0,130	-	2 500	462	156,0		
2	WUFI vapour retarder	0,0003	2,300	-	2 300	130	3 300,0		
3	TI - Pavaflex	0,1000	0,039	-	2 100	53	1,4		
4	Difuzní fólie - Wutop Thermo SK	0,0013	2,300	-	2 300	219	80,0		
5	Sílně větraná vzduchová vrstva	0,0500	0,280	-	1 000	1	0,3		
6	Laminated veneer lumber	0,0700	0,130	-	2 500	462	156,0		
<i>Poznámka: vrstvy uvedené šedým písmem nejsou ve výpočtu uvažovány.</i>									
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{s,i}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_t$	4,054	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,25</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{s,e}$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{s,e,c}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-10: Skladba S3 splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{\text{in}}$	0,940	-		
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{\text{in,R}}$	0,760	-		
Povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{\text{s}}$	18,3	°C		
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{\text{s,min}}$	11,6	°C		
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-10: Skladba S3 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	18,5	1 334	2 123	63%	
1 - 2	5,3	156	890	18%	
2 - 3	5,3	124	890	14%	
3 - 4	-16,7	119	141	84%	
4 - e	-16,7	115	141	81%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry		
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]		
Bez kondenzace	-	-	-		
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{\text{c,R}}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)		
Roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{\text{c}}$	-	kg/(m <sup>2</sup> .a)		
Roční množství vypařitelné vodní páry:	$M_{\text{ev}}$	-	kg/(m <sup>2</sup> .a)		
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní				
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry				
<i>Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.</i>					



<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		1	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_a$	48	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	19,3	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_c$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		3	TI - Pavaflex	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_a$	80	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	-2,0	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_c$	82	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			



Příloha 4 Tepelně technické posouzení skladby S4

<b>STN-11: Skladba S4</b>									
Vnitřní konstrukce:						NE			
Charakter konstrukce:						Stěna (vodorovný tepelný tok)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:						NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:						NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:						výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
-	-	d	$\lambda$	$\lambda_{\text{sk}}$	c	$\rho$	$\mu$		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
1	Dřevo rostlé měkké - tepelný tok kolmo k vláknům; desky z rostlého dřeva	0,2400	0,130	-	2 510	400	157,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{\text{si}}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{\text{se}}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{\text{si}}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_t$	1,966	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,51</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{\text{sk}}$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{\text{rec}}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-11: Skladba S4 nespĺňuje požadavky ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{\text{int}}$	0,880	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{\text{int,req}}$	0,760	-	
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{si}}$	16,1	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{si,min,35}}$	11,6	°C	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-11: Skladba S4 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	16,2	1 334	1 841	72%	
1 - e	-16,3	115	146	79%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry		
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]		
1	0,118	0,194	3.73e-9		
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{\text{ck}}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{\text{c}}$	0,003	kg/(m <sup>2</sup> .a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		$M_{\text{ev}}$	0,303	kg/(m <sup>2</sup> .a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radice a zabudované vlhkosti.					



<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	1	Dřevo rostlé měkké - tepelný tok kolmo k vláknům; desky z rostlého dřeva		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO			
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{v,dr}$	3,8e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)	
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\phi_s$	78	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	-1,8	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\phi_r$	82	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE			
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			



Příloha 5 Tepelně technické posouzení skladby S5

<b>STN-12: Skladba S5</b>									
Vnitřní konstrukce:						NE			
Charakter konstrukce:						Stěna (vodorovný tepelný tok)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:						NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:						NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:						výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
			$\lambda$	$\lambda_{\text{uv}}$					
-	-	d	[W/(m.K)]		c	$\rho$	$\mu$		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
1	Laminated veneer lumber	0,1000	0,130	-	2 500	462	156,0		
2	TI - Pavaflex	0,1000	0,039	-	2 100	53	1,4		
3	Laminated veneer lumber	0,1000	0,130	-	2 500	462	156,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{s,i}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\phi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\phi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\phi_e$	84	%	
Nadmožská výška budovy (terénu):						h	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_T$	4,048	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,25</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_w$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{rec}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-12: Skladba S5 splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



<b>Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{\text{int}}$	0,940	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{\text{int},\text{min}}$	0,760	-
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{si}}$	18,3	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{si,min}}$	11,6	°C
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-12: Skladba S5 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.			
<b>Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Podmínky na rozhraních mezi materiály:				
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]
i - 1	18,5	1 334	2 123	63%
1 - 2	11,9	267	1 390	19%
2 - 3	-10,1	258	258	100%
3 - e	-16,7	115	141	81%
Kondenzační zóny:				
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]	
1	0,200	0,211	1.15e-8	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{\text{c,max}}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{\text{c}}$	0,056	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:		$M_{\text{ev}}$	0,186	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrně kondenzaci vodní páry			
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.				





Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	1	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	48	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	19,3	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	2	TI - Pavaflex	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{cond}$	1,14e-8	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	100	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	2,0	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{cond}$	1,15e-8	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	100	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	2,0	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		



## Příloha 6 Tepelně technické posouzení skladby S6

<b>STN-13: Skladba S6</b>									
Vnitřní konstrukce:						NE			
Charakter konstrukce:						Stěna (vodorovný tepelný tok)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:						NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:						NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:						výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
			$\lambda$	$\lambda_{\text{eff}}$				$c$	$\rho$
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
1	Laminated veneer lumber	0,1000	0,130	-	2 500	462	156,0		
2	TI - Pavaflex	0,2000	0,039	-	2 100	53	1,4		
3	Laminated veneer lumber	0,1000	0,130	-	2 500	462	156,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{\text{in}}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						$h$	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_T$	6,279	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,16</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_k$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{\text{rec}}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-13: Skladba S6 splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					8
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{\text{int}}$	0,961	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{\text{int,req}}$	0,760	-	
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_s$	19,1	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{s,\text{min,req}}$	11,6	°C	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-13: Skladba S6 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					9
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasyčený částečný tlak vodní páry	Rel. vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	19,2	1 334	2 230	60%	
1 - 2	15,1	225	1 714	13%	
2 - 3	-12,6	205	205	100%	
3 - e	-16,8	115	140	82%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry		
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]		
1	0,300	0,300	1.26e-8		
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{\text{ck}}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_c$	0,079	kg/(m <sup>2</sup> .a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		$M_w$	0,164	kg/(m <sup>2</sup> .a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					



<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	1	Laminated veneer lumber		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	47	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	19,8	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	85	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE			
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	2	TI - Pavaflex		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO			
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{vd}$	1,26e-8	kg/(m <sup>2</sup> .s)	
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	100	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,5	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO			
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	Laminated veneer lumber		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO			
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{vd}$	1,26e-8	kg/(m <sup>2</sup> .s)	
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	100	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,5	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO			
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.			



## Příloha 7 Tepelně technické posouzení skladby S7

STN-14: Skladba S7									
Vnitřní konstrukce:				NE					
Charakter konstrukce:				Stěna (vodorovný tepelný tok)					
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:				NE					
Konstrukce ve styku se zemínou:				NE					
Součinitel prostupu tepla stanoven:				výpočtem					
<b>Skladba konstrukce od Interiéru:</b>									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
			$\lambda$	$\lambda_{uv}$				$c$	$\rho$
-	-	d	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]		
-	-	[m]							
1	Laminated veneer lumber	0,2000	0,130	-	2 500	462	156,0		
2	TI - Pavaflex	0,1200	0,039	-	2 100	53	1,4		
3	Laminated veneer lumber	0,0700	0,130	-	2 500	462	156,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Okrajové podmínky:</b>									
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{in}$	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-17,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	300	m.n.m.	
<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>									
Korekce součinitele prostupu tepla:						$\Delta U$	0,013	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při přestupu tepla:						$R_T$	4,979	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>						<b>U</b>	<b>0,20</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_w$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						$U_{rec}$	0,25	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-14: Skladba S7 splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								



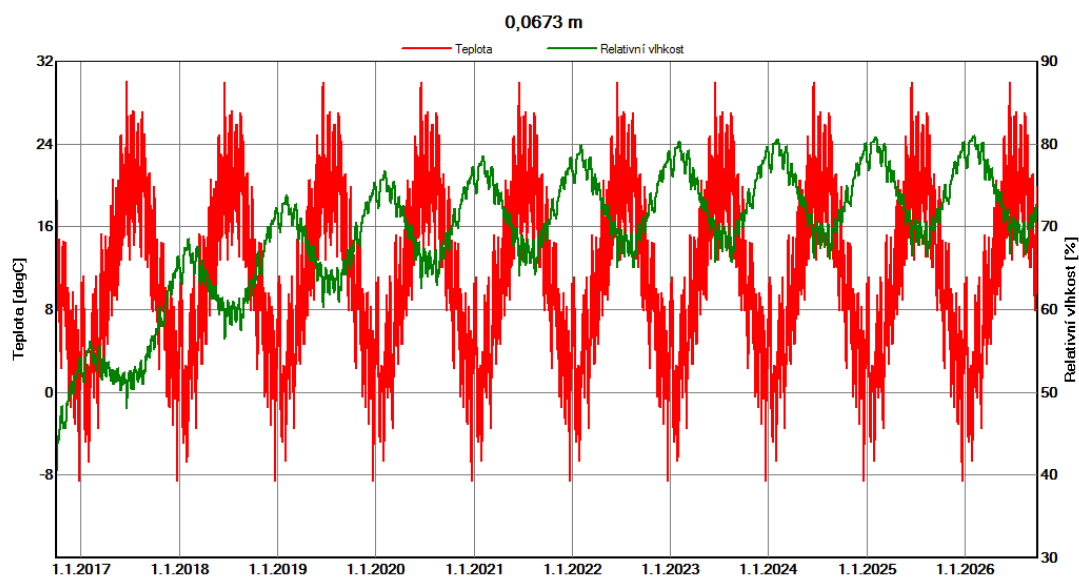
<b>Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{\text{int}}$	0,951	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{\text{int,0,95}}$	0,760	-
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{se}}$	18,8	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{\text{se,min,0,95}}$	11,6	°C
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-14: Skladba S7 splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.			
<b>Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Podmínky na rozhraních mezi materiály:				
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]
i - 1	18,9	1 334	2 179	61%
1 - 2	8,2	204	1 090	19%
2 - 3	-13,0	198	198	100%
3 - e	-16,7	115	140	82%
Kondenzační zóny:				
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]	[m]	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]	
1	0,320	0,320	5,55e-9	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{\text{ca}}$	0,000	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_c$	0,016	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční množství vypařitelné vodní páry:		$M_{\text{ev}}$	0,184	kg/(m <sup>2</sup> .a)
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní		
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází k nadměrné kondenzaci vodní páry			
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.				



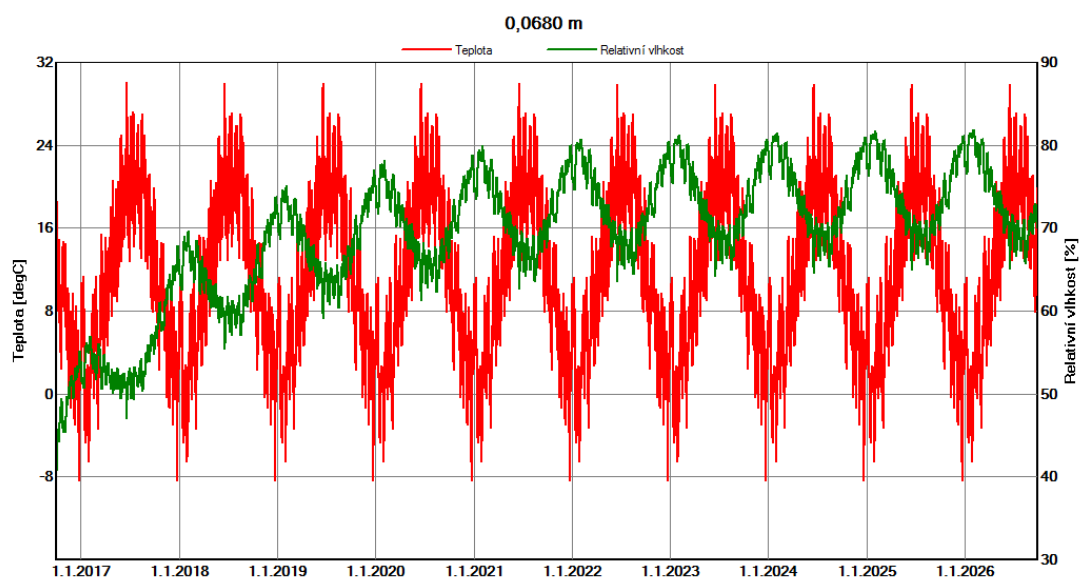
Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	1	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	47	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	19,6	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	2	Ti - Pavaflex	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{zdr}$	5,55e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	94	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,2	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	Laminated veneer lumber	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:			
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	ANO		
Množství zkondenzované vodní páry ve dřevě	$M_{zdr}$	5,55e-9	kg/(m <sup>2</sup> .s)
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:			
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_s$	94	%
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	0,2	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	ANO		
<b>Hodnocení:</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva dochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva překročí 18%.		



Příloha 8 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S1



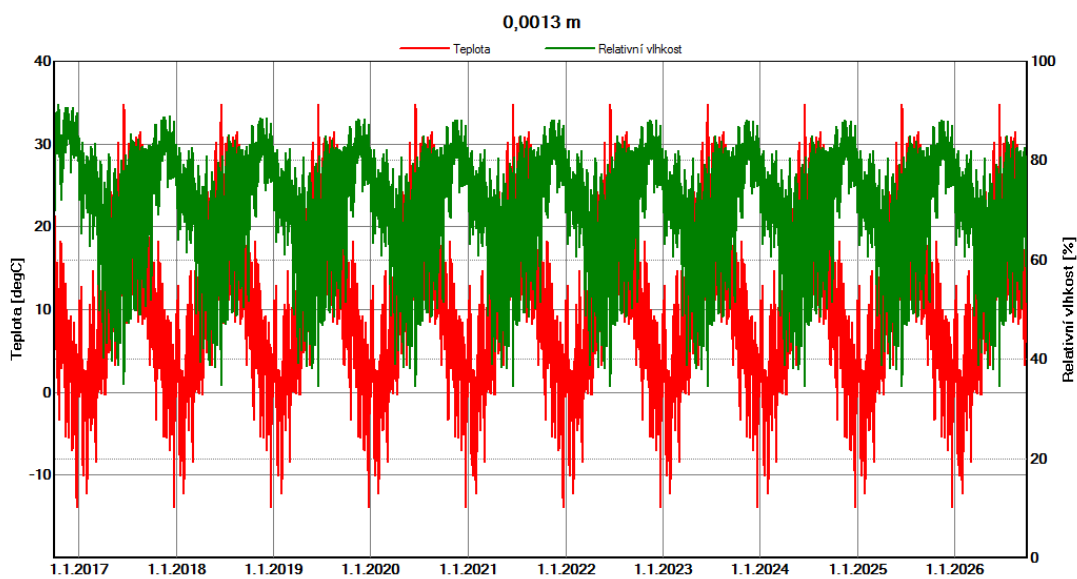
Příloha 9 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S2



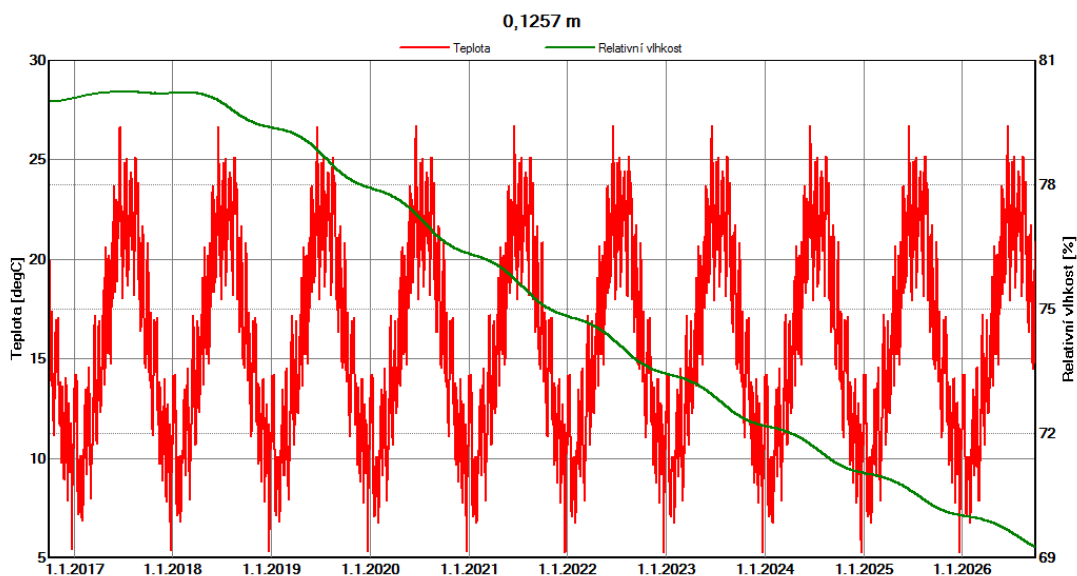




Příloha 10 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S3

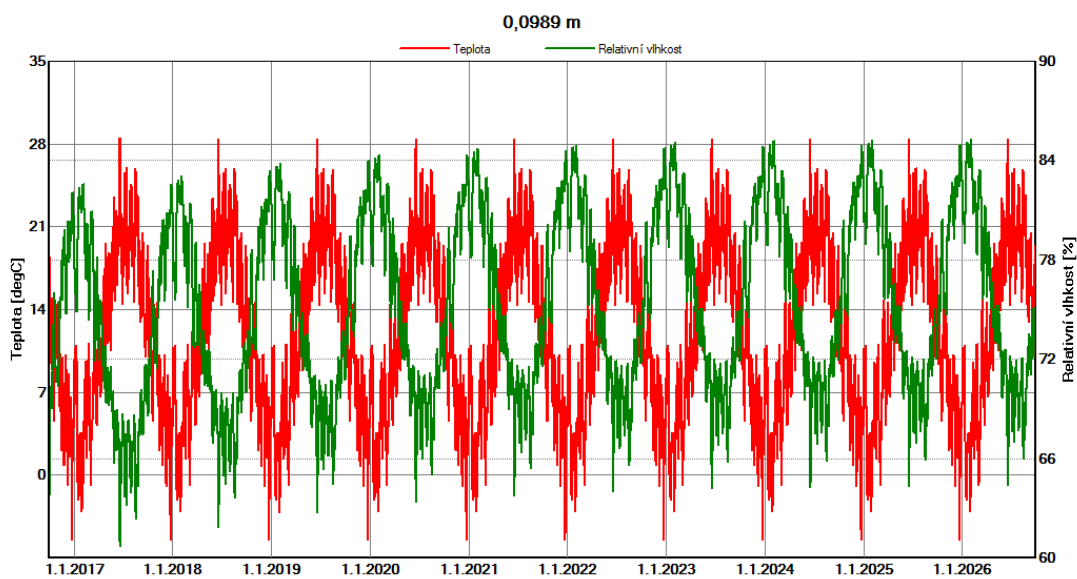


Příloha 11 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S4

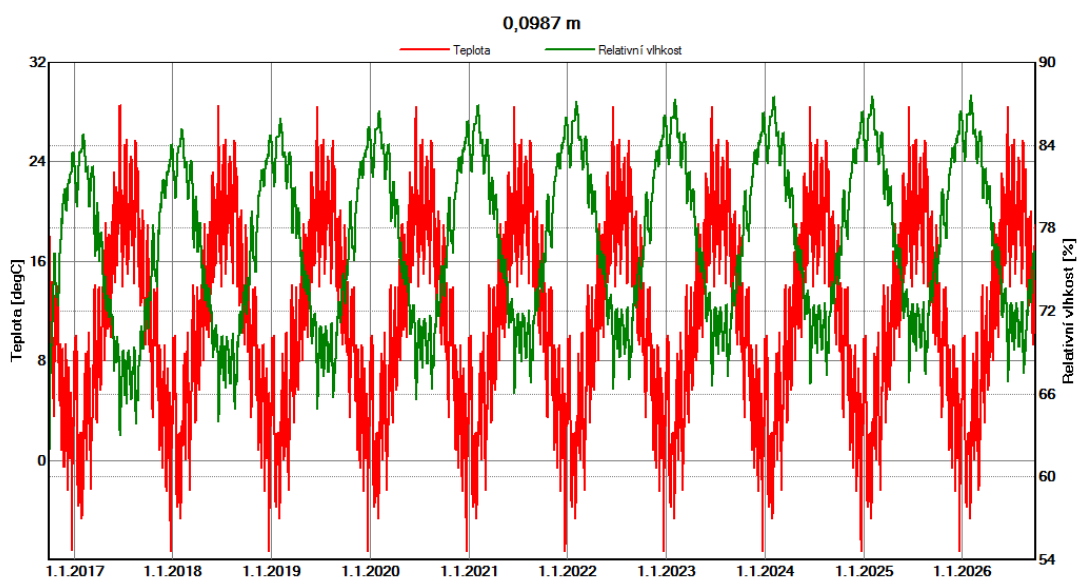




Příloha 12 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S5

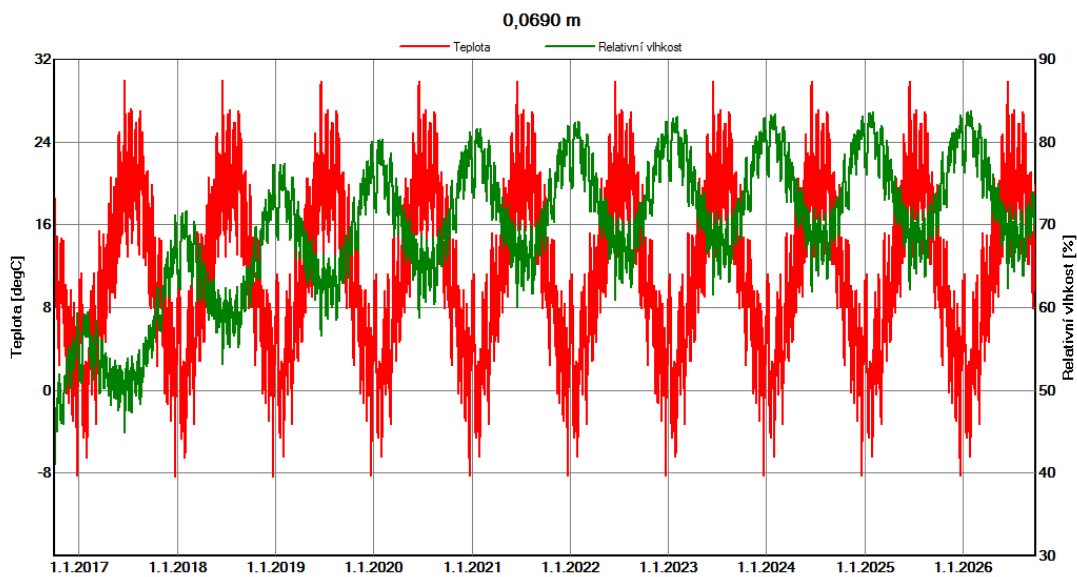


Příloha 13 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S6





Příloha 14 Průběh relativní vlhkosti a teploty skladby S7





Příloha 15 Rozborový list a technologický normál skladby S4

16.2.1.1. - Rostlé dřevo - Rozborový list

Typ kce	Přádek	Název dílčích procesů	MJ	Množství	Pracnost		Stroje, zařízení	Technologická přestávka		Zařízení do procesu
					(InH)	Celk.		dnů	navazuje	
Rozborový list - roubená stavba z rostlého dřeva										
Roubená stavba - rostlé dřevo (jednovrstvá konstrukce)	1	Kácení stromů	m <sup>3</sup>	66,50	0,72	47,880	motorová pila, harvester	0	-	1
	2	Zbavení větví	m <sup>3</sup>	66,50	0,21	13,965	motorová pila	0	-	1
	3	Kráčení kmenů	m <sup>3</sup>	66,50	0,05	3,325	motorová pila	0	-	1
	4	Vyvážení z lesa (1000 m)	m <sup>3</sup>	64,50	0,48	30,960	traktor do 60 kW	0	-	1
	5	Nakládka	m <sup>3</sup>	64,50	0,10	6,450	převrtník dřeva	0	-	2
	6	Transport (les - pila)	km	100,00	0,09	9,000	převrtník dřeva	0	-	2
	7	Vyložení	m <sup>3</sup>	64,50	0,10	6,450	převrtník dřeva	0	-	2
	8	Odkomání	m <sup>3</sup>	64,50	0,15	9,675	automatický odkomňovač	0	-	3
	9	Výroba hranolu	m <sup>3</sup>	43,00	0,23	9,675	zařízení pily	0	-	3
	10	Sušení	kpl	1,00	12,00	12,000	komorová sušárna	0	-	4
	11	Impregnace	m <sup>3</sup>	43,00	0,23	9,890	máčeč vana	3	12,13,14,15,16	5
	12	Dovetání	ks	176,00	0,06	9,778	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	13	Prořez	m <sup>3</sup>	43,00	0,05	2,150	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	14	Okna - frézování drážek	ks	8,00	0,07	0,556	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	15	Dveře - frézování drážek	ks	3,00	0,10	0,292	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	16	Hobí	m <sup>3</sup>	43,00	0,13	5,375	Hoblůvka	0	-	6
	17	Nakládka	m <sup>3</sup>	43,00	0,11	4,730	vysokozdvíhový vozík	0	-	7
	18	Transport (pila - hala)	km	100,00	0,12	12,000	nákladní automobil	0	-	7
	19	Vyložení	m <sup>3</sup>	43,00	0,11	4,730	vysokozdvíhový vozík	0	-	7
	20	Výstavba v montážní hale	m <sup>3</sup>	43,00	2,35	101,050	ruční nářadí, halový jeřáb	0	-	8
	21	Nakládka	m <sup>3</sup>	43,00	0,11	4,730	vysokozdvíhový vozík	0	-	9
	22	Transport (hala - stavba)	km	100,00	0,12	12,000	nákladní automobil	0	-	9
	23	Vyložení	m <sup>3</sup>	43,00	0,11	4,730	vysokozdvíhový vozík	0	-	9
	24	Realizace roubených stěn	m <sup>3</sup>	43,00	2,00	86,000	ruční nářadí, automobil. jeř.	0	-	10

16.2.1.1. - Rostlé dřevo - Technologický normál

Typ kce	Číslo	Název procesu	MJ	Množství	Celková pracnost	Technologická přestávka		Doba trvání (dnů)	Doba trvání celé ČI
						dnů	navazuje		
Technologický normál - roubená stavba z rostlého dřeva									
Roubená stavba - rostlé dřevo (jednovrstvá konstrukce)	1	Težba	m <sup>3</sup>	66,50	96,13	-	-	12,02	13
	2	Transport	km	100,00	21,90	-	-	2,74	3
	3	Výroba hranolu	m <sup>3</sup>	43,00	19,53	-	-	2,44	3
	4	Sušení	kpl	1,00	12,00	-	-	1,50	2
	5	Impregnace	m <sup>3</sup>	43,00	9,89	3	6	1,24	2
	6	Opřacování	m <sup>3</sup>	43,00	18,15	-	-	2,27	3
	7	Transport	km	100,00	21,46	-	-	2,68	3
	8	Výstavba v montážní hale	m <sup>3</sup>	43,00	101,05	-	-	12,63	13
	9	Transport	km	100,00	21,46	-	-	2,68	3
	10	Realizace roubenky	m <sup>3</sup>	43,00	86,00	-	-	10,75	11



Příloha 16 Rozborový list a technologický normál skladby S5

16.2.1.1. - BSH zdvojená konstrukce - Rozborový list

Typ kce	n. řada	Název dílů/procesů	MJ	Množství	Pracnost		Stroje, zařízení	Technologická přestávka		Zařazení do procesu
					(N)	Celk.		dnů	navazuje	
Rozborový list - roubená stavba z BSH zdvojená konstrukce										
Roubená stavba - BSH zdvojená konstrukce	1	Kácení stromů	m <sup>3</sup>	47,76	0,72	34,384	motorová pila, harvester	0	-	1
	2	Zbavení větví	m <sup>3</sup>	47,76	0,21	10,029	motorová pila	0	-	1
	3	Krácení kmenů	m <sup>3</sup>	47,76	0,05	2,388	motorová pila	0	-	1
	4	Vyvážení z lesa (3000 m)	m <sup>3</sup>	45,76	0,48	21,963	traktor do 60 kW	0	-	1
	5	Nakládka	m <sup>3</sup>	45,76	0,10	4,576	převravník dřeva	0	-	2
	6	Transport (les - pila)	km	100,00	0,09	9,000	převravník dřeva	0	-	2
	7	Vyloštění	m <sup>3</sup>	45,76	0,10	4,576	převravník dřeva	0	-	2
	8	Odkornění	m <sup>3</sup>	45,76	0,15	6,991	automatický odkorňovač	0	-	3
	9	Výroba hranolu	m <sup>3</sup>	30,50	0,23	6,863	zařízení pily	0	-	3
	10	Sušení	kpl	1,00	12,00	12,000	komorová sušárna	0	-	4
	11	Optimalizace řeziva	m <sup>3</sup>	30,50	0,09	2,881	optimalizační pila	0	-	5
	12	Vyfrézování zubového spoje	m <sup>3</sup>	29,50	0,06	1,803	fréza	0	-	5
	13	Nástřik lepidla a silování	m <sup>3</sup>	29,50	0,11	3,114	linka pro výrobu lamel	0	-	5
	14	Hoblování lamel	m <sup>3</sup>	29,50	0,13	3,836	hoblovka	0	-	5
	15	Nástřik lepidla a tužidla	m <sup>3</sup>	29,50	0,05	1,475	linka pro výrobu BSH profil	0	-	5
	16	Lisování hranolů	kpl	1,00	4,00	4,000	linka pro výrobu BSH profil	1	17	5
	17	Hoblování a sražení hrany	m <sup>3</sup>	29,50	0,19	5,606	linka pro výrobu BSH profil	0	-	5
	18	Dovetání	kt	176,00	0,06	9,778	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	19	Prořez	m <sup>3</sup>	29,50	0,05	1,475	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	20	Olina - frézování drážek	kt	8,00	0,07	0,556	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	21	Dveře - frézování drážek	kt	3,00	0,10	0,292	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	22	Hobl	m <sup>3</sup>	29,50	0,13	3,688	Hoblovka	0	-	6
	23	Nakládka	m <sup>3</sup>	29,50	0,10	2,950	vysokozdvíhový vozík	0	-	7
	24	Transport (hala - stavba)	km	100,00	0,09	9,000	nákladní automobil	0	-	7
	25	Vyloštění	m <sup>3</sup>	29,50	0,10	2,950	vysokozdvíhový vozík	0	-	7
	25	Realizace roubených stěn	m <sup>3</sup>	29,50	1,90	56,058	ruční nářadí, automobil, jeř	0	-	8
26	Montáž tepelné izolace	m <sup>2</sup>	155,19	0,10	15,830	ruční nářadí	0	-	8	

16.2.1.1. - BSH zdvojená kce - Technologický normál

Typ kce	Číslo	Název procesu	MJ	Množství	Celková pracnost	Technologická přestávka		Doba trvání [dnů]	Doba trvání celé Č
						dnů	navazuje		
Technologický normál - roubená stavba z BSH zdvojená konstrukce									
Roubená stavba - BSH zdvojená konstrukce	1	Težba	m <sup>3</sup>	47,76	68,76	-	-	8,60	9
	2	Transport	km	100,00	18,15	-	-	2,27	3
	3	Výroba hranolu	m <sup>3</sup>	30,50	13,85	-	-	1,73	2
	4	Sušení	kpl	1,00	12,00	-	-	1,50	2
	5	Výroba BSH profilu	m <sup>3</sup>	29,50	22,71	1	6	2,84	3
	6	Opracování	m <sup>3</sup>	29,50	15,79	-	-	1,97	2
	7	Transport	km	100,00	14,90	-	-	1,86	2
	8	Realizace roubenky	m <sup>3</sup>	29,50	71,89	-	-	8,99	9



Příloha 17 Rozborový list a technologický normál skladby S3

16.2.1.1. - BSH konstrukce 2.1 - Rozborový list

Typ kce	Pořadí	Název dílůch procesu	MJ	Množství	Pracnost		stroje, zařízení	Technologická přestávka		Zařazení do procesu
					(N)	Celk.		dnů	navazuje	
Rozborový list - roubená stavba z BSH (typ navržené konstrukce 2.1)										
Roubená stavba - BSH (konstrukce 2.1)	1	Kácení stromů	m <sup>3</sup>	57,88	0,72	41,670	motorová pila, harvester	0	-	1
	2	Zbavení větví	m <sup>3</sup>	57,88	0,21	12,154	motorová pila	0	-	1
	3	Kráčení kmenů	m <sup>3</sup>	57,88	0,05	2,894	motorová pila	0	-	1
	4	Vyvážení z lesa (1000 m)	m <sup>3</sup>	55,88	0,48	26,820	traktor do 60 kW	0	-	1
	5	Nakládka	m <sup>3</sup>	55,88	0,10	5,588	převravník dřeva	0	-	2
	6	Transport (les - pila)	km	100,00	0,09	9,000	převravník dřeva	0	-	2
	7	Vyložení	m <sup>3</sup>	55,88	0,10	5,588	převravník dřeva	0	-	2
	8	Odkomření	m <sup>3</sup>	55,88	0,15	8,536	automatický odkorkovač	0	-	3
	9	Výroba hranolů	m <sup>3</sup>	37,25	0,23	8,381	zařízení pily	0	-	3
	10	Sušení	kpj	1,00	12,00	12,000	komorová sušárna	0	-	4
	11	Optimalizace řeziva	m <sup>3</sup>	37,25	0,09	3,518	optimalizační pila	0	-	5
	12	Vyfrézování zubového spoje	m <sup>3</sup>	36,25	0,06	2,215	fréza	0	-	5
	13	Nástřik lepidla a slisování	m <sup>3</sup>	36,25	0,11	3,827	linka pro výrobu lamel	0	-	5
	14	Hoblování lamel	m <sup>3</sup>	36,25	0,13	4,713	hoblovka	0	-	5
	15	Nástřik lepidla a tužidla	m <sup>3</sup>	36,25	0,05	1,813	linka pro výrobu BSH profilů	0	-	5
	16	Lisování hranolů	kpj	1,00	4,00	4,000	linka pro výrobu BSH profilů	1	17	5
	17	Hoblování a sražení hrany	m <sup>3</sup>	36,25	0,19	6,888	linka pro výrobu BSH profilů	0	-	5
	18	Dovetání	ks	176,00	0,05	8,311	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	19	Prořez	m <sup>3</sup>	36,25	0,05	1,813	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	20	Okna - frézování drážek	ks	8,00	0,07	0,556	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	21	Dveře - frézování drážek	ks	3,00	0,10	0,290	CNC obráběcí centrum	0	-	6
	22	Hobí	m <sup>3</sup>	36,25	0,13	4,532	Hoblovka	0	-	6
	23	Nakládka	m <sup>3</sup>	36,25	0,10	3,625	vysokozdvíhový vozík	0	-	7
	24	Transport (hala - stavba)	km	100,00	0,09	9,000	nákladní automobil	0	-	7
	25	Vyložení	m <sup>3</sup>	36,25	0,10	3,625	vysokozdvíhový vozík	0	-	7
	25	Realizace roubených stěn	m <sup>3</sup>	36,25	2,10	76,129	ruční nářadí, automob. jeř.	0	-	8
	26	Montáž tepelné izolace	m <sup>2</sup>	155,19	0,10	15,830	ruční nářadí	0	-	8
26	Montáž parozábrany	m <sup>2</sup>	155,19	0,03	3,880	ruční nářadí	0	-	8	
27	Montáž dif. propustné fólie	m <sup>2</sup>	155,19	0,03	3,880	ruční nářadí	0	-	8	

16.2.1.1. - BSH konstrukce 2.1 - Technologický normál

Typ kce	Číslo	Název procesu	MJ	Množství	Celková pracnost	Technologická přestávka		Doba trvání [dnů]	Doba trvání celé ČI
						dnů	navazuje		
Technologický normál - roubená stavba z BSH (typ navržené konstrukce 2.1)									
Roubená stavba - BSH (konstrukce 2.1)	1	Težba	m <sup>3</sup>	57,88	83,54	-	-	10,44	11
	2	Transport	km	100,00	20,18	-	-	2,52	3
	3	Výroba hranolů	m <sup>3</sup>	37,25	16,92	-	-	2,11	3
	4	Sušení	kpj	1,00	12,00	-	-	1,50	2
	5	Výroba BSH profilů	m <sup>3</sup>	36,25	26,97	1	6	3,37	4
	6	Opracování	m <sup>3</sup>	36,25	15,50	-	-	1,94	2
	7	Transport	km	100,00	16,25	-	-	2,03	3
	8	Realizace roubenky	m <sup>3</sup>	99,72	99,72	-	-	12,46	13



## Příloha 18 Souhrnný rozpočet skladby S4

č.p.	Popis	MJ	Výměra	J. Cena	Cena	DPH	Cena+DPH
<b>16.3.1. Rozpočet – Roubená stavba – Rostlé dřevo</b>							
<b>Roubenka z rostlého dřeva</b>							
<b>Dřevo</b>							
<i>Obvodové stěny tl. 300 mm</i>							
1	Konstrukční dřevo - rostlé pohledová kvalita	m <sup>3</sup>	40,488	6000	242928	51014,88	293942,88
2	Sušení dřeva	m <sup>3</sup>	40,488	1173	1400	294	1694
3	Impregnace	m <sup>3</sup>	40,488	600	24292,8	5101,488	29394,29
4	Opracování	m <sup>3</sup>	40,488	5000	202440	42512,4	244952,4
5	Montáž roubené stavby + rektifikace	m <sup>3</sup>	40,488	1650	66805,2	14029,09	80834,292
<i>Vnitřní stěny tl. 100 mm</i>							
6	Konstrukční dřevo - rostlé pohledová kvalita	m <sup>3</sup>	2,512	6000	15072	3165,12	18237,12
7	Montáž roubené stavby	m <sup>3</sup>	2,512	1650	4144,8	870,408	5015,208
<b>Spojovací materiál</b>							
8	Spojovací a těsnící materiál	m <sup>2</sup>	134,96	210,2	28361,84	5955,987	34317,83124
<b>Přesun hmot pro dřevostavby</b>							
9	Přesun hmot pro dřevostavby	t	21,5	1140	24510	5147,1	29657,1
<b>Cena za skladbu obvodového pláště m<sup>2</sup></b>							<b>6 391 Kč</b>
<b>Cena Celkem</b>							<b>703 727 Kč</b>

## Příloha 19 Souhrnný rozpočet skladby S5

č.p.	Popis	MJ	Výměra	J. Cena	Cena	DPH	Cena+DPH
<b>16.3.2. Rozpočet – Roubená stavba – BSH zdvojená roubenka</b>							
<b>Roubenka sendvičová</b>							
<b>Dřevo</b>							
<i>Obvodové stěny 100/100/100 mm</i>							
1	BSH profil 100/280	m <sup>3</sup>	26,992	14500	391384	82190,64	473574,64
2	Opracování	m <sup>3</sup>	26,992	4500	121464	25507,44	146971,44
3	Montáž roubené stavby	m <sup>3</sup>	26,992	1400	37788,8	7935,648	45724,448
<i>Vnitřní stěny tl. 100 mm</i>							
4	BSH profil 100/280	m <sup>3</sup>	2,512	14500	36424	7649,04	44073,04
5	Montáž roubené stavby	m <sup>3</sup>	2,512	1200	3014,4	633,024	3647,424
<b>Spojovací materiál</b>							
6	Spojovací a těsnící materiál	m <sup>2</sup>	134,96	143,2	19326,27	4058,517	23384,78912
<b>Tepelná izolace</b>							
7	Montáž tepelné izolace	m <sup>2</sup>	155,204	25,9	4019,78	844,15	4863,94
8	Tepelná izolace - minerální vata tl. 100 mm	m <sup>2</sup>	155,204	224	34765,7	7300,80	42066,49
<b>Přesun hmot pro dřevostavby</b>							
9	Přesun hmot pro dřevostavby	t	12,34481	1140	14073,09	2955,35	17028,44
<b>Cena za skladbu obvodového pláště m<sup>2</sup></b>							<b>5 186 Kč</b>
<b>Cena Celkem</b>							<b>777 950 Kč</b>



## Příloha 20 Souhrnný rozpočet skladby S3

<b>16.3.3. Rozpočet – Roubená stavba – BSH navržená konstrukce 2.1</b>							
č.p.	Popis	MJ	Výměra	J. Cena	Cena	DPH	Cena+DPH
<b>Roubenka verze 2.1</b>							
<b>Dřevo</b>							
<i>Obvodové stěny - dle skladby 2.1</i>							
1	BSH profil 150/280	m <sup>3</sup>	20,244	14500	293538	61642,98	355180,98
2	BSH profil 100/280	m <sup>3</sup>	13,496	14500	195692	41095,32	236787,32
3	Opracování	m <sup>3</sup>	33,74	4500	151830	31884,3	183714,3
4	Montáž roubené stavby	m <sup>3</sup>	33,74	1700	57358	12045,18	69403,18
<i>Vnitřní stěny tl. 100 mm</i>							
5	BSH profil 100/280	m <sup>3</sup>	2,512	14500	36424	7649,04	44073,04
6	Montáž roubené stavby	m <sup>3</sup>	2,512	1200	3014,4	633,024	3647,424
<b>Spojovací materiál</b>							
7	Spojovací a těsnící materiál	m <sup>2</sup>	134,96	175,78	23723,27	4981,886	28705,15525
<b>Fólie</b>							
8	Montáž parozábrany	m <sup>2</sup>	148,456	6,36	944,18	198,28	1142,46
9	Parozábrana	m <sup>2</sup>	148,456	10,06	1493,47	313,63	1807,10
10	Montáž difuzně propustné fólie	m <sup>2</sup>	148,456	7,32	1086,70	228,21	1314,90
11	Difuzně propustná fólie	m <sup>2</sup>	148,456	32	4750,59	997,62	5748,22
<b>Tepelná izolace</b>							
12	Montáž tepelné izolace	m <sup>2</sup>	155,204	25,9	4019,78	844,15	4863,94
13	Tepelná izolace - termo juta tl. 100 mm	m <sup>2</sup>	155,204	195	30264,78	6355,60	36620,38
<b>Přesun hmot pro dřevostavby</b>							
14	Přesun hmot pro dřevostavby	t	15,04403	1140	17150,19	3601,54	20751,73
<b>Cena za skladbu obvodového pláště m<sup>2</sup></b>							<b>6 435 Kč</b>
<b>Cena Celkem</b>							<b>965 055 Kč</b>