

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

**Návrh obvodové roubené konstrukce  
v nízkoenergetickém a pasivním standardu**

Diplomová práce

Autor: Bc. Gabriela Přinosilová

Vedoucí práce: Ing. Martin Múčka, Ph.D.

2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Gabriela Přinosilová

Dřevařské inženýrství

Název práce

Návrh obvodové roubené konstrukce v nízkoenergetickém a pasivním standardu

Název anglicky

Construction draft periphery timber structure in low-energy and passive standard

---

Cíle práce

Cílem práce je navrhnout několik dřevěných roubených konstrukcí, aby konstrukce vyhovovaly pro nízkoenergetický a pasivní standard a navržené konstrukce podrobit stavebně-fyzikální analýze. Tyto konstrukce budou podrobeny ekonomickému vyhodnocení.

Metodika

1. Rešerš k dané problematice
2. Konstrukční návrh dvou variant pro nízkoenergetický standard
3. Konstrukční návrh dvou variant pro pasivní standard
4. Výpočet tepelně-technických parametrů pro každý návrh samostatně
5. Vyhodnocení předmětných výpočtů
6. Ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant

**Doporučený rozsah práce**

60 – 70 stran včetně textu a příloh

**Klíčová slova**

dřevostavba, nízkoenergetický standard, pasivní standard, tepelný odpor, součinitel prostupu tepla, dřevostavba, roubená konstrukce

---

**Doporučené zdroje informací**

ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda

ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov. Část 1-4

Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5. Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 401 s. ISBN 80-867-6913-5.

HORÁK, Pavel, ZAHRADNÍČEK, Václav. Moderní dřevostavby. 1. vyd. Brno : ERA group, 2007. 155 s., ISBN 978-80-7366-109-0

CHMÚRNÝ, I. Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Bratislava, Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

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

KOLDINSKÁ, K. – ŠTEFKO, M. *Sociální reformy ve střední Evropě – cesta k novému modelu sociálního státu?*. Praha: Auditorium, 2011. ISBN 978-80-87284-14-8.

KUKLÍK, P. – REINPRECHT, L. – ŠTEFKO, J. – BRAUNŠTEINOVÁ, Z. *Dřevěné stavby : konstrukce, ochrana a údržba*. Bratislava: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-080-9.

SCHUNCK, Eberhard. Atlas střech: šikmé střechy. 4. vyd. (nové zpracování). Bratislava: Jaga group, 2003, 449. ISBN 80-889-0558-3.

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. ISBN 978-80-247-3832-1.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Můčka, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2016

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2016

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 13. 04. 2016

---

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh obvodové roubené konstrukce v nízkoenergetickém a pasivním standardu, vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Múčky, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne 13. 4. 2016

Podpis autora

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Múčkovi, Ph.D. za odborné vedení při vzniku této práce, za čas, který mi věnoval, cenné rady a veškerou pomoc, kterou ochotně poskytoval. Srdečné díky také patří mému partnerovi a rodině, kteří mi umožnili věnovat se studiu v potřebné míře, a mým přátelům za poskytnutou podporu.

## **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce je návrh obvodové roubené konstrukce v nízkoenergetickém a pasivním standardu. Cílem práce bylo provedení výpočtu součinitele prostupu tepla  $U$  na typových skladbách obvodových roubených stěn a návrh jejich tloušťky pro dosažení parametrů, které vyhoví posuzovaným standardům. Z výpočtů vyplývá, že tradiční roubená konstrukce je neefektivní pro využití v nízkoenergetickém či pasivním standardu. Pro výpočet byly použity metody zakotvené v platných normách ČSN. Pro ověření přesnosti a korektnosti výpočtů pro navržené konstrukce byly navíc vytvořeny doplňkové modely částí jednotlivých skladeb v konečně prvkovém softwaru ANSYS.

**Klíčová slova:** dřevostavba, roubená konstrukce, nízkoenergetický standard, pasivní standard, tepelný odpor, součinitel prostupu tepla

## **ABSTRACT**

The diploma thesis is focused on the design of the timbered wall composition considering the low-energy and passive standard. Main goal of the thesis is to calculate heat transfer coefficient  $U$  for four different types of the timbered walls and consequently evaluate if they comply with the requirements of low-energy and passive standards. The calculations show that the traditional concept of the timbered structures is inefficient for the mentioned energy standards. The minimal thickness of the timbered wall which will satisfy the requirements of the energy standards for low-energy and passive structure were calculated for the proposed four types of wall composition. For the calculations methods according to the applicable standards ČSN were used. To verify accuracy of these method and the performed calculations simplified numerical model was made in finite element software.

**Keywords:** timber construction, traditional wooden structure, low energy standard, standard passive, thermal resistance, heat transfer coefficient

## OBSAH

1.	Úvod.....	15
2.	Cíle práce .....	17
3.	Historie dřevostaveb .....	18
4.	Tradiční roubené stavby.....	21
4.1.	Vývoj roubených staveb na území ČR .....	22
4.1.1.	Dispozice .....	22
4.2.	Základní konstrukční systém .....	23
4.3.	Materiál.....	24
5.	Současné systémy roubených staveb .....	25
5.1.	Konstrukční systémy .....	25
5.2.	Materiál.....	26
5.2.1.	Masivní trámy .....	26
5.2.2.	Lepené trámy .....	28
5.3.	Detaily ložných spár .....	30
5.4.	Difuzně otevřené konstrukce .....	30
6.	Ochrana životního prostředí a úspora energie.....	32
6.1.	Ochrana životního prostředí .....	32
6.2.	Snižování energetické náročnosti budov .....	34
6.2.1.	Nízkoenergetický standard .....	35
6.2.2.	Pasivní standard .....	36
6.2.3.	Budovy na nákladově optimální úrovni.....	36
6.2.4.	Budovy s téměř nulovou spotřebou energie a budovy nulové.....	36
6.3.	Dřevo jako stavební materiál budoucnosti .....	37
7.	Zásady navrhování NE a PA .....	39
8.	Výpočtové metody .....	41
8.1.	PHPP.....	41

8.2.	ČSN a TNI.....	42
8.3.	Vyhláška ENB .....	42
8.4.	Porovnání jednotlivých metod.....	43
9.	Návrh obvodové roubené konstrukce v NE a PA .....	44
9.1.	Vnější a vnitřní prostředí .....	45
9.2.	Tepelný odpor.....	46
9.2.1.	Tepelný odpor homogenní konstrukce .....	47
9.2.2.	Tepelný odpor heterogenní konstrukce .....	49
9.2.3.	Vzduchové mezery .....	52
9.3.	Součinitel prostupu tepla – U .....	55
10.	Skladba č. 1 - návrh obvodové roubené konstrukce z rostlého dřeva v NE a PA... .....	58
11.	Skladba č. 2 - návrh obvodové roubené konstrukce s dvojitým roubením a vložením izolace v NE a PA .....	61
12.	Skladba č. 3 – návrh heterogenní obvodové roubené konstrukce se silně větranou vzduchovou mezerou v NE a PA .....	65
13.	Skladba č. 4 – návrh heterogenní obvodové roubené konstrukce s nevětranou a silně větranou vzduchovou mezerou v NE a PA.....	69
14.	Vyhodnocení hodnot $U$ .....	74
14.1.	Souhrn výpočtů dle metod z ČSN .....	74
14.2.	Ověření vypočtených hodnot $U$ použitím MKP SOFTWARE .....	75
15.	Ekonomické vyhodnocení.....	79
16.	Závěr .....	81
17.	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	82
17.1.	Tištěné monografie .....	82
17.2.	Webové stránky institucí .....	82
17.3.	Elektronické monografie .....	83
17.4.	Články na webových portálech .....	83



17.5. Technické normy .....	84
17.6. Legislativní dokumenty .....	85
18. Seznam příloh .....	87
18.1. Příloha 1 .....	87
18.2. Příloha 2 .....	89
18.3. Příloha 3 .....	91
18.4. Příloha 4 .....	93
18.5. Příloha 5 .....	95
18.6. Příloha 6 .....	96
18.7. Příloha 7 .....	99
18.8. Příloha 8 .....	100

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Rozdíl mezi srubem a roubenkou.....	22
Tab. 2 - Rozdělení dřeva dle objemového koeficientu sesychání.....	28
Tab. 3 - Porovnání výpočtových metod pro bytový dům .....	43
Tab. 4 - Normové hodnoty U pro vnější stěnu .....	56
Tab. 5 - Posouzení navržené roubené homogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE .....	59
Tab. 6 - Posouzení optimalizované roubené homogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE.....	59
Tab. 7 - Posouzení optimalizované roubené homogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty PA .....	60
Tab. 8 - Posouzení navržené roubené vícevrstvé homogenní konstrukce s vloženou izolací pro doporučené mezní hodnoty NE .....	63
Tab. 9 - Posouzení optimalizované roubené vícevrstvé homogenní konstrukce s vloženou izolací pro doporučené mezní hodnoty NE.....	63
Tab. 10 - Posouzení optimalizované roubené vícevrstvé homogenní konstrukce s vloženou izolací pro doporučené mezní hodnoty PA.....	64
Tab. 11 - Posouzení navržené roubené heterogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE.....	67
Tab. 12 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE .....	67
Tab. 13 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty PA .....	68
Tab. 14 - Posouzení navržené roubené heterogenní konstrukce s nevětranou VM pro doporučené mezní hodnoty NE.....	71
Tab. 15 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce s nevětranou VM pro doporučené mezní hodnoty NE .....	72
Tab. 16 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce s nevětranou VM pro doporučené mezní hodnoty PA .....	72

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Vývoj konstrukčních systémů ze dřeva.....	20
---	----

Obrázek 2 – Fotografie a nákres srubové stěny (vlevo); Fotografie a nákres roubené stěny (vpravo).....	22
Obrázek 3 – Současné systémy roubených staveb.....	26
Obrázek 4 – KVH, KVH DUO a BSH hranol .....	30
Obrázek 5 – Vývoj požadavků na energetickou náročnost budov.....	37
Obrázek 6 – LCA dřevěných stavebních materiálů .....	37
Obrázek 7 – Vliv polohy domu v terénu na tepelné ztráty .....	39
Obrázek 8 – Schéma umístění systémové hranice budovy.....	40
Obrázek 9 – Schéma homogenní konstrukce a) jednovrstvé b) vícevrstvé .....	47
Obrázek 10 – Schéma heterogenní konstrukce.....	49
Obrázek 11 – Schéma heterogenní konstrukce se silně větranou vzduchovou mezerou	53
Obrázek 12 - Grafické znázornění součinitele prostupu tepla.....	55
Obrázek 13 – Roubená jednovrstvá obvodová konstrukce – reálný stav a návrh .....	58
Obrázek 14 – Skladba č.2 Homogenní vícevrstvá konstrukce s vloženou přírodní izolací .....	62
Obrázek 15 – Skladba č.3 Heterogenní konstrukce se silně větranou vzduchovou mezerou .....	66
Obrázek 16 – Schéma heterogenní konstrukce s nevětranou a silně větranou vzduchovou mezerou.....	69
Obrázek 17 – Teplotní pole ve skladbě č. 1 – svislý řez .....	76
Obrázek 18 – Teplotní pole ve skladbě č. 2.....	77
Obrázek 19 – Teplotní pole ve skladbě č. 3.....	77
Obrázek 20 – Teplotní pole ve skladbě č. 4.....	77

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Porovnání LCA dřeva s ostatními materiály .....	38
Graf 2 – Porovnání šířky konstrukce pro posuzované skladby konstrukcí.....	74
Graf 3 – Závislost součinitele prostupu tepla $U$ na šířce posuzovaných obvodových stěn .....	75
Graf 4 – Porovnání hodnot $U$ metodou dle ČSN a MKP.....	76
Graf 5 – Porovnání materiálových nákladů pro $1\text{m}^2$ obvodové roubené konstrukce .....	79
Graf 6 – Porovnání materiálových nákladů na stavbu roubenky pro skladby č. 1-4.....	80

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

BSH	Lepený lamelový konstrukční hranol
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
ČSN	Česká technická norma
EPNB	Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy 2010/31/EU
ENB	Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov
EU	Evropská unie
EuroACE	Evropská aliance společenství pro energetiku
KVH	Lepený konstrukční hranol
LCA	Životní cyklus výrobku
MKP	Metoda konečných prvků
NE	Nízkoenergetický dům; Nízkoenergetický standard
OSN	Organizace spojených národů
OTP	Vyhláška č. 268/2009 Sb., o obecných technických požadavcích na stavby
PA	Pasivní dům; Pasivní standard
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
PHPP	Výpočtová metoda Passive House Planning Package
SW	Software
TNI	Technická normalizační informace
VM	Vzduchová mezera
ZOE	Zákon č. 406/2000 Sb., zákon o hospodaření s energií, v platném znění
<i>A</i>	celková hodnocená plocha konstrukce [m <sup>2</sup> ]
<i>A<sub>x</sub></i>	plocha x úseků [m <sup>2</sup> ]
<i>A/V</i>	faktor tvaru budovy [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
<i>C<sub>ε</sub></i>	hodnota Stefan-Bolzmannovy konstanty [Wm <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]
<i>d</i>	tloušťka j-té vrstvy konstrukce v [m]
<i>d<sub>het</sub></i>	tloušťka heterogenní vrstvy konstrukce [m]
<i>d<sub>j</sub></i>	tloušťka j-té vrstvy konstrukce v [m]
<i>e</i>	maximální relativní chyba výpočtu ze vztahu [%]
<i>e<sub>A</sub></i>	měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m <sup>2</sup> h]
<i>E</i>	součinitel vzájemného sálání [-]

$f_a - f_q$	poměrné plochy každého výseku [-]
$h$	výška [m]
$\Delta h$	rozdíl nadmořské výšky místa budovy a základní nadmořské výšky [m]
$h_a$	součinitel přestupu tepla vedením a prouděním [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$h_r$	součinitel přestupu tepla sáláním [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$h_{ro}$	součinitel přestup tepla sáláním černého tělesa [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$q$	hustota tepelného toku [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
$q_x$	hustota tepelného toku v kterémkoliv místě konstrukce [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
$R$	tepelný odpor vrstvy (konstrukce) [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R_g$	tepelný odpor vzduchové mezery [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].
$R_{het}$	celkový tepelný odpor heterogenní vrstvy konstrukce [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$R_j$	tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$R_{se}$	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R_{si}$	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R_T$	odpor konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R_{Ta} - R_{Tq}$	tepelné odpory při prostupu tepla ve směru tepelného toku a-f [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$R_{Tx}$	tepelný odpor při prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$R_x$	tepelný odpor v daném úseku [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$R'_T$	Horní mez odporu konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R''_T$	Dolní mez odporu konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$T_m$	průměrná termodynamická teplota povrchu a jeho okolí [K]
$U$	součinitel prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$U_{em}$	průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$U_{pas,20}$	hodnota součinitele prostupu tepla pro PA [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$U_{rec,20}$	hodnota součinitele prostupu tepla pro NE [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$U_{N,20}$	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$\varepsilon_{1-2}$	poloprostorová (hemisférická) emisivita povrchu [-]
$\theta_e$	návrhová vnější teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\theta_{e,0}$	základní teplotní gradient pro teplotní oblast [°C]
$\theta_{e,100}$	základní návrhová teplota venkovního vzduchu v příslušné teplotní oblasti o nadmořské výšce 100 m n. m. [°C]
$\theta_i$	návrhová vnitřní teplota [°C]
$\theta_x$	teplota na povrchu interiérové stěny [°C]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti vrstvy [W/mK]
$\lambda_{a-n}$	součinitel prostupu tepla materiálu [W/mK]
$\lambda_{ekv}$	součinitel tepelné vodivosti vzduchové mezery [W/mK]
$\lambda_{het}$	součinitel tepelné vodivosti heterogenní vrstvy konstrukce [W/mK]
$\lambda_j$	součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy [W/mK]
$\lambda_k$	součinitel tepelné vodivosti charakteristická hodnota [W/mK]
$\lambda_u$	součinitel tepelné vodivosti návrhová hodnota [W/mK]
$\varphi_i$	relativní vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí [%]
$\phi$	tepelný tok [W]

## 1. ÚVOD

Dřevo slouží našim potřebám v nejrůznějších podobách již po tisíce let a díky svým jedinečným vlastnostem se stalo neodmyslitelnou součástí našich životů. Je lehké a přesto pevné, má dobré akustické a tepelně izolační vlastnosti, je snadno opracovatelné. Je příjemné na dotek, láká, voní a uklidňuje. Je zástupcem tepla, domova i života. Je obnovitelným produktem přírody. Díky těmto vlastnostem se stalo oblíbeným stavebním materiálem.

Významný vývojový zlom týkající se zdokonalení ručních nástrojů dal za vznik novému zpracování kulatiny do podoby hraněných trámů. Tyto trámy se pak staly základním stavebním prvkem staveb prováděných roubenou technologií. Dodnes tyto stavby tvoří nedílnou součást historického stavebního fondu České republiky. V podobě tradičních staveb regionální architektury se některé z nich dochovaly až do dnešní doby.

Nová tvář roubených staveb, kterou známe dnes, však musí vyhovět řadě kritérií. Použití tradičního konstrukčního systému pro nové stavby tak zcela ustupuje a zaniká na základě nových požadavků, které se týkají především úspory energie a ochrany životního prostředí. A to vlivem celosvětové bilance spotřeby vyprodukované energie a stavu naší planety, která se průmyslovou výrobou dostala v mnoha oblastech na limitní hodnoty své zátěže.

Významnou částí se na spotřebě energií a znečištění životního prostředí podílí výstavba staveb a v rámci jejich provozu pak vytápění. Při vhodném návrhu novostaveb či rekonstrukcí a výběru šetrného ekologického materiálu pro jejich výstavbu, lze tepelné ztráty a ekologické zátěže zmírnit až několikanásobně.

Současným trendem v oblasti stavebnictví je proto návrat k přírodním a šetrným ekologickým materiálům. Stále více se staví ze dřeva a vrací se trend roubených a srubových staveb. Jak ale zachovat architektonický ráz roubených staveb tak, aby dosahoval nízké či pasivní energetické náročnosti?

V následujících kapitolách této práce bude čtenář práce seznámen s podobou tradičního roubeného systému a konstrukčního systému moderních roubených staveb. S vlivy, které vedou ke snižování energetické náročnosti budov a ochraně životního prostředí. Zejména pak s pojmy Nízkoenergetického a Pasivního domu, pro které bude proveden návrh obvodové roubené konstrukce.

Jednotlivé návrhy skladeb obvodových konstrukcí budou podrobeny výpočtu hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  důležité pro další určování tepelných ztrát objektů.

Použitím jedné ze zvolených výpočtových metod bude procesem opakování výpočtů docíleno minimální šířky navržené obvodové roubené konstrukce v posuzovaných standardech. Výpočet pro každou ze skladebných konstrukcí bude následně ověřen numerickou metodou konečných prvků (dále jen „MKP“).

Na základě těchto výsledků bude provedeno posouzení získaných hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  a ekonomické vyhodnocení každé z uvedených variant.



## 2. CÍLE PRÁCE

Díky zpřísnění požadavků na energetickou náročnost budov tradiční roubená stěna nevyhoví stanoveným hodnotám pro budovy řazené do nízkoenergetického a pasivního standardu. Cílem práce je proto provedení výpočtu součinitele prostupu tepla  $U$  na typových skladbách obvodových roubených stěn a následné zjištění jejich minimální šířky pro zajištění mezních hodnot posuzovaných standardů.

Porovnáním jednotlivých získaných hodnot bude docíleno návrhu optimální obvodové roubené konstrukce s ohledem na prostup tepla včetně jejich ekonomického posouzení.

### 3. HISTORIE DŘEVOSTAVEB

Až poválečná archeologická bádání nám umožnila přesněji nahlédnout do počátků vzniku lidských obydlí. A i když nelze celý jejich vývoj jednoznačně doložit, lze jej na základě archeologických nálezů alespoň částečně zrekonstruovat.

Již v období paeolitu a mezolitu bylo pravěkými lovci využíváno dřevo v podobě kmenů a větví jako hlavní konstrukce přístřešků a stanových obydlí, které je ochraňovali před nepříznivými povětrnostními vlivy počasí. Pro výplň dřevěné nosné konstrukce bylo používáno listí, slámy a kůží. Tento archeologický nález vyvrátil domněnku jeskynních lidí a prokázal užití dřeva jako stavebního materiálu již v tomto období (Obrázek 1a)

Další nálezy hovoří o období neolitu jako o základním přelomu výstavby dřevěných domů se svislými stěnami s konstrukčně oddělenou střechou. Dřevěná nosná konstrukce z kmenů plnila funkci základů (piloty) i nosných částí. To dokladují archeologické nálezy dokládající pozůstatky kůlových jamek. Tato konstrukce pak byla pravděpodobně vyplétána proutím a vymazávána hlínou (Obrázek 1b).

Během starší doby bronzové až do období starověku byl vývoj lidských obydlí ovlivněn vynálezem prvních primitivních nástrojů k opracování dřeva (zejména sekery). Díky tomu se v tomto období poprvé objevují nové systémy výstavby – drážkový a srubový. U drážkové stěny byly do sloupů oboustranně vysekané drážky, do kterých se zasunula krátká vodorovná břevna otesaná na koncích tak, aby zapadla do drážek (Obrázek 1c)<sup>1</sup>. Srubová stěna byla tvořena různě opracovanými rovnými kmeny, které byly vrstveny na sebe a spojovány jednoduchými tesařskými spoji v rozích stěn. Nedoléhající styky kmenů pak byly vyplňovány mechem nebo dřevní vlnou pro zajištění lepšího tepelného komfortu. (Obrázek 1d). Oba tyto systémy využívali čerstvě vytěžených kmenů (kulatiny popř. povalů), které tvořili hlavní nosný prvek konstrukčního systému. Až později s dalším rozvojem ručních a později strojních nástrojů k opracování dřeva se vyvinul konstrukční systém z hraněných trámů tzv. roubený, popsany blíže v kapitole 4.

V období středověku, přesněji ve 12. a 13. století začalo dřevo pro stavbu roubenek a srubů na západ od našich hranic rapidně podražovat a bylo velmi nákladné jej dopravovat na velké vzdálenosti. To donutilo řemeslníky vytvořit takovou stavbu, při jejímž zhotovení bude použita pouze 1/3 dřeva oproti masivním srubovým a drážkovým

---

<sup>1</sup> ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.

konstrukcím<sup>2</sup>. Tak vznikl hrázděný konstrukční systém, jehož hlavními konstrukčními prvky byly prahy, sloupy, paždíky a šikmé vzpěry. Tento skelet byl poté zpravidla vyplněn hliněnou mazaninou nebo vepřovicemi a později pálenými cihlami (Obrázek 1e).

Až do 18. století se tak dřevo a kámen stalo základním stavebním materiálem pro výstavbu lidských obydlí. To se ale v 19. století s příchodem industrializace změnilo. Do popředí se díky novým možnostem, zejména exportu a importu, dostaly nové stavební materiály, především železo, beton a ocel. Dřevo však nezaostávala a díky novým tesařským konstrukcím, byla realizována výstavba objektů s velkým rozpětím (haly, lávky a mosty). Za průkopnické jsou považovány zejména: vzpěradlové a věšadlové soustavy, sbíjené nosníky (soustava Stephanova a Meltzerova), hřebíkové příhradové nosníky, příhradové rámy (Küblerova, Hetzerova, d'Ardantova soustava), samonosné střešní konstrukce (lamelová, Záhorského nebo Kroherova soustava), soustavy skruží či spřažené dřevo ocelové konstrukce nosníků a rámu<sup>3</sup>.

Tuto vývojovou etapu často nazýváme druhou vlnou civilizace. Nové vynálezy, výzkum a mechanizace výroby, to vše bylo soustředěno do větších měst. Se vzrůstajícím počtem nových pracovních příležitostí bylo nutné řešit migraci obyvatel do průmyslových měst a vyřešit otázku levného, rychlého a ekonomicky výhodného bydlení. Na počátku 20. století se díky tomu v USA rozvíjí další „dřevěný“ konstrukční systém „two by four“. Sloupkový systém, jehož název je odvozený od hlavního konstrukčního prvku - sloupku o rozměrech 2 x 4 palce. Podle provedení se rozlišuje, zda se jedná „Balloon frame“ (Obrázek 1f) a „Platform frame“. V tomto období se rozvíjí výroba různých deskových a tyčových výrobků na bázi dřeva (překližky). Rozvojem prefabrikace a tesařských konstrukcí se dále vyvíjely i další konstrukční systémy dřevostaveb jako je rámový (Obrázek 1g), systém z prefabrikovaných dílců.

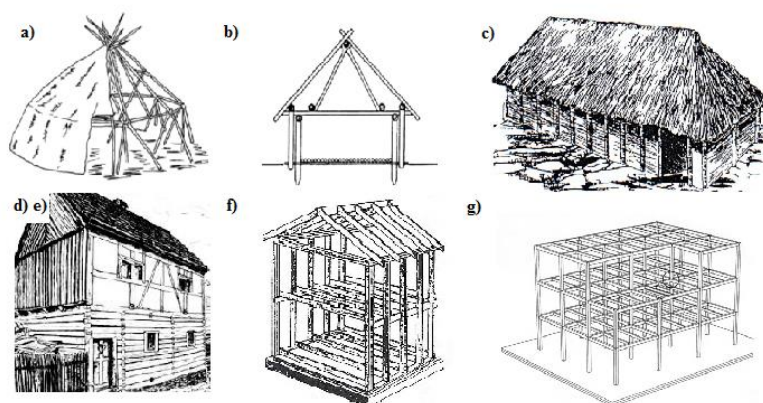
V 70. letech 20. století se dále rozvíjí výroba OSB desek a lepených trámových profilů. Na konci 20. století se již vyrábí masivní konstrukční panely z křížem lepených dřevěných desek (CLT), které se nyní úspěšně používají při stavbě vícepodlažních budov, kterým je v současnosti věnována velká pozornost<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> *Dřevo a stavby: Právě hrázděné stavby jsou již minulostí* [online]. Praha: PRO VOBIS, s.r.o., 2013 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/2524-prave-hrazdene-stavby-jsou-jiz-historii>

<sup>3</sup> ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.

<sup>4</sup> *Časopis Stavebnictví: Dřevostavby - Minulost a současnost staveb ze dřeva* [online]. Brno: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2015 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva\\_N5385](http://www.casopisstavebnictvi.cz/minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva_N5385)



**Obrázek 1 – Vývoj konstrukčních systémů ze dřeva**  
 [Zdroj: Časopis stavebnictví<sup>5</sup>]

Dnešní využití dřeva jako stavebního materiálu je stále ovlivněno rozvojem nových materiálů. Obzvláště vznik aglomerovaných materiálů ovlivnil komplexní využití dřevní hmoty. V závislosti na použitém typu hlavního nosného dřevěného prvku lze rozlišovat následující konstrukční systémy:

Srubová stěnová konstrukce

Roubená stěnová konstrukce

Hrázděná konstrukce

Sloupková soustava

Rámová konstrukce

Stěnová soustava z prefabrikovaných tvarovek

Všechny tyto konstrukční systémy jsou v současné době používány pro konstrukce dřevostaveb, tedy staveb, jejichž hlavní prvky jsou tvořené dřevem nebo materiály na bázi dřeva.

<sup>5</sup> Časopis stavebnictví [online]. Praha: Informační centrum ČKAIT s.r.o., 2007 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/>

#### 4. TRADIČNÍ ROUBENÉ STAVBY

Mezi historicky nejčastější nosné a dělící svislé konstrukce lze zařadit i roubené stěny. Tento konstrukční systém vznikl ze srubového konstrukčního systému díky zdokonalení ručních tesařských nástrojů pro opracování dřeva. Proto se od sebe liší především stupněm opracování nosných prvků. Zatímco u srubové stěny je hlavním nosným prvkem i hlavní funkční izolací (většinou odkorněná) kulatina či výřez, u roubených staveb je to hraněný trám.

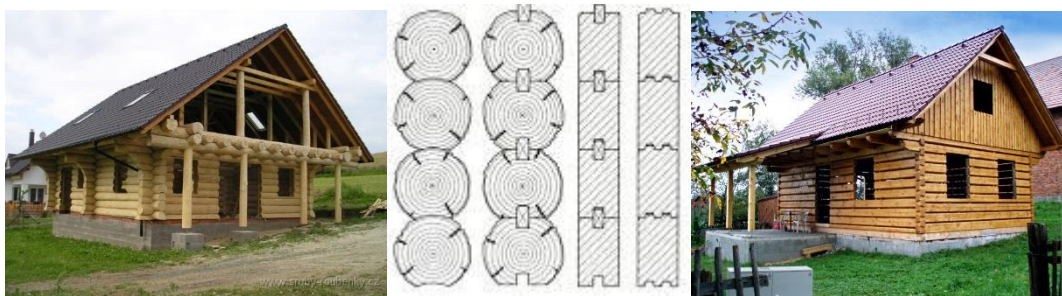
Rozdíl mezi roubenými a srubovými stavbami není jednoznačně definován ani formulován v žádném právním předpisu. Dostupná literatura tak mnohdy označuje stavby srubové jako stavby roubené a naopak. Zavádějící je rovněž pokud autoři odborné literatury označují tyto dva konstrukční systémy termínem srubová (roubená) konstrukce.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem roubené obvodové stěny. Proto je nezbytné ji odlišit od stěny srubové. Charakteristickým prvkem roubené stavby (dále jen „roubenky“) je hraněný trám, který je v rozích opatřen tesařským spojem. Vazby tesařských spojů jsou pro tento ucelený konstrukční systém velice důležité neboť plní funkci ztužujícího věnce a zajišťují prostorovou stabilitu stěn. Na rozdíl od srubových rohových spojů srubových staveb (dále jen „srubů“) se roubenky vyznačují vazbou v nárožích. Není to však pravidlem. V některých regionech můžeme nalézt rohové spoje roubených staveb provedené zhlavím (většinou zdobným). U srubů však provedení rohové vazby v nároží nenajdeme, viz Tab. 1.

Uvedené stěnové systémy jsou si velice podobné. I přesto lze ale nalézt detaily, které jsou pro každý z nich charakteristickým rysem. Bude-li proto dál použito termínu roubená technologie, roubená stavba, roubený konstrukční systém či roubenka bude se jednat o *tradiční český dřevěný dům, postavený z trámů kladených vodorovně na sebe, v rozích zatesaných na klasickou "rybinu" (trámy v rozích nepřesahují)*. A srubovou konstrukci, někdy označovanou jako finskou: *„Srubem rozumíme dřevostavbu z masivních odkorněných klád či prizem (kláda seřízlá či otesaná ze dvou bočních stran), které jsou v rozích do sebe zatesané sedlovými spoji, přes které klády pokračují a vyčnívají ven ze srubové stěny. Podélné mezery mezi kládami se obvykle řeší vydlabáním drážky v horní kládě“*<sup>6</sup>. Podrobněji viz Obrázek 2.

---

<sup>6</sup> Řemeslo: Roubenky, sruby, dřevostavby - rozdíly, často používané pojmy. MALÝ, Robert [Www.roubenkyasruby.cz](http://www.roubenkyasruby.cz) [online]. 2015. 26. 06. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.roubenkyasruby.cz/o-stavbach/pojmy>



**Obrázek 2 – Fotografie a nákres srubové stěny (vlevo); Fotografie a nákres roubené stěny (vpravo)**

*Zdroj nákresu: [Dřevostavby, Josef Kolb<sup>7</sup>]*

*Zdroj obrázků: [www.sruby-roubenky.cz<sup>8</sup>]*

**Tab. 1 – Rozdíl mezi srubem a roubenkou**

*[Zdroj: vlastní zpracování]*

	SRUB	ROUBENKA
<b>Tesařské spoje (ložná spára)</b>	na tupo, s výřezem do tvaru U a V	na tupo, P+D, vložené pero, ozub
<b>Tesařské spoje (rohové vazby)</b>	zhlaví (prosté a sedlové přeplátování) rohový sloupek	zhlaví (prosté a rybinové přeplátování) nároží (rybinový a zámkový spoj) rohový sloupek
<b>Tesařské spoje (napojení příček)</b>	přesahem a přeplátováním	zámky, čepy, pomocí sloupku
<b>Tvar materiálu</b>	kulatina, výřezy	hranoly, trámy (masivní nebo lepené)
<b>Použitý materiál</b>	surové, předsušené	surové, předsušené a vysušené

## 4.1. VÝVOJ ROUBENÝCH STAVEB NA ÚZEMÍ ČR

### 4.1.1. DISPOZICE

Nejstarší dochovaná stavba na našem území tvořená roubenou technologií pochází z předhusitského období. Dendrochronologicky bylo její stáří datováno do období let 1422-1430 a je k vidění v jihočeských Mirkovicích. Na základě výšky stropu a zachované konstrukce dřevěné klenby lze odvodit tehdejší způsob vytápění. Jednalo se o dymný provoz, který zajišťoval obyvatelům tepelný komfort za pomoci otevřeného ohně uprostřed roubených obytných místností tzv. černých jizeb. Odvod spalin z místnosti byl totiž zajištěn malým oknem situovaným pod střechou. V tomto období, byla roubená technologie používána také pro stavby hospodářské, technické, sakrální i maloměstské, jizby na hradech a tvrzích. Základy jizeb byly tvořeny kamennými zdi. To dokladují zachované otvory po zhlaví trámů v konstrukcích kamenných stěn.

Okolo 17. století dymný provoz zanikl a byl nahrazen zdrojem vytápění umístěným mimo jizbu v samostatné místnosti později tzv. černé kuchyni. To mělo za

<sup>7</sup> KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.

<sup>8</sup> *Sruby a roubenky* [online]. Hradec Králové: Haniš Srubové Domy, 2011 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.srubyaroubenky.cz/>

následek výrazné snížení stropních konstrukcí, celkové hmoty stavby a zesvětlení obytných místností. Až v 18. století se však pro stěnové konstrukce začínaly používat částečně opracované trámy. Do té doby bylo spíše využíváno kulatiny či výřezů a jednalo se spíše o stavby srubové.

V tomto období současně dochází ke vzniku a rozkvětu regionálních forem lidové architektury, jaké jsou známy dnes. Např. pro oblast středních Čech jsou typické precizní tesařské spoje a výskyt podstavky – vyřezávané podpůrné konstrukce 1. patra.

Tím se dřevo stalo až do konce 18. století nejobvyklejším stavebním materiálem i u nás a to i v oblastech, které dnes vnímáme jako tradiční regiony zděné architektury.

S přibývajícímí stavbami však rapidně vzrostl i počet požárů. V reakci na to bylo vydáno i první oficiální protipožární nařízení tzv. ohňové patenty (21. 8. 1751 Marie Terezie). To přineslo omezení výstavby roubených domů a zavedení protipožárních opatření jako vysazování listnatých stromů mezi jednotlivými domy pro zamezení šíření požáru, zděné komíny, výstavbu zvoníček, staveb pecí mimo objekt. I přes veškerá tato opatření, však přišel absolutní zákaz staveb ze dřeva Dvorským dekretem (15. 2. 1816 Josef II.). I přes tento zákaz se však v průběhu 19. a 20. století roubené domy stále stavěly.

Své oblíbě se roubené stavby na území ČR těší i dnes v 21. století. Stále více lidí se totiž navrácí k původní myšlence přírodního bydlení, které nezatěžuje životní prostředí a je v souznění s okolní přírodou.

## **4.2. ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM**

Zakládání nových domů se lišilo v závislosti na místních podmínkách. Obecně lze říci, že se jednalo o primitivní zakládání. Mnohdy se stavby zakládaly přímo na terén nebo jen na mělké kamenné rovnaniny (základy vysypané kamením) spojené hliněnou maltou. Pro stavby v horských a podhorských oblastech pak bylo využíváno kamenných podezdívek. Podlaha byla tvořena převážně udusanou hlinou.

Výstavba nosných obvodových stěn roubenou technologií byla prováděna za pomoci dvoustraně nebo všestranně hraněných trámů. Základním požadavkem na stěnovou konstrukci bylo oddělit venkovní a vnitřní prostředí, izolovat vnitřní prostředí od vnějších vlivů a poskytnout tak určitý komfort obyvatelům objektu s tehdy minimální potřebou energií. K opracování trámů docházelo přímo po vytěžení dřevní suroviny na místě stavby. Disproporce silnějších a slabších konců trámů se vyrovnávala jejich

střídavým kladením. Jednotlivé trámy byly zajištěny v rozích tesařskými spoji v nároží. Mezi základní typy tesařských spojů lze zařadit prosté přeplátování s ponecháním přesahujících konců trámů - zhlaví, rybinové přeplátování, zámkový spoj a zapažení čepů na čele stěnových trámů do drážky na sloupku<sup>9</sup>. Těsnění ložných spár mezi trámy bylo obvykle zajištěno mechem, slámou, hlinou, zvířecími chlupy, konopným, lněným či kopřivovým pazdeřím. Těsnící materiál byl doplňován vždy, když začalo vlivem sesedání stavby ložnými spárami profukovat.

Silnější koncový trám obvodové stěny představoval tzv. roubený věnec. Nosné prvky stropních konstrukcí byly tvořeny opracovanými trámy či povaly. Na ně byl proveden záklop, výplň pak tvořil izolační materiál ve formě slámy nebo rákosu. Zastřešení bylo obvykle řešeno hambálkovou krokevní soustavou.

Často se v našich regionech můžeme setkat s povrchovou úpravou roubených stěn hliněnou či vápennou omítkou.

### 4.3. MATERIÁL

Pro roubenky bylo používáno mokrého surového dřeva. Díky postupnému vysušování dřevní suroviny po jejím zabudování v konstrukci docházelo k jejímu sesedání. Dřevní surovina byla opracovávána ihned po jejím vytěžení. K těžbě docházelo převážně v zimním období, tedy v průběhu vegetačního klidu.

Materiál pro stavbu roubenek byl určen dostupností dřevin v okolí místa, kde se měla nacházet. Pro území ČR byly těmito nejvíce používanými dřevinami dnes již vzácná jedle, borovice a smrk. Výjimečně se v nížinných oblastech můžeme setkat i s dubovými roubenými stěnami. Jednalo se však především o jehličnaté dřeviny charakteristické tím, že jsou měkké a snadno opracovatelné. To bylo důležité pro výrobu tesařských spojů.

---

<sup>9</sup> PEŠTA, Jan. *Rekonstrukce roubených staveb: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3239-8.



## 5. SOUČASNÉ SYSTÉMY ROUBENÝCH STAVEB

### 5.1. KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY

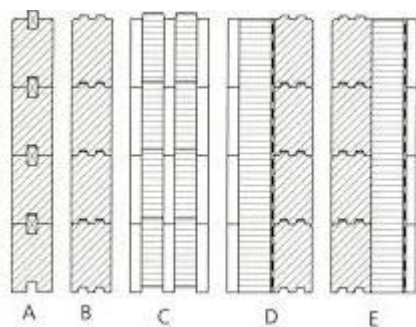
Pro trvalé bydlení se stala tradiční roubená technologie z masivních trámů nevyhovující a bylo nutné ji modifikovat tak, aby vyhověla energetickým a ekologickým nárokům, které jsou popsány v další kapitole. To je v současné době zajišťováno vložением účinných izolačních materiálů, které mají výrazně nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  a tím vykazují lepší tepelně izolační vlastnosti celé konstrukce. Současné konstrukční systémy roubených staveb lze rozdělit následovně:

Masivní – hlavní nosná konstrukce je tvořena masivním trámem (tradiční) či lepeným lamelovým dřevem. Obvodovou konstrukci lze realizovat v jedné vrstvě nebo více vrstvami v kombinaci s tepelně izolačními materiály (izolace, fólie, obklady atd.). Jednovrstvá masivní konstrukce tvořená strojově opracovanými trámy (částečně vysušenými) je dnes spíše vnímána jako tradiční, a je převážně používána spíše pro rekonstrukce či obnovu památkově chráněných objektů či objektů, které se nachází v památkových zónách či územích. Pro moderní roubené stavby je využíváno hlavně lepených lamelových trámů (vysušených), které umožňují vysokou rozměrovou variabilitu a stabilitu. Výhodou lepených trámů je eliminace vad dřeva a trhlin, vysoká přesnost lícování trámů v ložných spárách a jejich vyšší těsnost. Současně je možné zanedbat konstrukční detaily týkající se sesychání a sedání stavby.

Prefabrikované (sendvičové) - také známé jako falešné, jsou konstrukce tvořené dvěma masivními strojově obráběnými hranoly nebo lepenými, mezi které je vložena vrstva tepelné izolace. Sendvičové roubené stěny vykazují lepší tepelně izolační vlastnosti avšak jejich realizace je často zatížena řešením složitých konstrukčních detailů, náročnou výrobou a s tím i spojenými náklady na jejich výrobu.

Kombinované – hlavní nosná konstrukce je tvořena sloupkovým či hrázděným konstrukčním systémem, technika roubení jsou pouze imitací (obkladem).

Díky rovným trámům vykazují moderní roubené stavby mnohem lepší vlastnosti týkající se pevnosti spojů v ložné spáře. Rovné hraněné trámy umožňují dosedání větší styčné plochy. Tím je dosaženo i lepší a větší těsnosti v ložných spárách. V porovnání s tradičními stavbami však tyto strojově opracované působí mnohdy uměle.



**Obrázek 3 – Současné systémy roubených staveb**

A/Masivní roubená stěna ze strojově opracovaných trámů s vloženým perem; B/Masivní stěna z lepených profilů spojených drážkou; C/ Sendvičová konstrukce; D/E/ Kombinovaná konstrukce  
[Zdroj: Dřevostavby, Kolb<sup>10</sup>]

## 5.2. MATERIÁL

Princip získávání hlavní dřevěné suroviny zůstal stejný. Dochází k němu v období vegetačního klidu, zimní těžbou. V tomto období má dřevo nejmenší podíl vody, nejmenší snahu ke kroucení a pod kůrou, vyzrálé letní dřevo. Nosné prvky obvodové roubené konstrukce jsou tvořeny masivními ručně hraněnými trámy, masivními strojně obráběnými trámy či trámy lepenými.

Neopomenutelnou součástí moderní roubené obvodové konstrukce je izolační vrstva a vrstva těsnící osazovaná do ložných spár jednotlivých trámů. Současně je u některých typů dřevin kladen požadavek na povrchovou úpravu, která zajišťuje vyšší trvanlivost celé stavby.

### 5.2.1. MASIVNÍ TRÁMY

Dle dostupných informací jednotlivých výrobců a dodavatelů působících na českém trhu lze použité dřeviny rozlišovat na cizokrajné a domácí. Pro stavby roubenek se do České republiky dováží dřevo cedrové, borovicové a smrkové. Nejvíce používanou domácí surovinou je dřevo smrkové, borovicové a modřínové.

Cedrové dřevo (White cedar, Red cedar) je druhým nejlepším dřevěným tepelně-izolačním materiálem na světě. Díky způsobu, kterým roste, obsahuje vysoký podíl přírodních olejů. Díky těmto olejům se toto dřevo nemusí ošetřovat impregnačními přípravky proti stárnutí. Přítomnost přírodních olejů odpuzuje dřevokazný hmyz.

<sup>10</sup> KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.

Cedrové dřevo vykazuje nízkou krouťivost a malé procento vzniku trhlin. Do České republiky je dovážen z Kanady a Aljašky. Finanční náklady jsou proto daleko vyšší.

Polární borovice je charakterizovaná pomalým růstem, díky kterému jsou jeho dřevní vlákna hustá a rovná, s úzkými tracheidami. Díky vyššímu podílu jádrového dřeva vykazuje menší míru absorpce vlhkosti a tím i menší míru rozměrových změn. Toto dřevo velice dobře a dlouhodobě odolává nepříznivým povětrnostním podmínkám. Je lehké, odolné a trvanlivé. Do České republiky je dováženo ze Skandinávských zemí. To se však opět odráží i na nákladech za jeho pořízení. Při zapaření borovicového bělového dřeva dochází k jeho modrání. Ačkoliv tento jev nemá vliv na funkčnost trámů je jím výrazně snížena hodnota estetická. Zamodrání borovice lze předcházet opatřením stavebního prvku vhodnou impregnací.

Mezi nejpoužívanější domácí dřeviny lze zařadit Smrk ztepilý. Je používán díky rovnému růstu kmenů. V České republice se jedná o nedostupnější a nejpoužívanější surovinu, ale také nejméně trvanlivou při vystavení vnějším vlivům. Jde o nejdůležitější dřevinu českého lesního hospodářství. Mezi další domácí používané dřeviny lze dále zařadit borovici a modřín.

Masivní trám je pro stavby roubenek dodáván všestranně opracovaný a to buď ručně nebo strojně, v surovém nebo částečně vysušeném stavu. Materiál pro výrobu masivních trámů je důkladně vybírán. Pro jednotlivé kulatiny je doporučeno vybírat zejména rovnou kulatinu s minimálním poměrem točitosti dřevních vláken (pravosměrný max. 1:10, levosměrný max. 1:20). Masivní trámy obsahují určitý podíl vlhkosti, díky kterému je třeba počítat s jejich budoucím sesycháním do rovnovážného stavu. To zakládá nutnost řešení stavebních detailů vlivem sesedání stavby.

Postupné sesychání dřeva je zapříčiněno změnou vlhkosti dřeva v rozsahu vody vázané. Vlivem toho dochází k rozměrovým změnám (mění se lineární rozměry, plocha a objem). Celkové objemové sesychání je přímo úměrné konvenční hustotě dřeva. Na základě hodnot koeficientu objemového sesychání můžeme rozdělit dřeva do skupin uvedených v Tab. 2.

**Tab. 2 – Rozdělení dřeva dle objemového koeficientu sesychání**[Zdroj: VŠB, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Ing. Filip Khestl, Ph.D.<sup>11</sup>]

málo sesychavá	(tis, olše, akát, topol, kaštan)	$K_{\beta V} < 0,4\%$
středně sesychavá	(smrk, borovice, jedle, osika, dub, jasan, jilm, ořešák)	$K_{\beta V} < 0,4 - 0,47\%$
hodně sesychavá	(modřín, bříza, lípa, líska)	$K_{\beta V} < 0,47\%$

Vlivem sesychání i vlivem stlačení stavby vlastní vahou mohou rozměrové změny dosáhnout až 15 cm na výšku podlaží. Zhruba 5-6 let dochází k vysychání stavby do rovnovážného stavu, individuálně pak v závislosti na počáteční vlhkosti dřeva. Celý proces smršťování stavby je výraznější v příčném směru kolmo k vláknům dřevného trámu. Tomu bylo potřebné přizpůsobit jednotlivé konstrukční detaily např. u oken a dveří, osazením rámu okna a zárubní do drážky, dilatací nadpraží nebo rektifikací sloupů. U roubenek můžeme počítat s menšími rozměrovými rozdíly než u srubů, neboť tesařské spoje v nárožích roubených stěn nedovolí přílišnému sednutí vlivem "stlačení" stavby vlastní vahou<sup>12</sup>.

Jednotlivé trámy je vhodné opatřit nejlépe ekologickou impregnací proti biotickým škůdcům a následně ji ošetřit vhodnou povrchovou úpravou pro rozměrově nestálé dřevěné díly (lazury, oleje atd.)

Současné konstrukční systémy jsou nejdříve sestavovány ve výrobních halách jednotlivých dodavatelů. Po sestavení stavby je každý z prvků roubenky řádně očíslován. Po očíslování prvků je roubenka demontována a až po tom dovezena na místo, kde má být realizována. Postupným sestavením očíslovaných dílců pak dochází ke stavbě roubenky na daném pozemku. Základové a střešní konstrukce moderních roubenek jsou voleny s ohledem na současné trendy.

### 5.2.2. LEPENÉ TRÁMY

Pro zajištění vyšší rozměrové stálosti celé konstrukce se proto používají masivní trámy z lepených profilů. Výhodou těchto lepených profilů je výrazné snížení deformací

<sup>11</sup> *Zkoušení stavebních hmot a materiálů: Dřevo - základní fyzikální vlastnosti dřeva* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, 2011 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: [http://home1.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo\\_zk](http://home1.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zk)

<sup>12</sup> Řemeslo: Roubenky, sruby, dřevostavby - rozdíly, často používané pojmy. MALÝ, Robert *Www.roubenkyasruby.cz* [online]. 2015. 26. 06. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.roubenkyasruby.cz/o-stavbach/pojmy>

vlivem vlhkosti, rozměrová variabilita, eliminace vad dřeva a jeho vysoká pevnost a únosnost.

Jejich základní rozlišení lze nalézt v ČSN EN 14 080 Dřevěné konstrukce

– Lepené lamelové dřevo a rostlé dřevo:

- Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem (KVH)
- Lepené lamelové dřevo, lamely tl. max. 45mm (BSH)
- Lepené dřevo mimo lamelového (DUO balken, TRIO balken)
- Složené (blokově lepené) lepené lamelové dřevo (block glued glulam)
- Křížem lepené řezivo – (CLT označované též jako BSP – Brettsper Holz)<sup>13</sup>

Lepené trámy vznikají slepením vysušených lamel o vlhkosti v rozmezí 8 - 15% a jsou lisovány do potřebných tvarů. Pro výstavbu roubenek se nejvíce používají KVH a BSH hranoly a to pro konstrukce střech a nosných i nenosných stěn.

KVH hranoly (Solid Structural Timber) jsou vyráběny lepením masivních vrstev dřeva (tl. 45-85 mm) o stejných pevnostních třídách, viz Obrázek 4. Pevnostní třídy dřeva jsou charakterizovány ČSN EN 338 Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Hoblované a vysušené konstrukční hranoly jsou dodávány v provedení DUO a TRIO. Jejich rozměry jsou v průřezech a šířkách materiálu limitovány rozměry vstupní suroviny v max. průřezu 280 mm. Vyrábějí se v menších průřezech a délkách než BSH hranoly.

BSH hranoly (Glued Laminated Timber – Glulam) jsou vyráběny vrstvením smrkových lamel, které jsou vizuálně tříděny a následně rozřazeny do pevnostních tříd, viz Obrázek 4. Pevnostní třídy lamel (tl. 6 - 45 mm) ovlivňují následnou skladbu BSH hranolu, které lze díky tomu odlišit na kombinované trámy (lamely s odlišnou pevností dřeva) a homogenní trámy (lamely o stejné pevnosti dřeva). Ojedinele se můžeme setkat i s využitím jedle, borovice, modřínu a douglasky. Jednotlivé lamely jsou vrstveny a lepeny v požadovaných délkách, šířkách a průřezech v závislosti na účelu použitých trámů (únosnost, pevnost atd.).

---

<sup>13</sup> MYNÁŘ, Josef, Jiří TESLÍK, Jiří PROVÁZEK, Martin GLOS, Petr VACEK a Zoja SKOPALOVÁ. *Materiály pro dřevostavby: vzdělávací materiály* [online]. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, 2015 [cit. 2016-04-09]. ISBN 978-80-906014-0-6.



**Obrázek 4 – KVH, KVH DUO a BSH hranol**  
 [Zdroj: [www.raj-dreva.cz](http://www.raj-dreva.cz)<sup>14</sup>]

### 5.3. DETAILY LOŽNÝCH SPÁR

Důležitým detailem roubené konstrukce, na který je kladen vysoký požadavek prodyšnosti, těsnosti a tepelně izolačních vlastností, je ložná spára mezi každým trámem. Vlivem rozměrové nestálosti dřeva jde o jedno z nejnamáhanějších míst v konstrukci. Pro řešení tohoto detailu je uvedeno 6 možných variant ošetření ložných spár:

- Vymazávka: ložné spáry jsou tvořené přírodní izolací a hliněnou vymazávkou.
- Hliněná omítka: celkové zakonzervování stavby, ložné spáry se překryjí vrstvou hliněné omítky, která pak lépe akumuluje teplo ve vnitřním prostředí.
- Lištování: tradiční řešení dřevěnými trojúhelníkovými lištami, které lícují s roubením
- Scribe-fit: paměťové pásky ve 2-3 řadách s vložením tepelně izolačního materiálu (nejlépe čedičová vata, kamenná vlna). Paměťové pásky jsou schopné měnit svůj objem, proto po sednutí trámů zajišťují i nadále těsnost jednotlivých spár.
- P+D: vytvořením spoje pera a drážky mezi jednotlivými trámy dojde k těsnějšímu spoji a přerušení tepelného mostu. Průmyslově opracované trámy na CNC obráběcích strojích.
- Vložené pero: snaha o napodobení P+D bez nároků na strojní technologie.

### 5.4. DIFUZNĚ OTEVŘENÉ KONSTRUKCE

Současné konstrukční systémy roubených staveb jsou navrhovány a prováděny jako difuzně otevřené konstrukce. Difuzně otevřená konstrukce umožňuje do určité míry

<sup>14</sup> *Ráj dřeva* [online]. Třebíč: RÁJ DŘEVA - Ing. Josef Prajsner, 2010 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.raj-dreva.cz/produkty/konstrukcni-hranoly-kvh-duo-trio-bsh/>

molekulární prostup vodních par a plynů konstrukcí směrem do exteriéru. Aby takový systém fungoval, musí být dodrženy přesné postupy, skladby a pravidla při provádění. Mezi výhody difuzně otevřeného systému obvodových plášťů budov patří zejména velmi dobré zvukově izolační, akumulální a regenerační vlastnosti. Aby mohla celá stavba dýchat, vkládá se do skladeb jednotlivých konstrukcí difuzní vrstva. Funkcí difuzní vrstvy je odvod vlhkosti směrem z interiéru do exteriéru a ochrana zateplení od odvětrávaných prostorů. Ochranné vrstvy izolace se pokládají na venkovní straně izolační vrstvy, aby zabránily ochlazování lehkých, porézních izolačních látek nebo proudění za izolačními vrstvami. U dřevostaveb se používají difuzi otevřené fólie a papíry, měkké vláknité desky na bázi sádry nebo jiné aglomerované deskové materiály<sup>15</sup>. I během výstavby může difuzní fólie chránit izolační vrstvu proti nadměrnému přijímání vlhkosti.

---

<sup>15</sup> KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.

## 6. OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ A ÚSPORA ENERGIE

Výstavba roubených staveb se těší své oblibě i dnes v době 21. století. Vlivem celosvětově zvýšených požadavků na úsporu energií, ochranu životního prostředí, ekonomii výstavby a celkově zvýšené nároky na komfort bydlení však musí splňovat přísnější kritéria. Současná architektura závislá na fosilních zdrojích energie zvýšila nároky na tepelnou ochranu staveb, ekologii výstavby a s tím spojené nízké výrobní a provozní náklady stavby. Za účelem dosažení těchto požadavků byly zavedeny limitní hodnoty, které musí uvažovaná konstrukce nebo obálka budovy naplnit.

### 6.1. OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Rostoucí energetická náročnost lidské společnosti vyvolává trvalý tlak na růst spotřeby a tím i získávání energie. Tento tlak byl především v období průmyslové revoluce tak silný, že se člověk příliš nezajímal o vyčerpávání neobnovitelných zdrojů energie a tím méně o důsledky pro životní prostředí a v širším smyslu pro celou biosféru Země<sup>16</sup>. Nové vynálezy, továrny a urbanizace měst, které byly vnímány jako pokrok civilizace a známka úspěchu sice zajistily své době nepředstavitelné ekonomické výsledky avšak s absolutní ignorací limitů životního prostředí.

Podíl 29% celkové světově vyprodukované energie připadá na dopravu, 31% na průmyslovou výrobu a zbylých 40 % na domácnosti a služby. Přičemž největší spotřebu energií v domácnostech tvoří vytápění budov v zastoupení 73%, ohřev teplé užitkové vody a další domácí spotřebiče včetně osvětlení. Dochází tak k tomu, že je v současné době spotřebováváno 40% světové energie při provozu budov. Dlouhodoběji s ohledem na celoživotní cyklus budovy až 50% světové energie (na výrobu materiálů, dopravu, výstavbu, údržbu, reinvestice a likvidace stavby)<sup>17</sup>. Tato hodnota je tvořena primárními energiemi, procesními (těžba, doprava materiálu), svázanými (trafostanice, komíny) a přímými provozními energiemi, které lze posuzovat na základě analýzy LCA (Life Cycle Assessment).

Posouzení životního cyklu výrobku metodou LCA slouží k určení dopadů jeho existence na životní prostředí a to z pohledu jeho životního cyklu od těžby surovin přes

---

<sup>16</sup> *Velká kniha o energii*. Praha: L.A. Consulting Agency, c2001. ISBN 80-238-6578-1.

<sup>17</sup> *Eurostat: Your key to European statistics* [online]. Luxembourg: European Commission, 2012 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat>



zpracování surovin, výrobu, distribuci, používání, opravy a údržbu a likvidaci nebo recyklaci.

Alarmující hodnoty spotřebované energie mají nepříznivý dopad na naše životní prostředí. Přístup a chování lidí, činnosti týkající se čerpání a průmyslového využití energie získané z fosilních paliv a dalších neobnovitelných zdrojů, zvýšené hodnoty oxidu uhličitého v ovzduší, znečišťování povrchových i spodních vod, znečišťování půdy těžko odbouratelnými odpady a narušování přírodních ekosystémů, zde díky tomu zanechávají největší ekologickou stopu naší civilizace. V případě neustálého opomíjení těchto faktorů a soustavného znečišťování naší planety se tato situace stane jednoho dne neudržitelnou.

V roce 1973 došlo k první ropné krizi. V reakci na tyto souvislosti vydala v roce 1992 Organizace spojených národů (dále jen „OSN“) programový dokument Agenda 21, v rámci Konference o životním prostředí a rozvoji v Rio de Janeiru, mnohdy označované „Summitem Země“. Agenda 21 zakotvila program v oblasti rozvoje a ochrany životního prostředí pro 21. století za účelem dosažení trvale udržitelného rozvoje v oblastech sociálních a ekonomických, ochrany zdrojů a hospodaření s nimi, posilování úlohy velkých skupin a finančních zdrojů a mechanismů. Konsenzuálně zakotvila prioritní odpovědnost jednotlivých vlád k implementaci těchto jednotlivých principů do vnitrostátních předpisů. To vše za použití národních strategií, plánů a politického systému<sup>18</sup>. Summitu Země se zúčastnilo 10 tisíc oficiálních delegátů ze 178 zemí světa, z toho 116 hlav států a 15 tisíc aktivistů.

Za účelem dosažení těchto ochranných principů vyplývajících z Agendy 21 byl v roce 1996 i pro oblast stavebnictví a jeho produktů, vytvořen programový dokument pod Agenda 21 ve stavebnictví, který v tomto odvětví stanovuje následující požadavky:

- Výstavby budov s minimální spotřebou energie a vody
- Efektivního využití surovin (přírodní a obnovitelné materiály)
- Požadavku na dlouhou dobu životnosti stavby
- Minimální tvorby odpadu a znečištění během své životnosti
- Efektivního využití půdy a dotváření krajinného rázu
- Nízkých výrobních a provozních nákladů
- Vytváření zdravého životního prostředí i uvnitř budov

---

<sup>18</sup> *Státní politika životního prostředí: leden 2001*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001. ISBN 80-721-2170-7.

Na území členských států Evropské unie (dále jen „EU“) byla tato problematika upravena nejdříve Směrnicí Evropského parlamentu a Rady Evropy 2002/91/ES o energetické náročnosti budov, která zakotvila základní požadavek zpracování průkazů energetické náročnosti budov (dále jen „PENB“). Nově je tato problematika zakotvena Směrnicí Evropského parlamentu a Rady Evropy 2010/31/EU o energetické náročnosti budov<sup>19</sup> (dále jen „EPNB“), jejichž podstatné části jsou implementovány do právních systémů členských států EU. V českém legislativním prostředí jsou legislativní požadavky zakotveny zákonem č. 406/2000 Sb., zákon o hospodaření s energií, v platném znění (dále jen „ZOE“) a jeho prováděcí vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov (dále jen „vyhláška ENB“).

## **6.2. SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV**

Hlavním bodem EPNB je energetické regulování výstavby nových budov, které mají být od počátku roku 2021 stavěny jako energeticky nulové nebo takové úrovni blízké<sup>20</sup> (viz Obrázek 5). Přičemž do celkové energetické potřeby tepla je nutné započítávat i energie na vytápění objektu, na přípravu teplé užitkové vody, chlazení, větrání a elektřiny. Volná úvaha je zde členskými státy ponechána v oblasti stanovení metodiky výpočtů a cílových hodnot energetické náročnosti.

Pod pojmem energeticky nulové budovy si představme budovy nové generace. Pro příklad lze uvést, energeticky pozitivní budovy, budovy se zvýšenou energetickou soběstačností a budovy energeticky nezávislé (autonomní).

Za budovy takové úrovni blízké považujeme Nízkoenergetické domy (dále jen „NE“), které se vyznačují nízkou potřebou tepla na vytápění, Pasivní domy (dále jen „PA“), které se vyznačují minimalizovanou potřebou a budovy na nákladově optimální úrovni, které jsou ZOE definovány energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů a budovy s téměř nulovou spotřebou energie mezi které lze zařadit budovy energeticky nulové, pozitivní, nezávislé a jejich kombinaci.

---

<sup>19</sup> *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU: o energetické náročnosti budov.* In: Štrasburk: Evropská unie, 2010, ročník 2010, 2010/31/EU.

<sup>20</sup> TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další.* 1. vyd. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

Jaké hodnoty však takové stavby musí splňovat, jak mají vypadat a čím je tedy zajištěna spotřeba nízkých energií? Na základě dotazníkového šetření z roku 2008 provedeného Evropskou aliancí společenství pro energetiku (dále jen „EuroACE“), bylo zjištěno, že pouze 7 členských států EU má ve svém vnitrostátním právu zahrnuty definice NE a PA, 7 států EU je v přípravách novely zákonů, 4 země pracují pouze s neoficiálními definicemi a další 4 země mají oficiální i neoficiální verzi definic.

Mezi zeměmi s ustálenou definicí pro NE a PA jsou Rakousko, Dánsko, Finsko, Francie, Německo a Spojené království (Anglie a Wales) a Česká republika<sup>21</sup>.

Na území České republiky tyto pojmy definuje dnes již novelizovaná vyhláška ENB a základní technická norma ČSN 73 0540-2<sup>22</sup> (dále jen „ČSN 73 0540-2“).

### 6.2.1. NÍZKOENERGETICKÝ STANDARD

Pro území České republiky je NE objekt splňující požadavky na nízkou potřebu tepla na vytápění svým vhodným konstrukčním řešením a vzduchotěsností obálky budovy. Aby navržená stavba či úprava stávající vyhověla požadavkům nízkoenergetického standardu, musí splňovat alespoň mezní požadované hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  pro nové budovy definované ČSN 73 0540-2 ( $U \leq U_{N,20}$ ), jejíž měrná potřeba tepla na vytápění nesmí přesáhnout hodnotu  $e_A = 50 kWh / m^2 h$ . Důležitými aspekty je rovněž situování stavby na pozemku vzhledem ke světovým stranám, dodržení zásad navrhování jednoduchých architektonických tvarů budov (nejčastěji ležatý kvádr), zónování jednotlivých místností vzhledem ke světovým stranám, zajištění vhodné izolační vrstvy ve skladbě obálky budovy, podíl oken vůči ochlazované obálce domu. NE by splňovat i požadavky na neprůvzdušnost obálky budovy by neměla přesáhnout hodnotu  $\eta_{50} \leq 1,0 h^{-1}$ . Tento požadavek je však v rozporu s požadavkem hygienicky nezbytné výměny vzduchu a tak se do těchto objektů instalují systémy s řízeným větráním vzduchu.

---

<sup>21</sup> KIRSTEN ENGELUND THOMSEN, Kim B a EUROACE. *European national strategies to move towards very low energy buildings* [online]. 1. edition. Danish Building Research Institute, 2008 [cit. 2016-04-15]. ISBN 978-875-6313-292.

<sup>22</sup> ČSN 73 0540 - 2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. Změna Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

### 6.2.2. PASIVNÍ STANDARD

PA má mnohem přísnější požadavky než NE. Koncept PA musí vyhovět nárokům NE a navíc je požadováno dodržení přísnějších limitních hodnot. Minimalizováním potřeby energie (i primární energie) na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a vhodným stavebně technickým řešením obálky budovy musí být splněn požadavek vzduchotěsnosti obálky budovy dle ČSN EN 13829, TNI 73 0329 a TNI 73 0330  $\eta_{50} \leq 0,6h^{-1}$ . Taktéž definovanou hodnotu součinitele prostupu tepla  $U$  jehož hodnota nesmí přesáhnout mezní doporučenou hodnotu pro pasivní domy vyplývající z ČSN 73 0540-2 ( $U \leq U_{pas,20}$ ) a hodnotu měrné potřeby tepla na vytápění by neměla přesáhnout  $e_A = 15kWh / m^2 h$ . Celková roční měrná potřeba primární energie nemá být vyšší než  $120kWh / m^2 a$ . Důležitými aspekty je rovněž efektivní situování stavby na pozemku vzhledem ke světovým stranám za účelem získávání solárních zisků, dodržení zásad navrhování jednoduchých architektonických tvarů budov, zónování jednotlivých místností vzhledem ke světovým stranám, zajištění vhodné izolační vrstvy ve skladbě obálky budovy, podíl oken vůči ochlazované obálce domu. Dodržení povinnosti dodržet limitní hodnoty vzduchotěsnosti objektu a mnoho dalších kritérií.

### 6.2.3. BUDOVY NA NÁKLADOVĚ OPTIMÁLNÍ ÚROVNI

Pojem budovy na nákladově optimální úrovni zavádí ZOE. Jedná se o budovy hodnocené analýzou současných požadavků na energetické vlastnosti budov a jejich vyhodnocení zda se nachází na nákladově optimální úrovni. Výpočtové hodnocení je prováděno pro období 20 let (u komerčních budov) a 30 let (u budov obytných). Jsou zde posuzovány hodnoty investičních a provozních nákladů, mezi primární energií a celkovými náklady.

### 6.2.4. BUDOVY S TĚMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE A BUDOVY NULOVÉ

Jsou jimi budovy nové generace, jejichž hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí<sup>23</sup>. Tyto budovy by měly stavebně odpovídat konstrukcím pro pasivní budovy poloviční hodnotou měrné

---

<sup>23</sup> TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

potřeby primární energie  $e_A$  bez vlivu energií uživatelských. Na svoji příležitost a uvedení do praxe však stále čekají a proto jsou prozatím vizí budoucnosti.



Obrázek 5 – Vývoj požadavků na energetickou náročnost budov  
[Zdroj: Šance pro budovy<sup>24</sup>]

### 6.3. DŘEVO JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL BUDOUCNOSTI

Z pohledu životního cyklu dřevěných výrobků a jednotlivých spotřebních složek energie se dřevo stává nenahraditelným stavebním materiálem. Primární energie je zde zastoupena regenerativním systémem lesů, ze kterých je dřevní surovina získávána, přičemž obnovitelnost lesů je porovnatelná s délkou lidského života. Procesní energie je dále využita pro těžbu dřevní suroviny, svázaná pro transport a výrobu jednotlivých prvků a přímé provozní energie umožňují zabudování prvku do konstrukce. Po svém životním cyklu se prvek opět stává součástí přírody (viz Obrázek 6).

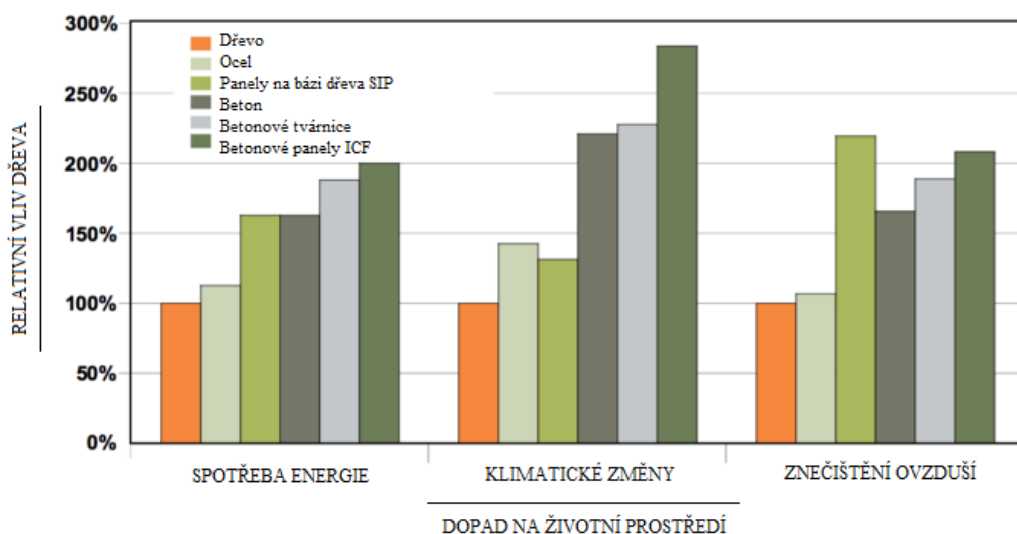


Obrázek 6 – LCA dřevěných stavebních materiálů  
Zdroj: [www.naturallywood.com<sup>25</sup>]

<sup>24</sup> Tabulky a grafy: Zjednodušená grafika postupného náběhu požadavků na energetickou náročnost budov. *Šance pro budovy: Studie* [online]. Praha: www.sanceprobudovy.cz, 2012 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.sanceprobudovy.cz/studie/tabulky-a-grafy/2012/zjednodusena-grafika-postupneho-nabehu-pozadavku-na-energetickou-narocnost-budov>

<sup>25</sup> *Naturally:wood* [online]. Canada: Forestry Innovation Investment, 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.naturallywood.com/>

Využívání dřeva vede ke snížení emisí CO<sub>2</sub> v ovzduší. Samotná jeho spotřeba a zpracování vede ke snížení spotřeby energie a snížení dopadů na životní prostředí bez vedlejší tvorby nezpracovatelných odpadů<sup>26</sup>. V porovnání s ostatními stavebními materiály splňuje požadavky na ekologii výroby, obnovitelnost a nízké náklady v průběhu celého svého životního cyklu. Data uvedená **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** jsou zohledněna pro kanadský stavební průmysl. Pro demonstrování spotřeby celkových energií pro životní cyklus výrobků z různých materiálů je však dostačující.



**Graf 1 – Porovnání LCA dřeva s ostatními materiály**  
Zdroj: [www.naturallywood.com<sup>27</sup>]

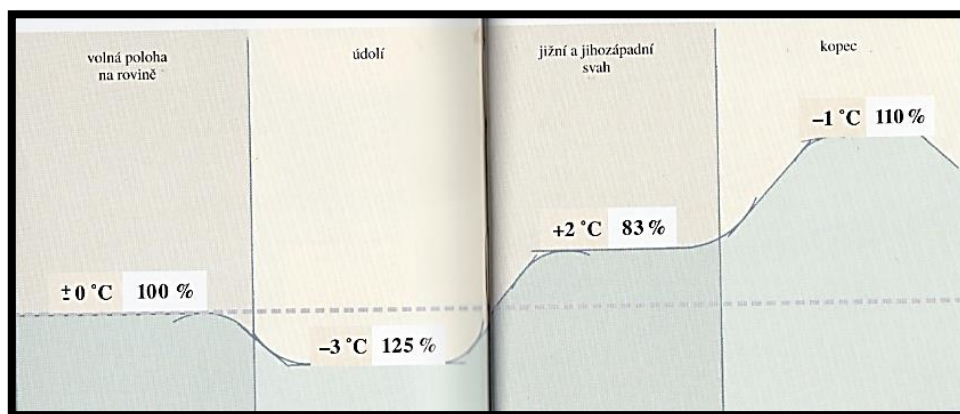
<sup>26</sup> ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.

<sup>27</sup> *Naturally:wood* [online]. Canada: Forestry Innovation Investment, 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.naturallywood.com/>

## 7. ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ NE A PA

Z hlediska zásad navrhování NE a PA je vždy nejdůležitějším kritériem vhodně zvolený urbanistický a architektonický návrh, jehož realizace byla provedena kvalitně a za dodržení správných technologických postupů.

Pro dosažení maximálních solárních zisků je vhodné volit pozemky nebo jejich větší části s orientací k jižní popřípadě západní světové straně. Tam dopadá až o 10 - 30% více solárních paprsků a proto je většina fasádních průčelí budov orientována tímto směrem. Z hlediska orientace a s umístění budovy na pozemku jsou pak významnými veličinami nadmořská výška a morfologie okolního terénu (Obrázek 7).



Obrázek 7 – Vliv polohy domu v terénu na tepelné ztráty  
[Zdroj: Velká kniha o energii, Augusta a kolektiv]

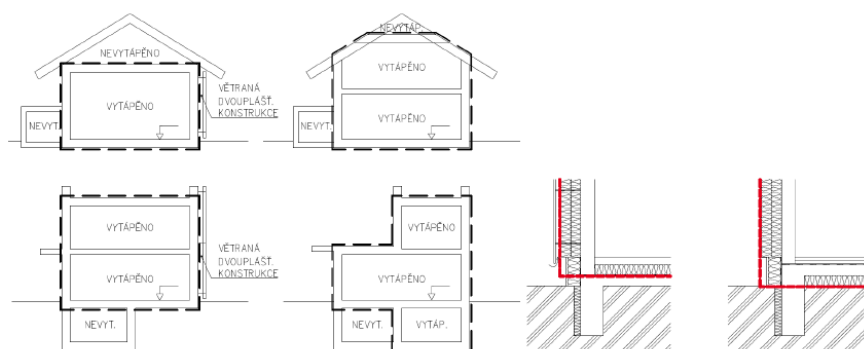
Čím jednodušší hmotový návrh budovy tím je pro posuzované standardy efektivnější. V rámci architektonického návrhu platí zásada, že musí být navrženo takové hmotové dispoziční řešení stavby, aby byl co největší vnitřní objem vměstnán do co nejmenšího povrchu obvodového pláště  $A/V$  [ $m^2/m^3$ ]. Pokud bychom tuto zásadu chtěli dodržet, museli by být všechny stavby tvaru koule. To je však nemožné, proto se nejčastěji volí tvary NE a PA ve formě ležatého kvádru. Logicky lepších výsledků pak toto architektonické řešení dosahuje u bytových domů, administrativních budov či u řadových domů než u samostatně stojících objektů.

Návrh musí současně splňovat hygienické požadavky. Jednotlivé plochy místností musí odpovídat minimálním hodnotám ČSN, jednotlivé místnosti musí být dostatečně větrané, osvětlené (uměle i přirozeně). Musí vykazovat tepelnou pohodu a relativní vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí.

Dalším důležitým kritériem je zónování objektu. Tepelné zónování dispozice lze vnímat jako rozřídění jednotlivých místností dle účelu jejich užívání a požadavku na

vytápění. Zóny lze rozdělit na Obytné (obytné i pobytové místnosti), Servisní (příslušenství objektu a Přídavné (nevytápěné místnosti sklady a komory)<sup>28</sup>. Zónování objektů je řešeno technickými normalizačními informacemi TNI 73 0329<sup>29</sup> pro rodinné domy a TNI 73 0330<sup>30</sup> pro bytové domy (dále jen „TNI“).

Nejširší nároky jsou kladeny na komplexní skladbu obvodového pláště budovy, která je tvořena několika dílčími částmi. Je tvořena svislými obvodovými konstrukcemi, střešní a stropní konstrukcí. V užším pojetí může být vnímána systémovými rozhraními mezi jednotlivými částmi vytápěnými a nevytápěnými prostory. Jednotlivé konstrukční části jsou zpravidla opatřeny vrstvou účinné tepelné izolace.



**Obrázek 8 – Schéma umístění systémové hranice budovy**

Zdroj: [TNI]

Až 40 % z celkových tepelných ztrát budovy je tvořeno výplněmi otvorových konstrukcí. Při návrhu NE a PA se těmto jevům dá vyvarovat vhodným návrhem, kde hraje roli především jejich rozčlenění, velikost a otevřenost (nižší tepelné ztráty tak logicky vykazuje jedno větší okno než tři malá vlivem nutnosti řešení konstrukčního osazení a utěsnění každého okenního rámu zvlášť). Také zvolením vhodných tepelně izolačních skel, správným utěsněním konstrukčních detailů nebo použitím stínící techniky lze zabránit tepelným ztrátám. Především pro PA je důležitým měřítkem vzduchotěsnost objektu, která je ověřována po jeho realizaci převážně metodou tlakového spádu Blower-door-test. Konečně poslední navrhovanou částí je celé zázemí budovy, které je energetickou podstatou NE a PA.

<sup>28</sup> SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.

<sup>29</sup> TNI 73 0329. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Rodinné domy*. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

<sup>30</sup> TNI 73 0330. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Bytové domy*. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.



## 8. VÝPOČTOVÉ METODY

Získání jednotlivých charakteristických hodnot je pro návrh NE a PA prováděno výpočtovými metodami. V České republice lze pro tento výpočet využít 3 různé metodiky. Těmito metodikami je použití programu Passive House Planning Package (dále jen „PHPP“), užití výpočtové metodiky dle českých technických norem, zejména ČSN 73 0540-2, ČSN ISO 6946<sup>31</sup> (dále jen „ČSN ISO 6946“) a ČSN ISO 13790 Energetická náročnost budov – výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení a technických normalizačních informací TNI a hodnocením dle prováděcí vyhlášky ENB. Pro ověření získaných hodnot je možné využít také numerické metody, např. metodu konečných prvků (MKP).

### 8.1. PHPP

PHPP je počítačový program vytvořený organizací Passive House Institute s hlavním sídlem v Německu. Poprvé byl představen v roce 1998. PHPP pracuje na principu tabulkového procesoru MS Excel. Výpočtem a je schopen na základě doplněných údajů do jednotlivých listů programu, vypočítat bilanci spotřeby energie na vytápění (roční a měsíční metody), pro distribuci tepla a zásobování, jakož i elektřinu a primární spotřeby energie. V oblasti plánování a návrhů NE a PA se tento nástroj velice rychle rozšířil do podvědomí odborníků z řad architektů a stavebních inženýrů. Proto byly do základního programu zahrnuty i další složky v současnosti posuzované jako např. výpočty charakteristických hodnot oken, vlivy zastínění, vlastnosti topného systému, větrání, obnovitelné zdroje energie nebo certifikace EnerPHit (modernizace stávajících budov). Je neustále aktualizován o nové vědecké poznatky a měření a zaručuje spolehlivost výsledků a snadnost použití. Od roku 2013 je dostupný i v české verzi.

Jeho použití v „českém“ prostředí se však stalo často diskutovaným problémem. Porovnáním výpočtových hodnot PHPP s vyhláškou ENB byly zjištěny odlišné hodnoty. Klíčovým problémem je nedostatek a kvalita dat týkajících se klimatických podmínek pro území ČR, rozpor s některými částmi českých technických norem (dále jen „ČSN“)

---

<sup>31</sup> ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. 1.12.2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

upravujících problematiku tepelné ochrany budov nebo dokonce absence úpravy obsažené v těchto normách v PHPP<sup>32</sup>.

Tato výpočtová metoda je tak použitelná pro zpracování průkazů energetické náročnosti budovy (dále jen „PENB“) jako povinná součást projektové dokumentace dle vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb. Není však chápána jako relevantní doklad prokazující soulad s národními normami. Pro dotační účely tak musí být proveden výpočet podle ČSN a TNI. Primárně je tento program určen pro výpočet návrhu PA.

## 8.2. ČSN A TNI

Provedení výpočtu hodnot pro NE a PA pomocí ČSN 73 0540-2 včetně norem souvisejících a metodiky TNI, je chápáno jako splnění základních požadavků na stavby dle ust. § 8 prováděcí vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, v platném znění (dále jen „OTP“). Základním požadavkem na konstrukční řešení stavby či úpravy stávající stavby se tak stává úspora energie a s tím související tepelná ochrana budov a ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek a životního prostředí.

Norma ČSN 73 0540-2 a její dílčí části jednoznačně zakotvuje základní tepelně technické veličiny, jejich hodnoty a postupy výpočtů potřebné pro posouzení dílčích i celkových, které vykazuje navržená stavba

Doplňující a podpůrné informace k výpočtům obsahují další návazné ČSN a TNI. Pro posouzení provedeného návrhu konstrukcí roubených obvodových stěn bude použit právě tento postup za použití ČSN 73 0540-2 a souvisejících, které jsou následně citovány vždy při jejich použití v poznámce pod čarou. Tím budou získány jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$ .

## 8.3. VYHLÁŠKA ENB

Posledním způsobem hodnocení je zpracování PENB. Tato povinnost vyplývá z ust. § 6a odst. 2 ZOE, který ukládá stavebníkovi či vlastníkovi budovy povinnost zajištění splnění požadavků na energetickou náročnost budovy a splnění porovnávacích ukazatelů, které stanoví prováděcí právní předpis a dále splnění požadavků stanovených

---

<sup>32</sup> TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

příslušnými harmonizovanými ČSN. PENB tak vyhodnocuje měrné energetické ukazatele zahrnující veškeré energie, které lze ovlivnit architektonickým a stavebním návrhem domu (vytápěním, ohřevem teplé užitkové vody, zvoleným systémem vzduchotechniky, osvětlení atd.). Nezahrnuje však informaci o tom, kolik takových spotřebičů je díky tomu instalováno a ani energii spotřebovanou mimo budovu<sup>33</sup>.

Vyhláška ENB pro účely výpočtu zavádí pojem Referenční budovy, která má shodné vlastnosti jako budova navržená. Hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy a referenční budovy se stanovují výpočtem na základě dokumentace. Vyhláška ENB současně obsahuje směrné hodnoty veličiny, se kterými je navržená i referenční budova porovnávána:

- a) celková primární energie za rok,
- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- c) celková dodaná energie za rok,
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů.

## 8.4. POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD

Tab. 3 – Porovnání výpočtových metod pro bytový dům  
Zdroj: [CPD<sup>34</sup>]

Metodika hodnocení	Potřeba tepla na vytápění	Celková dodaná energie	Potřeba primární neobnovitelné energie	Hodnocení
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
<b>metodika PHPP</b>	14,7	-	102,2	Vyhovuje definici Pasivní dům dle Passivhaus Institutu v Darmstadtu
<b>metodika TNI 730330</b>	8,7	-	44,7	Vyhovuje definici Pasivní dům dle TNI 73 0330 - klasifikace BD 10P
<b>Vyhl. č. 78/2013 Sb. PENB *</b>	12,3	37,1	48,4	Kategorie A - klasifikace budova s téměř nulovou spotřebou energie

\* využity okrajové podmínky metodiky TNI 73 0331 (např. energeticky vztažná plocha)

<sup>33</sup> MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Profi. ISBN 978-80-247-4559-6.

<sup>34</sup> *Centrum pasivního domu* [online]. Brno: Centrum pasivního domu, z.s., 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/>

## 9. NÁVRH OBVODOVÉ ROUBENÉ KONSTRUKCE V NE A PA

Požadavky na obvodový plášť NE a PA jsou výrazně přísnější než u běžné výstavby. Obvodové stěny mají největší plochu z celé obálky domu. Požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu konstrukce je řešena dle ČSN EN 1995-1-1<sup>35</sup>. Posouzení jednotlivých mezních stavů únosnosti a použitelnosti však není součástí této práce. Návrh konstrukce na požární odolnost je upraven v ČSN EN 1995-1-2<sup>36</sup> a rovněž nebude dále posuzován. Návrh obvodové konstrukce bude proveden pro vybrané skladby roubených konstrukcí na základě výpočtu součinitele prostupu tepla  $U$  a následné optimalizace konstrukcí pro NE a PA. Na základě získaných hodnot poté bude každá obvodová stěna posouzena, zda vyhoví limitním hodnotám součinitele prostupu tepla pro tzv. „nízkoenergetický“ a pasivní standard.

Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  by měl být pro každou skladbu ověřen výpočtem vnitřní povrchové teploty a posouzením vzniku kondenzátu uvnitř konstrukce. Tyto části však budou z posouzení vynechány, neboť se jedná o velice rozsáhlou problematiku.

Pro návrhy konstrukcí byly zvoleny skladebné systémy vnějších obvodových stěn dostupných z internetových zdrojů výrobců a dodavatelů moderních roubených staveb. Protože však žádný z těchto výrobců neuvádí tloušťky jednotlivých vrstev materiálů a ani celkovou tloušťku obvodové nosné konstrukce, bude návrh optimalizován tak, aby vyhověl limitním hodnotám součinitele prostupu tepla  $U$ .

Jako výchozí tloušťka obvodové konstrukce je návrh obvodové konstrukce nejprve hodnocen pro šířku 0,3 m. U této hodnoty lze (tak jako u jiných stěnových systémů) předpokládat, že svislá obvodová stěna dokáže přenést všechna vodorovná a šikmá zatížení do základové spáry a bude tím zajištěna prostorová tuhost a stabilita konstrukce.

Posouzení jednotlivých skladebných konstrukcí obvodových stěn pro hodnotu  $U$  bude provedeno za použití výpočtu dle platných ČSN a TNI upravujících problematiku tepelné ochrany budov, jejichž výčet bude při jejich užití uveden vždy v příslušném

---

<sup>35</sup> ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2006. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

<sup>36</sup> ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. 2006. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

odkazu této práce a v seznamu použité literatury. Ověření výpočtu bude provedeno metodou MKP.

## 9.1. VNĚJŠÍ A VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

Jednou ze základních funkcí obvodové stěny je oddělení venkovního prostoru od prostoru vnitřního. Proto je důležité charakterizovat a určit jednotlivé hodnoty teplot venkovního a vnitřního prostředí, tzv. okrajové podmínky výpočtu. Pro výpočet se užije návrhových hodnot vyplývajících z ČSN 73 0540-3<sup>37</sup> (dále jen „ČSN 73 0540-3“).

Hodnota teploty venkovního prostředí je definována hodnotou návrhovou  $\theta_e$  [°C] pro celkem 4. teplotní oblasti dle tab. 1 oddílu 7, ČSN 73 0540-3. Zde je tato návrhová hodnota určena základní návrhovou teplotou venkovního vzduchu pro 100 m n. m.  $\theta_{e,100}$  [°C] a základním teplotním gradientem pro danou teplotní oblast  $\theta_{e,0}$  [°C]. Výpočet bude proveden pro 1. teplotní oblast, pro kterou je v uvedené tabulce stanoveno:

$$\theta_{e,100} = -12 \text{ °C}$$

$$\theta_{e,0} = -0,5 \text{ K}$$

Pro výpočet  $\theta_e$  platí:

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_e \quad (9.1)$$

$$\Delta\theta_e = \theta_{e,0} \cdot \frac{\Delta h}{100} \quad (9.2)$$

$\Delta h = h - 100$  rozdíl nadmořské výšky místa budovy a základní nadmořské výšky [m]

Každé posuzované konstrukci bude určeno vlastní město spadající do teplotní oblasti 1. (Chrudim, Ústí nad Labem, Praha a Znojmo). Na základě použité metodiky po dosažení do vztahů (11.1) a (11.2) byly definovány tyto návrhové teploty venkovního prostředí

---

<sup>37</sup> ČSN 73 0540 - 3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. 1.11.2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

Chrudim	$\theta_{e,CH} = -12 + ((240 - 100) / 100) \cdot (-0,5) = -12,7 \doteq -13^\circ\text{C}$
Ústí nad Labem	$\theta_{e,UaL} = -12 + ((145 - 100) / 100) \cdot (-0,5) = -12,23 \doteq -13^\circ\text{C}$
Praha	$\theta_{e,PH} = -12 + ((189 - 100) / 100) \cdot (-0,5) = -12,46 \doteq -13^\circ\text{C}$
Znojmo	$\theta_{e,ZN} = -12 + ((289 - 100) / 100) \cdot (-0,5) = -12,95 \doteq -13^\circ\text{C}$

Teplotu vnitřního prostředí lze klasifikovat jako optimální teplotu zajišťující tepelnou pohodu v objektu. Její návrhová hodnota  $\theta_i$  [ $^\circ\text{C}$ ] je uvedena v tab. I. 1, ČSN 73 0540-3. Hodnota je závislá na druhu posuzované místnosti. Návrh se zabývá vnější obvodovou konstrukcí trvale užívané obytné budovy, obytné místnosti, pro kterou je určeno

$$\theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = 50\%$$

$\varphi_i$  relativní vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí [%]

Pokud by byly teploty venkovního a vnitřního prostředí stejné došlo by k tzv. teplotní rovnováze a nedocházelo by k přenosu tepla. Pokud však existuje rozdíl mezi těmito teplotami, teplo má tendenci se pohybovat z vyšší teploty na nižší dokud se nedostane do tepelné rovnováhy.

## 9.2. TEPELNÝ ODPOR

Dle metodiky stanovené v ČSN 73 0540-4<sup>38</sup> (dále jen „ČSN 73 0540-4“) je součinitel prostupu tepla definován vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (9.3)$$

$U$  součinitel prostupu tepla [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$R_T$  odpor konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

Proto je potřebné nejprve provést výpočet tepelného odporu konstrukce  $R_T$ , platí:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (9.4)$$

<sup>38</sup> ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. 1.6.2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

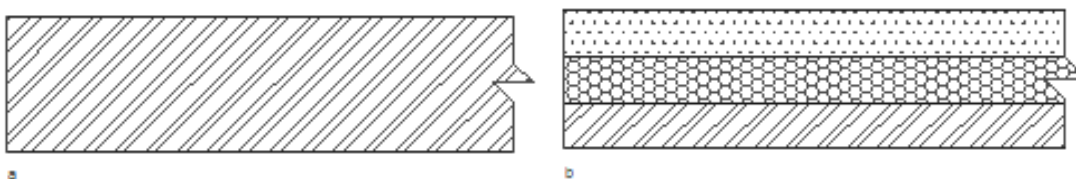
- $R_{si}$  odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [ $m^2K/W$ ]  
 $R$  tepelný odpor vrstvy (konstrukce) [ $m^2K/W$ ]  
 $R_{se}$  odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [ $m^2K/W$ ]

Pro hodnoty  $R_{si}$  a  $R_{se}$  jsou použity údaje vyplývající z tabulky J. 1, ČSN 73 0540-3. Okrajové podmínky těchto odporů při přestupu tepla jsou udávány pro účely výpočtu šíření tepla konstrukcí pro zimní a letní období ve vnitřním prostředí a pro zimní období ve vnějším prostředí. Dle bodu 5. 2., ČSN EN ISO 6946<sup>39</sup> (dále jen „ČSN ISO 6946“) můžeme tyto návrhové hodnoty odporů získat i stanovením směru tepelného toku. Pro uvažované konstrukce se jedná o vodorovný směr tepelného toku  $\phi$  [W].

$$\begin{aligned} R_{si} &= 0,13m^2K/W \\ R_{se} &= 0,04m^2K/W \end{aligned} \quad (9.5)$$

### 9.2.1. TEPELNÝ ODPOR HOMOGENNÍ KONSTRUKCE

Tepelný odpor  $R$  [ $m^2K/W$ ] je klasifikován jako vlastnost materiálu nebo kombinace materiálů izolovat a tím odolávat teplotnímu rozdílu teplotního gradientu. Postup výpočtu je třeba odlišit pro stejnorodé a nestejnorodé konstrukce. Zatímco u homogenních konstrukcí dochází prostupem tepla k jednosměrnému šíření teplotního pole (rovnoběžně vůči povrchu konstrukce), u heterogenních konstrukcí je teplotní pole šířeno dvěma směry (rovnoběžně vůči povrchu konstrukce a příčně).



Obrázek 9 – Schéma homogenní konstrukce a) jednovrstvé b) vícevrstvé  
 Zdroj: [vlastní zpracování]

Pro homogenní konstrukce jednovrstvé a vícevrstvé budou použity následující vztahy dle Chmúrného<sup>40</sup>. Pro homogenní jednovrstvou konstrukci:

<sup>39</sup> ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. 1.12.2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

<sup>40</sup> CHMÚRNY, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-889-0527-3

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (9.6)$$

- $d$       tloušťka j-té vrstvy konstrukce v [m]  
 $\lambda$       součinitel tepelné vodivosti vrstvy [W/mK]

Pro výpočet homogenní vícevrstvé konstrukce se užíje pro výpočet j-tých tepelných odporů vztah:

$$R = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (9.7)$$

$$R = \Sigma R_j \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (9.8)$$

- $R_j$       tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce  
 $d_j$       tloušťka j-té vrstvy konstrukce v [m]  
 $\lambda_j$       součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy [W/mK]

Vícevrstvá konstrukce musí splňovat předpoklad, že k sobě jednotlivé vrstvy dokonale přiléhají a jsou kolmé na směr tepelného toku.

Pod pojmem součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/mK] si lze představit schopnost materiálu vést teplo při určitém rozdílu teplot. Jednotlivé hodnoty tepelné vodivosti vybraných materiálů udávají přílohy A a B ČSN 73 0540-3. Předmětem posouzení je obvodová konstrukce, jejímž hlavním nosným prvkem je dřevěný trám z měkkého dřeva. Normové hodnoty udávají hned dva součinitele tepelné vodivosti a to  $\lambda_k$  [W/mK] - charakteristická hodnota a  $\lambda_u$  [W/mK] – návrhová hodnota. Ačkoliv se v některých případech návrhová hodnota součinitele prostupu tepla pro měkké dřevo různí<sup>41</sup> a tyto hodnoty jsou používány akreditovanými laboratořemi pro certifikovaná měření, jsou pro účely výpočtu použity hodnoty vyplývající z hodnot normových. Pro měkké dřevo je tedy součinitel tepelné vodivosti zastoupen pro směr kolmý k vláknům dřeva návrhovou hodnotou:

$$\lambda_u = 0,180 \text{ [W/mK]}$$

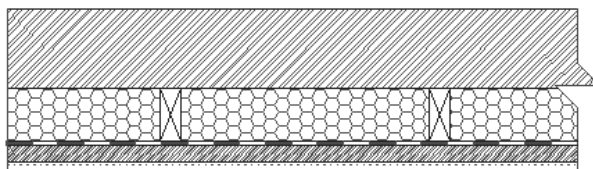
<sup>41</sup> Roubená stěna z dřevěných smrkových trámů tl. 300 mm. *Www.tzb-info.cz* [online]. Zlín: Centrum stavebního inženýrství, a.s., 2015 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12481-roubena-stena-z-drevenych-smrkovych-tramu-tl-300-mm>



Po dosažení hodnot tepelných odporů  $R$ ,  $R_{si}$  a  $R_{se}$  do vztahu (9.4) bude zjištěn výsledný tepelný odpor při prostupu konstrukce  $R_T$ , jehož hodnota bude použita pro vztah (9.3) a zjištěn součinitel prostupu tepla  $U$  homogenních konstrukcí.

### 9.2.2. TEPELNÝ ODPOR HETEROGENNÍ KONSTRUKCE

Heterogenní neboli nesterjnorodou konstrukcí je označována taková skladba stěny, ve které je alespoň jedna z jejích vrstev tvořena dvěma odlišnými materiály. Může se jednat např. o laťový rošt, mezi který je vkládána vrstva izolačního materiálu, laťový rošt a nevětraná vzduchová mezera atd.



**Obrázek 10 – Schéma heterogenní konstrukce**  
Zdroj: [vlastní zpracování]

Pro potřeby výpočtu tepelného odporu  $R$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ] v heterogenních konstrukcích je zavedena Horní mez tepelného odporu  $R'_T$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ] - tepelný odpor při prostupu tepla výseky rovnoběžnými se směrem teplotního toku a Dolní mez tepelného odporu  $R''_T$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ] - tepelný odpor při přechodu tepla vrstvami kolmými na směr teplotního toku. Výsledný součinitel prostupu tepla  $U$  se zohledněním vlivů tepelných mostů, zde bude řešen zavedeným vzorcem:

$$U = \frac{2}{R'_T + R''_T} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (9.9)$$

$R'_T$  Horní mez odporu konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

$R''_T$  Dolní mez odporu konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

Převrácením hodnot ze vztahu (9.9) je řešen aritmetický průměr hodnot tepelných odporů při prostupu tepla na horní a dolní mezi, který udává výsledný tepelný odpor heterogenní konstrukce při prostupu tepla:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (9.10)$$

Výpočet Horní meze tepelného odporu při prostupu tepla úseky rovnoběžnými se směrem tepelného toku  $R'_T \parallel \phi$ :

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9.11)$$

$f_a - f_q$  poměrné plochy každého výseku [-]

$R_{Ta} - R_{Tq}$  tepelné odpory při prostupu tepla ve směru tepelného toku pro každý výsek a-f [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

Výseky jsou zóny, které se v konstrukci opakují v pravidelných intervalech. Tyto zóny jsou zpravidla označeny písmeny  $a, b, c, \dots, n$  (v závislosti na počtu posuzovaných zón). Dalším postupem budou definovány a vypočteny poměrné plochy  $f_x$  [-] výseků navržených skladeb obvodových konstrukcí:

$$f_x = \frac{A_x}{A} \quad [-] \quad (9.12)$$

$A_x$  plocha x úseků [ $\text{m}^2$ ]

$A$  celková hodnocená plocha konstrukce [ $\text{m}^2$ ]

Obecně platí:

$$f_x + \dots + f_n = 1$$

Hodnoty  $R_{Ta} - R_{Tq}$  pro heterogenní vrstvu závisí na jejím charakteru. Jejich hodnoty získáváme dosazením do vztahu (9.4):

$$R_{Tx} = R_{si} + R_1 + R_x + \dots + R_{se} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9.13)$$

$R_{Tx}$  tepelný odpor při prostupu tepla [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$R_x$  tepelný odpor v daném úseku [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$R_{si}$  odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$R_{se}$  odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

Po dosazení hodnot do vztahu (9.11) bude stanovena Horní mez při prostupu tepla  $R'_T$ .

Pro Dolní mez tepelného odporu při prostupu tepla úseky rovnoběžnými se směrem tepelného toku  $R''_T \perp \phi$  se použije:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{het} + R_n + R_{se} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9.14)$$

$R_{het}$  celkový tepelný odpor heterogenní vrstvy konstrukce  $[\text{W/m}^2\text{K}]$

$R_{si}$  odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $[\text{m}^2\text{K/W}]$

$R_{se}$  odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce  $[\text{m}^2\text{K/W}]$

Pro výpočet tepelného odporu nehomogenní vrstvy bude zvolen následující postup dle Chmúrného<sup>42</sup>. Nejprve ze známých hodnot bude vyjádřen součinitel tepelné vodivosti

$$\lambda_{het} = \lambda_a \cdot f_a + \lambda_b \cdot f_b + \dots + \lambda_n \cdot f_n \quad [\text{W/mK}] \quad (9.15)$$

$\lambda_{het}$  součinitel tepelné vodivosti heterogenní vrstvy konstrukce  $[\text{W/mK}]$

$\lambda_{a-n}$  součinitel prostupu tepla materiálu  $[\text{W/mK}]$

$f_{a-n}$  poměrné plochy výseků  $[-]$

Zjištěná hodnota součinitele tepelné vodivosti bude následně dosazena do základního vztahu (9.16), ze kterého bude vyjádřena hodnota tepelného odporu heterogenní vrstvy:

$$R_{het} = \frac{d_{het}}{\lambda_{het}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9.16)$$

$R_{het}$  celkový tepelný odpor heterogenní vrstvy konstrukce  $[\text{W/m}^2\text{K}]$

$d_{het}$  tloušťka heterogenní vrstvy konstrukce  $[\text{m}]$

Po dosazení hodnot do vztahu (9.14) bude stanovena Dolní mez při prostupu tepla  $R''_T$ .

<sup>42</sup> CHMÚRNÝ, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-889-0527-3

Po dosazení hodnot Horní a Dolní meze tepelných odporů  $R'_T$  a  $R''_T$  do vztahu (9.9) bude zjištěna přibližná hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  heterogenních konstrukcí. Pro určení chyby výpočtu  $U$  zavádí ČSN EN ISO 6946 výpočet maximální relativní chyby  $e$  [%]

$$e = 100 \cdot \frac{R'_T - R''_T}{2 \cdot R_T} \cdot U \quad [\%] \quad (9.17)$$

$e$  maximální relativní chyba výpočtu ze vztahu (9.9) [%]

$R'_T$  Horní mez tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$R''_T$  Dolní mez tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

$R_T$  celkový tepelný odpor heterogenní konstrukce [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] získaný aritmetickým průměrem hodnot Horní meze a Dolní meze tepelného odporu:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$U$  přibližná hodnota součinitele prostupu tepla daná vztahem (9.9) [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

Při použití postupu dle (9.17) je doporučena relativní chyba výpočtu max. 10%. Pokud tato podmínka splněna není, je doporučeno využití jiných postupů<sup>43</sup>.

$$e \leq e_{\max}$$

$$e \leq 10\%$$

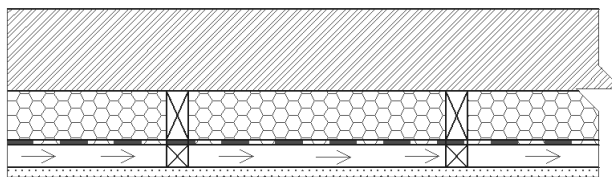
### 9.2.3. VZDUCHOVÉ MEZERY

Specifickým materiálem, který se v souladu s moderními trendy stále častěji objevuje v současných systémech obvodových konstrukcí, je vzduch. Vzduch prokazuje dobré izolační vlastnosti na základě hodnot součinitele tepelné vodivosti. V konstrukcích nosných i nenosných stěn ho nalezneme např. ve formě vzduchových mezer (mezery a dutiny), menších dutin prefabrikovaných tvárnic a pórech materiálů. I navržené skladby obvodových roubených konstrukcí obsahují vzduchové mezery. Ty lze dále rozdělit na vzduchové mezery:

- Nevětrané s délkou a šířkou větší než desetinásobek jejich tloušťky

<sup>43</sup> CHMÚRNÝ, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-889-0527-3

- Větrané (slabě větrané nebo silně větrané)
- Malé nebo členěné nevětrané



Obrázek 11 – Schéma heterogenní konstrukce se silně větranou vzduchovou mezerou  
Zdroj: [vlastní zpracování]

Řešená nevětraná vzduchová mezera je navržena pro posuzovanou skladbu č. 4 v šířce 0,04 m. Pro výpočet tepelného odporu vzduchové mezery  $R_g$  [W/m<sup>2</sup>K] bude použita metodika vyplývající z ČSN EN ISO 6946

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (9.18)$$

$h_a$  součinitel přestupu tepla vedením a prouděním [W/m<sup>2</sup>K]

$h_r$  součinitel přestupu tepla sáláním [W/m<sup>2</sup>K]

Součinitel přestupu tepla vedením a prouděním  $h_a$  je pro jednotlivé směry tepelného toku udáván tabulkou B. 1. části 5 ČSN EN ISO 6946. Vzhledem k tomu, že se jedná o vodorovný směr tepelného toku, bude tato veličina posouzena dle Chmúrného<sup>44</sup> a dále užívána její vyšší hodnota

$$h_a = (\max 1,25; 0,025 / d) \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (9.19)$$

Součinitel přestupu tepla sáláním  $h_r$  je určen vztahem

$$h_r = E \cdot h_{ro} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (9.20)$$

$E$  součinitel vzájemného sálání [-]

$h_{ro}$  součinitel přestupu tepla sáláním černého tělesa [W/m<sup>2</sup>K]

Součinitel vzájemného sálání získáváme ze vztahu:

<sup>44</sup> CHMÚRNÝ, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-889-0527-3

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [-] \quad (9.21)$$

$\varepsilon_{1-2}$  poloprostorová (hemisférická) emisivita povrchu

Kdy je pro poloprostorové emisivity povrchů vymezení vzduchovou mezerou  $\varepsilon_1$  a  $\varepsilon_2$  stanoveno  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$ . Po dosazení do vztahu (9.21) je definována hodnota pro řešené obvodové konstrukce  $E$  [-]

$$E = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1} = 0,818$$

Následně bude zjištěna hodnota  $h_{ro}$  [W/m<sup>2</sup>K] ze stavu

$$h_{ro} = 4 \cdot C_\varepsilon \cdot T_m^3 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9.22)$$

$C_\varepsilon$  hodnota Stefan-Bolzmanovy konstanty [Wm<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

$$C_\varepsilon = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

$T_m$  průměrná termodynamická teplota povrchu a jeho okolí [K]

Tato hodnota je odvozena od tabulkových hodnot  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$ , které jsou stanoveny pro teplotu 10°C. Z toho důvodu  $T_m = 283\text{K}$

Dosazením do základního vztahu (9.8) bude získána hodnota tepelného odporu vrstvy tvořené vzduchovou mezerou  $R_g$  [W/m<sup>2</sup>K]. Pro získání výsledného tepelného odporu  $R$  [W/m<sup>2</sup>K] lze hodnotu  $R_g$  využít následovně

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + R_g + \dots + \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (9.23)$$

anebo také pro

$$\lambda_{ekv} = \frac{d}{R_g} \quad (9.24)$$

$\lambda_{ekv}$  součinitel tepelné vodivosti vzduchové mezery [W/mK]

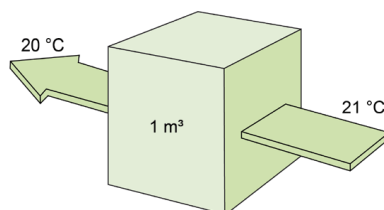
$d$  tloušťka vrstvy vzduchové mezery [m]

$R_g$  tepelný odpor vzduchové mezery [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].

Silně větraná vzduchová mezera byla navržena ve skladbě obvodové konstrukce č. 3 a č. 4 formou odvětrávaného obkladu ze strany exteriéru, který z této vnější strany plní úlohu imitace roubené stěny. Tepelný odpor stavební konstrukce silně větraných vzduchových vrstev se určí tak, že se zanedbá její odpor a odpor všech ostatních vrstev mezi vzduchovou vrstvou a vnějším prostředím. Tepelný odpor se tak určí z vrstev od vnitřního povrchu po silně větranou vzduchovou mezeru.

### 9.3. SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA – U

Množství tepla, které prostoupí jednotlivými vrstvami konstrukce, plochou  $1\text{m}^2$  při rozdílu teplot venkovního a vnitřního povrchu konstrukce o  $1\text{K}$ , je označováno jako součinitel prostupu tepla  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] (viz Obrázek 12). Je hodnocen dvěma způsoby. Pro jednotlivé konstrukce (stěny, střechy a podlahy) nebo pro celou budovu pomocí průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]<sup>45</sup>. Může udávat deklarované vlastnosti stavební konstrukce nebo materiálu.



Obrázek 12 - Grafické znázornění součinitele prostupu tepla  
Zdroj:[Paroc Group, a.s., SWEDEN]<sup>46</sup>

Pro posouzení návrhu uvažovaných skladeb obvodové konstrukce bude hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  vypočítaná na základě výše uvedené metodiky a posouzena s níže uvedenými hodnotami. Pro vnější obvodové stěny jsou normové hodnoty stanoveny Tab. 4.

<sup>45</sup> TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

<sup>46</sup> *Energy Efficiency: Envelope: Heat, air tightness and moisture* [online]. Skövde: Paroc Group, 2016 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://www.paroc.se/>

**Tab. 4 – Normové hodnoty U pro vnější stěnu**[Zdroj: tabulka č. 3 ČSN 73 0540-2<sup>47</sup>]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 <sup>1)</sup>	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12

Uvedená Tab. 4 charakterizuje interval doporučených hodnot součinitele prostupu tepla pro vnější stěnu  $U_{pas,20} = 0,12 - 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$  po pasivní budovy, ale neudává tuto hodnotu pro NE. Proto pro účely této práce bude NE posuzován pro doporučené hodnoty uvedené v Tab. 4 pro zvolený interval  $U_{rec,20} = 0,18 - 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Tato hodnota pro NE se však liší s hodnotami udávanými dostupnou literaturou i samotnými normotvárci, kteří běžně uvádí, že hodnotou pro NE jsou hodnoty požadované. Absenci hodnot součinitele prostupu tepla  $U$ , ale autor práce vnímá jako prostor pro volné uvážení.

Obecně se dá říci, že požadované hodnoty  $U_{N,20}$  mohou splňovat jakékoliv budovy (bez požadavku na nízkoenergetické standardy), tak jako hodnoty doporučené, neboť není nikde klasifikováno, co je těžkou a co lehkou vnější stěnou. Nedefinování hodnoty  $U$  pro NE tak vyvolává otázku jeho skutečné hodnoty. Jediným pevně stanoveným údajem pro NE je měrná potřeba tepla na vytápění, která nesmí přesáhnout hodnotu  $e_A = 50 \text{ kWh/m}^2 \text{ h}$ .

Výpočet hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  bude proveden pro jednotlivé skladby obvodových konstrukcí použitím výše definované metodiky výpočtu. V případech, kdy hodnoty  $U$  jednotlivých konstrukcí nevyhoví mezním hodnotám pro NE

$$U \leq U_{rec,20} \rightarrow U \leq 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (9.25)$$

a pro PA

$$U \leq U_{pas,20} \rightarrow U \leq 0,18 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (9.26)$$

<sup>47</sup> ČSN 73 0540 - 2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Změna Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

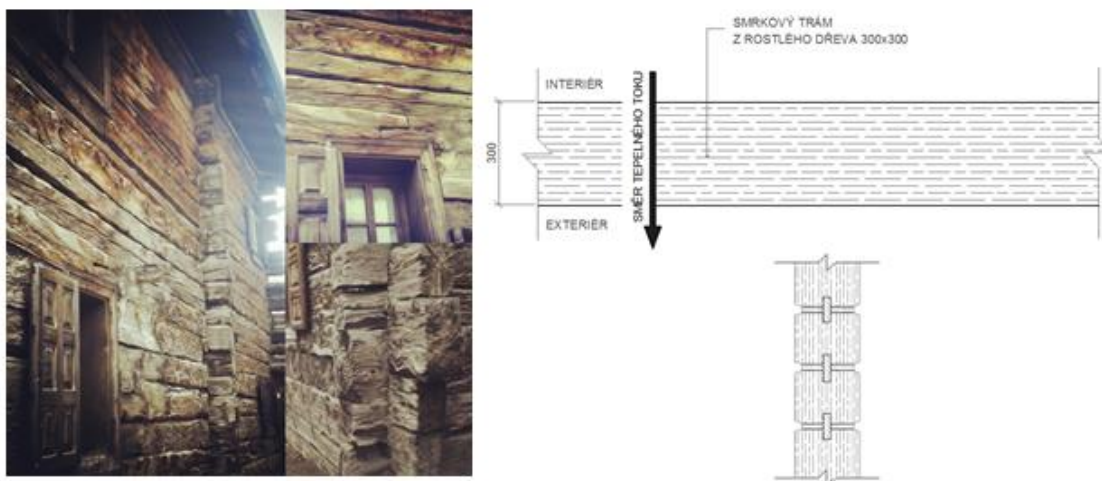


Pro zefektivnění výpočtů byly jednotlivé výše uvedené vztahy zapracovány do tabulkového procesoru MS Excel. Hodnoty uvedené v tabulkách níže tak odpovídají uvedené metodice.

## 10. SKLADBA Č. 1 - NÁVRH OBVODOVÉ ROUBENÉ KONSTRUKCE Z ROSTLÉHO DŘEVA V NE A PA

První návrh obvodové konstrukce se zabývá tradiční masivní roubenou stěnou. Její skladba je odvozena od tradičního roubeného systému, který byl využíván zejména v horských a podhorských oblastech. Navržená stěna však bude posuzována v okrajových podmínkách (pro 1. teplotní oblast - Chrudim). Tradiční uspořádání roubené stěny ovlivnilo i materiálové provedení návrhu. Konstrukce řeší obvodovou stěnu ze smrkových trámů o průřezu 0,3 x 0,3 m, které jsou na sebe ve svislém směru ukládány podélně a proti borcení stěny zajištěny v celé své délce vloženým perem. Zjištěná hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  bude posuzována, zda vyhoví stanoveným požadavkům pro NE a PA.

V případě nevyhovující hodnoty  $U$  bude posuzovaná konstrukce optimalizována. Tím bude zjištěn požadavek na minimální šířku posuzované obvodové konstrukce v mezích hodnotách posuzovaných standardů.



Obrázek 13 – Roubená jednovrstvá obvodová konstrukce – reálný stav a návrh

Zdroj schéma: [vlastní zpracování]

Zdroj obrázek: [vlastní archiv]

Pro výsledky uvedené v Tab. 5, Tab. 6 a Tab. 7 byla použita metodika uvedená v kapitole 9 této práce v následujícím pořadí:

1. Výpočet tepelného odporu vrstvy  $R$  dle (9.6),
2. Výpočet tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla  $R_T$  dle (9.4) s dosazením hodnot dle (9.5),
3. Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  dle (9.3)

4. Posouzení hodnot dle vztahu (9.25)  $U \leq U_{rec,20}$
5. Posouzení hodnot dle vztahu (9.26)  $U \leq U_{pas,20}$
6. Optimalizování konstrukce opakováním výpočtu.

**Tab. 5 - Posouzení navržené roubené homogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE**  
Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI						
Teplovní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13 °C
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0 K
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.:	$R_{si}$ =	0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.:	$R_{se}$ =	0,04 $m^2K/W$
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R		
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]		
EXTERIÉR						
1	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667		
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor:		$R_T$ =	1,837	$m^2K/W$	Souč. prostupu tepla:	$U$ = 0,544 $W/m^2K$
Mezní hodnota $U_{rec,20}$		$U_{rec,20}$ =	0,250	$m^2K/W$	<b>NEVYHOVUJE</b>	

Postupem výpočtu bylo zjištěno, že navržená obvodová konstrukce v šířce 0,3 m nevyhoví standardům NE. Opakováním výpočtu byla obvodová stěna optimalizována zvětšováním její šířky o 10 cm (viz příloha 1). Tím bylo docíleno minimální šířky obvodové konstrukce při zachování materiálových charakteristik. Navržená roubená stěna vyhoví v šířce 0,7 m pro hodnoty NE dle provedeného výpočtu v Tab. 6.

**Tab. 6 – Posouzení optimalizované roubené homogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE**  
Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI						
Teplovní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13 °C
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0 K
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.:	$R_{si}$ =	0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.:	$R_{se}$ =	0,04 $m^2K/W$
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R		
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]		
EXTERIÉR						
1	Smrkový trám	0,700	0,180	3,889		
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor:		$R_T$ =	4,059	$m^2K/W$	Souč. prostupu tepla:	$U$ = 0,246 $W/m^2K$
Mezní hodnota $U_{rec,20}$		$U_{rec,20}$ =	0,250	$m^2K/W$	<b>VYHOVUJE</b>	

V šířce vyhovující pro NE však navržená roubená stěna nevyhoví požadavkům pro PA. Dalším rozšířením konstrukce způsobem zvětšování její šířky (viz Příloha 2) bylo zjištěno, že předmětná skladba obvodové roubené konstrukce při zachování materiálových charakteristik vyhovuje, v šířce 0,98 m pro hodnoty PA, dle výpočtu v Tab. 6.

Tradiční roubená obvodová stěna nevyhovuje současným úsporně - energetickým kritériím. Optimalizované tloušťky obvodových stěn dosahují enormních hodnot, pro které je využití rostlého dřeva nereálné z hlediska dostupnosti suroviny a v případech využití lepených profilů finančně nenávratné. To je v rozporu s hlavními myšlenkami konceptu snižování energetické náročnosti a hospodárnosti budov.

Tab. 7 – Posouzení optimalizované roubené homogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty PA  
Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI					
Teplovní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	240	m n.m.    Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13 °C
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C    Přirážka: $\Delta a_i$ =	<b>0</b> K
				Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: $R_{si}$ =	<b>0,13</b>	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.: $R_{se}$ =	<b>0,04</b>	$m^2K/W$
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R	
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]	
EXTERIÉR					
1	Smrkový trám	0,980	0,180	5,444	
INTERIÉR					
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =	<b>5,614</b>	$m^2K/W$	Souč. prostupu tepla:	<b>U= 0,178</b>	$W/m^2K$
Mezní hodnota $U_{pas,20}$	$U_{pas,20}$ =	<b>0,180</b>	$m^2K/W$	<b>VYHOVUJE</b>	

Za účelem snížení tepelných ztrát bude k základní šířce smrkového trámu přidána vrstva účinné tepelné izolace a bude provedeno nové posouzení.

## 11. SKLADBA Č. 2 - NÁVRH OBVODOVÉ ROUBENÉ KONSTRUKCE S DVOJITÝM ROUBENÍM A VLOŽENÍM IZOLACE V NE A PA

Ačkoliv má rostlé dřevo celkem nízký součinitel teplotní vodivosti, jeho užití v homogenní konstrukci není tím nejlepším a nejvýhodnějším řešením obvodové stěny. Skladba č. 2 reaguje na výsledky z předchozího výpočtu, a to především na potřebu subtilnější a více úsporné obvodové konstrukce vyhovující NE a Pa standardům. Ač dražším tak výhodnějším se zdá použití lamelového dřeva. Návrh uvažuje difuzně otevřenou obvodovou roubenou konstrukci konstrukčně řešenou dvojitým roubením z BSH hranolů. Pro BSH hranoly výrobce uvádí charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti tepla  $\lambda_k = 0,150$  [W/mK]<sup>48</sup>. Tato hodnota je shodná s hodnotami uvedenými v normě ČSN 73 0540-3<sup>49</sup> pro dřevo rostlé měkké ve směru kolmo k vláknům. Proto bude pro výpočet použita stejná návrhová hodnota  $\lambda_u = 0,180$  [W/mK] jako u rostlého dřeva. Lamelové dřevo výrazně ovlivňuje provedení stavby jako celku. Eliminuje sesedání stavby a nekontrolovatelné chování mokrého dřeva (např. kroucení). Jeho výhody a další charakteristiky byly blíže popsány v oddíle 5.2.2 této práce. Prostorová tuhost navržené konstrukce je zajištěna tesařskými spoji (zámky) v rozích (viz Obrázek 14).

Aby mohla být tloušťka navržené konstrukce zmenšena a nedosahovala tak výrazných rozměrů jako optimalizovaná skladba č. 1 bude použito souvislé vrstvy zateplení. Návrh pracuje s použitím izolační vrstvy z ovčí vlny. Ta je materiálem splňujícím širokou škálu kritérií. Je obnovitelná, ekologická, trvale pružná, nezávadná a požárně odolná. Její použití ani její zpracování nemá dopad na životní prostředí a vznik CO<sub>2</sub> jako jiné běžně dostupné průmyslové izolace (např. polystyren, skelná vata apod.) protože se jedná o přírodní materiál. Jako izolační materiál je ovčí vlna schopná přijmout do své struktury vzdušnou vlhkost až do jedné třetiny své hmotnosti (bez narušení tepelně izolačních vlastností) a opět jí ovzduší vrátit<sup>50</sup>. Tím může přirozeně regulovat klima v místnosti a aktivně čistit vzduch místnosti od některých škodlivin. Obecně má velmi

---

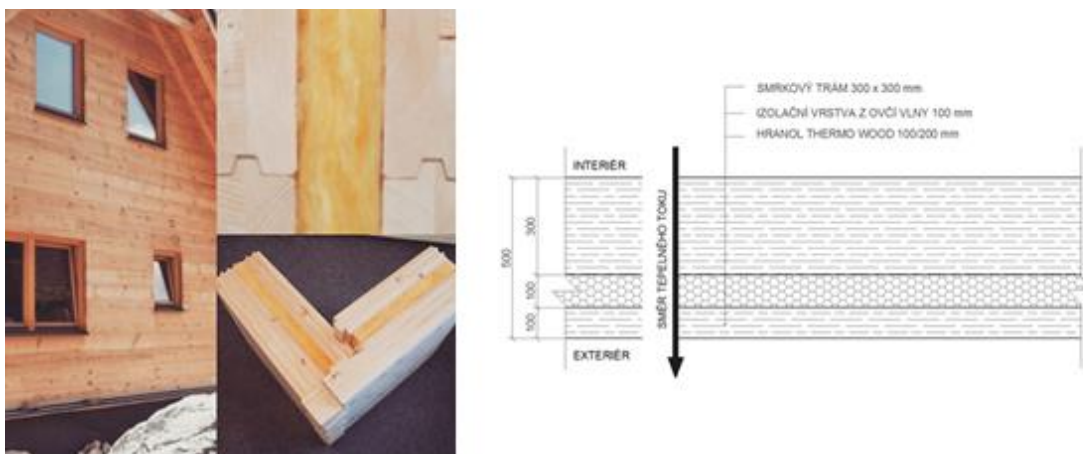
<sup>48</sup> Brettschichtholz: Brettschichtholz (BSH -Holz). *Eigenschaften allgemein: Weitere Kenn- und Rechenwerte* [online]. Wuppertal: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2012 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.brettschichtholz.de/>

<sup>49</sup> ČSN 73 0540 - 3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. 1.11.2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

<sup>50</sup> SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.

dobré požární vlastnosti (zápalná hodnota až 560 °C) a je samozhášivá. Pro stavbu je transponována do formy tepelněizolační plsti s hodnotou  $\lambda = 0,038 - 0,050$  [W/mK]<sup>51</sup>, která je připevňována na desky nebo rošt lepením hřebíky nebo sponkováním. Následný výpočet zahrnuje vliv prostupujících hmoždinek a kotev v konstrukci i vliv tepelných mostů. Nevýhodami tohoto přírodního materiálu jsou nízká odolnost proti napadení biotickými škůdci, dostupnost ovčí vlny a cena.

Návrh je proveden pro 1. teplotní oblast- Ústí nad Labem.



Obrázek 14 – Skladba č.2 Homogenní vícevrstvá konstrukce s vloženou přírodní izolací

Zdroj obrázek: [OK Pyrus, s.r.o.<sup>52</sup>]

Zdroj schéma: [vlastní zpracování]

Pro výsledky uvedené v Tab. 8, Tab. 9 a Tab. 10 byla použita metodika uvedená v kapitole 9 této práce v následujícím pořadí:

1. Výpočet tepelného odporu vrstvy  $R$  dle (9.7),
2. Výpočet tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla  $R_T$  dle (9.4) s dosazením hodnot dle (9.5),
3. Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  dle (9.3),
4. Posouzení hodnot dle vztahu (9.25)  $U \leq U_{rec,20}$
5. Posouzení hodnot dle vztahu (9.26)  $U \leq U_{pas,20}$
6. Optimalizování konstrukce opakováním výpočtu

<sup>51</sup> Dle hodnot uvedených zde: MYNÁŘ, Josef, Jiří TESLÍK, Jiří PROVÁZEK, Martin GLOS, Petr VACEK a Zoja SKOPALOVÁ. *Materiály pro dřevostavby: vzdělávací materiály* [online]. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, 2015 [cit. 2016-04-09]. ISBN 978-80-906014-0-6.

<sup>52</sup> *Sruby OK PYRUS s.r.o.: Dřevostavby, sruby, roubenky* [online]. Brno: OK PYRUS s.r.o., 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.okpyrus.cz/>

**Tab. 8 – Posouzení navržené roubené vícevrstvé homogenní konstrukce s vloženou izolací pro doporučené mezní hodnoty NE**

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ						
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	145	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: a <sub>i</sub> =	0 K
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =		0,04 m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R	
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR						
interiér ← - ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556	
	2	Ovčí vlna	0,100	0,039	2,564	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	
	4					
					ΣR	4,786
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: R <sub>T</sub> =		4,956	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,202 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W	<b>VYHOVUJE</b>	

Po přidání tepelně izolační vrstvy z ovčí vlny a pohledových hranolů v uvedených rozměrech dle Tab. 8 vykazuje navržená konstrukce příznivé hodnoty součinitele prostupu tepla U a pro navržený NE standard vyhoví v celkové navržené šířce konstrukce 0,5 m. Tak aby byl ve skladbě stěny zachován co nejvyšší podíl dřevní hmoty, byla tato obvodová konstrukce optimalizována ve smyslu odebrání šířky izolační vrstvy po 1 cm (viz Příloha 3). Navržená konstrukce vyhoví pro NE v šířce 0,47 m dle Tab. 9.

**Tab. 9 – Posouzení optimalizované roubené vícevrstvé homogenní konstrukce s vloženou izolací pro doporučené mezní hodnoty NE**

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ						
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	145	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: a <sub>i</sub> =	0 K
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =		0,04 m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R	
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR						
interiér ← - ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556	
	2	Ovčí vlna	0,060	0,039	1,538	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	
	4					
					ΣR	3,761
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: R <sub>T</sub> =		3,931	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,254 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W	<b>NEVYHOVUJE</b>	

Opačným způsobem optimalizace, přidáváním 1 cm izolační vrstvy byla výpočtem (viz Příloha 4) zjištěna minimální celková šířka skladby posuzované roubené stěny pro PA. Navržená obvodová roubená konstrukce vyhoví nárokům PA v šířce 0,53 m.

**Tab. 10 - Posouzení optimalizované roubené vícevrstvé homogenní konstrukce s vloženou izolací pro doporučené mezní hodnoty PA**  
Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ					
Teplotní oblast ČR: <b>1</b>		Nadmořská výška: <b>145</b>	m n.m.	Návrhová tep.θe: <b>-13</b> °C	
Druh místnosti: <b>Obytná místnost</b>		<b>20,0</b>	°C	Přirážka: a <sub>i</sub> = <b>0</b> K	
				Návrhová tep.θi: <b>20,0</b> °C	
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> = <b>0,13</b>		m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> = <b>0,04</b> m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR					
interiér ← ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556
	2	Ovčí vlna	0,130	0,039	3,333
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667
	4				
			ΣR	5,556	
INTERIÉR					
Výsledný tepelný odpor: R <sub>T</sub> = <b>5,726</b>		m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U= <b>0,175</b> W/m <sup>2</sup> K	
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub> U <sub>pas,20</sub> = <b>0,180</b>		m <sup>2</sup> K/W		<b>VYHOVUJE</b>	



## 12. SKLADBA Č. 3 – NÁVRH HETEROGENNÍ OBVODOVÉ ROUBENÉ KONSTRUKCE SE SILNĚ VĚTRANOU VZDUCHOVOU MEZEROU V NE A PA

Návrh skladby č. 2 naplnil požadavky hodnot NE na zmenšení celkové šířky obvodové stěny. Kladné vlastnosti vykazuje i pro PA za předpokladu zvětšení izolační vrstvy o cca 25 cm. Další návrh se zabývá heterogenní konstrukcí s přidáním žebrování pro instalaci izolační vrstvy, difúzní fólie a provětrávaného palubkového obkladu.

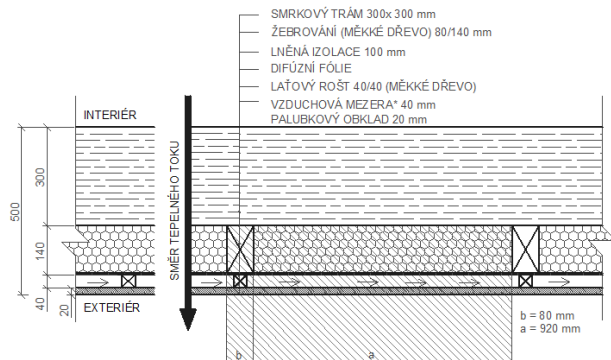
Nosným prvkem je opět BSH hranol charakterizovaný v oddílu 5.2.2 této práce. Nově je přidáno žebrování trámů z měkkého dřeva o průřezu 80/140. Je třeba zohlednit, že každý laťový rošt nebo žebrování zvyšuje tepelné vazby mezi jednotlivými vrstvami, a proto pokud je to možné, měli by být v konstrukci umístěovány v co možná největší osově vzdálenosti. Mezi tyto trámy je navrženo vložení izolační vrstvy ze lnu.

Lněná izolace je dalším organickým materiálem používaným v souvislosti se zdravým a ekologickým bydlením. Pro stavbu je dodávána ve formě rohoží z rostlinných vláken lnu s hodnotou  $\lambda = 0,035 - 0,045$  [W/mK]<sup>53</sup>. Oproti ovčí vlně je příznivější svou cenou a schopností odolávat biotickým činitelům. Na vrstvu lněných rohoží je navržena vrstva difúzní fólie. Při následujícím výpočtu, je v souladu se zněním ČSN EN ISO 6946<sup>54</sup> existence silně větrané vzduchové mezery a fasádního systému z palubek tepelně modifikovaného dřeva zanedbána. Obklad vnější strany obvodové konstrukce je imituje klasické roubení. Uvažovaná obvodová konstrukce je navržena pro 1. teplotní oblast Praha.

---

<sup>53</sup> Dle hodnot uvedených zde: MYNÁŘ, Josef, Jiří TESLÍK, Jiří PROVÁZEK, Martin GLOS, Petr VACEK a Zoja SKOPALOVÁ. *Materiály pro dřevostavby* [online]. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, 2015 [cit. 2016-04-09]. ISBN 978-80-906014-0-6.

<sup>54</sup> ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. 1.12.2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.



**Obrázek 15 – Skladba č.3 Heterogenní konstrukce se silně větranou vzduchovou mezerou**

*Zdroj obrázek: [Moravia Wood Trading, s.r.o.<sup>55</sup>]*

*Zdroj schéma: [vlastní zpracování]*

Pro výsledky uvedené v Tab. 11, Tab. 12 a Tab. 13 byla použita metodika uvedená v kapitole 9 této práce v následujícím pořadí:

1. Výpočet poměrných ploch jednotlivých výseků  $f_{a-b}$  dle (9.12),
2. Výpočet tepelných odporů pro jednotlivé výseky  $R_{T_{a-Tb}}$  dle (9.13),
3. Výpočet Horní meze tepelného odporu  $R'_T$  dle (9.11),
4. Výpočet součinitele tepelné vodivosti heterogenní vrstvy  $\lambda_{het}$  dle (9.15),
5. Výpočet celkového tepelného odporu heterogenní vrstvy  $R_{het}$  dle (9.16),
6. Výpočet Dolní meze tepelného odporu  $R''_T$  dle (9.11),
7. Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  dle (9.9),
8. Posouzení hodnot dle (9.25)  $U \leq U_{rec,20}$
9. Posouzení hodnot dle (9.26)  $U \leq U_{pas,20}$
10. Optimalizování konstrukce opakováním výpočtu.
11. Výpočet maximální relativní chyby  $e$  pro vyhovující konstrukce dle (9.17)

<sup>55</sup> *Dřevostavby Moravia Wood Trading s.r.o.: Popis konstrukce roubenek* [online]. Šenov u Ostravy: Moravia Wood Trading s.r.o., 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.moraviawood.cz/>

Tab. 11 - Posouzení navržené roubené heterogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér ← ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2a	Lněná izolace	0,140	0,039	3,590	3,590	
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,140	0,180	0,778		0,778
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
	4						
	INTERIÉR				ΣR <sub>x</sub> =	5,262	2,450
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,003	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		2,673	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,261 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W		NEVYHOVUJE	

Návrh v celkové šířce konstrukce 0,5 m (včetně silně větrané vzduchové mezery a obkladu ve výpočtu zanedbaných) nevyhoví kritériím pro NE. Postupným rozšiřováním konstrukce přidáváním 2 cm v místě izolační vrstvy (dle přílohy 5) byla stanovena minimální celková šířka konstrukce vyhovující pro NE v 0,52 m dle Tab. 12.

Tab. 12 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty NE

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér ← ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2a	Lněná izolace	0,160	0,039	4,103	4,103	
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,160	0,180	0,889		0,889
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
	4						
	INTERIÉR				ΣR <sub>x</sub> =	5,775	2,562
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,434	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		2,791	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,243 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W		VYHOVUJE	

Pro splnění nároků na PA však navržená konstrukce vykazuje nepříznivé hodnoty na šířku vrstvy tepelně izolačního materiálu. Dalším rozšiřováním vrstvy izolace o 2 cm (viz příloha 6) je požadavek pasivního standardu splněn až pro celkovou šířku stěny 0,64 m dle Tab. 13.

**Tab. 13 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce pro doporučené mezní hodnoty PA**  
Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE						
Teplotní oblast ČR: <b>1</b>		Nadmořská výška: 189	m n.m.	Návrhová tep.θe: -13	°C	
Druh místnosti: <b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> = 0	K	
				Návrhová tep.θi: 20,0 °C		
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> = 0,13		m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> = 0,04		m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R <sub>j</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>a</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>b</sub> [m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR						
interiér <- ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006
	2a	Lněná izolace	0,280	0,039	7,179	7,179
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,280	0,180	1,556	1,556
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667
	4					
INTERIÉR				ΣR <sub>x</sub> =	8,852	3,228
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		7,967	m <sup>2</sup> K/W			
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		3,502	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U= 0,174 W/m <sup>2</sup> K	
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> = 0,180	m <sup>2</sup> K/W			
						<b>VYHOVUJE</b>

Výpočet maximální relativní chyby dle (9.17) pro vyhovující NE:

$$R_r = \frac{5,434 + 2,791}{2} = 4,1125 \doteq 4,113 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$e = 100 \cdot \frac{5,434 - 2,791}{2 \cdot 4,113} \cdot 0,243 = 7,807 \doteq 7,8 \%$$

$$e \leq 10\%$$

$$7,8 \leq 10\%$$

Výpočet maximální relativní chyby dle (9.17) pro vyhovující PA:

$$R_r = \frac{7,967 + 3,502}{2} = 5,7345 \doteq 5,735 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$e = 100 \cdot \frac{7,967 - 3,502}{2 \cdot 5,735} \cdot 0,174 = 6,773 \doteq 6,7 \%$$

$$e \leq 10\%$$

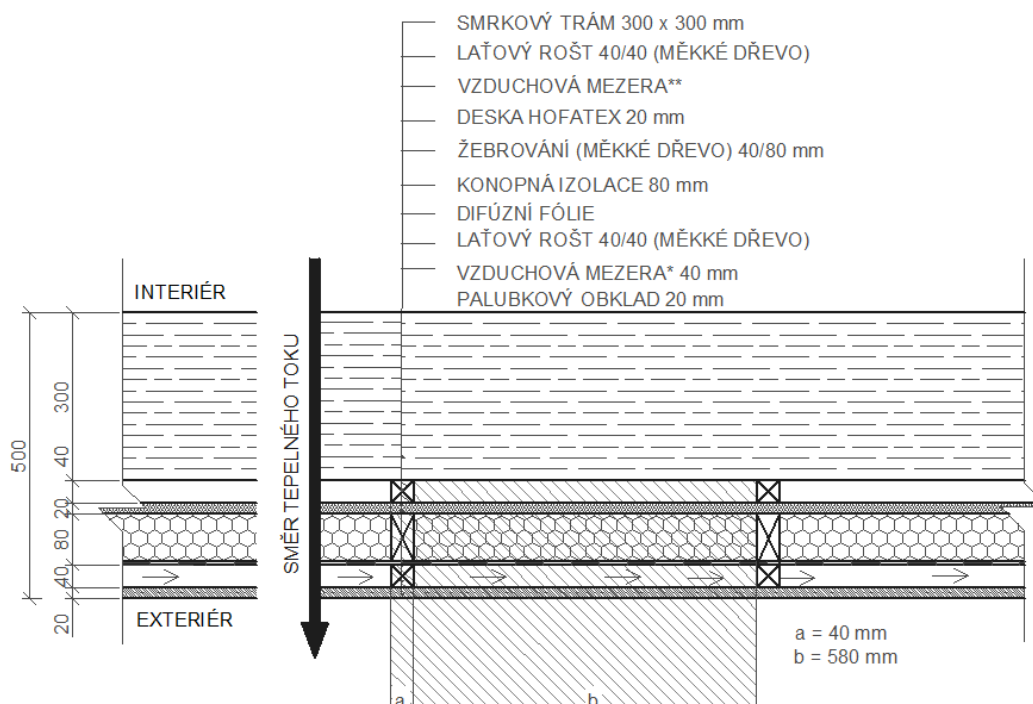
$$6,7 \leq 10\%$$

### 13. SKLADBA Č. 4 – NÁVRH HETEROGENNÍ OBVODOVÉ ROUBENÉ KONSTRUKCE S NEVĚTRANOU A SILNĚ VĚTRANOU VZDUCHOVOU MEZEROU V NE A PA

Poslední návrh uvažuje heterogenní konstrukci s využitím nevětrané vzduchové mezery. Ta v konstrukci plní funkci další tepelně-izolační vrstvy. V nevětrané vzduchové mezeře dochází k cirkulaci vzduchu vlivem rozdílných teplot povrchů, mezi kterými se pohybuje. Dochází tak k přestupu tepla mezi jednotlivými vrstvami konstrukce prouděním.

Skladba konstrukce je velice podobná skladbě č. 3 s přidáním nevětrané vzduchové mezery a dřevovláknité desky. Návrh skladby této obvodové byl zpracován na podkladě schéma obvodové roubené konstrukce jednoho z dodavatelů roubených staveb v České republice, které je dostupné z jeho internetových stránek.

Zvolením tohoto typu skladby chce autor práce ověřit, do jaké míry ovlivní zakomponování nevětrané vzduchové mezery končený součinitel prostupu tepla  $U$  dané obvodové stěny. Současně si je plně vědom, že měkká dřevovláknitá deska Hofatex nemůže být použita pro funkci nosné konstrukce ale jen výplňové (izolační).



Obrázek 16 – Schéma heterogenní konstrukce s nevětranou a silně větranou vzduchovou mezerou  
[Zdroj: vlastní zpracování]

Pro výsledky uvedené v Tab. 14, Tab. 15 a Tab. 16 byla použita metodika uvedená v kapitole 9 této práce, v následujícím pořadí:

1. Pro výpočet odporu vzduchové nevětrané mezery  $R_g$  do vztahu (9.18) musíme nejprve vyjádřit vztah (9.19)

$$h_a = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2. Nyní je třeba vyjádřit veličiny pro výslednou hodnotu  $h_r$  podle (9.21) a (9.22)

$$E = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1}$$

$$E = 0,818$$

$$h_{ro} = 4 \cdot 5,670^{10^{-8}} \cdot 283^3$$

$$h_{ro} = 5,140 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3. Dále dosadit hodnoty dle (9.20)

$$h_r = 0,818 \cdot 5,140$$

$$h_r = 4,204 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. Výpočet tepelného odporu vzduchové mezery  $R_g$  (9.18)

$$R_g = \frac{1}{1,25 \cdot 4,204}$$

$$R_g = 0,190 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5. Součinitel tepelné vodivosti dle (9.24)

$$\lambda_{ekv} = \frac{0,04}{0,190}$$

$$\lambda_{ekv} = 0,210 \text{ W/mK}$$

6. Výpočet poměrných ploch jednotlivých výseků  $f_{a-b}$  dle (9.12),
7. Výpočet tepelných odporů pro jednotlivé výseky  $R_{Ta-Tb}$  dle (9.13),
8. Výpočet Horní meze tepelného odporu  $R'_T$  dle (9.11),
9. Výpočet součinitele tepelné vodivosti heterogenní vrstvy  $\lambda_{het}$  dle (9.15),

10. Výpočet celkového tepelného odporu heterogenní vrstvy  $R_{het}$  dle (9.16),
11. Výpočet Dolní meze tepelného odporu  $R''_T$  dle (9.11),
12. Výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  dle (9.9),
13. Posouzení hodnot dle (9.25)  $U \leq U_{rec,20}$
14. Posouzení hodnot dle (9.26)  $U \leq U_{pas,20}$
15. Optimalizování konstrukce opakováním výpočtu.
16. Výpočet maximální relativní chyby  $e$  pro vyhovující konstrukce dle (9.17)

**Tab. 14 - Posouzení navržené roubené heterogenní konstrukce s nevětranou VM pro doporučené mezní hodnoty NE**

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU							
Teplotní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C	
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	<b>0</b> K	
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C	
Tepelný odpor - int.:	R <sub>si</sub> =	<b>0,13</b>	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:	R <sub>se</sub> =	<b>0,04</b> m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy	d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>	
		[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR							
interiér <- exteriér	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455
	3a	Konopná izolace	0,080	0,044	1,818		1,818
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,080	0,180	0,444	0,444	
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190
	4b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222	
5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667	
	INTERIÉR			ΣR <sub>x</sub> =	2,794	4,136	
Výsledný tepelný odpor:		R' <sub>T</sub> =	<b>4,879</b>	m <sup>2</sup> K/W			
Výsledný tepelný odpor:		R'' <sub>T</sub> =	<b>2,812</b>	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:	<b>U= 0,260 W/m<sup>2</sup>K</b>	
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	<b>0,250</b>	m <sup>2</sup> K/W	<b>NEVYHOVUJE</b>		

Počáteční návrh v celkové šířce konstrukce 0,5 m (včetně silně větrané vzduchové mezery a obkladu ve výpočtu zanedbaných) nevyhoví požadavkům NE. Postupným rozšiřováním izolační vrstvy o 2 cm (dle přílohy 7) byla stanovena minimální celková šířka konstrukce vyhovující pro NE v 0,52 m dle Tab. 15.

Oproti skladbě č. 3 je po rozšíření tepelně izolační vrstvy postupem dle přílohy 8, splnění nároků PA vykazováno již pro celkovou šířku stěny 0,6 m dle Tab. 16

**Tab. 15 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce s nevětranou VM pro doporučené mezní hodnoty NE**

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU							
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C	
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K	
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C	
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04 m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér ← - exterier	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455
	3a	Konopná izolace	0,100	0,044	2,273		2,273
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,100	0,180	0,556	0,556	
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190
4b	Laťování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222		
5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667	
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	2,905	4,590
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,076	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		3,423	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,235 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W		VYHOVUJE	

**Tab. 16 - Posouzení optimalizované roubené heterogenní konstrukce s nevětranou VM pro doporučené mezní hodnoty PA**

Zdroj: [vlastní zpracování]

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU							
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C	
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K	
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C	
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04 m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér ← - exterier	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455
	3a	Konopná izolace	0,180	0,044	4,091		4,091
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,180	0,180	1,000	1,000	
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190
4b	Laťování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222		
5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667	
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	3,349	6,409
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,852	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		5,868	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,171 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		VYHOVUJE	

Výpočet maximální relativní chyby dle (9.17) pro vyhovující NE:

$$R_T = \frac{5,076 + 3,423}{2} = 4,2495 \doteq 4,250 \text{ m}^2\text{K/W}$$



$$e = 100 \cdot \frac{5,076 - 3,423}{2 \cdot 4,250} \cdot 0,235 = 4,570 \doteq 4,6 \%$$

$$e \leq 10\%$$

$$4,6 \leq 10\%$$

Výpočet maximální relativní chyby dle (9.17) pro vyhovující PA:

$$R_T = \frac{5,852 + 5,868}{2} = 5,860 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$e = 100 \cdot \frac{5,868 - 5,852}{2 \cdot 5,860} \cdot 0,171 = 0,023 \doteq 0 \%$$

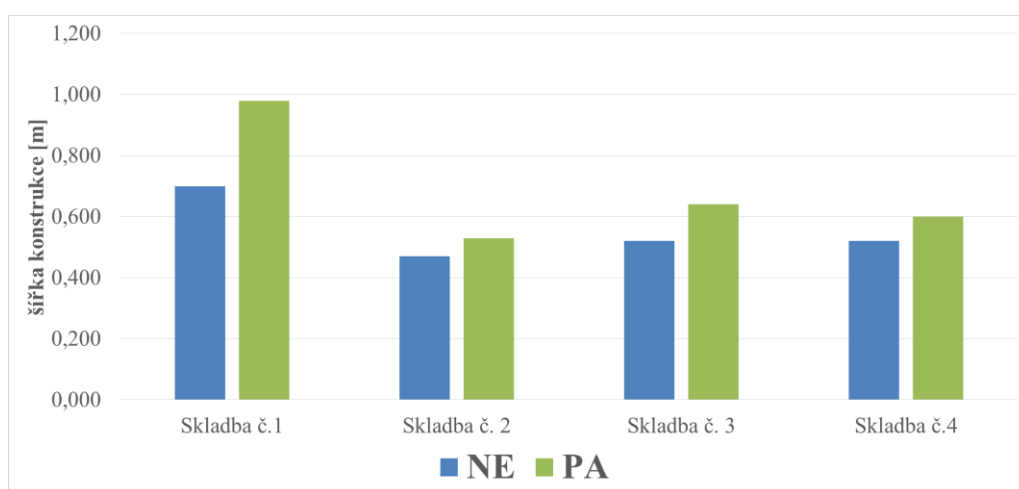
$$e \leq 10\%$$

$$0 \leq 10\%$$

## 14. VYHODNOCENÍ HODNOT $U$

### 14.1. SOUHRN VÝPOČTŮ DLE METOD Z ČSN

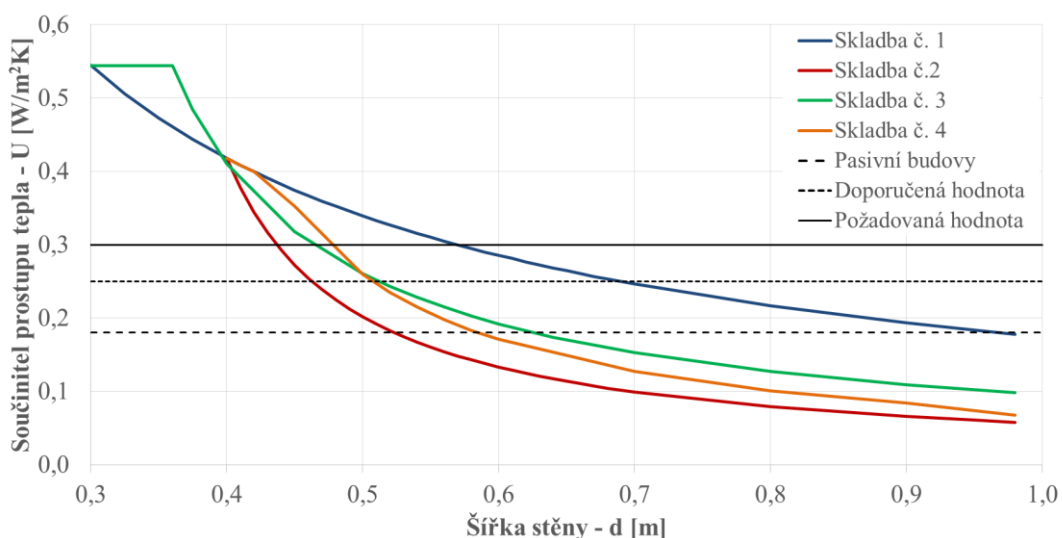
Každá z navržených konstrukcí byla podrobena výpočtu hodnoty  $U$  a následně optimalizována tak, aby vyhověla mezním hodnotám uvedeným v podkapitole 9.3. NE a PA. Na základě tohoto posouzení byla zjištěna minimální požadovaná šířka obvodových konstrukcí v uvedených standardech, které znázorňuje **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**



Graf 2 – Porovnání šířky konstrukce pro posuzované skladby konstrukcí  
[Zdroj: vlastní zpracování]

Dále byla na základě dopočítaných hodnot stanovena závislost součinitele prostupu tepla  $U$  na šířce konstrukce pro jednotlivé posuzované konstrukční skladby.

Jako nejefektivnější řešení se jeví použití konstrukce skladby č. 2, která v šířce 0,47 m splňuje standardy NE a v šířce 0,53 m pro PA (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



Graf 3 – Závislost součinitele prostupu tepla  $U$  na šířce posuzovaných obvodových stěn  
[Zdroj: vlastní zpracování]

## 14.2. OVĚŘENÍ VYPOČTENÝCH HODNOT $U$ POUŽITÍM MKP SOFTWARE

Pro ověření korektnosti zjednodušených výpočtových metod uvedených v ČSN pro posuzované skladby byly jejich úseky modelovány v konečně-prvkovém systému ANSYS 16.0 v prostředí Workbench. Úseky byly modelovány ve 3D prostoru v rozsahu, který dostatečně vystihuje jejich případnou heterogenitu.

Do modelů byl pro jednotlivé materiály zaveden součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  v návrhových hodnotách dle ČSN 73 0540-3 a na interiérové a exteriérové rozhraní bylo zavedeno vedení tepla s hodnotami odpovídajícími tepelným odporů při přestupu  $R_{si}$  a  $R_{se}$  a odpovídajících teplot ( $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  a  $\theta_e = -13^\circ\text{C}$ ).

Na základě vypočtených teplot ve všech uzlech vnitřního povrchu konstrukce byl určen průměrný tepelný odpor dle vztahu (9.27).

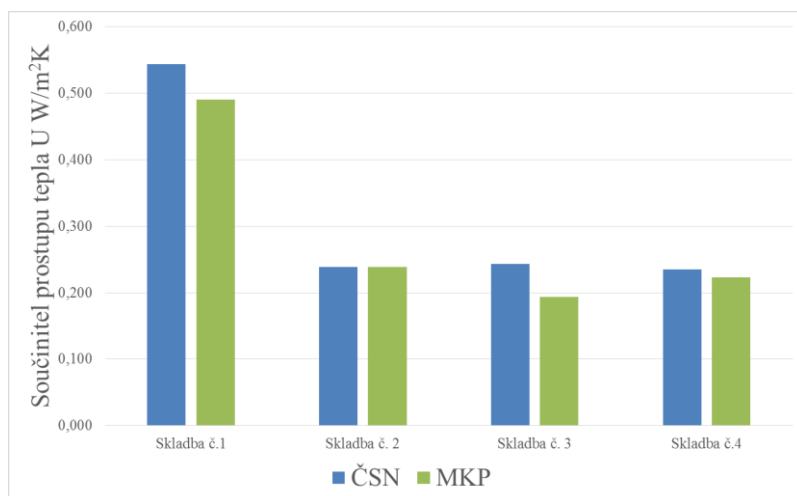
$$q = q_x \rightarrow \frac{\theta_i - \theta_x}{R_{si}} = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \rightarrow R_T = \left( \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_x} \right) R_{si} \quad (9.27)$$

$q$  hustota tepelného toku [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$q_x$  hustota tepelného toku v kterémkoliv místě konstrukce [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

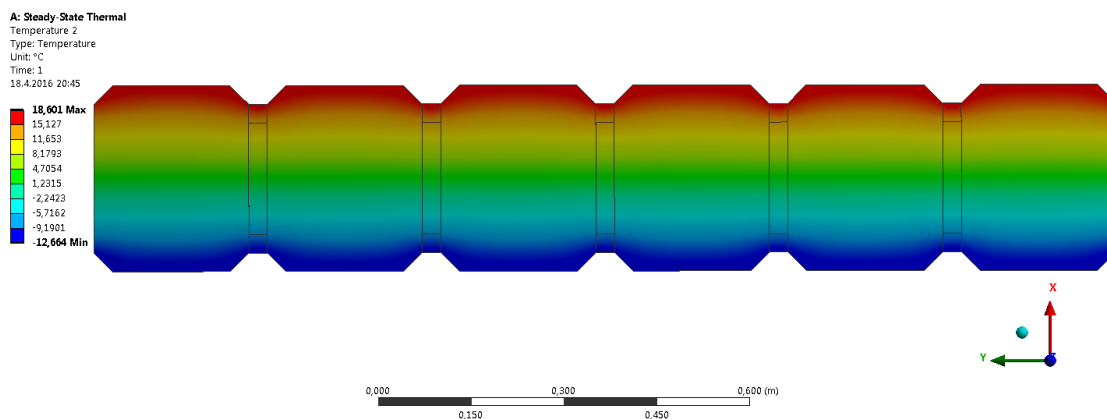
$\theta_x$  teplota na povrchu interiérové stěny [ $^\circ\text{C}$ ]

Na jeho základě byl vyhodnocen součinitel prostupu tepla  $U$ . Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**



**Graf 4 – Porovnání hodnot  $U$  metodou dle ČSN a MKP**  
[Zdroj: vlastní zpracování]

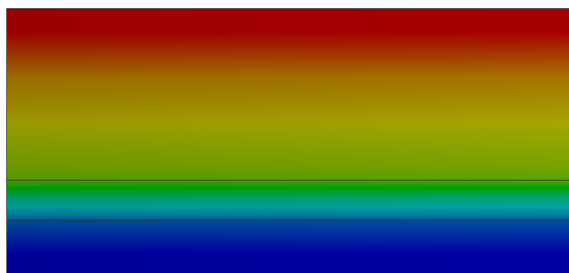
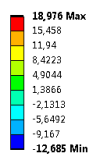
Pro skladbu 1 byl využit reálný geometrický model s konstrukční šířkou 300 mm<sup>56</sup>. Pro ostatní skladby byla modelována skladba vyhovující NE. Grafické znázornění rozložení teploty po šířce konstrukce získané ze SW ANSYS je možno vidět na Obrázek 17 – Obrázek 20.



**Obrázek 17 – Teplotní pole ve skladbě č. 1 – svislý řez**  
[Zdroj: vlastní zpracování]

<sup>56</sup> Roubená stěna z dřevěných smrkových trámů tl. 300 mm. *Www.tzb-info.cz* [online]. Zlín: Centrum stavebního inženýrství, a.s., 2015 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12481-roubena-stena-z-drevenych-smrkovych-tramu-tl-300-mm>

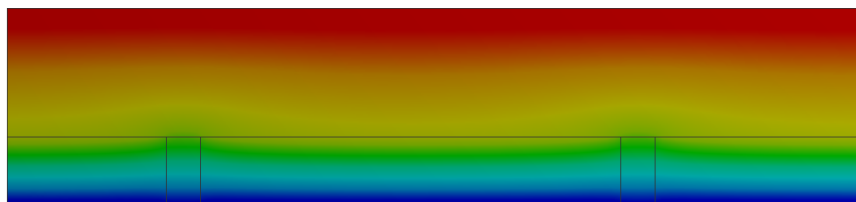
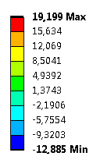
**B: Steady State Thermal**  
 Temperature  
 Type: Temperature  
 Unit: °C  
 Time: 1  
 18.4.2016 21:41



**Obrázek 18 – Teplotní pole ve skladbě č. 2**

[Zdroj: vlastní zpracování]

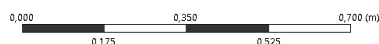
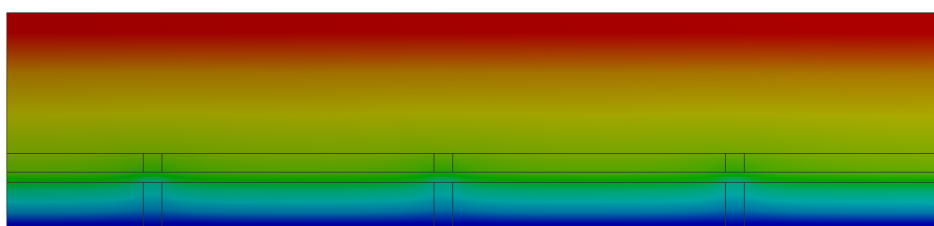
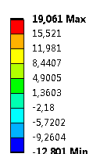
**C: Steady State Thermal**  
 Temperature  
 Type: Temperature  
 Unit: °C  
 Time: 1  
 18.4.2016 21:33



**Obrázek 19 – Teplotní pole ve skladbě č. 3**

[Zdroj: vlastní zpracování]

**D: Steady State Thermal**  
 Temperature 2  
 Type: Temperature  
 Unit: °C  
 Time: 1  
 18.4.2016 22:28



**Obrázek 20 – Teplotní pole ve skladbě č. 4**

[Zdroj: vlastní zpracování]

V závislosti na výsledných hodnotách je možné říci, že výpočtové metody z ČSN vystihují reálně pouze homogenní skladbu č. 2, kde výsledky normového výpočtu a výpočtu pomocí MKP jsou shodné. Toto je dáno tím, že normový přístup uvažuje

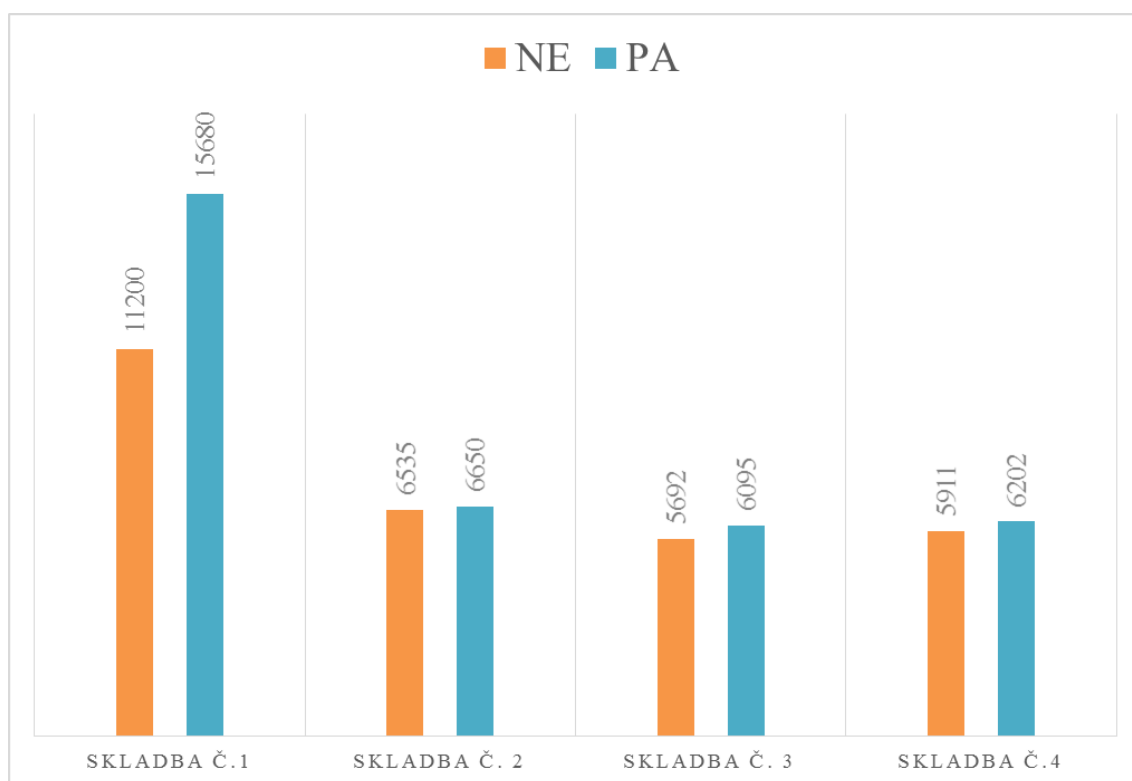
s konstantní hustotou tepelného toku. Tento předpoklad se při zvyšující heterogenitě konstrukce stává neplatným.

V případě ostatních skladeb (č. 1, č. 3 a č. 4) bylo dosaženo nižších hodnot  $U$  než při výpočtu pomocí metod ČSN, viz porovnání v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** S ohledem na možnou odchylku až cca 20% při konstrukci 3 je možné doporučit využití numerického modelování pro zajištění maximální efektivity navržených konstrukcí bez provádění reálných zkoušek.

## 15. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Vzhledem k tomu, že byla každá z uvažovaných skladebných konstrukcí optimalizována pro mezní hodnoty  $U$  definované kapitolou 9.3., je tato hodnota pro NE přibližně stejná pro každou posuzovanou skladbu  $\Sigma U_{NE} \doteq 0,250 \text{ W/m}^2\text{K}$  i pro každou PA  $\Sigma U_{PA} \doteq 0,180 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na základě toho bude spotřeba celkové energie a tepla na vytápění pro tyto konstrukce zanedbána neboť je zřejmé, že bude vykazovat podobné hodnoty pro všechny skladby NE i PA.

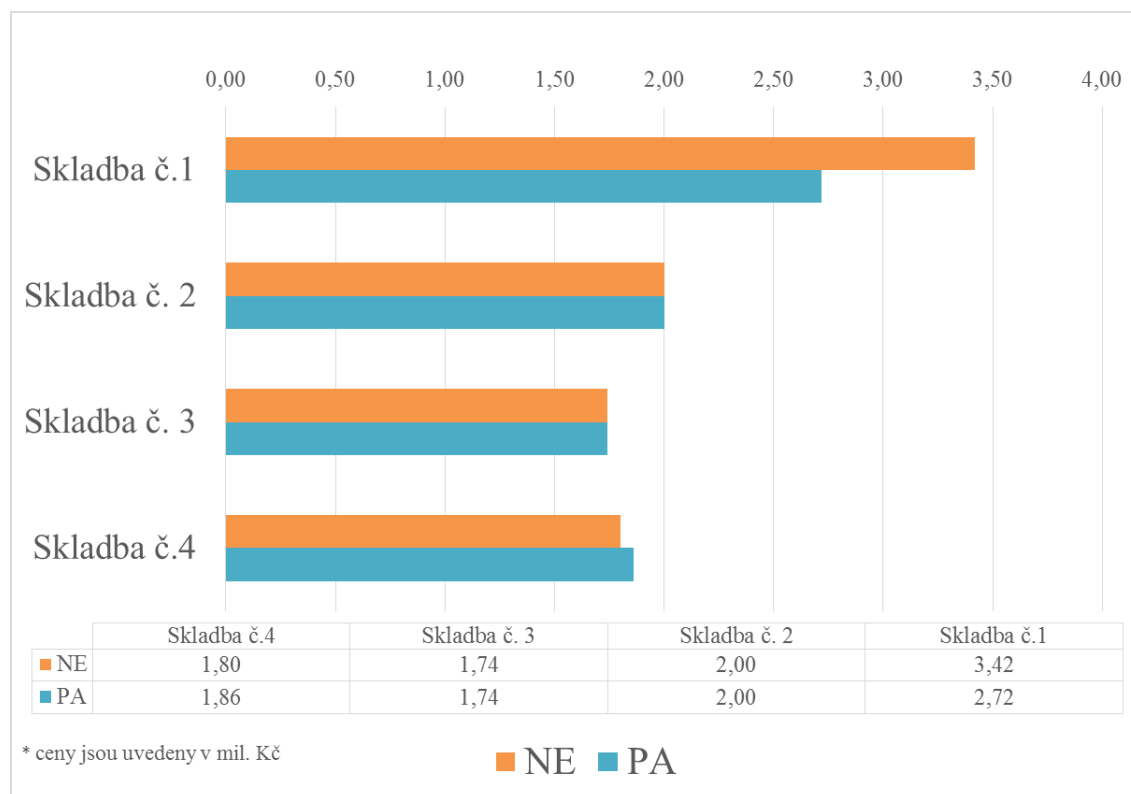
Na základě této skutečnosti je možné předpokládat, že rozdíl ve spotřebě celkové energie na vytápění bude pro všechny skladby (v NE i PA) zanedbatelný. Z tohoto důvodu bylo zahrnutí energie na vytápění v ekonomickém zhodnocení zanedbáno. Ekonomické hodnocení je tedy provedeno na základě spotřeby materiálu pro jednotlivé skladby. Vyjádřením materiálových nákladů pro  $1\text{m}^2$  na střednici obvodové konstrukce jsou vyhodnoceny jednotlivé varianty posuzovaných konstrukcí uvedené v Grafu 6. Pro výpočet byly použity ceny obvyklé, bez DPH.



**Graf 5 – Porovnání materiálových nákladů pro  $1\text{m}^2$  obvodové roubené konstrukce**  
[Zdroj: vlastní zpracování]

SKladba č. 2 obvodové roubené konstrukce vykazuje nejlepší tepelně – izolační vlastnosti v nejmenších šířkách. Proto byla zvolena jako etalon pro porovnání materiálových nákladů. V poměru k cenám za  $1 \text{ m}^2$  lze následně vyjádřit nákladovost

ostatních konstrukcí. Cena hrubé stavby dvoupatrových obytných roubenek se pohybuje v rozmezí 1 500 000 – 2 500 000 Kč v závislosti na velikosti zastavěné plochy. Průměr této hodnoty byl stanoven jako výchozí materiálový náklad pro skladbu č. 2, z toho byly procentuálně vyjádřeny ostatní částky a propočítány hodnoty nákladů pro jednotlivé typy roubených konstrukcí uvedené v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**



**Graf 6 – Porovnání materiálových nákladů na stavbu roubenky pro skladby č. 1-4**  
[Zdroj: vlastní zpracování]

Autor práce nemá praktické zkušenosti s výstavbou roubených staveb, proto byla ve výpočtu zanedbána i pracnost výroby a montáže. Z obecného hlediska však lze tvrdit, že výroba jednotlivých skladebných konstrukcí bude ovlivněna typem hlavního nosného prvku a to buď masivním trámem či lepeným BSH hranolem. Výroba BSH hranolu vyžaduje podstatně více technologických úkonů než opracování masivního trámu. To se pak promítá na konečné ceně produktu i skladby konstrukce.

Z hlediska pracnosti montáže jednotlivých obvodových konstrukcí lze uvést, že čím více nesterodných vrstev jejich skladba obsahuje, tím vyšší budou časové nároky na jejich montáž, na kvalitu montážních prací v rámci zabezpečení vzduchotěsnosti obálky a na řešení detailů tepelných mostů v konstrukci.



## 16. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá otázkou tradičních roubených staveb, stručně je charakterizuje a současně vznáší otázku jejich proveditelnosti v době energetických úspor. Popisuje vlivy, které se staly hlavními kritérii pro posuzování nových staveb a reflektuje na budoucí regulaci výstavby do trendů nízkoenergetických a pasivních objektů.

Provádí návrh obvodové roubené konstrukce na zvolených typech skladeb a aplikuje zjednodušující výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  dle ČSN a TNI tak, aby splňovali kritéria nízkoenergetických a pasivních standardů.

Pro účely této práce autor práce definoval vlastní hodnotu součinitele prostupu tepla vnější stěny  $U$  pro NE, neboť pro tuto veličinu není nízkoenergetický standard jasně definován žádným z českých legislativních předpisů ani technickými normami. Hodnota  $U$  vyplývající z ČSN 73 0540-2 je zavedena pouze pro pasivní budovy. O nízkoenergetickém standardu vůbec nepojednává.

Dále se tato práce zaměřila na ověření výsledků metodou MKP, porovnála je s výsledky získanými metodikou dle ČSN a TNI a vyhodnotila jednotlivé materiálové náklady na provedení obvodové roubené konstrukce v navržených variantách.

Součinitel prostupu tepla  $U$  je důležitou veličinou pro výpočet celkových tepelných ztrát objektu, na jehož základě lze zjistit celkovou energetickou bilanci budov nových i stávajících.

## 17. SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 17.1. TIŠTĚNÉ MONOGRAFIE

- CHMÚRNÝ, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-889-0527-3
- KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.
- MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Profi. ISBN 978-80-247-4559-6.
- PEŠTA, Jan. *Rekonstrukce roubených staveb: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3239-8.
- SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.
- TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- *Velká kniha o energii*. Praha: L.A. Consulting Agency, c2001. ISBN 80-238-6578-1.
- *Státní politika životního prostředí: leden 2001*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001. ISBN 80-721-2170-7.

### 17.2. WEBOVÉ STRÁNKY INSTITUCÍ

- *Centrum pasivního domu* [online]. Brno: Centrum pasivního domu, z.s., 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/>
- *Časopis stavebnictví* [online]. Praha: Informační centrum ČKAIT s.r.o., 2007 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/>
- *Eurostat: Your key to European statistics* [online]. Luxembourg: European Commission, 2012 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat>

- *Naturally:wood* [online]. Canada: Forestry Innovation Investment, 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.naturallywood.com/>
- *Sruby OK PYRUS s.r.o.: Dřevostavby, sruby, roubenky* [online]. Brno: OK PYRUS s.r.o., 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.okpyrus.cz/>
- *Sruby a roubenky* [online]. Hradec Králové: Haniš Srubové Domy, 2011 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.srubyaroubenky.cz/>

### 17.3. ELEKTRONICKÉ MONOGRAFIE

- KIRSTEN ENGELUND THOMSEN, Kim B a EUROACE. *European national strategies to move towards very low energy buildings* [online]. 1. edition. Danish Building Research Institute, 2008 [cit. 2016-04-15]. ISBN 978-875-6313-292.
- MYNÁŘ, Josef, Jiří TESLÍK, Jiří PROVÁZEK, Martin GLOS, Petr VACEK a Zoja SKOPALOVÁ. *Materiály pro dřevostavby: vzdělávací materiály* [online]. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, 2015 [cit. 2016-04-09]. ISBN 978-80-906014-0-6.

### 17.4. ČLÁNKY NA WEBOVÝCH PORTÁLECH

- Brettschichtholz: Brettschichtholz (BSH -Holz). *Eigenschaften allgemein: Weitere Kenn- und Rechenwerte* [online]. Wuppertal: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2012 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.brettschichtholz.de/>
- *Dřevo a stavby: Právě hrázděné stavby jsou již minulostí* [online]. Praha: PROVOBIS, s.r.o., 2013 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/2524-prave-hrazdene-stavby-jsou-jiz-historii>
- *Dřevostavby Moravia Wood Trading s.r.o.: Popis konstrukce roubenek* [online]. Šenov u Ostravy: Moravia Wood Trading s.r.o., 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.moraviawood.cz/>

- *Energy Efficiency: Envelope: Heat, air tightness and moisture* [online]. Skövde: Paroc Group, 2016 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://www.paroc.se/>
- *Časopis Stavebnictví: Dřevostavby - Minulost a současnost staveb ze dřeva* [online]. Brno: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2015 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva\\_N5385](http://www.casopisstavebnictvi.cz/minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva_N5385)
- *Ráj dřeva* [online]. Třebíč: RÁJ DŘEVA - Ing. Josef Prajsner, 2010 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.raj-dreva.cz/produkty/konstrukcni-hranoly-kvh-duo-trio-bsh/>
- Roubená stěna z dřevěných smrkových trámů tl. 300 mm. *Www.tzb-info.cz* [online]. Zlín: Centrum stavebního inženýrství, a.s., 2015 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12481-roubena-stena-z-drevenych-smrkovych-tramu-tl-300-mm>
- Řemeslo: Roubenky, sruby, dřevostavby - rozdíly, často používané pojmy. MALÝ, Robert *Www.roubenkyasruby.cz* [online]. 2015. 26. 06 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.roubenkyasruby.cz/o-stavbach/pojmy>
- Tabulky a grafy: Zjednodušená grafika postupného náběhu požadavků na energetickou náročnost budov. *Šance pro budovy: Studie* [online]. Praha: [www.sanceprobudovy.cz](http://www.sanceprobudovy.cz), 2012 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.sanceprobudovy.cz/studie/tabulky-a-grafy/2012/zjednodusena-grafika-postupneho-nabehu-pozadavku-na-energetickou-narocnost-budov>
- *Zkoušení stavebních hmot a materiálů: Dřevo - základní fyzikální vlastnosti dřeva* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, 2011 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo\\_zk](http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zk)

## 17.5. TECHNICKÉ NORMY

- ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. 2006. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

- ČSN EN 1995-1-2. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru. 2006. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. 1.12.2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- ČSN EN 14080. *Dřevěné konstrukce - Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo: Požadavky*. 2013. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- ČSN EN 338. *Konstrukční dřevo: Třídy pevnosti*. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- ČSN 73 0540 - 2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. Změna Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- ČSN 73 0540 - 3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. 1.11.2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4:: Výpočtové metody*. 1.6.2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- TNI 73 0329. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Rodinné domy. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- TNI 73 0330. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Bytové domy. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

## 17.6. LEGISLATIVNÍ DOKUMENTY

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU: o energetické náročnosti budov. In: Štrasburk: Evropská unie, 2010, ročník 2010, 2010/31/EU.

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/EU: o energetické náročnosti budov. In: Štrasburk: Evropská unie, 2002, ročník 2010, 2002/91/EU.
- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: *115/2000*. Praha: Parlament České republiky, 2000, ročník 2000, 406/2000.č. 78/2013 Sb., o energetické
- *Vyhláška č. 78/2013 Sb., o hospodaření energií*. In: . Praha: Parlament České republiky, 2013, ročník 2013, 36/2013, 78/2013.

## 18. SEZNAM PŘÍLOH

### 18.1. PŘÍLOHA 1

Optimalizace skladby č. 1 pro doporučené hodnoty NE.

(rozšiřování konstrukce po 10 cm)

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI						
Teplotní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13 °C
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0 K
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: $R_{si}$ =		0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.: $R_{se}$ =		0,04 $m^2K/W$
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R		
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]		
EXTERIÉR						
1	Smrkový trám	0,400	0,180	2,222		
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =		2,392	$m^2K/W$	Souč. prostupu tepla:		<b>U= 0,418 <math>W/m^2K</math></b>
Mezní hodnota $U_{rec,20}$		$U_{rec,20}$ =	0,250	$m^2K/W$	<b>NEVYHOVUJE</b>	

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI						
Teplotní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13 °C
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0 K
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: $R_{si}$ =		0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.: $R_{se}$ =		0,04 $m^2K/W$
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R		
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]		
EXTERIÉR						
1	Smrkový trám	0,500	0,180	2,778		
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =		2,948	$m^2K/W$	Souč. prostupu tepla:		<b>U= 0,339 <math>W/m^2K</math></b>
Mezní hodnota $U_{rec,20}$		$U_{rec,20}$ =	0,250	$m^2K/W$	<b>NEVYHOVUJE</b>	

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI						
Teplotní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13 °C
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0 K
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: $R_{si}$ =		0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.: $R_{se}$ =		0,04 $m^2K/W$
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R		
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]		
EXTERIÉR						
1	Smrkový trám	0,600	0,180	3,333		
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =		3,503	$m^2K/W$	Souč. prostupu tepla:		<b>U= 0,285 <math>W/m^2K</math></b>
Mezní hodnota $U_{rec,20}$		$U_{rec,20}$ =	0,250	$m^2K/W$	<b>NEVYHOVUJE</b>	

### VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI

Teplotní oblast ČR: **1** Nadmořská výška: **240** m n.m. Návrhová tep.  $\theta_e$ : **-13** °C  
 Druh místnosti: **Obytná místnost** **20,0** °C Přírážka:  $\Delta a_i$ = **0** K  
 Návrhová tep.  $\theta_i$ : **20,0** °C  
 Tepelný odpor - int.:  $R_{si}$ = **0,13** m<sup>2</sup>K/W Tepelný odpor - ext.:  $R_{se}$ = **0,04** m<sup>2</sup>K/W

#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR				
1	Smrkový trám	0,700	0,180	3,889
INTERIÉR				

Výsledný tepelný odpor:  $R_T$ = **4,059** m<sup>2</sup>K/W Souč. prostupu tepla: **U= 0,246** W/m<sup>2</sup>K  
 Mezní hodnota  $U_{rec,20}$   $U_{rec,20}$ = **0,250** m<sup>2</sup>K/W

**VYHOVUJE**



## 18.2. PŘÍLOHA 2

Optimalizace skladby č. 1 pro doporučené hodnoty NE.

(rozšiřování konstrukce po 10 cm)

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI								
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13	°C	
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0	K	
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0	°C	
Tepelný odpor - int.:	$R_{si}$ =	0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.:	$R_{se}$ =	0,04	$m^2K/W$	
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R				
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]				
EXTERIÉR								
1	Smrkový trám	0,800	0,180	4,444				
INTERIÉR								
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =						4,614	$m^2K/W$ Souč. prostupu tepla:	
Mezní hodnota $U_{pas,20}$						$U_{pas,20}$ =	0,180	$m^2K/W$
						U=	0,217	W/ $m^2K$
						<b>NEVYHOVUJE</b>		
VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI								
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13	°C	
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0	K	
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0	°C	
Tepelný odpor - int.:	$R_{si}$ =	0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.:	$R_{se}$ =	0,04	$m^2K/W$	
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R				
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]				
EXTERIÉR								
1	Smrkový trám	0,900	0,180	5,000				
INTERIÉR								
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =						5,170	$m^2K/W$ Souč. prostupu tepla:	
Mezní hodnota $U_{pas,20}$						$U_{pas,20}$ =	0,180	$m^2K/W$
						U=	0,193	W/ $m^2K$
						<b>NEVYHOVUJE</b>		
VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI								
Teplotní oblast ČR:	1	Nadmořská výška:	240	m n.m.	Návrhová tep. $\theta_e$ :	-13	°C	
Druh místnosti:	Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: $\Delta a_i$ =	0	K	
					Návrhová tep. $\theta_i$ :	20,0	°C	
Tepelný odpor - int.:	$R_{si}$ =	0,13	$m^2K/W$	Tepelný odpor - ext.:	$R_{se}$ =	0,04	$m^2K/W$	
#	Popis vrstvy	d	$\lambda$	R				
		[m]	[W/mK]	[ $m^2K/W$ ]				
EXTERIÉR								
1	Smrkový trám	0,950	0,180	5,278				
INTERIÉR								
Výsledný tepelný odpor: $R_T$ =						5,448	$m^2K/W$ Souč. prostupu tepla:	
Mezní hodnota $U_{pas,20}$						$U_{pas,20}$ =	0,180	$m^2K/W$
						U=	0,184	W/ $m^2K$
						<b>NEVYHOVUJE</b>		

**VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA PRO JEDNOVRSTVOU KONSTRUKCI**

Teplotní oblast ČR: **1** Nadmořská výška: **240** m n.m. Návrhová tep.  $\theta_e$ : **-13** °C  
 Druh místnosti: **Obytná místnost** **20,0** °C Přírážka:  $\Delta a_i$ = **0** K  
 Návrhová tep.  $\theta_i$ : **20,0** °C  
 Tepelný odpor - int.:  $R_{si}$ = **0,13** m<sup>2</sup>K/W Tepelný odpor - ext.:  $R_{se}$ = **0,04** m<sup>2</sup>K/W

#	Popis vrstvy	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR				
1	Smrkový trám	0,980	0,180	5,444
INTERIÉR				

Výsledný tepelný odpor:  $R_T$ = **5,614** m<sup>2</sup>K/W Souč. prostupu tepla: **U= 0,178** W/m<sup>2</sup>K  
 Mezní hodnota  $U_{pas,20}$   $U_{pas,20}$ = **0,180** m<sup>2</sup>K/W

**VYHOVUJE**

### 18.3. PŘÍLOHA 3

Optimalizace skladby č. 2 pro doporučené mezní hodnoty NE.

(zúžení izolační vrstvy po 1 cm)

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ										
Teplotní oblast ČR:		<b>1</b>	Nadmořská výška:	145	m n.m.	Návrhová tep.θ:	-13	°C		
Druh místnosti:		<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka:	a <sub>i</sub> =	0	K	
						Návrhová tep.θ <sub>i</sub> :	20,0	°C		
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:		R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy		d	λ	R					
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]					
EXTERIÉR										
interiér <— ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556					
	2	Ovčí vlna	0,090	0,039	2,308					
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667					
	4									
					ΣR	4,530				
INTERIÉR										
Výsledný tepelný odpor:		R <sub>T</sub> =	4,700	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U=		0,213	W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W					VYHOVUJE	
VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ										
Teplotní oblast ČR:		<b>1</b>	Nadmořská výška:	145	m n.m.	Návrhová tep.θ:	-13	°C		
Druh místnosti:		<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka:	a <sub>i</sub> =	0	K	
						Návrhová tep.θ <sub>i</sub> :	20,0	°C		
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:		R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy		d	λ	R					
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]					
EXTERIÉR										
interiér <— ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556					
	2	Ovčí vlna	0,080	0,039	2,051					
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667					
	4									
					ΣR	4,274				
INTERIÉR										
Výsledný tepelný odpor:		R <sub>T</sub> =	4,444	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U=		0,225	W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W					VYHOVUJE	

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ						
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	145 m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0 °C	Přirážka: a <sub>i</sub> =	0 K
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13 m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:	R <sub>se</sub> =	0,04 m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]		
EXTERIÉR						
interiér <-- ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556	
	2	Ovčí vlna	0,070	0,039	1,795	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	
	4					
				ΣR	4,017	
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor:		R <sub>T</sub> =	4,187 m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,239 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250 m <sup>2</sup> K/W	<b>VYHOVUJE</b>		

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ						
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	145 m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0 °C	Přirážka: a <sub>i</sub> =	0 K
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13 m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:	R <sub>se</sub> =	0,04 m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]		
EXTERIÉR						
interiér <-- ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556	
	2	Ovčí vlna	0,060	0,039	1,538	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	
	4					
				ΣR	3,761	
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor:		R <sub>T</sub> =	3,931 m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,254 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250 m <sup>2</sup> K/W	<b>NEVYHOVUJE</b>		

## 18.4. PŘÍLOHA 4

Optimalizace skladby č. 2 pro doporučené mezní hodnoty PA.

(rozšíření izolační vrstvy po 1 cm)

VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ						
Teplotní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	145	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: a <sub>i</sub> =	<b>0</b> K
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	
					0,04 m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy		d	λ	R	
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR						
interiér ↕ ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556	
	2	Ovčí vlna	0,110	0,039	2,821	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	
	4					
					ΣR	5,043
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: R <sub>T</sub> =		5,213	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=	
					<b>0,192 W/m<sup>2</sup>K</b>	
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		<b>NEVYHOVUJE</b>
VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ						
Teplotní oblast ČR:	<b>1</b>	Nadmořská výška:	145	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:	<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: a <sub>i</sub> =	<b>0</b> K
					Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	
					0,04 m <sup>2</sup> K/W	
#	Popis vrstvy		d	λ	R	
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR						
interiér ↕ ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556	
	2	Ovčí vlna	0,120	0,039	3,077	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	
	4					
					ΣR	5,299
INTERIÉR						
Výsledný tepelný odpor: R <sub>T</sub> =		5,469	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=	
					<b>0,183 W/m<sup>2</sup>K</b>	
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		<b>NEVYHOVUJE</b>

### VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HOMOGENNÍ VÍCEVRSTVOU KONSTRUKCÍ

Teplotní oblast ČR: **1** Nadmořská výška: **145** m n.m. Návrhová tep.θ<sub>e</sub>: **-13** °C  
 Druh místnosti: **Obytná místnost** 20,0 °C Přírážka: a<sub>i</sub>= **0** K  
 Návrhová tep.θ<sub>i</sub>: **20,0** °C  
 Tepelný odpor - int.: R<sub>si</sub>= **0,13** m<sup>2</sup>K/W Tepelný odpor - ext.: R<sub>se</sub>= **0,04** m<sup>2</sup>K/W

#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR					
interiér ← ext	1	Smrkový trám	0,100	0,180	0,556
	2	Ovčí vlna	0,130	0,039	3,333
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667
	4				
	ΣR				5,556
INTERIÉR					

Výsledný tepelný odpor: **R<sub>T</sub>= 5,726 m<sup>2</sup>K/W** Souč. prostupu tepla: **U= 0,175 W/m<sup>2</sup>K**  
 Mezní hodnota U<sub>pas,20</sub> U<sub>pas,20</sub>= **0,180 m<sup>2</sup>K/W**

**VYHOVUJE**

## 18.5. PŘÍLOHA 5

Optimalizace skladby č. 3 pro doporučené mezní hodnoty NE.

(rozšíření izolační vrstvy o 2cm)

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R <sub>j</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>a</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>b</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR							
interiér <-- ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2a	Lněná izolace	0,160	0,039	4,103	4,103	
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,160	0,180	0,889		0,889
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
	4						
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	5,775	2,562
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,434	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		2,791	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,243 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W		<b>VYHOVUJE</b>	

## 18.6. PŘÍLOHA 6

Optimalizace skladby č. 3 pro doporučené mezní hodnoty PA.

(rozšíření izolační vrstvy o 2 cm)

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE								
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13	°C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0	K
						Návrhová tep.θi:	20,0	°C
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:	R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>	
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR								
interiér <-- ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006	
	2a	Lněná izolace	0,180	0,039	4,615	4,615		
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,180	0,180	1,000		1,000	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667	
	4							
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	6,288	2,673	
Výsledný tepelný odpor:		R' <sub>T</sub> =	5,862	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor:		R'' <sub>T</sub> =	2,910	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,228 W/m <sup>2</sup> K	
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W			NEVYHOVUJE	
VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE								
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13	°C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0	K
						Návrhová tep.θi:	20,0	°C
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:	R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>	
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR								
interiér <-- ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006	
	2a	Lněná izolace	0,200	0,039	5,128	5,128		
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,200	0,180	1,111		1,111	
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667	
	4							
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	6,801	2,784	
Výsledný tepelný odpor:		R' <sub>T</sub> =	6,287	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor:		R'' <sub>T</sub> =	3,028	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,215 W/m <sup>2</sup> K	
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W			NEVYHOVUJE	



VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θ:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θ <sub>i</sub> :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér ← ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2a	Lněná izolace	0,220	0,039	5,641	5,641	
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,220	0,180	1,222		1,222
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
	4						
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	7,314	2,895
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		6,710	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		3,147	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,203 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		<b>NEVYHOVUJE</b>	
VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θ:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θ <sub>i</sub> :	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér ← ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2a	Lněná izolace	0,240	0,039	6,154	6,154	
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,240	0,180	1,333		1,333
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
	4						
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	7,827	3,006
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		7,131	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		3,265	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,192 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		<b>NEVYHOVUJE</b>	

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE									
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C		
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K		
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C		
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:		R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>		
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]		
EXTERIÉR									
interiér <- ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006		
	2a	Lněná izolace	0,260	0,039	6,667	6,667			
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,260	0,180	1,444		1,444		
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667		
	4								
INTERIÉR						ΣR <sub>x</sub> =	8,339	3,117	
Výsledný tepelný odpor:		R' <sub>T</sub> =	7,550	m <sup>2</sup> K/W					
Výsledný tepelný odpor:		R'' <sub>T</sub> =	3,384	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U=	0,183	W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W			<b>NEVYHOVUJE</b>		
VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE									
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	189	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C		
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K		
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C		
Tepelný odpor - int.:		R <sub>si</sub> =	0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.:		R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>		
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]		
EXTERIÉR									
interiér <- ext	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006		
	2a	Lněná izolace	0,280	0,039	7,179	7,179			
	2b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,280	0,180	1,556		1,556		
	3	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667		
	4								
INTERIÉR						ΣR <sub>x</sub> =	8,852	3,228	
Výsledný tepelný odpor:		R' <sub>T</sub> =	7,967	m <sup>2</sup> K/W					
Výsledný tepelný odpor:		R'' <sub>T</sub> =	3,502	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U=	0,174	W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W			<b>VYHOVUJE</b>		

## 18.7. PŘÍLOHA 7

Optimalizace skladby č. 4 pro doporučené mezní hodnoty NE.

(rozšíření izolační vrstvy o 2 cm)

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU							
Teplotní oblast ČR:		<b>1</b>	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		<b>Obytná místnost</b>		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy	d [m]	λ [W/mK]	R <sub>j</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>a</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>b</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	
EXTERIÉR							
interiér < - exteriér	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455
	3a	Konopná izolace	0,100	0,044	2,273		2,273
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,100	0,180	0,556	0,556	
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190
	4b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222	
5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667	
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	2,905	4,590
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,076	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		3,423	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,235 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>rec,20</sub>		U <sub>rec,20</sub> =	0,250	m <sup>2</sup> K/W		VYHOVUJE	

## 18.8. PŘÍLOHA 8

Optimalizace skladby č. 4 pro doporučené mezní hodnoty PA  
(rozšíření izolační vrstvy o 2 cm)

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU									
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13	°C	
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0	K	
						Návrhová tep.θi:	20,0	°C	
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =			0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =			0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>		
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]		
EXTERIÉR									
interiér <- exteriér	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006		
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455		
	3a	Konopná izolace	0,120	0,044	2,727		2,727		
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,120	0,180	0,667	0,667			
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190		
	4b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222			
5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667			
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	3,016	5,045		
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =			5,271	m <sup>2</sup> K/W					
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =			4,034	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,215 W/m <sup>2</sup> K		
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>			U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W	<b>NEVYHOVUJE</b>			
VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU									
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13	°C	
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0	K	
						Návrhová tep.θi:	20,0	°C	
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =			0,13	m <sup>2</sup> K/W	Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =			0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>		
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]		
EXTERIÉR									
interiér <- exteriér	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006		
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455		
	3a	Konopná izolace	0,140	0,044	3,182		3,182		
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,140	0,180	0,778	0,778			
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190		
	4b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222			
5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667			
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	3,127	5,500		
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =			5,466	m <sup>2</sup> K/W					
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =			4,645	m <sup>2</sup> K/W	Souč. prostupu tepla:		U= 0,198 W/m <sup>2</sup> K		
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>			U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W	<b>NEVYHOVUJE</b>			

VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér <- exteriér	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455
	3a	Konopná izolace	0,160	0,044	3,636		3,636
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,160	0,180	0,889	0,889	
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190
	4b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222	
	5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	3,238	5,954
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,659	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		5,257	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,183 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		<b>NEVYHOVUJE</b>	
VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA HETEROGENNÍ KONSTRUKCE SE VZDUCH. MEZEROU							
Teplotní oblast ČR:		1	Nadmořská výška:	289	m n.m.	Návrhová tep.θe:	-13 °C
Druh místnosti:		Obytná místnost		20,0	°C	Přirážka: Δa <sub>i</sub> =	0 K
						Návrhová tep.θi:	20,0 °C
Tepelný odpor - int.: R <sub>si</sub> =		0,13	m <sup>2</sup> K/W		Tepelný odpor - ext.: R <sub>se</sub> =	0,04	m <sup>2</sup> K/W
#	Popis vrstvy		d	λ	R <sub>j</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>b</sub>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]
EXTERIÉR							
interiér <- exteriér	1	Difúzní fólie	0,001	0,160	0,006	0,006	0,006
	2	Dřevovláknitá izolační deska	0,020	0,044	0,455	0,455	0,455
	3a	Konopná izolace	0,180	0,044	4,091		4,091
	3b	Žebrování (měkké dřevo)	0,180	0,180	1,000	1,000	
	4a	Nevětraná vzduchová mezera	0,040	0,210	0,190		0,190
	4b	Lat'ování (měkké dřevo)	0,040	0,180	0,222	0,222	
	5	Smrkový trám	0,300	0,180	1,667	1,667	1,667
INTERIÉR					ΣR <sub>x</sub> =	3,349	6,409
Výsledný tepelný odpor: R' <sub>T</sub> =		5,852	m <sup>2</sup> K/W				
Výsledný tepelný odpor: R'' <sub>T</sub> =		5,868	m <sup>2</sup> K/W		Souč. prostupu tepla: U=		0,171 W/m <sup>2</sup> K
Mezní hodnota U <sub>pas,20</sub>		U <sub>pas,20</sub> =	0,180	m <sup>2</sup> K/W		<b>VYHOVUJE</b>	