

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Stanovení parametrů pro porovnání dřevěných pasivních
konstrukcí

Vypracoval: Bc. Jan Kvapil

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Múčka, PhD.

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jan Kvapil

Dřevařské inženýrství

Název práce

Stanovení parametrů pro porovnání dřevěných pasivních konstrukcí

Název anglicky

The parameters defining for the comparison passive wooden structural wall

Cíle práce

Cílem diplomové práce je stanovit parametry, které ovlivňují volbu jednotlivých konstrukčních systémů obvodových dřevěných konstrukcí pro pasivní výstavbu. Dále přiblížit jednotlivé konstrukce pasivních dřevostaveb z hlediska historie, současného uplatnění, principu konstrukce a popsat používané materiály.

Metodika

1. Rešerš dřevěných stavebních konstrukcí
2. Svislé konstrukce dřevostaveb v pasivním standardu – vlastnosti, požadavky, použití
3. Definování hodnotících parametrů tepelně-izolačních vlastností, materiálové náročnosti, časové náročnosti výstavby, tloušťky konstrukce s tepelně technickými vlastnostmi
4. Výsledky porovnání a určení vhodnosti
5. Vyhodnocení a doporučení
6. Závěr

Doporučený rozsah práce

60 – 70 stran

Klíčová slova

dřevěné obvodové stěny, svislé konstrukce, tepelné vlastnosti, materiálová náročnost

Doporučené zdroje informací

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

HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1999. 353 s., ISBN 80-716-9657-9

KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 317 s., ISBN 978-80-247-2275-7

KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce pozemních staveb. Praha: Sekurkon, 1994. 58 s.

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy : principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. 193 s., ISBN 80-247-1101-X

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 193 s., ISBN 978-802-4720-616

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Martin Múčka, PhD.

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2015

Ing. Jan Bomba, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Stanovení parametrů pro porovnání dřevěných pasivních konstrukcí vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Múčky PhD., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 20. 4. 2015

.....

Jan Kvapil

Poděkování

Úvodem bych moc rád poděkoval Ing. Martinovi Múčkovi PhD. za jeho obětavou pomoc, ochotu a cenné připomínky, které mi v průběhu zpracování diplomové práce poskytl. Dále bych rád poděkoval svým rodičům za morální pomoc a podporu při studiu.

Abstrakt

Název Diplomové práce: Stanovení parametrů pro porovnání dřevěných pasivních konstrukcí

Cílem diplomové práce je stanovit parametry, které ovlivňují volbu jednotlivých konstrukčních systémů obvodových dřevěných konstrukcí pro pasivní výstavbu. Dále přiblížit jednotlivé konstrukce pasivních dřevostaveb z hlediska historie, současného uplatnění, principu konstrukce a popsat používané materiály.

Klíčová slova: dřevěné obvodové stěny, svislé konstrukce, tepelné vlastnosti, materiálová náročnost

Abstract

The name of the Master thesis: The parameters defining for the comparison passive wood structural wall

The thesis is focused to establish the parameters influencing selection of structural systems used for passive wooden houses. The thesis further elucidates individual passive wooden house designs in terms of history, the present application, describes the design principles and used materials.

Key words: wood buildings, wood walls, vertical structure, thermal properties, the material intensity

Obsah

1	Úvod	22
2	Cíl práce a metodika.....	24
2.1	Cíl práce.....	24
2.2	Metodika	24
3	Svislé konstrukce dřevostaveb v pasivním standardu.....	26
3.1	Obecné požadavky pasivních dřevostaveb	26
3.2	Konstrukční ochrana	28
3.3	Požadavky na obvodovou konstrukci.....	30
3.4	Okrajové podmínky	31
3.5	Přehled konstrukčních systémů dřevostaveb	32
3.5.1	Rámové konstrukce	33
3.5.1.1	Historie	33
3.5.1.2	Současnost.....	34
3.5.1.3	Princip.....	34
3.5.1.4	Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosíky a minerální izolací	35
3.5.1.5	Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací	36
3.5.1.6	Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny	36
3.5.1.7	Rámová konstrukce Kronospan s I-nosíky, foukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením	37
3.5.2	Rámové prefabrikované konstrukce.....	38
3.5.2.1	Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV	39
3.5.2.2	Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand.....	39
3.5.2.3	Rámová prefabrikovaná konstrukce EGGER z I nosníků	40
3.5.2.4	Rámová konstrukce prefabrikovaná DNK Pasiv	41
3.5.2.5	Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva	41
3.5.3	Masivní konstrukce	42
3.5.3.1	Historie	42
3.5.3.2	Současnost.....	42
3.5.3.3	Princip.....	43

3.5.3.4	Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou	44
3.5.3.5	Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou	45
3.5.4	Skeletové konstrukce	45
3.5.4.1	Historie	45
3.5.4.2	Současnost	46
3.5.4.3	Princip	46
3.5.4.4	Difúzně otevřená konstrukce skeletu THF	47
3.5.4.5	Difúzně otevřená konstrukce skeletu ATREA	48
3.6	Přehled použitého materiálu	49
3.6.1	Řezivo	49
3.6.2	Konstrukční dřevo nastavované zubovým spojem (KVH - Konstruktionvollholz)	49
3.6.3	Desky z křížem vrstveného masivního dřeva (CLT – cross laminated timber) ..	50
3.6.4	Desky z plochých orientovaných třísek OSB	50
3.6.5	Dřevovláknité desky	50
3.6.6	Desky z vláken a sádry	51
3.6.7	Polystyren EPS	52
3.6.8	Minerální izolace	52
3.6.9	Foukaná celulóza	52
4	Definování hodnotících parametrů	53
4.1	Tepelně technické parametry	54
4.1.1	Součinitel prostupu tepla, korekce součinitele prostupu tepla	54
4.1.2	Nejnižší povrchová teplota konstrukce	44
4.1.3	Tepelná akumulace	45
4.1.4	Šíření vlhkosti konstrukcí	45
4.1.5	Nastavení okrajových podmínek pro výpočty prostupu tepla	48
4.2	Materiálová náročnost	56
4.3	Časová náročnost výstavby	70
4.3.1	Staveništní prvkový způsob výstavby	70

4.3.2	Prefabrikovaný způsob výstavby	71
4.4	Vztah tloušťky konstrukce k tepelně izolačním vlastnostem.....	71
5	Výsledky porovnání a určení vhodnosti.....	74
5.1	Tepelně-izolační vlastnosti	74
5.1.1	Součinitel prostupu tepla, korekce součinitele prostupu tepla	75
5.1.2	Nejnižší povrchová teplota konstrukce, teplotní faktor	76
5.1.3	Šáření vlhkosti konstrukcí	77
5.2	Vztah tloušťky konstrukce k tepelně izolačním vlastnostem.....	79
5.3	Časová náročnost výstavby	80
5.4	Materiálová náročnost	80
5.4.1	Porovnání vlastností použitých izolačních materiálů	81
6	Vyhodnocení a doporučení.....	83
7	Závěr	88
	Seznam použité literatury	90
	Použitá literatura	90
	Elektronické prameny	91
	Seznam grafů	93
	Seznam obrázků	94
	Přílohy – Výpočet tepelných vlastností	Error! Bookmark not defined.

Seznam tabulek

<i>Tabulka č. 1: Základní rozdělení budov podle energetické náročnosti</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka č. 2: Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka č. 3: Rámová konstrukce Woodsystem dif. uzavřená KVH s minerální izolací.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka č. 4: Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka č. 5: Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka č. 6: Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka č. 7: Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka č. 8: Stěna EGGER z I nosníků</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka č. 9: Celostěnové panely DNK Pasiv.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka č. 10: Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka č. 11: Masivní konstrukce NOVATOP s dřevov. izolací a dřevěnou fasádou.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka č. 12: Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka č. 13: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu TFH</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka č. 14: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu Atrea</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka č. 15: Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka č. 16: Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka č. 17: Rámová konstrukce Woodsystem dif. uzavřená KVH s minerální izolací.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka č. 18: Rámová konstrukce Woodsystem dif. uzavřená KVH s minerální izolací.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka č. 19: Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka č. 20: Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka č. 21: Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka č. 22: Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka č. 23: Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka č. 24: Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka č. 25: Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand.....</i>	<i>61</i>

<i>Tabulka č. 26: Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka č. 27: Stěna EGGER z I nosníků</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka č. 28: Stěna EGGER z I nosníků</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka č. 29: Celostěnové panely DNK Pasiv.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka č. 30: Celostěnové panely DNK Pasiv.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka č. 31: Panelová konstrukce difúzně otevřená ALFA DIFU</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka č. 32: Panelová konstrukce difúzně otevřená ALFA DIFU</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka č. 33: Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izol. a dřev. fasádou</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka č. 34: Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izol. a dřev. fasádou</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka č. 35: Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka č. 36: Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka č. 37: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu TFH</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka č. 38: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu TFH</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka č. 39: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu Atrea</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka č. 40: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu Atrea</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka č.41: Tabulka tepelných vlastností a tloušťky konstrukce</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka č.42: Užiténá plocha u rodinného domu o zastavěné ploše 200 m².....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka č.43: Klady a zápory sloupkového staveništního systému.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka č.44: Klady a zápory panelového prefabrikovaného systému.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka č. 45: Porovnání objemu jednotlivých materiálů v 1 m³ dané konstrukce.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka č 46: Technické vlastnosti izolačních materiálů.....</i>	<i>82</i>

1 Úvod

Dřevo je jedním z nejstarších stavebních materiálů, společně s kamenem bylo do konce 18. století jediným konstrukčním materiálem. K rozmachu dřevostaveb došlo v první polovině 20. Století, a to zejména kvůli objevení moderních spojovacích prostředků (kovových hřebíků a hmoždíků). Po konci druhé světové války bylo v České republice používání dřevostaveb administrativně omezeno a dřevo se stalo devizovou surovinou vyváženou za hranice. Zhruba od 60. let lze v evropském měřítku označit dobu za éru renesance dřevostaveb, charakteristickou rozvojem nových materiálů na bázi dřeva (panely montovaných domů, desky z vrstveného dřeva, lepené nosníky atd.). [TYWONIAK, 2005]

Při použití dřeva na stavební konstrukce je již po staletí oceňována hlavně jeho vysoká pevnost v poměru k hmotnosti, dostupnost, dobré izolační vlastnosti, odolnost vůči chemicky agresivnímu prostředí, snadná obrobitelnost a manipulace. Dřevo je snadno obnovitelný materiál z trvale udržovaných lesů a na rozdíl od moderních umělých prvků neškodí životnímu prostředí. Například v poměru pevnosti a hmotnosti dosud nebylo moderními stavebními materiály překonáno. Dřevěné konstrukce se využívají téměř ve všech oblastech stavebnictví. *"Optimální řešení může být často kombinací dřeva a oceli nebo betonu, také proto je není třeba uvažovat jako konkurenční materiály.* [TYWONIAK, 2005]

V průběhu posledních let jsme svědky postupného zpřísnování požadavků na energetickou náročnost provozu budov. Základní myšlenkou nízkoenergetické výstavby je při minimálním zvýšení investičních nákladů dosáhnout snížení spotřeby tepla na vytápění a s tím spojené závislosti na rostoucích cenách energie, dále vysoké kvalitě vnitřního prostředí a v neposlední řadě šetrnosti k životnímu prostředí. Dynamika vývoje nízkoenergetických staveb v evropských zemích je oproti zbytku světa obrovská. Zatímco jinde dochází ke změnám pomalu, v evropských zemích v roce 2003 bylo podle studie mezinárodní společnosti ISES postaveno 1 300 domů v pasivním standardu. V roce 2004 udávají 4 000 bytových jednotek a v roce 2010 až 60 000 bytových jednotek. [TYWONIAK, 2005] V České republice se sice obtížně, ale již viditelně, nízkoenergetická výstavba rozvíjí

a v letech příštích bude zřejmě dále získávat na objemu. Podle již schválené směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. 5. 2010 o energetické náročnosti budov EU – EPBD II (Energy Performance Building Directive) bude od roku 2020 možné stavět jen domy s energetickou spotřebou blízkou nule (tzv. Near zero energy building). Cílem je omezit nevhodné zacházení s energií, které se promítá stavu životního prostředí a podílí se na vzniku klimatických změn. [ideal-epbd.eu]

Práce je zaměřena na přiblížení problematiky svislých konstrukcí pasivních dřevostaveb z hlediska samotné konstrukce i použitých materiálů. Smyslem práce je vybrat, přiblížit a posoudit konkrétní zástupce konstrukcí jednotlivých základních konstrukčních systémů pasivních dřevostaveb z českého trhu. Jejich porovnání z hlediska tepelně-izolačních vlastností, poměru tloušťky konstrukce a tepelně-izolačních vlastností, materiálové náročnosti, rychlosti a průběhu výstavby, pomůže při rozhodovacím procesu výběru nejvhodnějšího systému pro pasivní výstavbu.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je stanovit parametry, které ovlivňují volbu jednotlivých konstrukčních systémů obvodových dřevěných konstrukcí pro pasivní výstavbu. Dále přiblížit jednotlivé konstrukce pasivních dřevostaveb z hlediska historie, současného uplatnění, principu konstrukce a popsat používané materiály.

2.2 Metodika

Při zpracování diplomové práce bylo postupováno následujícím způsobem. První byla zpracována literární rešerš svislých konstrukcí dřevostaveb používaných pro pasivní výstavbu. Diplomant čerpal převážně z české literatury a odborných článků, které byly doplněny literaturou cizojazyčnou.

Z současně používaných konstrukcí bylo od každého základního typu konstrukce vybráno několik konstrukčních systémů dle následujících kritérií. Konstrukce vyhovují součinitelem prostupu tepla doporučeným normou ČSN 73 0540-2 (2011) $U_{pas,20} = 0,18 - 0,12 [W/m^2.K]$ (s hodnotami prostupu součinitele tepla U při spodní hranici s co nejmenším rozptylem). Dalším požadavkem na výběr konstrukcí je co možná nejmenší podobnost v provedení a použitých materiálech. Při výběru konkrétních konstrukčních systémů byly osločovány firmy z českého trhu.

Vybrané konstrukce byly zhodnoceny dle následujících parametrů:

Tepelně technické:

- Součinitel prostupu tepla U
- Korekce prostupu tepla U_c
- Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}
- Šíření vlhkosti konstrukcí

Pro stanovení tepelně technických parametrů byl vybrán Software Svoboda 2014, který umožňuje výpočet tepelně technických vlastností podle současných norem (ČSN 730540-4, EN ISO 13788).

Časová náročnost výstavby:

- Porovnání staveništního a prefabrikovaného způsobu výstavby

Při porovnání konstrukcí z hlediska způsobu výstavby bylo čerpáno z odborné literatury a odborných článků. Výsledky byly zaneseny do tabulek.

Materiálová náročnost:

- Materiálové složení konstrukcí
- Porovnání vlastností použitých izolačních materiálů
- Objem konstrukčních a izolačních materiálů

Při stanovení parametrů materiálové náročnosti bylo postupováno zanesením dat získaných od výrobců do tabulek a výpočtem. K vytvoření tabulek, výpočtů a grafických výstupů byl použit software MS Excel 2010.

Vztah tepelně izolačních vlastností a tloušťky:

- Zhodnocení dle tloušťky konstrukce
- Vliv na užitnou plochu budovy

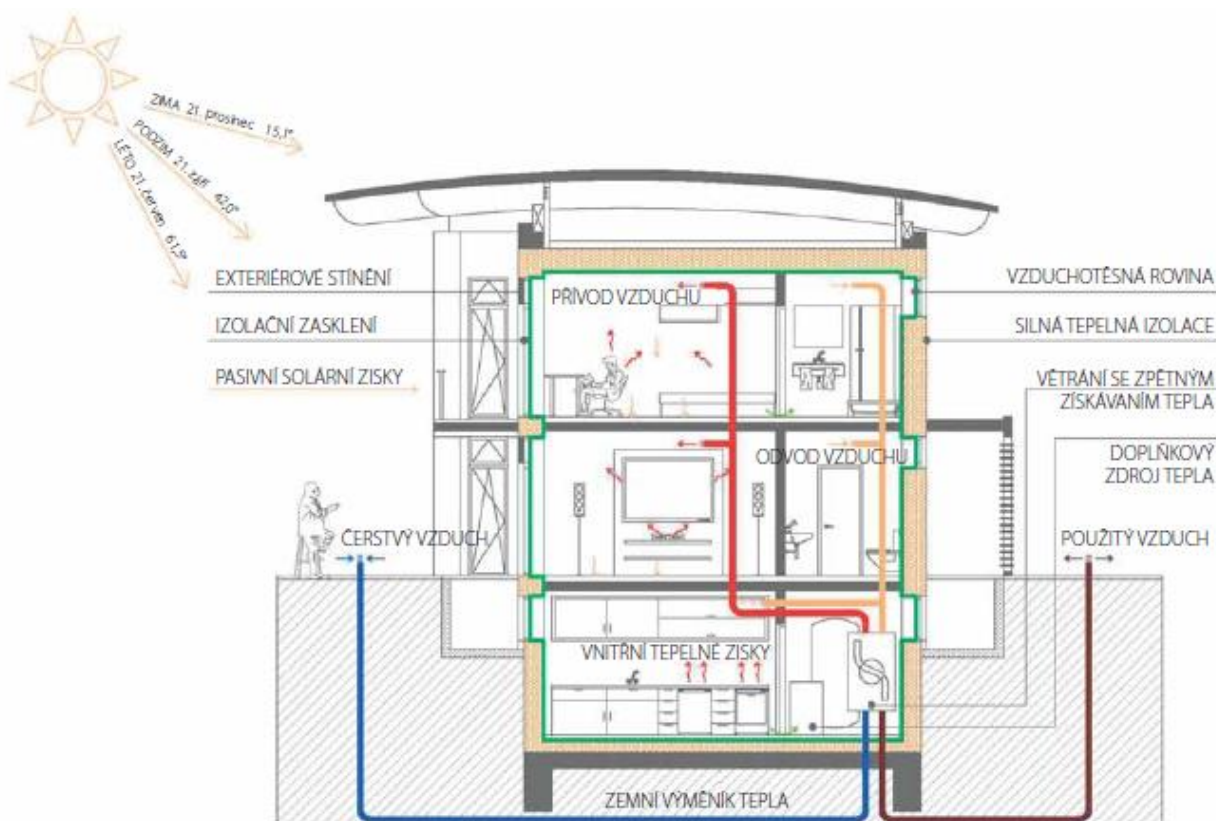
K posouzení parametru vztahu tepelně izolačních vlastností a tloušťky konstrukce byla použita data získaná při výpočtu tepelně technických vlastností, která byla zanesena do tabulek a vzájemně porována.

3 Svislé konstrukce dřevostaveb v pasivním standardu

3.1 Obecné požadavky pasivních dřevostaveb

Dřevostavba je taková stavba, jejíž nosnou konstrukci tvoří dřevěné prvky, nebo prvky na bázi dřeva.[HAVÍŘOVÁ, 2007] Nízkoenergetický (pasivní) dům je vlastně starý stejně jako lidské stavění vůbec.[HUMM, 1999] Všechny stavby, které plnily účel chránit před přírodními vlivy, lze chápat jako nízkoenergetické, protože téměř všechny stavby usilovaly o snížení energetické spotřeby. [TYWONIAK, 2005]

Základní strategie bez závislosti na konstrukčním systému je minimalizace tepelných ztrát prostupem tepla obvodovou konstrukcí díky nízkému součiniteli prostupu a kompaktnímu tvaru budovy, využití zpětného využití tepla, využívání pasivních tepelných zisků v budově, použití účinných tepelných soustav s dobrou regulací výkonu a přednostní volba obnovitelných energetických zdrojů. [TYWONIAK, 2005]



Obr.1 : Schéma pasivního domu [euroline.cz]

Základem návrhu pasivní dřevostavby je vyvážená kombinace všech složek ovlivňující energetickou bilanci budovy. Pasivní domy musí splňovat kritéria platná pro nízkoenergetické domy, a to bez výjimky. Oproti nízkoenergetickým stavbám mají zesílený tepelný plášť, jejich konstrukce a provedení nepřipouští tepelné mosty. Jsou tedy náročnější z hlediska konstrukčních detailů (založení stavby, napojení konstrukcí atd.) , a to jak v projektové dokumentaci, tak i při samotném provedení na stavbě. Doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla jsou dány normou ČSN-73-0540-2 jsou k nahlédnutí v tabulce č. 1. Pro obvodovou konstrukcí vnější stěny nesmí součinitel překračovat doporučenou hodnotu 0,12 - 0,18 W/(m².K), stejně jako u střechy šikmé. [SMOLA, 2011]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² .K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9

Tabulka 1: Základní rozdělení budov podle energetické náročnosti [Moderní dřevostavby]

U pasivních domů, tedy domů s takto kvalitně provedeným zateplením, hrají významnou roli vnitřní tepelné zisky (npř.: svíčka 30 W, žárovka 100 - 300 W, člověk (dle prováděné činnosti) 100 - 300 W, stolní PC 150 W atd.). Nezanedbatelné teplo produkují také lednička, plazmová televize, myčka, pračka, které mohou přispět k vnitřním tepelným ziskům až 300 W. V pasivním domě je žádoucí používat jen elektrospotřebiče s energetickým štítkem „A+++“, tedy vysoce úsporné elektrospotřebiče, s kterými lze dosáhnout úspory až 50 %.[SMOLA, 2011]

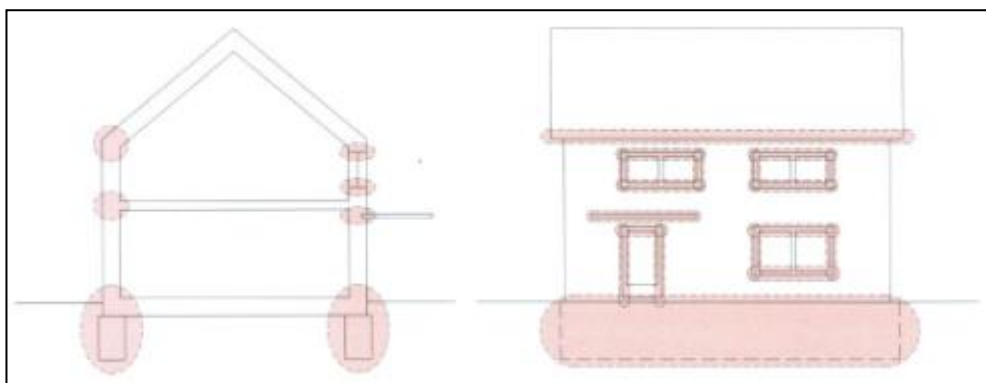
Roční plošná měrná potřeba tepla na vytápění nepřesahuje dle 15 kWh/(m².rok). [HUMM, 1999] Takto nízkou náročnost budovy na energii lze krýt bez použití obvyklé topné soustavy jen se systémem nuceného větrání s rekuperací tepla (s účinností vyšší než 75 %) z odváděného odpadního vzduchu a malým zařízením pro dohřívání vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot. [SMOLA, 2011]

3.2 Konstrukční ochrana

Pro pasivní domy platí několik základních pravidel. Pravidlem je snažit se o jednoduchý půdorys. Ten má společně s tvarem domu, jeho polohou, ale i uspořádáním vnitřních prostor, dopad na konečnou spotřebu energie. Kvůli využití slunečního záření se doporučuje navrhovat velká jižní okna pro získání pasivních solárních zisků, pokud je jejich energetická bilance pozitivní. Další důležitou podmínkou je eliminace tepelných mostů a zajištění vzduchotěsnosti budovy. [TYWONIAK, 2005] Ztráty tepelnými mosty vznikají v oblastech napojení stavebních prvků. Oblasti s rizikem tepelných mostů jsou zobrazeny na obr. č. 2. Tyto ztráty se dají vyjádřit tzv. lineárním činitelem prostupu tepla ψ [W/m.K], ten udává ztrátový přídavný tepelný tok jedním metrem tepelného mostu při teplotním spádu 1 K. Čím nižší je koeficient, tím lépe. [TYWONIAK, 1999]

Dalším požadavkem na pasivní stavbu je vzduchotěsnost. Pasivní dům musí být prakticky naprosto vzduchotěsný, a to po celou dobu životnosti stavby, celková neprůvzdušnost $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$. Tato vzduchotěsnost se dle ČSN EN 13829 ověřuje tzv. „Blower-door“ testem, který je doporučen provést ještě před úplným dokončením stavby. Při testu musí být osazeny výplně otvorů a obnaženy parozábrany v konstrukci z důvodu možnosti opravy

netěsnosti bez nutnosti větších zásahů do konstrukce. [SMOLA, 2011] Netěsnosti v obvodových konstrukcích mohou také způsobit značné tepelné ztráty (mj. závislé na barometrickém tlaku v exteriéru a interiéru). Tyto netěsnosti mohou mít na energetickou bilanci větší vliv než tepelné mosty. Proudí jimi z exteriéru studený vzduch do interiéru a naopak. Právě teplý vnitřní vzduch s sebou při prostupu konstrukcí transportuje značné množství vlhkosti, ta může po ochlazení kondenzovat v konstrukci. [HUMM, 1999]



Obr.2 : Oblasti typických tepelných vazeb [Tywoniak, 2008]

Dalším kritériem pro konstrukci dřevostavby je akustika. Z důvodu nízké objemové hmotnosti dřeva mají všechny konstrukční systémy dřevěných budov malou plošnou hmotnost základní dřevěné konstrukce stěn, stropů i střech. Oproti běžným konstrukcím je konstrukce dřevěná (kvůli své nízké hmotnosti) sama o sobě nedostačující , nelze ji navrhovat jako jednovrstvou a homogenní. Ve vztahu k dřevěným výrobkům jsou přirozeným řešením vícevrstvé konstrukce vytvářené materiály s nižší a rozdílnou ohybovou tuhostí. Stejně jako konstrukce z jiných materiálů i dřevěné budovy musí splňovat požadavky na vzduchovou neprůzvučnost mezi místnostmi normy ČSN 73 0532 [BÍLEK, 2005].

Prostorová tuhost je dalším společným požadavkem pro všechny konstrukce dřevostaveb. Oproti ostatním konstrukcím (např. zděným a monolitickým betonovým), mají konstrukce dřevěné mnohem menší hmotnost a jsou tedy více prostorově zatížené sněhem a větrem. Větší důraz se tedy musí klást na prostorovou tuhost konstrukce. Základní znalost a požadavky s ní spojené jsou tedy nezbytnou součástí návrhu budovy. *Styčníky dřevěných*

konstrukcí kloubové a rámový účinek skeletových i stěnových systémů je omezený a musí být doplněn vhodnými prvky [BÍLEK, 2005].

Neméně důležitým požadavkem na konstrukci je požární odolnost. *Požár lze definovat jako nežádoucí a nekontrolovatelné hoření více materiálů současně. Požár působí vždy destruktivně, ohrožuje zdraví a životy lidí a ničí majetky, které se budovaly i několik let [OSVALD, 2009].* Požární odolnost zajišťujeme správnou volbou materiálu v konstrukci, návrhem konstrukce a správným návrhem únikových cest. Při vystavení požáru musí být zajištěna únosnost jednotlivých stavebních prvků a celé stavby po požadovanou dobu normou ČSN 730821. Dále musí být zamezeno šíření požáru na okolní objekty. V neposlední řadě musí být omezeno šíření ohně a kouře v průběhu hašení hasičskými jednotkami likvidujícími požár [HOLEDA, 2012].

3.3 Požadavky na obvodovou konstrukci

Obvodová konstrukce nejen u nízkoenergetické budovy musí splňovat několik požadavků. Musí omezit prostup tepla, který je vyjádřen koeficientem prostupu tepla U a zajišťovat dostatečnou teplotu povrchu na vnitřní straně konstrukce i za velmi nízkých teplot exteriéru. Dále musí zabránit, nebo alespoň omezit kondenzaci vodních par v konstrukcích, které je vyjádřeno pomocí roční bilance zkondenzovaného a vypařeného množství vodní páry. Musí zabránit průniku vzduchu skrz konstrukci, konstrukčními spárami a konstrukčně podmíněnými netěsnostmi [TYWONIAK, 2005].

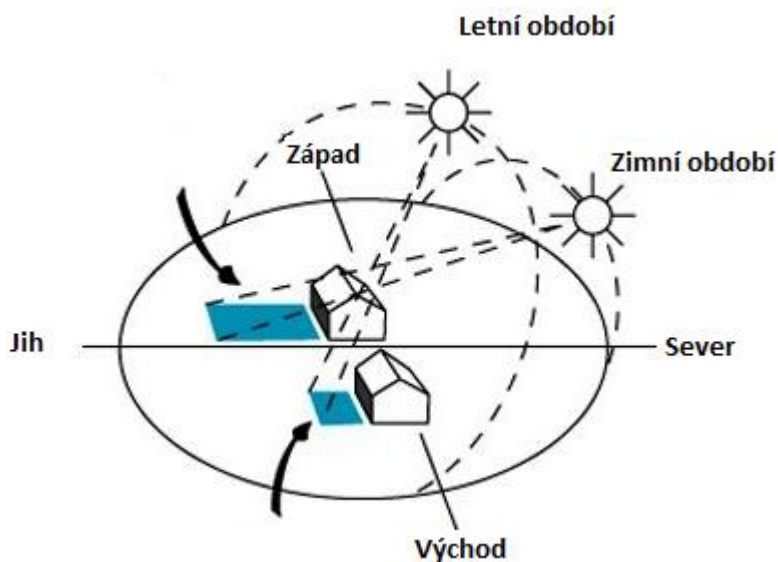
Tepelné ztráty skrz obvodovou konstrukci závisí na tepelné vodivosti jednotlivých vrstev obvodového pláště. Tepelná vodivost udává, jaké množství tepla proteče za jednu sekundu materiálem o tloušťce 1 m při rozdílu teplot obou povrchů 1 K, je vyjádřena součinitelem tepelné vodivosti λ [WmK]. Tepelná vodivost závisí na vlhkosti materiálu, objemové hmotnosti, pórovitosti a jeho tloušťce. Schopnost tepelně a zvukově izolovat společně s nosnou funkcí jsou nejdůležitějšími požadavky na konstrukci. Tato vlastnost tepelně izolovat se dříve vyjadřovala pomocí tepelného odporu R . Dnes podle revize normy ČSN 73 0540 z roku 2002 se používá hodnota součinitele prostupu tepla U [HAVÍŘOVÁ, 2005]. Hodnota součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ pro vnější stěnu pasivního

domu je doporučena normou ČSN 73 0540-2 (2011) $U_{pas,20} = 0,12 - 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.
[stavba.tzb-info]

3.4 Okrajové podmínky

Za okrajovou podmínku považujeme lokalitu místa výstavby, protože ji většinou nemůžeme ovlivnit, je daná. Pro volbu pozemku pro výstavbu je důležité místní klima. To je dáno nadmořskou výškou, výskytem mlh, expozicí vůči větru, slunečním zářením a topografií. Obecně platí, že teplota ve stejné lokalitě klesá o 0,5 K každých 100 metrů výškového rozdílu. Sluneční záření dopadá na jižně orientované polohy o 10 až 30 % více než na svahy severní. Roční průběh slunečního záření v závislosti na světových stranách je znázorněn na obrázku č. 3.

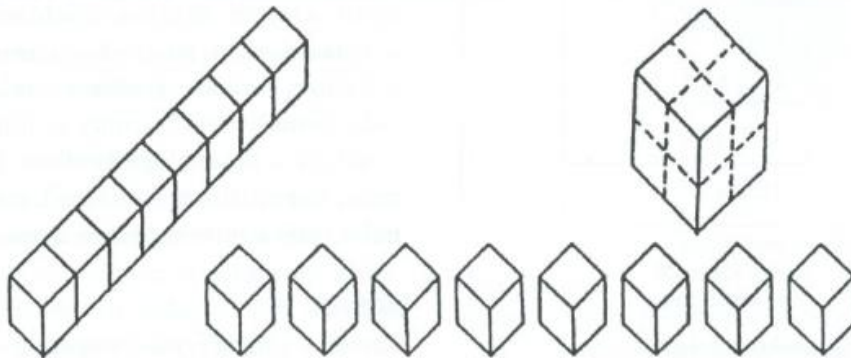
Mlhy mohou nepříznivě ovlivnit solární zisky, hlavně v podzimním období. Vystavení větru je u dobře izolovaných a vzduchotěsných staveb nejvíce tolerovatelné. Rozdíl mezi stěnou vystavenou větru a stěnou chráněnou je pouhá 2 %.[HUMM, 1999]



Obr.3 : Průběh slunečního záření v zimním a letním období [Srubyservis, 2015]

Dalším faktorem je tvarové řešení budovy, tedy kompaktnost tvarů a členitost povrchů. Při navrhování budov se tento aspekt zahrnuje poměrem vnějších ploch a obestavěného objemu budovy (tzv. faktor budovy A/V). Avšak u nízkoenergetických domů, které jsou velmi dobře izolovány, je vliv tvaru budovy malý. Důvodem je malý podíl ztrát prostupem tepla konstrukcí v celkové energetické bilanci. Důležitější je omezení tepelných mostů, velikost a orientace prosklených ploch a vzduchotěsnost obálky budovy. Vliv tvaru budovy na její geometrickou charakteristiku je zobrazen na obr. č. 4.[HUMM, 1999]

	malá budova $V = 1\,000\text{ m}^3$		velká budova $V = 10\,000\text{ m}^3$	
	A [m ²]	A/V [m ² /m ³]	A [m ²]	A/V [m ² /m ³]
všech 8 krychlí spojeno				
v jedné velké krychli	600	0,6	2 785	0,28
8 krychlí v jedné řadě	850	0,85	3 945	0,39
8 jednotlivých krychlí	1 200	1,2	5 570	0,56



Obr. 4 : Vliv velikosti a proporcí na geometrickou charakteristiku A/V [HUMM , 1999]

3.5 Přehled konstrukčních systémů dřevostaveb

Obvodové konstrukce dřevostaveb se skládají z fasádního obkladu, odvětrávacího prostoru, ochranné vrstvy izolace, izolace, parozábrany, instalačního prostoru a vnitřního obkladu. Ochranu proti povětrnosti zajišťuje vrstva fasádní, ochranu tepelnou primárně tepelná izolace a podpůrně ochranná vrstva izolace. Ochranu před vlhkostí zajišťuje parozábrana a dle provedení vnitřní obklad nebo tepelná izolace. Konstrukce dřevostaveb dělíme dle konstrukčních systémů na srubové stavby, roubenky, hrázděné stavby, rámové (sloupkové) stavby, skeletové stavby a stavby z masivního dřeva. Srubové, roubenky a stavby hrázděné se pro výstavbu pasivních domů nepoužívají, proto nejsou zahrnuty v literární rešerši. [KOLB, 2008]

Konstrukce můžeme dále rozdělit dle uspořádání vrstev v plášti budovy na skladby difúzně uzavřené a skladby difúzně otevřené. Jedná se o dva odlišné způsoby řešení skladby stěny z hlediska stavební fyziky, musí být vyřešena kondenzace par v konstrukci. Kondenzuje-li v rosném bodě nahromaděná vodní pára v kapalnou vodu, zlepšují se podmínky pro vznik a růst dřevokazných hub a hmyzu, jejichž působení může narušit samotnou statiku konstrukce celé dřevostavby. Nehledě na to, že plísně zhoršují kvalitu vnitřního prostředí

pro obyvatele domu a vlhkostí jako takovou se degradují izolační schopnosti stěny. [KOLB , 2008]

Difúzně uzavřená konstrukce řeší kondenzaci ve stěně parotěsnou folií z interiérové strany, která zamezuje průniku vodních par do konstrukce. Tato fólie je zpravidla umístěna na vnitřní sádrovláknitou nebo OSB desku. Podmínkou plně funkční difúzně uzavřené konstrukce je neporušená a nepropustná parotěsná fólie, je tedy vhodné využívat skladbu stěny s tzv. instalační předstěnou, na kterou lze montovat další zařízení interiéru, aniž by hrozilo poničení parozábrany. [KOLB , 2008]

Difúzně otevřená konstrukce je založena na principu prostupu plynů molekulárním přenosem (difúze). Oproti předešlému řešení není ve skladbě stěny použita parozábrana, vlhkost má tedy možnost pohybu na molekulární úrovni z vlhčích do sušších míst a z teplejších do chladnějších. Pokud v některém místě konstrukce voda zkondenzuje, má možnost se vypařit. Lze použít tzv. parobrzdou, která oproti parozábraně nezabraňuje vypaření vodní páry. Postupující vlhkost v konstrukci nevyhovuje plísním, houbám a různým mikroorganismům a zlepšuje tak kvalitu vnitřního ovzduší v dřevostavbách. Pro tento požadovaný efekt musí být zajištěn přesný postup a vhodné materiály. [KOLB , 2008]

3.5.1 Rámové konstrukce

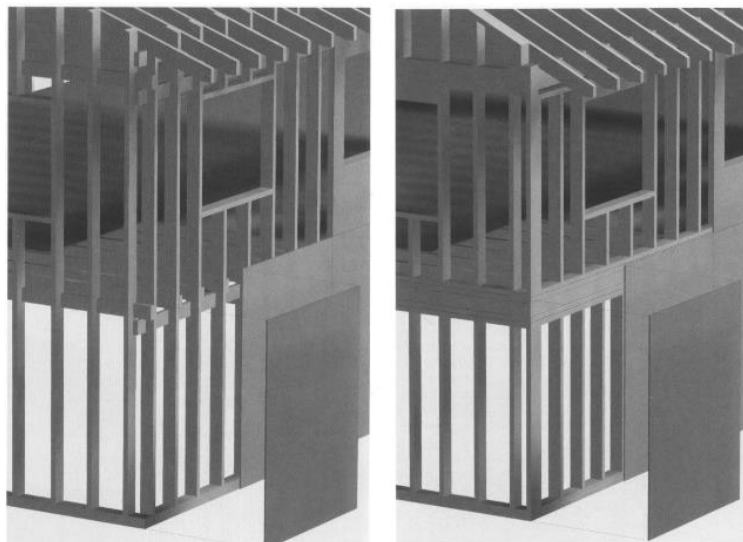
3.5.1.1 Historie

Vznikly zhruba v polovině 19. století ve Spojených státech amerických z potřeb rychlé výstavby. V těchto oblastech se prosadily především dva typy konstrukčních systémů, a to balloon-frame a platform-frame. První použití systému balloon-frame můžeme datovat dokonce do období kolem roku 1804, kdy se první konstrukce objevily okolo řeky Mississippi [Cavanagh, 1997]. V té době se v Evropě nestavělo ze dřeva ale z nových materiálů. Dřevo vyšlo z módy, rukodělná výroba začínala být zatlačována řadou nových strojních prostředků. Systémy převzaté z Ameriky, označované jako sloupkové konstrukce, se v Evropě začali stavět až okolo roku 1930. Naplno se tyto konstrukce v Evropě prosadily až v posledních dvou desetiletích. Zdokonalily se původní rámové

konstrukce a byla zavedena prefabrikace rámových staveb. Původní konstrukce z USA byly přizpůsobené vyšší kvalitou a národními požadavky Evropanům. [KOLB, 2008]

3.5.1.2 Současnost

Současností jsou rámové konstrukce vyvinuté ze systému z USA a Kanady "two by four" a "two by six" (dělení podle standardizovaného rozměru fošen v palcích) a platform-frame (konstrukce se staví po patrech, sloupky jsou dlouhé



na výšku podlaží, viz obrázek 6) a ballon-frame (průběžné sloupky do dalšího patra, viz

Obr.6 : Systémy ballon-frame vlevo a platform-frame vpravo [KOLB, 2008]

obrázek č. 6) Rámové konstrukce jsou dnes nejrozšířenější konstrukce dřevostaveb. [HORÁK, 2007]. V zámoří dle odhadů tvoří až 90 % jedno a dvoupatrové rodinné výstavby. V USA, Kanadě, Skandinávii a Švýcarsku byly postaveny vícepatrové rámové stavby. Ve střední Evropě jsou rámové stavby běžně k vidění a neustále narůstá jejich počet. [KOLB, 2008]

3.5.1.3 Princip

Nosná konstrukce rámových staveb se skládá z dřevěných svislých stojek, které jsou rozmístěny v pravidelných osových vzdálenostech (většinou 400, 600 nebo 625 mm). Dřevěný rám vzniká spojením na tupý sraz pomocí hřebíků svislých stojek a spodním a horním vodorovným pasem. [HAVÍŘOVÁ, 2005] Ballon-frame i Platform-frame jsou tvořeny poměrně hustě umístěnými sloupky. Jednotlivé prvky kostry se spojují pomocí hřebíků. Jedná se tedy o sbíjený konstrukční systém, který je ztužen pomocí pláště ze šikmo umístěných prken, nebo konstrukčními deskovými materiály na bázi dřeva (nejčastěji vodovzdornou překližkou a OSB deskou). Rozdíl je však v uložení vodorovných konstrukcí

a členění na jednotlivá podlaží. Zatímco balloon-frame (v USA někdy také nazývaná jako Chicagská konstrukce) tvoří stěnové sloupky procházející přes několik podlaží, do nichž jsou uloženy stropní nosníky na fošně, která je připevněna do zářezů stěnových sloupků, u platform-frame sloupky končí v každém podlaží horním prahem a vodorovná konstrukce stropu nebo střechy leží na této konstrukci. Platform-frame



umožňuje díky tomuto členění na rozdíl od systému

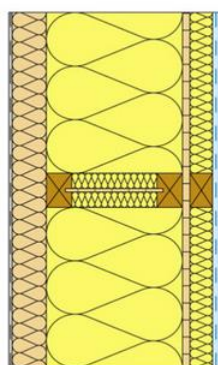
Obr.7: Konstrukce Akastav s I stojnou [woodsystem]

balloon-frame větší flexibilitu a možnost normalizace konstrukčních prvků, nebo i částečnou prefabrikaci stěn. [McPherson, 1988]

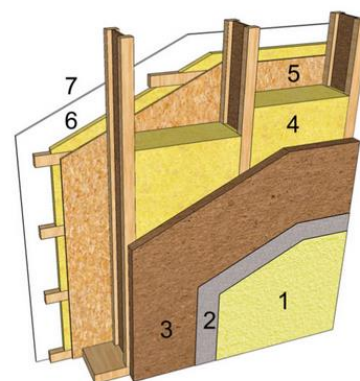
3.5.1.4 Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací

Obvodová konstrukce je tvořena svislými I- nosníky vyplněných izolační měkkou dřevovláknitou deskou. Samotné I profily se skládají z pásnic z jehličnatého řeziva a stojnic, tvořených tvrdou dřevovláknitou deskou. Mezi nosníky je konstrukce vyplněna minerální izolací. Na vnější je konstrukce opatřena fasádní dřevovláknitou deskou se

SKLADBA S4 - EKOPASIV



1 - Silikonová omítka	3 mm
2 - Lepící stěrková hmota	3 mm
3 - Fasádní dřevovláknitá deska	60 mm
4 - I-nosník STEICO wall / minerální izolace	240 mm
5 - OSB 3 s přelepenými spárami	15 mm
6 - Instalační předstěna / rošt + minerální izolace	40 mm
7 - Sádrokartonová deska	<u>12,5 mm</u>
	373,5 mm



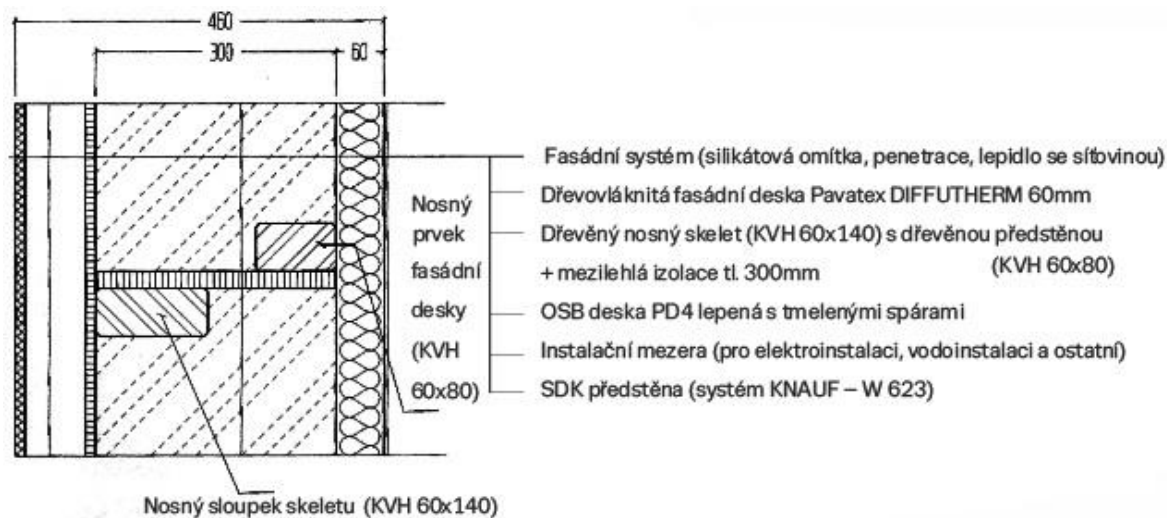
zakončením vnější lepící stěrkou a

Obr. 8 : Konstrukce EKOPASIV [ekodrevostavby]

silikonovou omítkou. Na vnitřní straně je konstrukce zpevněna OSB deskami funkcí parozábrany, na nich latě s mezilehlou minerální izolací zakončené sádrovláknitou deskou tloušťky 12,5 mm. Konstrukce EKOPASIV je zobrazena na obr. 8. [uspornebydleni.cz]

3.5.1.5 Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací

Dřevěný skelet domu je tvořen samonosnou rámovou konstrukcí, která je provedena ze sušených KVH profilů. Výhodou KVH profilů je vysoká rozměrová stálost i vyšší požární odolnost oproti běžným nosníkům z masivního dřeva. Před tuto nosnou konstrukci je představená další KVH konstrukce, která slouží jako nosič fasádních desek Pavatex DIFFUTHERM 60 mm na kterou následuje fasádní systém. Směrem do interiéru je prostor vyplněn mezilehlou minerální izolací o tloušťce 300 mm, následuje OSB deska PD4 s tmelenými spárami a skladba je zakončena instalační mezerou a SDK předstěnou KNAUF. Skladba konstrukce viz obrázek číslo 10. [woodsistem.cz]

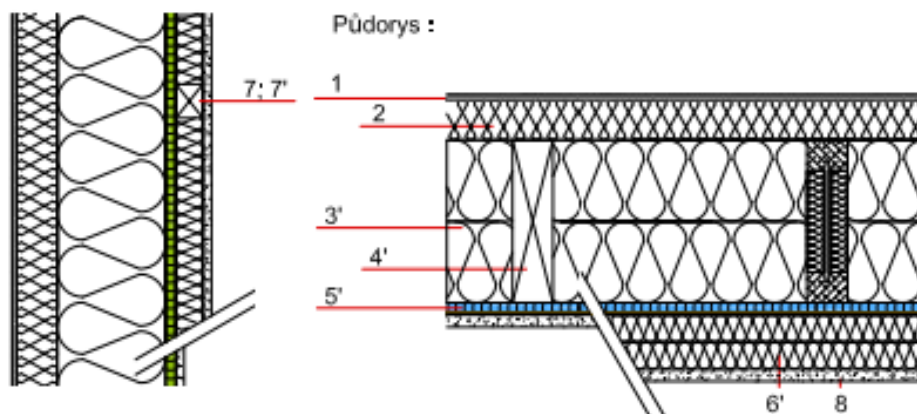


Obr. 10: Rámová konstrukce z KVH [woodsistem.cz]

3.5.1.6 Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny

První skladba stěny obvodového pláště od společnosti Kronospan je varianou se zvýšením požární odolnosti. Jedná se o rámovou konstrukci, skladbu difúzně otevřenou s kontaktním zateplením ETICS a instalační předstěnou. Rámová konstrukce je tvořena KVH profily 60/240 mm s mezilehlou izolací ze skelné vlny. Ze strany exteriérové je skladba zakončena difúzně otevřenou omítkou, která je nanesena na dřevovláknité desce

o tl. 60 mm, sloužící taktéž jako tepelná izolace. Směrem do interiéru je rám zaklopen deskami OSB AIRSTOP ECO které jsou ve stycích neprodyšně spojeny. Následují latě o tloušťce 40 mm s přídatnou minerální izolací a SDK deska o tl. 12,5mm. Skladba



konstrukce je znázorněna na obrázku č. 11. [kronospan.cz]

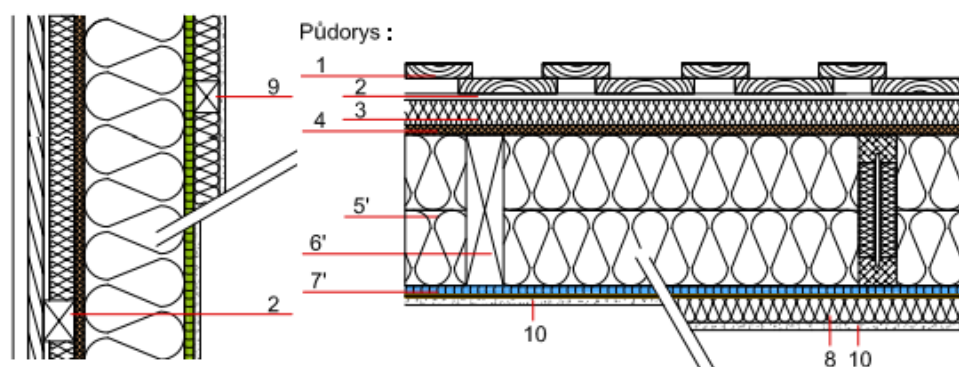
	Popis skladby (exteriér → interiér)	Tl. [mm]
1	Tenkvrstvá omítka, difúzně otevřená ($\mu = 10 - 35$)	7
2	Tepelná izolace - Dřevovláknitá deska (200 kg / m ³)	60
5'	OSB AIRSTOP ECO (ve stycích neprodyšně spojeny)	18 (15)
3'	Dřevěná rámová konstrukce (60/160, e = 625 mm)	240
4'	Tepelná izolace - minerální / skelná vlna / foukaná celulóza	240
6'	Přídavná izolace z minerální vlny	80
7'	Dřevěné latě (a = 400 mm)	80
8	Sádrokarton	12,5

Obr.11: Rámová konstrukce KVH s izolací ze skelné vlny [kronospan.cz]

3.5.1.7 Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, foukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením

Druhou vybranou variantou skladby stěny obvodového pláště od společnosti Kronospan je varianta pro pasivní výstavbu s neprovětrávanou dřevěnou fasádou, dřevěným obložením. Jedná se o difúzně otevřenou skladbu rámové konstrukce s instalační předstěnou. Rámová konstrukce je tvořena I nosníky o rozměrech 60/240 mm, s izolací z foukané celulózy. Na nosníky je upevněna deska MDF Kronospan DFP o tloušťce 16 mm, dřevovláknitá měkká deska, kontralatě a dřevěné fasádní obložení. Směrem do interiéru

je rám zaklopen deskami OSB AIRSTOP ECO které jsou ve stycích neprodyšně spojeny. Následují latě o tloušťce 40 mm s přídatnou minerální izolací a SDK deska o tl. 12,5mm. Skladba konstrukce je zobrazena na obrázku č. 12. [kronospan.cz]



	Popis skladby (exteriér → Interiér)	Tl. [mm]
1	Dřevěné fasádní obložení	24
2	Dřevěné kontralatě	50
3	Dřevovláknitá deska měkká (250 kg / m ³)	40
4	Kronospan DFP (MDF,RWH)	16
5'	Dřevěná rám. kce - KVH popř. I-nosník (60/240, e = 625 mm)	240
6'	Tepelná izolace - minerální / skelná vlna / foukaná celulóza	240
7'	OSB AIRSTOP ECO (ve stycích neprodyšně spojeny)	15
8	Dřevěné kontralatě	40
9	Přídavná izolace z minerální vlny	40
10	Sádrokarton	12,5

Obr.12: Rámová konstrukce s I-nosníky, foukanou celulóзовou izolací a dřevěným obložením [kronospan.cz]

3.5.2 Rámové prefabrikované konstrukce

Rámové prefabrikované (panelové) konstrukce vychází z konstrukce rámové, liší se však způsobem výstavby. Na rozdíl od konstrukcí rámových, které jsou zhotoveny přímo na staveništi, před samotnou montáží na stavbě předchází značná prefabrikace. Základním prvkem této konstrukce jsou panely v různých stupních dokončení. [Smola 2011] V současné době jsou prefabrikované konstrukce zastoupeny prakticky všemi firmami zabývající se montovanými rodinnými domy. Rozhodující část výroby se odehrává ve výrobních halách. [Smola 2011] Technologie výroby prefabrikovaných konstrukcí podrobně popsána v kapitole 4.3 a 5.3, kde je porovnána s konstrukcí rámovou

staveništní. Dle stupně dokončení před dopravením na staveniště na panely hrubé a finální, dále panely dělíme podle účelu v konstrukci a funkce v objektu. [Novák, 2008].

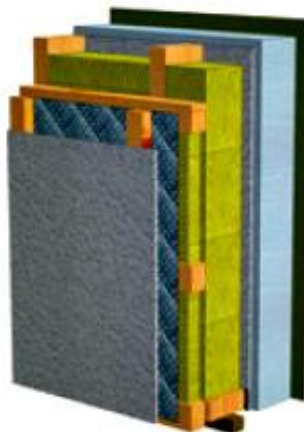
3.5.2.1 Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV

Skladba se skládá ze sádrovláknité desky Rigistabil v interiéru, dřevěného roštu, který slouží jako instalační předstěna o tloušťce 40 mm, dále následuje parotěsná fólie Delta-Reflex. Rámová konstrukce je vyplněna tepelnou izolací v tloušťce 140 mm, na ni je připevněna sádrovláknitá deska Rigidur, polystyren EPS, na který je nanesena armovaná omítka. Celá skladba je zakončena strukturovanou omítkou. [alfahaus.cz]

ALFA PASIV

SKLADBA (od interiéru)

konstrukční deska RIGISTABIL	12,5 mm
instalační předstěna	40 mm
parotěsná fólie Delta-Reflex	1 mm
tepelná izolace ve skeletové rámové kci	160 mm 60/160 mm
tepelná izolace v masivním roštu	50 mm 60/100 mm
sádrovláknitá deska Rigidur	12,5 mm
izolační polystyren	160 mm
podkladová armovaná omítka	4 mm
strukturovaná omítka	2 mm



Obr.13: Difúzně uzavřená konstrukce se vzduchovou mezerou [alfahaus.cz]

3.5.2.2 Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand

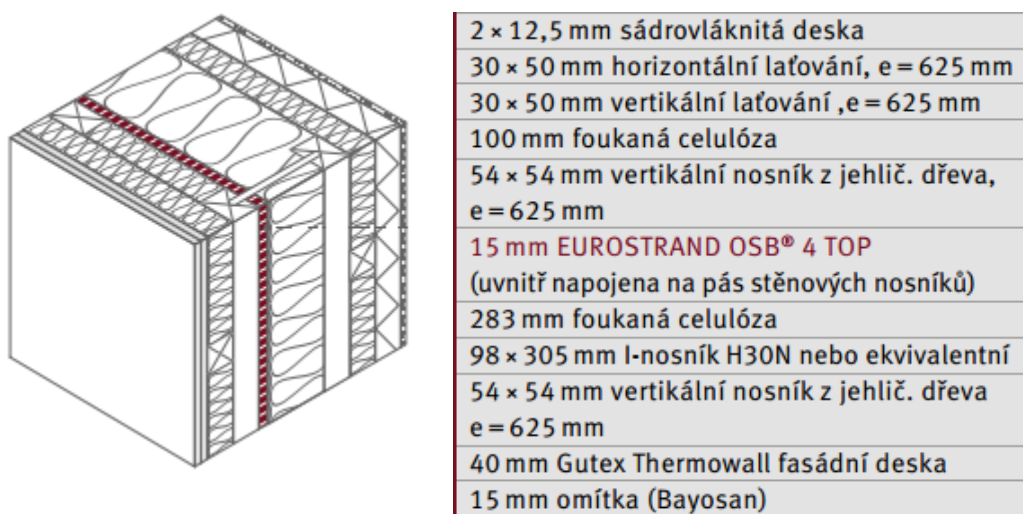
Jedná se o konstrukci z předem prefabrikovaných panelů z dřeva a cihel MassivWand®. Netradičním prvkem této konstrukce je cihlová vrstva umístěna na interiérovou část skladby. Ta by měla zajistit větší tepelně akumulaci schopnost konstrukce a větší izolaci proti hluku. Stěna je složena z dřevěné příčkové konstrukce a minerální tepelné izolace. Směrem do exteriéru následuje sádrovláknitá deska, polystyrenová tepelná izolace, na níž je armování podomítka a omítka. Směrem do interiéru pak sádrokartonová deska, na níž je zmíněný cihlový zásobník, konečnou vnitřní vrstvou je sádrokarton. Konstrukce s biotickým zásobníkem je zobrazena na obrázku č. 14. [elk.cz]



Obr.14: Stěna z dřeva a cihel MassivWand [elk.cz]

3.5.2.3 Rámová prefabrikovaná konstrukce EGGER z I nosníků

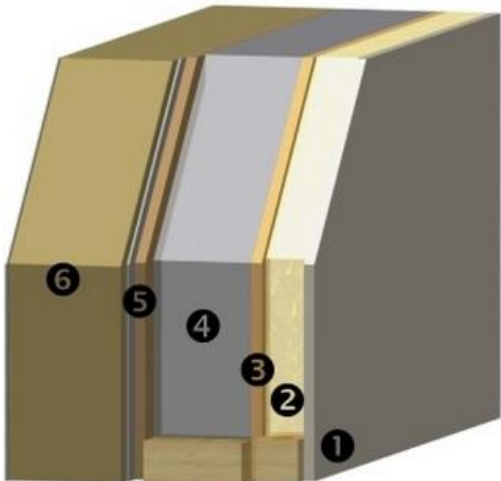
Obvodová stěna pasivního domu od firmy EGGER od interiéru tvořena dvěma požárně ochrannými kalcium-silikátovými deskami Promatech, ty jsou upevněné na horizontálním laťování vyplněném foukanou celulóзовou izolací. Nosnou konstrukci tvoří I nosníky, vyplněné též foukanou celulóзou Isofloc, na něž jsou z vnitřní strany připevněny desky OSB EUROSTAND. Z exteriérové strany je skladba zakončena omítkou Bayosan, která je nanášena na fasádní desku Gutex Thermowall. [EGGER.cz]



Obr.15: Stěna EGGER z I nosníků [EGGER.cz]

3.5.2.4 Rámová konstrukce prefabrikovaná DNK Pasiv

Prefabrikovaná rámová konstrukce DNK Pasiv je jsou difúzně otevřenou konstrukcí. Nosnou kostru stěny tvoří dřevěné prvky z konstrukčního dřeva KVH 60/140. Tato kostra je z interiérové strany opatřena OSB deskou, která plní funkci parozábrany. Prostor mezi sloupky je vyplněn foukanou tepelnou izolací Isocell, zaklopen dřevovláknitou deskou



DHF. Na exteriérové straně je skladba zakončena ETICS zateplovacím systémem v tloušťce 167 mm. [drevene-domy.info]

1. Sádkartonová deska (12,5 mm)
2. Instalační mezera vyplněna minerální tepelnou izolací (60 mm)
3. OSB/4 (15mm)
4. Dřevěný rám vyplněný foukanou tepelnou izolací Isocell (140 mm)
5. DHF - dřevovláknitá deska (15 mm)
6. Zateplovací systém ETICS (167 mm)

Obr.16: Prefabrikovaná konstrukce DNK Pasiv [drevene-domy.info]

3.5.2.5 Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva

Základním nosným prvkem v konstrukci jsou velkoplošné desky EUROPANEL. Jde o panel inspirovaný tradiční americkou technologií SIPs (Structural Insulated Panels). Ten je tvořen z celoplošně slepených OSB desek (obalu) a izolačním jádrem z stabilizovaného samozhášivého polystyrenu, označuje se také jako sendvičový izolovaný panel bez



výztužných žeber. Na EUROPANEL ve směru do exteriéru je nanesena lepicí stěrka, dále přidaný tepelný izolant EPS F, fasádní stěrka a venkovní omítka. Na interiérové straně je panel obložen sádkartonem. Stěna EUROPANEL je zobrazena na obrázku č. 17. [europanel.cz]

Obr.17 : Skladba stěny EUROPANEL [europanel.cz]

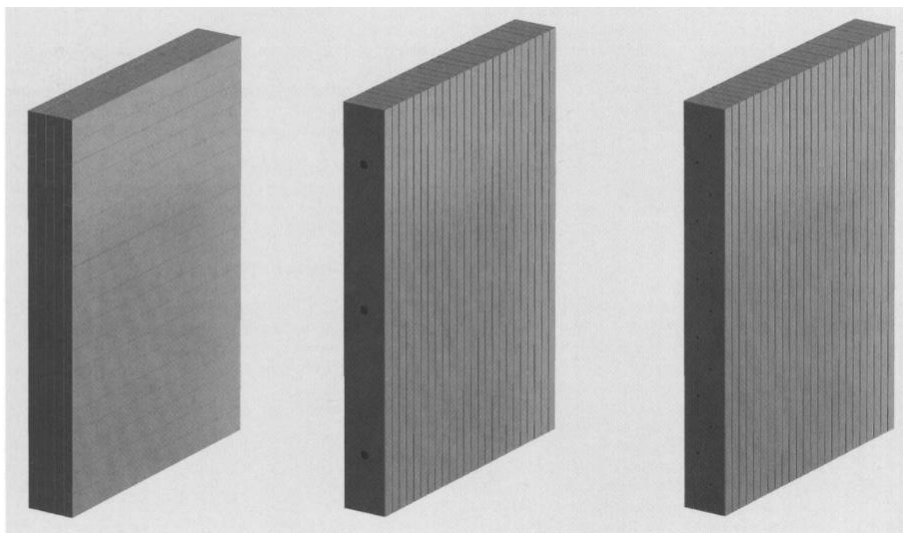
3.5.3 Masivní konstrukce

3.5.3.1 Historie

Masivní konstrukcí se myslí konstrukce, v níž je v nosné vrstvě použito alespoň 50 % uzavřené dřevěné vrstvy. Nejstarší masivní stavbou je stavba srubová. Tím, že tyto stavby byly zhotoveny z neopracovaných průřezů nebo byly opracovány minimálně, vynikaly podstatně delší životností. [HAVÍŘOVÁ, 2005]

3.5.3.2 Současnost

V současnosti nemusí být masivní konstrukce jen srubového typu. Dnešní masivní konstrukce jsou vlastně přepisem srubové stěny [HORÁK, 2007]. Od zavedení lepeného dřeva se objevilo velké množství patentových systémů, ve kterých je masivní nosná vrstva konstrukce tvořena vrstvenými nebo skládanými přířezy. Ojedinělé nejsou ani duté lepené panely, vyplněné izolačním materiálem. Přířezy jsou buď lepené nebo spojené mechanicky pomocí hmoždíků nebo hřebíků (viz obr. 18). [HAVÍŘOVÁ, 2005]



Obr.18: Křížově slepené řezivo vlevo, spojené kolíky ve středu, vrstvené z řeziva spojeno hřebíky vpravo [Dřevostavby, 2008]

3.5.3.3 Princip

Podstatou masivních konstrukcí jsou nosné stěny, ve kterých je nosná funkce plněna masivní dřevěnou vrstvou, která má velké pevnosti hlavně v ohybu a vzpěru. Prvek z masivního dřeva tedy přebírá funkci nosnou a funkci plnicí. Tyto velké panely jsou složeny z jedné, tří, pěti nebo více vrstev a na vnitřní straně mohou být obloženy nebo mohou být ponechány pohledové. [HORÁK, 2007] Nosná dřevěná vrstva skladby stěny je tvořena buď plnými profily nebo dle jednotlivých konstrukčních systémů skládanými nebo lepenými vrstvami masivního dřeva. Z důvodu nevyhovujících izolačních vlastností masivního dřeva se do skladby stěny přidává vrstva tepelně-izolační [HAVÍŘOVÁ, 2005]. Je vhodné orientovat masivní stěnu do interiéru a nechat ji zde pohledovou. Dosáhne se tak

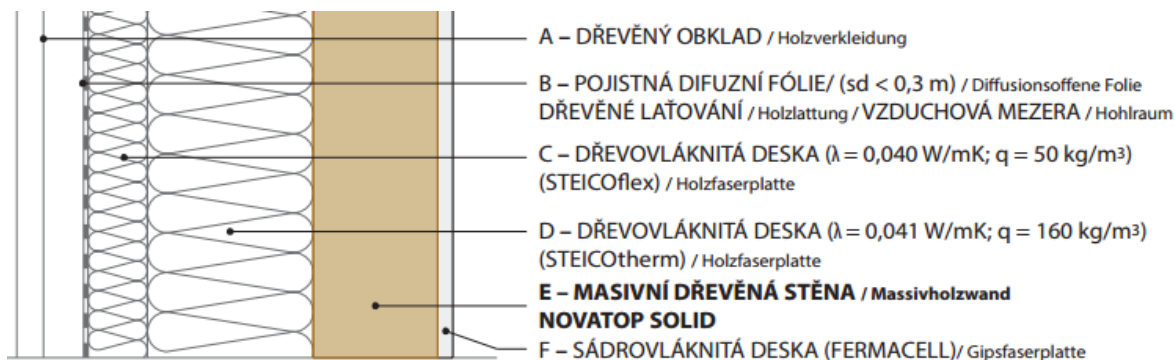


Obr.19: Stavba z masivního lepeného dřeva NOVATOP [<http://www.novatop-system.cz>]

v interiéru moderního estetického vzhledu v kombinaci s výbornými tepelně-technickými a akustickými parametry takovéto stěny [HORÁK, 2007].

3.5.3.4 Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou

Základní nosnou část konstrukce tvoří NOVATOP SOLID. Je to stavební konstrukční prvek, velkoplošný vícevrstvý panel typu CLT (cross laminated timber). Každá vrstva panelu je tvořena vícevrstvými deskami SWP (Solid wood panel) složených z lamel rostlého smrkového dřeva, které jsou k sobě lepeny v podélném i příčném směru. Vrstvy lamel jsou kladeny do kříže a určují konečnou tloušťku panelu. Tyto panely jsou vyráběny v tloušťkách 62, 84 a 124mm. Princip sestavení stěnových panelů je buď podélným přeplátováním nebo použitím příložek. Z interiéru jsou u této skladby panely obloženy sádrovláknitými deskami FARMACELL. Na nosnou konstrukci směrem do exteriéru navazuje dvakrát dřevovláknitá deska o různé objemové hmotnosti, pojistná difúzní, vzduchová odvětrávaná mezera a na latích upevněný dřevěný obklad (viz obr. 20). [novatop-system.cz]



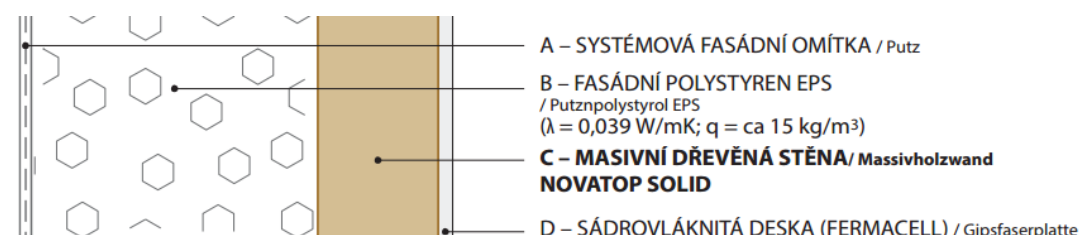
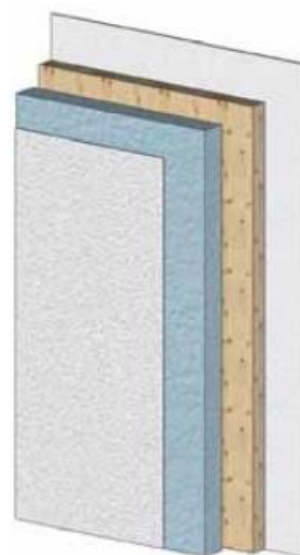
W 102	rozměry [mm] / Dimensionen						
	dřevěný obklad / Holzverkleidung	dřevěné laťování / Holzlattung	dřevovláknitá izolace / Holzfaserdämmung	dřevovláknitá izolace / Holzfaserdämmung	NOVATOP Solid	sádrovláknitá deska / Gipsfaserplatte	celková tloušťka konstrukce / Gesamtdicke der Konstruktion
3	20	30	60	240	62	10	422

Obr.20: Stěna z masivního dřeva s dřevěnou fasádou [novatop-system.cz]

3.5.3.5 Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou

Podobně jako v předchozím případě se jedná o systém NOVATOP, kde nosnou konstrukcí stěny je masivní dřevěný panel NOVATOP SOLID o tloušťce 84 mm. Na interiérovou stranu je skladba zakončena sádrovláknitou deskou FERMACELL. Směrem do exteriéru následuje fasádní polystyren EPS o síle 300 mm, který zajišťuje tepelně izolační vlastnosti stěny a skladba je zakončena systémovou fasádní omítkou Putz (viz obr. 21). [novatop-system.cz]

W 108	rozměry [mm] / Dimensionen				
	fasádní omítka / Putz	fasádní polystyren / Putzpolystyrol	NOVATOP Solid	sádrovláknitá deska / Gipsfaserplatte	celková tloušťka konstrukce / Gesamtstärke der Konstruktion
6	8	300	84	10	402



Obr.21: Stěna masivního dřeva s EPS a fasádní omítkou [novatop-system.cz]

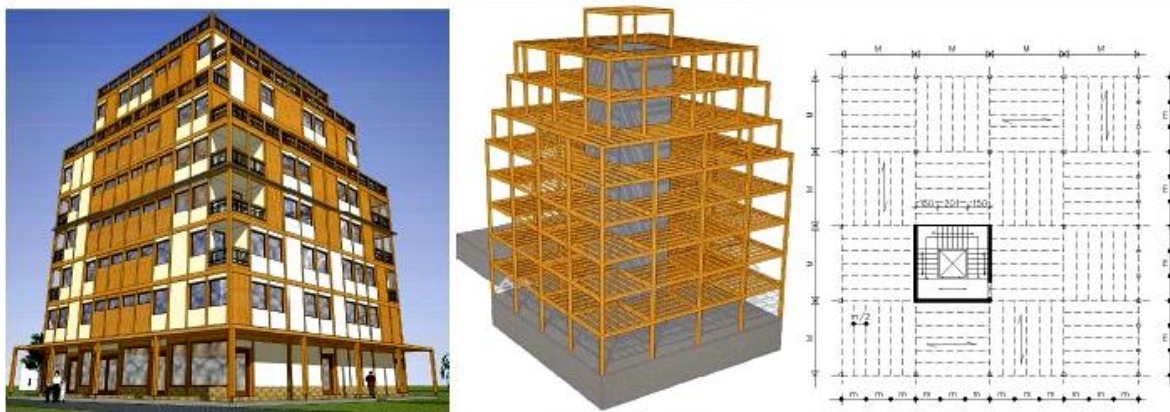
3.5.4 Skeletové konstrukce

3.5.4.1 Historie

Již v minulosti, kromě jednoduchého kladení kulatiny na sebe, se kulatiny vkládaly do země jako svislé sloupy, jejichž větvová část sloužila k upevnění střešních příčných dřev. Pro vyplnění prostoru mezi sloupy skeletu se tehdy používalo pletivo z větví, doplněné hlinou [KOLB, 2008]. Hrázděný systém dřevostaveb byl inovován tím, že se zdokonalily spoje tyčových prvků v konstrukci. To mělo za následek zjednodušení dřevěné kostry, vznikly skeletové systémy (viz obr 22).[HAVÍŘOVÁ, 2005]

3.5.4.2 Současnost

Dnes u skeletových systémů rozlišujeme různé druhy dle řešení sloupů, nosníků i spojovacích prostředků. Základními druhy jsou dvojitý sloup a nosník, sloup a dvojitý nosník, sloup a přilehlý nosník nebo nosníky uložené na sloupech [KOLB, 2008]. Prozatím posledním značným zdokonalením dřevěných konstrukcí a staveb byl začátek používání lepeného dřeva. Lepené prvky umožňují překlenutí velkých rozponů a zaručují

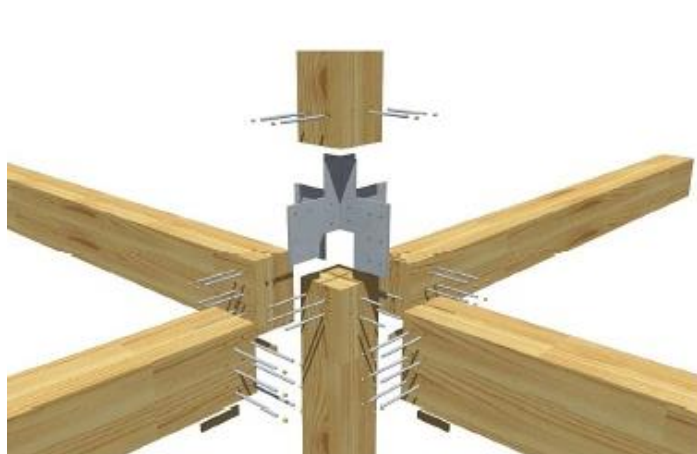


Obr.23: Dřevěná skeletová konstrukce [stavba.tzb-info.cz]

rozměrovou stabilitu [HAVÍŘOVÁ, 2005]. Dnešní dřevěné skelety mají výborné statické vlastnosti právě díky lepeným nebo jinak upraveným dřevěným nosníkům. Není výjimkou, že modifikované dřevo má lepší vlastnosti než ocel nebo beton. Například v konstrukcích vícepodlažních skeletů, kde by byla potřeba mohutných betonových sloupů ve spodních patrech, postačí dřevěný skelet s mnohem subtilnějšími profily, a to díky mnohem nižší hmotnosti konstrukce. Příklad vícepodlažní konstrukce těžkého skeletu je znázorněn na obrázku č. 23.[HORÁK, 2007]

3.5.4.3 Princip

Skeletové konstrukce jsou tvořené pomocí dřevěných sloupů, nosníků a vyztužujících prvků v pravidelném rastru. Obvodové stěny jsou



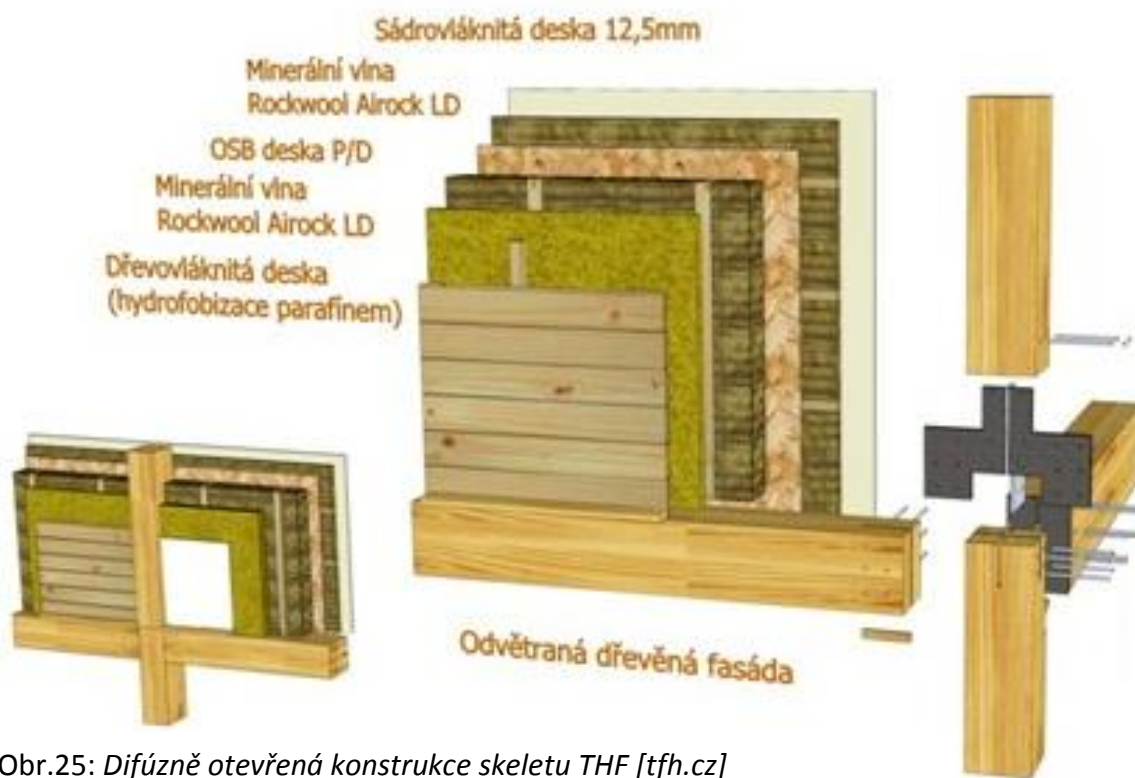
Obr.24: Styčník těžkého skeletu s svařovanou ocelovou deskou [stavba.tzb-info.cz]

zabudovány v tomto rastru, a tudíž nemají funkci přenosu zatížení, plní funkci ochrannou a výplňovou a nesou jen svoji vlastní váhu. Vlastní skladba obvodové stěny je tedy podobná jako u rámové konstrukce s rozdílem funkce nepřenášení zatížení. [KOLB, 2008]

Rozdíl mezi lehkým (rámovou konstrukcí) a těžkým skeletem je hlavně ve velikosti nosných svislých a vodorovných prvků. Zatím co u systému lehkého skeletu (sloupkové konstrukce) jsou tyto nosné prvky většinou tloušťky 50 – 60 mm a výšky 120 -160 mm (obdelníkového průřezu). Sloupky těžkých dřevěných skeletů, přenášející zatížení, jsou většinou mohutnější s čtvercovým průřezem. [KUKLÍK,2011]

3.5.4.4 Difúzně otevřená konstrukce skeletu THF

Nosná konstrukce je tvořena svislými sloupy, vodorovnými nosníky a výztužnými prvky v pravidelném rastru 2,5 až 6 m. Prostor mezi nosnou kotrrou je vyplněn skladbou, skládající se z interiéru ze sádrovláknité desky, tepelné izolace z minerální vlny, následuje

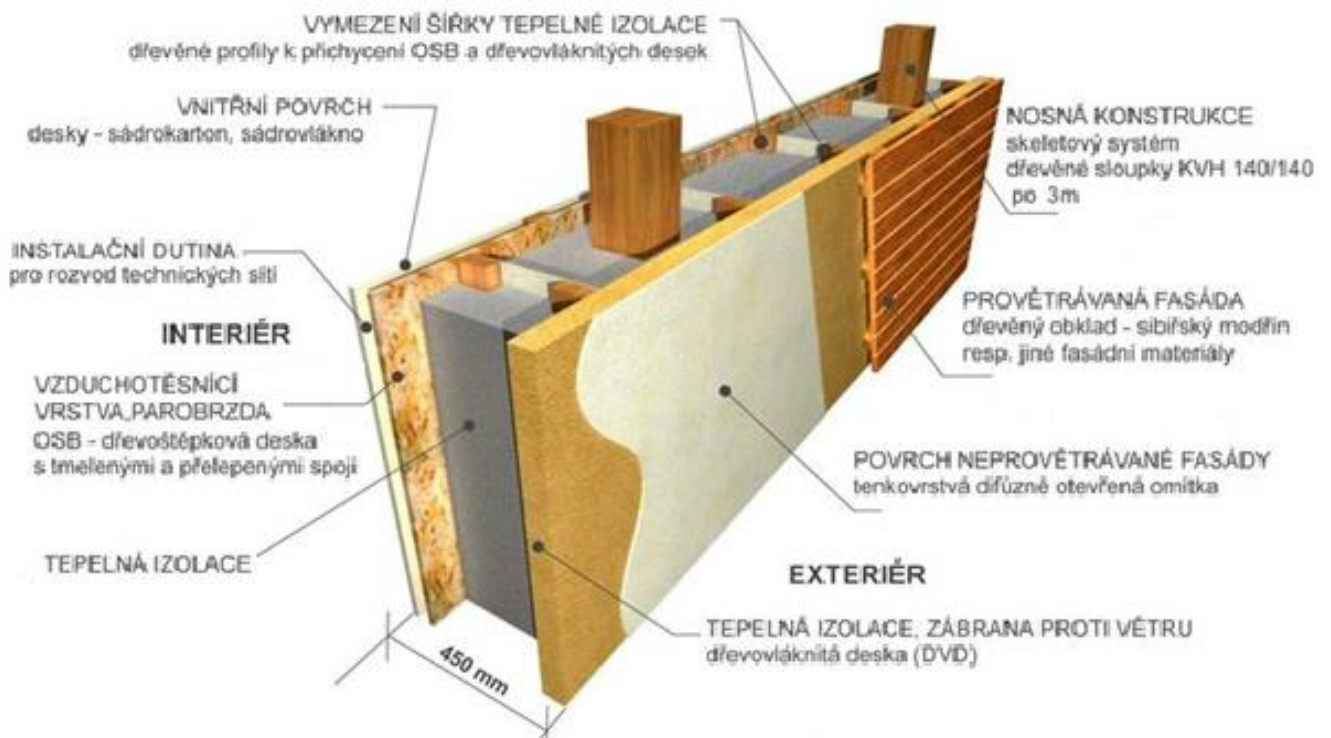


Obr.25: Difúzně otevřená konstrukce skeletu THF [tfh.cz]

OSB deska s funkcí parobrzdy, v dřevěném roštu z izolace z minerální vlny a dřevovláknité desky. Skladba je z exteriéru zakončena odvětranou dřevěnou fasádou nebo tenkovrstvou prodyšnou omítkou. Skladba stěny je znázorněna na obrázku č. 25. [tfh.cz]

3.5.4.5 Difúzně otevřená konstrukce skeletu ATREA

Jako další příklad systému dřevěného skeletu je konstrukce od firmy ATREA. Díky návrhu konstrukce jako skeletu zastává velké části konstrukce tepelně izolační funkce. Skladba od interiérové strany je následující: vnitřní sádrovláknitá deska pod níž je instalační vzduchová mezera, následuje deska 15 mm OSB ve funkci parobrzdy, nosné dřevěné sloupy KVH a dřevěné profily připevněné na desky OSB, mezi nimiž je umístěna tepelná izolace. Směrem k exteriéru následuje dřevovláknitá deska, na kterou lze přímo umístit difúzně otevřenou omítku nebo provětrávanou dřevěnou fasádu. Skladba stěny je znázorněna na obrázku č. 26. [domy.atrea.cz]



Obr.26: Příklad skladby t dřevěného skeletu [domy.atrea.cz]

3.6 Přehled použitého materiálu

V této kapitole jsou stručně popsány materiály použité ve výše uvedených konstrukcích.

3.6.1 Řezivo

Řezivem se rozumí dřevo, tedy organický, anizotropní, nehomogenní a hyroskopický materiál. Řezivo ze dřeva získáváme podélným vyřezáním z průmyslových výřezů a to radiálně nebo tangenciálně k letokruhům. Jako konstrukční dřevo se používá dřevo převážně jehličnatých stromů (smrku, borovice a jedle) a to díky jejich větším délkám, rovnosti kmene, větší měkkosti dřeva a nižší ceně. Tvrdé listanté dřeviny se spíše využívají pro konstrukci podlah, schodišť a obkladů. [KUKLÍK, 2006] Dle rozměrů se dřevo dělí na jednotlivé druhy, avšak pro konstrukci dřevostaveb jsou nejvíce důležité hranoly (průřezová plocha větší než 100 m²), hranolky (průřezová plocha 25 – 100 m²), prkna (do tloušťky 40 mm) a fošny (tloušťka 40 – 100 mm). [ČSN EN 336 (73 2822)] Tyto výřezy se ve dřevostavbách používají od nosných sloupků po rošty. [VAVERKA, 2008]

3.6.2 Konstrukční dřevo nastavované zubovým spojem (KVH - Konstruktionvollholz)

V zámoří je používán název Solid Structural Timber, avšak v České republice stejně jako ve zbytku Evropy je znám pod německou zkratkou KVH. Konstrukční dřevo je tloušťkově egalizovaný, délkově nastavovaný, čtyřhranně frézovaný materiál, který je možné vyrábět až do délek 18 m. Vyrábí se převážně ze smrkového řeziva o požadovaných průřezech s nadmírou, vysušených na vlhkost 12 - 16 %. Takto vysušené řezivo je zkraceno, zbaveno vad (suků, poškozených konců atd.) a na čelech opatřeno vyfrézovaným zubovým spojem. Po nanesení lepidla se jednotlivé části spojí tlakem, nakrátí na požadované délky a po vytvrzení lepidla vyfrézují a zbaví všech čtyř hran. Výsledkem celého procesu je tedy vysušený, kvalitní a hladce opracovaný hranol o rozměrech od 40 x 60 mm až do průřezu 140 x 240 mm. [BÖHM, 2012]

3.6.3 Desky z křížem vrstveného masivního dřeva (CLT – cross laminated timber)

Jedná se o velkoformátové komponenty vyráběné z křížem vrstveného masivního dřeva. Vyrábí se nejčastěji z vysušených smrkových lamel skládaných do vrstev, jednotlivé vrstvy jsou k sobě otočeny o 90 stupňů. Počet vrstev se dle jednotlivých výrobců a požadovaných tloušťek panelů liší. Lamely jsou k sobě slepeny ve všech směrech PUR lepidly, které odpovídají evropským normám pro zhotovení nosných dřevěných stavebních dílů pro interiér i exteriér. Panely se vyznačují vysokou pevností, stabilitou a mimořádnou statickou únosností – vytváří masivní, bezpečnou a skutečně celodřevěnou konstrukci. [KUKLÍK, 2006] Obr.: Panely z masivního lepeného dřeva NOVATOP [novatop-system.cz]

3.6.4 Desky z plochých orientovaných třísek OSB

Oriented strand board (OSB), nebo-li deska z plochých orientovaných třísek je vícevrstevná deska z dřevěných třísek a lepidla. Vyráběná převážně z jehličnanů, a to ze smrku a borovice ale lze použít všechny dřeviny o hustotě 300 – 700 kg/m³. Deska je tvořena obvykle třemi vrstvami třísek, přičemž střední vrstva (až 50 % objemu celé desky) svírá s vrstvami povrchovými pravý úhel. Třísky jsou přesně stanoveny svým tvarem a tloušťkou, konkrétně délky 50 až 70 mm s šířkou menší než je polovina jejich délky. Jednotlivé vrstvy jsou k sobě spojeny účinkem tlaku a tepla s voděodolným lepidlem. Dále se desky brousí za účelem hladkého povrchu, vyrábí se v tloušťkách 6 – 25 mm. Tímto postupem je zajištěna zvýšená tuhost a pevnost desky avšak při použití se musí pamatovat na anizotropní fyzikální a mechanické vlastnosti. [BÖHM, 2012] Díky svým výborným vlastnostem jako jsou vysoká pevnost, nízká hmotnost, možnost výroby velkoplošných formátů a odolnost proti vlhkosti a nízká cena jsou vyhledávaným stavebním materiálem. [KUKLÍK, 2006]

3.6.5 Dřevovláknité desky

Dřevovláknité desky se vyrábějí ze dřeva bez kůry, které je nejprve rozloženo na štěpky, Tyto štěpky jsou dále rozvlákněny hydrotermickou úpravou na vlákna. Tyto vlákna jsou poté lisována za různého tlaku, s použitím lepidla nebo bez něj. Vznikají desky s velmi

jemnou strukturou, které mají dle stupně lisování rozdílné vlastnosti. Výroba probíhá buď mokrým nebo suchým způsobem. [BÖHM, 2012]

Měkké dřevovláknité desky jsou vyráběny většinou mokrou cestou. Nelisují se, jsou předlisovány jen velmi nízkým tlakem a dostahují objemové hmotnosti maximálně 400 kg/m³. Kvůli nízkému stupni slisování (předlisování) dřevních vláken nemohou být použity jako samostatný konstrukční materiál. V dřevostavbách nacházejí uplatnění jako tepelná či zvuková izolace připevněna k nosné konstrukci. [BÖHM, 2012]

$\lambda = 0,038 - 0,047$ [W/m.K], $c_p = 2,3$ [kJ/kg.K]

Polotvrdé dřevovláknité desky také známy jako Medium-density fibreboard (MDF) dřevovláknité desky se střední hustotou, jsou vyrobeny způsobem suchým. Nejdůležitější vlastností je homogenita v celém průřezu a objemová hmotnost do 900 kg/m³, běžně kolem 650 kg/m³. Většinou se používají k výrobě nábytku, ale můžeme se s nimi setkat i ve stavebnictví. [BÖHM, 2012]

Tvrdé dřevovláknité desky byly vyráběny mokrou technologií, kde bylo přidáváno jen velmi malé množství lepidla a parafínu. Kvůli odvodnění vláken až při lisování na sítu byla patrná textura síta na rubové straně hotové desky, avšak dnes se již vyrábí i suchým způsobem. Mají objemovou hmotnost nad 900 kg/m³ a nejčastěji se vyrábí v tloušťkách 3 a 5 mm. V konstrukčních systémech dřevostavem se používají jen na stojiny I nosníků. [BÖHM, 2012]

3.6.6 Desky z vláken a sádry

Sádrovláknité desky se vyrábí z dřevního vlákna, častěji však z vláken získaných rozmělněným starého papíru na vláknitou látku. Takto získaná vlákna se mísí se sádro, lisují a následně suší. Mají dobré fyzikální a mechanické vlastnosti, hustotu kolem 1100 kg/m³, jsou nehořlavé a mohou se různě povrchově dokončovat. Sádrovláknité desky jsou homogenní, opatřené papírovým obalem jsou desky sádrokartonové. Používají se nejčastěji v interiérech jako vnitřní plášť sendvičových konstrukcí se součinitelem tepelné vodivosti 0,30 – 0,32 W/mK. [BÖHM, 2012]

3.6.7 Polystyren EPS

Pěnový expandovaný polystyren je osvědčenou izolační stavební hmotou. Základní surovinou je zpěňovatelný polystyren ve formě perli, obsahující zpravidla 6–7 % pentanu jako nadouvadla. Výroba pěnového polystyrenu probíhá v zásadě ve třech stupních: předpěnění, meziuskladnění a výroba bloků, desek, tvarovek, popřípadě pásů. Nejdůležitější vlastností je nízká tepelná vodivost, ta závisí na hustotě, vlhkosti a teplotě desek. U dřevostaveb se používá pro difúzně uzavřené konstrukce jako tepelná izolace. [SDRUŽENÍ EPS ČR, 2012]

$$\lambda = 0,032 - 0,039 \text{ [W/m.K]}, c_p = 1,25 \text{ [kJ/kg.K]}$$

3.6.8 Minerální izolace

Kamenná vlna je vyráběna za vysokých teplot rozvlákněním čediče bazaltu či gabra v peci a zformováním těchto vláken do rohoží či desek. Měkké rohože se používají pro nezátížené stavební izolace, jako jsou např. půdní prostory, a také pro technické izolace. Tuhé desky se používají pro zatížené izolace stavebních konstrukcí, do kontaktních zateplovacích systémů ETICS, provětrávaných fasád, jako výplňové izolace do rámových dřevostaveb. Kamenná vlna je nehořlavá, proto nachází uplatnění v konstrukcích se zvýšenými požadavky na požární bezpečnost. [SVOBODA, 2007]

$$\lambda = 0,035 - 0,041 \text{ [W/m.K]}, c_p = 0,84 \text{ [kJ/kg.K]}$$

Skelná vlna se vyrábí jednak z nového skla nebo recyklací a rozvlákněním obalového skla. Roztavené sklo je rozfoukáváno na vlákna a formováno do desek nebo rohoží. Použití skelné vlny je obdobné jaké u vlny kamenné. Běžně se výrobky užívají k izolaci mezi krokve krovů či sloupky lehkých skeletových staveb. [SVOBODA, 2007]

$$\lambda = 0,036 - 0,040 \text{ [W/m.K]}, c_p = 0,84 \text{ [kJ/kg.K]}$$

3.6.9 Foukaná celulóza

Jedná se o tepelnou a zvukovou izolaci, která se aplikuje foukáním do volného prostoru, dutin, případně nástřiku na izolované povrchy. Tato tepelně akustická izolace na bázi celulóзовých vláken má dlouhou historii, pochází ze severoamerického kontinentu z období 70. let 20. století. Základní surovinou pro výrobu celulózové izolace je novinový

papír, který je rozvlákněn na strojním zařízení a impregnován minerálními přísadami. Přísady zvyšují odolnost proti napadení hlodavci a drobnými organismy, zajišťují odolnost proti houbám a plísním a rovněž zlepšují protipožární parametry izolace. [SVOBODA, 2007]

$$\lambda = 0,036 - 0,040 \text{ [W/m.K]}, c_p = 1,9 \text{ [kJ/kg.K]}$$

4 Definování hodnotících parametrů

Většina konstrukcí používaných na českém tuzemském trhu si je značně podobná jak skladbou konstrukce, tak i použitými materiály. Ze současně používaných konstrukcí bylo od každého základního typu konstrukce vybráno několik konstrukčních systémů dle následujících kritérií. Konstrukce vyhovují součinitelem prostupu tepla doporučeným normou ČSN 73 0540-2 (2011) $U_{pas,20} = 0,18 - 0,12 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$ (s orientací hodnot ke spodní hranici, s co nejmenším rozptylem). Dalším požadavkem na výběr konstrukcí byla co možná nejmenší podobnost v provedení a použitých materiálech. V této části práce budou definovány parametry, které mohou pomoci při výběru nejvhodnějšího konstrukčního systému.

Vybrané konstrukce jsou zhodnoceny dle parametrů tepelně-technických a materiálových. Dále dle časové náročnosti dvou základních způsobů výstavby, a to stavby sloupkové staveništní a prefabrikované. Posledním parametrem je srovnání dle vztahu tepelně izolačních vlastností a tloušťky konstrukce.

Hodnotící parametry tedy jsou:

Tepelně technické:

- Součinitel prostupu tepla U
- Korekce prostupu tepla U_c
- Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}
- Šíření vlhkosti konstrukcí (dle ČSN 73 0540-2)

Časová náročnost výstavby:

- Porovnání staveništního a prefabrikovaného způsobu výstavby

Materiálová náročnost:

- Materiálové složení konstrukcí
- Porovnání vlastností použitých izolačních materiálů
- Objem konstrukčních a izolačních materiálů

Vztah tepelně izolačních vlastností a tloušťky:

- Zhodnocení dle tloušťky konstrukce
- Vliv na užitnou plochu budovy

4.1 Tepelně technické parametry

Z hlediska tepelně-technických vlastností jsou konstrukce posouzeny podle kritérií ČSN 730540-2 (2011). Pro každou konstrukci je vypočítán součinitel prostupu tepla konstrukce, korekce prostupu součinitele tepla, teplotní faktor a roční množství zkondenzované a odpařené vodní páry. Jednotlivé parametry a jejich výpočet jsou popsány níže.

4.1.1 Součinitel prostupu tepla, korekce součinitele prostupu tepla

Základním parametrem pro stanovení tepelných ztrát stavebního dílce a hodnocení tepelných vlastností konstrukcí dle normy ČSN 73 0540-2 (2011) je součinitel prostupu tepla $U[W/m^2.K]$. Udává množství tepla, které projde za časovou jednotku jedním m^2 materiálu při teplotním rozdílu 1 Kelvin. Konstrukce má tím lepší tepelně izolační vlastnosti, čím je hodnota U nižší. Avšak celková hodnota součinitele U není jen součtem hodnot jednotlivých vrstev materiálů, ale zahrnují se zde i tepelné mosty a tepelné vazby mezi jednotlivými vrstvami konstrukce. Postup pro výpočet korekce na vliv systematických tepelných mostů byl převzat z ČSN EN ISO 6946, čl. 6,2 (rok 2008). Spočívá v posouzení všech kombinací skladeb v konstrukci, vztažené ke skladbě převládající.

Součinitel prostupu tepla je odvozen od tepelného odporu konstrukce R . Tepelný odpor je fyzikální veličina vyjadřující tepelně izolační vlastnosti konstrukce, a je přímo závislá na tloušťce konstrukce (d) a součiniteli tepelné vodivosti. V konstrukci, kde lze uvažovat jednosměrné šíření tepla, se odpor stanoví dle vztahu (1):

$$R = \sum R_j \quad (1)$$

kde R_j je odporem j -té vrstvy konstrukce, stanovený pro jednotlivé hmotné vrstvy konstrukce ze vztahu (2):

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (2)$$

Vztah mezi součinitelem prostupu tepla U a tepelného odporu R je dán vztahy (3) a (4):

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{U} - (R_{si} + R_{se}) = R_T - (R_{si} + R_{se})$$

4.1.2 Nejnižší povrchová teplota konstrukce

Pomocí parametru nejnižší povrchové teploty se hodnotí možnost nepříznivého vlivu působení vlhkosti, jako pravděpodobnost výskytu plísní, riziko povrchové kondenzace a problémů s tím spojených. Nejnižší povrchová teplota se značí $\theta_{si,min}$, její jednotkou jsou $^{\circ}\text{C}$. [ČSN 73 0540-2 (2011)]

Nejnižší povrchová teplota se dle ČSN 73 0540-3 spočítá pro ustálené šíření tepla při zimních návrhových teplotách venkovního a vnitřního vzduchu a pro odpory na vnější a vnitřní straně konstrukce R_{se} a R_{si} . Pro výpočet nejnižší povrchové teploty $\theta_{ai,min}$ se používá hodnota $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. [ČSN 73 0540-2 (2011)]

Při výpočtu $\theta_{si,min}$ se také musí uvažovat vliv systematických tepelných mostů, které se vyznačují zvýšeným tepelným tokem. Rozhodující je vždy nejnižší ze zjištěných povrchových teplot θ_{si} . [ČSN 73 0540-2 (2011)]

Vnitřní povrchová teplota (5) se stanoví pro dané podmínky ze vztahu:

$$\theta_{si} = \theta_{si} - \frac{\theta_i - \theta_e}{R_0} \times R_{si} \quad (5)$$

V našem případě vyjadřujeme vnitřní povrchovou teplotu tzv. faktorem vnitřního povrchu f_{Rsi} , který se spočítá dle následujícího vztahu (6):

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (6)$$

4.1.3 Tepelná akumulace

Další důležitou tepelně-technickou vlastností je tepelná akumulace. Nejjednodušeji lze vyjádřit pomocí tepelné kapacity. Jedná se tedy o množství tepla, které stěna pohltí nebo vydá při ohrátí resp. ochlazení o jeden °C. Norma rozlišuje z hlediska tepelné akumulace obvodové konstrukce na dva základní typy, masivní (těžké) a lehké. Rozdíl mezi nimi je v posuzování prostupu tepla U . Lehké konstrukce jsou posuzovány přísněji z důvodu značně menší akumulace tepla než konstrukce masivní. Jako lehké jsou dle normy ČSN 73 0540-2 definovány konstrukce s celkovou plošnou hmotností všech vrstev pod 100 kg/m^2 , ostatní jsou tedy konstrukce těžké s velkou tepelnou setrvačností. Masivní dřevěná konstrukce je srovnatelná s cihlovou nebo pórobetonovou stěnou, protože objemová vlhkost měkkého dřeva se pohybuje okolo 600 kg/m^2 . U cihelných tvárnic s dutinami nebo u pórobetonu se pohybuje objemová hmotnost mezi 700 až 900 kg/m^2 . [HORÁK, 2007]

4.1.4 Šíření vlhkosti konstrukcí

Z hlediska šíření vlhkosti konstrukcí jsou důležitými veličinami difúze a kondenzace vodních par v obvodových konstrukcích, ty jsou tedy z nejdůležitějších vlastností z hlediska stavební fyziky dřevostaveb. Difúze je definována jako molekulární přenos plynů, v případě obvodových konstrukcí nás zajímá binární směs suchý vzduch - vodní pára. Vodní párou se myslí obecná vlhkost v interiérech staveb, která je obsažena ve vzduchu (vypařuje se z rostlin, lidí atd.). Jak daná konstrukce obstojí při difúzi vodní páry záleží hlavně na pořadí jednotlivých vrstev. V zimním období prochází vodní pára, na základě parciálních tlaků, z interiéru směrem ven z konstrukce. Ta se nesmí cestou konstrukcí zastavit v jiných místech, než kde jsou ještě vysoké teploty. Když dojde k zastavení v místech s nízkými teplotami (obvykle vnější část konstrukce), vodní pára zkondenzuje a způsobí vlhnutí materiálu dané vrstvy. Vodní pára nesmí zkondenzovat hlavně v materiálech, v kterých dochází zvýšením vlhkosti k zhoršení vlastností nebo snížení životnosti (materiály organického původu, dřevo, většina tepelných izolací). Norma povoluje v konstrukci určitou kondenzaci s tím, že v dalším cyklu dojde k odpaření větráním. [HORÁK, 2007] U konstrukcí dřevěných, nebo na bázi dřeva se musí dodržet dovolená vlhkost podle ČSN 49 1531-1. Jestliže za normových podmínek užívání překročí

rovnovážná hmotnostní vlhkost 18 % v konstrukci, je její funkce ohrožena. Dále se hodnotí roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce, kde nesmí zůstat žádné zkondenzované množství páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce. To znamená, že roční množství zkondenzované páry uvnitř konstrukce $M_{c,a}$ [kg/m².a] (7) musí být nižší, než vypařené roční množství páry uvnitř konstrukce $M_{ev,a}$ [kg/m².a] (7). [ČSN730540-2, 2011]

Vypočítá se ze vztahu:

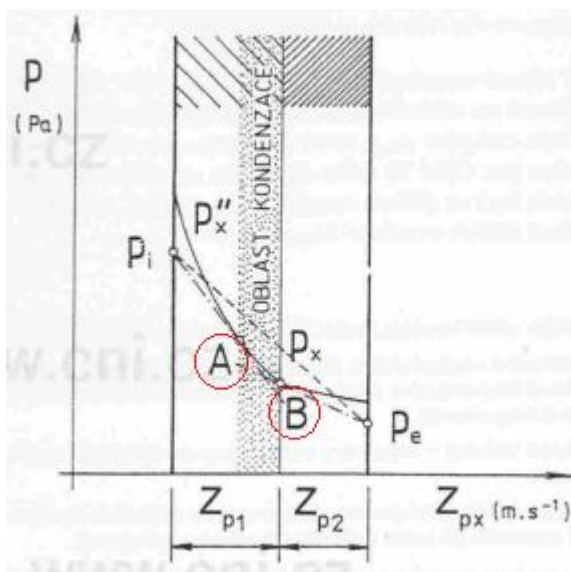
$$M_{a,j} = (g_{A,j} - g_{B,j}) \times t_{e,j} \quad (7)$$

Hustota difúzního toku pary proudící konstrukcí od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace g_A v kg/(m².s) je stanoví (8):

$$g_A = \frac{p_i - p_{sat,A}}{Z_{pB}} \quad (8)$$

A obdobně hustota difúzního toku vodní páry proudící konstrukcí od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu v kg/(m².s) ze vztahu (9):

$$g_B = \frac{p_{sat,B} - p_e}{Z_{pB}} \quad (9)$$



Na obrázku č. 27 je znázorněna hustota difúzního toku páry od vnitřního povrchu k hranici A (oblasti kondenzace) a tok páry od hranice B k vnějšímu povrchu.

Obr. 27: Schéma stanovení výskytu a oblasti kondenzace [ČSN-73-0540-4]

Legenda

- R_j - odpor j-té vrstvy konstrukce [$m^2.K/W$]
- d_j - tloušťka j-té vrstvy konstrukce [m]
- λ_j - součinitel tepelné vodivosti materiálu j-té vrstvy konstrukce ve [$W/m.K$]
- R_{si} - odpor prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$m^2.K/W$]
- R_{se} - odpor prostupu tepla na vnější straně konstrukce [$m^2.K/W$]
- R_T - tepelný odpor konstrukce [$m^2.K/W$]
- Θ_{si} - vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}C$]
- Θ_e - návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období dle ČSN 73 0540-3 [$^{\circ}C$]
- Θ_{ai} - návrhová teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}C$]
- f_{Rsi} - teplotní faktor vnitřního povrchu [-]
- $M_{a,j}$ - dílčí množství zkondenzované (vypařitelné) vodní páry [kg/m^2]
- $g_{A,j}$ - hustota difúzního toku vodní páry, proudící konstrukcí od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace [$kg/m^2.s$]
- $g_{B,j}$ - hustota difúzního toku vodní páry, proudící konstrukcí od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu [$kg/m^2.s$]
- $t_{c,j}$ - celková doba trvání teploty venkovního vzduchu [s]
- Z_{pA} - difúzní odpor od vnitřního povrchu konstrukce k hranici A oblasti kondenzace [m/s]
- $P_{sat,A}$ - parciální tlak nasycené vodní páry na hranici A oblasti kondenzace [Pa]
- Z_{pB} - difúzní odpor od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu konstrukce [m/s]

$P_{\text{sat},B}$ - parciální tlak nasycené vodní páry na hranici B oblasti kondenzace [Pa]

[ČSN730540-2, 2011]

4.1.5 Nastavení okrajových podmínek pro výpočty prostupu tepla

Pro posouzení základních tepelně-technických vlastností jednotlivých skladeb konstrukčních systémů je použit program Stavební fyzika - Svoboda software (Teplu 2010). Okrajové podmínky jsou nastaveny pro všechny skladby stejně, a to následovně. Vnitřní vlhkostní podmínky pro známou třídu vlhkosti 3 (střední vlhkost - bytové domy s malým počtem osob). Návrhové hodnoty pro výpočet vnitřních povrchových teplot, teplotního faktoru a bilance dle ČSN 730540, teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i = 50\%$. Tyto návrhové podmínky odpovídají bytovému domu situovanému v Praze, návrhové podmínky vnitřního prostředí odpovídají obývací místnosti. Tepelný odpor předepisuje norma ČSN EN ISO 13788 na vnitřní straně konstrukce $R_{si} = 0,13 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$ a na vnější straně (R_{se}) $0,04 \text{ [(m}^2\cdot\text{K/W)]}$. Dále bude výpočet ovlivňovat korekce součtu prostupu tepla na vliv systematických tepelných mostů $\Sigma\Delta U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ (celkové zvýšení součinitele prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946), ten se spočítá z jednotlivých celkových ploch konstrukce v oslabeném a neoslabeném místě. [Svoboda software 2014]

Výpočty jednotlivých výše uvedených konstrukcí jsou zaneseny do tabulek č. 2 až č. 15. Podrobné výpočty konstrukcí včetně grafů (graf Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce, graf Rozložení teplot v typickém místě konstrukce) jsou k nahlédnutí v přílohách.

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.1.4 obr. č. 8 (str. 20)

Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
Sádrokarton	0,0125	0,22	9
Isover Hardsil	0,04	0,037	1
OSB desky	0,015	0,13	50
Isover Hardsil	0,24	0,037	1
Dřevovláknité desky měkké	0,04	0,046	5
JUB Silikátová hlazená omítka	0,006	0,87	30
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		370,5 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,010 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,119 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,1956 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		5,4977 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,971
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 2: Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.1.5 obr. č. 10 (str. 21)

Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK KNAUF	0,0125	0,22	9
Uzavřená vzduch. dutina tl. 66 mm	0,0665	0,3694*	0,2
OSB deska	0,015	0,13	50
Min. izolace Isover Hardsil	0,3	0,037	1
DVD měkká Diffutherm	0,06	0,046	5
JUB Silikátová hlazená omítka	0,006	0,87	30
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		460,0 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,022 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,123 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,1021 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		6,0263 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,970
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 3: Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.1.6 obr. č. 11 (str. 22)

Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK KNAUF	0,0125	0,22	9
Min. izolace Isover Hardsil	0,08	0,037	1
OSB deska	0,018	0,13	50
Skelná vlna Knauf Classic 032	0,24	0,035	3,2
DVD měkká	0,06	0,046	5
Tenkvrstvá omítka hlazená	0,007	0,87	30
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		417,5 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,025 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,118 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,1477 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		6,1283 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,971
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 4:Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.1.7 obr. č. 12 (str. 23)

Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky foukanou celul. izolací a dřev. obložením			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK deska	0,0125	0,22	9
Knauf Classic	0,04	0,035	3,2
OSB deska	0,015	0,13	50
Knauf Classic	0,24	0,035	3,2
Kronospan DFP	0,04	0,09	10
DVD měkká	0,04	0,046	5
Uzavřená vzduchová mezera	0,001	0,0455*	1
Dřevěné obložení	0,0024	0,18	157
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		390,9 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,013 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,125 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,2833 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		2,9366 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,969
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 5: Rám kce Kronospan s I-nosníky foukanou celul. izolací a dřev. obložením

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.2.4 obr. č. 13 (str. 25)

Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ [W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK deska RIGISTABIL	0,0125	0,22	9
Uzavřená vzduch. dutina tl.	0,04	0,067	1
Dörken Delta-Reflex	0,0003	0,17	400000
Min. izolace Isover Hardsil	0,05	0,037	1
Min. izolace Isover Hardsil	0,16	0,037	1
SDK deska Rigidur	0,0125	0,22	9
Polystyren EPS	0,16	0,034	100
JUB Silikátová hlazená omítka	0,006	0,87	30
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		441,3 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,012 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,106 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,0 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		0,0 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,974
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 6: Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.2.5 obr. č. 14 (str. 26)

Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ [W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK deska	0,0125	0,22	9
MassivWand biotický zásobník	0,05	0,26	10
SDK deska	0,0125	0,22	9
Foalbit	0,0034	0,21	46600
Min. izolace Isover Hardsil	0,2	0,037	1
SDK deska Rigidur	0,015	0,22	9
Polystyren EPS	0,1	0,034	100
JUB Silikátová hlazená omítka	0,0066	0,87	30
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		400,0 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,019 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,131 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,0 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		0,0 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,968
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 7: Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.2.6 obr. č. 15 (str. 26)

Stěna EGGER z I nosníků			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ [W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK deska	0,0125	0,22	9
SDK deska	0,0125	0,22	9
Foukaná celulóza Climatizer Plus	0,1	0,044	2
OSB deska	0,015	0,13	50
Foukaná celulóza Climatizer Plus	0,283	0,044	2
DVD měkká	0,04	0,046	5
Bayosan DP 85	0,015	0,07	8
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		440,0 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,009 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,116 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,0623 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		7,2784 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,971
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 8: Stěna EGGER z I nosníků

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.2.7 obr. č. 16 (str. 27)

Celostěnové panely DNK Pasiv			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ [W/m.K]	Faktor dif. odporu
JUB Silikátová hlazená omítka	0,007	0,87	30
Polystyren EPS	0,16	0,034	100
DHF - DVV	0,015	0,13	12,5
Foukaná celulóza Climatizer Plus	0,14	0,04	2
OSB deska	0,015	0,13	50
Min. izolace Isover Hardsil	0,06	0,037	1
SDK deska	0,0125	0,22	9
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka		409,5 mm
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla		0,012 W/m ² .K
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce		0,109 W/m ² .K
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry		0,0 Kg/m ² .rok
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry		0,0 Kg/m ² .rok
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách		0,973
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 9: Celostěnové panely DNK Pasiv

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.2.8 obr. č. 17 (str. 27)

Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK Rigidur	0,0125	0,22	9
OSB deska	0,022	0,13	50
Polystyren EPS	0,226	0,034	100
OSB deska	0,022	0,13	50
Polystyren EPS	0,1	0,034	100
Tenkovrstvá omítka	0,007	0,87	30
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka	389,5 mm	
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla	0,007 W/m ² .K	
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce	0,105 W/m ² .K	
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry	0,0010 Kg/m ² .rok	
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry	0,3754 Kg/m ² .rok	
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách	0,974	
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 10: Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.3.4 obr. č. 20 (str. 30)

Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou			
Materiál (od interiéru)	Tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
Dřevěný obklad	0,02	0,18	157
Uzavřená vzduchová mezera	0,03	0,3333*	0,3
Jutafol D 96 Silver	0,0002	0,39	30000
Dřevovláknité desky nelisované 1	0,06	0,038	10
Dřevovláknité desky nelisované 1	0,24	0,038	10
Novatop Solid	0,062	0,18	157
SDK deska	0,0125	0,22	9
Vlastnosti konstrukce			
Tl.	Tloušťka	424,7 mm	
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla	0,007 W/m ² .K	
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce	0,122 W/m ² .K	
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry	0,1320 Kg/m ² .rok	
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry	0,2760 Kg/m ² .rok	
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách	0,970	
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE

Tabulka č. 11: Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.3.5 obr. č. 21 (str. 31)

Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou				
Materiál (od interiéru)		tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
JUB Silikátová hlazená omítka		0,008	0,87	30
Polystyren EPS		0,3	0,034	100
NOVATOP Solid		0,084	0,18	157
SDK Fermacell		0,01	0,22	9
Vlastnosti konstrukce				
tl.	Tloušťka	402,0 mm		
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla	0,000 W/m ² .K		
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce	0,119 W/m ² .K		
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry	0,0237 Kg/m ² .rok		
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry	0,1662 Kg/m ² .rok		
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách	0,971		
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE	

Tabulka č. 12: Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.4.4 obr. č. 25 (str. 34)

Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu TFH				
Materiál (od interiéru)		tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
SDK deska		0,0125	0,22	9
Min. izolace Isover Hardsil		0,06	0,037	1
OSB deska		0,015	0,13	50
Min. izolace Isover Hardsil		0,24	0,037	1
Dřevovláknité desky nelisované 1		0,06	0,038	10
JUB Silikátová hlazená omítka		0,008	0,87	30
Vlastnosti konstrukce				
tl.	Tloušťka	395,5 mm		
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla	0,027 W/m ² .K		
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce	0,127 W/m ² .K		
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry	0,5696 Kg/m ² .rok		
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry	3,5213 Kg/m ² .rok		
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách	0,969		
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE	

Tabulka č. 13: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu TFH

Schéma konstrukce viz kapitola 3.3.4.5 obr. č. 26 (str. 35)

Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu Atrea				
Materiál (od interiéru)		tl. [mm]	λ[W/m.K]	Faktor dif. odporu
JUB Silikátová hlazená omítka		0,008	0,87	30
DVD měkká		0,04	0,046	5
Foukaná celulóza Climatizer Plus		0,384	0,04	2
OSB deska		0,015	0,13	50
Uzavřená vzduch. dutina tl.		0,002	0,067	1
SVD Fermacell		0,001	0,22	9
Vlastnosti konstrukce				
tl.	Tloušťka	450,0 mm		
U_c	Korekce součinitele prostupu tepla	0,008 W/m ² .K		
U	Součinitel prostupu tepla konstrukce	0,101 W/m ² .K		
$M_{c,a}$	Roční množství zkondenzované vodní páry	1,1292 Kg/m ² .rok		
$M_{ev,a}$	Roční množství odpařené vodní páry	2,9783 Kg/m ² .rok		
$f_{Rsi,p}$	Teplotní faktor v návrhových podmínkách	0,975		
Roční bilance šíření vlhkosti dle normy EN ISO 13788			VYHOVUJE	

Tabulka č. 14: Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu Atrea

4.2 Materiálová náročnost

Hodnocení materiálové náročnosti je zpracováno pro každý příklad obvodové konstrukce používané pro pasivní výstavbu. Pro jednotlivé konstrukce je stanoven podíl jednotlivých materiálů v konstrukci. Pro stanovení objemu materiálů v jednotlivých skladbách konstrukce je uvažován 1 běžný metr obvodové stěny bez otvorů o světlé výšce 2,6 metrů.

Pro každou konstrukci byly vytvořeny dvě tabulky:

V první (viz tabulky č. 15 – 27 liché) tabulce jsou spočítány objemy jednotlivých prvků konstrukce a to následujícím způsobem. Pro každý prvek byla zanesena výška, šířka, tloušťka a počet prvků ve vzorku konstrukce (o délce 1 metr a výšce 2,6 metrů). V posledním sloupci je spočten objem jednotlivých prvků v m³.

V druhé tabulce (viz tabulky č. 15 – 27 sudé) jsou jednotlivé prvky rozřazeny dle materiálu. Jsou vypočítány tloušťky a objemy jednotlivých materiálů v dané konstrukci, a to pro: dřevo, OSB, polystyren, minerální izolace, foukaná celulóza, dřevovláknitá izolace (měkké DVD), desky z vláken sádry a desky z dřevěných vláken (polotvrdé a tvrdé DVD).

Objemy základních materiálů pro každou konstrukci jsou znázorněny v kruhových grafech. Viz grafy č. 1 až č. 13.

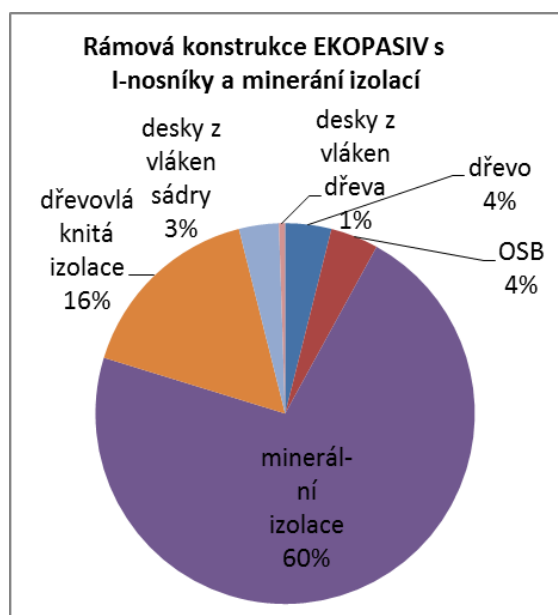
Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací – objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Silikonová omítka (6 mm)	2,6	0,006	1	1	0,0156
Dřevovláknitá deska (60 mm)	2,6	0,06	1	1	0,1560
dřevo I nosník 60x45 (e=625)	2,6	0,06	0,045	2	0,0140
dřevovláknitá deska I nosník	2,6	0,006	0,17	2	0,0053
Minerální izolace (240 mm)	2,6	0,24	1	1	0,6047
OSB 3 deska (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,0390
Minerální izolace (40 mm)	2,6	0,04	1	1	0,0805
Dřevěný rošt II (a = 625 mm)	2,6	0,04	0,06	2	0,0125
Dřevěný rošt X (a = 400 mm)	0,92	0,04	0,06	5	0,0110
SDK KNAUF (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,3735		celkem	0,9711

Tabulka č. 15: Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,100	0,015	-	0,253	-	0,060	0,013	0,060	0,374
celkový objem [m ³]	0,038	0,039	-	0,637	-	0,156	0,033	0,005	0,971

Tabulka č. 16: Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací

Jako první byla posuzována rámová konstrukce EKOPASIV. Jako konstrukční materiál jsou použity I nosníky obsahující dřevěné pásnice a stojnu z tvrdé dřevovláknité desky. Z celkového objemu konstrukce tvoří 76 % tepelná izolace (dřevovláknitá a minerální izolace), 4 % OSB, 4 % dřevo, 1 % pásnice I nosníků a zbytek tvoří deskový materiál.



Graf č. 1: Rám. konstrukce EKOPASIV

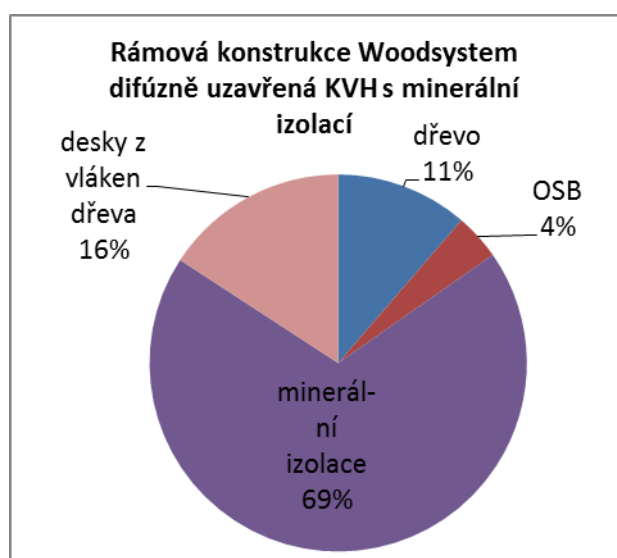
Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací – objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Fasádní systém (7 mm)	2,6	0,006	1	1	0,0156
DVD diffutherm (60 mm)	2,6	0,06	1	1	0,1560
KVH 60x140 (e = 625)	2,6	0,14	0,06	2	0,0437
KVH 60x80 (e = 625)	2,6	0,08	0,06	2	0,0250
Ztužující dřevěný prvek	2,6	0,3	0,02	2	0,0312
Minerální izolace (30 mm)	2,6	0,3	1	1	0,6801
OSB deska (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,0390
Dřevěný rošt 60x40 (e = 625)	1	0,06	0,04	5	0,0120
SDK KNAUF (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,46		celkem	1,0351

Tabulka č. 17: Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,200	0,015	-	0,300	-	-	-	0,060	0,460
celkový objem [m ³]	0,112	0,039	-	0,680	-	-	-	0,156	1,035

Tabulka č. 18: Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací

U rámová konstrukce Woodsystem je konstrukce tvořena sloupky z dřeva KVH, které jsou ztuženy prknem o síle 2 cm. Díky tomu a dřevěnému roštu zajišťujícímu instalační dutinu je objem masivního dřeva 11 %, Minerální izolace a měkké dřevovláknité desky tvoří 85 % konstrukce, desky OSB 4 %.



Graf č. 2: Rám. konstrukce Woodsystem

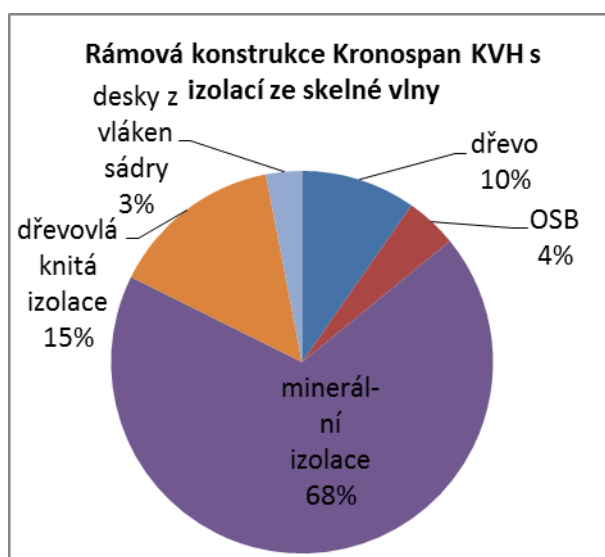
Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny– objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Tenkovrstvá omítka (7 mm)	2,6	0,007	1	1	0,0182
DVD (200kg/m ³)	2,6	0,06	1	1	0,1560
OSB deska (18 mm)	2,6	0,018	1	1	0,0468
KVH 60x240 (e = 625 mm)	2,6	0,24	0,06	2	0,0749
Skelná vlna (240 mm)	2,6	0,24	1	1	0,5491
Příd. izolace minerální vlna	2,6	0,08	1	1	0,1792
dřevěný rošt X (a = 400 mm)	1	0,08	0,06	6	0,0288
SDK KNAUF (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,4175		celkem	1,0855

Tabulka č. 19: Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny- objem jednotlivých prvků v konstrukci

Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly- styren	mine- rální izolace	foukaná izolace	dřevo- vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,320	0,018	-	0,320	-	0,060	-	0,013	0,418
celkový objem [m ³]	0,104	0,047	-	0,728	-	0,156	-	0,033	1,086

Tabulka č. 20: Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny

Rámová konstrukce Kronospan s KVH sloupkovou konstrukcí má také zastoupení masivního dřeva 10 %. Instalační předstěna a prostor mezi sloupky je vyplněn minerální izolací, spolu s měkkou dřevovláknitou deskou o tloušťce 60 mm zaujímající 83 % objemu konstrukce. Dále je na vnitřní straně konstrukce záklop OSB 4 % a SDK 3 %.



Graf č. 3: Rám. kce Kronospan KVH

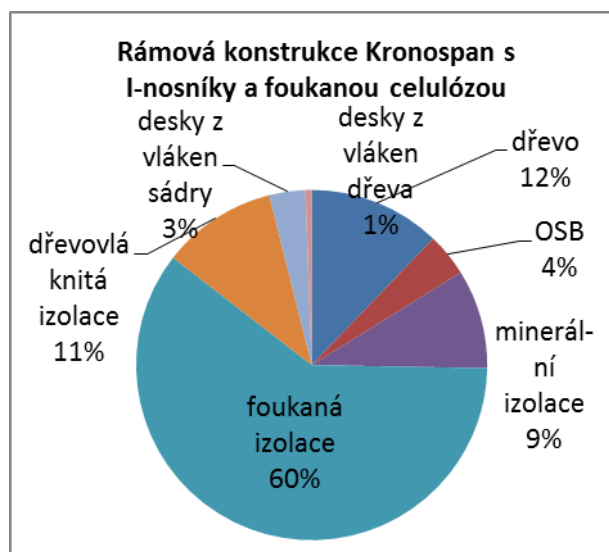
Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením -objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Dřevěné obložení	2,6	0,024	1	1	0,0624
Kontralatě dřevěné	0,06	0,04	1	6	0,0144
DVD (250kg/m ³)	2,6	0,04	1	1	0,104
KVH stojna I nosníku	2,6	0,06	0,045	4	0,0281
DVD deska I nosníku	2,6	0,18	0,006	2	0,0056
Foukaná celulóza (240 mm)	2,6	0,24	1	1	0,5903
OSB AIRSTOP ECO (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,039
dřevěný rošt X(a = 625 mm)	0,06	0,04	1	4	0,0096
Příd. izolace minerální vlna	2,6	0,04	1	1	0,0944
SDK KNAUF (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,3715		celkem	0,9803

Tabulka č. 21: Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením

Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,204	0,015	-	0,040	0,240	-	0,013	0,046	0,372
celkový objem [m ³]	0,114	0,039	-	0,094	0,590	-	0,033	0,110	0,980

Tabulka č. 22: Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, fukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením

Dalším zástupcem od firmy Kronospan je konstrukce s I-nosníky a fukanou celulózou, doplněnou o dřevovláknitou a minerální izolaci, společně tvoří 80 % konstrukce. Masivní dřevo pásnic I-nosníků, dřevěných roštů a fasádního obložení zaujímá 12 %. Ostatní pak tvoří záklop OSB 4 %, SDK 3 % a 1 % stojny I-nosníků.



Graf č. 4: Rám. kce Kronospan s I-nosníky

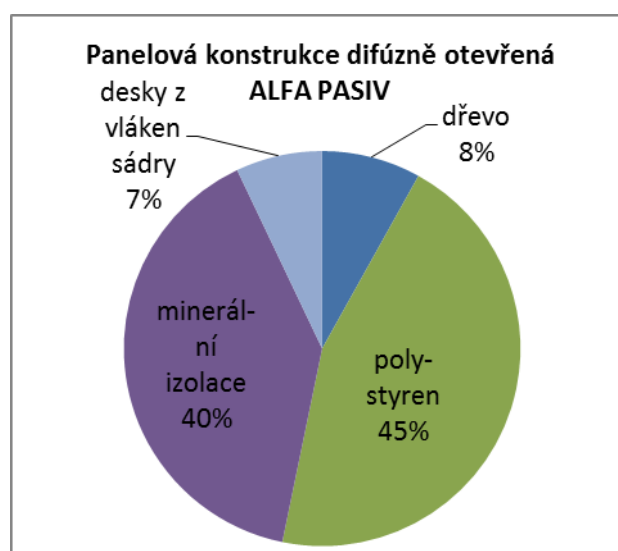
Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Strukturovaná omítka (2 mm)	2,6	0,002	1	1	0,0052
Podkladová omítka (4 mm)	2,6	0,004	1	1	0,0104
Polystyren (160 mm)	2,6	0,16	1	1	0,416
SDK Rigidur (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
Minerální izolace (50 mm)	2,6	0,05	1	1	0,118
dřevěný rošt X (a = 625 mm)	1	0,05	0,06	4	0,0120
Minerální izolace (160 mm)	2,6	0,16	1	1	0,3661
KVH 160x60 (e=625)	2,6	0,16	0,06	2	0,0499
Parotěsná fólie (1 mm)	2,6	0,001	1	1	0,0026
dřevěný rošt II(a = 625 mm)	2,6	0,04	0,06	2	0,0125
SDK RIGISTABIL (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,441		celkem	1,0525

Tabulka č. 23: Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Panelová konstrukce difúzně otevřená ALFA DIFU									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,250	-	0,160	0,160	-	-	0,025	-	0,441
celkový objem [m ³]	0,074	-	0,416	0,366	-	-	0,065	-	1,052

Tabulka č. 24: Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL

Difúzně uzavřená konstrukce ALFA PASIV je panelovou konstrukcí převážně složenou z minerální izolace a polystyrenu, které dohromady tvoří 85 % skladby. Nosnou konstrukcí jsou KVH sloupky a dřevěné rošty zabírající 8 % skladby. Z interiérové strany je stěna zaklopena SDK deskami 7 %.



Graf č. 5: Panel. konstrukce ALFA PASIV

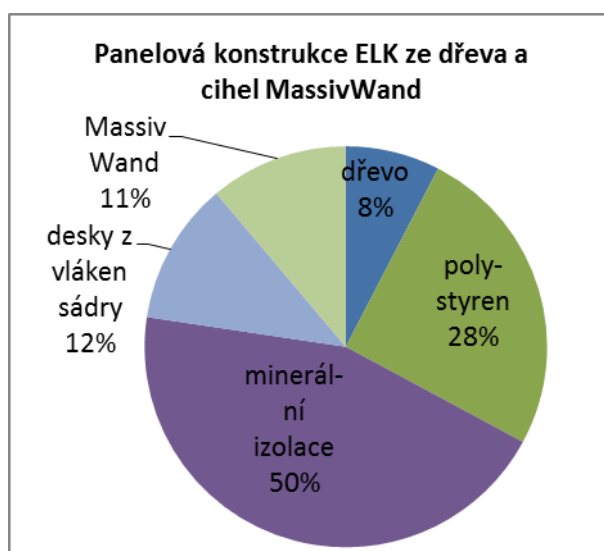
Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Omítka (5 mm)	2,6	0,005	1	1	0,013
Polystyren (100 mm)	2,6	0,1	1	1	0,260
SDK Rigidur (15mm)	2,6	0,015	1	1	0,039
KVH 60x200 (e = 625 mm)	2,6	0,2	0,06	2	0,0624
Parozábrana	2,6	0,0001	1	1	0,0003
minerální izolace (200 mm)	2,6	0,2	1	1	0,4576
SDK Rigidur (18 mm)	2,6	0,018	1	1	0,0468
dřevěný rošt II(a = 625 mm)	2,6	0,05	0,06	2	0,0156
MassivWand biot. zásob.	2,6	0,05	1	1	0,1144
SDK Rigidur (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,4006		celkem	1,0416

Tabulka č. 25: Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,250	-	0,100	0,200	-	-	0,046	-	0,401
celkový objem [m ³]	0,078	-	0,260	0,458	-	-	0,118	-	1,042

Tabulka č. 26: Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand

Panelová konstrukce ELK je tvořena KVH sloupky s mezilehlou minerální izolací, doplněnou o 100 mm polystyrenu z exteriérové strany, jež dohromady tvoří 78 %. Značný objem 12 % stěny zaujímají SDK desky, které jsou v konstrukci použity celkem ve třech vrstvách. Cihlový biotický zásobník zlepšující akumulční schopnosti stěny zajímá 11 % konstrukce.



Graf č. 6: Panel. Konstrukce ELK s

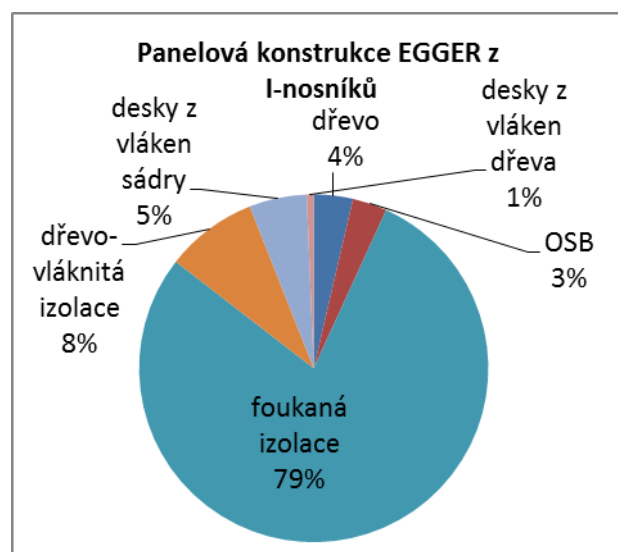
Rámová prefabrikovaná konstrukce EGGER z I nosníků - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Omítka Bayosan (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,0390
dřevěný rošt X(a = 625 mm)	1	0,04	0,05	4	0,0080
DVD Thermowall (40mm)	2,6	0,04	1	1	0,1040
Foukaná celulóza (283 mm)	2,6	0,283	1	1	0,7136
OSB EUROSTRAND (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,0390
KVH stojna I nosníku	2,6	0,054	0,054	4	0,0303
DVD deska I nosníku	2,6	0,25	0,006	2	0,0078
Foukaná celulóza (100 mm)	2,6	0,1	1	1	0,2462
dřevěný rošt II(a = 625 mm)	2,6	0,03	0,05	2	0,0078
dřevěný rošt X(a = 625 mm)	1	0,03	0,05	4	0,0060
SDK Rigidur (12,5 mm)	2,6	0,025	1	1	0,0650
	celkem	0,4755		celkem	1,266743

Tabulka č. 27: Rámová prefabrikovaná konstrukce EGGER z I nosníků - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Rámová prefabrikovaná konstrukce EGGER z I nosníků									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly- styren	mine- rální izolace	foukaná izolace	dřevo- vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,154	0,015	-	-	0,383	0,040	0,050	0,250	0,476
celkový objem [m ³]	0,052	0,039	-	-	0,960	0,104	0,065	0,008	1,267

Tabulka č. 28: Rámová prefabrikovaná konstrukce EGGER z I nosníků

Konstrukční část stěny EGGER tvoří nosná konstrukce z I-nosníků ztužených deskou OSB, mezilehlý prostor je vyplněn foukanou celulózou, tepelné vlastnosti jsou zvýšeny dřevovláknitou měkkou deskou Thermowall. Tepelná izolace dohromady zabírá v konstrukci 87%. Zbytek je vyplněn deskovým materiálem OSB 3% a deskami SDK 5%.



Graf č. 7: Panel. konstrukce EGGER

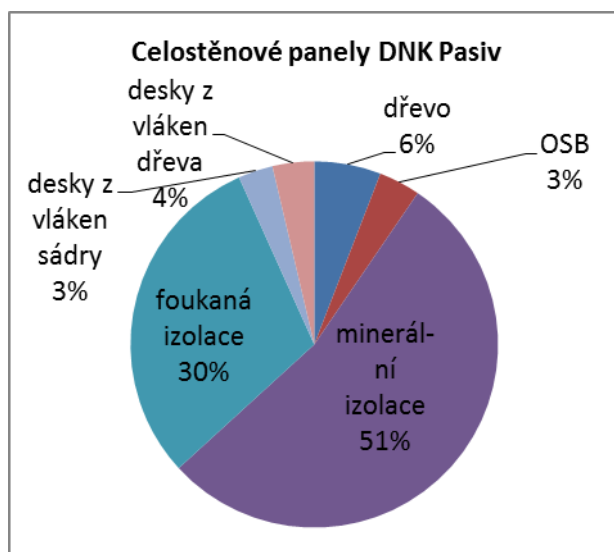
Rámová prefabrikovaná konstrukce DNK Pasiv - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Systém ETICS (167 mm)	2,6	0,167	1	1	0,4342
DHF - DVV (15mm)	2,6	0,015	1	1	0,039
Foukaná celulóza (140 mm)	2,6	0,14	1	1	0,32032
KVH 140x60 (e=625)	2,6	0,14	0,06	2	0,04368
OSB/4 (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,039
Minerální izolace (60 mm)	2,6	0,06	1	1	0,13728
dřevěný rošt II(a = 625 mm)	2,6	0,06	0,06	2	0,01872
SDK Rigidur (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,4095		celkem	1,0647

Tabulka č. 29: Rámová prefabrikovaná konstrukce DNK Pasiv - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Rámová prefabrikovaná konstrukce DNK Pasiv									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,200	0,015	-	0,227	0,140	-	0,013	0,015	0,410
celkový objem [m ³]	0,062	0,039	-	0,571	0,320	-	0,033	0,039	1,065

Tabulka č. 30: Rámová prefabrikovaná konstrukce DNK Pasiv

Nosnou část prefabrikované konstrukce DNK Pasiv tvoří rám z KVH sloupků, které společně s dřevěným roštem tvoří 6 % konstrukce. Největší část konstrukce 81 % zaujímá minerální a foukaná celulóza. Ostatní deskové materiály (OSB, DVD a SDK) ve skladbě konstrukce zabírají 10%.



Graf č. 8: Celostěnové panely DNK Pasiv

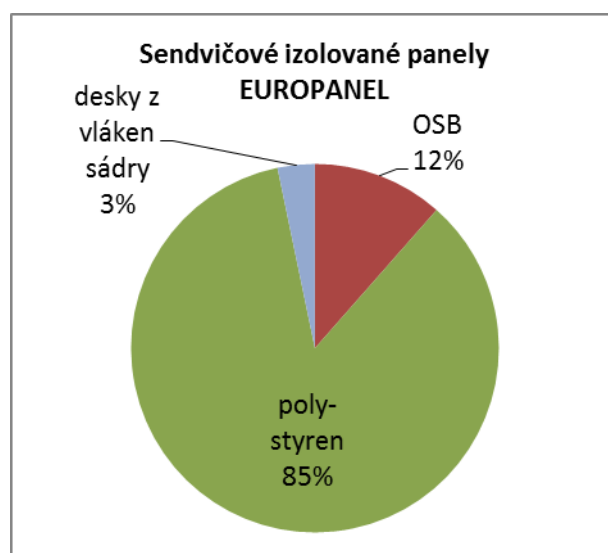
Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Tenkovrstvá omítka (7 mm)	2,6	0,007	1	1	0,0182
Polystyren (100 mm)	2,6	0,1	1	1	0,26
OSB (22 mm)	2,6	0,022	1	1	0,0572
Polystyren (226 mm)	2,6	0,226	1	1	0,5876
OSB (22 mm)	2,6	0,022	1	1	0,0572
SDK Rigidur (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,3895		celkem	1,0127

Tabulka č. 31: Panelová konstrukce difúzně otevřená ALFA DIFU - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly- styren	mine- rální izolace	foukaná izolace	dřevo- vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	-	0,044	0,326	-	-	-	0,013	-	0,390
celkový objem [m ³]	-	0,114	0,848	-	-	-	0,033	-	1,013

Tabulka č. 32: Panelová konstrukce difúzně otevřená ALFA DIFU

Stěna ze sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva EUROPANEL je difúzně uzavřenou konstrukcí. Z celkového objemu konstrukce 1,0127 m³ zaujímá 97 % procent konstrukce panel složený z polystyrenu 85 % a desek OSB 12 %. Na interiérové straně je skladba zakončena SDK deskami o 3 % zastoupení v konstrukci.



Graf č. 9: Konstrukce EUROPANEL

Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Dřevěný obklad (20 mm)	2,6	0,02	1	1	0,052
Poj. Difúzní folie	2,6	0,0001	1	1	0,00026
Dřevěné laťování II 30x20	2,6	0,03	0,02	2	0,00312
Dřevěné laťování X 40x60	2,6	0,06	0,04	4	0,02496
Dřevovláknitá izol. (60 mm)	2,6	0,06	1	1	0,13104
Dřevovláknitá izol. (240 mm)	2,6	0,24	1	1	0,624
NOVATOP Solid (62 mm)	2,6	0,062	1	1	0,1612
SVD Fermacell (10 mm)	2,6	0,01	1	1	0,026
	celkem	0,4221		celkem	1,02258

Tabulka č. 33: Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly- styren	mine- rální izolace	foukaná izolace	dřevo- vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,172	-	-	-	-	0,300	0,010	-	0,422
celkový objem [m ³]	0,241	-	-	-	-	0,755	0,026	-	1,023

Tabulka č. 34: Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou

U masivní konstrukce NOVATOP není vysoký podíl masivního dřeva 24 % dán jen komponenty NOVATOP Solid z masivního dřeva, ale i laťováním a dřevěným fasádním obkladem. Tepelně izolační materiál tvoří 74 % konstrukce.



Graf č. 10: Mas. kce NOVATOP s DVD

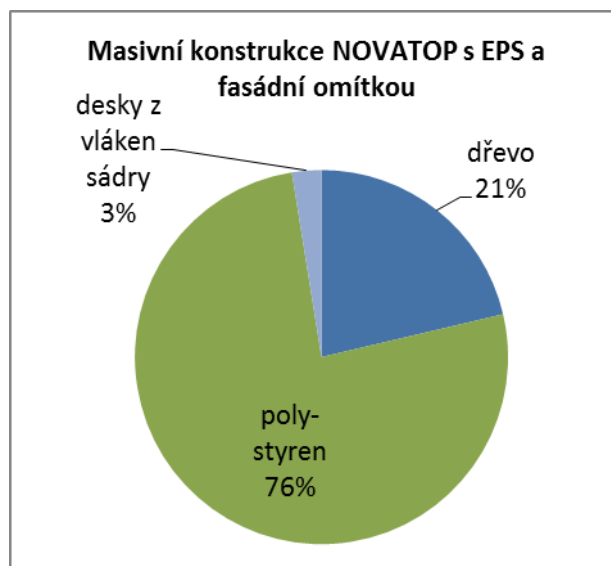
Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou- objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Fasádní omítka (8 mm)	2,6	0,008	1	1	0,0208
Fasádní polystyren (300 mm)	2,6	0,3	1	1	0,78
NOVATOP Solid (84 mm)	2,6	0,084	1	1	0,2184
SVD Fermacell (10 mm)	2,6	0,01	1	1	0,026
	celkem	0,402		celkem	1,0452

Tabulka č. 35: Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly-styren	mine-rální izolace	foukaná izolace	dřevo-vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,084	-	0,300	-	-	-	0,010	-	0,402
celkový objem [m ³]	0,218	-	0,780	-	-	-	0,026	-	1,045

Tabulka č. 36: Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou

Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu TFH je složena z 83 % tepelnou izolací z minerálních vláken a vláken dřeva. Podíl masivního dřeva 10 % je dán dřevěnými sloupy těžkého skeletu a výplňovou sloupkovou konstrukcí. Menšinový podíl v konstrukci má OSB vrstva 4 % a SDK vrstva 3 %.



Graf č. 11: Mas. kce NOVATOP

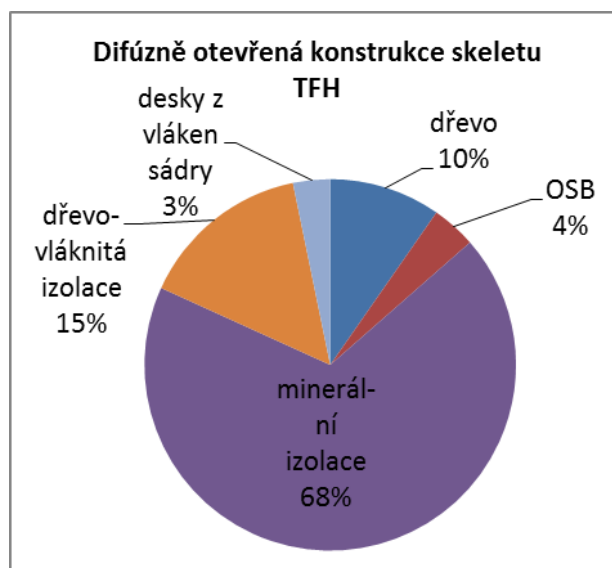
Difúzně otevřená konstrukce skeletu TFH - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Difúzně otevřená omítka	2,6	0,008	1	1	0,0208
Dřevovláknitá izol. (60 mm)	2,6	0,06	1	1	0,150904
KVH 240x60 (e = 625m)	2,6	0,24	0,06	2	0,07488
Minerální izol. (240 mm)	2,6	0,24	1	1	0,544024
KVH 180x180 (e = 5m)	2,6	0,14	0,14	0,2	0,010192
OSB (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,039
Minerální izol. (60 mm)	2,6	0,06	1	1	0,14352
Dřevěné laťování X 60x40	2,6	0,06	0,04	2	0,01248
SDK Rigips RB(A) (12,5 mm)	2,6	0,0125	1	1	0,0325
	celkem	0,3955		celkem	1,0283

Tabulka č. 37: Difúzně otevřená konstrukce skeletu TFH - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Difúzně otevřená konstrukce skeletu TFH									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly- styren	mine- rální izolace	foukaná izolace	dřevo- vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,300	0,015	-	0,300	-	0,060	0,013	-	0,396
celkový objem [m ³]	0,098	0,039	-	0,688	-	0,151	0,033	-	1,028

Tabulka č. 38: Difúzně otevřená konstrukce skeletu TFH

Difúzně otevřená konstrukce skeletu TFH je složena z 83 % tepelnou izolací z minerálních vláken a vláken dřeva. Podíl masivního dřeva 10 % je dán dřevěnými sloupy těžkého skeletu a výplňovou sloupkovou konstrukcí. Menšinový podíl v konstrukci má OSB vrstva 4 % a SDK vrstva 3 %.



Graf č. 12: Konstrukce skeletu TFH

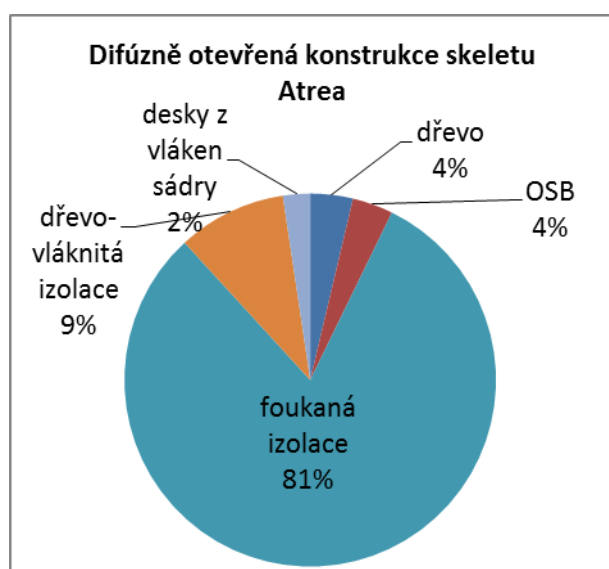
Difúzně otevřená konstrukce skeletu Atrea - objem jednotlivých prvků v konstrukci					
Prvek	Výška [m]	Tloušťka [m]	Šířka [m]	Počet prvků v metru kce	Objem [m ³]
Difúzně otevřená omítka	2,6	0,008	1	1	0,0208
Dřevovláknitá izol. (40 mm)	2,6	0,04	1	1	0,104
KVH 140x140 (e = 3m)	2,6	0,14	0,14	0,33	0,016817
Dřevěné profily 40x50 (e=625)	2,6	0,05	0,04	4	0,0208
Foukaná celulóza (357 mm)	2,6	0,357	1	1	0,890583
OSB (15 mm)	2,6	0,015	1	1	0,039
Dřevěné laťování II 30x20	2,6	0,02	0,03	2	0,00312
SVD Fermacell (10 mm)	2,6	0,01	1	1	0,026
	celkem	0,45		celkem	1,12112

Tabulka č. 39: Difúzně otevřená konstrukce skeletu Atrea - objem jednotlivých prvků v konstrukci

Difúzně otevřená konstrukce skeletu Atrea									
Materiál	Dřevo	OSB	Poly- styren	mine- rální izolace	foukaná izolace	dřevo- vláknitá izolace	desky z vláken sádry	desky z vláken dřeva	celkem
celková tl. vrstvy [mm]	0,260	0,015	-	-	0,357	0,040	0,010	-	0,450
celkový objem [m ³]	0,041	0,039	-	-	0,891	0,104	0,026	-	1,121

Tabulka č. 40: Difúzně otevřená konstrukce skeletu Atrea

U difúzně otevřené konstrukce skeletu od firmy Atrea je konstrukce tvořena z 90 % foukanou a dřevovláknitou izolací. Zbýlých 10 % konstrukce je rozděleno mezi OSB a masivní dřevo, každý z nich po 4 % a desek z vláken sádry 2 %.



Graf č. 13: Konstrukce skeletu Atrea

4.3 Časová náročnost výstavby

Z hlediska způsobu výstavby rozlišujeme dva základní typy a to staveništní prvkový způsob výstavby a panelový prefabrikovaný způsob. Z důvodu nedostatku podkladů pro přesné stanovení pracnosti a doby výstavby u jednotlivých konstrukcí se bude vycházet z literatury a internetových zdrojů zabývajících se danou problematikou. Parametrem je shrnutí a porovnání informací o jednotlivých způsobech výstavby do tabulek a stanovení podmínek za kterých je který způsob nejvýhodnější.

Z ekonomického hlediska výstavby je rychlost a pracnost výstavby jednou ze zásadních problematik. Při výstavbě dřevostaveb rozeznáváme dva základní způsoby řešení, a to prvkovou staveništní výstavbu a průmyslovou (panelovou) výrobu domu. [BÍLEK, 2005]

4.3.1 Staveništní prvkový způsob výstavby

Jedná se o výstavbu s převažujícím podílem řemeslné, tesařsko montážní práce, kdy z hoblovaného prvku (případně nařezaných na přesné délky a finálně upravených) jsou postupně sestavovány a montovány jednotlivé stěny, stropy, střechy atd. Téměř všechny stavební úkony se odehrávají na staveništi, z toho plyne největší nevýhoda a tou je značná pracnost a nemožnost předvýroby. S malou možností předvýroby jednotlivých prvků je dále spojena delší doba realizace a potřeba kvalifikovanějších pracovníků pro montáž konstrukce. Výhodami jsou jednodušší transport materiálu přímo na staveniště, není zde potřeba použití těžké techniky. Dále možnost úpravy projektu a konstrukce v průběhu montáže. [BÍLEK, 2005] Velkou výhodou je průběh stavby, kdy se na staveniště dodají svázané bloky vyrovnaných a staticky i kvalitativně zkontrolovaných fošen a víceméně z jednoho profilu se sestaví nosná kostra domu. [HORÁK, 2007] Na rámu, který přenáší svislé zatížení (od střechy, stropů), je připevněn stabilizující plášť, který stabilizuje nosnou kostru ve vodorovném směru (např. zatížení od větru). Tyčová konstrukce je zhotovena z řeziva a plášť stěn nejčastěji z desek na bázi dřeva. Vnější strana stěny se nejčastěji obkládá rostlým dřevem nebo deskami na bázi dřeva s vhodnou povrchovou úpravou nebo tepelnou izolací a omítkou. Tudíž fasáda nemusí připomínat dřevostavbu, jak jsme v Evropě zvyklí. Vnitřní strana stěny je nejčastěji obložena omítnutými deskami na bázi dřeva, sádrovláknitými nebo sádrokartonovými deskami. [KOLB, 2008]

4.3.2 Prefabrikovaný způsob výstavby

Výroba panelů se provádí ve výrobních halách, na staveništi se poté dopravuje pomocí nákladních vozidel. K manipulaci s maloformátovými panely není potřeba těžká technika, to ale neplatí pro velkoformátové panely, na staveništi je potřeba jeřáb. [BÍLEK, 2005]

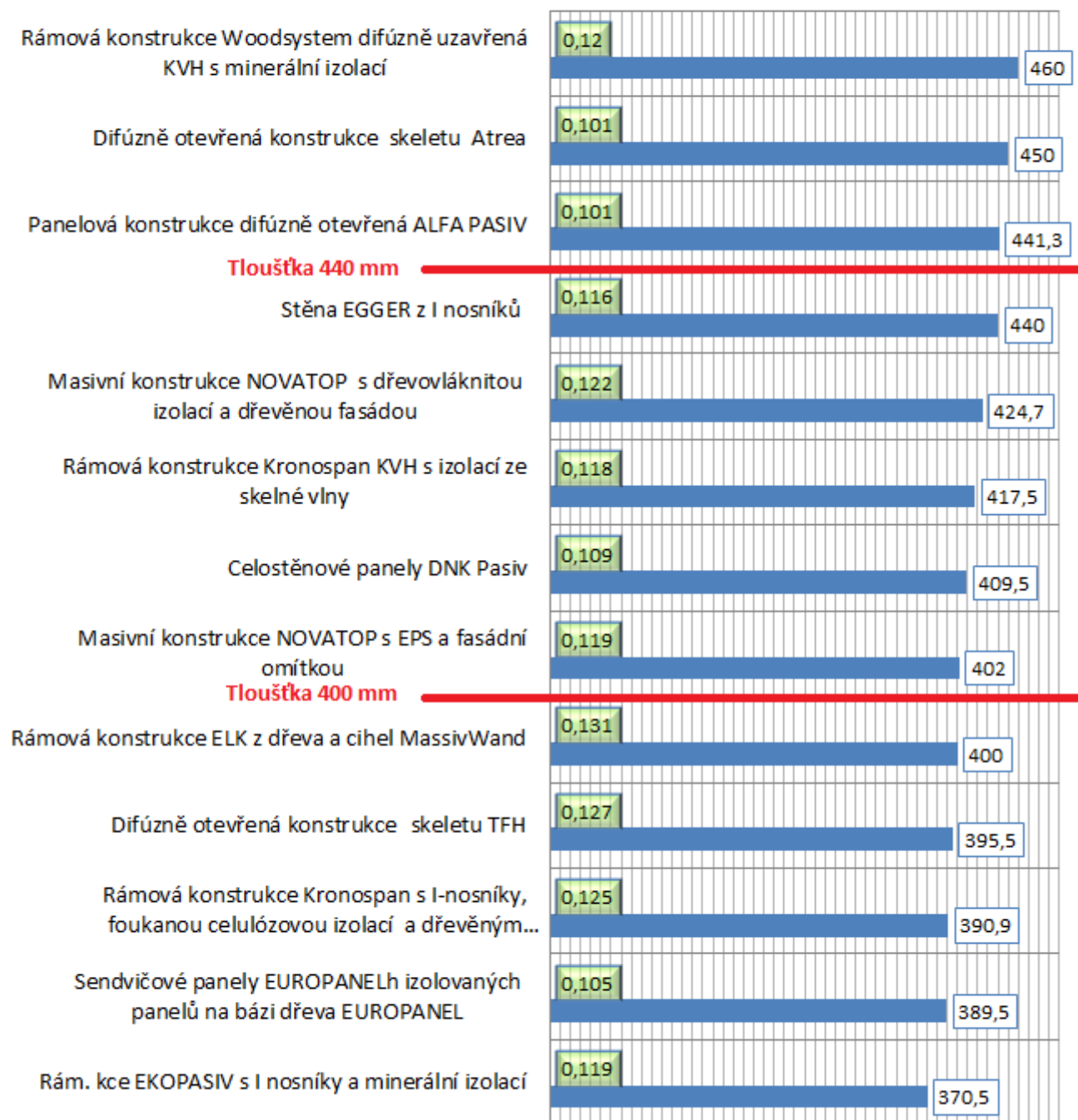
Po dokončení základů následuje samotná montáž panelů dle montážního výkresu. Prvním krokem je plně zafixovat první obvodový panel, ten musí být osazen přesně dle plánu a samostatně stát. K tomuto samostatně stojícímu panelu se za pomoci jeřábu přidávají další panely. Panely jsou spojovány hřebíkovými spoji, šrouby, falešnými pery, destičkami s prolisovanými hroty nebo svorníky. Stěny mají stejné zakončení, mohou se tak použít stejné typy styků. Montážní styky panelů jsou odlišné vzhledem k požadavku na provizorní stabilitu stěn při montáži a omezené přístupnosti ke sloupkům. Po osazení svislé konstrukce je osazen vrchní ztužující věnec panelů a jsou spojovány stropní panely. Svislé a stropní panely jsou spojeny šrouby, svorníky nebo uhelníky. Na stropní panely se připevní vodící prahy, ke kterým se opět za pomoci jeřábu připojí další obvodové panely a příčky, tentokrát nadzemního podlaží. Poslední částí hrubé stavby je osazení krovu a pokrytí pojistnou izolací a opatření střechy krytinou. U panelových staveb je velmi důležité bezchybné provedení detailů styků jednotlivých dílců. Při nesprávném provedení zde vznikají nežádoucí tepelné a akustické mosty. [BÍLEK, 2005]

4.4 Vztah tloušťky konstrukce k tepelně izolačním vlastnostem

„Do dřevěné obvodové konstrukce lze většinou snadno vložit větší množství tepelné izolace, aniž by nepříjemně narostla jejich tloušťka“. [TYWONIAK, 2005]. Tato vlastnost dřevostaveb byla posouzena u vybraných příkladů konstrukcí následovně. Pro jednotlivé vybrané konstrukce vnějších stěn pasivních dřevostaveb byly vypočítány tepelně-technické vlastnosti a skladby byly rozděleny do skupin dle tloušťky konstrukce (viz graf č. 14).

Rozdělení dle tloušťky konstrukce

■ Součinitel prostupu tepla konstrukce [W/m².K] ■ Tloušťka [mm]



Graf č. 14: Rozdělení dle tloušťky konstrukce

První skupinou jsou konstrukce o tloušťce menší než 400 mm. V této tloušťce je pasivního standardu pro klasické zděnné konstrukce nemožné dosáhnout. Druhou skupinou je skupina 400 – 440 mm, kde sice konkurenční zděnné konstrukce nemohou dosáhnout požadavků na pasivní výstavbu, ale s přibývajícím tloušťkou stěny ztrácíme užitečnou plochu stavby. Poslední je skupina konstrukcí s tloušťkou větší než 440 mm. Dá se říci, že konkurenční zděnné konstrukce dosahují hranice 0,15 W/m².K při tloušťce 460 mm a větší.

Toto srovnání má největší význam u staveb, kde chceme dosáhnout co největší užité plochy místností při stejné zastavěné ploše. V případě záměru stavby rodinného domu je v praxi jedním z limitujících faktorů platný územní plán dané lokality. Ten udává maximální možnou míru zastavěnosti daného stavebního pozemku. Zastavěná plocha předepsaná územním plánem by neměla být překročena, tím se stává limitujícím faktorem. V této souvislosti se odvíjí rovněž maximální velikost objektu a užité plochy v tomto objektu.

Tloušťka navrženého obvodového pláště přímo ovlivňuje velikost užité plochy v objektu. V současné době se cena jednoho m² užité plochy pohybuje přibližně od 20 000 – 40 000 Kč, v závislosti na různých faktorech. Je tedy zřejmé, že velikost užité plochy není zanedbatelným faktorem při zpracování návrhu záměru. Níže, v části s výsledky, jsou užité plochy jednotlivých konstrukcí porovnány na konkrétním příkladu rodinného domu o standardní zastavěné ploše 200 m² o dvou nadzemních podlažích a s plochou střechou.

5 Výsledky porovnání a určení vhodnosti

5.1 Tepelně-izolační vlastnosti

Všechny konstrukce byly posouzeny podle kritérií ČSN 730540-2 (2011), a to pro vnější stěnu nízkoenergetické budovy s trvalou úpravou vlhkosti vzduchu a nulovou DeltaTai přírůžkou (rozdíl mezi návrhovou teplotou vnitřního vzduchu a vnitřní teplotou je 0°C). Posouzení z hlediska požadavků na šíření vlhkosti v konstrukci je vyhodnoceno dle mezinárodní normy EN ISO 13788. Porovnání všech výše uvedených konstrukcí je k nahlédnutí v tabulce č. 41.

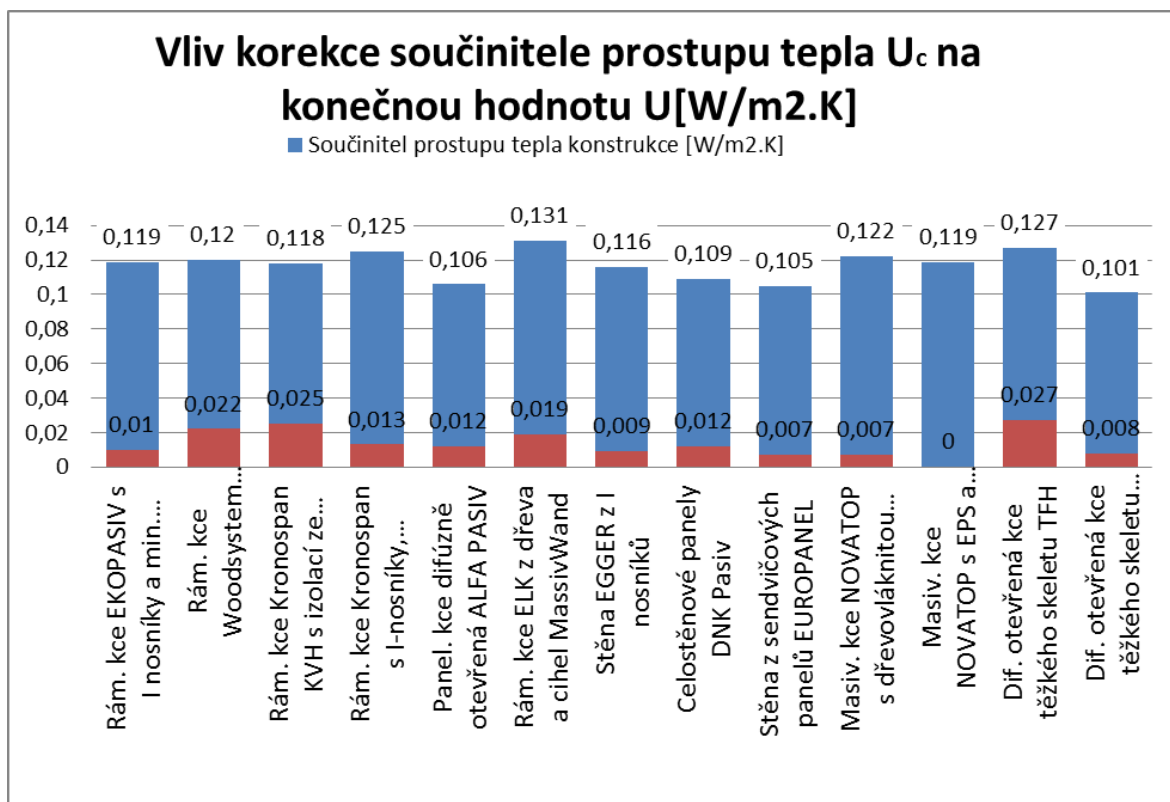
Název konstrukce	Tloušťka [mm]	Mc,a - Roční množství zkondenzované vodní páry [Kg/m ² .rok]	Součinitel prostupu tepla konstrukce [W/m ² .K]	Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p
Rám. kce EKOPASIV s I nosníky a min. izolací	370,5	0,1956	0,119	0,971
Rám. kce Woodsystem difúzně uzavřená KVH	460	0,1021	0,12	0,97
Rám. kce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny	417,5	0,1477	0,118	0,971
Rám. kce Kronospan s I-nosníky, foukanou celul. izolací	390,9	0,2833	0,138	0,969
Panel. kce difúzně otevřená ALFA PASIV	441,3	0	0,101	0,974
Rám. kce ELK z dřeva a cihel MassivWand	400	0	0,131	0,968
Stěna EGGER z I nosníků	440	0,0623	0,116	0,971
Celostěnové panely DNK Pasiv	409,5	0	0,109	0,973
Stěna z sendvičových panelů EUROPANEL	389,5	0,001	0,105	0,974
Masiv. kce NOVATOP s DVD izolací a dřev. fasádou	424,7	0,132	0,122	0,97
Masiv. kce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou	402	0,0237	0,105	0,971
Dif. otevřená kce skeletu TFH	395,5	0,5696	0,127	0,969
Dif. otevřená kce skeletu Atrea	450	1,1292	0,101	0,975

Tabulka č. 41: Tabulka tepelných vlastností a tloušťky konstrukce

5.1.1 Součinitel prostupu tepla, korekce součinitele prostupu tepla

Z tabulky je patrné, že všechny posuzované konstrukce vyhovují z hlediska tepelných vlastností požadavkům na pasivní výstavbu. Jejich hodnoty součinitele prostupu tepla jsou vyhovují doporučeným hodnotám normy ČSN 730540-2 (2011) pro pasivní výstavbu $0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Konstrukce byly záměrně vybírány se součinitelem prostupu tepla blízkému $12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, proto některé z nich dosahují příznivějších hodnot U , než normou doporučených.

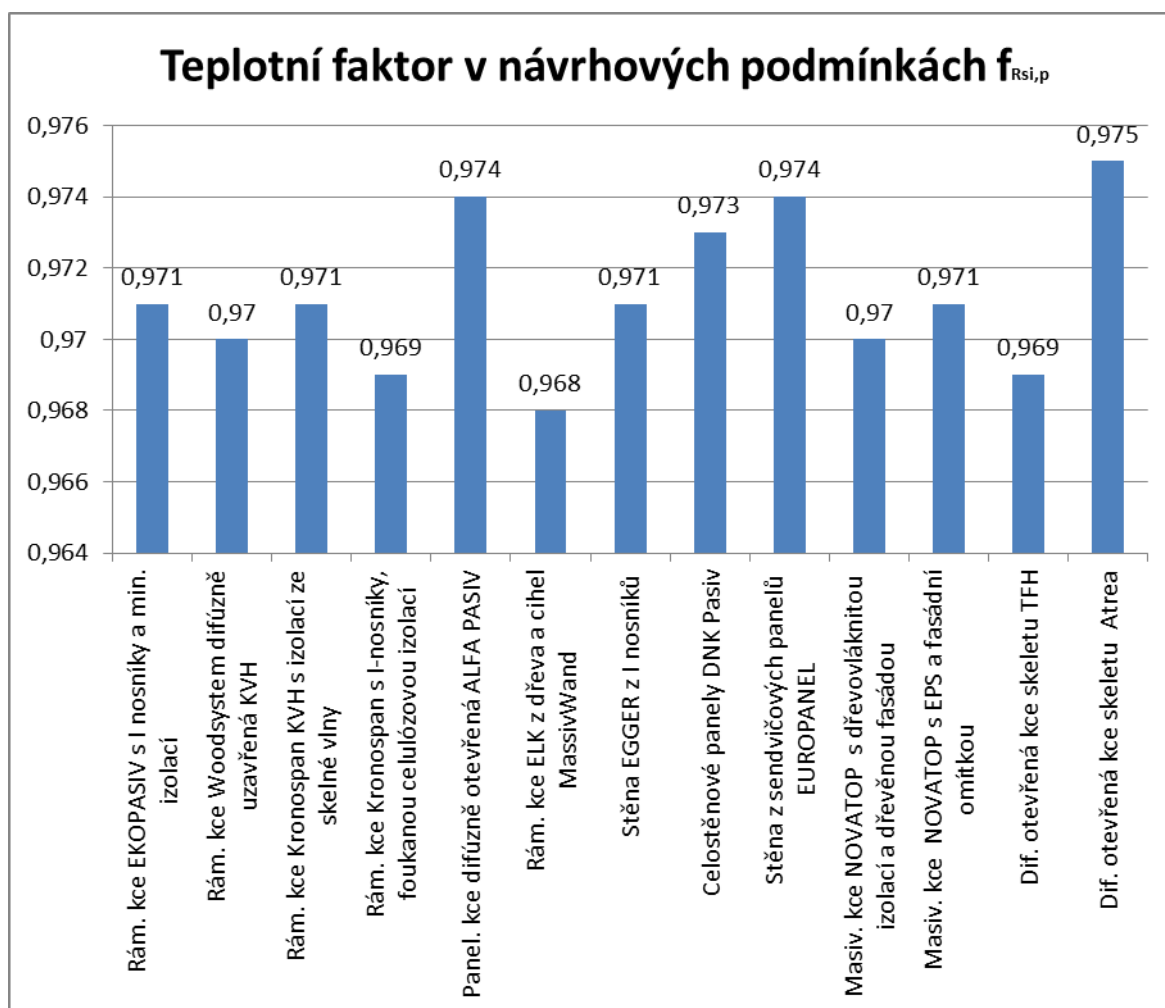
Velmi důležitým faktorem přímo ovlivňujícím konečný součinitel prostupu tepla je korekce součinitele prostupu tepla U_c . Tato korekce umožňuje jednoduchým způsobem zahrnout do hodnoty součinitele prostupu tepla a tepelného odporu vliv systematických tepelných mostů. Postup pro výpočet korekce na vliv systematických tepelných mostů byl převzat z EN ISO 6946, čl. 6,2 (rok 2008). Spočívá v posouzení všech kombinací skladeb v konstrukci, vztážené ke skladbě převládající. Tato metoda je v případě dřevostaveb nutností a v posuzovaných konstrukcích dokázala navýšit konečný součinitel prostupu tepla až o $0,027 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. V grafu č. 15 jsou znázorněny hodnoty U s již započtenou korekcí.



Graf č. 15: Vliv korekce součinitele prostupu tepla U_c na konečnou hodnotu U

5.1.2 Nejnižší povrchová teplota konstrukce, teplotní faktor

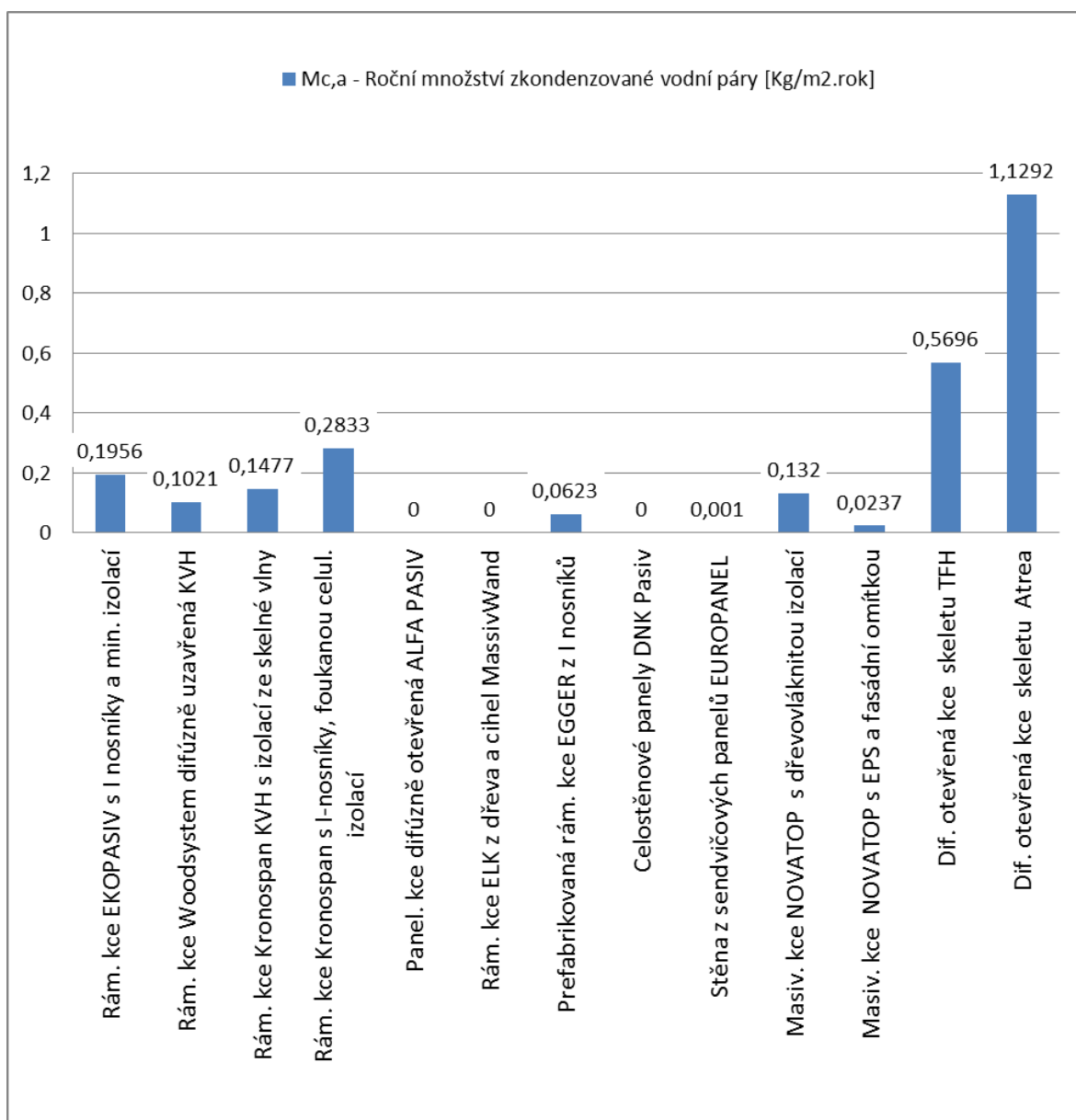
Z hlediska teplotního faktoru vyhověly všechny konstrukce. Hodnoty se pohybují v rozmezí 0,968 – 0,975, což odpovídá nejnižší povrchové teplotě 19,94 – 20,16⁰C. Povrchová kondenzace tedy dle normy ČSN 73 0540-2 (2011) nehrozí ani u jedné z porovnávaných konstrukcí. Grafické znázornění je k nahlédnutí na grafu č. 16.



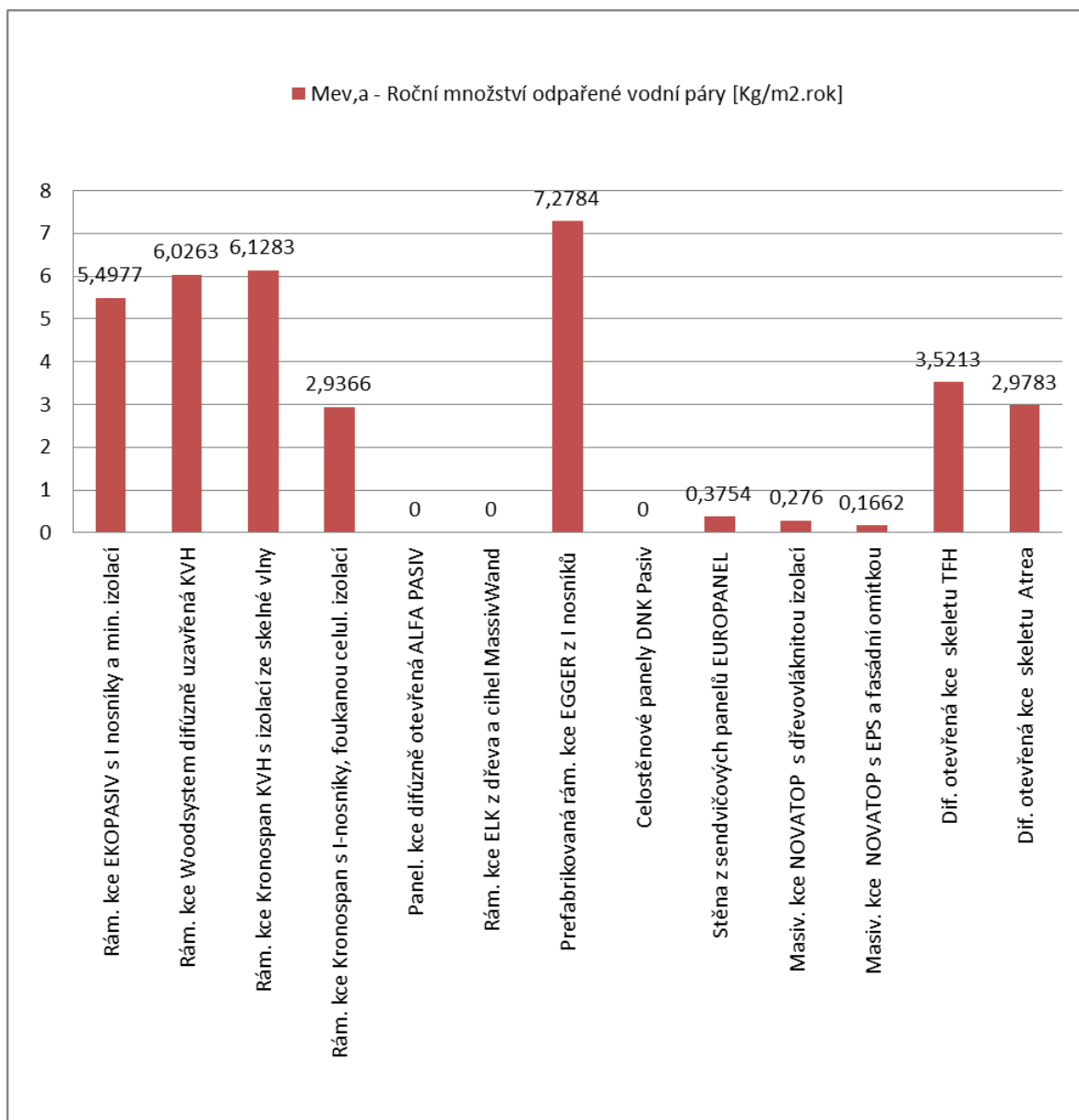
Graf č. 16: Teplotní faktory v návrhových podmínkách

5.1.3 Šáření vlhkosti konstrukcí

Důležitým ukazatelem je $M_{c,a}$ (roční množství zkondenzované vodní páry), který v posuzovaných konstrukcích nabývá hodnot od 0 do 1,192 $\text{Kg/m}^2\cdot\text{rok}$. To může být problémem z hlediska normy ČSN 730540-4. Hodnoty zkondenzované vodní páry jsou zaneseny v grafu č. 17, odpařené vodní páry za období jednoho roku v grafu č. 18.



Graf č.17: Graf Ročního množství zkondenzované vodní páry



raf č.18: Graf Ročního množství odpařené vodní páry

Z grafů vyplývá, že ve většině příkladů množství odpařené vodní páry několikrát převyšuje množství par zkondenzovaných. Na konci modelového roku jsou posuzované konstrukce suché a tudíž vyhovují mezinárodní normě EN ISO 13788. Norma ČSN 730540-2 dle článku 6.1 a 6.2 limituje maximální možné množství kondenzátu a to nižší z hodnot 0,5 Kg/m².rok nebo 5 – 10 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém pára kondenzuje. Jak je patrné z grafu č. 17, požadavku normy ČSN 730540-2 nevyhovuje ani jedna ze dvou posuzovaných konstrukcí těžkého skeletu (TFH a Atrea). Naproti tomu u konstrukcí difúzně uzavřených dochází v průběhu modelového roku k nulové kondenzaci vodní páry.

5.2 Vztah tloušťky konstrukce k tepelně izolačním vlastnostem

V případě plánování stavby rodinného domu je v praxi maximální zastavěná plocha projektu limitována uzemním plánem. Při limitované (konstantní) zastavěné ploše tedy tloušťka obvodové konstrukce ovlivní velikost užité plochy. Objekt s užitnou plochou větší, získanou způsobem provedení obvodového pláště, má z pravidla vyšší tržní hodnotu, než li objekt s užitnou plochou menší.

Užitná plocha je definována jako prostor měřený uvnitř vnějších stěn, který nezahrnuje konstrukční plochy (podpěry, sloupy, šachty), funkční plochy pro pomocné využití (topení, klimatizace atd.), průchozí prostory (schodiště, výtahy atd.)

Do jaké míry se projeví tloušťka konstrukce do velikosti užité plochy, může být vyjádřeno na příkladu rodinného domu o standardní zastavěné ploše 200 m² o dvou nadzemních podlažích a s plochou střechou. V tabulce č. 42 je v závislosti na tloušťce stěny vypočtena plocha kterou zaujímá samotná obvodová konstrukce, plocha užitná a procentuální vyjádření (kolik procen z celkové plochy zaujímá plocha užitná).

Název konstrukce	Tloušťka [m]	Plocha obvodové stěny [m ²]	Užitná plocha [m ²]	Užitná plocha [%]
Rám. kce Woodsystem difúzně uzavřená KVH	0,4600	26,75	173,25	86,62
Dif. otevřená kce skeletu Atrea	0,4500	26,19	173,81	86,91
Panel. kce difúzně otevřená ALFA PASIV	0,4413	25,70	174,30	87,15
Stěna EGGER z I nosníků	0,4400	25,63	174,37	87,19
Masiv. kce NOVATOP s dřevovlákn. izolací a dřev. fasádou	0,4247	24,76	175,24	87,62
Rám. kce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny	0,4175	24,35	175,65	87,82
Celostěnové panely DNK Pasiv	0,4095	23,90	176,10	88,05
Masiv. kce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou	0,4020	23,47	176,53	88,26
Rám. kce ELK z dřeva a cihel MassivWand	0,4000	23,36	176,64	88,32
Dif. otevřená kce skeletu TFH	0,3955	23,10	176,90	88,45
Rám. kce Kronospan s I-nosníky, foukanou celul. izolací	0,3909	22,84	177,16	88,58
Stěna z sendvičových panelů EUROPANEL	0,3895	22,76	177,24	88,62
Rám. kce EKOPASIV s I nosníky a min. izolací	0,3705	21,68	178,32	89,16

Tabulka č. 42: Užitná plocha u rodinného domu o zastavěné ploše 200 m²

Z tabulky je patrné, že rozdíl v tloušťce obvodové konstrukce u zkoumaných konstrukcí se promítne do velikosti užité plochy v řádu metrů. Konkrétně u nejužší konstrukce rámové EKOPASIV o tloušťce 370,5 mm tvoří plocha obvodového pláště budovy 21,68 % a užitná plocha zaujímá 178,32 m². Naproti tomu rámová konstrukce od firmy Woodsystem o tloušťce konstrukce 460 mm zaujímá 26,75 % zastavěné plochy a užitná plocha je zmenšena o 5,07 m² (2,54%). V závislosti na konkrétním projektu, v konkrétním místě, může toto být více či méně rozhodujícím faktorem.

5.3 Časová náročnost výstavby

Ve srovnání s klasickými cihlovými či železobetonovými technologiemi je pracnost konstrukcí dřevostaveb velmi nízká. V našich podmínkách lze dřevostavbu na staveništi, včetně přípojek a základů, realizovat v rozmezí 3 až 5 měsíců. Montáž stropů a stěn trvá obvykle 2 až 3 týdny, velkou výhodou je tzv. suchý způsob výstavby, u něhož není třeba technologických přestávek. [BÍLEK, 2005]

Dle zahraničních zkušeností z amerických podkladů se pohybuje pracnost u bytových dřevostaveb kolem 8 hod/m² podlahové plochy. Podle českých normativních podkladů, které jsou vztaženy k tradičním tesařským konstrukcím, se pracnost pohybuje kolem 15 hod/m². Po zkušenostech z výstavby dřevěných rodinných domů v českých podmínkách v tomto způsobu výstavby reálně dosahuje pracnosti 9 až 11 hod/m². Snížení pracnosti u staveništní výstavby jde do určité míry dosáhnout předpřipraveností prvků na přesné míry a i s tesařskými spoji. Předpřipraveností prvků se sníží požadavek na kvalifikaci montážníků a zvýší se tím kvalita a rychlost montáže. [BÍLEK, 2005]

U panelové výstavby je výrobní pracnost velmi rozdílná. Záleží především na samotném zhotoviteli, do jaké míry je jeho výroba mechanizovaná a automatizovaná nebo kolik staveb ročně vyprodukuje. Obecně lze říci, že pracnost se pohybuje kolem 0,5 – 1,5 hod/m² stěny ve výrobě a 1,5 – 4,5 hod/m² na staveništi, záleží ovšem na stupni mechanizace a koordinaci řízení na staveništi. Stavbu lze tak realizovat v 1 až 3 měsících, včetně přípojek a základů. [BÍLEK, 2005]

V následujících dvou odstavcích jsou porovnány vlastnosti jednotlivých konstrukcí, jejich klady a zápory. Z následujícího výčtu vlastností (viz tabulky č. 43 a 44) je možné vyvodit který typ dřevěné konstrukce je z hlediska pracnosti a rychlosti výstavby v konkrétní situaci nevhodnější.

Sloupkový staveništní systém	
Klady (+)	Zápory (-)
ověřený konstrukční systém	delší doba staveništní výstavby
rychlost výstavby	vystavení nekompletní konstrukce povětrnostním vlivům
možnost rychlého řešení případných změn při montáži	malá možnost předvýroby
možnost výstavby ve špatně přístupných terénech	požadavek na kvalifikovanější pracovníky
není třeba velkých výrobních hal a drahé techniky	

Tabulka č. 43: Klady a zápory sloupkového staveništního systému

Panelový prefabrikovaný systém	
Klady (+)	Zápory (-)
vysoká rychlost staveništní výstavby	potřeba nákladných výrobních hal a techniky
možnost vysokého stupně předvýroby	potřeba dopravní techniky
možnost větší kontroly kvality v předvýrobě	vysoké nároky na přesnost základů
automatizace výroby	není vhodné pro špatně přístupný terén
v průběhu výstavby na staveništi konstrukce není dlouhodobě vystavena povětrnostním vlivům	

Tabulka č. 44: Klady a zápory panelového prefabrikovaného systému

5.4 Materiálová náročnost

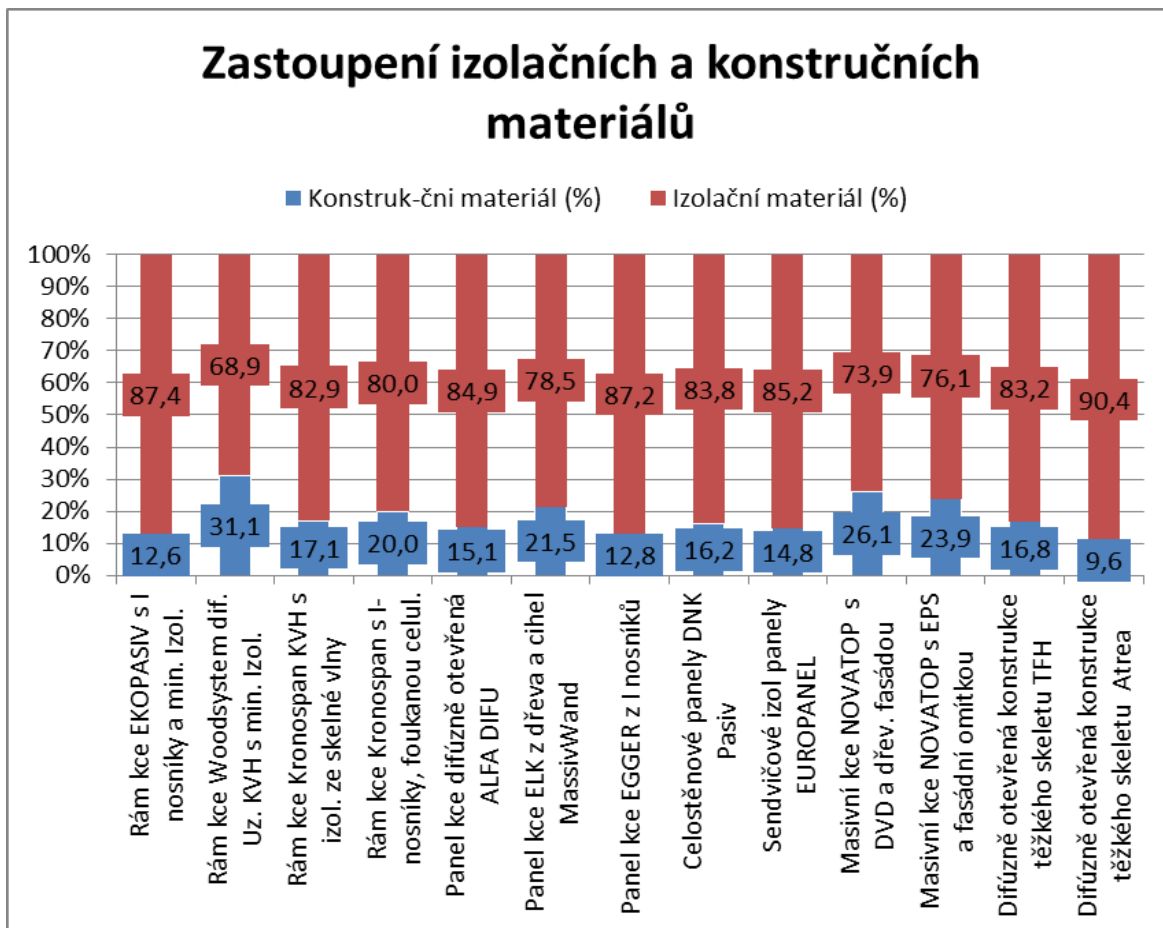
V následující tabulce jsou uvedeny všechny zkoumané příklady konstrukcí pro pasivní výstavbu. Pro všechny konstrukce je v tabulce zanesen objem jednotlivých druhů materiálů v m³ a celkový objem vzorku stěny o rozměrech 1 metr délky a 2,6 metrů výšky.

Porovnání objemu jednotlivých materiálů v 1 m ³ dané konstrukce									
Materiál / Konstrukce	Dřevo	OSB	EPS	Min. Izolace	Foukaná izolace	Dřevovláknitá izolace	Desky z vláken sádry	Desky z vláken dřeva	celkem
Rám. kce EKOPASIV	0,038	0,039	-	0,637	-	0,156	0,033	0,161	0,971
Rám. kce Woodsystem	0,112	0,039	-	0,680	-	-	-	0,156	1,035
Rám. kce Kronospan KVH	0,102	0,047	-	0,181	0,549	-	-	0,156	1,086
Rám. kce Kronospan s I-nosníky	0,119	0,039	-	0,090	0,590	-	0,033	0,110	0,980
Panel. kce ALFA DIFU	0,074	-	0,416	0,366	-	-	0,065	-	1,052
Panel. kce ELK	0,078	-	0,260	0,458	-	-	0,118	-	1,042
Panel. kce EGGER z I nosníků	0,044	0,039	-	-	0,960	0,104	0,065	0,008	1,259
Celostěnové panely DNK Pasiv	0,062	0,039	-	0,571	0,320	-	0,033	0,104	1,130
Sendvičové panely EUROPANEL	-	0,114	0,848	-	-	-	0,0325	-	1,013
Mas. kce NOVATOP s DVD izol.	0,241	-	-	-	-	0,755	0,026	-	1,023
Mas. kce NOVATOP s EPS	0,218	-	0,780	-	-	-	0,026	-	1,045
Dif. ot. kce skeletu TFH	0,098	0,039	-	0,688	-	0,151	0,033	-	1,028
Dif. ot. kce skeletu Atrea	0,041	0,039	-	-	0,891	0,104	0,026	-	1,121

Tabulka č. 45: Porovnání objemu jednotlivých materiálů v 1 m³ dané konstrukce

Z hlediska parametrů pro výběr vhodného konstrukčního systému je zajímavým ukazatelem poměr konstrukčních a tepelně-izolačních materiálů. Možnost umístit tepelnou izolaci přímo do konstrukce, nikoliv pouze z exteriérové strany jako u klasických zděných konstrukcí, je jednou z hlavních výhod dřevostaveb. V následujícím grafu č. 18 je znázorněno procentuální zastoupení konstrukčních materiálů a materiálů izolačních. Jako materiály konstrukční jsou zahrnuty materiály dřevěné masivní (sloupky a rošty), deskový materiál (OSB, desky z vláken sádry a desky z vláken dřeva). Tepelně izolační materiály jsou v našem případě izolace minerální, dřevovláknité, polystyren a foukaná celulóza. Z grafu č. 18 je patrné, kolik procent objemu konstrukce zaujímá izolační a konstrukční materiál. Průměrné hodnoty pro zkoumané dřevostavy jsou 81,7 % izolačního materiálu a 18,3 % konstrukčních prvků. Nejlépe v poměru izolace ke konstrukčnímu materiálu vyšla

konstrukce těžkého skeletu od firmy Atrea s pouhými 9,6 % konstrukce. Naproti nejvyšší podíl tepelné izolace v konstrukci má rámová konstrukce od firmy woodsystem s necelými 70 %.



Graf č. 18: Zastoupení konstrukčních a izolačních materiálů

5.4.1 Porovnání vlastností použitých izolačních materiálů

Použité izolační materiály byly porovnány z hlediska základních fyzikálních vlastností. Z pohledu součinitele tepelné vodivosti je nejlepší volbou minerální izolace, tento ukazatel není jediný ovlivňující rozhodovací proces. Neméně důležitým faktorem je měrná tepelná kapacita. Nejlepších hodnot dosahuje izolace dřevovláknitá a foukaná celulóza. Polystyren EPS má příznivé hodnoty tepelné vodivosti i tepelné kapacity, vysoký faktor difúzního odporu omezuje jeho použití pouze na difúzně uzavřené skladby pasivních dřevostaveb.

Technické vlastnosti použitých izolačních materiálů				
Izolační materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita C_p [kJ/kg.K]	Faktor difúzního odporu μ [-]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
minerální (Rockwool SUPERROCK)	0,035	0,84	1	250
dřevovláknitá (STEICO Zell)	0,038	2,3	1,5	230
polystyren (EPS 100 Z)	0,037	1,27	50	20
foukaná celulóza (Climatizer plus)	0,039	2,02	1,5	60

Tabulka č. 46: *Technické vlastnosti použitých izolačních materiálů*

Volba vhodné tepelné izolace je ovlivněna několika faktory. Hlavními faktory jsou tepelně fyzikální parametry, jejichž výčet je uveden v tabulce č. 46 a finanční náročnost. Z hlediska tepelných vlastností musí v požadované tloušťce splnit požadavky na součinitel prostupu tepla za co největší tepelné akumulace. Požadavek na finanční náročnost je dán především požadavky zákazníka. Výhody a nevýhody jednotlivých izolačních materiálů jsou popsány níže.

Výhodou foukané celulózy je zejména vysoká měrná tepelná kapacita a zlepšení akustiky staveb. Samotná aplikace foukáním je za vhodných podmínek výhodou. Nevýhodou je schopnost zadržet v sobě vodu až do 30 % své hmotnosti, což může za předpokladu nevhodného řešení snížit tepelně technické vlastnosti.

Klady expandovaného polystyrenu EPS jsou dobrá opracovatelnost, příznivá cena a nízká hustota (malá hmotnost). K nevýhodám patří zejména objemová nestálost, hořlavost, nasákavost a degradace za působení organických rozpouštědel.

Minerální vlna vyniká vysokou životností, malým sleháváním, nízkým difúzním odporem, odolností vůči ohni. Jako většina izolačních materiálů, vlna přichází o tepelně izolační vlastnosti při styku s vodou a z hlediska finanční náročnosti je dražší.

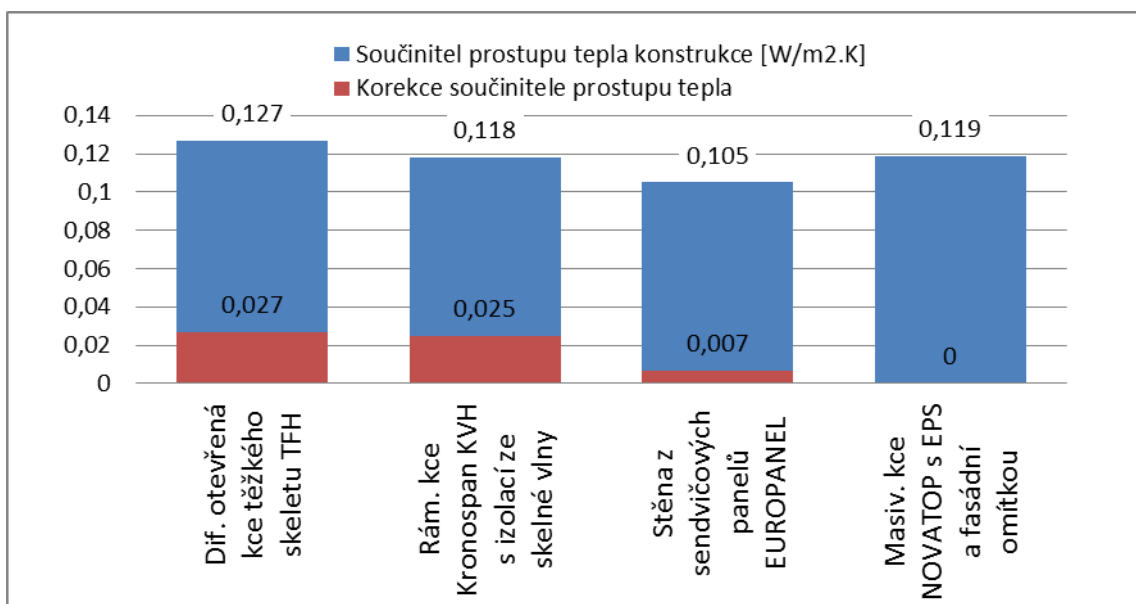
Výhodou dřevovláknité izolace jsou především akumulární vlastnosti. Ty jsou závislé především na objemové hmotnosti, jež je několikrát větší než u izolace minerální nebo polystyrenu. Hlavní nevýhodou je pak pořizovací cena.

6 Vyhodnocení a doporučení

Z hlediska tepelně izolačních vlastností byly konstrukce nejprve posouzeny z hlediska součinitele prostupu tepla. Nejprve byly vypočítány přesné hodnoty U pro každou konstrukci. Stejně jako z údajů prezentovaných výrobcí všechny konstrukce vyhovely normě ČSN 730540-2 a doporučení pro součinitel prostupu tepla pro pasivní výstavbu $U < 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

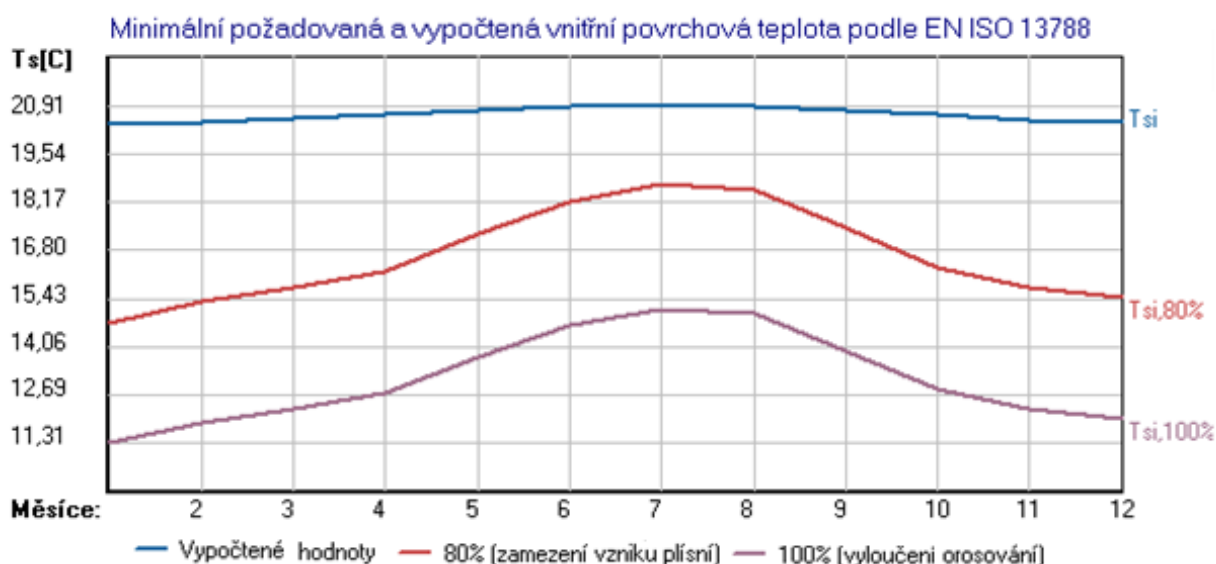
Součástí výpočtu byl i výpočet korekce součinitele prostupu tepla, korekce zahrnuje systematické tepelné mosty v konstrukci. Z hlediska dřevostaveb je korekce nezanedbatelná a tvoří podstatnou část výsledného součinitele prostupu tepla. U_c dřevostaveb, díky vnitřní sloupkové konstrukci a dřevěným roštům, tato korekce dosahuje v průměru $0,014 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Součinitel dosahuje větších hodnot u rámových konstrukcí zhotovených na staveništi z důvodu požadavku větší prostorové tuhosti v průběhu stavby. Naopak konstrukce z masivních panelů NOVATOP a stěnových sendvičových panelů EUROPANEL mají, díky nepřítomnosti sloupků v konstrukci, korekci nejnižší. Největší hodnota korekce byla zjištěna u konstrukce těžkého skeletu TFH $U_c = 0,027 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$.

Z grafu č. 19 je zřejmé, jak značný má korekce součinitele prostupu tepla vliv na konečný součinitel. Nejlépe dopadla konstrukce z masivních panelů NOVATOP, ve které se nenachází žádný systematický tepelný most např. ve formě dřevěného roštu. Naopak značný vliv měla korekce u skeletového systému TFH. Více než 21 % z celkového součinitele prostupu tepla tvoří korekce, a to z důvodu systematických tepelných mostů způsobených dřevěným roštem a sloupky těžkého a lehkého skeletu.



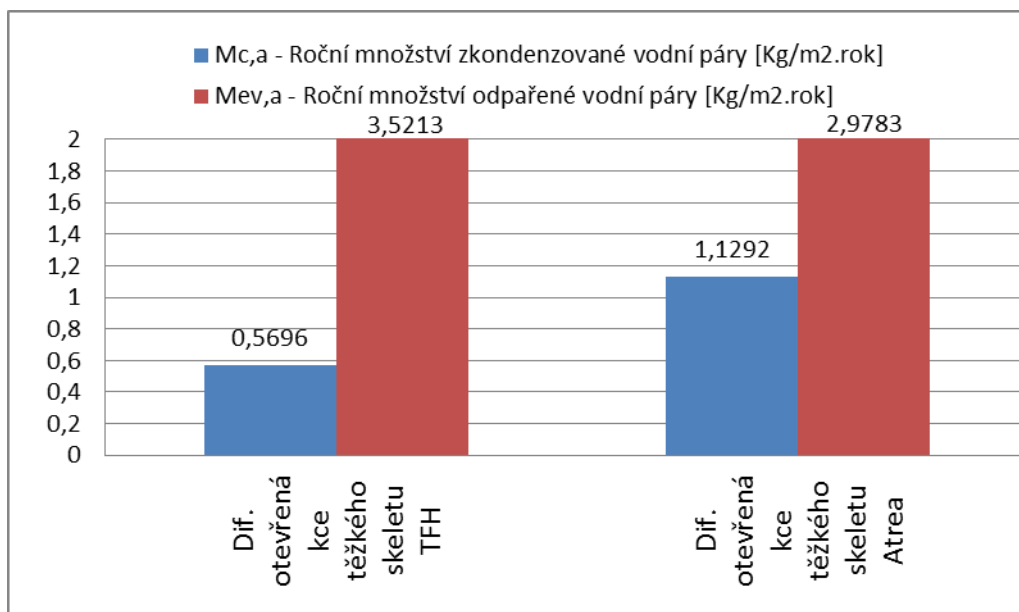
Graf č. 19: Extrémy zastoupení konstrukčních a izolačních materiálů

Z hlediska povrchové teploty a teplotního faktoru vyhověly všechny posuzované konstrukce. Vypočtené hodnoty se u všech konstrukcí pohybovaly v rozmezí 0,968 -0,975, což je více než dostatečné z pohledu normy ČSN 73 0540-2 (2011). Povrchová kondenzace tedy z pohledu normy nehrozí. Grafické zobrazení (viz graf č. 20) je obdobné pro všechny posuzované konstrukce s minimální vypočtenou povrchovou teplotou v rozmezí 19,94 – 20,16 °C. Z grafu č. 20 je zřejmé, že vznik plísní a orosování na vnitřní straně konstrukce z hlediska normy EN ISO 13788 nehrozí.



Graf č. 20: Minimální požadovaná a vypočtená povrchová teplota

Z pohledu množství zkondenzovaného $M_{c,a}$ a vypařeného $M_{ev,a}$ množství vodní páry v konstrukci, vyhověly všechny konstrukce mezinárodní normě EN ISO 13788. Konstrukce difúzně otevřená těžkého skeletu TFH a Atrea rovněž vyhověly mezinárodní normě, tzn. že zkondenzovaná vodní pára v zimním období se přes období letní stihne z konstrukce vypařit (graf č. 21). Obě konstrukce ale nevyhovují normě ČSN 730540-4, která udává maximální možné množství zkondenzované vodní páry $0,500 \text{ Kg/m}^2 \text{ rok}$.



Graf č. 21: Extrémv zkondenzované a odpařené vodní páry

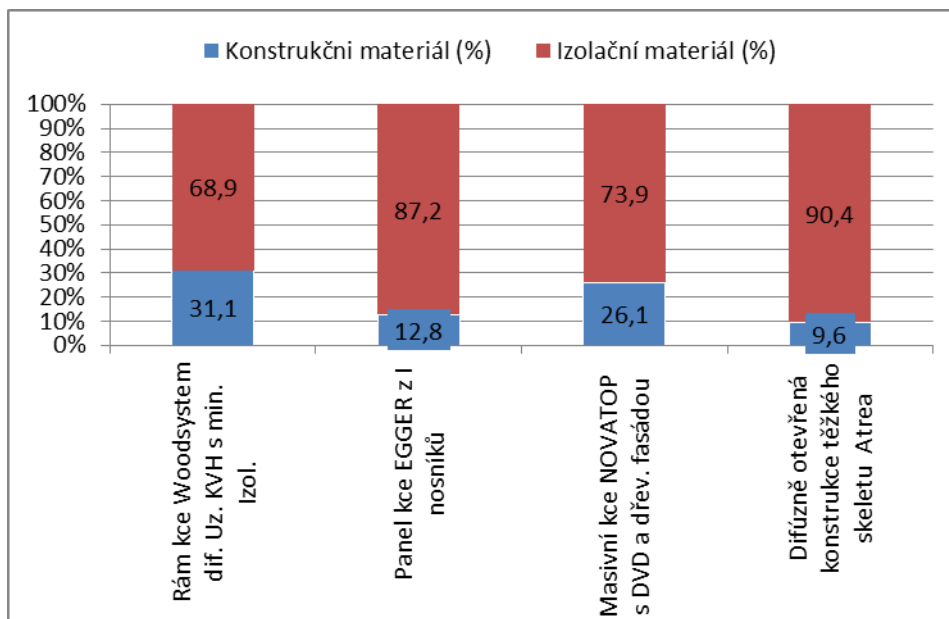
V práci byl stanoven parametr vztah tloušťky konstrukce k tepelně izolačním vlastnostem a konstrukce byly rozděleny do tří skupin dle tloušťky. Schopnost dřevostaveb obsáhnout v obvodové konstrukci velký podíl tepelné izolace je jednou z jejích hlavních předností. Z rozdělení konstrukce v tabulkách je patrné, které konstrukce dosahují tepelně izolačních požadavků na pasivní výstavbu za nejnižší tloušťky konstrukce. Pro výpočet užitné plochy byl uvažován rodinný dům o standardní zastavěné ploše 200 m^2 o dvou nadzemních podlažích a s plochou střechou. Z tabulek je patrné, do jaké míry tloušťka konstrukce obvodové stěny ovlivňuje vnitřní užitnou plochu. Lze tak jednotlivé konstrukce porovnat. Rozdíl mezi nejtlustší a nejtenčí posuzovanou konstrukcí byl $8,95 \text{ cm}$ a tomu odpovídající rozdíl užitné plochy $5,07 \text{ m}^2$ ($2,54 \%$). Tento fakt může být v závislosti na konkrétním projektu a v konkrétním místě více či méně rozhodujícím faktorem.

Dále byl porovnán panelový prefabrikovaný a staveništní sloupkový systém z hlediska časové náročnosti výstavby. Dle literatury se v českých podmínkách dosahuje pracnosti 9 až 11 hodin/m² při staveništní výstavbě, při které je zapotřebí kvalifikovanějších dělníků a stavba je déle vystavena povětrnostním vlivům. K hlavním kladům patří ověřenost systému, možnost případných změn při výstavbě a možnost výstavby ve špatně přístupných terénech.

Naproti tomu u panelové výstavby je rozložení pracnosti velmi odlišné. Záleží především na samotném zhotoviteli a mechanizaci výroby. Obecně se ale pracnost pohybuje kolem 0,5 – 1,5 hod/m² stěny ve výrobě a 1,5 – 4,5 hod/m² na staveništi. Hlavní klady jsou rychlost na staveništi, možnost kontroly kvality, velká automatizace. Záporům je nutnost využití těžké techniky a s tím spojená nemožnost výstavby ve špatně přístupných terénech.

Materiálová náročnost byla spočítána pro každý případ obvodové konstrukce, a to pro vzorek stěny bez otvorů v šířce 1 m a výšce 2,6 metrů. Pro každou konstrukci byl spočítán objem jednotlivých materiálů konstrukčních, konkrétně masivního dřeva, desek OSB, desek z vláken dřeva a desek z vláken sádry, dále objem v konstrukci pro materiály izolační jako polystyren, minerální izolace, foukané celulózy a dřevovláknité izolace. Výsledky byly zaneseny do grafů, z kterých je patrné, kolik procent z celkové hmoty konstrukce zabírá jednotlivý materiál.

Konstrukce byly porovnány z pohledu poměru zastoupení konstrukčního a tepelně izolačního materiálu v konstrukci. Z hlediska parametrů pro výběr vhodného konstrukčního systému je velmi zajímavým ukazatelem poměr konstrukčních a tepelně izolačních materiálů. Možnost umístit tepelnou izolaci přímo do konstrukce, nikoliv pouze z exteriérové strany jako u klasických zděných konstrukcí, je jednou z hlavních výhod dřevostaveb.



Graf č. 22: Extrémy poměru konstrukčních a izolačních materiálů

V grafu č. 22 jsou znázorněny 2 konstrukce s největším podílem a dvě konstrukce s nejmenším podílem izolačních materiálů. Průměrné hodnoty pro zkoumané dřevostaby jsou 81,7 % izolačního materiálu a 18,3 % konstrukčních prvků.

7 Závěr

V diplomové práci bylo pojednáno o současných konstrukčních systémech používaných v České republice pro dřevěnou pasivní výstavbu. Jednotlivé konstrukce byly nejprve přiblíženy z pohledu historie, současného použití, principu konstrukce a přiblížením použitých materiálů. U každé z konstrukcí bylo vybráno několik zástupců z tuzemského českého trhu. Protože většina konstrukcí si je skladbou i materiálem značně podobná a liší se jen nevýrazně, byly konstrukce vybrány tak, aby byly posuzovány konstrukce všech základních typů s podobným součinitelem prostupu tepla, které se od sebe liší způsobem konstrukce i použitým materiálem. Tyto konstrukce byly porovnány z hlediska následujících parametrů.

Z hlediska tepelně izolačních vlastností všechny konstrukce vyhověly požadavkům pro pasivní výstavbu součinitelem prostupu tepla U a teplotním faktorem vnitřního povrchu stěny. Z pohledu normy EN ISO 13788 vyhověly také všechny konstrukce na kondenzaci a difúzi vodních par. Naopak z pohledu normy ČSN 730540-4 nevyhověly dvě poslední posuzované skladby od firmy Atrea a TFH. Nejdůležitějším parametrem z pohledu tepelně technických vlastností byla v práci shledána korekce součinitele prostupu tepla. Korekce vyjadřuje vliv systematických tepelných mostů a v některých případech ovlivnila nepříznivě konečnou hodnotu U o 21 %.

Časová náročnost byla stanovena sběrem informací z literatury a byly vzájemně porovnány dva základní způsoby výstavby, tedy staveništní a prefabrikovaný systém. Oba mají své klady a zápory a záleží vždy na konkrétním případě. Výčet kladů a záporů obou způsobů výstavby mohou pomoci při rozhodovacím procesu.

Z pohledu materiálové náročnosti bylo pro každou konstrukci stanoveno procentualní zastoupení základních materiálů ve skladbě konstrukce. Byly porovnány použité izolační materiály dle fyzikálních vlastností. Velmi zajímavým parametrem je porovnání dle poměru konstrukčních a tepelně izolačních materiálů. Vezmeme-li v úvahu, že umístění tepelné izolace přímo do konstrukce je jednou z hlavních výhod dřevostaveb, tak tento parametr přímo ukazuje, do jaké míry jednotlivé konstrukce využívají tuto přednost.

Posledním zkoumaným parametrem byl vztah tepelně izolačních vlastností a tloušťky konstrukce, ten souvisí s výše zmíněnými. Skladby vyhovující požadavkům na pasivní výstavbu byly zařazeny do skupin dle tloušťky konstrukce. V tabulkách bylo uvedeno, jaký vliv má tloušťka konstrukce na konečnou užitnou plochu budovy.

Je třeba zdůraznit, že volba konstrukčního systému pro pasivní výstavbu je ovlivněna mnoha faktory. Výše uvedené parametry mohou pomoci při volbě nejvhodnějšího konstrukčního systému pasivní dřevostavby pro konkrétní lokalitu a pro konkrétního zákazníka.

Seznam použité literatury

Použitá literatura

1. TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy : principy a příklady*. 1. vyd. Praha : Grada, 2005. 193 s., ISBN 80-247-1101-X.
2. TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2 : principy a příklady*. 1. vyd. Praha : Grada, 2008. 193 s., ISBN 978-802-4720-616.
3. HUMM, Othmar. *Nízkoenergetické domy*. 1.vyd. Praha : Grada Publishing, 1999. 353 s., ISBN 80-716-9657-9.
4. HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Dům ze dřeva* . [s.l.], 1. vyd. Brno : Era, 2008. 99 s., ISBN 80-7366-060-1.
5. KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce pozemních staveb*. Praha : Sekurkon, 1994. 58 s.
6. KOLB, Josef. *Dřevostavby : systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 1. vyd. Praha : Grada, 2008. 317 s., ISBN 978-80-247-2275-7.
7. HORÁK, Pavel, ZAHRADNÍČEK, Václav. *Moderní dřevostavby*. 1 .vyd. Brno : ERA group, 2007. 155 s., ISBN 978-80-7366-109-0.
8. ČKAIT, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. *Dřevěné stavby*. Praha : 3P, 2005. 64 s.
9. OSVALD, Anton a kolektiv. *Hodnotenie materiálov a konštrukcií pre potreby protipožiarnej ochrany*. Zvolen: Technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-228-2039-4.
10. BÍLEK, Vladimír. *Dřevostavby: navrhování dřevěných vícepodlažních budov*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3159-4.
11. BÍLEK, V. Tradice a současnost dřevěných skeletů. *Dřevostavby 2004*. Sborník z odborného semináře. Volyně: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, 2004. s. 28 - 50. ISBN 80-86837-00-9.

12. CAVANAGH, T. *Balloon Houses: The Original Aspects of Conventional Wood-Frame Construction Re-Examined*. Journal of Architectural Education. Vol. 51, No. 1, 1997. s. 5-15. doi: 10.1080/10464883.
13. RŮŽIČKA, Martin. *Pasivní domy 2006*. Vyd. 1. Brno: Centrum pasivního domu, 2006, 407 s.
14. RŮŽIČKA, Martin. *Stavíme dům ze dřeva*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 117 s. ISBN 80-247-1461-2.
15. SMOLA, Josef. *Stavba a používání nízkoenergetických a pasivních domů*. [s.l.] : [s.n.], 2011. 352 s. ISBN 978-80-247-2995-4.
16. BÁRTA, Jan. *Manuál energeticky úsporné architektury*. Praha: Státní fond životního prostředí, 2010, 228 s. ISBN 978-80-904577-1-3.
17. MCPHERSON, James M. *Battle cry of freedom: the Civil War era*. New York: Oxford University Press, 1988, s. 17. ISBN 095038630.
18. NOVÁK, J. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. Praha: Grada Publishing, 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-6217-5.
19. Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J. (2012) *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2251-6.
20. SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty: pro SPŠ stavební*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007, 400 s. ISBN 978-80-8076-057-1.

Elektronické prameny

1. *ideal-epbd., Akční plán pro Českou republiku* [3. leden 2015] Zdroj: http://www.ideal-epbd.eu/download/pap/CZ_Findings_recommendations_cz.pdf
2. Šála J., *Výklad ustanovení ČSN 73 0540* [3. leden 2015] Zdroj: http://www.cka.cc/prilohy/drevenydatum2008_p03.pdf
3. *stavba.tzb-info., Normové hodnoty součinitele prostupu tepla U_{N20} dle ČSN 73 0540-2* [17. října 2011] Zdroj: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/31-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2007-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>

4. uspornebydleni.cz,. Rámová konstrukce EKOPASIV s I nosníky a minerální izolací [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.uspornebydleni.cz/rodinne-domy-2/pasivni-domy>
5. Woodsystem,. Rámová konstrukce Woodsystem difúzně uzavřená KVH s minerální izolací [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.woodsystm.cz/pasivni-drevostavby-na-klic>
6. Kronospan,. Rámová konstrukce Kronospan KVH s izolací ze skelné vlny [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.kondesign.cz/dodavatele/kronospan/kronospan-komplet.pdf>
7. Kronospan,. Rámová konstrukce Kronospan s I-nosníky, foukanou celulózovou izolací a dřevěným obložením [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.kondesign.cz/dodavatele/kronospan/kronospan-komplet.pdf>
8. Alfahaus,. Panelová konstrukce difúzně uzavřená ALFA PASIV [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.alfahaus.cz/technologie-domu/alfa-pasiv>
9. ELK,. Rámová konstrukce ELK z dřeva a cihel MassivWand [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.elk.cz/index.php?id=203>
10. EGGER,. Stěna EGGER z I nosníků [3. leden 2015] Zdroj: http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/131000/1_131033_BR_Konstruktion-skatalog-Holzbaupraxis_CZ.pdf
11. *Drevene-domy*,. *Celostěnové panely DNK Pasiv* [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.drevene-domy.info/en/montovane-domy-technologie/154-celostenove-panely>
12. EUROANEL,. Stěna z sendvičových izolovaných panelů na bázi dřeva [3. leden 2015] Zdroj: <http://www.europanel.cz/cz/fakta-pro-odborniky/technologie-sips/>
13. NOVATOP,. Masivní konstrukce NOVATOP s dřevovláknitou izolací a dřevěnou fasádou [3. leden 2015] Zdroj: http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_NOVATOP_SOLID.pdf
14. NOVATOP,. Masivní konstrukce NOVATOP s EPS a fasádní omítkou [3. leden 2015] Zdroj: http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_NOVATOP_SOLID.pdf
15. KUKLÍK,. Metody výstavby budov ze dřeva [3. leden 2015] Zdroj: http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/4_Metody_vystavby_budov_ze_dreva_Petr_Kuklik.pdf

16. TFH,. Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu THF [3. leden 2015] Zdroj:
<http://www.tfh.cz/skladby-sten-a-stropu/s-17>
17. Domy Atrea,. Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu ATREA [3. leden 2015]
 Zdroj:http://www.domyatrea.cz/?download=_/ke-stazeni/brozura_domy_atrea_2014_01.pdf

Seznam grafů

1.	<i>Rám. konstrukce EKOPASIV</i>	56
2.	<i>Rám. konstrukce Woodsystem</i>	57
3.	<i>Rám. kce Kronospan KVH</i>	58
4.	<i>Rám. kce Kronospan s I-nosníky</i>	59
5.	<i>Panel. konstrukce ALFA PASIV</i>	60
6.	<i>Panel. Konstrukce ELK s MassivWand</i>	61
7.	<i>Panel. Konstrukce EGGER</i>	62
8.	<i>Celostěnové panely DNK Pasiv</i>	63
9.	<i>Konstrukce EUROPANEL</i>	64
10.	<i>Mas. kce NOVATOP s DVD</i>	65
11.	<i>Mas. kce NOVATOP s EPS</i>	66
12.	<i>Kce těžkého skeletu TFH</i>	67
13.	<i>Kce těžkého skeletu Atrea</i>	68
14.	Zastoupení konstrukčních a izolačních materiálů.....	71
15.	Vliv korekce součinitele prostupu tepla U_c na konečnou hodnotu U	75
16.	Vliv korekce součinitele prostupu tepla U_c na konečnou hodnot.....	76
17.	Graf Ročního množství zkondenzované a odpařené vodní páry.....	81
18.	Zastoupení konstrukčních a izolačních materiál.....	82
19.	extrémy zastoupení konstrukčních a izolačních materiálů.....	83
20.	Minimální požadovaná a vypočtená povrchová teplota.....	84
21.	Extrémy zkondenzované a odpařené vodní páry.....	85
22.	Extrémy poměru konstrukčních a izolačních materiálů.....	87

Seznam obrázků

1. *Euroline.*, Schéma pasivního domu [15. prosince 2014] Zdroj:
<http://www.euroline.cz/cz/projekty/rodinne-domy/pasivni-dum.html>
2. *Tywoniak.*, Oblasti typických tepelných vazeb [17. října 2014] Zdroj:
TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy : principy a příklady* strana 25
3. *Srubyservis.*, *Průběh slunečního záření v zimním a letním období* [15. prosince 2014] Zdroj: <http://www.srubyservis.cz/aktuality-orientace-domu-a-budov-ke-svetovym-stranam>
4. *HUMM.*, *Vliv velikosti a proporcí na geometrickou charakteristiku A/V* [15. prosince 2014] Zdroj: HUMM, Othmar. *Nízkoenergetické domy.* strana 39
5. *KOLB, Josef.* *Dřevostavby., Zateplené skladby srubové stěny* [15. prosince 2014]
6. *KOLB, Josef.* *Dřevostavby., Systémy ballon-frame a platform-frame* [17. října 2014]
7. *Woodsystem.*, *Konstrukce Akastav s I stojnou* [17. října 2014] Zdroj:
<http://www.woodsystm.cz/pasivni-drevostavby-na-klic>
8. *Ekodrevostavby.*, *Konstrukce EKOPASIV* [17. října 2014]
Zdroj: <http://www.ekodrevostavby.cz/konstrukce-drevostaveb.html>
9. *Estavmat.sk.*, *Nosník steico wall stojnou* [17. října 2014]
Zdroj: <http://www.estavmat.sk/i---nosniky-steico/steico-joist-strecha-strop/>
10. *Woodsystem.*, *Rámová konstrukce z KVH* [12. prosince 2014]
Zdroj: <http://www.woodsystm.cz/pasivni-drevostavby-na-klic>
11. *Kronospan.*, *Rámová konstrukce KVH s izolací ze skelné vlny* [12. prosince 2014]
Zdroj: <http://www.kronospan.cz/osb-sup-air-ref/>
12. *Kronospan.*, *Rámová konstrukce s I-nosníky, foukanou celulózovou izolací a dřevěným obložním*[12. prosince 2014] Zdroj: <http://www.kronospan.cz/osb-sup-air-ref/>
13. *Alfahaus.*, *Difúzně uzavřená konstrukce se vzduchovou mezerou*[12. prosince 2014]
Zdroj: <http://www.alfahaus.cz/technologie-domu/alfa-pasiv>
14. *ELK.*, *Stěna z dřeva a cihel MassivWand* [12. prosince 2014]
Zdroj: <http://www.elk.cz/index.php?id=207>

15. *EGGER, Stěna EGGER z 1 nosníků* [12. prosince 2014] Zdroj: http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/131000/1_131033_BR_Konstruktionskatalog-Holzbau-Praxis_CZ.pdf
 16. *Drevene-domy, Celostěnové panely DNK Pasiv* [12. prosince 2014] Zdroj: <http://www.drevene-domy.info/cs/montovane-domy-technologie/154-celostenove-panely>
 17. *EUROPANEL, Skladba stěny EUROPANEL* [12. prosince 2014] Zdroj: <http://www.europanel.cz/cz/fakta-pro-odborniky/stavebni-system-europanel>
 18. *KOLB, Josef. Dřevostavby, Křížově slepené řezivo vlevo, spojené kolíky ve středu, vrstvené z řeziva spojeno hřebíky vpravo* [12. prosince 2014] Zdroj:
 19. *Novatop, Stavba z masivního lepeného dřeva NOVATOP* [12. prosince 2014] Zdroj: http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_NOVATOP_SOLID.pdf
 20. *Novatop, Stěna z masivního dřeva s dřevěnou fasádou* [12. prosince 2014] Zdroj: http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_NOVATOP_SOLID.pdf
 21. *Novatop, Stěna masivního dřeva s EPS a fasádní omítkou* [12. prosince 2014] Zdroj: http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_NOVATOP_SOLID.pdf
 22. *KOLB, Josef. Dřevostavby, Skeletová konstrukce* [12. prosince 2014] Zdroj:
 23. *Stavba.tbz-info.cz, Dřevěná skeletová konstrukce* [12. prosince 2014] Zdroj: <http://stavba.tbz-info.cz/nosne-systemy-drevostaveb/7763-stycniky-tezkych-drevenych-skeletu>
 24. *Stavba.tbz-info.cz, Styčník těžkého skeletu s svařovanou ocelovou deskou konstrukce* [12. prosince 2014] Zdroj: <http://stavba.tbz-info.cz/nosne-systemy-drevostaveb/7763-stycniky-tezkych-drevenych-skeletu>
 25. *TFH.cz, Difúzně otevřená konstrukce těžkého skeletu THF* [12. prosince 2014] Zdroj: <http://www.tfh.cz/konstrukce-drevostavby/s-16>
 26. *Domy.atrea.cz, Příklad skladby těžkého dřevěného skeletu THF* [12. prosince 2014] Zdroj: <http://www.domyatrea.cz/cz/konstrukce>
- Schéma stanovení výskytu a oblasti kondenzace [ČSN-73-0540-4]* [12. prosince 2014]