

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



Fakulta lesnická s dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Dřevařské inženýrství

Diplomová práce

Analýza návrhu obvodové stěny dřevostaveb v pasivním standardu

Autor: Bc. Radim Balík

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

2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Analýza návrhu obvodové stěny dřevostaveb v pasivním standardu vypracoval samostatně a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Souhlasím se zveřejněním diplomové práce 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

.....

Podpis autora

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval svému vedoucímu učiteli, panu Ing. Martinu Múčkovi, Ph.D., děkuji mu za toleranci a trpělivost při tvorbě této práce. Dále děkuji všem, které jsem svými dotazy jakkoliv zaměstnal, zejména panu Ing. Ivo Holubovi ze společnosti Insowool, panu doc. Dr. Ing. Zbyňku Svobodovi z fakulty stavební ČVUT a panu Ing. Janu Juhásovi ze společnosti KNAUF insulation. Dále mnohokrát děkuji Andree Podlipské ze společnosti Izotem za zasláné podklady.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tepelně technickou analýzou obvodových stěn rámových konstrukcí pro pasivní budovy a rovněž ekonomickým zhodnocením jednotlivých variant. Nejprve jsou hodnoceny difuzně otevřené konstrukce pro velké budovy, tedy s hodnotou U na střední či horní hranici doporučených hodnot pro pasivní domy dle ČSN 730540-2. Rovněž jsou kvantifikované vlastnosti jednotlivých konstrukcí při použití 4 různých izolací mezi sloupky. Z analýzy vyplývá, že nejnižší hodnoty součinitele prostupu tepla dosáhneme s izolací Isover FASSIL, nejnižší ceny pak s Isover DOMO, nejvyšší hodnoty fázového posunu při použití izolace Climatizer Plus. Rovněž můžeme říci, že při použití větší tloušťky fasádní dřevovláknité izolace na úkor menší tloušťky sloupku s vnitřní izolací dosáhneme nižších hodnot součinitelů prostupu tepla a mírně lepších hodnot fázového posunu, ale vyšší ceny. Rovněž jsme vyhodnotili, že pro snížení hodnoty U obvodové stěny u DOK je výhodné použít dřevěný I-nosník, s kterým se dostaneme pod doporučenou hodnotu U intervalu pro obvodové stěny pasivních domů. Dále byly analyzovány difuzně uzavřené konstrukce. Vyplývalo, že je výhodné použít co největší tloušťku fasádního polystyrenu na úkor co nejmenší tloušťky sloupku s vnitřní izolací. Rovněž při porovnání DUK a DOK vyplývalo, že DUK dosahují při porovnatelné hodnotě U mnohem nižších cen za m², rovněž ale i mnohem horších hodnot fázového posunu a je u nich riziko ohrožení funkce kondenzací při nesprávném provedení parozábrany oproti DOK, které jsou mnohem bezpečnější.

Klíčová slova

KVH hranoly, dřevěné I-nosníky, difuzně otevřená konstrukce, difuzně uzavřená konstrukce, pasivní standard

Abstract

The diploma thesis deals with heat-technical analysis of the external walls of frame structures for passive buildings, as well as economic evaluation of individual variants. First, they are evaluated by diffusion open construction for large buildings, it means U-value is in the middle or upper of limit recommended values for passive houses according to CSN 730540-2. They are also quantified characteristics of each structure using 4 different insulation between the columns, the analysis shows that the lowest values of heat transfer coefficient achieved with Isover insulation FASSIL, rates then Isover DOMO, the highest values of phase shift in the use of isolation Climatizer Plus. We can also say that using thicker facade fiber insulation and smaller thickness of column with internal insulation, put lower heat transfer coefficient and slightly better values of phase shift, but higher prices. We also evaluated the impairment for U perimeter wall at DOK is advantageous to use wooden I-beam, with whom we get below the recommended interval U value for the external walls of passive houses. We have analyzed the diffusion-sealed structure. The results showed that it is preferable to use the largest possible thickness of facade polystyrene and smallest thickness of the column with internal insulation. Next the results of comparison DUK and DOK showed that one square meter of DUK is much cheaper than DOK with similar U-value, but also much worse values of phase shift and risk of danger of improper function of condensation of vapor barrier performance compared to DOK, which is much safer.

Keywords

KVH squared timber, wooden I-beams, diffusion open construction, diffusion sealed construction, passive standard

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 Příklad ideálního umístění domu na pozemku</i>	23
<i>Obrázek 2 Vliv faktoru budovy A/V na měrnou potřebu tepla na vytápění.....</i>	24
<i>Obrázek 3 Podélné napojení KVH hranolu na miniklínový zubový spoj</i>	31
<i>Obrázek 4 KVH hranoly</i>	31
<i>Obrázek 5 Napětí v nosníku vyvolané namáháním v ohybu</i>	35
<i>Obrázek 6 Dřevěné I-nosníky se stojinou z OSB desky</i>	36
<i>Obrázek 7 Dřevěné I-nosníky se stojinou z tvrdé dřevovláknité desky.....</i>	36
<i>Obrázek 8.....</i>	45
<i>Obrázek 9 Dřevěný rám stěnového panelu dřevostavby.</i>	48
<i>Obrázek 10 Výroba stěnových panelů prefabrikovaných rámových dřevostaveb.</i>	52
<i>Obrázek 11 Montáž rámové konstrukce dřevostavby pomocí jeřábu.....</i>	52
<i>Obrázek 12 DUK s předstěnou a oboustranným opláštěním</i>	57
<i>Obrázek 13 DUK s předstěnou a jednostranným opláštěním</i>	57
<i>Obrázek 14 DUK bez předstěny s jednostranným opláštěním</i>	58
<i>Obrázek 15 DOK s předstěnou a jednostranným opláštěním</i>	59
<i>Obrázek 16 DOK bez předstěny s jednostranným opláštěním</i>	60
<i>Obrázek 17 DOK bez předstěny s jednostranným opláštěním se čtyřmi funkcemi</i>	60
<i>Obrázek 18 DOK s předstěnou a dvoustranným opláštěním.....</i>	61
<i>Obrázek 19 Otevřený panel obvodové stěny s rozměry pro kalkulaci (kóty v mm).....</i>	70
<i>Obrázek 20 Teplotní oblasti ČR v zimním období.....</i>	73
<i>Obrázek 21 Skladba konstrukce.</i>	93
<i>Obrázek 22 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.....</i>	111
<i>Obrázek 23 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.....</i>	112
<i>Obrázek 24 Skladba konstrukce.</i>	117
<i>Obrázek 25 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.....</i>	118
<i>Obrázek 26 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.....</i>	120
<i>Obrázek 27 Skladba konstrukce.</i>	122
<i>Obrázek 28 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.....</i>	123
<i>Obrázek 29 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.....</i>	125
<i>Obrázek 30 Skladba konstrukce.</i>	127
<i>Obrázek 31 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.....</i>	128
<i>Obrázek 32 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.....</i>	130
<i>Obrázek 33 Skladba konstrukce.</i>	132
<i>Obrázek 34 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.....</i>	133
<i>Obrázek 35 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.....</i>	135
<i>Obrázek 36 Skladba konstrukce.</i>	137
<i>Obrázek 37 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.....</i>	138

<i>Obrázek 38 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.</i>	140
<i>Obrázek 39 Skladba konstrukce.</i>	143
<i>Obrázek 40 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	144
<i>Obrázek 41 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.</i>	146
<i>Obrázek 42 Skladba konstrukce.</i>	149
<i>Obrázek 43 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	150
<i>Obrázek 44 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.</i>	152
<i>Obrázek 45 Skladba konstrukce.</i>	164
<i>Obrázek 46 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	165
<i>Obrázek 47 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.</i>	167
<i>Obrázek 48 Dřevěný I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 mm – rozměry (kóty v mm).</i>	172
<i>Obrázek 49 Skladba konstrukce.</i>	175
<i>Obrázek 50 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	177
<i>Obrázek 51 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.</i>	177
<i>Obrázek 52 Skladba konstrukce.</i>	182
<i>Obrázek 53 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	183
<i>Obrázek 54 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.</i>	185
<i>Obrázek 55 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 70 % – 2D výpočet.</i>	189
<i>Obrázek 56 Skladba konstrukce.</i>	191
<i>Obrázek 57 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	192
<i>Obrázek 58 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.</i>	197
<i>Obrázek 59 Skladba konstrukce.</i>	201
<i>Obrázek 60 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	202
<i>Obrázek 61 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.</i>	204
<i>Obrázek 62 Skladba konstrukce.</i>	207
<i>Obrázek 63 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	208
<i>Obrázek 64 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.</i>	210
<i>Obrázek 65 Skladba konstrukce.</i>	213
<i>Obrázek 66 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	214
<i>Obrázek 67 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.</i>	218
<i>Obrázek 68 Skladba konstrukce.</i>	227
<i>Obrázek 69 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.</i>	227

Obrázek 70 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet. 229

Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní vlastnosti pasivních budov.	26
Tabulka 2 Základní požadavky na energeticky nulové budovy.	27
Tabulka 3 Požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2.	70
Tabulka 4 Průměrné měsíční hodnoty pro výpočet roční bilance dle ČSN EN ISO 13788 bez 5% přírážky k relativní vlhkosti vnitřního vzduchu.	73
Tabulka 5 Vlhkostní třídy dle ČSN EN ISO 13788.	76
Tabulka 6 Návrhové okrajové podmínky pro výpočet kondenzace uvnitř konstrukce.	79
Tabulka 7 Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně pro posouzení kondenzace uvnitř konstrukce a povrchové kondenzace u oken a dveří.	80
Tabulka 8 Porovnání vybraných vlastností 4 druhů vnitřních izolací.	90
Tabulka 9 Tepelné odpory jednotlivých vrstev a celé konstrukce a hodnota součinitele prostupu tepla.	94
Tabulka 10 Rozložení teplot v konstrukci.	96
Tabulka 11 Částečné tlaky nasycené vodní páry při různých teplotách.	98
Tabulka 12 Difúzní odpor jednotlivých vrstev a celé konstrukce.	100
Tabulka 13 Hodnoty teoretických částečných tlaků vodní páry v konstrukci.	102
Tabulka 14 Částečné tlaky nasycené vodní páry pro teploty v konstrukci.	103
Tabulka 15 Porovnání teoretických částečných tlaků vodní páry s částečnými tlaky nasycené vodní páry.	105
Tabulka 16 Porovnání množství zkondenzované vodní páry dle návrhových podmínek dle ČSN 730540 při výpočtu 1D šíření vlhkosti (TEPLO 2010) a 2D šíření vlhkosti (AREA 2010).	112
Tabulka 17 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	114
Tabulka 18 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	115
Tabulka 19 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	120
Tabulka 20 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	121
Tabulka 21 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	125
Tabulka 22 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	126
Tabulka 23 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	130
Tabulka 24 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	131
Tabulka 25 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	135
Tabulka 26 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	136
Tabulka 27 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	140
Tabulka 28 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	141
Tabulka 29 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	146
Tabulka 30 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	147
Tabulka 31 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	152
Tabulka 32 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	153
Tabulka 33 Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	167
Tabulka 34 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	168
Tabulka 35 Hodnoty součinitelů tepelných vodivostí materiálů.	171

<i>Tabulka 36</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	177
<i>Tabulka 37</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	178
<i>Tabulka 38</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	185
<i>Tabulka 39</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	186
<i>Tabulka 40</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	193
<i>Tabulka 41</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	195
<i>Tabulka 42</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	204
<i>Tabulka 43</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	205
<i>Tabulka 44</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	210
<i>Tabulka 45</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	212
<i>Tabulka 46</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	218
<i>Tabulka 47</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	219
<i>Tabulka 48</i> Kalkulace ceny za 1 m ² konstrukce.	229
<i>Tabulka 49</i> Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.	230

Seznam grafů

Graf 1 Závislost maximálního množství vodní páry ve vzduchu na teplotě vzduchu	44
Graf 2 Závislosti parciálního tlaku syté vodní páry v nasyceném vlhkém vzduchu na teplotě.	45
Graf 4 Přírážky Δp pro vlhkostní třídy dle ČSN EN ISO 13788	77
Graf 5 Rozložení teplot v konstrukci v měřítku tepelných odporů	97
Graf 6 Rozložení teplot v konstrukci v měřítku tloušťek vrstev.....	98
Graf 7 Rozložení teoretických částečných tlaků vodní páry v konstrukci v měřítku difúzních odporů.....	103
Graf 8 Rozložení teoretických částečných tlaků vodní páry a částečných tlaků nasycené vodní páry v konstrukci v měřítku difúzních odporů.	104
Graf 9 Určení kondenzační zóny a skutečných částečných tlaků vodní páry v konstrukci.	107
Graf 10 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - ruční 1D výpočet.	109
Graf 11 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	110
Graf 12 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	119
Graf 13 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	124
Graf 14 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	129
Graf 15 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	134
Graf 16 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	139
Graf 17 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	145
Graf 18 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	151
Graf 19 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	166
Graf 20 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	176
Graf 21 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.	184
Graf 22 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 70% - 1D výpočet.	188
Graf 23 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při uvažování μ parozábrany na 100 % - 1D výpočet.	193
Graf 24 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.	197

<i>Graf 25 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 25 % - 1D výpočet.</i>	199
<i>Graf 26 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.</i>	203
<i>Graf 27 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.</i>	209
<i>Graf 28 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.</i>	215
<i>Graf 29 Akumulované množství zkondenzované vlhkosti během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788 při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.</i>	216
<i>Graf 30 Aktuální míra kondenzace a odparu vodní páry během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788 při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.</i>	217
<i>Graf 31 Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla DUK pasivních domů pro velké budovy.</i>	221
<i>Graf 32 Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla DUK pasivních domů pro velké budovy.</i>	222
<i>Graf 33 Porovnání hodnot fázových posunů teplotního kmitu DUK pasivních domů pro velké budovy.</i>	223
<i>Graf 34 Porovnání cen za m^2 konstrukce DUK pasivních domů pro velké budovy.</i>	224
<i>Graf 35 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.</i>	228
<i>Graf 36 Porovnání součinitele prostupu tepla DOK s I-nosníkem 60/45x300mm + 60 mm STEICO protect a DUK KVH 60x160 + 200 mm EPS.</i>	235
<i>Graf 37 Porovnání cen 1 m^2 konstrukce DOK s I-nosníkem 60/45x300mm + 60 mm STEICO protect a DUK KVH 60x160 + 200 mm EPS.</i>	236
<i>Graf 38 Porovnání fázového posunu teplotního kmitu DOK s I-nosníkem 60/45x300mm + 60 mm STEICO protect a DUK KVH 60x160 + 200 mm EPS.</i>	236

Seznam použitých zkratk a symbolů

DUK – difuzně uzavřená konstrukce

DOK – difuzně otevřená konstrukce

EPS – expandovaný polystyren

Obsah

1	ÚVOD.....	19
2	CÍLE PRÁCE	21
3	BUDOVY S NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOSTÍ.....	22
	Zásady navrhování energeticky úsporných staveb	22
	3.1.1 Volba pozemku a orientace budovy ke světovým stranám	22
	3.1.2 Tvarové řešení budovy	23
	3.1.3 Vnitřní uspořádání prostoru.....	24
	Rozdělení staveb dle energetické náročnosti.....	25
4	CHARAKTERISTIKA KVH HRANOLŮ A DŘEVĚNÝCH I-NOSNÍKŮ	29
	Charakteristika KVH hranolů.....	29
	Charakteristika dřevěných I-nosníků.....	33
5	ZÁKLADNÍ POJMY Z TEPELNÉ TECHNIKY	38
	Šíření tepla.....	38
	Vodní pára ve vzduchu	42
	Difuze vodních par skrz stavební konstrukci	45
6	DŘEVOSTAVBY RÁMOVÉ KONSTRUKCE	48
	Difuzně otevřené vs. Difuzně uzavřené konstrukce	53
	6.1.1 Difuzně uzavřená konstrukce	53
	6.1.2 Difuzně otevřená konstrukce	58
7	POSTUP ANALÝZY OBVODOVÝCH STĚN	62
	Hodnocená kritéria při posuzování obvodových stěn.....	63
8	NÁVRHOVÉ HODNOTY PRO TEPELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY	72
	Venkovní prostředí	72
	8.1.1 Teplota.....	72
	8.1.2 Relativní vlhkost.....	74
	Vnitřní prostředí	75
	8.1.3 Teplota.....	75
	8.1.4 Relativní vlhkost.....	76
	Shrnutí podmínek pro jednotlivé výpočty	79
	Tepebné odpory při přestupu tepla pro tepelně technické výpočty	80
	8.1.5 Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu	80
	8.1.6 Tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu	81

9	MATERIÁLY POUŽITÉ PRO OBVODOVÉ STĚNY	82
	Materiály pro difuzně otevřené konstrukce obvodových stěn.....	82
	Materiály pro difuzně uzavřené konstrukce obvodových stěn	86
10	ANALÝZA DIFUZNĚ OTEVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH DOMŮ PRO VELKÉ BUDOVY	92
	DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex....	92
	DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	116
	DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO	122
	DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL	127
	DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex....	132
	DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	137
	DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO..	142
	DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL.	148
	Vyhodnocení.....	154
	10.1.1 Součinitel prostupu tepla	154
	10.1.2 Kondenzace na povrchu konstrukce	155
	10.1.3 Teplotní faktor vnitřního povrchu	155
	10.1.4 Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	156
	10.1.5 Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788.....	158
	10.1.6 Fázový posun teplotního kmitu	158
	10.1.7 Cena.....	159
	10.1.8 Celkové vyhodnocení	161
11	MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA DIFUZNĚ OTEVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH BUDOV	164
	DOK KVH 60 x 200 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL	164
	Možnosti dalšího snižování hodnoty součinitele prostupu tepla U	170
	Porovnání tepelného odporu KVH hranolu, dřevěného I-nosníku a dřevovláknité izolace	171
	DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	174
	Porovnání obvodové stěny s I-nosníkem STEICO wall s obvodovou stěnou z KVH hranolů.....	179

11.1.1	Součinitel prostupu tepla	179
11.1.2	Cena	180
	DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 300 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	181
	Vyhodnocení.....	189
12	ANALÝZA DIFUZNĚ UZAVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH DOMŮ PRO VELKÉ BUDOVY	191
	DUK KVH 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO	191
	12.1.1 Kondenzace uvnitř konstrukce při uvažování 100 % účinnosti parozábrany (neponížena hodnota μ)	192
	12.1.2 Kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 %	196
	12.1.3 Kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 25 %	199
	Vyhodnocení kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 a ČSN EN ISO 13788	200
	DUK KVH 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL	201
	DUK KVH 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO	206
	DUK KVH 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL	213
	Vyhodnocení.....	221
	12.1.4 Součinitel prostupu tepla U	221
	12.1.5 Kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek	222
	12.1.6 Fázový posun teplotního kmitu	223
	12.1.7 Cena	224
13	MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA DIFUZNĚ UZAVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH BUDOV	226
	DUK KVH 160 + 200 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL	226
	Vyhodnocení.....	231
14	DOK vs. DUK	233
	DOK vs. DUK pro velké budovy	233
	14.1.1 Součinitel prostupu tepla	233
	14.1.2 Cena za m ² konstrukce	233
	14.1.3 Fázový posun teplotního kmitu	234
	14.1.4 Kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek	234
	Shrnutí DOK vs. DUK pro velké budovy	234

DOK vs. DUK pro malé budovy	235
Vyhodnocení.....	237
<p>Výsledky jsou podobné jako u porovnání DOK a DUK pro malé budovy, můžeme tedy konstatovat, že při téměř totožné hodnotě U je DUK mnohem levnější, z hlediska pořizovacích a provozních nákladů tedy výhodnější, avšak vykazuje mnohem horší hodnoty fázového posunu teplotního kmitu a je rovněž ve srovnání s DOK méně bezpečná. To je, jak jsme již zmínili dáno obecně jinou koncepcí navrhování DUK a DOK, jak jsme již zmínili a rovněž rozdílností fasádních izolací u DUK a DOK. Rovněž můžeme shrnout, fasádní polystyren používaný u DUK se běžně prodává v tloušťkách do 200 mm, fasádní dřevovláknitá izolace používaná u DOK standardně jen do 100 mm, u DUK nám tedy stačí KVH 160 mm a maximální tl. polystyrenu a dostaneme se pod doporučenou hodnotu U pro obvodové stěny pasivních domů, což u DOK neplatí, je tedy použití I-nosníku velmi výhodné.</p>	
15 DISKUSE A VYHODNOCENÍ.....	238
16 ZÁVĚR.....	240
17 POUŽITÝ SOFTWARE	243
18 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	244

1 ÚVOD

Důvodem, proč jsem si tuto práci vybral je můj zájem o dřevostavby jako takové, obzvlášť o rámové konstrukce dřevostaveb, které jsou nejen v ČR zdaleka nejčastěji se vyskytujícím konstrukčním systémem dřevostaveb. Současně můžeme pozorovat neustále rostoucí procento podílu dřevostaveb z počtu novostaveb v ČR. Obvodové stěny jako součást obvodového pláště formují vlastnosti celé budovy. Současně jsem nenalezl žádnou podrobnou literaturu, zabývající se podrobným popisem obvodových stěn dřevostaveb v současnosti používaných na českém i zahraničním trhu. Proto jsem se pokusil zanalyzovat možnosti návrhu obvodových stěn dřevostaveb v současnosti používaných v ČR, ovšem není v mých silách podrobně zanalyzovat všechny možné typy konstrukcí, proto se všechny nejčastěji používané skladby pokusím alespoň teoreticky popsat. Doufám, že se mi alespoň trochu povede nastínit základní koncepci navrhování obvodových stěn dřevostaveb rámové konstrukce i pro nezaujaté čtenáře, kteří by do této problematiky rádi pronikli. Protože jsou dřevostavby rámové konstrukce svoji skladbou doslova předurčeny ke stavění energeticky úsporných domů (v podstatě v celé tloušťce obvodové stěny je tepelná izolace) a rovněž je nejen trend, ale do budoucna bude i povinnost z hlediska legislativy stavění energeticky úsporných staveb (od r. 2020 by měli všechny novostavby být s téměř nulovou spotřebou energie), vybral jsem si pro konstrukce aktuální pasivní standard. Je tomu již řada let, co jsem poprvé slyšel slovo dřevostavba, nicméně mě nenapadlo se tímto pojmem dále zabývat, až jsem si jednoho dne řekl, dřevostavba? Z čeho tak může být složena obvodová stěna? Kamarád mi to tenkrát vysvětloval a já jsem ho vyslechl a po chvíli to zapomněl a druhý den se ho ptal znovu. Asi před 5 lety jsem viděl pojem difuzně otevřená a difuzně uzavřená obvodová stěna dřevostavby, přečetl jsem si tento článek, avšak z důvodu nedostatků mých znalostí fyziky jsem nejen nepochopil rozdíl, ale rovněž mě i přešlo zabývat se dál oborem dřevostavby. Vše se “zlomilo“ ve 3. ročníku na ČZU, kde jsem absolvoval předmět Termomechanika s panem profesorem Adamovským a po absolvování tohoto předmětu jsem nejen získal základní povědomí o tomto oboru, ale mohl jsem s chutí proniknout i do problematiky obvodových stěn dřevostaveb, které s tímto oborem souvisí. Obvodové stěny dřevostaveb mě začaly velmi zajímat, protože jsem viděl neskutečnou škálu možností jejich skladeb. Rád bych zdůraznil, že v práci jsem nechtěl jakkoliv poškozovat jakékoliv stavební materiály nebo konstrukce, pokud to takto vyznělo, tak se omlouvám, jsem zastáncem myšlenky, že když se nějaký materiál či konstrukce používají, má to vždy svůj důvod, pokud by byl nějaký materiál

“špatný“ tak by se nepoužíval. Rovněž není v mých silách analyzovat obvodové stěny ve všech jejich vlastnostech, proto i když některé konstrukce vyjdou lépe než jiné, nelze jednoduše říci, že tato obvodová stěna je prostě lepší než jiná a jinak to být nemůže.

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je provést tepelně – technickou analýzu návrhu svislé obvodové stěny dřevostavby difuzně uzavřené a difuzně otevřené při použití KVH hranolů a dřevěných I-nosníků jako nosné konstrukce, včetně posouzení vlivu použitých izolačních materiálů a to pro konstrukci v pasivním standardu. Dílčím cílem je i ekonomické zhodnocení jednotlivých variant.

3 BUDOVY S NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOSTÍ

Zásady navrhování energeticky úsporných staveb

Při návrhu energeticky úsporných staveb musíme optimálně vyřešit několik zásadních bodů mezi něž patří:

- **Volba pozemku a orientace budovy ke světovým stranám**
- **Tvarové řešení a velikost budovy**
- **Vnitřní uspořádání prostoru**
- **Vysoká tepelněizolační schopnost a vzduchotěsnost vnější obálky budovy**
- **Vyloučení tepelných mostů**
- **Optimální velikost vnějších prosklených ploch a jejich orientace ke světovým stranám**

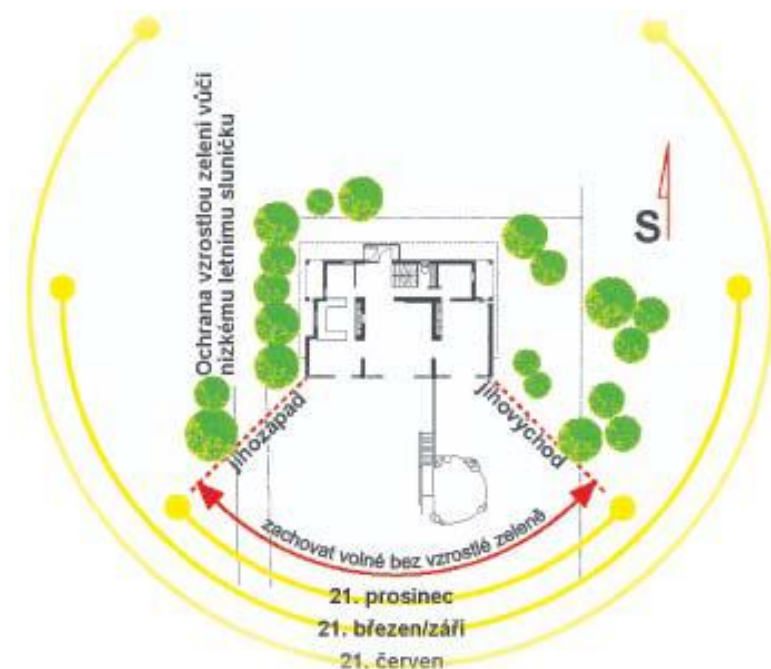
(Počinková, 2012)

3.1.1 Volba pozemku a orientace budovy ke světovým stranám

Úspory při navrhování začínají již při výběru pozemku, proto je důležité zohlednit následující faktory:

- Klimatické údaje dané lokality – nadmořská výška, teplota, množství slunečního svítu, množství srážek.
- Orientaci obytných místností (pokoje, ložnice...) – jižně či jihozápadně, čímž docílíme vyšších tepelných zisků ze slunečního záření, což nám umožní redukcí výkonu tepelného zdroje (kotle na plyn, elektrokotle, tepelného čerpadla...). V létě, kdy jsou vyšší tepelné zisky ze slunečního záření nežádoucí, je můžeme redukovat stínícími prostředky (žaluzie, rolety, markýzy...)
- Možnost využití pozemku – např. k instalaci tepelného čerpadla (země – voda, země – vzduch, vzduch – voda, voda – voda) potřebujeme mít k dispozici dostatečnou plochu (plošný kolektor země – voda) nebo hloubku (geotermální sonda voda – voda, hlubinný kolektor země – voda), tudíž již při návrhu musí být

známo, zda potrubí TČ nebude v kolizi s jiným vedením a samozřejmě musejí být známy geologické poměry, z důvodu tepelného výkonu zeminy a umožnění vedení potrubí TČ.



Obrázek 1 Příklad ideálního umístění domu na pozemku

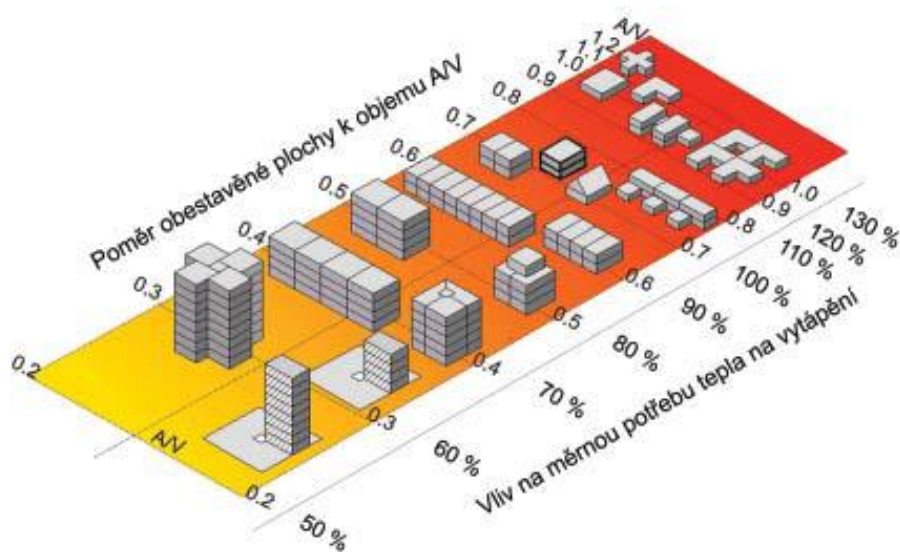
Zdroj: www.pasivnídomy.cz

3.1.2 Tvarové řešení budovy

Obecně při návrhu energeticky úsporných budov je snahou se vyvarovat členitých půdorysů. K minimalizaci množství kritických detailů by jako ideální tvar budovy vyhovoval obdélník či čtverec. Avšak mnohdy architekti pouštějí uzdu své fantazii a navrhují obtížně realizovatelné a technicky složité půdorysy. Zejména při návrhu energeticky pasivních budov by měla být snaha o co nejmenší počet rohů, koutů atd. Takovéto kritické detaily představují tepelné mosty, které se promítnou do celkové energetické náročnosti budovy.

Dalším důležitým ukazatelem koncepce návrhu objektu je faktor budovy. Faktor budovy vyjadřuje poměr ochlazované plochy A k vnitřnímu objemu V . Prakticky udává poměr všech ochlazovaných ploch budovy k objemu vnitřního vzduchu v budově. Je patrné, že čím je jeho hodnota nižší, tím je méně ochlazovaných ploch na jednotku objemu vnitřního vzduchu. Z tohoto pohledu by byl nejvýhodnější tvar budovy koule, který má nejnižší povrch (ochlazované plochy) vůči objemu. Tudíž při stejném tepelném odporu

vnějšího pláště docílíme nižších tepelných ztrát objektu prostupem tepla a tím i energetických úspor na vytápění. Budovy ve tvaru koule, nebo budovy tvarem se blížící, jsou však obtížně realizovatelné. Dále by byl z tohoto pohledu výhodný půdorysný tvar čtverce. Ten je však nevhodný z hlediska dispozice. Proto se jako nejpříjemnější jeví půdorysný tvar obdélníku, který je vhodný z hlediska dispozičního řešení, s delší stranou orientovanou na jih, viz dále.



Obrázek 2 Vliv faktoru budovy A/V na měrnou potřebu tepla na vytápění

Zdroj: www.pasivnidomy.cz

3.1.3 Vnitřní uspořádání prostoru

Umístění jednotlivých místností se při návrhu pasivních domů řídí tzv. zónováním, což je dispoziční řešení půdorysu podle teplotních zón. To omezuje projektantovi možnosti rozmístění jednotlivých místností. Je snahou obytné místnosti, resp. jejich prosklené plochy orientovat na jih, západ či jihozápad, z důvodusplnění požadavku osvětlení těchto místností denním světlem. V případě orientace obytných místností na sever bývá problematické tento požadavek splnit. Vedlejší místnosti (koupelna, WC, chodba, komora, spíž...) jsou nenáročné na denní osvětlení, tudíž mají minimální plochu okenních otvorů, tzn. i minimální tepelné ztráty prostupem ohraničujících konstrukcí. Umisťují se na sever, aby vytvořily tepelně vyrovnávací zónu mezi exteriérem a obytnými místnostmi. Při

návrhu rozmístění místností vzhledem ke světovým stranám, je vhodné vycházet z předpokladu doby jejich užívání. Například ložnici je vhodné umisťovat na východ, případně na jihovýchod či severovýchod, z důvodu osvětlení ranním světlem. Obývací pokoj je obýván většinou odpoledne, proto je výhodné ho orientovat na jih, západ, či jihozápad.

(www.pasivnidomy.cz)

Rozdělení staveb dle energetické náročnosti

Nízkoenergetické budovy

Jak vyplývá z názvu, nízkoenergetické budovy mají nižší spotřebu tepla na vytápění než je požadavek národních předpisů pro standardní novostavby. Aby budova mohla být klasifikována jako nízkoenergetická, musí mmj. splňovat požadavek maximální hodnoty měrné spotřeby tepla na vytápění 50 kWh/(m²*a). Vzhledem k dnešnímu trendu, kdy je snahou energetickou náročnost novostaveb stále snižovat, lze předpokládat, že se tento požadavek do budoucna bude zpříšňovat.

Pasivní budovy

„Pasivní budovy jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením. Povinně hodnocenou vlastností je celková průvzdušnost obálky budovy podle ČSN EN 13829, TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Celková intenzita výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí překročit hodnotu $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ “ (Tywoniak 2012)

Základní informace o pasivních budovách jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540-2.

Pasivní obytné budovy

Požadavky na pasivní obytné budovy, viz **Tabulka 1**. Obvodové konstrukce se volí tak, aby odpovídaly doporučeným hodnotám pro pasivní budovy, viz **Tabulka 3**. Zdůvodu vyššího

oměru A/V (větší množství ochlazovaných ploch vůči objemu vnitřního vzduchu budovy) se pro rodinné domy volí hodnoty při spodním okraji intervalu, pro bytové domy se naopak mohou volit hodnoty při horním okraji intervalu, z důvodu nižší faktoru budovy. Tyto hodnoty se samozřejmě volí tak, aby splňovaly požadavek měrné potřeby tepla na vytápění, viz *Tabulka 1*.

Pasivní neobytné budovy

Požadavky na pasivní neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou, viz *Tabulka 1*.

Další informace viz TNI 73 0330.

Tabulka1 Základní vlastnosti pasivních budov.

Zdroj: ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ÚNMZ, 2011

	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m²*K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m²*a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m²*a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m²*a)]
Obytná budova: rodinný dům	$\leq 0,25$ požadováno $\leq 0,20$ doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
Obytná budova: bytový dům	$\leq 0,35$ požadováno $\leq 0,30$ doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18-22°C	$\leq 0,35$ ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy	Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em, rec}$ podle článku 5.3.2 v ČSN 73 0540-2. ²⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné (ověření výpočtem za normových podmínek). Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.				

Energeticky nulové budovy

„Hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, vyjádřené v hodnotách primární energie. Předpokládá se, že budova je připojena na obvyklé energetické sítě. Jedná se tedy o bilančně nulovou budovu, jak je uvedeno dále. Zpravidla je výhodné, aby stavební řešení a technická zařízení budovy byla navržena tak, aby odpovídala standardu pasivní budovy.

Jsou stanoveny dvě základní úrovně hodnocení:

Úroveň A – do energetických potřeb budovy se zahrne potřeba tepla na vytápění, potřeba energie na chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče.

Úroveň B – jako A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče.”
(Tywoniak 2012)

V **tab. 2** je uvedeno, co se považuje za dosažení úrovně „energeticky nulové budovy” a co za dosažení úrovně „blízké energeticky nulové budově”.

Tabulka 2 Základní požadavky na energeticky nulové budovy.

Zdroj: ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ÚNMZ, 2011

Závaznost kritéria	Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
			Úroveň A	Úroveň B
	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² *K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² *a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů [kWh/(m ² *a)]	
Obytné budovy				
Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$	Rodinné domy $\leq 0,20$	0	0
Blízký nulovému	Bytové domy $\leq 0,35$	Bytové domy $\leq 0,15$	80	30
Neobytné budovy ²⁾				
Nulový			0	0
Blízký nulovému	$\leq 0,35$ ¹⁾	$\leq 0,30$	120	90
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em, rec}$ podle článku 5.3.2 ČSN 73 0540-2. ²⁾ Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.				

Motivací stavět energeticky úsporné stavby je mimo jiné i dotace ZELENÁ ÚSPORÁM 2015, kdy pro výstavbu s velmi nízkou energetickou náročností byla možnost získat dotaci až ve výši 550 000 Kč.

4 CHARAKTERISTIKA KVH HRANOLŮ A DŘEVĚNÝCH I-NOSNÍKŮ

Charakteristika KVH hranolů

Použití rostlého dřeva na stavební účely má svoji dlouhodobou tradici, jeho výhody jsou nesporné, nicméně často jsme při jeho použití limitováni. Dřevo se k těmto účelům nevysušuje a když, tak jen přirozeně a jeho vlhkost zůstává nad hranicí bodu nasycení vláken, což sebou nese při vysychání nežádoucí změnu tvaru (borcení – kroucení hranolů...) a vznik rozsáhlých trhlin, kterým se obzvláště při použití větších průřezů nevyhneme. Rovněž se při použití větších délek nevyhneme sukům, které snižují pevnost dřeva, obzvláště pokud se vyskytují na tahové straně při namáhání ohybem (samozřejmě je možné rostlé dřevo podélně napojovat, např. použitím příložek apod., ale to sebou nese vyšší pracnost na stavbě atd.). Moderní zpracovatelské technologie umožňují nejen umělé vysušení řeziva, ale i příčné vyřezání vad a porušených míst a délkové napojení jednotlivých přířezů, do jejichž konců jsou vyfrézovány miniklínové ozuby (zajišťují velkou lepenou plochu) a takto vyfrézované konce přířezů jsou slepeny, čímž vznikne vysušený hranol s vymanipulovanými vadami, což zajišťuje mnohem efektivnější využití dřevní suroviny.

KVH je zkratka z německého *konstruktionsvollholz*, rovněž se můžeme setkat s anglickým názvem *Solid Structural Timber*, název znamená masivní konstrukční dřevo či řezivo. Jedná se o vysušený hranol (vlhkost $15 \pm 3\%$) z masivního dřeva, kde jsou vymanipulovány suky a hranol je podélně napojený miniklínovým zubovým spojem. Hranol je čtyřstranně hoblován se sraženými hranami. Vyrábí se v drtivé většině ze smrku, zřídka z borovice, jedle či douglasky.

Postup výroby KVH hranolů

KVH hranoly se vyrábějí na **automatické lince** sestávající z **čepovacího stroje na miniklínový zubový spoj** (cink) s **tlakovou nanášečkou lepidla**, **lisu s délkovým nastavením a krátící pilou**, **čtyřstranné frézky** a **dopravníků**

Postup výroby je následující:

- Řezivo je vyrobeno v požadovaném průřezu s nadmírou a vysušeno v komorových sušárnách podle vypracovaného sušícího režimu na vlhkost $15 \pm 3\%$
- Z vysušeného řeziva jsou na automatické zkracovací pile, po označení detekční křídou, vyřezány vady – suky, poškozené konce apod. (speciální detekční křídou se označí místo před a za vadou a na základě označení provede zkracovací pila řez)
- Přířezy jsou následně znovu zařezávány na čisto (délky vzniklých lamel se pohybují od 300 do 3000 mm) a čepovacím strojem jsou na obou koncích vyfrézovány miniklínové zubovité spoje
- Lepidlo se nanese tlakovou nanášečkou lepidla na oba konce, díky otočnému stolu je možné lamelu jednoduše otočit (je jasné, že do konce lamely, která ukončuje celý KVH hranol, se miniklínový ozub nefrézuje a ani lepidlo se zde nenanáší), následně jsou jednotlivé lamely podélně stlačovány → vzniká nekonečný, délkově nastavený vlys, který je krácen na požadované délky
- Po několikahodinovém vytrvání lepidla je hranol čtyřstranně hoblován na čtyřstranné frézce a současně jsou sraženy všechny čtyři hrany
- Vzniklé KVH hranoly jsou uskladněny v klimatizačních halách a baleny pomocí plastové fólie

(Böhm, 2012)

Co se týče kvality povrchu, vyrábějí se 2 základní druhy KVH hranolů:

- **Pohledový konstrukční hranol KVH Si** – bez velkých vad, používá se na konstrukce, kde jsou vysoké nároky na pohledovou estetiku, není přípustné znečištění, zbarvení, smolníky nesmí být šířky větší než 5 mm atd., použití např. pro pohledové trémové stropy
- **Standardní nepohledový konstrukční hranol KVH Nsi** – vykazuje stejné mechanické vlastnosti jako KVH Si, připouští pohledové vady, proto je také levnější než KVH Si, je určen do všech skrytých konstrukcí a na pohledově nenáročném způsobu použití, např. jako sloupky rámových stěn dřevostaveb, zakryté trémové stropy nebo konstrukce vázaných krovů.

(Böhm, 2012)



Obrázek 3 Podélné napojení KVH hranolu na miniklínový zubový spoj

Zdroj: www.demos.cz



Obrázek 4 KVH hranoly

Zdroj: www.raj-dreva.cz

Výhody KVH hranolů oproti rostlému dřevu

- *Vysušený materiál na vlhkost $15 \pm 3\%$ = není třeba nijak ošetřovat proti dřevokazným houbám*, pokud je KVH kryté opláštěním či jinou konstrukcí, pak jej nenapadne ani hmyz (dřevokazné houby nenapadají dřevo do vlhkosti cca 20 %, dřevokazný hmyz do cca 10 %)
- *Tvarová stálost* – vlhkost $15 \pm 3\%$ je blízká rovnovážné vlhkosti prostředí zabudování, tudíž je oproti rostlému dřevu omezeno nežádoucí borcení (kroucení) na minimum a rovněž je omezena tvorbatrhlin (čím je průřez hranolu z rostlého dřeva větší, tím větší náchylnost k tvorbě trhlin, to samé platí i pro KVH hranoly)
- *Tloušťková a šířková egalizace* – KVH hranoly mají po celé délce stejnou výšku i šířku, což je zásadní pro rovinnost stěn dřevostaveb při opláštění velkoplošným materiálem, kdy nedochází k nežádoucímu boulení stěny
- *Nižší vlhkost = nižší hmotnost při ruční manipulaci i při převozu*
- *Materiál je hoblovaný se sraženými hranami* – sražené hrany = lépe drží nátěrová hmota (v případě, že si ji zákazník přeje, např. olejová nátěrová hmota při pohledovém použití), větší poměr objemu k povrchu zajišťuje lepší požární odolnost (při výpočtech požární odolnosti se se sražením hran ve většině případů nepočítá, nicméně při požární zkoušce se mírný rozdíl může projevit)
- *Délka je omezena pouze dopravními možnostmi* – v podstatě se dá vyrobit nekonečná délka KVH hranolu, kvůli přepravě se však max. délka pohybuje nejčastěji do 13 m

Pozn.: Co se týče pevnosti, je často mylně uváděno, že KVH mají vyšší pevnost než rostlé dřevo. Je pravdou, že pevnost v ohybu hranolu negativně ovlivňují suky, zj. na tahové straně, tedy na spodní části nosníku, kde jsou jeho nejslabším místem, z čehož vyplývá, že při pevnostní zkoušce ve statickém ohybu KVH hranolů a hranolů z rostlého dřeva je pravděpodobné, že by KVH hranoly vykazovaly o něco vyšší pevnost (záleželo by samozřejmě na výběru konkrétních vzorků), nicméně pokud jde o statické výpočty, je pro tento účel používáno vizuální, či dnes ve větších společnostech strojní pevnostní třídění dřeva, kde se podle výsledků nedestruktivní zkoušky vypočítá charakteristická pevnost a zatřídí se do příslušné pevnostní třídy v ohybu, např. do třídy C24 (dle ČSN EN 338, C = jehličnaté, 24 Mpa = charakteristická pevnost v ohybu s 5 % kvantilem). 5 % kvantil znamená, že z dané třídy pevnosti může statisticky max. 5 % vzorků vykazovat nižší

pevnost než je pro tu danou třídu uváděna, v případě zařazení do třídy C24 by to znamenalo, že max. 5 % vzorků může mít pevnost v ohybu nižší než 24 Mpa. *Pro statické dimenzování tedy není důležité, zda-li se jedná o KVH hranol nebo o hranol z rostlého dřeva, ale do jaké pevnostní třídy byl zařazen, pokud tedy KVH hranol byl zařazen do pevnostní třídy C24 a hranol z rostlého dřeva rovněž do třídy C24, je jejich pevnost z hlediska statického dimenzování stejná.*

Nevýhody KVH hranolů oproti rostlému dřevu

- **Vyšší cena** – KVH hranoly (Nsi) stojí cca 11 000 Kč/ m³ bez DPH, hranoly z rostlého dřeva (třída III/A, B) cca 5500 až 6000 Kč/ m³ bez DPH, KVH hranoly jsou tedy cca 2 x dražší (pozn. Cena se často odvíjí i od průřezu, čím větší průřez, tím vyšší cena, vždy to ale platit nemusí)

Použití KVH hranolů

- **Nosné prvky dřevostaveb**
 - stěny – sloupky, spodní a horní pásnice
 - stropy – stropní nosníky
 - krovy
 - dřevěné I-nosníky – spodní a horní pásnice

Omezení KVH hranolů

- KVH hranoly se nejčastěji vyrábějí od průřezu 40 x 60 mm do průřezu 100 (140) x 240 mm, při větším průřezu může dojít ve větší míře k borcení (kroucení) a rozsáhlejší tvorbě trhlin (k mikrotrhlinám dochází i u menších průřezů, což nevádí, nicméně nad tento průřez je těžké zabránit i rozsáhlejší trhlínám, které by mohly mít negativní vliv na použití), pokud je třeba použít kvůli zatížení větší průřez, použijí se lepené hranoly DUO (slepeny ze 2 lamel) nebo TRIO (slepeny ze 3 lamel), pro průřezy větší než 240 x 240 mm se používají lepené BSH hranoly.

(www.drevostavitel.cz)

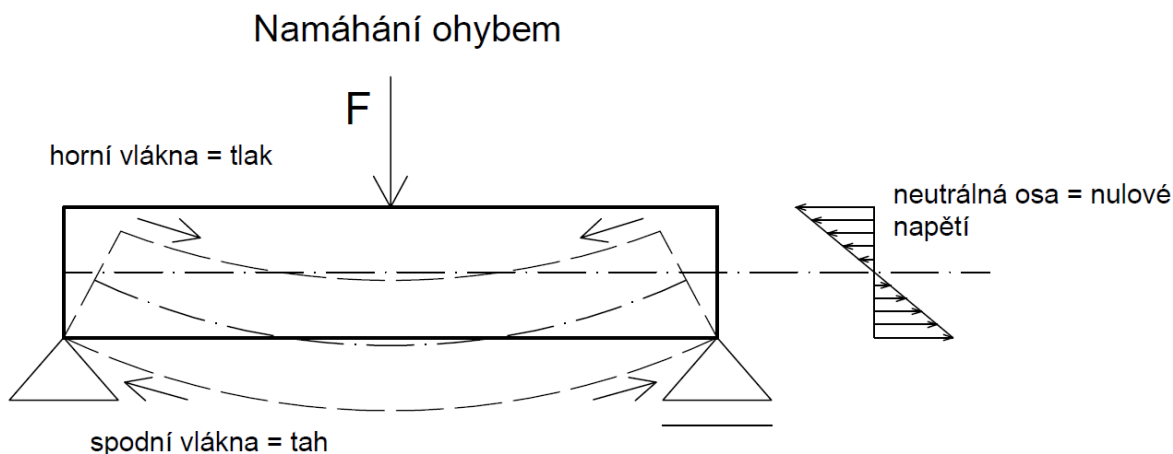
Charakteristika dřevěných I-nosníků

Dřevěný I-nosník se skládá z horní pásnice, spodní pásnice a stojiny. Pásnice jsou vždy z KVH hranolů. Již ze samotného tvaru I-nosníku je vidět, že je konstruován primárně na ohyb, kde horní pásnice přenáší tlak, spodní pásnice tah a stojina smyk, uprostřed nosníku je tzv. neutrálná osa, kde není žádné zatížení. Ve srovnání s jinými prvky, např. s KVH je tedy vidět jasná úspora materiálu v místech, kde materiál ze statických důvodů „nepotřebujeme“, (střední část prvku, kde je menší zatížení a v úplném středu nezatížená neutrálná osa), což rovněž způsobuje nižší hmotnost. Z povahy tepelně-izolačních vlastností dřeva (tepelná vodivost dřeva je $\lambda = 0,18 \text{ W/m.K}$) vyplývá, že v konstrukci oddělující vytápěný prostor od nevytápěného, kde nás „zajímá“, tepelně izolační schopnost konstrukce (obvodová stěna, strop, střecha) tvoří nosný dřevěný prvek „tepelný most“, tepelná vodivost tepelné izolace mezi dřevěnými prvky stěny, stropu, střechy je $\lambda = \text{cca } 0,035 - 0,05 \text{ W/m.K}$, tedy cca 4 – 5 x nižší než u dřeva. Z tepelně technického pohledu by tedy bylo optimální, kdyby dřevo v takovéto konstrukci vůbec nebylo, což samozřejmě ze statických důvodů nelze (jsou případy, kdy to tak úplně pravda není, mám na mysli tzv. „SIP panely“, nicméně z hlediska konstrukce se jedná o úplně odlišný typ s jinými limitujícími faktory, my se zde těmito konstrukcím věnovat nebudeme). U I-nosníku tedy můžeme tu část, kde by u KVH byla dřevní hmota vyplnit tepelnou izolací s nižší tepelnou vodivostí, čímž snižujeme tepelný most. I-nosník tedy z tepelně technického pohledu nad KVH jasně „vítězí“.

Samozřejmě vždy je jak se říká „něco za něco“, a tudíž ani I-nosníky nemají jen samé přednosti. Ve srovnání s KVH je jejich velkou nevýhodou vyšší pracnost, což se promítá do vyšší ceny.

Rozlišujeme 2 typy dřevěných I-nosníků:

- **Dřevěný I-nosník se stojinou z OSB desky** – české firmy Palco, CZECH PAN
- **Dřevěný I-nosník se stojinou z tvrdé dřevovláknité desky** – německá firma STEICO



Obrázek 5 Napětí v nosníku vyvolané namáháním v ohybu

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Oba typy I-nosníků jsou vyráběny pro stejné účely, avšak jejich vlastnosti se mírně liší. Základní rozdíly samozřejmě pramení z rozdílných vlastností stojin, resp. z rozdílných vlastností OSB desky a tvrdé dřevovláknité desky. Hustota i pevnost v ohybu (obecně všechny pevnosti) tvrdé dřevovláknité desky jsou vyšší než OSB desky. Z tohoto pohledu je jasné, že u OSB desky musíme použít větší tloušťku stojiny, abychom dosáhli stejné pevnosti. Nemůžeme paušalizovat, nicméně nejčastěji se do stěn používají stojiny z OSB desky tloušťky 10 mm a stojiny z tvrdé dřevovláknité desky tloušťky 6 mm. Můžeme tedy říci, že dřevěný I-nosník s tvrdou dřevovláknitou deskou bude vykazovat o něco málo lepší tepelné technické vlastnosti než dřevěný I-nosník s OSB deskou. Nicméně rozdíly nejsou velké, osobně je mi sympatické, že existují čeští výrobci dřevěných I-nosníků, které se soustřeďují většinou na český trh. Firma Palco s.r.o. sídlí v jižních Čechách nedaleko Jindřichova Hradce, konkrétně v Nové Včelnici, firma CZECH PAN s.r.o. sídlí v severních Čechách ve Varnsdorfu. Obě firmy vyrábějí dřevěné I-nosníky se stojinou z OSB desky. Osobně těmto firmám velmi fandím, protože se mi líbí přístup snižování energetické náročnosti ze strany firem v ČR, i navzdory tomu, že existuje takový gigant jako STEICO. Pokud by někdo chtěl stavět v jižních či severních Čechách, je určitě ekonomicky velmi výhodné použít I-nosníky od těchto firem.



Obrázek 6 Dřevěné I-nosníky se stojinou z OSB desky

Zdroj: www.efel-drevostavby.cz



Obrázek 7 Dřevěné I-nosníky se stojinou z tvrdé dřevovláknité desky

Zdroj: www.mta.cz

Výhody dřevěných I-nosníků

- Nízká hmotnost
- Široká možnost použití (nosné prvky stěn, stropů i krovu – krokve)
- Vysoká únosnost
- Eliminace tepelných mostů

- Tloušťky I-nosníků od 160 mm do 400 mm – KVH hranoly do cca 220 – 240 mm, při větší tloušťce je nutné použít lepené dřevo, které je zase daleko dražší než KVH hranol i I-nosník, což platí hlavně u stropnic

Nevýhody dřevěných I-nosníků

- Vyšší pracnost, tedy i vyšší cena ve srovnání např. s KVH hranoly

Cena při tloušťce I-nosníku 60 x 200 mm při běžném použití do stěn (platí jak pro I-nosníky se stojinou z tvrdé dřevovláknité desky, tak pro I-nosníky se stojinou z OSB desky, ceny jsou velmi podobné) **je cca 160 Kč/běžný metr bez DPH, pro srovnání KVH hranol 60 x 200 mm cca 11000 Kč/m³, což je za běžný metr 132 Kč, dřevěný I-nosník je tedy při tomto rozměru o cca 20 % dražší než KVH hranol.**

5 ZÁKLADNÍ POJMY Z TEPELNÉ TECHNIKY

Šíření tepla

Teplo – teplo má většina z nás spojeno s teplotou, pokud bychom si měli obě veličiny rozebrat, teplota zobrazuje tepelný stav nějaké soustavy, je tedy veličinou stavovou, můžeme např. říci, že daný materiál má určitou teplotu, naproti tomu teplo nezobrazuje stav soustavy, neřekneme tedy, že daný materiál má určité množství tepla, ale hovoříme o předaném či odebraném množství tepla látky, jedná se tedy o veličinu dějovou. I. Termodynamický zákon říká, že pokud dodáváme soustavě teplo, spotřebuje se na zvýšení vnitřní energie soustavy (můžeme říci zvýšení teploty) a na práci vykonanou soustavou (velikost práce vykonané látkou změnou jejího objemu). Množství tepla vyjadřujeme v joulech (J).

Tepelný tok Φ (W)

množství tepla, které proudí do nebo ze systému (prostoru) za jednotku času. Zahrnuje všechny složky šíření tepla

$$\Phi = Q / t$$

kde Q je množství tepla (J)

t čas (s)

Pro tepelný tok v zimním období se běžně používá výraz tepelná ztráta

Teplo

*Tepelný tok * čas*

$$Q = \Phi * t$$

Hustota tepelného toku q (W/m²)

Podíl tepelného toku a příslušné plochy, kterou tepelný tok ve směru normály prostupuje, je dána vztahem:

$$q = \Phi / A$$

kde Φ je tepelný tok (W)

A je plocha (m²)

Tepelná propustnost L (W/K)

Tepelný tok vztahovaný k jednotkovému teplotnímu rozdílu mezi dvěma prostředími oddělenými vrstvou (konstrukcí)

Měrná tepelná kapacita c (J/kg.K)

Množství tepelné energie, kterou je třeba dodat při stálém tlaku, vzorku materiálu o definované vlhkosti a hmotnosti 1 kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1K

(ČSN 730540 -1)

Tepelně izolační schopnost materiálů udává součinitel tepelné vodivosti λ (W/m.K)

Součinitel tepelné vodivosti λ (W/m.K)

Jedná se o tepelný tok ve W (rovněž ale můžeme říci, že jde o teplo za čas, tedy J/s), který se šíří vedením přes krychli o hraně 1 m, jejíž protilehlé stěny mají rozdíl teplot 1 K a přitom nevzniká deformace teplotního pole.

(Chmúrny, 2003)

Součinitel teplotní vodivosti a (m²/s)

Schopnost stejnorodého materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustáleném vedení tepla, je dán vztahem:

$$a = \lambda / (c \cdot \rho)$$

kde ρ je objemová hmotnost (kg/m³)

λ součinitel tepelné vodivosti (W/m.K)

c měrná tepelná kapacita (J/kg.K)

(ČSN 730540 -1)

Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2.K$)

Udává tepelný tok ve W , resp. množství tepla za jednotku času v J/s , které projde $1 m^2$ konstrukce při rozdílu teplot na obou stranách konstrukce $1 K$.

Pokud bychom chtěli spočítat tepelnou ztrátu konstrukce prostupem, museli bychom hodnotu U vynásobit plochou konstrukce a rozdílem teplot v daném časovém úseku. Dostali bychom tepelnou ztrátu ve W .

Tepelný most

Část dané stavební konstrukce, kde se její tepelný odpor místně významně mění, tepelný most je charakteristický tím, že z vnitřní strany je jeho teplota nižší než teplota okolní části konstrukce a na vnější straně je jeho teplota vyšší než okolní části konstrukce

(ČSN 730540 -1)

Základní způsoby šíření tepla

- **Vedením** – vedením se teplo šíří v tuhých látkách, kapalinách i plynech, jedná se postupné odevzdávání kinetické energie molekulám tělesa při jejich dotyku
(Chmurný, 2003)
- **Prouděním** – sdílení tepla prouděním (přestupem) probíhá v tekutinách a plynech, rozlišujeme *proudění volné*, které je vyvoláno vztlakovými silami danými rozdílem měrných hmotností a *proudění nucené*, které je vyvoláno přeměnou tlakové energie v kinetickou v čerpadlech (kapaliny) nebo v kompresorech či ventilátorech (plyny)
(Adamovský, 2007)
- **Sáláním** – výměna energie mezi navzájem oddělenými tělesy prostřednictvím elektromagnetických vln, pro výpočet je důležité jakým způsobem nepropustná a polopropustná tělesa vysílají, pohlcují a propouští záření, což je závislé od jejich vlastností (vzájemné polohy a teploty)
(Chmurný, 2003)

Šíření tepla může probíhat v jakémkoliv prostředí, **základní podmínkou pro šíření tepla je rozdíl teplot. Teplo se šíří z míst s vyšší teplotou do míst s teplotou nižší**, teplejší soustava (látka, prostředí...) předává své teplo (čímž se její teplota snižuje) soustavě s nižší teplotou (ta teplo přijímá, její teplota se zvyšuje), dokud se teplota obou soustav neustálí na rovnovážné teplotě, tehdy soustavy dospějí do rovnovážného tepelného stavu a teplo se předávat přestane.

Prostup tepla stavební konstrukcí

U stavebních konstrukcí (stěn, střeš ...) se teplo na vnitřním i vnějším povrchu sdílí kombinací proudění a sálání. To je charakterizováno součinitelem přestupu tepla na vnitřním povrchu h_{si} a součinitelem přestupu tepla na vnějším povrchu h_{se} . K těmto výměnám tepla dochází na základě proudění vzduchu na povrchu konstrukce a sálání mezi povrchem konstrukce a okolními tělesy. Uvnitř stavební konstrukce probíhá sdílení tepla vedením (proudění v pórech materiálů se obvykle při výpočtech zanedbává, s přenosem tepla prouděním se musí počítat, když konstrukce obsahuje uzavřenou vzduchovou vrstvu, kterou již zanedbat nemůžeme). Prostup tepla stavební konstrukcí je kvantifikován součinitelem prostupu tepla U ($W/m^2.K$).

(Chmúrny, 2003), (Kulhánek, 2011)

Pro výpočet součinitele prostupu tepla musíme nejprve spočítat tepelný odpor konstrukce R , který se pro jednorozměrné šíření tepla pro jednovrstvou konstrukci vypočítá ze vztahu:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

kde d (m) je tloušťka konstrukce

λ ($W/m.K$) součinitel tepelné vodivosti dané vrstvy

Tepelný odpor vícevrstvé konstrukce z homogenních vrstev se vypočítá součtem tepelných odporů jednotlivých homogenních vrstev

$$R = \sum \frac{d}{\lambda}$$

Pro tepelně technické výpočty se používá převrácená hodnota součinitelů přestupu tepla, nazývaná odpor při přestupu tepla, v praxi jsou hodnoty součinitelů přestupu tepla, resp. odporů při přestupu tepla tabelovány

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$$

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}}$$

kde R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce ($m^2 \cdot K/W$)

R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce ($m^2 \cdot K/W$)

h_{si} součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu konstrukce ($W/m^2 \cdot K$)

h_{se} součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce ($W/m^2 \cdot K$)

Odpor při prostupu tepla se vypočítá ze vztahu

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

kde R_T je odpor při prostupu tepla ($m^2 \cdot K/W$)

Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2 \cdot K$) je obrácenou hodnotou odporu při prostupu tepla:

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

Vodní pára ve vzduchu

suchý vzduch = směs plynů, dominantní jsou dvouatomové molekuly dusíku N_2 (78,09 %) a kyslíku O_2 (20,95 %), dále suchý vzduch obsahuje (<1%) argon, oxid uhličitý, neon, helium, krypton, xenon, vodík a ozón.

Voda = chemická sloučenina vodíku a kyslíku, sumární vzorec H_2O , voda v plynném stavu se nazývá vodní pára

vlhký vzduch = směs **suchého vzduchu** a **vody**, jestliže voda v této směsi je ve stavu plynném, hovoříme o směsi homogenní

Celkový (atmosferický) tlak vzduchu je dán součtem parciálního (dílčího) tlaku *suchého vzduchu* a parciálního tlaku obsažené *vodní páry*

$$p_{vv} = p_{sv} + p_p$$

kde p_{vv} je celkový (atmosferický) tlak vzduchu

p_{sv} parciální (částečný) tlak vlhkého vzduchu

p_p parciální (částečný) tlak vodní páry

(Adamovský, 2007)

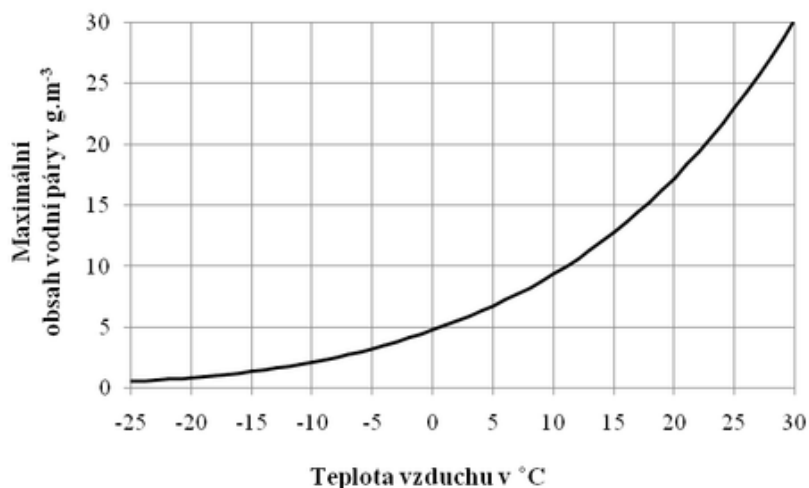
Kondenzace (kapalnění) – přeměna látky ze skupenství plynného na skupenství kapalné, ve stavební fyzice je nejdůležitější kondenzace vodní páry na vodu v kapalném stavu

Absolutní vlhkost vzduchu – udává hmotnost vodní páry v gramech obsažené v 1 m^3 vlhkého vzduchu (g/m^3)

Relativní vlhkost vzduchu – udává poměr **absolutní vlhkosti daného vzduchu a absolutní vlhkost nasyceného vzduchu při stejné (dané) teplotě**, nabývá hodnot 0 až 1, resp. 0 až 100 %, např. pokud bude teplota vzduchu 0°C , vidíme v grafu xxx, že absolutní vlhkost nasyceného vlhkého vzduchu (maximální množství vodní páry v g, které může vzduch při této teplotě obsahovat) je cca $5 \text{ g}/\text{m}^3$, pokud bude absolutní vlhkost vzduchu např. $2 \text{ g}/\text{m}^3$ bude relativní vlhkost dána poměrem $2/5 = 0,4$, relativní vlhkost daného vzduchu bude 40 %

Měrná vlhkost vzduchu – udává podíl hmotnosti vodní páry v kg v daném množství vzduchu ku hmotnosti suchého vzduchu ($\text{kg}_{\text{vodní páry}}/\text{kg}_{\text{suchého vzduchu}}$)

Teplota rosného bodu vzduchu – teplota, při níž je vzduch maximálně nasycený vodní párou ($\varphi = 100\%$), vzduch může při dané teplotě obsahovat jen určité množství vodní páry, aniž by docházelo k jejímu zkapalnění, čím je teplota vzduchu vyšší, tím větší množství vodní páry může obsahovat (viz graf.xxx) Pokud teplota vzduchu klesá, zvyšuje se relativní vlhkost vzduchu až dosáhne 100 % - *teplota rosného bodu*, pokud teplota klesne pod tuto teplotu dochází ke kondenzaci přebytečné vlhkosti



Graf 1 Zavislost maximálního množství vodní páry ve vzduchu na teplotě vzduchu

Zdroj: <http://stavba.tzb-info.cz>

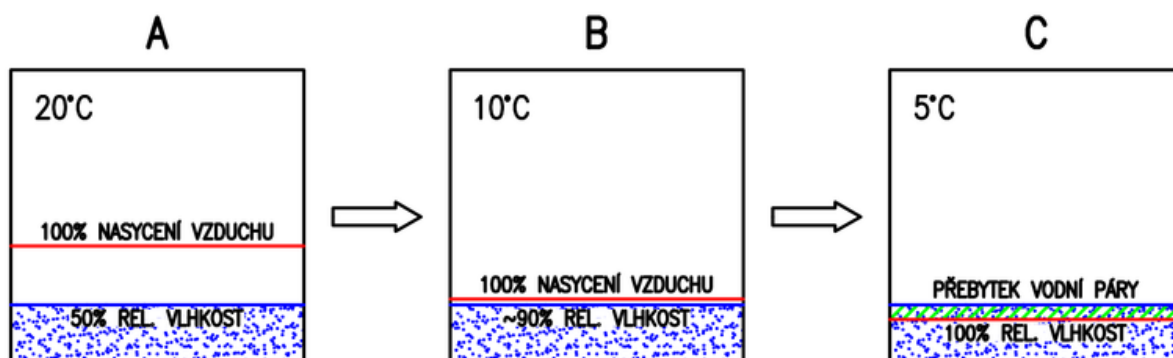
Příklad

Představme si vzduch o teplotě 20°C, **Obrázek 8 A**, z **Grafu 1** vidíme, že absolutní vlhkost nasyceného vzduchu při této teplotě je cca 17 g/m³, na **Obrázku 8** tuto hodnotu naznačuje červená čára = 100 %, daný vzduch má $\varphi = 50$ % (modrá hranice), jeho absolutní vlhkost je tedy cca 8,5 g/m³.

Pokud se sníží teplota vzduchu (např. na teplotu 10 °C), **Obrázek 8 B**, obsah vodní páry ve vzduchu (absolutní vlhkost vzduchu), tedy 8,5 g/m³ zůstane stejný (hranice modré čáry zůstává stejná), změní se však absolutní vlhkost nasyceného vlhkého vzduchu (posun červené čáry 100 % směrem dolů) a to na hodnotu cca 9 g/m³ (**Graf 1**), to znamená, že se relativní vlhkost zvýší na hodnotu cca 90 % (při uvažování našich hodnot by se jednalo přesně o hodnotu 94,4 %, nicméně hodnoty neodečítáme z grafu přesně, proto tato chyba)

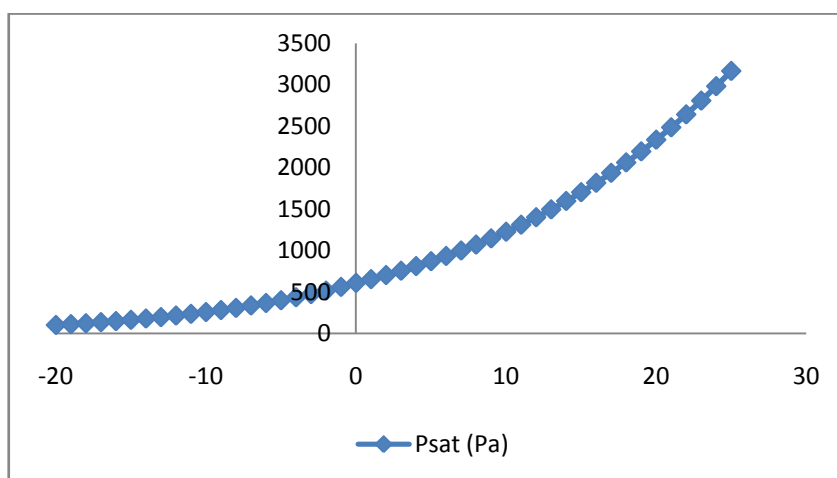
Pokud bude teplota dále klesat, relativní vlhkost se bude i nadále zvyšovat a to až do hodnoty $\varphi = 100$ % (teplota rosného bodu), pro náš případ $a = 8,5$ g/m³ je teplota rosného bodu podle **Grafu 1** cca 9°C. Pokud teplota poklesne pod teplotu rosného bodu, relativní vlhkost zůstane 100% a přebytečná vodní pára z kondenzuje. Např. pokud teplota vzduchu klesne na 5°C (**Obrázek 8 C**), dostane se tedy pod teplotu rosného bodu, podle **Grafu 1** je

maximální obsah vodní páry při 5°C (absolutní vlhkost nasyceného vzduchu) cca 7 g/m³, to znamená, že 1,5 g vodní páry zkondenzuje (vyznačeno zeleně). (<http://stavba.tzb-info.cz>)



Obrázek 8

Zdroj: <http://stavba.tzb-info.cz>



Graf 2 Závislosti parciálního tlaku syté vodní páry v nasyceném vlhkém vzduchu na teplotě.

Zdroj: Vlastní zpracování dle tabulky v ČSN EN ISO 13788

Difuze vodních par skrz stavební konstrukci

Podobně jako tepelný tok procházejí konstrukcí i vodní páry nacházející se v okolním vlhkém vzduchu. Zatímco při toku tepla je potřebný rozdíl teplot obou

prostředí, **k toku vodních par je potřebný rozdíl částečných tlaků vodních par obou prostředí**(zpravidla se jedná o prostředí interiéru a prostředí exteriéru). Když rozdělíme dvě prostředí s různým parciálním tlakem vodních par pórovitou látkou a když jsou póry této látky větší než střední volná dráha molekul vodní páry, vzniká **difuze vodních par**. **Difundující vodní páry, se pohybují z míst s vyšším parciálním tlakem směrem k místu s nižším parciálním tlakem vodních par.**(*Mrlík, 1985*)

součinitel difuze vodní páry δ_p (s) – množství vodní páry v kg, které difunduje za 1s krychlí materiálu o hraně 1 m mezi dvěma protilehlými stěnami, mezi kterými je rozdíl parciálního (částečného) tlaku vodní páry 1 Pa. (*Chmurný, 2003*)

Faktor difuzního odporu μ (-) – bezrozměrná veličina, udávající kolikrát je příslušný materiál pro vodní páru méně propustný než vzduch, vzduch má hodnotu $\mu=1$, pokud by např. měl daný materiál $\mu=2$, znamenalo by to, že tento materiál umožňuje difuzi vodní páry 2x hůře než vzduch, čím je tedy tato veličina nižší, tím lépe pronikají vodní páry materiálem (můžeme říci, tím je materiál difuzně otevřenější) (*Kulhánek, 2011*)

Základním ukazatelem schopnosti difuze vodní páry materiálem udává součinitel difuze vodní páry δ_p (někdy též nazývaný součinitel difuzní vodivosti). Je to v podstatě obdoba součinitele tepelné vodivosti λ pro vyjádření difuzních vlastností materiálu. V současnosti se však pro určení difuzních vlastností materiálů více používá faktor difuzního odporu. Vztah mezi oběma ukazateli je následující:

$$\mu = \frac{1}{\delta_p \cdot N}$$

kde μ je faktor difuzního odporu daného materiálu (-)

N teplotně difuzní funkce, pro běžné výpočty se uvažuje hodnotou $N = 5,3125 \text{ s}^{-1}$.

Ekvivalentní difuzní tloušťka s_d (m) se vypočítá ze vztahu

$$s_d = \mu \cdot d$$

kde d je tloušťka daného materiálu (m)

Ekvivalentní difuzní tloušťka se používá pro porovnání fóliových materiálů sloužících jako parotěsnící vrstvy, kdy jejich tloušťky jsou tak malé, že bychom z hlavy hůře porovnávali jednotlivé fólie, která z nich více brání difuzi vodních par, proto se u všech parobrzdy i parozábran setkáme s údajem ekvivalentní difuzní tloušťky.

Obdobně jako tepelný odpor můžeme vypočítat pro jednovrstvou konstrukci i difuzní odpor:

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p}$$

kde Z_p (m/s) je difuzní odpor jednovrstvé konstrukce nebo 1 vrstvy konstrukce.

Vidíme analogii s tepelným odporem, můžeme použít i další vztahy pro výpočet difuzního odporu

$$Z_p = \varnothing \cdot d \cdot N$$

nebo

$$Z_p = s_d \cdot N$$

Pro výpočet difuzního odporu jednovrstvé konstrukce

$$Z_{pT} = Z_{pi} + Z_p + Z_{pe}$$

Kde Z_{pi} je odpor při přestupu vodní páry na vnitřní straně konstrukce (m/s)

Z_{pe} odpor při přestupu vodní páry na vnější straně konstrukce (m/s)

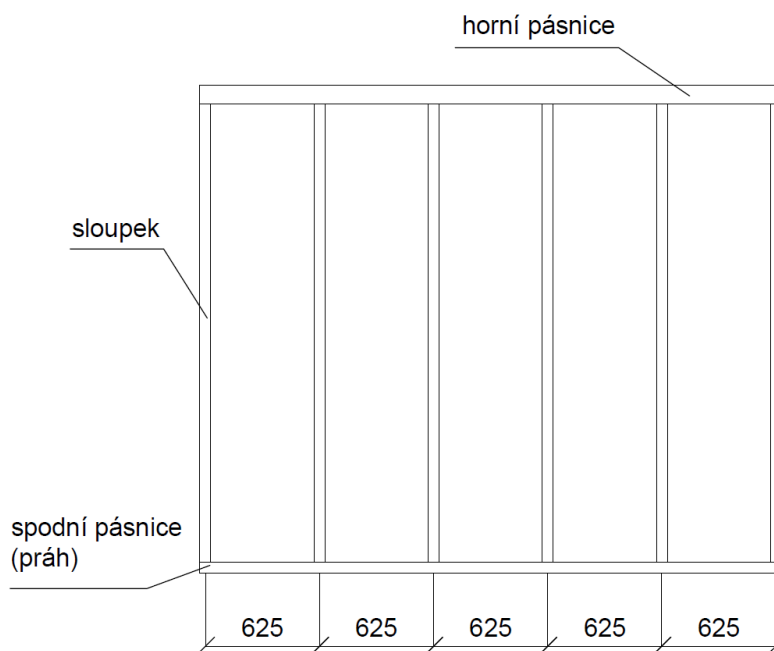
Odpory při přestupu vodní páry jsou analogické odporům při přestupu tepla pro výpočet tepelného odporu při prostupu tepla. Nicméně z důvodu malých hodnot odporů při přestupu vodní páry se většinou tyto hodnoty zanedbávají, což vede ke zjednodušení výpočtu.

Důvody proč je kondenzace vodní páry v konstrukci nežádoucí

- Vyšší vlhkost materiálů = vyšší součinitel tepelné vodivosti λ (větší tepelné ztráty)
- Kondenzující vodní pára může zapříčinit vznik plísní a následnou degradaci materiálu, což vede ke ztrátě jeho funkce, hodně náchylné jsou zejména materiály organického původu jako je dřevo a materiály na jeho bázi

6 DŘEVOSTAVBY RÁMOVÉ KONSTRUKCE

Jedná se o nejčastěji se vyskytující konstrukční systém dřevostaveb vůbec. Nosný systém je tvořen rámem (spodní pásnicí, sloupky a horní pásnicí) přenášející zatížení od stropu a střechy, rám musí být minimálně z jedné strany ztužen opláštěním, přenášející vodorovné zatížení. Skladba obvodové stěny se odvíjí od požadavků na ni kladených – statických, požárních, tepelně technických, akustických ... Rám je vždy vyplněn tepelnou izolací, z vnější strany je pak fasádní tepelná izolace a omítkový systém. Panely (stěnové, stropní, popř. střešní) se vyrobí ve výrobní hale, odkud se dovezou na stavbu, kde se za pomoci jeřábu smontují.



Obrázek 9 Dřevěný rám stěnového panelu dřevostavby.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

Funkční vrstvy obvodové stěny dřevostavby rámové konstrukce:

- **Pohledová vrstva** – nejčastěji sádkartonová nebo sádrovláknitá deska
- **Instalační předstěna** – slouží k umístění rozvodů TZB (vody, elektřiny...), čímž chráníme parotěsnící a zároveň i vzduchotěsnící vrstvu umístěnou hned za

předstěnou před poškozením, pokud bychom nepoužili instalační předstěnu, musíme prostupy důkladně utěsnit, v případě špatného utěsnění hrozí riziko porušení a zhoršení funkce parotěsnicí (parobrzděné) a zároveň vzduchotěsné vrstvy, rovněž je možné předstěnu izolovat, čímž se zlepší tepelně izolační vlastnosti celé konstrukce, provádí se tak, že se zhotoví dřevěný rošt, jehož tloušťka je zároveň vzdáleností od vzduchotěsné a zároveň parotěsnicí vrstvy, nicméně není povinnost instalační předstěnu zhotovovat, je na dané firmě, zda předstěnu zhotoví či nikoliv

- **Vzduchotěsná a zároveň parotěsnicí (parobrzděná) vrstva** – její funkce je vzduchotěsnost a zároveň parotěsnicí (parobrzděná) schopnost, pokud se jedná o difuzně otevřenou konstrukci je jí OSB deska nebo speciální sádrovláknitá deska s vysokým faktorem difuzního odporu, pokud se jedná o difuzně uzavřenou konstrukci, je jí parozábrana z PE fólie nebo Al fólie
- **Ztužující opláštění** – jedná se o opláštění, které přenáší vodorovné zatížení, ze statického hlediska musí konstrukce mít ztužující opláštění, toto opláštění tvoří u difuzně otevřených konstrukcí OSB deska nebo speciální sádrovláknitá deska s vysokým faktorem difuzního odporu, která má zároveň i funkci vzduchotěsnou a parobrzděnou, je tedy vždy na rámovou konstrukci připevněna z vnitřní strany, můžeme tedy říci, že jedna deska má 3 funkce – statickou, parobrzděnou a vzduchotěsnou, funkce této a předchozí vrstvy je tedy tvořena 1 deskou, ve speciálních případech může mít i funkci pohledovou, to v případě kdy nezhotovíme předstěnu a použijeme speciální sádrovláknitou desku s vysokým faktorem difuzního odporu, která je pohledová, OSB desku jako pohledovou použít nemůžeme, pokud se jedná o difuzně uzavřenou konstrukci je statické opláštění vždy z vnější strany, protože z vnitřní strany plní funkci parotěsnicí vrstvy parozábrana a fasádní polystyren, který se nejčastěji používá u difuzně uzavřených konstrukcí, se musí vždy kotvit na desku (stejně tak fasádní izolace z minerálních vláken, kterou lze použít), nikoliv rovnou na rámovou konstrukci jako fasádní dřevovláknitá izolace u difuzně otevřených konstrukcí, proto je nutné dát z vnější strany u difuzně uzavřených konstrukcí vždy opláštění, to je tvořeno OSB deskou nebo běžnou sádrovláknitou deskou
- **Rámová konstrukce vyplněná tepelnou izolací** – jedná se o hlavní nosnou část celé konstrukce, skládá se z horní pásnice přenášející zatížení ze střechy a stropu do sloupků osově vzdálených 625 mm (tento rastr se používá z důvodu výrobních

rozměrů opláštění, jejichž šířka bývá nejčastěji 625 nebo 1250 mm), které jsou namáhány na vzpěrný tlak a ty přenášejí zatížení do spodní pásnice, která ho roznáší do základů, rám je vyplněn tepelnou izolací, což je výhodné z hlediska tepelně izolačních vlastností konstrukce ve srovnání např. se zděnými stavbami, tloušťka sloupku musí vyhovovat staticky, nicméně při běžných zatíženích vyhovuje rozměr sloupku 60 x 120 mm, použitý rozměr nezávisí na staticce, ale spíše na vlastnostech celé konstrukce, především tepelně izolačních vlastnostech, které se dají vylepšit právě použitím většího rozměru sloupku, obzvlášť u difuzně otevřených konstrukcí, kde je max. tloušťka fasádní dřevovláknité izolace běžně jen 100 mm, nejčastěji se používají sloupky KVH 60 x 160 mm a KVH 60 x 200 mm

- **Fasádní tepelná izolace** – její primární funkce je jasná, zlepšit tepelně izolační schopnosti konstrukce, u difuzně otevřených konstrukcí ji tvoří dřevovláknitá deska, kotvená přímo na rámovou konstrukci nebo je také možné použít izolaci z minerálních vláken, ta se ovšem nemůže kotvit přímo na rámovou konstrukci, ale je nutné opláštění z vnější strany rámové konstrukce, které z důvodu respektování zásad difuze u difuzně otevřených konstrukcí musí mít nízký faktor difuzního odporu, to rozhodně nespĺňuje OSB deska ($\mu = \text{cca } 200$) ani není vhodná běžná sádrovláknitá deska $\mu = \text{cca } 13$ (možná by šla použít, muselo by se provést posouzení na kondenzaci uvnitř konstrukce), ale běžně se používá speciální MDF deska (medium density fiber board – tedy dřevovláknitá deska se střední hustotou), která má $\mu = \text{cca } 10$, např. DSP od firmy Kronospan nebo DHF od firmy Egger, takovéto speciální MDF desce se také říká difuzně otevřená dřevovláknitá deska, toto vnější opláštění zároveň ztuhuje konstrukci a je výhodné i např. u napojení obvodových stěn v rozích, kdy nemusíme použít tolik sloupků, čímž snížíme tepelný most, u difuzně uzavřených konstrukcí tvoří fasádní izolaci polystyren, ale můžeme použít i izolaci z minerálních vláken
- **Omítkový systém** – na fasádní izolaci se zhotoví podkladní omítka, do ní se vloží výztužná síť a opět se nanese vrstva podkladní omítky, ta slouží pro vyrovnání podkladu pod vrchní omítku, vrchní omítka ovlivňuje konečné difuzní vlastnosti celé konstrukce, do tepelného odporu konstrukce se nemusí zahrnovat, protože ho ovlivňuje jen velmi málo (samozřejmě existují i speciální tepelně izolační omítky), nicméně hlavně u difuzně otevřených konstrukcí má velký vliv na kondenzaci uvnitř konstrukce, základní omítky jsou akrylátové, silikátové a silikonové,

akrylátové jsou nejlevnější, pravděpodobně i nejméně mechanicky odolné a mají vysokou hodnotu μ , $\mu =$ cca 100 a více, tuto omítku lze použít do difuzně uzavřených konstrukcí, avšak rozhodně ne do difuzně otevřených konstrukcí z důvodu vysoké hodnoty μ , další je silikátová omítko, ta by měla obecně mít větší mechanickou odolnost než akrylátová a nižší hodnotu μ , $\mu =$ cca 20 až 80, je dražší než akrylátová avšak pro svoji nízkou paropropustnost se používá do difuzně otevřených konstrukcí, někdo může namítnout, že $\mu =$ např. 30 je pro difuzně otevřené konstrukce hodně, nicméně je mj. důležité provedení parobrzd, samozřejmě platí čím nižší μ omítky, tím lépe, ale pokud konstrukce splní požadavky kondenzace uvnitř konstrukce, je možné ji použít, poslední nejčastěji používanou omítkou je silikonová omítko, která je mechanicky nejvíce odolná a zároveň má paropropustnost obdobnou jako silikátová, je ovšem nejdražší, používá se u difuzně otevřených konstrukcí, samozřejmě existují i omítky s $\mu =$ např. 10 i méně, ale pokud vím, moc se nepoužívají, pravděpodobně z důvodu vysoké ceny, ještě jednou zopakuji, pokud celá konstrukce s danou omítkou vyhoví na kondenzaci uvnitř konstrukce, lze ji použít

Výhody dřevostaveb rámové konstrukce (panelových)

- Maximální finalizace ve výrobě – některé firmy dnes dělají i omítky ve výrobní hale a na stavbě panely už jen smontují
- Automatizace uzlů výroby
- Rychlá hrubá nebo finální montáž stavby
- Možnost lepší kontroly kvality

Nejúhody dřevostaveb rámové konstrukce (panelových)

- Potřeba dopravní techniky ve výrobě i při montáži
- Omezená výstavba v náročnějších podmínkách terénu
- Vyšší režijní náklady – provoz výrobních hal a výrobních zařízení

(Štefko, 2009)



Obrázek 10 Výroba stěnových panelů prefabrikovaných rámových dřevostaveb.

Zdroj: www.asb-portal.cz



Obrázek 11 Montáž rámové konstrukce dřevostavby pomocí jeřábu.

Zdroj: www.mojdom.zoznam.sk

Difuzně otevřené vs. Difuzně uzavřené konstrukce

Pokud se řekne dřevostavba (myšleno rámová konstrukce) je vždy nutné dodat, zda se jedná o difuzně otevřenou konstrukci nebo difuzně uzavřenou. Obě konstrukce mají své zákonitosti z hlediska navrhování. Hnacím motorem difuze je rozdíl částečných tlaků vodní páry ve vzduchu obou prostředí (interiéru a exteriéru). Platí exponenciální závislost mezi částečným tlakem nasycené vodní páry ve vzduchu (tlak při $\phi = 100 \%$) a teplotou. Obecně tedy můžeme říci, že čím je vyšší rozdíl teplot obou prostředí, tím bude konstrukce více “namáhána“ difuzí vodních par. Právě to, jak konstrukce reagují na difuzní tok vodní páry, je rozlišujeme na difuzně uzavřené a difuzně otevřené. Konstrukce se na kondenzaci uvnitř konstrukce navrhuje pro zimní období, kdy je největší rozdíl teplot, tudíž i parciálních tlaků vodní páry (závisí samozřejmě i na relativní vlhkosti obou vzduchů) interiéru a exteriéru. V interiéru je tlak páry větší, v exteriéru menší, difuzí se tedy vodní pára šíří z interiéru do exteriéru. Z hlediska zákonů difuze je obecně nejvhodnější navrhovat obvodové konstrukce, kde difuzní odpor vrstev od interiéru do exteriéru klesá. Koncepce tohoto bezpečného návrhu je taková, že použitím vrstvy s velkým difuzním odporem na vnitřní líc konstrukce zajistíme, že se vodní pára do konstrukce dostane v malém množství (samozřejmě závisí na faktoru difuzního odporu vrstvy, resp. ekvivalentní difuzní tloušťce, čím jsou vyšší, tím více zabraňují prostupu vodní páry), to znamená čím menší množství se vodní páry do konstrukce dostane, tím méně ji tam může zkondenzovat, následně by měl difuzní odpor vrstev klesat, aby když už se vodní páry do konstrukce dostanou, měly by mít “volný průchod“. Teplota v konstrukci v zimním období klesá z interiéru do exteriéru, pokud vodní pára narazí na místo s velkým difuzním odporem a nízkou teplotou, zkondenzuje (teplota klesne pod teplotu rosného bodu).

6.1.1 Difuzně uzavřená konstrukce

Už z názvu difuzně uzavřená vyplývá, že difuzi vodní páry neumožňuje, resp. umožňuje ve velmi malém množství. Jako fasádní tepelná izolace se zdaleka nejčastěji používá polystyren (je levný, ve srovnání s fasádní izolací z minerálních vláken je asi 3 krát levnější, ve srovnání s fasádní dřevovláknitou izolací používanou u difuzně otevřených asi 5-6 krát levnější), který má faktor difuzního odporu $\mu = 20 - 50$, což je velká hodnota, se kterou nic nenaděláme. Pokud chceme polystyren na fasádu použít,

musíme zajistit, aby se vodní pára do konstrukce nedostala, protože je velká pravděpodobnost, že pokud bychom tak neučinili, ve vrstvě polystyrenu by se pára hromadila a následně zkondenzovala. Můžeme si to představit podobně jako když je dopravní zácpa, kde se hromadí auta s tím, že u vodní páry, pokud překročí při dané teplotě v konstrukci její množství určitou hodnotu, přebytečná pára zkondenzuje. Z tohoto důvodu je nutné na vnitřní líc konstrukce umístit vrstvu s co největším možným difuzním odporem, kterou je parozábrana. Parozábrana také v zanedbatelné míře umožňuje prostup vodních par do konstrukce, to je dáno tím, že nic není 100 % ní, ale obecně je koncepce vodní páry do konstrukce vůbec “nepustit“. Jako parozábrany se používají PE fólie nebo Al fólie, s tloušťkami 0,1 – 0,3 mm, s faktorem difuzního odporu nejčastěji $\mu = 200\ 000 - 500\ 000$ i více. Vždy záleží na ekvivalentní difuzní tloušťce, tedy na násobek tloušťky a μ . Ekvivalentní difuzní tloušťka parozábrany se pohybuje cca $S_d = 30 - 150$ m. Odborníci se shodují na tom, že spíše než parozábrana by se mělo říkat parotěsnicí vrstva, protože není nikdy dokonale parotěsná. Důležité je říci, že parozábrana má rovněž funkci vzduchotěsnou nebo chcete-li vzduchotěsnicí.

6.1.1.1 Příklady skladeb difuzně uzavřených obvodových stěn

Existuje mnoho variant, jak navrhnout difuzně uzavřenou konstrukci, dá se říci, že **alfou a omegou difuzně uzavřených konstrukcí je parozábrana, nejen její volba, ale hlavně její provedení.** Parozábrana má funkci nejen parotěsnicí, ale i vzduchotěsnou, právě druhá jmenovaná vlastnost nabývá stále většího významu, obzvláště u pasivních domů, kde je kontrola vzduchotěsnosti Blower Door testem jedním ze základních požadavků realizované konstrukce pasivních domů. Konstrukce může být navržena sebelépe, nicméně pokud se nesprávně provede parozábrana, celá konstrukce ztrácí svoji funkci, protože konstrukce počítá s tím, že parozábrana bude plnit svoji funkci, pokud se parozábrana nesprávně aplikuje, konstrukce na to není “připravená“ a případná kondenzace uvnitř konstrukce se může jen těžko odpařit, čímž může dojít nejen ke zhoršování tepelně izolačních vlastností, ale hlavně k degradaci a ztrátě funkce daných materiálů. Co se týče samotné skladby difuzně uzavřené konstrukce obvodové stěny, existují následující varianty:

- DUK s opláštěním jen na vnější straně dřevěné rámové konstrukce (OSB deska nebo sádrovláknitá deska, popř. dřevotřísková deska)
- DUK s opláštěním na vnější i vnitřní straně rámové konstrukce (OSB desky, sádrovláknité desky, popř. dřevotřískové desky)

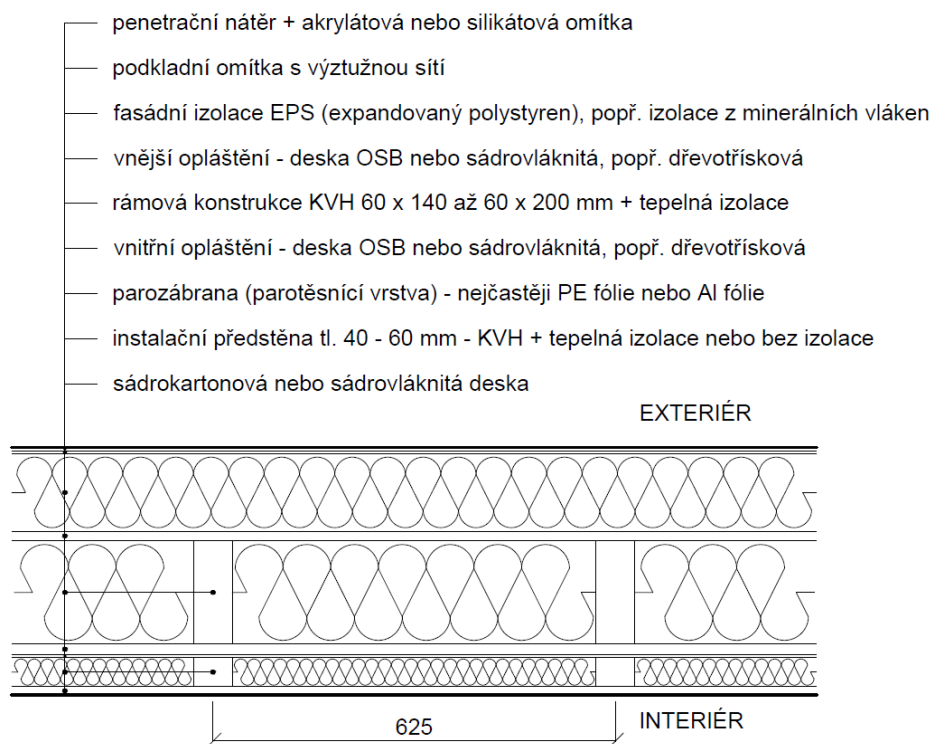
Varianta DUK s opláštěním jen na vnější straně rámové konstrukce

Fasádní izolací je téměř vždy polystyren, který je nutno připevnit k desce, nelze ho kotvit jen na rámovou konstrukci, proto musí být vždy opláštění z vnější strany rámové konstrukce, tato deska má rovněž statickou funkci, ztužuje rámovou konstrukci, přenáší vodorovné zatížení. Nejčastěji se používá OSB deska tloušťky 12 nebo 15 mm nebo sádrovláknitá deska tloušťky 12,5 nebo 15 mm, popř. dřevotřísková deska, mohla by se použít i překližka, která má suverénně nejvyšší pevnost v ohybu z uvedených, nicméně je ve srovnání s uvedenými několikanásobně dražší (tím, že se vyrábí z loupaných dýh, což je po krájených dýhách nejkvalitnější, tudíž i nejdražší materiál), proto se nepoužívá. OSB deska má vyšší pevnost v ohybu než deska sádrovláknitá, avšak sádrovláknitá je má vyšší třídu reakce na oheň (standardně sádrovláknitá v třídě A2 a OSB v třídě D), OSB deska má vyšší faktor difuzního odporu, $\mu = \text{cca } 200$, sádrovláknitá deska $\mu = \text{cca } 12 - 14$ (hovoříme o klasických deskách, ne o speciálně upravených jako např. fermacell vapor apod., ty mají samozřejmě vlastnosti poněkud odlišné, např. fermacell vapor je sádrovláknitá deska speciálně kaširovaná, $\mu = \text{cca } 300$, slouží jako parobrzda stejně jako OSB). Vysoký faktor difuzního odporu OSB desky na vnějším plášti není problém, protože parozábrana na vnitřní straně vodní páru do konstrukce “nepustí“ nicméně pokud by došlo k zásadnímu porušení parozábrany, mohlo by se stát, že vysoký faktor difuzního odporu OSB desky by způsoboval kondenzaci právě na OSB desce.

Varianta DUK s opláštěním na vnější i vnitřní straně rámové konstrukce

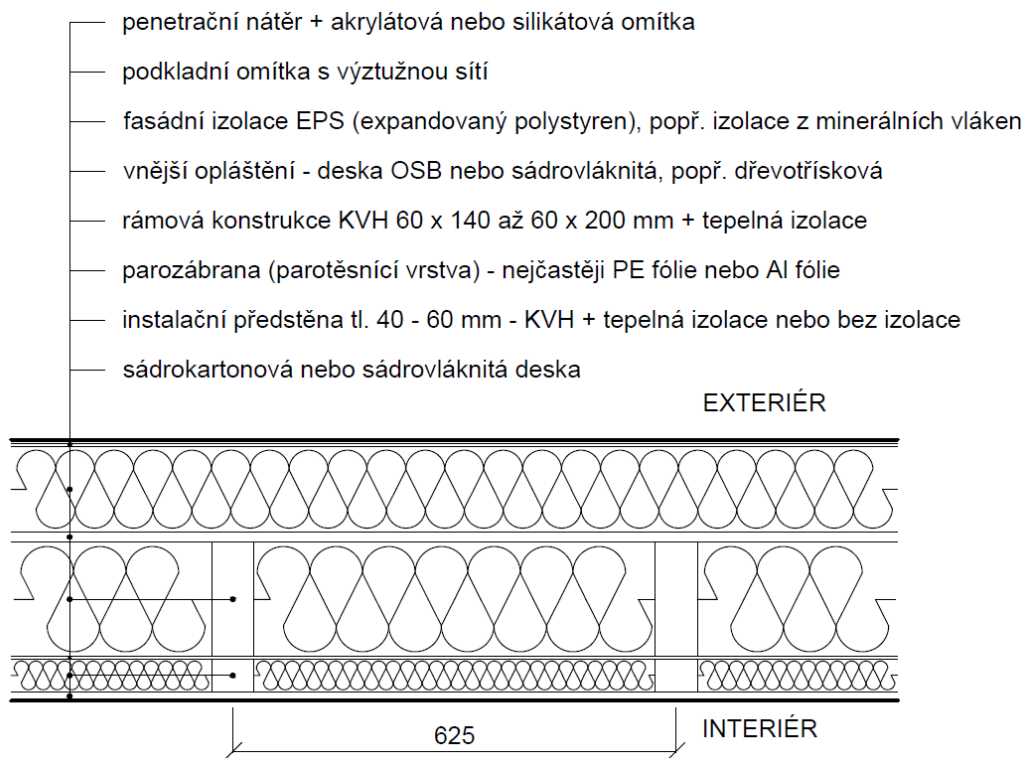
Jak jsem již zmínil, opláštění na vnější části být musí kvůli kotvení fasádní izolace (je samozřejmě jasné, že vždy min. 1 deska být musí kvůli statické – přenos vodorovných sil), nicméně může být opláštění i na straně vnitřní. Z hlediska statiky by stačilo opláštění vnější, nicméně vnitřní opláštění zlepšuje několik vlastností celé obvodové stěny. Za prvé se zvyšuje plošná hmotnost konstrukce, což s sebou nese zlepšení zvukové neprůzvučnosti, tedy zlepšení akustických vlastností. Rovněž se zlepšuje požární odolnost obvodové stěny

a v neposlední řadě se zlepšuje vzduchotěsnost, u poslední vlastnosti bych se ještě zastavil. Již jsme si řekli, že nejdůležitějším faktorem difuzně uzavřených konstrukcí obvodových stěn je parozábrana, která má funkci nejen parotěsnicí, ale i vzduchotěsnou, pokud by se parozábrana porušila (vždy se trochu poškodí přikotvením – sponkováním, ale myslím tím poškodí nad rámec přepokládaného poškození, trochu kostrbatě vyjádřeno, ale doufám, že jsem vystihl myšlenku), nejen že by pravděpodobně došlo uvnitř konstrukce ke kondenzaci, která by se neodpařila, čímž by pravděpodobně došlo k degradaci materiálů a ztrátě jejich funkce, ale i při zkoušce neprůvzdušnosti Blower Door testem by vycházeli horší hodnoty. Vnitřní opláštění by v takovéto situaci mohla přebrat např. OSB deska, která plní funkci vzduchotěsné vrstvy u difuzně otevřených konstrukcí, s tím rozdílem, že tam se právě proto používá OSB tl. 15 nebo i 18 mm a u difuzně uzavřených konstrukcí, pokud je vnitřní opláštění, tak má nejčastěji tloušťku 12 mm, nicméně lepší, než nic, nemluvě o tom, že vnitřní tepelná izolace mezi sloupky by v případě porušení vzduchotěsnicí vrstvy ztrácela své tepelně izolační vlastnosti (stojatý vzduch velmi “špatný“ vodič tepla, proudící vzduch velmi “dobrý“ vodič tepla). To jsou jen mé teorie, samozřejmě je důležité dbát na správné provedení parozábrany. Shrnuto, variantou s opláštěním na vnější i vnitřní straně dosáhneme pravděpodobně lepších vlastností než u varianty jen s vnějším opláštěním, nicméně je zde více materiálu v podobě 1 desky navíc, a rovněž cena práce kotvení dané desky, což samozřejmě zvyšuje celkovou cenu.



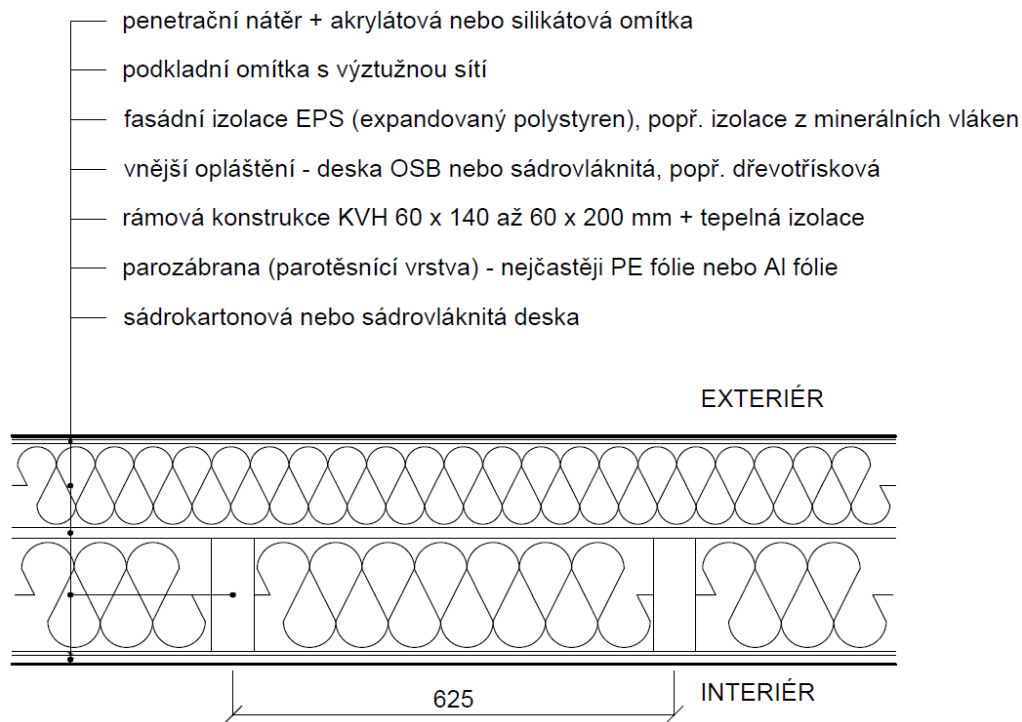
Obrázek 12 DUK s předstěnou a oboustranným opláštěním

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD



Obrázek 13 DUK s předstěnou a jednostranným opláštěním

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD



Obrázek 14 DUK bez předstěny s jednostranným opláštěním

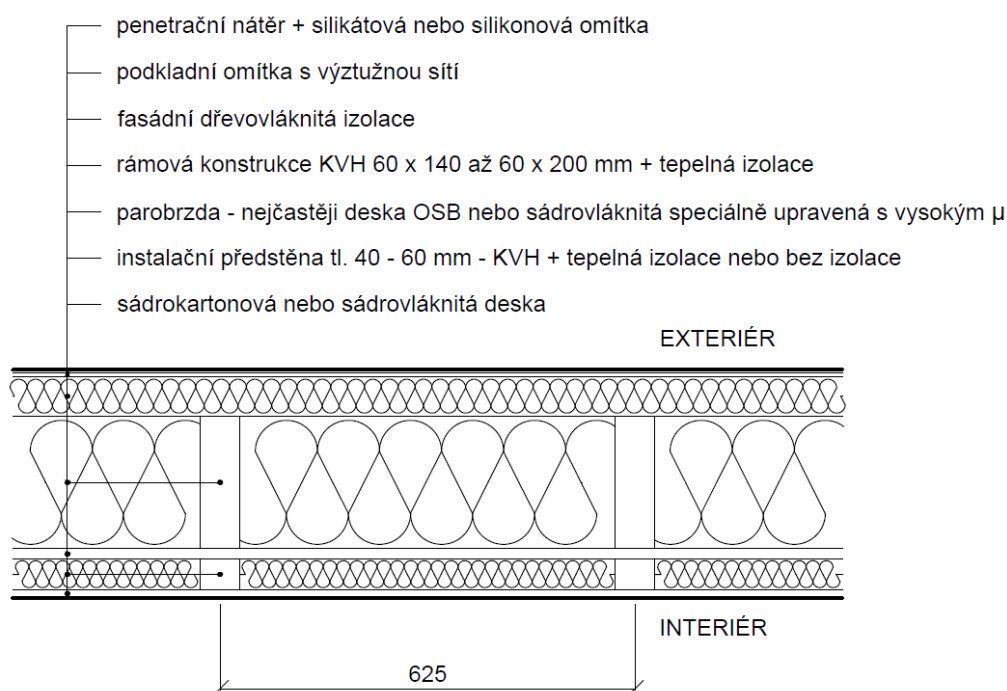
Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

6.1.2 Difuzně otevřená konstrukce

Jak již z názvu plyne, jedná se o konstrukci, která do jisté míry prostup vodní páry umožňuje (mnohem více než difuzně uzavřená), při jejím návrhu platí postup, který jsem již zmínil, tedy snaha o umístění vrstvy s největším difuzním odporem na vnitřní stranu konstrukce a následně snižovat difuzní odpor vrstev od interiéru k exteriéru. Vrstvě s největším difuzním odporem umístěné na vnitřní straně konstrukce se říká parobrzdá a tvoří ji nejčastěji OSB deska nebo speciální sádrovláknitá deska s vysokým faktorem difuzního odporu, může se použít i fólie, ale desky tvoří zároveň ztužující opláštění, což je výhodné, fólie se téměř nepoužívají. OSB deska se používá v tl. 15 nebo 18 mm, sádrovláknitá v tl. 15 mm. Název parobrzdá proto, že její hodnoty faktoru difuzního odporu, resp. ekvivalentní difuzní tloušťky jsou mnohem nižší než u parozábrany, pro parobrzdý platí přibližně $\mu = 200 - 400$, při tloušťkách 15 – 18 mm, ekvivalentní difuzní tloušťka je tedy cca $S_d = 3 - 8$ m. V porovnání s parozábranou tedy více jak 10 krát horší. Parobrzdá má rovněž funkci vzduchotěsnou podobně jako parozábrana. Ještě k difuzně otevřeným konstrukcím, je zde tedy náročnější správně vytvořit skladbu konstrukce,

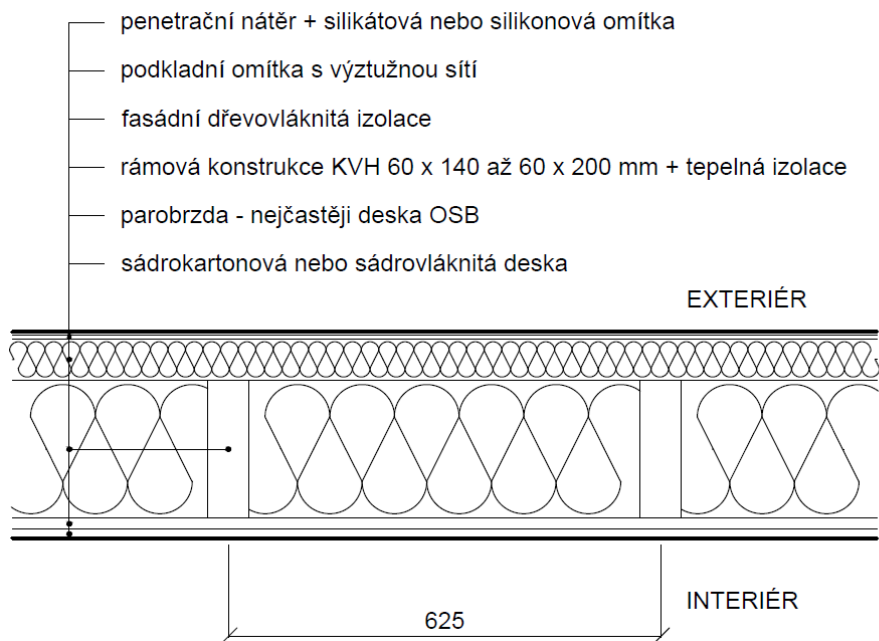
protože na rozdíl od difuzně uzavřených konstrukcí musíme dbát na výběr vhodných materiálů a pořadí jednotlivých vrstev. Tyto materiály jsou obecně ve srovnání s materiály u difuzně uzavřených konstrukcí dražší, hlavně fasádní dřevovláknitá izolace ve srovnání s polystyrenem je asi 5 – 6 krát dražší a navíc má o něco horší tepelně izolační schopnosti, rovněž i vnější omítku musíme použít s nízkým faktorem difuzního odporu.

6.1.2.1 Příklady skladeb difuzně otevřených obvodových stěn



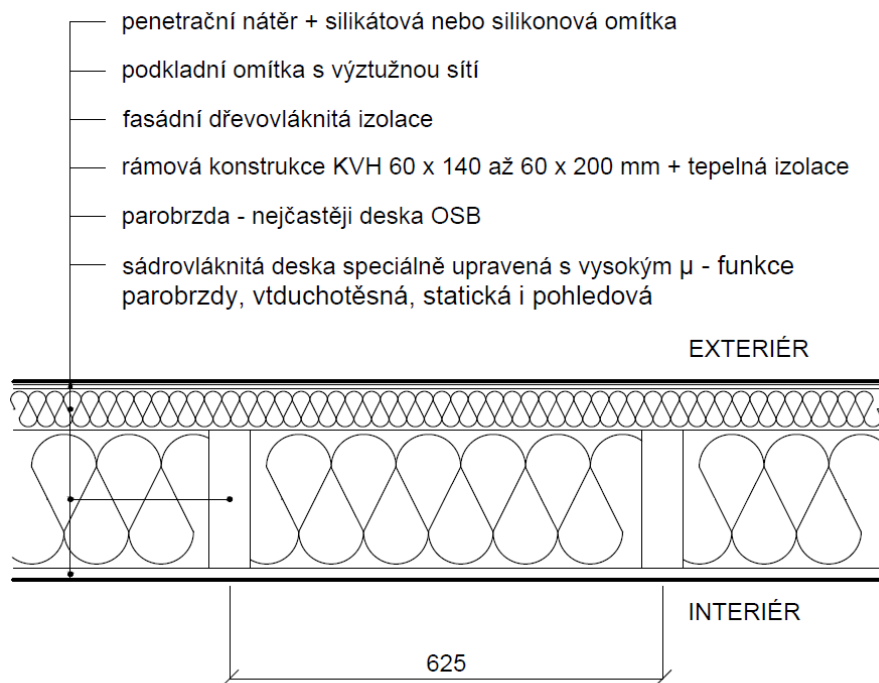
Obrázek 15 DOK s předstěnou a jednostranným opláštěním

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD



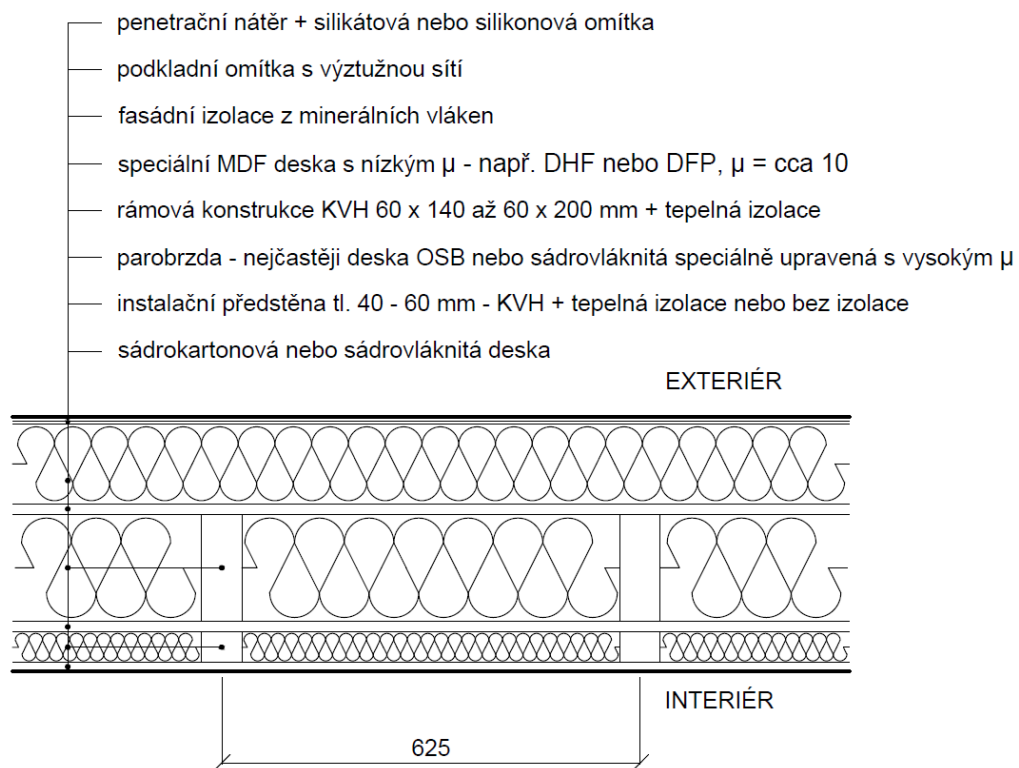
Obrázek 16 DOK bez předstěny s jednostranným opláštěním

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD



Obrázek 17 DOK bez předstěny s jednostranným opláštěním se čtyřmi funkcemi

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD



Obrázek 18 DOK s předstěnou a dvoustranným opláštěním

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Tato varianta může být také samozřejmě bez předstěny.

7 POSTUP ANALÝZY OBVODOVÝCH STĚN

Budeme analyzovat nejprve difuzně otevřené konstrukce (DOK), následně pak difuzně uzavřené (DUK), nakonec pak porovnáme rozdíly obou typů konstrukcí.

Difuzně otevřené konstrukce (DOK)

- **Obvodové stěny difuzně otevřené pro velké budovy**– zde budeme porovnávat konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm a fasádní dřevovláknitou izolací tl. 100 mm s konstrukcemi se sloupkem KVH 60 x 200 mm a fasádní dřevovláknitou izolací tl. 60 mm, přičemž pro každý rozměr sloupku budou (mezi sloupky) použity 4 různé tepelné izolace (v současnosti nejčastěji používané), a to dřevovláknitá izolace STEICO flex, foukaná celulóza Climatizer Plus, minerální izolace skelná Isover DOMO a minerální izolace čedičová Isover FASSIL. Hodnota součinitele prostupu tepla zde bude na střední či spíše horní hranici doporučeného intervalu pro obvodové stěny pasivních domů dle ČSN 730540-2. Vyhodnotíme vliv použití rozměru sloupku a rovněž jaký vliv na tepelně technické vlastnosti a cenu bude mít použití 4 různých tepelných izolací mezi sloupky
 - **Budeme zde tedy zkoumat, zda je výhodnější použít větší tloušťku rámové konstrukce s vnitřní tepelnou izolací na úkor zmenšení tloušťky fasádní dřevovláknité izolace nebo naopak, a jak se budou lišit vlastnosti konstrukce při použití různých izolací mezi sloupky**
- **Možnosti snižování hodnoty součinitele prostupu tepla**–následně se pokusíme zanalyzovat možnosti snížení hodnoty součinitele prostupu tepla U tak, aby bylo možné obvodové stěny použít i pro malé budovy, to znamená, aby byly hodnoty součinitelů prostupů tepla na spodní hranici (či pod ní) doporučeného intervalu součinitele prostupu tepla obvodové stěny pro pasivní domy, který je 0,12 – 0,18 $W/m^2.K$ dle ČSN 730540-2. Toho se pokusíme dosáhnout pomocí dřevěných I-nosníků.

Difuzně uzavřené konstrukce (DUK)

- **Obvodové stěny difuzně uzavřené pro velké budovy** – zde budeme stejně jako u DOK hodnotit, zda je z hlediska tepelně technických vlastností a ceny výhodnější použít sloupek 60 x 160 mm s EPS 100 mm nebo sloupek 60 x 200 mm s EPS 60 mm, tedy, zda je výhodnější použít větší tloušťku rámové konstrukce na úkor menší tloušťky fasádního polystyrenu či naopak. Hodnota součinitele prostupu tepla zde bude na střední či spíše horní hranici doporučeného intervalu pro obvodové stěny pasivních domů dle ČSN 730540-2. Rovněž zde budeme posuzovat i 2 použité izolace mezi sloupky – minerální izolaci čedičovou Isover FASSil a minerální izolaci skelnou – Isover DOMO, které se pro DUK používají zdaleka nejčastěji.
- **Možnosti snižování hodnoty součinitele prostupu tepla** – zde se pokusíme na základě výsledků analýzy pro velké budovy navrhnout obvodovou konstrukci s co nejnižším součinitelem prostupu tepla U , aby odpovídal spodní hranici (nebo byl nižší) doporučené hodnoty pro obvodové stěny pasivních domů, aby se dala konstrukce použít i pro ty nejmenší budovy.

Zanalyzovat rozdíly DUK a DOK

Hodnocená kritéria při posuzování obvodových stěn

- *Součinitel prostupu tepla U*
- *Kondenzace na povrchu konstrukce*– v podstatě je zahrnuta v teplotním faktoru vnitřního povrchu, nicméně pro názornost ji budeme hodnotit zvlášť
- *Teplotní faktor vnitřního povrchu*
- *Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek*
- *Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788*
- *Teplotní útlum konstrukce*
- *Fázový posun teplotního kmitu*
- *Cena*

Základním kritériem hodnocení bude součinitel prostupu tepla, který je přímo úměrný nákladům na vytápění. Norma ČSN 730540-2 udává doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro obvodové stěny pasivních domů 0,12 až 0,18 W/m².K, všechny konstrukce budou tedy splňovat toto kritérium.

Vyšší hodnoty z intervalu doporučených hodnot U se používají pro větší budovy a nižší pro menší budovy (čím větší budova, tím je poměr vnějších ochlazovaných ploch k objemu budovy A/V menší, na stejný měrný objem vnitřního vzduchu tedy připadá menší ochlazovaná plocha, můžeme si tudíž dovolit použít vyšší hodnotu součinitele prostupu tepla při dosažení stejné energetické náročnosti).

Firmy zabývající se výstavbou pasivních domů v ČR v současnosti nabízejí domy, u nichž se součinitel prostupu tepla obvodové stěny pohybuje od hodnoty 0,12 – 0,13 W/m².K níže, tedy na spodní hranici doporučeného intervalu. Velmi důležité je však zmínit, že tato hodnota je většinou vypočtená z deklarovaných hodnot součinitelů tepelných vodivostí, nikoliv z návrhových, abychom dostali součinitel prostupu tepla obvodovou stěnou stanovený z návrhových hodnot, stačí jednoduše k této hodnotě přičíst cca 5 – 10 %, tedy v našem případě se z hodnoty 0,12 – 0,13 W/m².K stane cca 0,13 – 0,14 W/m².K. Firmy mají hodnoty součinitelů prostupu tepla na spodní hranici doporučeného intervalu z důvodu charakteru stavěných domů z hlediska poměru A/V. Firmy stavějící pasivní domy v ČR stavějí většinou rodinné domy, tedy malé budovy a jejich konstrukce musí splňovat z hlediska energetické náročnosti pasivní standard i pro ty nejmenší rodinné domy, kde je poměr A/V nejméně příznivý, mají proto hodnoty součinitelů prostupu tepla v rámci doporučených hodnot na dolní hranici (nejen pro obvodové stěny, ale samozřejmě i pro všechny ostatní konstrukce jako střechy, podlahy na zemině atd.). Pokud by daná firma měla nastaveny hodnoty součinitelů prostupu tepla na střední nebo horní hranici doporučených hodnot pro pasivní domy a zákazník by si nechalod této firmy postavit dvoupatrový dům o půdorysných rozměrech např. 12x20 m, je pravděpodobné, že by bylo možné pasivního standardu dosáhnout, ale pokud by si zákazník přál malý bungalov v pasivním standardu, s půdorysnými rozměry např. 9x6 m (poměr A/V je velký, z hlediska energetické náročnosti tedy velmi nevýhodný), je pravděpodobné, že by pasivního standardu nedosáhli právě díky nepříznivému poměru A/V. (Samozřejmě to, jestli budova pasivní standard splní nebo ne ovlivňují další aspekty).

Všechny hodnoty součinitele prostupu tepla námi hodnocených obvodových stěn budou v intervalu doporučených hodnot pro pasivní domy, resp. budou nižší než horní hodnota $0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Rovněž se pokusíme v rámci co největších energetických úspor zanalyzovat možnosti snižování součinitele prostupu tepla obvodové stěny i pod spodní hranici doporučené hodnoty pro pasivní domy, tedy pod $0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Důležité poznámky k výpočtu

- **Součinitel prostupu tepla U** – programem AREA 2010 pro 2D šíření tepla bude vypočtená tepelná propustnost L ($\text{W/m} \cdot \text{K}$), vztažená pro 1 m výšky, sloupky v konstrukci jsou od sebe osově vzdálené 625 mm, my jsme modelovali 2 sloupky, délka konstrukce je tudíž 1,25 m, hodnotu tepelné propustnosti L z programu AREA je tedy nutné vydělit číslem 1,25, abychom dostali hodnotu ve $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$, tedy hodnotu součinitele prostupu tepla U . U materiálů byl uvažován vliv zabudování (zabudovaná vlhkost) navýšením deklarovaných hodnot součinitelů tepelných vodivostí λ_D podle normy ČSN EN ISO 10456, čímž jsme získali hodnoty návrhové. Bodové tepelné mosty vlivem kotvení (hřebíky, spony...) nebudou uvažovány.
- **Kondenzace na povrchu konstrukce** – ke kondenzaci na povrchu konstrukce dochází v případě, kdy teplota na povrchu konstrukce klesne pod teplotu rosného bodu. Pro zadané okrajové podmínky vnitřního vzduchu ($\theta_{ai} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_i = 55 \text{ } \%$) byl programem AREA 2010 zjištěna teplota rosného bodu $10,69 \text{ }^\circ\text{C}$ a rovněž spočítána nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} , která byla následně porovnána s teplotou rosného bodu. **Tuto vlastnost budeme samostatně hodnotit jen pro názornost, kondenzace na povrchu konstrukce je jinak totiž v podstatě zahrnuta v teplotním faktoru vnitřního povrchu (viz následující bod)**, který je přísnější, protože kritický teplotní faktor který musí konstrukce splňovat je vypočítán pro φ_i na povrchu konstrukce max. 80 % (riziko tvorby plísní), pokud konstrukce vyhoví pro tuto φ_i , je jasné, že vyhoví i pro $\varphi_i = 100 \text{ } \%$, což je φ_i při teplotě rosného bodu
- **Teplotní faktor vnitřního povrchu** – aby nedocházelo k riziku tvorby plísní (80% rel.vlhk.) na vnitřním povrchu konstrukce, musí hodnota vypočítaného teplotního faktoru vnitřního povrchu splňovat podmínku dle ČSN 730540-2, musí platit

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$$

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr}$$

Kde f_{Rsi} je vypočtený nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu

$f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu

$f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu, stanovená ze vztahu

kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ je hodnotou, při které bude relativní vlhkost vzduchu na vnitřním povrchu dosahovat požadovaného maxima, vypočítá se podle vzorce

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269 / \ln(\varphi_{i,r} / \varphi_{si,cr})}$$

kde θ_{ai} je návrhová teplota vnitřního vzduchu (°C)

θ_{ex} je návrhová teplota prostředí na vnější straně hodnocené konstrukce (°C), obvykle jde o návrhovou venkovní teplotu, je tomu tak i u nás

$\varphi_{si,cr}$ je kritická vnitřní povrchová vlhkost (%), uvažujeme hodnotu 80 %, což je spodní hranice rizika tvorby plísní (uvažováním této hodnoty stanovujeme kritérium maximální přípustné relativní vlhkosti vzduchu)

$\varphi_{i,r}$ je relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro stanovení požadavku (%), která se určí ze vztahu

$$\varphi_{i,r} = \varphi_i + 5$$

Pro naše podmínky tedy platí

$$\theta_{ai} = 20 \text{ °C}$$

$$\theta_{ex} = -17 \text{ °C}$$

$$\varphi_{i,r} = 55 \%$$

$$\varphi_{si,cr} = 80 \%$$
 (riziko tvorby plísní)

Vypočítáme tedy kritický faktor vnitřního povrchu

$$f_{R_{si,cr}} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot 20}{20 - (-17)} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(55/80)}$$

$$f_{R_{si,cr}} = 0,84$$

Hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu pro nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce $f_{R,si}$ musí být tedy stejná nebo vyšší než 0,84

pokud je splněna tato podmínka, nebude docházet ke kondenzaci na povrchu konstrukce ani k tvorbě plísni na povrchu konstrukce (na povrchu konstrukce bude $\varphi_i \leq 80\%$)

Teplotní faktor vnitřního povrchu vypočítáme pomocí nejnižší vnitřní povrchové teploty ze vztahu:

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e}$$

Pomocí programu AREA 2010 bude pro 2D šíření tepla vypočtena nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce a následně vypočítán teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{R,si}$, který bude porovnán s kritickým teplotním faktorem

- ***Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek*** – bude hodnocena programem TEPLO 2010 – 1D a rovněž budou použity grafické výstupy z programu AREA 2010 – 2D pro názornost ukázky kondenzační zóny kolem sloupků. Výsledkem je posouzení, zda v konstrukci při uvažování návrhových okrajových podmínek dochází ke kondenzaci, resp. zda není ohrožena funkce konstrukce. *Ohrožením požadované funkce konstrukce je obvykle podstatné zkrácení předpokládané životnosti konstrukce, snížení vnitřní povrchové teploty konstrukce, vedoucí ke vzniku plísni, objemové změny a výrazné zvýšení hmotnosti konstrukce mimo rámec rezerv statického výpočtu, zvýšení hmotnostní vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci. Zejména musí být respektovány podmínky pro uplatnění dřeva a*

materiálů na bázi dřeva ve stavebních konstrukcích. Při zabudování dřeva a materiálů na bázi dřeva musí do stavebních konstrukcí je nutné dodržet jeho dovolenou vlhkost, překročí-li za normových podmínek užívání rovnovážná hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva 18%, je požadovaná funkce ohrožena (ČSN 730540-2)

- ***Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788*** – bude hodnocena programem TEPLO 2010, jedná se o bilanční výpočet kondenzace uvnitř konstrukce po jednotlivých měsících, výsledkem je bilance vlhkosti v konstrukci v jednotlivých měsících, množství zkondenzované resp. odpařené vodní páry pokud v konstrukci ke kondenzaci dochází a zda je na konci modelového roku konstrukce suchá nebo-li, zda se v případě kondenzace vodní páry pára během roku odpaří

- **Teplotní útlum konstrukce v (-)**

Schopnost konstrukce tlumit harmonické změny teploty venkovního vzduchu v zimním, popř. letním období na vnitřním povrchu konstrukce

Vypočítá se ze vztahu

$$v = \frac{A_v}{A_{si}}$$

Kde A_v je teplotní amplituda venkovního prostředí v letním období (m^2)

A_{si} teplotní amplituda na vnitřním povrchu konstrukce (m^2)

Obecně lze říci, že čím bude jeho hodnota vyšší, tím konstrukce více utlumí (zmenší) teplotní kmit.

(ČSN 730540-1)

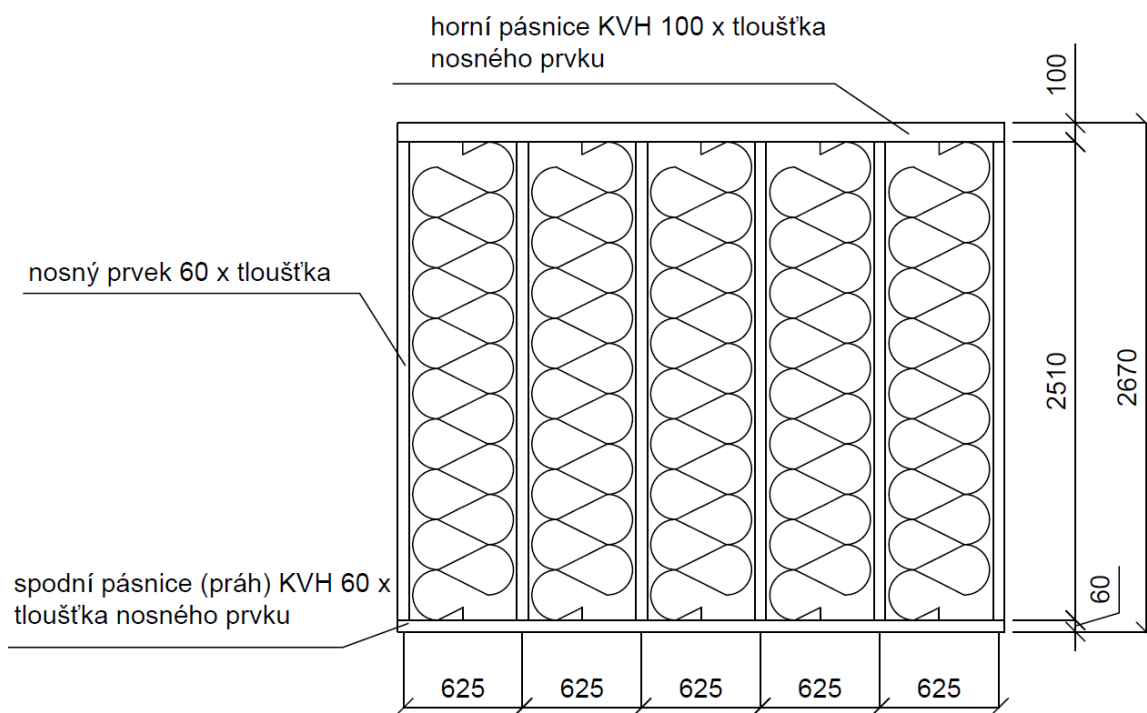
Pro výpočet teplotního útlumu bude použit program TEPLO 2010

- ***Fázový posun teplotního kmitu*** - fázový posun teplotního kmitu ψ (h) udává časový rozdíl mezi maximem teploty na vnitřním povrchu konstrukce a maximem teploty vnějšího vzduchu. Nebo-li čas, za který dorazí teplotní kmit při nejvyšší venkovní teplotě skrz konstrukci na její vnitřní povrch, což se projeví max. teplotou v interiéru. (Chmúrny, 2003). Čím je jeho hodnota vyšší, tím lepší. Tato vlastnost je důležitá z hlediska letního přehřívání interiéru, kdy nesmí dojít ke zvýšení povrchové teploty vnitřního povrchu obvodové stěny nad nepřijatelnou hodnotu.

V případě, že by se tak stalo, bylo by nutné interiér chladit, což je z hlediska cenových nákladů velmi nevýhodné, zvyšuje se celková energetická náročnost budovy. Vezmeme-li rovněž v úvahu cenu energie za 1 kWh na vytápění a na chlazení, zjistíme, že cena 1 kWh na chlazení je cca 3 x vyšší v porovnání s cenou 1 kWh na vytápění. Ideální proto je budovu navrhnout tak, aby chlazení nebylo potřebné. Platí, že při použití materiálů s nižší hodnotou teplotní vodivosti docílíme vyšší hodnoty fázového posunu.

Pro výpočet fázového posunu budeme používat program TEPLLO 2010, nebude zde zahrnut vliv sloupku, který hodnotu fázového posunutí zvyšuje.

- **Cena** – výsledná cena v Kč bez DPH se vztahuje na 1 m² konstrukce (obvodové stěny), u KVH hranolů (nosné sloupky, sloupky předstěny, horní pásnice, spodní pásnice), resp. I-nosníků je nutné dopočítat kolik m³ KVH, resp. I-nosníků je v 1m² konstrukce a následně podle ceny za m³ KVH, resp. za 1 m u I-nosníků, tuto hodnotu zanést do kalkulace. U všech konstrukcí tedy vycházíme z ceny materiálu. U foukané celulózy Climatizer Plus se cena uvádí vždy dohromady s prací, pro možnost porovnání je tudíž u ostatních izolací kalkulována cena za montáž. U konstrukcí s nosným rámem ze sloupků 60 x 200 mm je připočítána náročnější montáž hodnotou 40 Kč/m². Pro možnost srovnání ceny DOK a DUK je u fasádních izolací rovněž kalkulována i cena za montáž, u DOK je navíc parozábrana, je tedy připočítána nejen cena materiálu, ale i cena montáže. V ceně není zahrnuta doprava ani žádné množstevní či jiné slevy.



Obrázek 19 Otevřený panel obvodové stěny s rozměry pro kalkulaci (kóty v mm)

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Tabulka 3 Požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2.

Zdroj: ČSN 730540-2

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	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střeška strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střeška 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	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15

8 NÁVRHOVÉ HODNOTY PRO TEPELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY

Venkovní prostředí

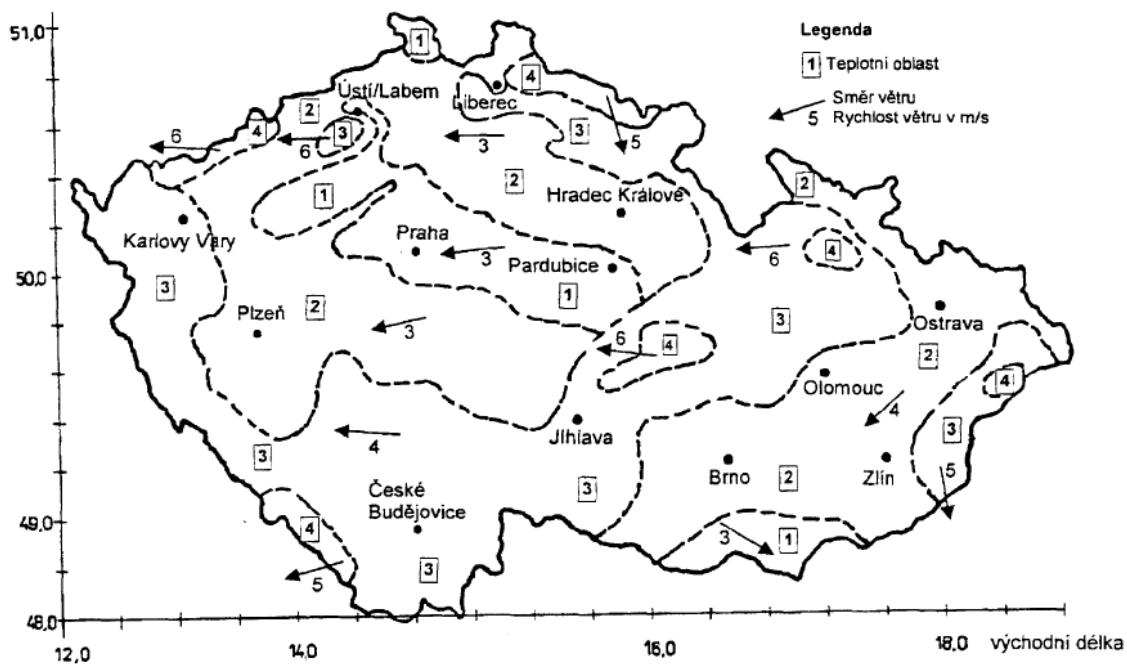
8.1.1 Teplota

8.1.1.1 Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období

Jedná se o teplotu vnějšího vzduchu používanou pro výpočet:

- nejnižší vnitřní povrchové teploty, z které se následně vypočítává teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}
- kondenzace uvnitř konstrukce dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek

Návrhovou teplotu venkovního vzduchu v zimním období θ_e (°C) je možné vypočítat nebo stanovit dle teplotní oblasti města, v které se daná stavba nachází, rozlišujeme 4 teplotní oblasti, jak můžeme vidět na obr. 20. My použijeme právě metodu stanovení podle teplotní oblasti, lokality uvažujeme Tábor, tedy podle ČSN 730540-3 se jedná o 3. teplotní oblast s návrhovou teplotou venkovního vzduchu v zimním období $\theta_e -17$ °C. Pokud konstrukce vyhoví v této oblasti, vyhoví i v ostatních městech v ČR vyjma 4.4. teplotní oblasti, kam spadají horské oblasti ČR a město Trutnov.



Obrázek 20 Teplotní oblasti ČR v zimním období

Zdroj: ČSN 730540-3

8.1.1.2 Průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu

Používají se pro výpočet:

- roční bilance vodní páry dle ČSN EN ISO 13788
- energetické náročnosti budov - tu my zde počítat nebudeme

Průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu uvádí podle nadmořské výšky ČSN 730540-3, lze však použít i hodnoty pro konkrétní lokality, které jsou obsaženy např. v tepelně technických programech, my budeme uvažovat průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu dle lokality Tábor z programu SVOBODA SOFTWARE – Teplo 2010, resp. AREA 2010, viz **Tabulka 4**. Jak jsme dospěli k ostatním hodnotám v tabulce vysvětlíme dále.

Tabulka 4 Průměrné měsíční hodnoty pro výpočet roční bilance dle ČSN EN ISO 13788 bez 5% přírážky k relativní vlhkosti vnitřního vzduchu.

Zdroj: AREA 2010

Měsíc	Dny	Interiér		Exteriér	
		θ_{ai} (°C)	ϕ_i (%)	θ_e (°C)	ϕ_e (%)
Leden	31	20	51,5	-2,8	81,3

Únor	28	20	53,7	-1,3	81
Březen	31	20	55,3	2,4	79,7
Duben	30	20	55,9	7	77,8
Květen	31	20	58,9	12,1	74,9
Červen	30	20	62,1	15,3	72,5
Červenec	31	20	63,7	16,8	71,1
Srpen	31	20	63,1	16,2	71,7
Září	30	20	59,4	12,6	74,6
Říjen	31	20	56,1	7,6	77,5
Listopad	30	20	55,3	2,4	79,7
Prosinec	31	20	53,8	-1,2	80,8

Ke všem relativním vlhkostem vnitřního vzduchu je pro výpočty kondenzace nutné přičíst bezpečnostní vlhkostní přírážku 5 %.

8.1.2 Relativní vlhkost

8.1.2.1 Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu

Návrhovou relativní vlhkost vnějšího vzduchu použijeme pro výpočet:

- kondenzace uvnitř konstrukce dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek

Návrhovou relativní vlhkost vnějšího vzduchu φ_e (%) vypočítáme dle ČSN 730540-3 ze vztahu:

$$\varphi_e = \frac{93 \cdot \theta_e - 3153,5}{\theta_e - 39,17}$$

kde θ_e (°C) je návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období

Po dosazení dostaneme

$$\varphi_e = \frac{93 \cdot (-17) - 3153,5}{-17 - 39,17}$$

$$\varphi_e = 84 \%$$

Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu ve výpočtu budeme uvažovat hodnotou $\varphi_e = 84\%$.

8.1.2.2 Průměrné měsíční relativní vlhkosti venkovního vzduchu

Použijeme je pro výpočet:

- roční bilance vodní páry dle ČSN EN ISO 13788

Hodnoty průměrných měsíčních relativních vlhkostí pro lokalitu Tábor nalezneme v programu TEPLO 2010, resp. AREA 2010.

Vnitřní prostředí

8.1.3 Teplota

Rozlišujeme 2 teploty a to **návrhovou vnitřní teplotu θ_i** , která odpovídá teplotě v místnosti, používá se pro výpočet tepelných ztrát (nebudeme zde počítat), druhá je pak **návrhová teplota vnitřního vzduchu θ_{ai}** , ta se používá při posuzování konstrukcí a detailů. Vztah mezi oběma teplotami je následující:

$$\theta_{ai} = \theta_i + \Delta\theta_{ai}$$

kde θ_i je **návrhová vnitřní teplota ($^{\circ}\text{C}$)** převzatá z ČSN 730540-3, $\Delta\theta_{ai}$ je **přirážka** podle typu objektu a způsobu vytápění, která se stanoví dle tabulky v ČSN 730540-3.

Dle tabulky z ČSN 730540-3 pro **obývací místnosti** je **návrhová vnitřní teplota $\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$ a přirážka pro nízkoenergetické budovy $\Delta\theta_{ai} = 0 \text{ K} = 0^{\circ}\text{C}$.**

$$\theta_{ai} = 20 + 0$$

$$\theta_{ai} = 20^{\circ}\text{C}$$

návrhovou teplotu vnitřního vzduchu θ_{ai} uvažujeme konstantní po celý rok, použijeme ji tedy pro všechny výpočty, kde se pracuje s teplotou vnitřního vzduchu, tj. pro výpočet:

- nejnižší vnitřní povrchové teploty, z které se následně vypočítává teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}
- kondenzace uvnitř konstrukce dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek
- roční bilance vodní páry dle ČSN EN ISO 13788

8.1.4 Relativní vlhkost

8.1.4.1 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu

Její hodnota závislou od typu místnosti, většinou se jedná o hodnotu $\varphi_i = 50 \%$, i v našem případě to platí. Pro výpočet kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek se musí k návrhové relativní vlhkosti vnitřního vzduchu přičíst bezpečnostní vlhkostní přírážka dle ČSN 730540-3, která je 5%. **Výsledná návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro výpočet kondenzace je tedy $\varphi_i = 55 \%$.**

Používá se pro výpočet:

- nejnižší vnitřní povrchové teploty, z které se následně vypočítává teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}
- kondenzace uvnitř konstrukce dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek

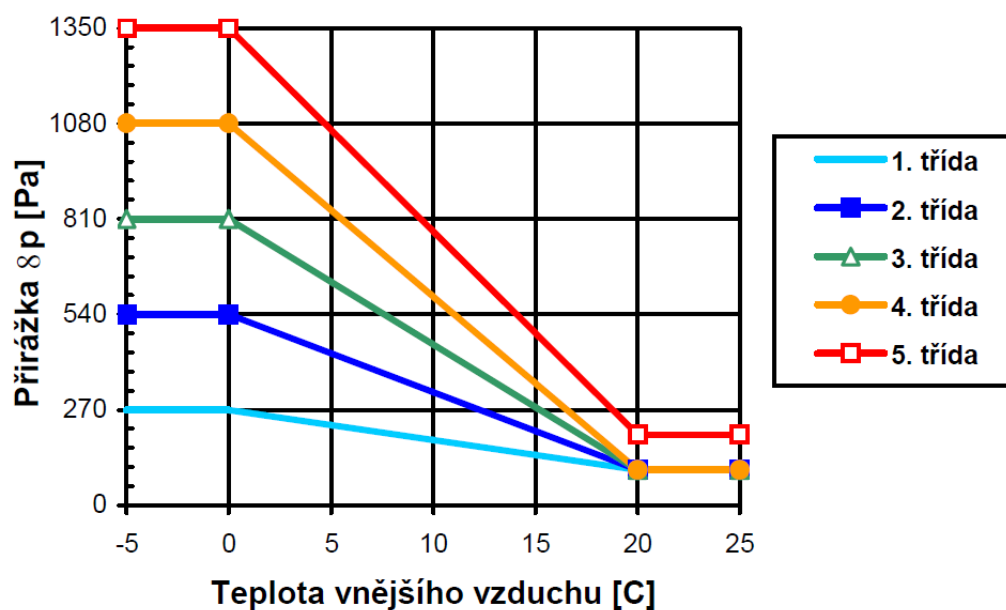
8.1.4.2 Relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro průměrné měsíční teploty

Je několik možností, jak vypočítat relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro průměrné měsíční teploty, my použijeme zatřídění místnosti do vlhkostní třídy, kde relativní vlhkost vnitřního vzduchu stanovíme podle relativní vlhkosti vnějšího vzduchu a přírážky podle příslušné vlhkostní třídy.

Tabulka 5 Vlhkostní třídy dle ČSN EN ISO 13788.

Zdroj: ČSN EN ISO 13788

Vlhkostní třída	Budova, provoz
1	Sklady a ostatní objekty bez zdrojů vlhkosti a bez pobytu osob
2	Kanceláře a obchody s nucenou výměnou vzduchu
3	Obytné budovy s malým obsazením osob
4	Běžné obytné budovy, kuchyně, jídelny
5	Budovy s vlhkým provozem (prádelny, plavecké bazény, sportovní haly atd.)



Graf 3 Přirážky δp pro vlhkostní třídy dle ČSN EN ISO 13788

Zdroj: <https://kps.fsv.cvut.cz>

Pro posuzování běžných bytových a občanských staveb se používá vždy **3. Vlhkostní třída**, kterou budeme ve svých výpočtech uvažovat i my.

Důležitá poznámka: Pro větrání nucené se může pro stanovení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v jednotlivých měsících použít i příslušný vzorec, kde je nutné zadat produkci vodní páry G (kg/h) a násobnost výměny vzduchu n . Můžeme říci, že čím nižší venkovní teplota, tím je absolutní vlhkost venkovního vzduchu menší, vzduch je tedy sušší, z toho vyplývá i nižší relativní vlhkost vnitřního vzduchu v interiéru, protože při přivedení venkovního vzduchu s nízkou absolutní vlhkostí směrem do interiéru po ohřátí tohoto vzduchu (rekuperací a tepelným zdrojem) stoupne schopnost vzduchu přijmout vodní páry, tudíž klesne relativní vlhkost. To znamená čím nižší je teplota v exteriéru, tím nižší absolutní vlhkost venkovního vzduchu a tím pádem i nižší relativní vlhkost vnitřního vzduchu (samozřejmě záleží i na relativní vlhkosti venkovního vzduchu, toto tvrzení je přesné, pokud bychom uvažovali konstantní relativní vlhkost venkovního vzduchu bez ohledu na teplotu). Nicméně, jak jsem již zmínil, hnacím motorem pro prostup vodní páry konstrukcí z interiéru do exteriéru je rozdíl částečných tlaků vodní páry v exteriéru a interiéru. **A právě pokud bychom použili pro výpočet relativních vlhkostí vnitřního vzduchu příslušný vzorec se zadáním produkce vodní páry a násobnosti výměny vzduchu n , platilo by, že při největších rozdílech teplot v interiéru a exteriéru by byla nejnižší relativní vlhkost vnitřního vzduchu, která by snižovala rozdíl částečných tlaků vodní páry mezi oběma prostředními (což u přírážky dle vlhkostních tříd není), je tedy pro konstrukci mírnější než metoda přírážky dle vlhkostní třídy (samozřejmě záleží na uvažované produkci vodní páry, ale pokud by byla velká, tak bychom zase mohli rovnocenně použít např. 4. Vlhkostní třídu a bylo by to opět podobné), protojsme použili přísnější metodu přírážky dle vlhkostní třídy dle ČSN EN ISO 13788.**

Pro každý měsíc se provede výpočet podle vzorce:

$$\varphi_i = \left(\frac{\varphi_e \cdot p_{e,sat}}{100} + \Delta p \right) \cdot \frac{100}{p_{i,sat}}$$

kde Δp je zvýšení částečného tlaku vodní páry (přírážka) k venkovnímu částečnému tlaku vodní páry podle příslušné vlhkostní třídy, čímž dostaneme částečný tlak vodní páry vnitřního vzduchu.

Ukážeme si to na měsíci lednu. Z **Tabulky 4** vidíme, že pro měsíc leden jsou parametry venkovního vzduchu $\theta_e = -2,8 \text{ }^\circ\text{C}$, pro tuto teplotu si v **Tabulce 11** z ČSN EN ISO 13788 najdeme a pomocí lineární interpolace vypočítáme částečný tlak nasycené vodní páry, který tedy je $p_{e,\text{sat}} = 483,4 \text{ Pa}$. Dále $\varphi_e = 81,3\%$ a protože uvažujeme 3. vlhkostní třídu, je $\Delta p = 810 \text{ Pa}$. V interiéru máme teplotu $20 \text{ }^\circ\text{C}$, najdeme si tedy opět v **Tabulce 11** z ČSN EN 13788 částečný tlak nasycené vodní páry pro teplotu $20 \text{ }^\circ\text{C}$, dostaneme $p_{i,\text{sat}} = 2337$. Nyní už jen dosadíme

$$\varphi_i = \left(\frac{81,3 \cdot 483,4}{100} + 810 \right) \cdot \frac{100}{2337}$$

$$\varphi_i = 51,5 \%$$

Vidíme, že jsme dospěli ke stejné relativní vlhkosti vnitřního vzduchu jako v **Tabulce 4** pro měsíc leden.

Poznámka: Ještě jednou připomínám, že pro výpočty je nutné uvažovat s přírážkou k relativní vlhkosti 5 %, **takže pro měsíc leden se pro výpočty uvažuje**

$$\varphi_i = 51,5 + 5 = 56,5 \%$$

Shrnutí podmínek pro jednotlivé výpočty

Pro výpočet:

- nejnižší vnitřní povrchové teploty, z které se následně vypočítává teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}
- kondenzace uvnitř konstrukce dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek

použijeme podmínky dle **Tabulky 6**.

Tabulka 6 Návrhové okrajové podmínky pro výpočet kondenzace uvnitř konstrukce.

Zdroj: ČSN 73 0540-3

Interiér		Exteriér	
$\theta_{ai} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\varphi_i \text{ (}\%)$	$\theta_e \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\varphi_e \text{ (}\%)$
20	55	-17	84

Pro výpočet

- roční bilance vodní páry dle ČSN EN ISO 13788

použijeme podmínky dle *Tabulky 4*.

Tepelné odpory při přestupu tepla pro tepelně technické výpočty

8.1.5 Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu

Návrhová hodnota tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřním povrchu se pro vodorovný tepelný tok uvažuje dle ČSN 730540-3 a ČSN EN ISO 13788 hodnotou **$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** pro výpočet:

- *součinitele prostupu tepla U*
- *kondenzace uvnitř konstrukce dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek*
- *roční bilance vodní páry dle ČSN EN ISO 13788*

Poznámka: Jen pro doplnění, ještě do srpna roku 2013 než dostala norma ČSN EN ISO 13788 současnou podobu, se uvažoval pro výpočet kondenzace uvnitř konstrukce $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Hodnota tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřním povrchu se uvažuje dle ČSN 730540-2 hodnotou **$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** pro výpočet:

- *Nejnižší vnitřní povrchové teploty, z které se následně vypočítává teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi}*

Tabulka 7 Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně pro posouzení kondenzace uvnitř konstrukce a povrchové kondenzace u oken a dveří

Zdroj: ČSN EN ISO 13788

Směr tepelného toku	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu R_{si} ($m^2.K/W$)
nahoru	0,1
vodorovný	0,13
dolů	0,17

8.1.6 Tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu

Návrhová hodnota tepelného odporu při přestupu tepla na vnějším povrchu se uvažuje dle ČSN 730540-3 i ČSN EN ISO 13788 hodnotou **$R_{se} = 0,04 m^2.K/W$ pro všechny výpočty.**

9 MATERIÁLY POUŽITÉ PRO OBVODOVÉ STĚNY

Materiály pro difuzně otevřené konstrukce obvodových stěn

Sádrokartonová deska Rigidur RB

OSB deska Egger Eurostrand 3 EO

KVH hranoly

Dřevěné I-nosníky STEICO wall

Tepelná izolace STEICO flex

Tepelná izolace Climatizer Plus

Tepelná izolace Isover DOMO

Tepelná izolace Isover FASSIL

Tepelná izolace fasádní STEICO protect, typ H

Tepelná izolace fasádní STEICO protect, typ M

Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX

Silikátová omítka rýhovaná CEMIX

Sádrokartonová deska Rigidur RB

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,21W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 750 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 1060 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 9

www.rigips.cz

OSB deska Egger Eurostrand 3 EO

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,13W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 640 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 2100 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 200
 - *Vlivem porušení OSB desky hřebíky byla pro výpočet kondenzace hodnota upravena na hodnotu $\mu = 100$*

(www.egger.com)

KVH hranoly

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,18W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 400 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 2510 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 157

(Teplo, 2010)

Tepelná izolace STEICO flex

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,038W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,042$ W/m.K*
- Objemová hmotnost ρ 50 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 2100 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 1

(www.steico.com)

Tepelná izolace Climatizer Plus

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,038W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,042$ W/m.K*
- Objemová hmotnost ρ 54 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 2020 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 2

(www.climatizer.cz)

Tepelná izolace Isover DOMO

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,039W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,043$ W/m.K*
- Objemová hmotnost ρ 12 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 840 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 1

(www.isover.cz)

Tepelná izolace Isover FASSIL

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,035W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,039$ W/m.K*

- Objemová hmotnost ρ 50 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 880 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 1,4

(www.isover.cz)

Tepelná izolace fasádní STEICO protect, typ H

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,048W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,051$ W/m.K*

- Objemová hmotnost ρ 265 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 2100 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 5

(www.steico.com)

Tepelná izolace fasádní STEICO protect, typ M

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,046W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,049$ W/m.K*

- Objemová hmotnost ρ 230 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 2100 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 5

(www.steico.com)

Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,55W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 1300 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 840 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 10

www.CEMIX.cz

Silikátová omítka rýhovaná CEMIX

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,8W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 1400 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 840 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 24

Zrno 1,5 mm

www.CEMIX.cz

Materiály pro difuzně uzavřené konstrukce obvodových stěn

Sádrokartonová deska Rigidur RB

OSB deska Egger Eurostrand 3 EO

PE folie DEKSEPAR

KVH hranoly

Tepelná izolace Isover DOMO

Tepelná izolace Isover FASSIL

Fasádní polystyren Baumit EPS 70 –F

Lepící hmota Baumit DuoContact

Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop

PE folie DEKSEPAR

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,8W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 800 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 1400 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 345 000
 - *Vlivem porušení parozábrany sponkami byla pro výpočet kondenzace hodnota upravena na hodnotu $\mu = 34\ 500$*

(www.dek.cz)

Fasádní polystyren Baumit EPS 70 – F

- Součinitel tepelné vodivosti λ_D 0,039W/m.K
 - *Deklarovaná hodnota byla upravena dle normy ČSN EN ISO 10456 pro potřebu tepelně-technických výpočtů na hodnotu návrhovou $\lambda = 0,041$ W/m.K*
- Objemová hmotnost ρ 17 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 1270 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 40

Lepící hmota Baumit DuoContact

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,88W/m.K

- Objemová hmotnost ρ 1500 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 850 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 10

Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop

- Součinitel tepelné vodivosti λ (návrhová hodnota) 0,85W/m.K
- Objemová hmotnost ρ 1600 kg/m³
- Měrná tepelná kapacita c 840 J/kg.K
- Faktor difuzního odporu μ (-) 40

Zrno 1,5 mm

(www.baumit.cz)

Poznámka:Někdo by mohl namítnout, proč ponížujeme pro výpočet kondenzace faktor difuzního odporu OSB desky a PE fólie a ostatních materiálů ne, když jsou také nějak kotveny. Je to proto, že OSB a PE fólie mají funkci parobrzdy, resp. parozábrany, tato vrstva je tedy z pohledu difuze vodní páry nejdůležitější ve srovnání s ostatními materiály. Rovněž platí, že čím větší je faktor difuzního odporu materiálu, tím více klesne jeho faktor difuzního odporu při poškození, samozřejmě složení materiálu ovlivňuje, jak moc ho kotvení poškodí, nicméně faktor difuzního odporu ostatních materiálů vlivem kotvení klesne naprosto minimálně a pro výpočet kondenzace není podstatný.

Tepelné izolace v obvodových stěnách

Základní charakteristickou vlastností tepelných izolací je tepelně izolační schopnost, kterou udává součinitel tepelné vodivosti λ (W/m.K). Nicméně i další vlastnosti tepelných izolací významně ovlivňují vlastnosti obvodové stěny, obzvlášť u dřevostaveb rámové konstrukce, kde je tepelná izolace téměř v celé tloušťce konstrukce. Jiné požadavky jsou samozřejmě na izolace fasádní a jiné na vnitřní, od nichž se odvíjejí i jejich vlastnosti. Jako fasádní tepelná izolace se u difuzně otevřených konstrukcí obvodových stěn zdaleka nejčastěji používá dřevovláknitá deska. Její výhodou je mimo jiné i fakt, že se může připevnit (nejčastěji se kotví sponami) přímo na dřevěný rám, např. u

polystyren nebo minerální fasádní izolace musíme dřevěnou rámovou konstrukci opatřit deskou (polystyren se samozřejmě z důvodu vysokého faktoru difuzního odporu $\mu = \text{cca } 20 - 50$ použít nesmí).

Dalšími důležitými vlastnostmi tepelných izolací jsou objemová hmotnost, měrná tepelná kapacita, faktor difuzního odporu, třída reakce na oheň a samozřejmě je důležitá i cena. Rovněž se dá hodnotit, na kolik je tepelná izolace z přírodních materiálů apod. Právě podle toho kam tepelnou izolaci použijeme, musí splňovat i další limitní hodnoty, např. nasákavosti, dynamické tuhosti apod. Zaměřme se nyní na tepelné izolace vnitřní, konkrétně tepelné izolace mezi nosnými prvky u dřevostaveb rámové konstrukce. Nejideálnější tepelná izolace by byla taková, která by měla co nejnižší hodnotu λ , co nejvyšší hodnotu c , co nejvyšší ρ , co nejnižší μ , třídu reakce na oheň A1, byla by čistě z přírodních materiálů a měla co nejnižší cenu. Takovou ovšem zcela jistě nenajdeme, jednotlivé vlastnosti si totiž částečně odporují. **Nejdůležitější vlastnost tepelných izolací, součinitel tepelné vodivosti, je dán tepelnou vodivostí materiálu, ze kterého je izolace vyrobena a tepelné vodivosti vzduchových mezer. Záleží na poměru objemu daného materiálu a objemu vzduchových mezer. Součinitel tepelné vodivosti vzduchu při atmosférickém tlaku a 20 °C je cca $\lambda = 0,026 \text{ W/m.K}$ (důležité je ovšem také zdůraznit, že se jedná o vzduch stojatý, proudící vzduch je naopak velmi dobrý vodič tepla, právě proto je důležité u každé tepelné izolace z obou stran zajistit vzduchotěsnost).** Osobně neznám materiál, který by měl tuto hodnotu nižší (vyjímku tvoří polyisokyanurátová pěna, tzv. PIR pěna, např. společnost KINGSPAN nabízí produkt Kooltherm, který dosahuje $\lambda = 0,020 \text{ W/m.K}$, což je nejnižší hodnota ze všech tepelných izolací, s kterou jsem se osobně setkal, je to samozřejmě vykoupeno mnohem vyšší cenou, nicméně $\mu = \text{cca } 35$, z toho důvodu ji nelze použít pro difuzně otevřené konstrukce dřevostaveb). To znamená, že můžeme obecně říci, že čím větší objem vzduchových mezer, tím nižší λ . Nejen u tepelných izolací, ale u všech materiálů toto platí. Např. dřevosmrku s hustotou 450 kg/m^3 a vlhkostí např. 12 % bude mít rozhodně nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti (bereme kolmo k vláknům) než dřevo dubu se stejnou vlhkostí a hustotou 700 kg/m^3 , to je dáno právě větším objemem vzduchových mezer ve dřevě smrku. Dřevní substance jako taková má jistě mnohem vyšší hodnotu součinitele tepelné vodivosti než stojatý vzduch. Vezmeme-li např. dřevovláknité izolace, platí, že čím více ji slisujeme, tím je vyšší objemová hmotnost, což je logické, ale rovněž menší objem vzduchových mezer, tudíž i vyšší tepelná vodivost, rovněž vyšší faktor

difuzního odporu a protože je zde více dřeva, tak pravděpodobně i vyšší cena. Ještě k objemové hmotnosti, čím větší objemová hmotnost vnitřní tepelné izolace mezi sloupky je, tím je menší riziko sesedání izolace. Toto z projektového hlediska zajistit nemůžeme, nicméně čím má tepelná izolace menší objemovou hmotnost, tím větší je riziko, sesednutí, což se projeví v případném termografickém měření po výstavbě.

My pro naši analýzu použijeme čtyři nejčastěji se vyskytující tepelné izolace v obvodových stěnách dřevostaveb mezi sloupky, a to:

- **Dřevovláknitá izolace**
- **Foukaná celulóza**
- **Minerální izolace čedičová**
- **Minerální izolace skelná**

Tabulka 8 Porovnání vybraných vlastností 4 druhů vnitřních izolací

Zdroj: www.climatizer.cz, www.isover.cz, www.mta.cz, www.steico.com

	Dřevovláknitá izolace Steico flex	Climatizer Plus – foukaná celulóza	Minerální izolace čedičová Isover Fassil	Minerální izolace skelná Isover DOMO
Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti λ (W/m.K)	0,042	0,042	0,039	0,043
Objemová hmotnost ρ (kg/m³)	50	54	50	12
Měrná tepelná kapacita c (J/kg.K)	2100	2020	880	840
Faktor difuzního odporu μ (-)	1	2	1,4	1
Třída reakce na oheň (ČSN EN 13501-1)	E	C	A1	A1

Materiál	dřevní vlákno	recyklovaný papír	čedič, adiabas...	Sklo, písek
-----------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------

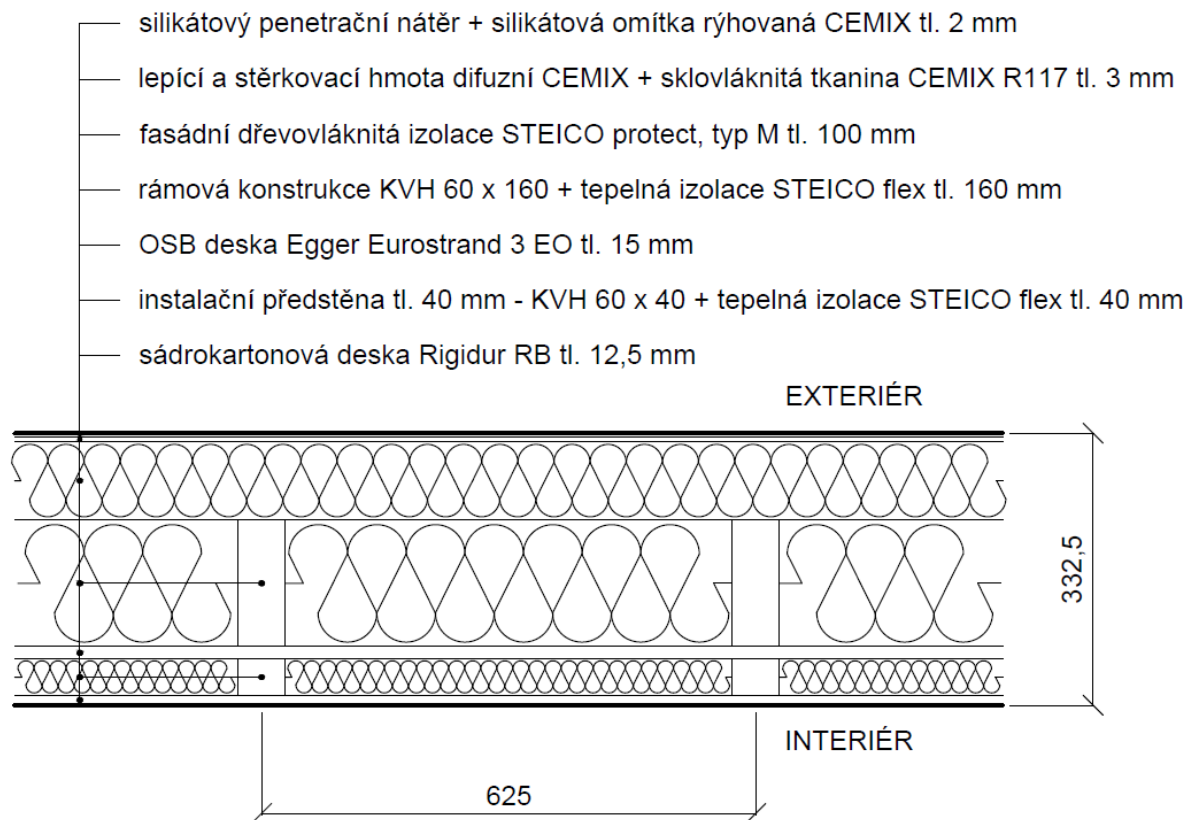
10 ANALÝZA DIFUZNĚ OTEVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH DOMŮ PRO VELKÉ BUDOVY

Jak jsem již zmínil doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní domy je dle ČSN 730540-2 $U = 0,12 - 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, vyšší hodnota je pro velké budovy (větší hodnota A/V) a nižší pro malé budovy (menší hodnota A/V). My se pokusíme nejprve zanalyzovat možnosti návrhu obvodových stěn pro velké budovy, tedy s vyšší hodnotou součinitele prostupu tepla a následné možnosti snižování této hodnoty až pod spodní hranici doporučené hodnoty, aby se daly obvodové stěny použít i pro malé budovy.

Použijeme skladbu s rámem z KVH hranolů, pouze s vnitřním opláštěním, předstěnou a na fasádě s dřevovláknitou deskou.

DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex

Skladba konstrukce



Obrázek 21 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Jak jsem již zmínil, všechny výpočty budeme dělat v programu TEPLO 2010, resp. AREA 2010, nicméně na první konstrukci si zkusíme názorně předvést ručním výpočtem výpočet kondenzace dle požadavku ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek.

Výpočet kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek

Postup:

- Krok 1 –Určení průběhu teplot v konstrukci
- Krok 2 –Určení teoretického průběhu částečných tlaků vodní páry v konstrukci
- Krok 3 –Určení průběhu částečných tlaků nasycené vodní páry v konstrukci
- Krok 4 –Vymezení kondenzační zóny
- Krok 5 –Určení zkondenzovaného množství vodní páry

Poslední 2 kroky se samozřejmě provádějí jen v případě, že v konstrukci dochází ke kondenzaci.

(Kulhánek, 2011)

Krok 1 Určení průběhu teplot v konstrukci

Abychom mohli spočítat teploty v konstrukci, musíme nejprve spočítat tepelný odpor konstrukce, resp. součinitel prostupu tepla, R_{si} budeme uvažovat podle **Tabulky 7** 0,13 $m^2.K/W$.

Nejprve vypočítáme tepelný odpor konstrukce, pro každou vrstvu použijeme vzorec

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Pro 1. Vrstvu, tedy sádrokartonovou desku

$$R_1 = \frac{0,0125}{0,22}$$

$$R_1 = 0,057 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Podobně určíme tepelné odpory každé z vrstev, pro výpočet si pomůžeme výpočtem v Microsoft Excel 2010. Tepelné odpory všech vrstev i součinitel prostupu tepla bez uvažování sloupků udává **Tabulka 9**.

Tabulka 9 Tepelné odpory jednotlivých vrstev a celé konstrukce a hodnota součinitele prostupu tepla.

Zdroj: Vlastní výpočet

	R (m².K/W)
sádrokarton	0,057
STEICO flex	0,952
OSB deska	0,115
STEICO flex	3,810
STEICO protect, typ M	2,041

Lepící a stěrková hmota difuzní CEMIX	0,005
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX	0,003
<u>R = 6,983 m².K/W</u>	
R _{si}	0,13
R _{se}	0,04
<u>R_T = 7,153 m².K/W</u>	
<u>U = 0,14 W/ m².K</u>	

Nyní určíme vnitřní povrchovou teplotu podle vzorce:

$$\theta_{si} = \theta_{ai} - U \cdot (\theta_{ai} - \theta_e) \cdot R_{si}$$

Po dosazení

$$\theta_{si} = 20 - (0,14 \cdot (20 - (-17))) \cdot 0,13$$

$$\underline{\theta_{si} = 19,33 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Poznámka: Vnitřní povrchovou teplotu jsme počítali pro potřebu kondenzace uvnitř konstrukce, proto jsme pro výpočet použili hodnotu $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, kondenzace a riziko tvorby plísní **na povrchu konstrukce** se ověřuje pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu, kde se pro výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty používá přísnější hodnota a to $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, tudíž povrchová teplota vyjde nižší, hodnocení je tedy mnohem přísnější, to jen pro úplnost.

Vnitřní povrchová teplota nebo-li teplota na vnitřním povrchu konstrukce je tedy 19,33 °C.

Následně určíme teploty na rozhraní vrstev v konstrukci a to podle vzorce:

$$\theta_x = \theta_{ai} - U \cdot (R_{si} + R_x) \cdot (\theta_{ai} - \theta_e)$$

První teplota na rozhraní vrstev je teplota na rozhraní sádrokartonové desky a tepelné izolace předstěny STEICO flex

$$\theta_{x1} = 20 - (0,14 \cdot (0,13 + 0,0568)) \cdot (20 - (-17))$$

$$\underline{\theta_{x1} = 19,03 \text{ °C}}$$

Takto můžeme postupovat dále a určit všechny teploty na rozhraní vrstev, pro tyto i další hodnoty jsme použili výpočty pomocí programu Microsoft Excel 2010, rozložení teplot v konstrukci udává **Tabulka 10**.

Tabulka 10 Rozložení teplot v konstrukci.

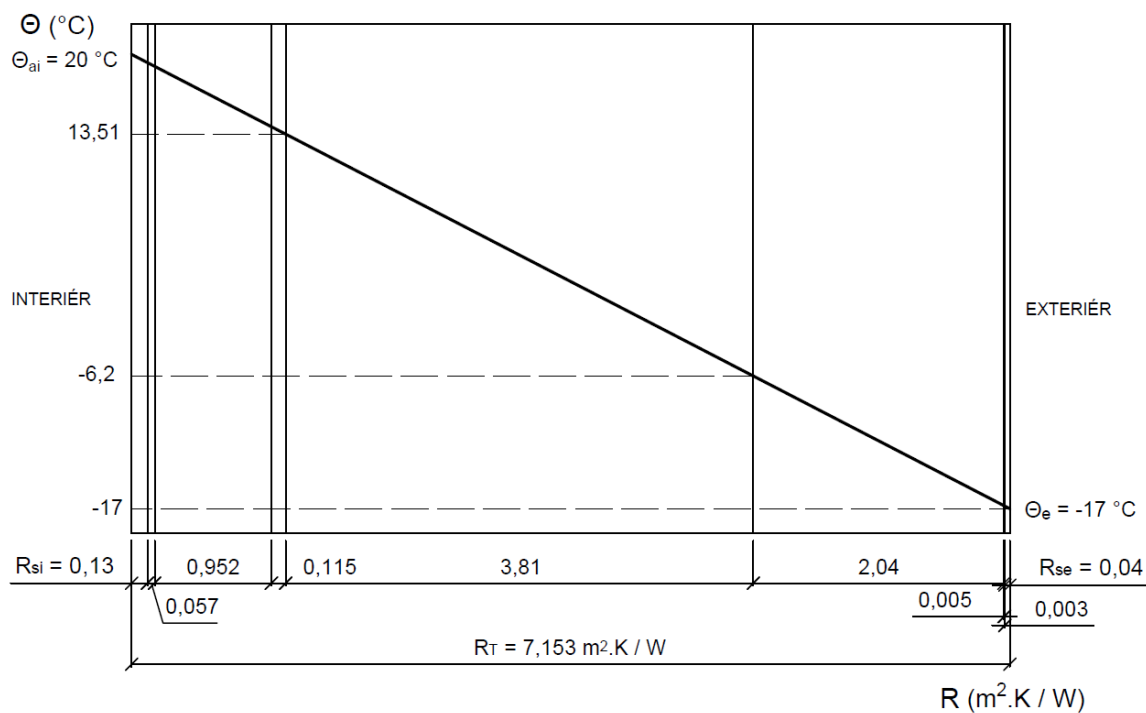
Zdroj: Vlastní výpočet

	Teploty θ (°C)
θ_{si}	19,33
sádrokarton	19,03
STEICO flex	14,11
OSB deska	13,51
STEICO flex	-6,20
STEICO protect, typ M	-16,75
Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX	-16,78
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX = θ_{se}	-16,79

Poznámka: Teplota v tabulce je vždy na vnějším povrchu dané vrstvy, teplota pro poslední vrstvu silikátová omítka rýhovaná CEMIX je tedy zároveň teplotou na vnějším povrchu konstrukce θ_{se} .

Rovněž můžeme pro výpočet teplot v konstrukci postupovat graficky – na x-ovou osu vyneseme tepelné odpory, včetně tepelných odporů při přestupu tepla, na y-ovou pak návrhové okrajové teploty, tedy na vnitřní povrch $\theta_{ai} = 20 \text{ °C}$ a na vnější povrch $\theta_e = -17 \text{ °C}$. Pokud tyto 2 teploty spojíme, vznikne nám křivka teplot uvnitř konstrukce, z které

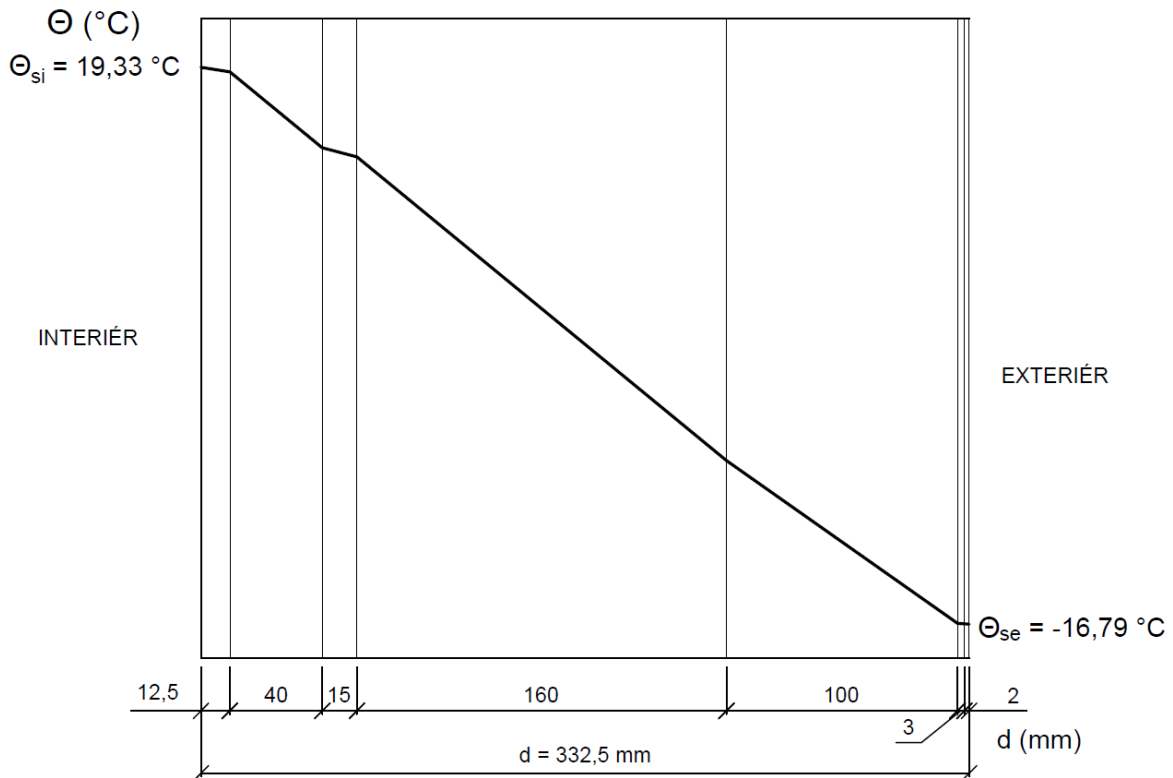
můžeme odečíst teplotu pro libovolné místo v konstrukci. Pokud budeme rýsovat přesně, měly by se odečtené hodnoty z grafu shodovat s teplotami vypočtenými.



Graf 4 Rozložení teplot v konstrukci v měřítku tepelných odporů.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Pokud na x-ovou osu vyneseme tloušťky jednotlivých vrstev, dostaneme rozložení teplot v konstrukci (připomínám, jedná se o 1D šíření vlhkosti, teploty jsou tedy bez uvažování sloupku).



Graf 5 Rozložení teplot v konstrukci v měřítku tloušťek vrstev.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Krok 2 Určení průběhu částečných tlaků vodní páry v konstrukci

Nyní zjistíme průběh částečných tlaků vodní páry v konstrukci, odpory při přestupu vodní páry z důvodu malých hodnot zanedbáme, tzn. $p_{vsi} = p_{vi}$ a $p_{vse} = p_{ve}$.

$$p_v = p_{v,sat} \cdot \frac{\varphi}{100}$$

Z *Tabulky 11* vidíme, že pro naše podmínky $\theta_{ai} = 20$ °C je $p_{v,sat}$ 2337 Pa (červeně zakroužkováno), když $\varphi_i = 55$ %, můžeme dosadit do vzorce a vypočítat částečný tlak vodní páry na vnitřním povrchu konstrukce p_{vi} .

Tabulka 11 Částečné tlaky nasycené vodní páry při různých teplotách.

Zdroj: ČSN EN ISO 13788

θ (°C)	p_{sat} (Pa)	θ (°C)	p_{sat} (Pa)
-20	103	11	1312
-19	113	12	1402
-18	124	13	1497

-17	137	14	1598
-16	150	15	1704
-15	165	16	1817
-14	181	17	1937
-13	198	18	2063
-12	217	19	2196
-11	237	20	2337
-10	259	21	2486
-9	283	22	2642
-8	309	23	2808
-7	338	24	2982
-6	368	25	3166
-5	401	26	3359
-4	437	27	3563
-3	475	28	3778
-2	517	29	4003
-1	562	30	4241
0	611	31	4490
1	656	32	4752
2	705	33	5027
3	757	34	5316
4	813	35	5619
5	872	36	5937
6	935	37	6271
7	1001	38	6621
8	1072	39	6987
9	1147	40	7371
10	1227		

$$p_{vi} = 2337 \cdot \frac{55}{100}$$

$$p_{vi} = 1285,4 \text{ Pa}$$

Částečný tlak vodní páry na vnitřním povrchu p_{vi} je tedy 1285,35 Pa, nyní stejně vypočítáme částečný tlak vodní páry na vnějším povrchu konstrukce p_{ve} , z *Tabulky II* vidíme, že pro vnější teplotu $\theta_e = -17 \text{ }^\circ\text{C}$ je $p_{v,\text{sat}}$ 137 Pa (zakroužkováno modře), $\varphi_e = 84 \%$, potom

$$p_{ve} = 137 \cdot \frac{84}{100}$$

$$p_{ve} = 115,1 \text{ Pa}$$

Nyní spočítáme difuzní odpory Z_{px} každé vrstvy, a to bud'

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p}$$

nebo

$$Z_p = \varnothing \cdot d \cdot N$$

Kde N je teplotně difuzní funkce jejíž hodnota se pro běžné výpočty uvažuje konstantou $5,3125 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$

Použijeme 2.vzorec, difuzní odpor 1. Vrstvy, tedy sádrokartonové desky je potom

$$Z_{p1} = 9,0125 \cdot 5,3125 \cdot 10^9$$

$$Z_{p1} = 5,98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Obdobně vypočítáme difuzní odpor pro každou vrstvu, opět jsme použili Microsoft excel 2010, hodnoty udává **Tabulka 12**.

Tabulka 12 Difúzní odpor jednotlivých vrstev a celé konstrukce.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Vrstvy	Difuzní odpor Z (m/s)
sádrokarton	5,98E+08
STEICO flex	2,13E+08
OSB deska	7,97E+09
STEICO flex	8,5E+08
STEICO protect, typ M	2,66E+09

Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX	1,59E+08
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX	2,55E+08
Difuzní odpor $Z_{pT} = 1,27E+10$ m/s	

Nyní vypočítáme částečný tlak vodní páry na vnější straně sádrokartonové desky, tedy na rozhraní mezi sádrokartonovou deskou a tepelnou izolací předstěny STEICO flex, platí vzorec:

$$p_{vx} = p_{vi} - \frac{Z_{px}}{Z_{pT}} \cdot (p_{vi} - p_{ve})$$

Pro 1.vrstvu, tedy sádrokartonovou desku:

$$p_{v1} = p_{vi} - \frac{Z_{p1}}{Z_{pT}} \cdot (p_{vi} - p_{ve})$$

$$p_{v1} = 1285,4 - \frac{5,98 \cdot 10^8}{1,27 \cdot 10^{10}} \cdot (1285,4 - 115,1)$$

$$p_{v1} = 1230,3 \text{ Pa}$$

Za Z_{px} je nutné vždy dosadit difuzní odpor všech vrstev od vnitřního povrchu po místo, kde chceme zjistit hodnotu částečného tlaku vodní páry, je to stejné jako u výpočtu teplot s tím, že můžeme říci, že částečné tlaky vodní páry v interiéru a exteriéru jsou analogické teplotám v interiéru a exteriéru a difuzní odpory jsou analogické tepelným odporům. Jen zopakují, že zde u výpočtů částečných tlaků vodní páry v konstrukci neuvažujeme s odpory při přestupu vodní páry na vnitřním a vnějším povrchu, ty jsou analogické odporům při přestupu tepla na vnitřním a vnějším povrchu při výpočtu teplot. Jen pro úplnost, kdybychom u výpočtů teplot neuvažovali odpory při přestupu tepla, byla by teplota na vnitřním povrchu konstrukce rovna návrhové teplotě vnitřního vzduchu.

Všechny hodnoty teoretických částečných tlaků vodní páry v konstrukci udává **Tabulka 13**.

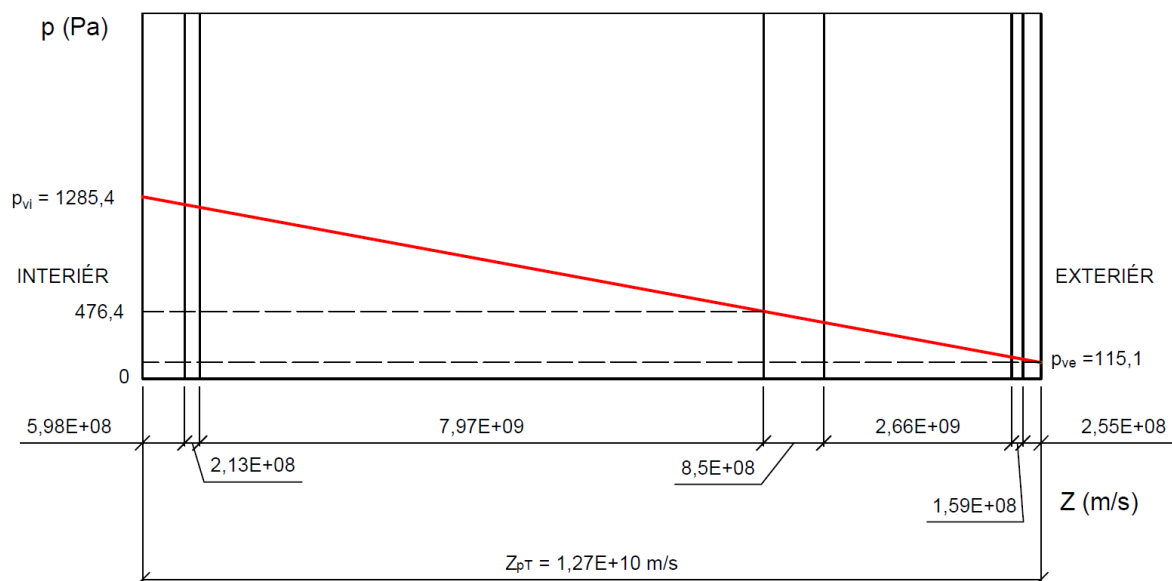
Tabulka 13 Hodnoty teoretických částečných tlaků vodní páry v konstrukci.

Zdroj: Vlastní výpočet.

	p_v (Pa)
Vnitřní povrch konstrukce p_{vi}	1285,4
sádkartón	1230,3
STEICO flex	1210,7
OSB deska	476,4
STEICO flex	398,0
STEICO protect, typ M	153,3
Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX	138,6
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX = vnější povrch p_{ve}	115,1

Poznámka: Částečný tlak vodní páry je u každé vrstvy myšlen na jejím vnějším povrchu, částečný tlak vodní páry na poslední vrstvě, tedy na silikátové omítce rýhované CEMIX tedy odpovídá částečnému tlaku na vnějším povrchu konstrukce p_{ve} . Rovněž připomínám, že protože jsme zanedbali odpory při přestupu vodní páry rovnají se částečné tlaky vodní páry na površích konstrukce částečným tlakům vodní páry ve vzduchu v interiéru (vnitřní povrch) a exteriéru (vnější povrch).

Nyní budeme postupovat graficky obdobně jako u vynášení tepelných odporů. Částečné tlaky vodní páry jsou analogické teplotám a difuzní odpory jsou analogické tepelným odporům. Na x-ovou osu vyneseme v měřítku difuzní odpory jednotlivých vrstev, na y-ovou osu pak částečné tlaky vodní páry na vnitřním a vnějším povrchu konstrukce, 2 hodnoty tlaků na površích konstrukce spojíme a vznikne nám křivka (červená čára) udávající částečné tlaky vodní páry v konstrukci. Po odečtení z grafu můžeme v libovolném místě zjistit částečný tlak vodní páry v konstrukci, pokud budeme rýsovat přesně, měli by odečtené hodnoty z grafu přesně odpovídat hodnotám vypočítaným.



Graf 6 Rozložení teoretických částečných tlaků vodní páry v konstrukci v měřítku difúzních odporů.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Krok 3 Určení částečných tlaků nasycené vodní páry

Na základě rozložení teplot v konstrukci, v **Tabulce 11** z ČSN EN ISO 13788 najdeme pro každou teplotu v konstrukci hodnotu částečného tlaku nasycené vodní páry, pokud teplota není celé číslo, nenajdeme pro ni příslušnou hodnotu, ale musíme ji dopočítat lineární interpolací. Hodnoty částečných tlaků nasycené vodní páry pro teploty v konstrukci na rozhraní vrstev udává **Tabulka 14**.

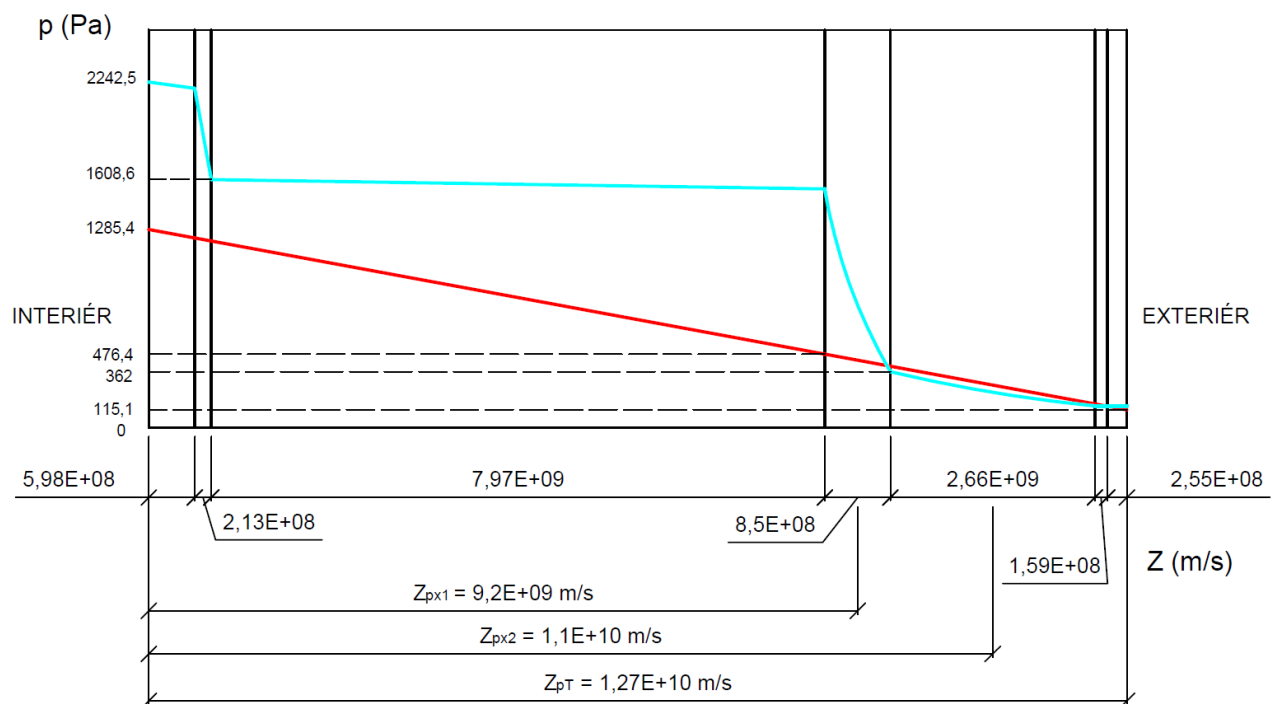
Tabulka 14 Částečné tlaky nasycené vodní páry pro teploty v konstrukci.

Zdroj: Vlastní výpočet.

	θ (°C)	$p_{v,sat}$ (Pa)
Vnitřní povrch konstrukce θ_{si}	19,33	2242,5
sádrokarton	19,03	2200,7
STEICO flex	14,11	1608,6
OSB deska	13,51	1548,5

STEICO flex	-6,20	362,0
STEICO protect, typ M	-16,75	140,3
Lepicí a stěrkovací hmota difuzní CEMIX	-16,78	139,9
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX = θ_{se}	-16,79	

Nyní nanese na y-vou osu částečné tlaky nasycené vodní páry, které jsme zjistili z tabulky z ČSN EN ISO 13788 pro jednotlivé vypočítané teploty, vznikne nám křivka částečných tlaků nasycené vodní páry (světle modrá křivka).



Graf 7 Rozložení teoretických částečných tlaků vodní páry a částečných tlaků nasycené vodní páry v konstrukci v měřítku difúzních odporů.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Krok 4 Vymezení kondenzační zóny

Nyní porovnáme pro každou teplotu v konstrukci (na rozhraní vrstev) teoretický částečný tlak vodní páry v konstrukci s částečným tlakem nasycené vodní páry, viz **Tabulka 15**.

Tabulka 15 Porovnání teoretických částečných tlaků vodní páry s částečnými tlaky nasycené vodní páry.

Zdroj: Vlastní výpočet.

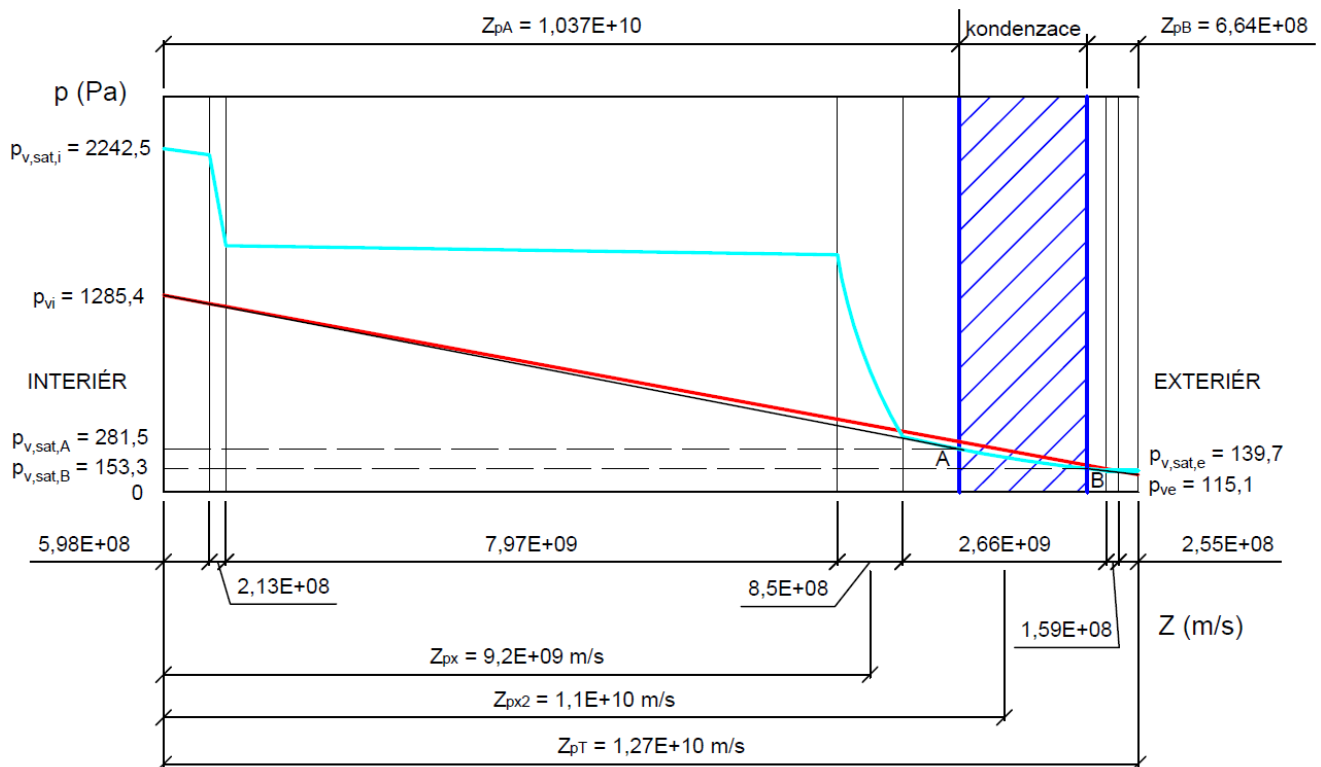
	p_v (Pa)	$p_{v,sat}$ (Pa)
Vnitřní povrch konstrukce	1285,4	2242,5
sádrokarton	1230,3	2200,7
STEICO flex	1210,7	1608,6
OSB deska	476,4	1548,5
STEICO flex	398,0	362,0
STEICO protect, typ M	153,3	140,3
Lepicí a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX	138,6	139,9
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX = vnější povrch	115,1	139,7

Poznámka: Opět připomínám, že hodnoty částečných tlaků vodní páry a částečných tlaků nasycené vodní páry v tabulce znamenají hodnotu na vnější straně vrstvy, to znamená, že hodnoty pro poslední vrstvu –silikátová omítka rýhovaná CEMIX jsou zároveň i hodnoty pro vnější povrch konstrukce

Vidíme, že za OSB deskou, to znamená „někde,, ve vrstvě tepelné izolace STEICO flex začíná být částečný tlak vodní páry větší než částečný tlak nasycené vodní páry (vyznačeno červeně v **Tabulce 15**), jedná se o částečný tlak vodní páry teoretický, nikoliv skutečný, protože největší možný částečný tlak vodní páry je ten nasycený, v konstrukci tedy nemůže být vyšší, ale max. stejný, dále budeme postupovat graficky. Již víme, že závislost částečného tlaku nasycené vodní páry na teplotě není lineární, ale exponenciální, nemůžeme tudíž jednoduše spojit body na začátku a na konci tepelné izolace STEICO flex, ale je nutné vyšetřit bod v polovině tloušťky tepelné izolace STEICO flex a na základě tohoto bodu a dalších dvou bodů – na začátku a konci tepelné izolace STEICO flex, udělat

exponenciální křivku částečného tlaku nasycené vodní páry ve vrstvě tepelné izolace STEICO flex. Postupovat budeme stejně jako doposud, pro určení teploty v polovině tloušťky STEICO flex je nutné dosadit za tepelný odpor R_x tepelný odpor všech vrstev od interiéru (samozřejmě včetně R_{si}) až po bod v polovině tloušťky STEICO flex. Dostaneme tedy tepelný odpor **$R_{x1} = 3,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** , následně spočítáme teplotu v tomto bodě stejně jako u všech předchozích bodů, po dosazení nám vyjde **$\theta_{x1} = 3,66 \text{ }^\circ\text{C}$** . Pro tuto teplotu si najdeme v tab. Xxx převzaté z ČSN EN ISO 13788 hodnotu částečného tlaku nasycené vodní páry, pomocí lineární interpolace dostaneme hodnotu **$p_{v,\text{sat } x1} = 794 \text{ Pa}$** . Nyní spočítáme difuzní odpor po vyšetřovaný bod, dostaneme **$Z_{px1} = 9,2 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$** z čehož následně dostaneme částečný tlak vodní páry v daném bodě, a to **$p_{vx1} = 437,2 \text{ Pa}$** . Obdobně to provedeme pro další vrstvu, kde je hodnota částečného tlaku vodní páry vyšší než hodnota částečného tlaku nasycené vodní páry, tedy pro tepelnou izolaci STEICO protect. Do poloviny této vrstvy je tedy **$R_{x2} = 6,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$** , teplota je zde **$\theta_{x2} = -11,45 \text{ }^\circ\text{C}$** , pro tuto teplotu je **$p_{v,\text{sat } x2} = 228 \text{ Pa}$** a do poloviny vrstvy je **$Z_{px2} = 1,1 \cdot 10^{-10}$** , částečný tlak vodní páry v konstrukci v tomto bodě je **$p_{vx2} = 275,7 \text{ Pa}$** . Uděláme exponenciální křivku částečného tlaku nasycené vodní páry v konstrukci.

Nyní z bodů p_{vi} a p_{ve} vedeme tečny ke křivce částečných tlaků nasycené vodní páry, dotykové body se označí A (levý dotykový bod) a B (pravý dotykový bod).



Graf 8 Určení kondenzační zóny a skutečných částečných tlaků vodní páry v konstrukci.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

Poznámka: Červená čára ukazuje průběh částečných tlaků vodní páry v konstrukci teoretický, nikoliv skutečný (částečný tlak vodní páry v konstrukci v daném bodě nemůže být vyšší než nasycený), skutečný průběh částečných tlaků vodní páry v konstrukci je tvořen tečnou z p_{vi} do bodu A, následně pokračuje exponenciálou, kde se částečný tlak vodní páry v konstrukci shoduje s částečným tlakem nasyceným = kondenzační zóna až do bodu B a následně je částečný tlak vodní páry tvořen tečnou z p_{ve} do bodu B, ke kondenzaci tedy dochází, pokud teoretický částečný tlak vodní páry v konstrukci překročí hodnotu nasyceného, to jen pro úplnost.

Krok 5 Určení zkondenzovaného množství vodní páry

Nyní je vodorovná osa rozdělena na 3 části:

- Z_{pA} , což je difuzní odpor konstrukce od povrchu k dotykovému bodu A,
- oblast kondenzace mezi dotykovými body A a B,
- Z_{pB} , což je difuzní odpor od dotykového bodu k vnějšímu povrchu konstrukce

Z grafu jsme odečetli, že od vnitřního povrchu konstrukce do bodu A je difuzní odpor $Z_{pA} = 1,037 \cdot 10^{10} \text{ m/s}$ a z bodu B k vnějšímu povrchu konstrukce je difuzní odpor $Z_{pB} = 6,64 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Nyní z bodů A a B vedeme vodorovné kolmice na y-ovou osu, čímž dostaneme částečné tlaky nasycené vodní páry v těchto bodech, tedy $p_{v,sat,A}$ a $p_{v,sat,B}$. Jak vidíme z grafu, dostali jsme hodnoty $p_{v,sat,A} = 281,5 \text{ Pa}$ a $p_{v,sat,B} = 153,3 \text{ Pa}$. Tyto hodnoty odečtené z grafu nám pomůžou pro výpočet zkondenzovaného množství vodní páry.

Nyní vypočítáme hustotu toku vodní páry, která jde do konstrukce podle vzorce

$$g_A = \frac{p_{vi} - p_{v,sat,A}}{Z_{pA}}$$

po dosazení

$$g_A = \frac{1285,4 - 281,5}{1,037 \cdot 10^{10}}$$

$$g_A = 9,68 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Nyní vypočítáme hustotu toku vodní páry, která jde z bodu B k vnějšímu povrchu konstrukce

$$g_B = \frac{p_{v,sat,B} - p_{v,e}}{Z_{pB}}$$

po dosazení

$$g_B = \frac{153,3 - 115,1}{6,64 \cdot 10^8}$$

$$g_B = 5,76 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Množství kondenzující vodní páry v konstrukci pak vypočítáme jako rozdíl hustoty vodní páry do konstrukce vstupující g_A a hustoty vodní páry z konstrukce vystupující g_B , tedy

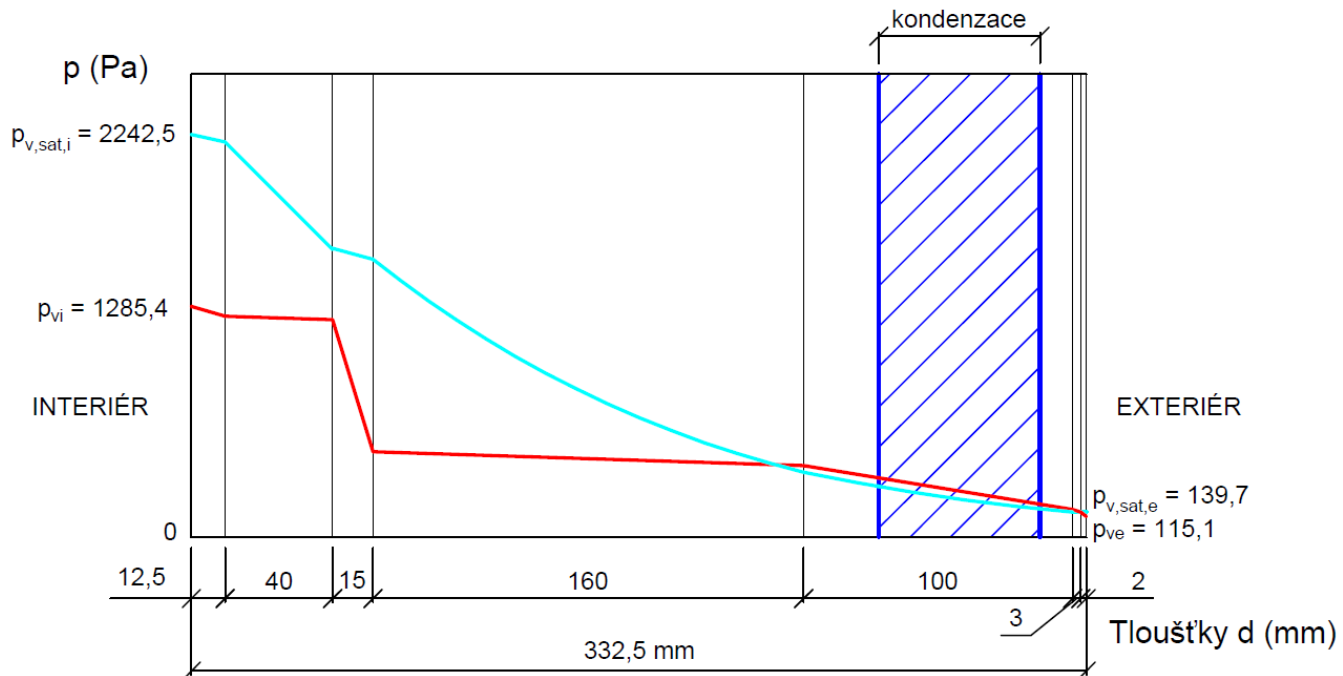
$$g_v = g_A - g_B$$

po dosazení

$$g_v = 9,68 \cdot 10^{-8} - 5,76 \cdot 10^{-8}$$

$$g_v = 3,924 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Nyní náš graf vyneseme na osu x nikoliv v měřítku difuzních odporů, ale v měřítku tloušťky konstrukce, resp. tlouštěk jednotlivých vrstev.



Graf 9 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - ruční 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

Nyní porovnáme náš graf a vypočítané množství kondenzující vodní páry s programem TEPLO, pokud jsme počítali a rýsovali správně, měly by všechny hodnoty vyjít stejně.

LEGENDA:

DOK KVH 160 + STEI...

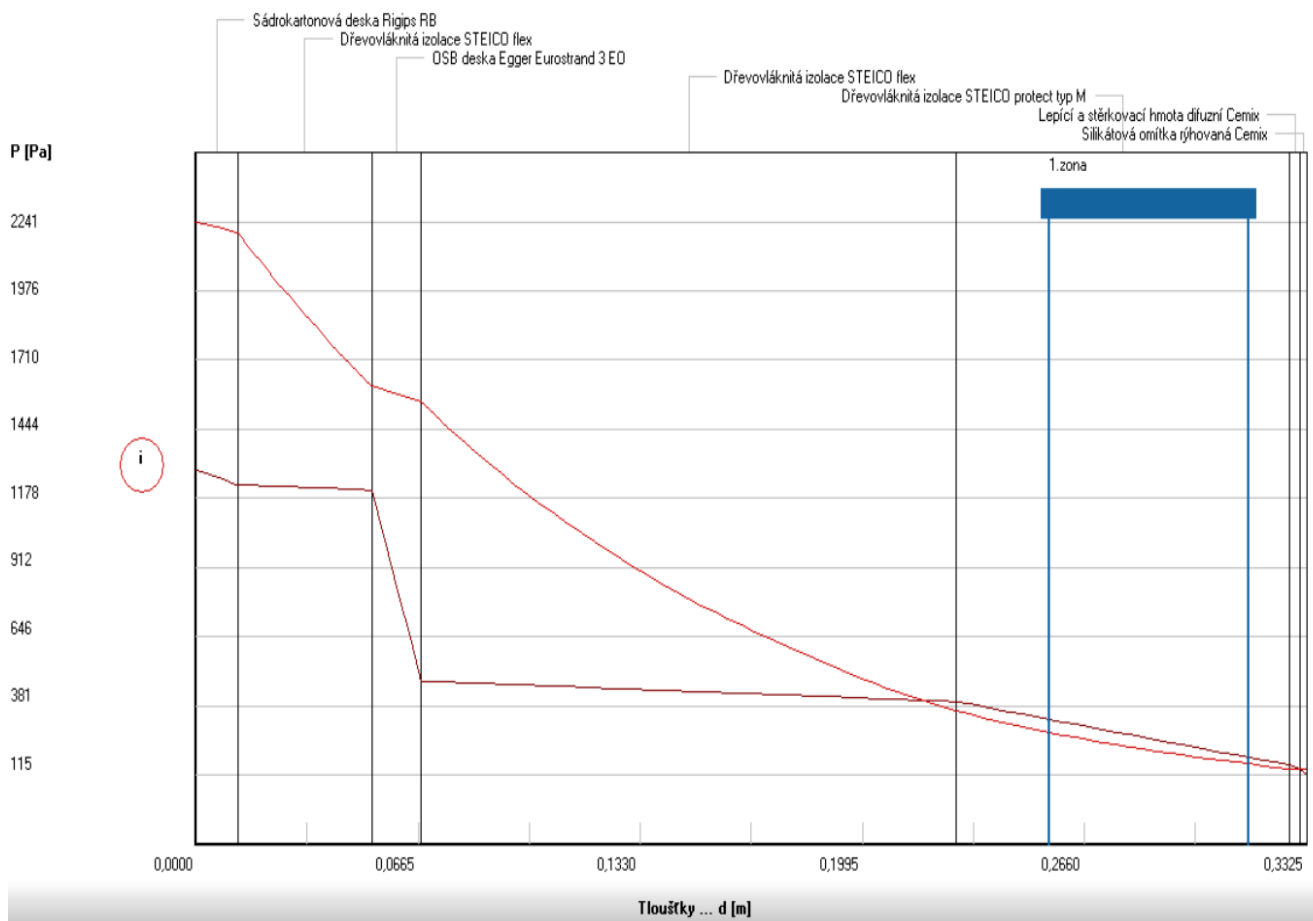
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540

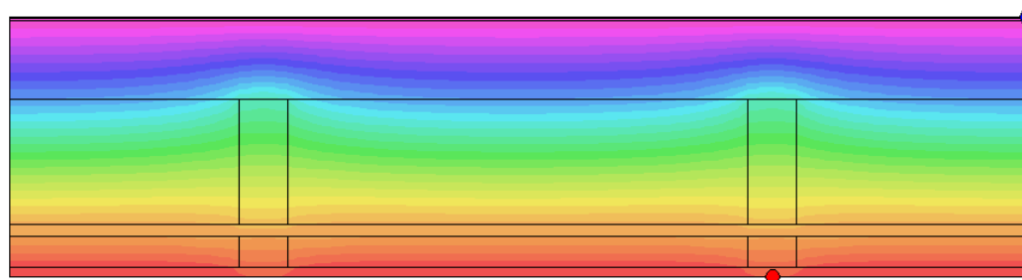
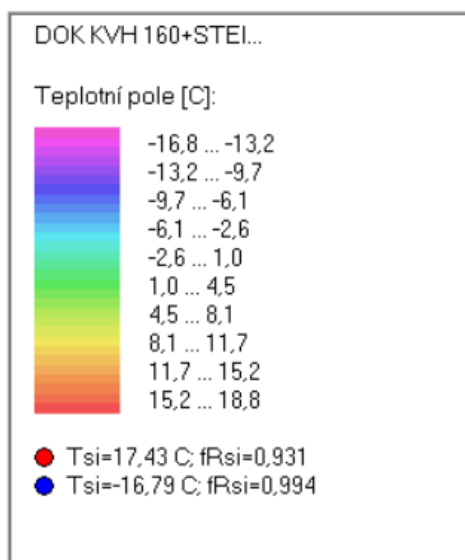


Graf 10 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

Porovnáme-li náš ručně vypočtený graf s grafem z programu TEPLO 2010, vidíme, že je totožný (našli by se mírné odlišnosti dané vlivem zaokrouhlování, to ovšem nepovažují za zásadní problém, rovněž zdánlivá rozdílnost grafů může být dána použitým měřítkem na osu x a y), množství zkondenzovaného množství vodní páry vyšlo v programu TEPLO $4,118 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, nám vyšlo $3,924 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, pravděpodobně vlivem zaokrouhlování při rýsování apod. se toto množství neshoduje, ale odchylka je minimální, můžeme konstatovat, že jsme postupovali správně. Modelový příklad jsme uvedli pro ukázkou, vidíme, že výpočet kondenzace uvnitř konstrukce je celkem pracný, pro výpočty dalších konstrukcí budeme používat program TEPLO 2010.

LEGENDA:

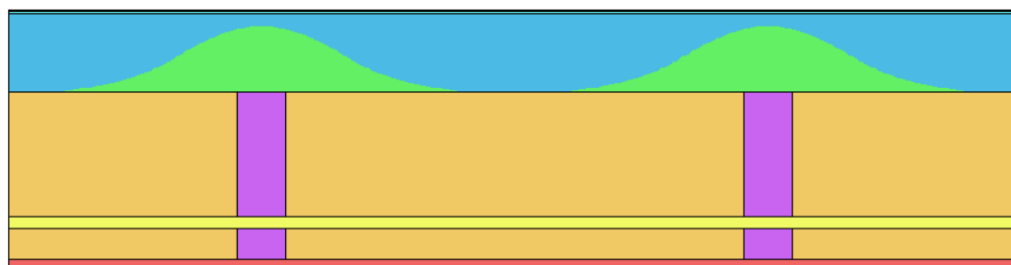


Obrázek 22 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

DOK KVH 160+STEL...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry:
do kce: 1,25e-07 kg/m.s
z kce: 6,90e-08 kg/m.s
rozdíl: 5,57e-08 kg/m.s



Obrázek 23 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

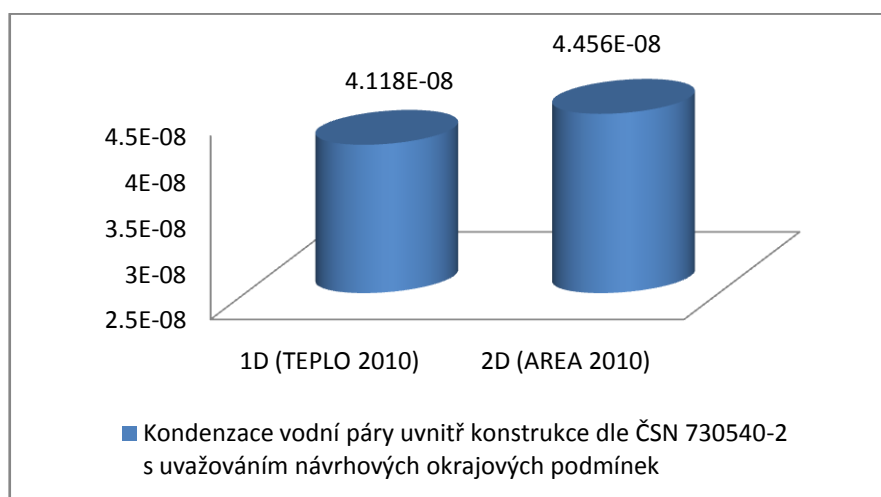
Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA.

Pozn. Osová vzdálenost sloupků je 625 mm, aby bylo možné vybrat charakteristický (opakující se) výsek konstrukce, je nutné zvolit odpovídající délku konstrukce, my jsme vymodelovali 2 sloupky, délka konstrukce je tedy 1,25 m. Program AREA 2010 stanoví množství kondenzátu pro výšku 1 m, abychom tedy dostali množství vodní páry v $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$, musíme programem vypočítané číslo vydělit číslem 1,25.

Tabulka 16 Porovnání množství zkondenzované vodní páry dle návrhových podmínek dle ČSN 730540 při výpočtu 1D šíření vlhkosti (TEPLO 2010) a 2D šíření vlhkosti (AREA 2010)

Zdroj: Vlastní zpracování.

Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?		Množství kondenzující vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)		Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?		1D (TEPLO)	2D (AREA)
	1D (TEPLO)	2D (AREA)	1D (TEPLO)	2D (AREA)	1D (TEPLO)	2D (AREA)	SPLŇUJE	SPLŇUJE
	ANO	ANO	$4,118 \cdot 10^{-8}$	$4,456 \cdot 10^{-8}$	NE	NE		
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Kondenzace během modelového roku?		Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí na konci roku $M_{c,a} = 0 \text{ kg}/\text{m}^2$)?		Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než $0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nebo 3% plošné hm. daného materiálu?		1D (TEPLO)	2D (AREA)
	1D (TEPLO)	2D (AREA)	1D (TEPLO)	2D (AREA)	1D (TEPLO)	2D (AREA)	SPLŇUJE	SPLŇUJE
	NE	NE	-	-	-	-		



Porovnání množství zkondenzované vodní páry dle návrhových podmínek dle ČSN 730540 při výpočtu 1D šíření vlhkosti (TEPLO 2010) a 2D šíření vlhkosti (AREA 2010).

Zdroj: Vlastní zpracování.

Jak vidíme z grafu, kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek je 2D výpočtem (AREA 2010) vyšší než 1D

výpočtem (TEPLO 2010). Navíc tím, že 2D výpočet zahrnuje sloupky, které mají (vlivem horších tepelně izolačních vlastností) na vnější straně teplotu vyšší než teplota okolní vnitřní izolace, je kondenzační zóna menší než kdyby konstrukce sloupky neobsahovala. I přesto je množství kondenzující vodní páry 2D výpočtem vyšší. Samozřejmě toto platí pro tento příklad, u jiné konstrukce by mohly hodnoty vyjít jinak. Pro výpočet kondenzace uvnitř obvodových stěn se 1D výpočet v praxi používá vždy, a to nejen pro homogenní vrstvy, ale i u dřevostaveb rámových konstrukcí, kde je nehomogenní vrstva v podobě sloupků a tepelná izolace mezi nimi, my budeme tedy rovněž používat výpočet 1D. 2D, popř. 3D výpočet se používá pro výpočet kondenzace u konstrukčních detailů. Nicméně budeme používat grafické výstupy 2D (zdůrazňuji grafické, ne početní), které jsou z mého pohledu pro obvodové stěny dřevostaveb názorné, protože je zde vidět i to, jak se mění kondenzační zóna u sloupků.

Tabulka 17 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny STEICO flex 40 mm	76,8	m ²	90,3	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,005992
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace STEICO flex 160 mm	292,6	m ²	344,2	0,85

Fasádní tep izolace STEICO protect, typ M 100 mm	736,0	m ²	736	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	12,6	ks	0,63	20
Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 846	m ²		
Montáž vnitřní izolace	50	m ²		
Montáž fasádní izolace	100	m ²		
CENA CELKEM	1 996 Kč	m ²		

Tabulka 18 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

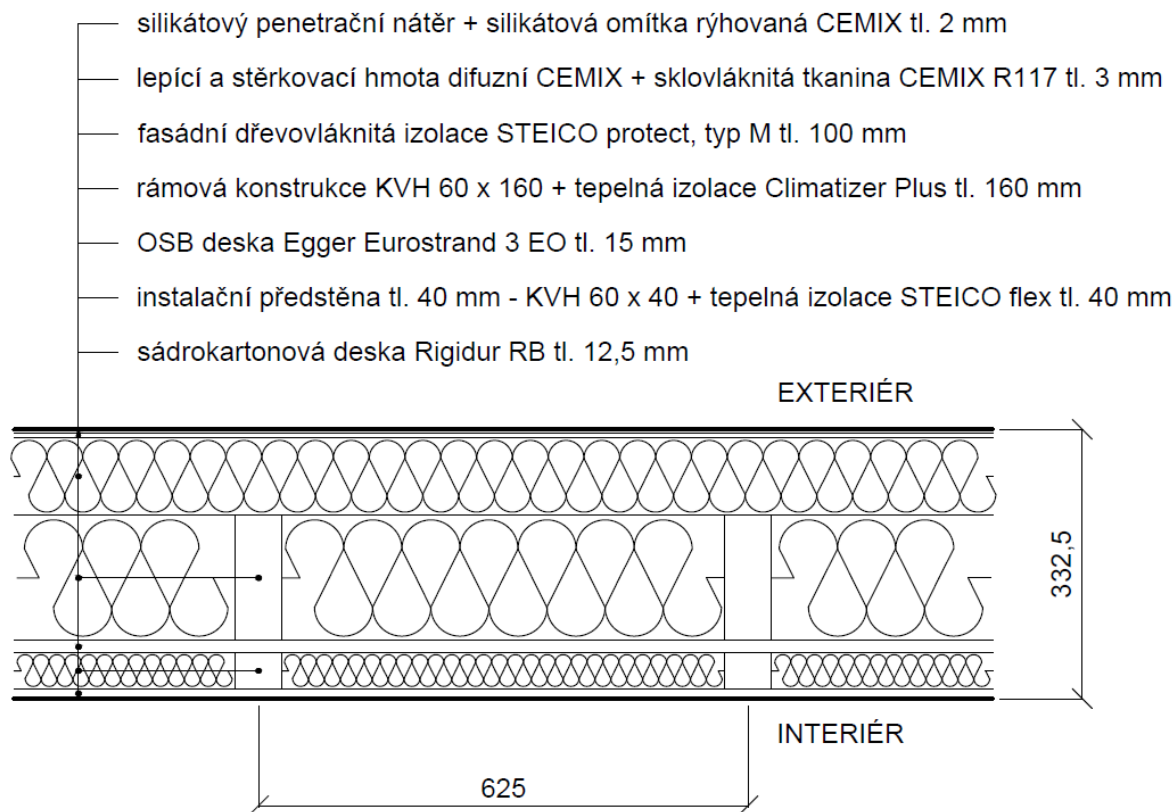
DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex				
Součinitel prostupu tepla U (W/m ² .K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,16	0,3		0,12 – 0,18
		0,16 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,16 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} =$ 20°C, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,43 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,43		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,931 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísni na povrchu konstrukce
	0,931	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	4,118.10 ⁻⁸	NE	

Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a}$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,2.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	443,7			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	15			
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5			
Cena za m^2 konstrukce (Kč/ m^2 bez DPH)	1 996			

DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus

Skladba konstrukce

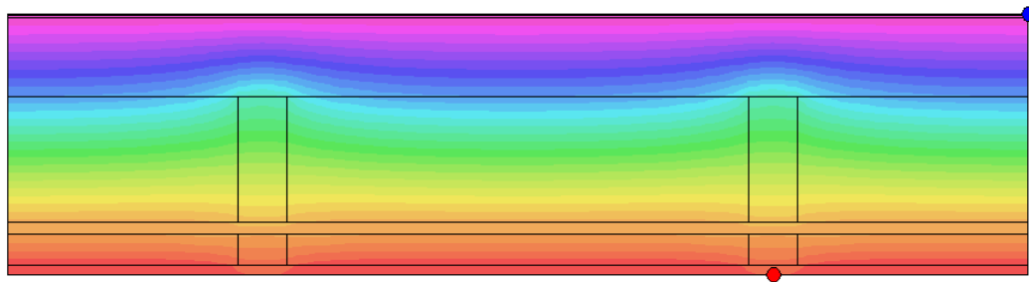
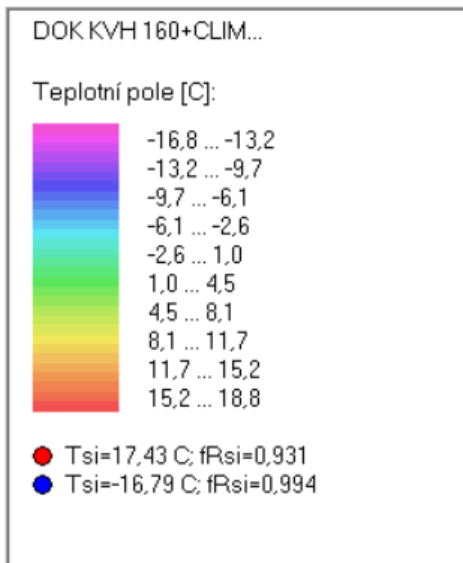
V předstěně je místo foukané celulózy Climatizer plus použita dřevovláknitá izolace STEICO flex. Průměr hadice, kterou se tepelná izolace Climatizer plus fouká do konstrukce je 80 mm, předstěna má tloušťku 40 mm, z tohoto důvodu nelze do předstěny izolaci foukat. Dřevovláknitá izolace STEICO flex je stejně jako foukaná celulóza Climatizer plus přírodní materiál, jejímž původem je dřevní surovina, z toho důvodu volím do předstěny izolaci STEICO flex.



Obrázek 24 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

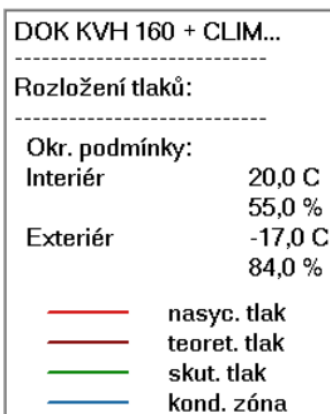
LEGENDA:

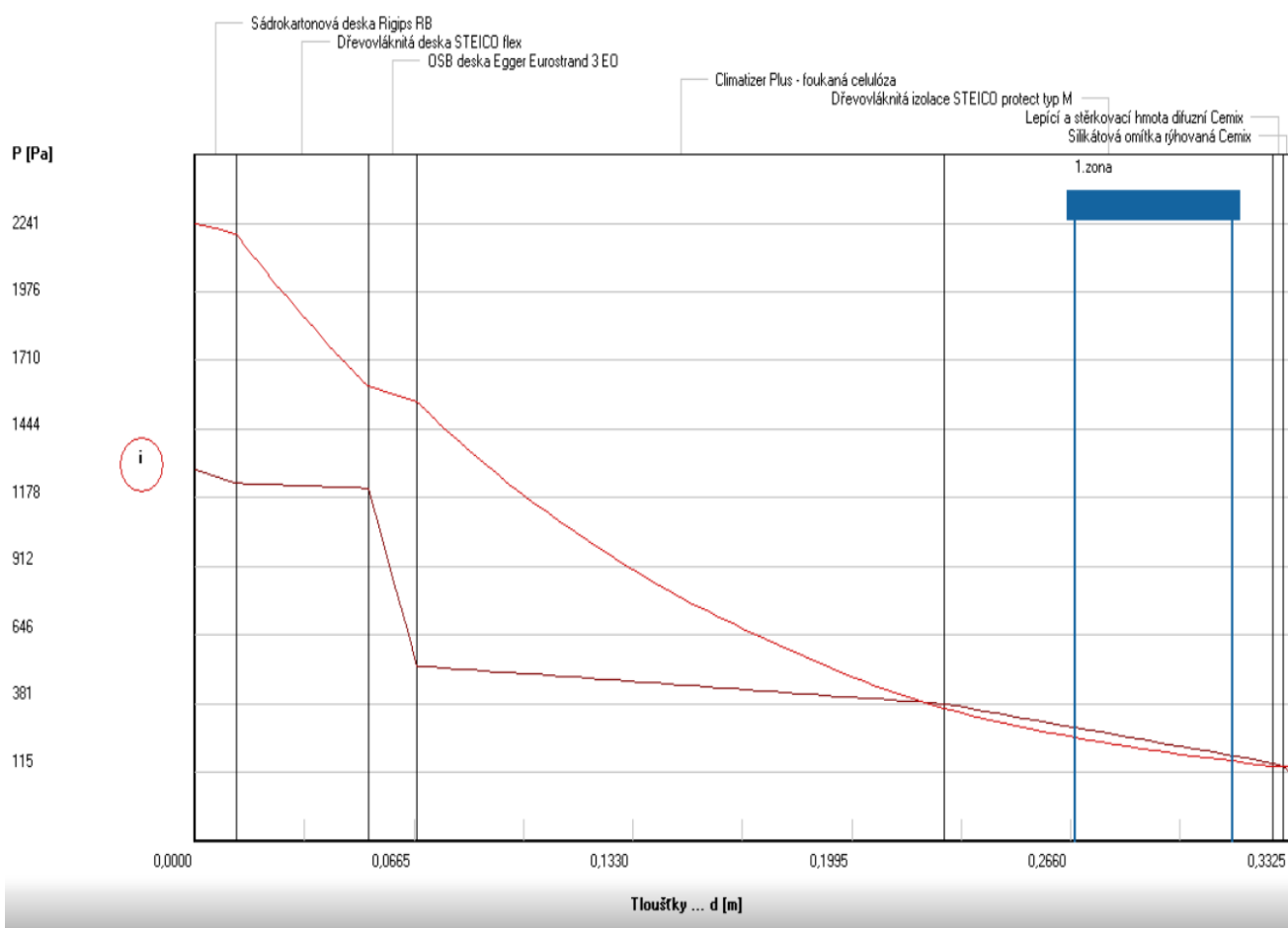


Obrázek 25 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:



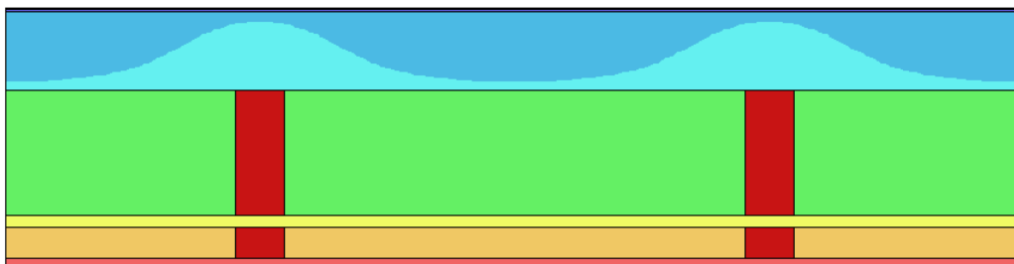


Graf 11 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DOK KVH 160+CLIM...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry: do kce: 1,15e-07 kg/m,s z kce: 6,90e-08 kg/m,s rozdíl: 4,62e-08 kg/m,s



Obrázek 26 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA.

Tabulka 19 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny STEICO flex 40 mm	76,8	m ²	90,3	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,0059923
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Climatizer Plus 160 mm	224,4	m ³	1650	0,136
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ M 100 mm	736,0	m ²	736	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	12,6	ks	0,63	20
Lepící a sěrkovací hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1

Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 778			
Montáž fasádní izolace	100			
CENA CELKEM	1 878 Kč			

Tabulka 20 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

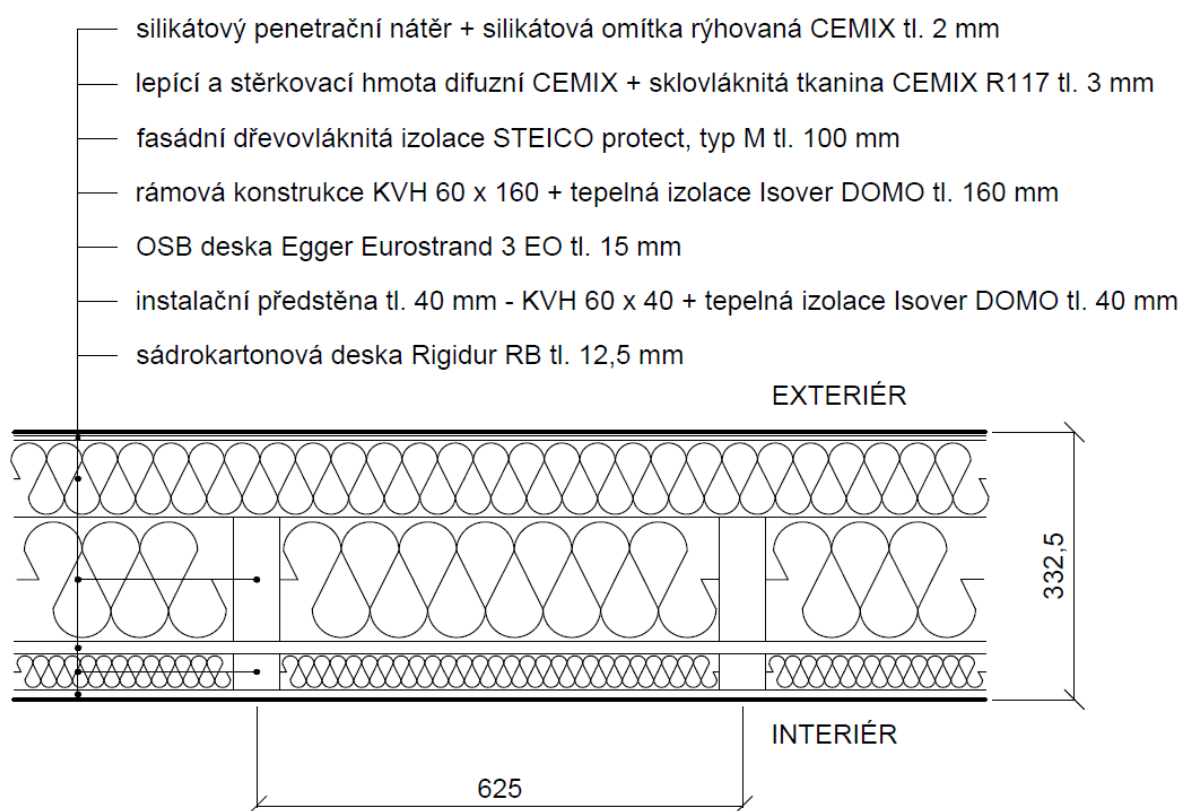
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus				
Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2.K$) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,16	0,3		0,12 – 0,18
		0,16 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,16 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu ($^{\circ}C$) ($\theta_{ai} = 20^{\circ}C$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} ($^{\circ}C$)		10,69 ≤ 17,43 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,43		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,931 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,931	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($kg/m^2.s$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	3,349.10 ⁻⁸	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 kg/m^2.a$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $kg/(m^2.a)$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,3.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	452,8			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ	15,1			

(h)	
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	1 878

DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO

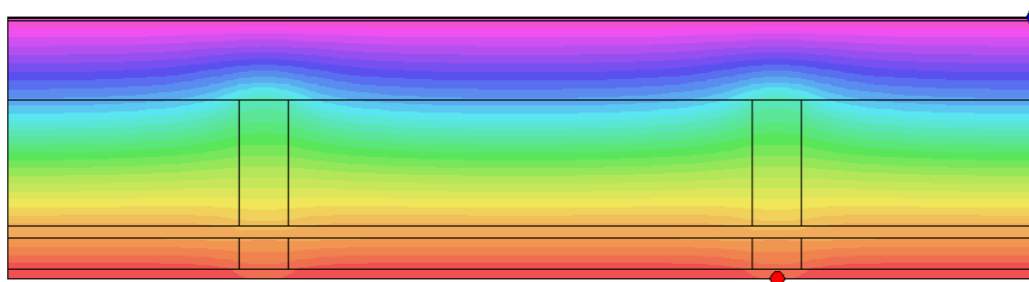
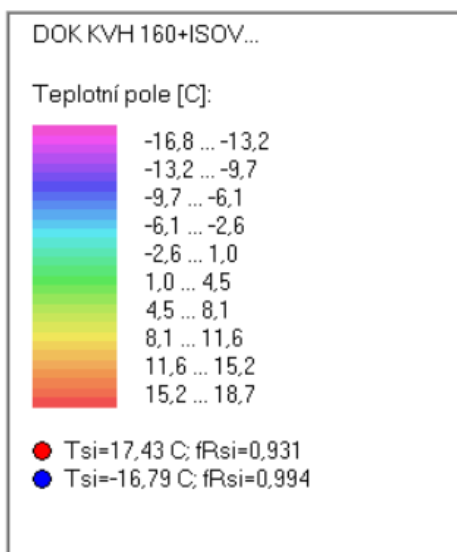
Skladba konstrukce



Obrázek 27 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

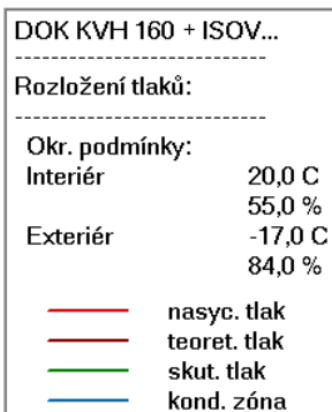
LEGENDA:



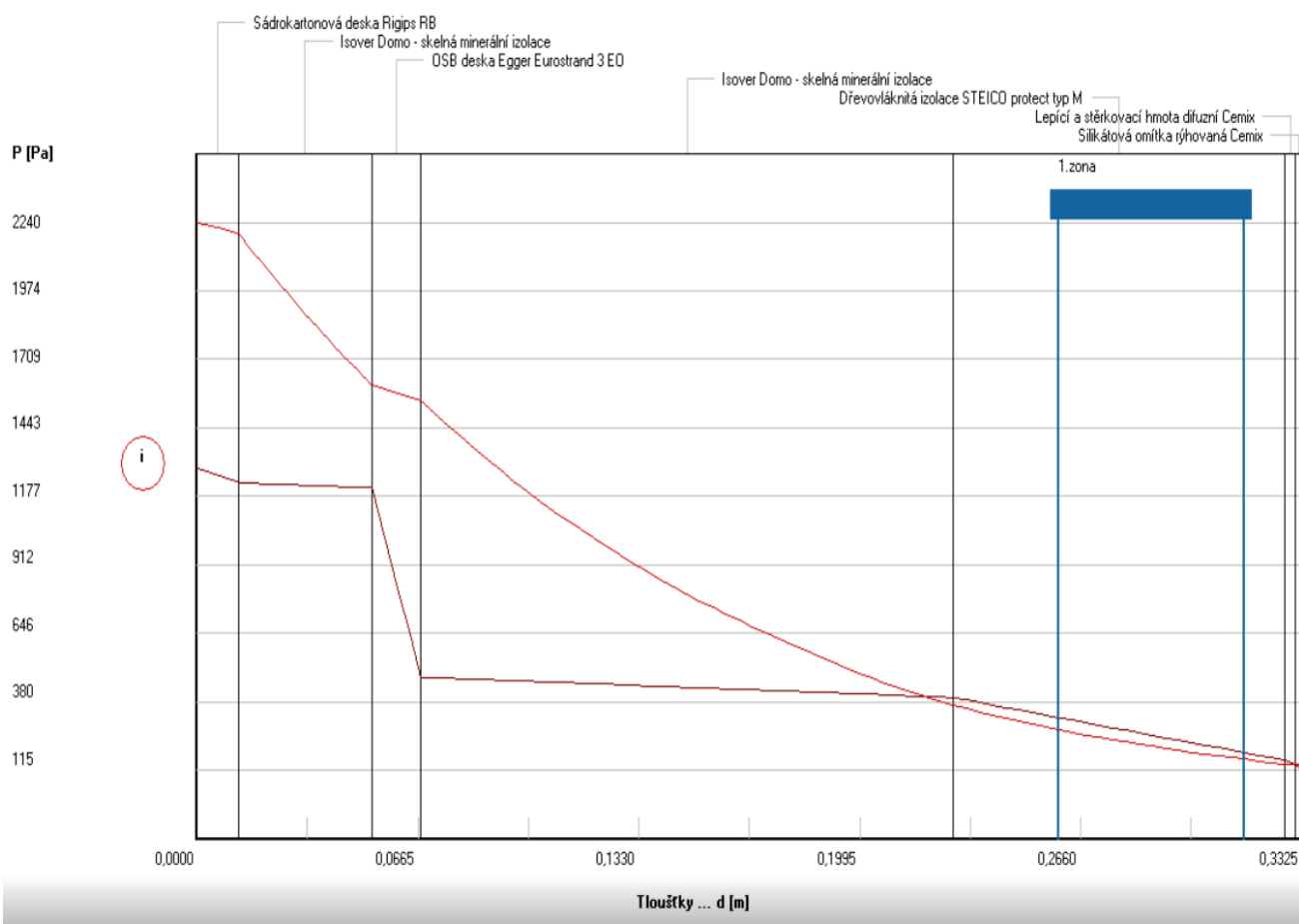
Obrázek 28 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:



Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540

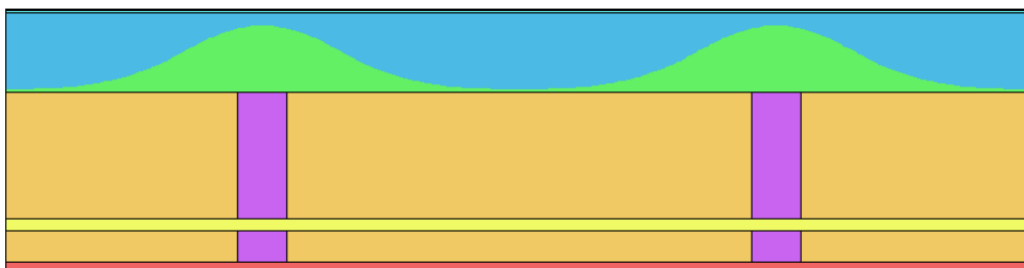


Graf 12 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

LEGENDA:

DOK KVH 160+ISOV...
<u>Přibl.oblast kondenzace:</u>
Te = -17,0 C
Toky vodní páry:
do kce: 1,24e-07 kg/m,s
z kce: 6,91e-08 kg/m,s
rozdíl: 5,52e-08 kg/m,s



Obrázek 29 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA.

Tabulka 21 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover DOMO 40 mm	36,6	m ²	43	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,0059923
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Isover DOMO 160 mm	144,5	m ²	170	0,85
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ M 100 mm	736,0	m ²	736	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	12,6	ks	0,63	20

Lepicí a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 658			
Montáž vnitřní izolace	50			
Montáž fasádní izolace	100			
CENA CELKEM	1 808 Kč			

Tabulka 22 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

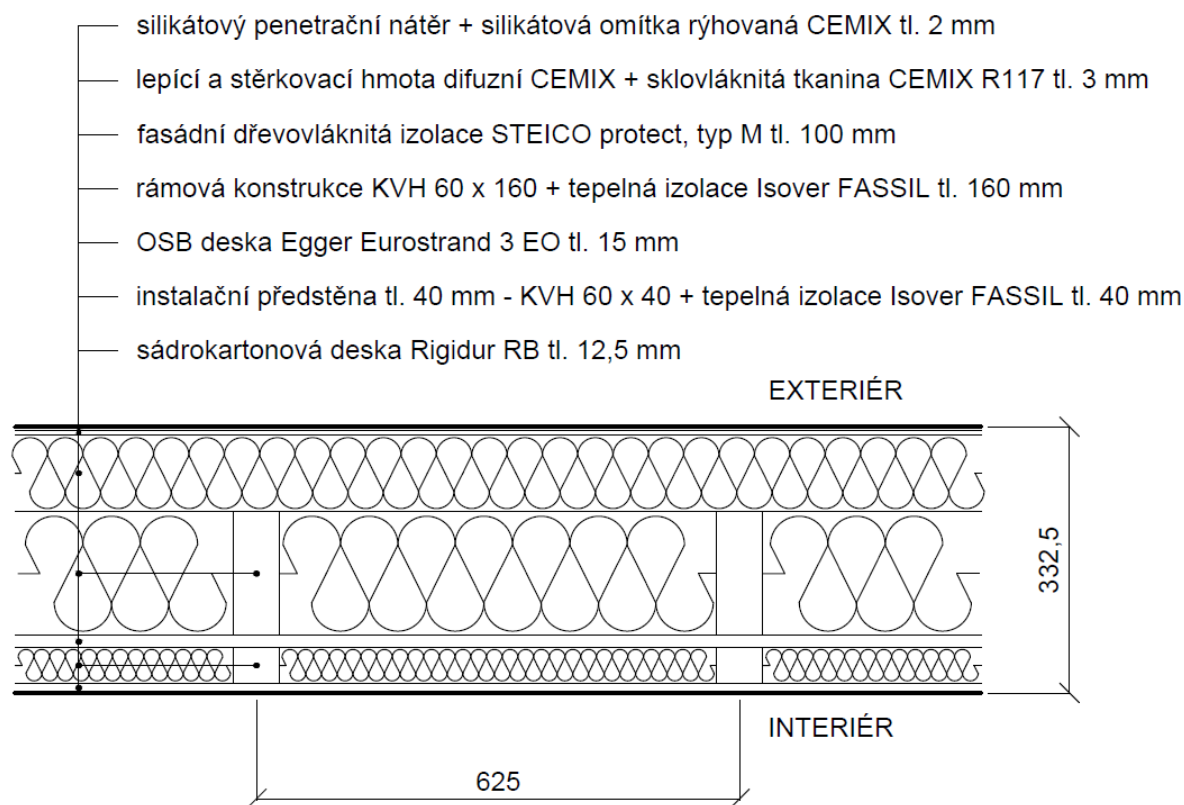
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO				
Součinitel prostupu tepla U (W/m ² .K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,162	0,3		0,12 – 0,18
		0,162 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,162 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,43 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,43		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,931 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,931	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	4,038.10 ⁻⁸	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0$ kg/m ² .a)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 kg/(m ² .a), resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	

Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,2.10 ¹⁰
Teplotní útlum N_y (-)	259,5
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	11,5
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5
Cena za m² konstrukce (Kč/m² bez DPH)	1 808

DOK KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL

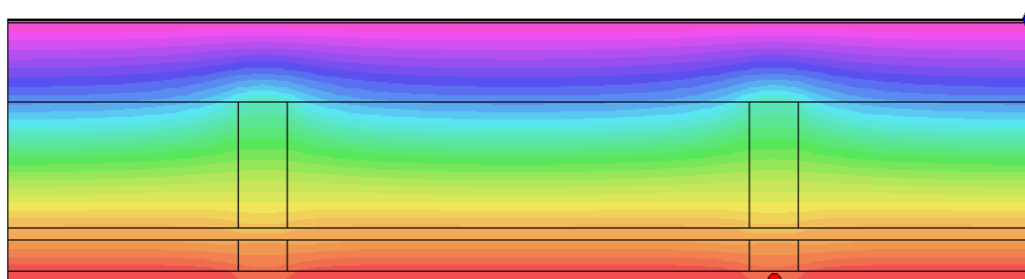
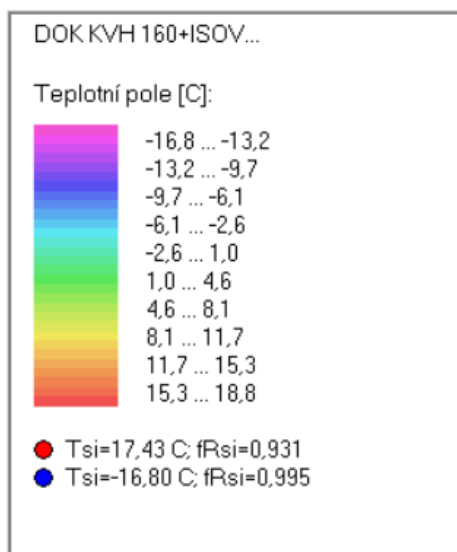
Skladba konstrukce



Obrázek 30 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

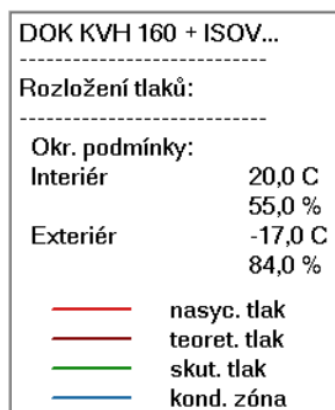
LEGENDA:

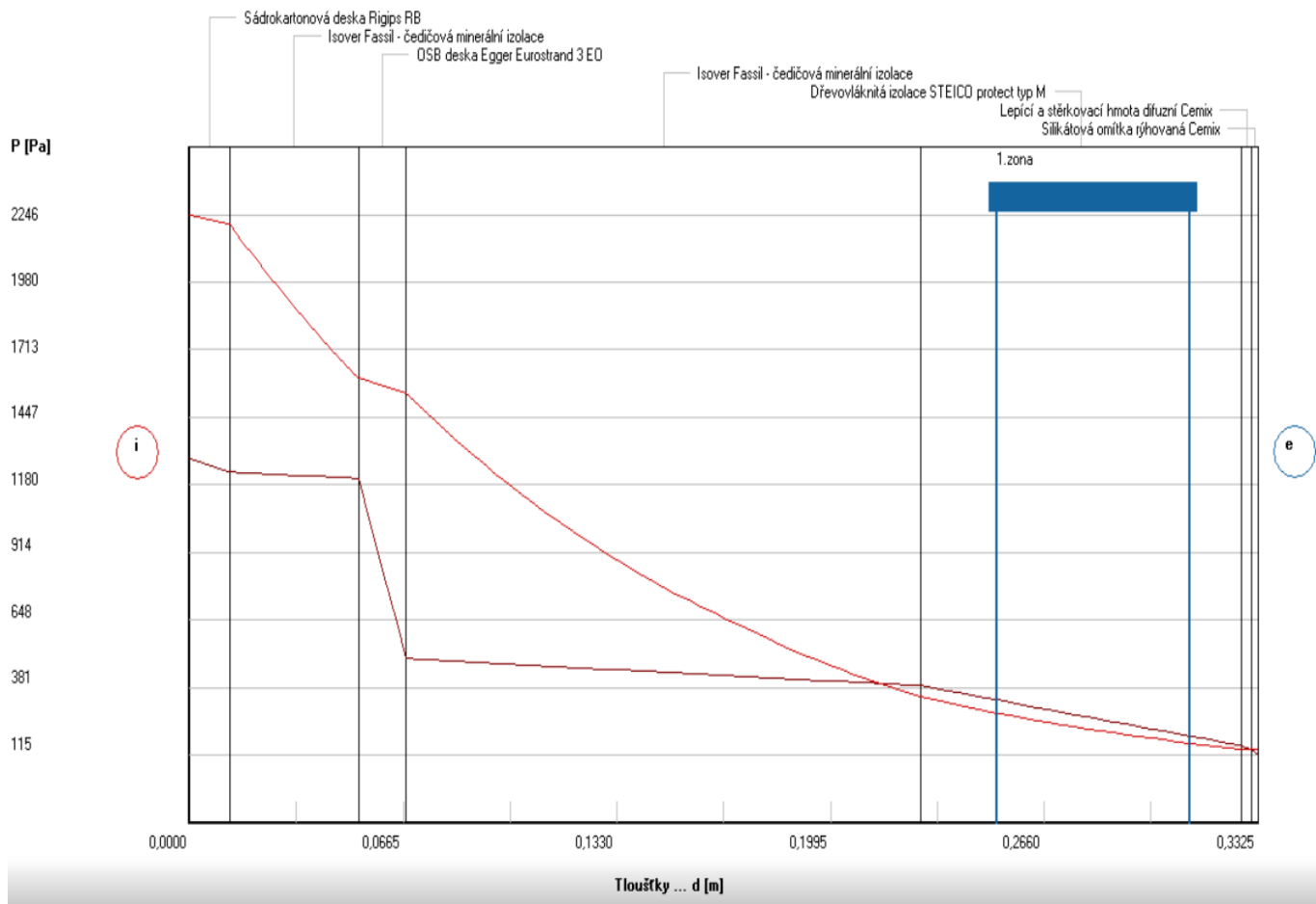


Obrázek 31 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:



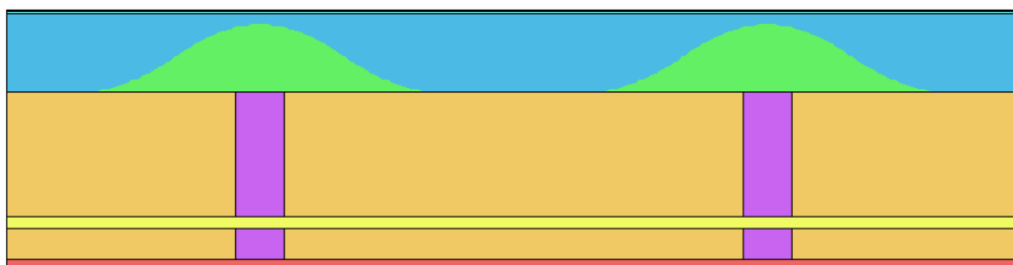


Graf 13 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

LEGENDA:

DOK KVH 160+ISOV...
Přibl.oblast kondenzace:
$T_e = -17,0\text{ C}$
Toky vodní páry:
do kce: $1,21\text{e-}07\text{ kg/m.s}$
z kce: $6,85\text{e-}08\text{ kg/m.s}$
rozdíl: $5,21\text{e-}08\text{ kg/m.s}$



Obrázek 32 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 23 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnardi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádkarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover FASSIL 40 mm	76,5	m ²	90	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,0059923
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Isover FASSIL 160 mm	304,3	m ²	358	0,85
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ M 100 mm	736,0	m ²	736	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	12,6	ks	0,63	20
Lepící a stěrkovácí hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4

Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 857			
Montáž vnitřní izolace	50			
Montáž fasádní izolace	100			
CENA CELKEM	2 007 Kč			

Tabulka 24 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

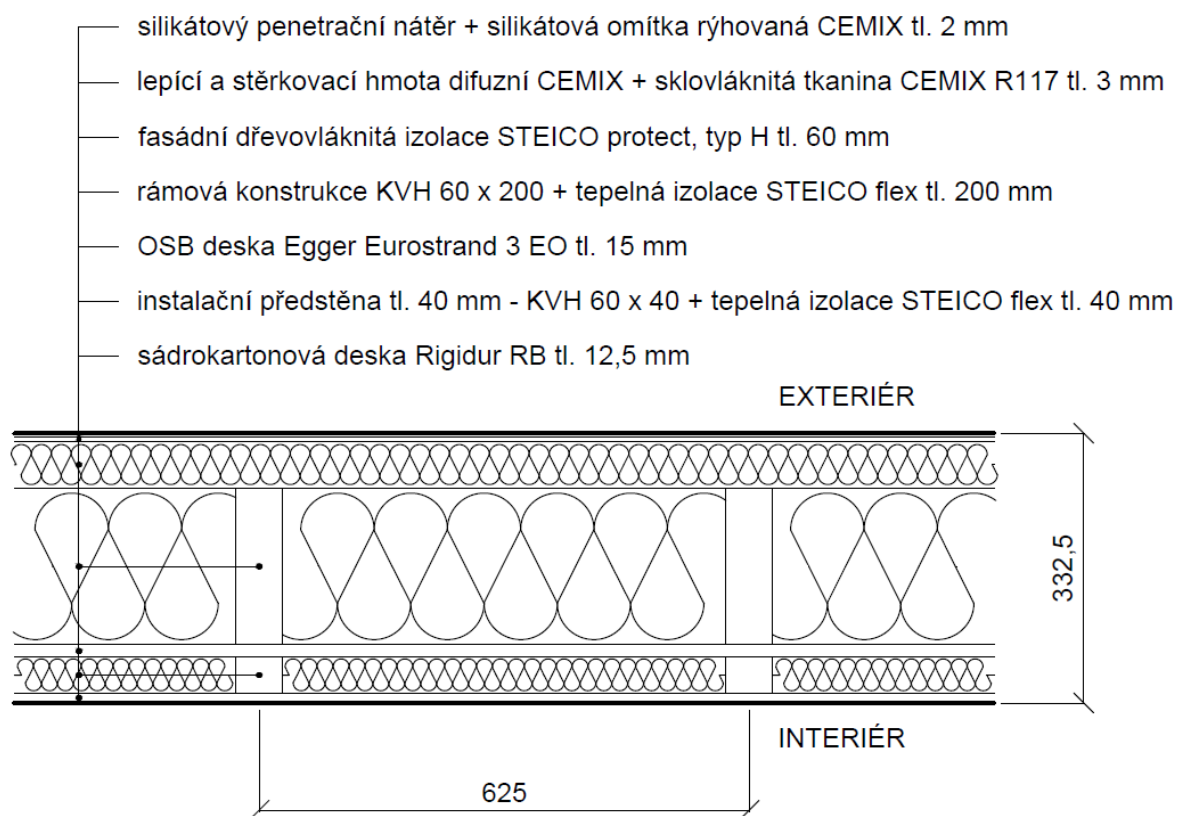
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 160 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL				
Součinitel prostupu tepla U (W/m ² .K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,155	0,3 0,155 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,12 – 0,18 0,155 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,43 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,43		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,931 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,931	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	3,973.10 ⁻⁸	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0$ kg/m ² .a)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 kg/(m ² .a), resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{dt} (m/s)	1,3.10 ¹⁰			

Teplotní útlum N_y (-)	354,8
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	13,2
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5
Cena za m^2 konstrukce (Kč/m^2 bez DPH)	2 007

DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex

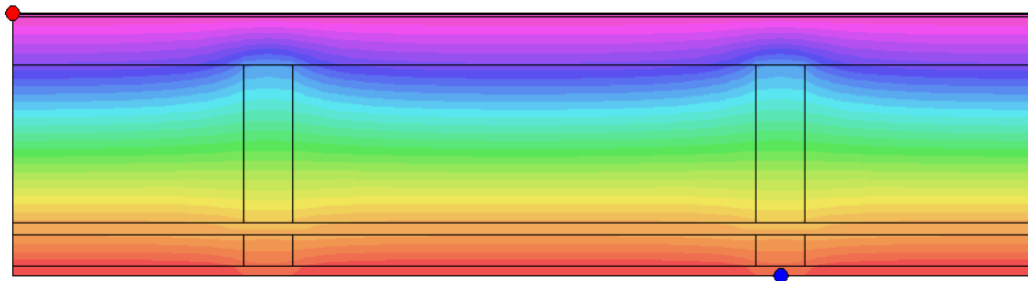
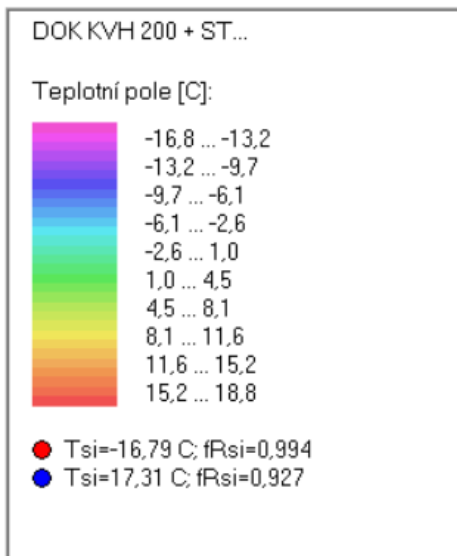
Skladba konstrukce



Obrázek 33 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

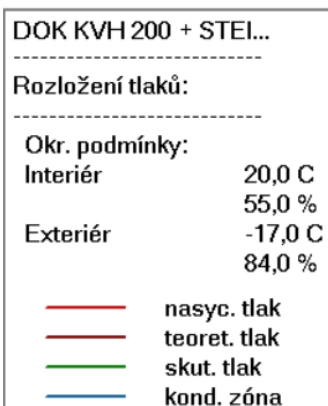
LEGENDA:



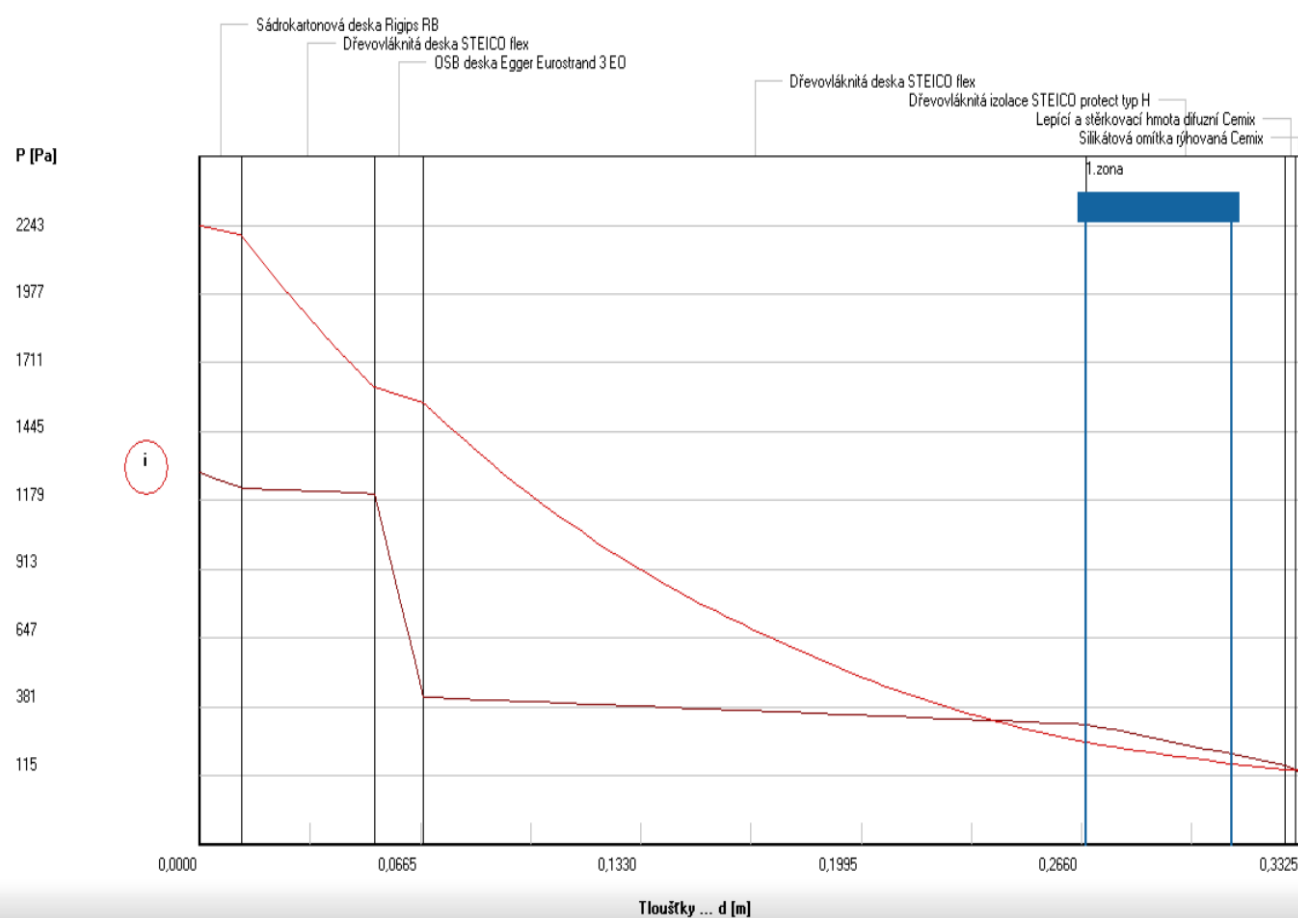
Obrázek 34 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:



Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



Graf 14 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

LEGENDA:

DOK KVH 200 + ST...
Přibl.oblast kondenzace:
$T_e = -17,0\text{ C}$
Toky vodní páry:
do kce: $1,36\text{e-}07\text{ kg/m.s}$
z kce: $6,90\text{e-}08\text{ kg/m.s}$
rozdíl: $6,67\text{e-}08\text{ kg/m.s}$



Obrázek 35 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA.

Tabulka 25 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnardi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádkartón RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny STEICO flex 40 mm	76,8	m ²	90,3	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace STEICO flex 200 mm	368,1	m ²	433	0,85
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ H 60 mm	445,0	m ²	445	1

Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	8,2	ks	0,63	13
Lepící a stěrkovací hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 692			
Montáž vnitřní izolace	55			
Montáž fasádní izolace	80			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	1 867 Kč			

Tabulka 26 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

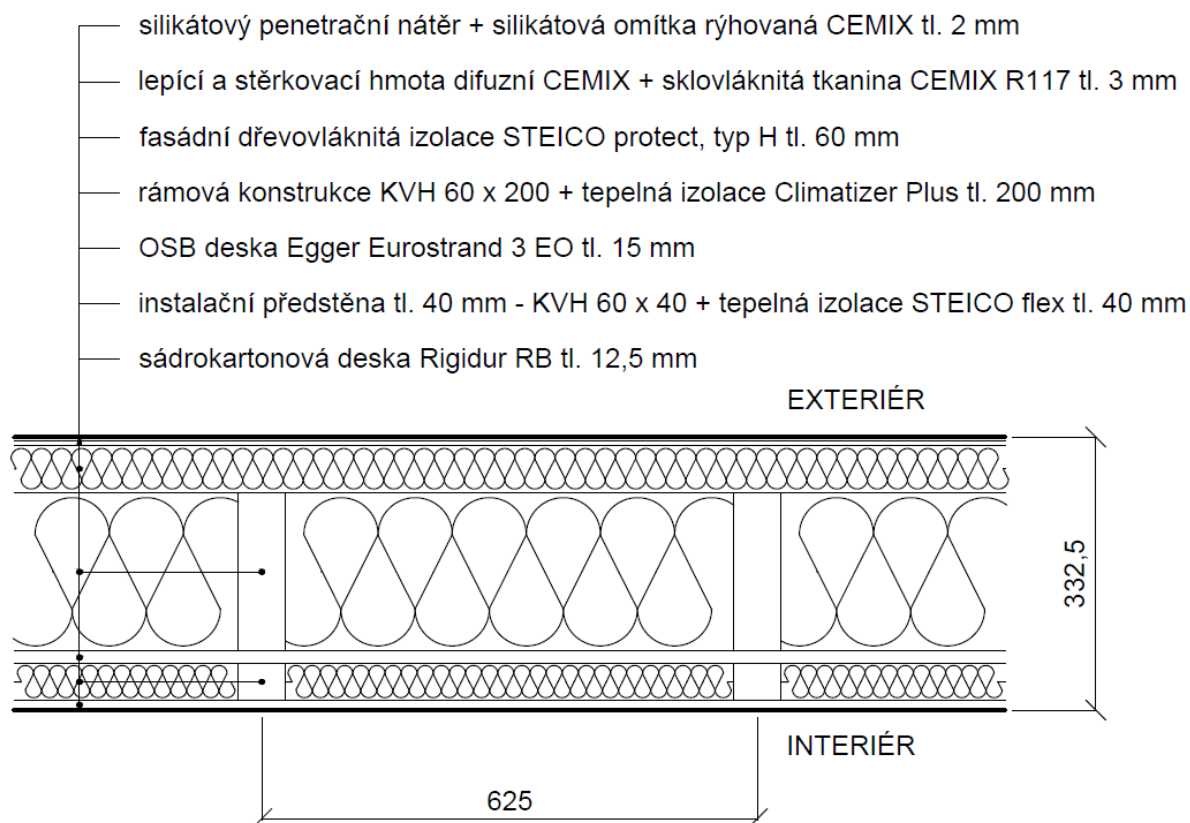
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací STEICO flex				
Součinitel prostupu tepla U (W/m ² .K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,164	0,3		0,12 – 0,18
		0,164 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,164 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,31 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,31		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,927 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísni na povrchu konstrukce
	0,927	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	5,229.10 ⁻⁸	NE	

Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a}$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než $0,10 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{a)}$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,1.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	307,4			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	13,6			
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5			
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	1 867			

DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus

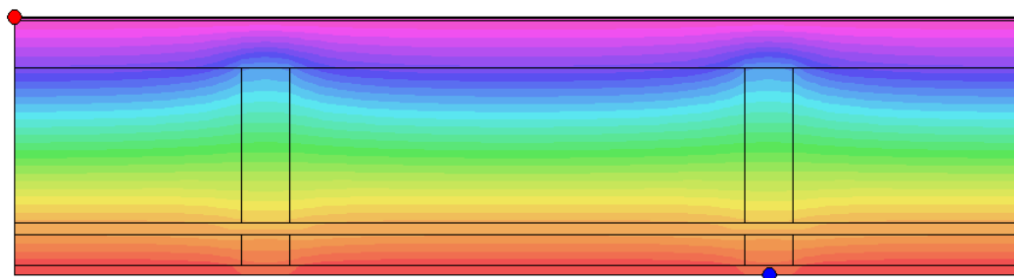
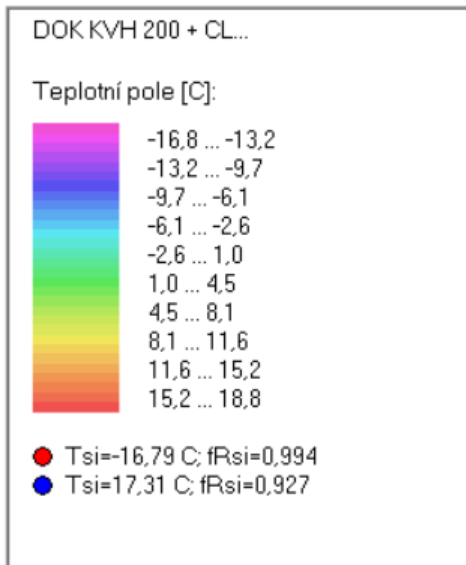
Skladba konstrukce



Obrázek 36 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 37 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

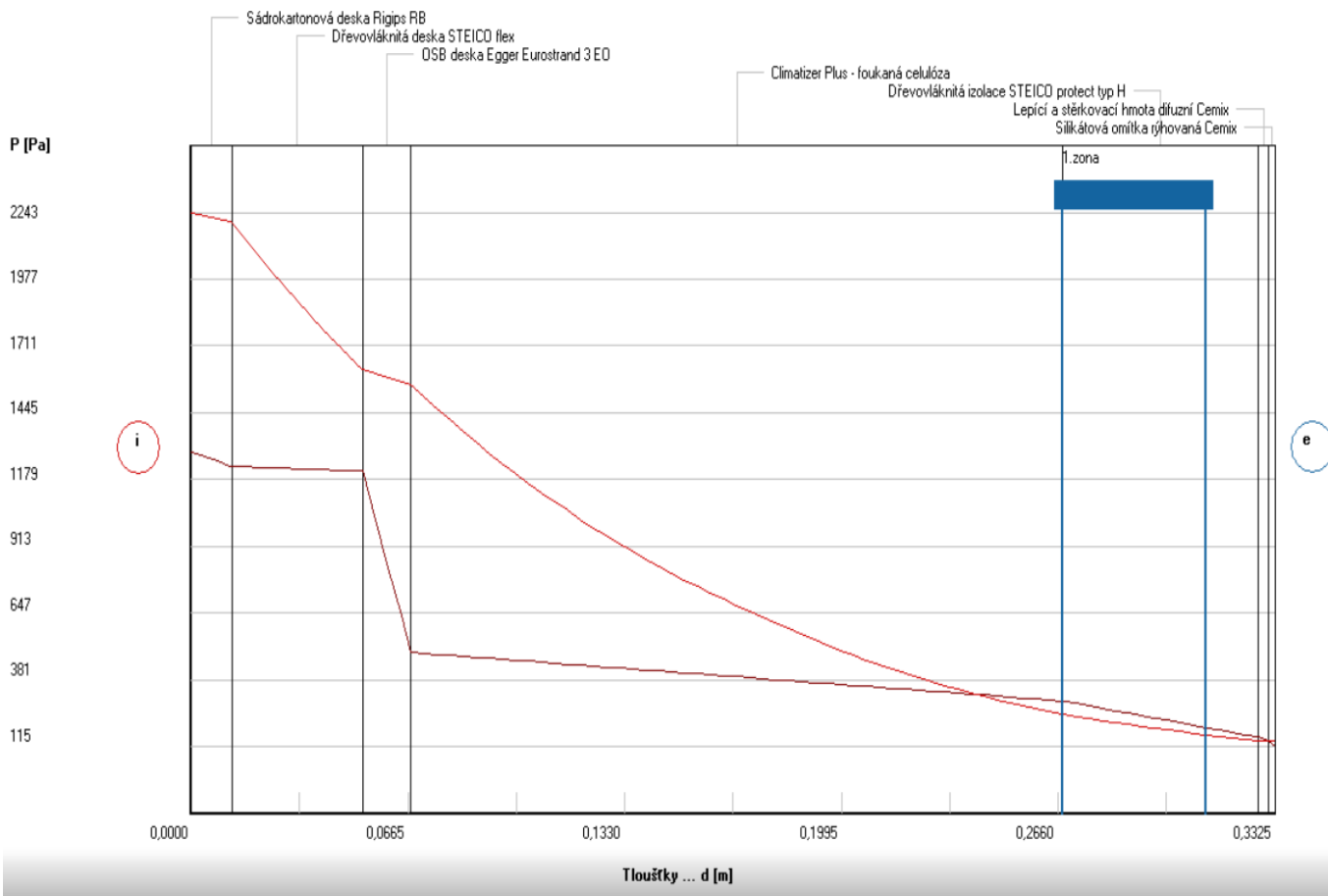
DOK KVH 200 + CLIM...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:
 Interiér 20,0 C
 55,0 %
 Exteriér -17,0 C
 84,0 %

- nasyc. tlak
- teoret. tlak
- skut. tlak
- kond. zóna

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540

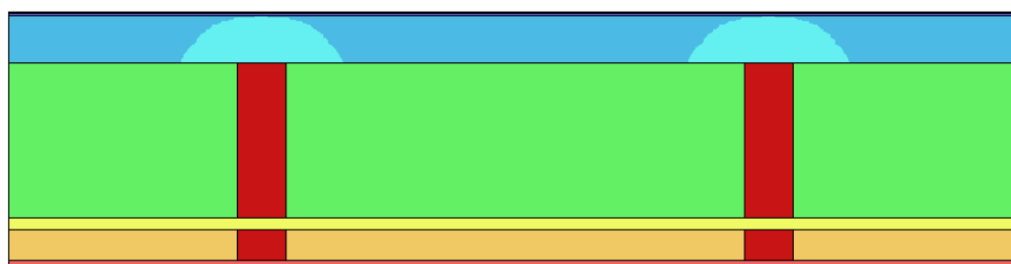


Graf 15 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DOK KVH 200 + CL...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry: do kce: 1,22e-07 kg/m,s z kce: 6,89e-08 kg/m,s rozdíl: 5,32e-08 kg/m,s



Obrázek 38 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 27 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádkartón RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny STEICO flex 40 mm	76,8	m ²	90,3	0,85

OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Climatizer Plus 200 mm	280,5	m ³	1650	0,17
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ H 60 mm	445,0	m ²	445	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	8,2	ks	0,63	13
Lepící a stěrková hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 605			
Montáž fasádní izolace	80			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	1 725 Kč			

Tabulka 28 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

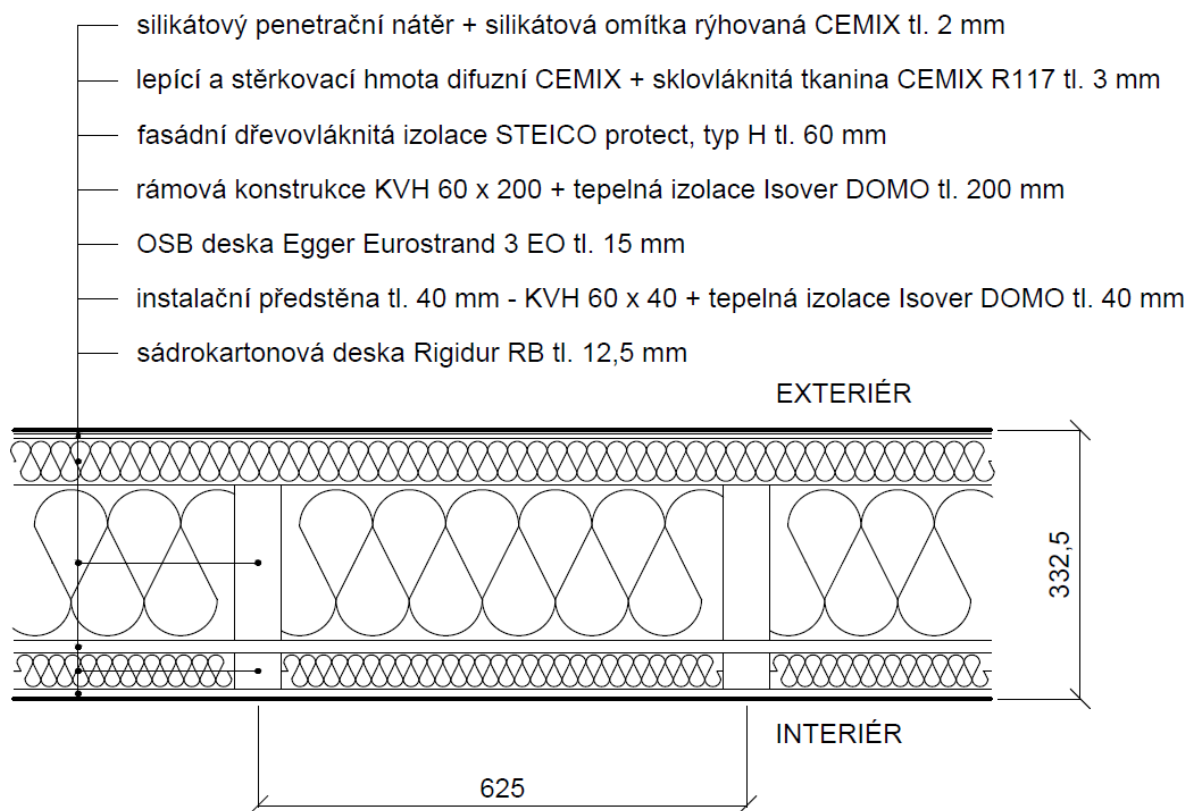
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus			
Součinitel prostupu tepla U (W/m².K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný U_{N,20}	Doporučený pro PD U_{pas,20}
		0,164	0,3
		0,164 ≤ 0,3 SPLŇUJE	0,164 ≤ 0,18 SPLŇUJE

Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,31 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,31		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,927 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,927	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	4,132.10 ⁻⁸	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0$ kg/m ² .a)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 kg/(m ² .a), resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,2.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	316,1			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	13,8			
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5			
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	1 725			

DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO

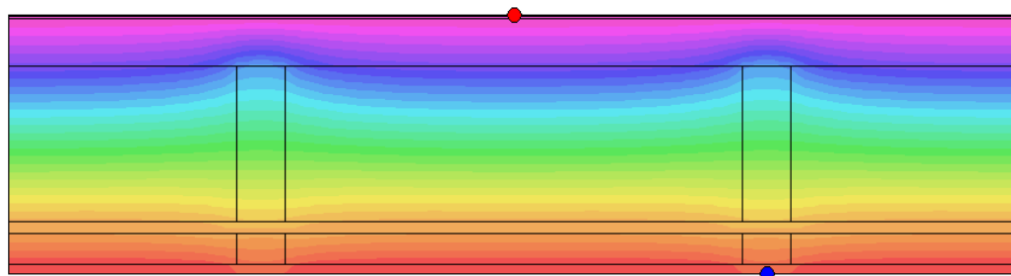
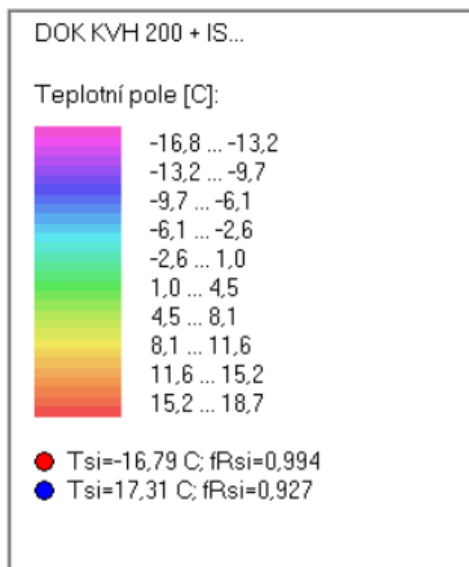
Skladba konstrukce



Obrázek 39 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 40 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

DOK KVH 200 + ISOV...

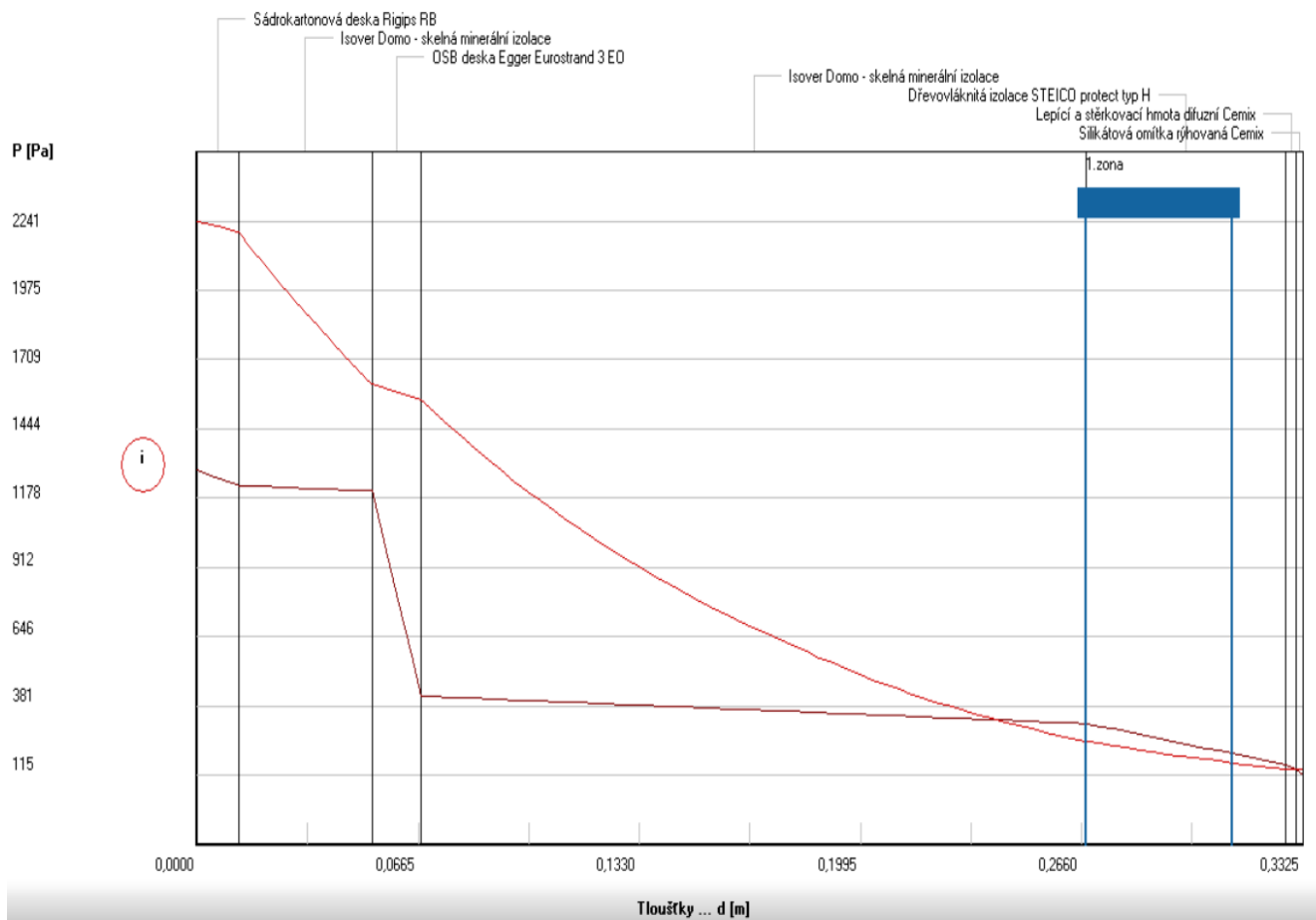
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



Graf 16 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

LEGENDA:

DOK KVH 200 + IS...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry: do kce: 1,35e-07 kg/m.s z kce: 6,92e-08 kg/m.s rozdíl: 6,61e-08 kg/m.s



Obrázek 41 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 29 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384

Tep. izolace předstěny Isover DOMO 40 mm	36,6	m ²	43	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Isover DOMO 200 mm	180,2	m ²	212	0,85
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ H 60 mm	445,0	m ²	445	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	8,2	ks	0,63	13
Lepící a stěrkovácí hmota CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 464			
Montáž vnitřní izolace	55			
Montáž fasádní izolace	80			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	1 639 Kč			

Tabulka 30 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

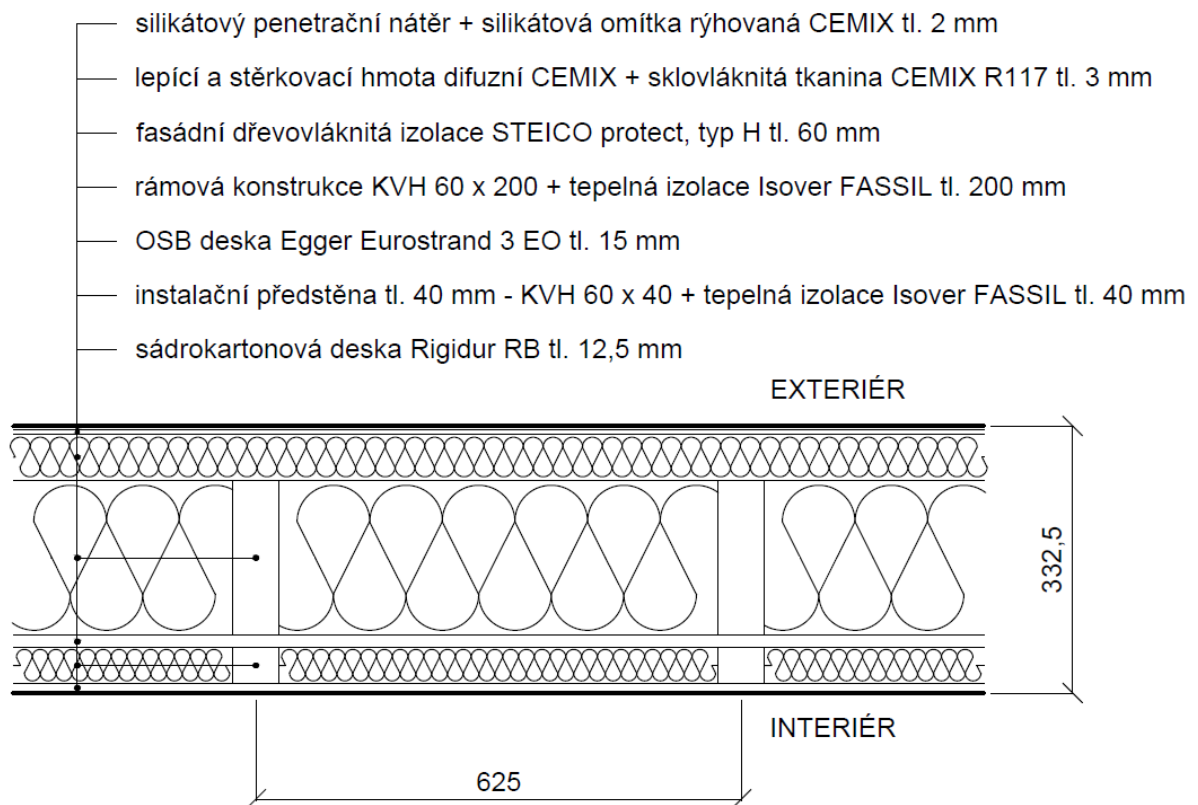
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover DOMO			
Součinitel prostupu tepla U (W/m².K) dle	Vypočítaný U	Požadovaný U_{N,20}	Doporučený pro PD U_{pas,20}

ČSN 730540	0,166	0,3		0,12 – 0,18
		0,166 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,166 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,31 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,31		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,927 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,927	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	$5,136 \cdot 10^{-8}$	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,1.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	149,9			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	9			
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5			
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	1 639			

DOK KVH 60 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL

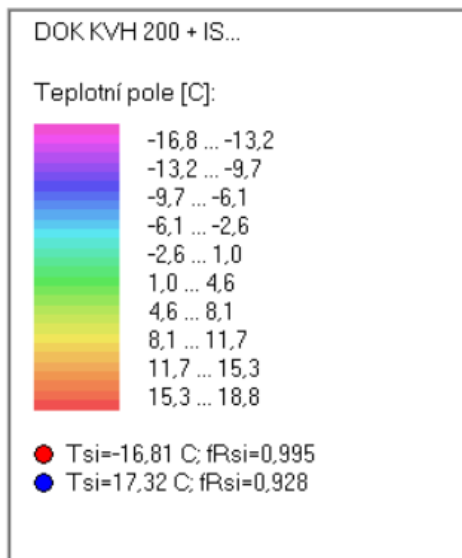
Skladba konstrukce

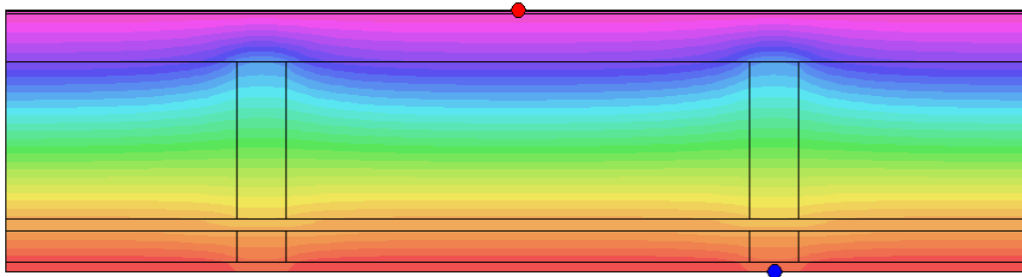


Obrázek 42 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:





Obrázek 43 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

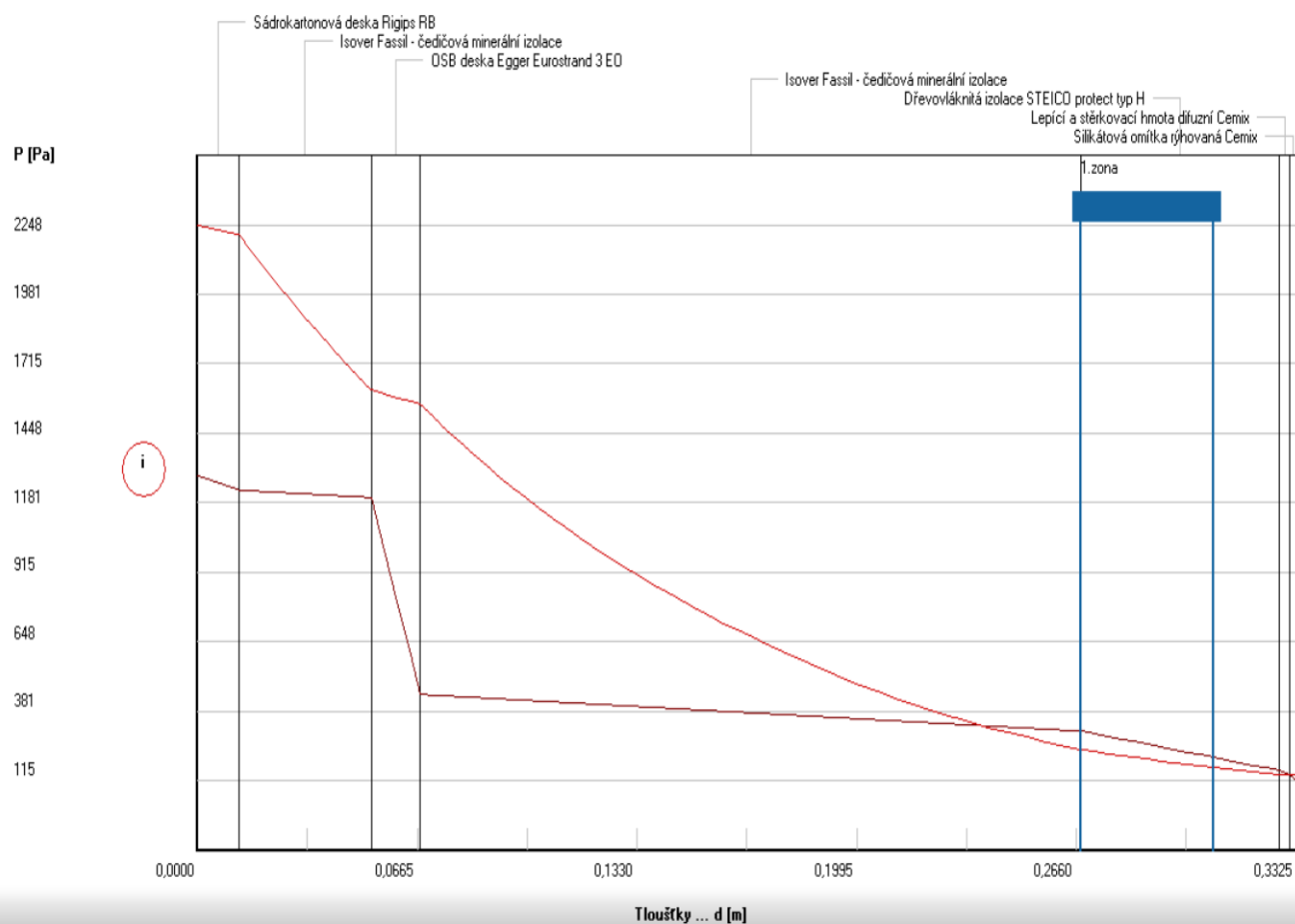
DOK KVH 200 + ISOV...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

- nasyc. tlak
- teoret. tlak
- skut. tlak
- kond. zóna



Graf 17 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DOK KVH 200 + IS...

Přibl.oblast kondenzace:

$T_e = -17,0\text{ C}$

Toky vodní páry:
 do kce: $1,30\text{e-}07\text{ kg/m,s}$
 z kce: $6,79\text{e-}08\text{ kg/m,s}$
 rozdíl: $6,16\text{e-}08\text{ kg/m,s}$



Obrázek 44 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 31 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover FASSIL 40 mm	76,5	m ²	90	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Isover FASSIL 200 mm	380,8	m ²	448	0,85
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ H 60 mm	445,0	m ²	445	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	8,2	ks	0,63	13
Lepící a stěrkovácí hmota CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4

Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 705			
Montáž vnitřní izolace	55			
Montáž fasádní izolace	80			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	1 880 Kč			

Tabulka 32 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

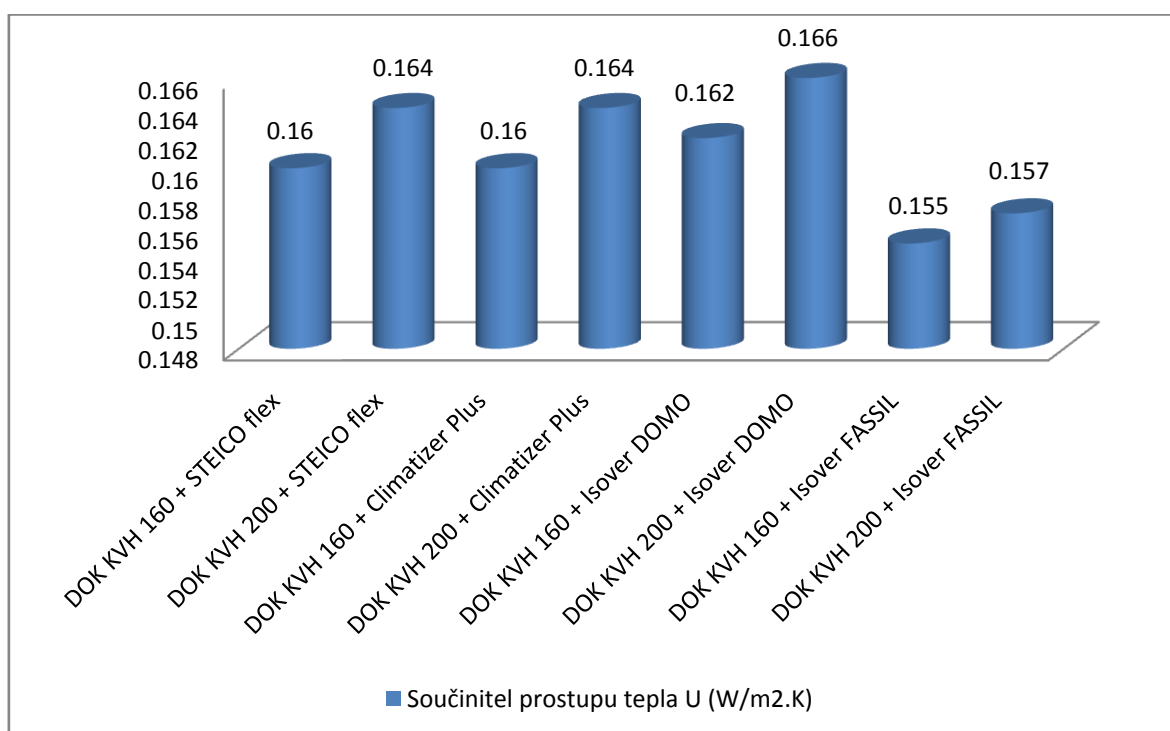
Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL				
Součinitel prostupu tepla U (W/m ² .K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,157	0,3		0,12 – 0,18
		0,157 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,157 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,32 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,32		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,928 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,928	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	4,965.10 ⁻⁸	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{ca} = 0$ kg/m ² .a)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 kg/(m ² .a), resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	

Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,2.10 ¹⁰
Teplotní útlum N_y (-)	219,1
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	11,2
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	1 880

Vyhodnocení

10.1.1 Součinitel prostupu tepla



Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla DOK pasivních domů pro velké budovy

Zdroj: Vlastní zpracování

Součinitel prostupu tepla má přímý vliv na to, kolik obyvatel domu protopí. Je přímo úměrný provozním nákladům. Z grafu vidíme, že konstrukce s KVH 60 x 160 mm dosáhli nižších hodnot než konstrukce s KVH 60 x 200 mm. To je zapříčiněno větším tepelným

mostem v podobě sloupku u konstrukcí s KVH 60 x 200 mm, resp. obecně horšími tepelně izolačními vlastnostmi rámoviny s tepelnou izolací oproti fasádní izolaci, navíc u konstrukcí se sloupkem KVH 60 x 200 mm má fasádní dřevovláknitá izolace vyšší hodnotu součinitele tepelné vodivosti (STEICO protect, typ H, $\lambda = 0,051 \text{ W/m.K}$) ve srovnání s dřevovláknitou fasádní izolací u konstrukcí se sloupkem KVH 60 x 160 mm (STEICO protect, typ M, $\lambda = 0,049 \text{ W/m.K}$), to je dáno tím, že menší tloušťka dřevovláknité izolace (typ H) je více slisována, tudíž obsahuje menší objem vzduchových mezer a tím má vyšší hodnotu λ . Nejnižších hodnot součinitele prostupu tepla dosáhli konstrukce s tepelnou izolací Isover FASSIL, což je pochopitelně dáno nejnižší hodnotou součinitele tepelné vodivosti u této izolace ve srovnání s ostatními.

10.1.2 Kondenzace na povrchu konstrukce

Z tabulek vidíme, že nejnižší vnitřní povrchová teplota všech hodnocených konstrukcí je vysoko nad teplotou rosného bodu, která je $10,69 \text{ }^\circ\text{C}$, tudíž ke kondenzaci na povrchu nedochází u žádné z konstrukcí.

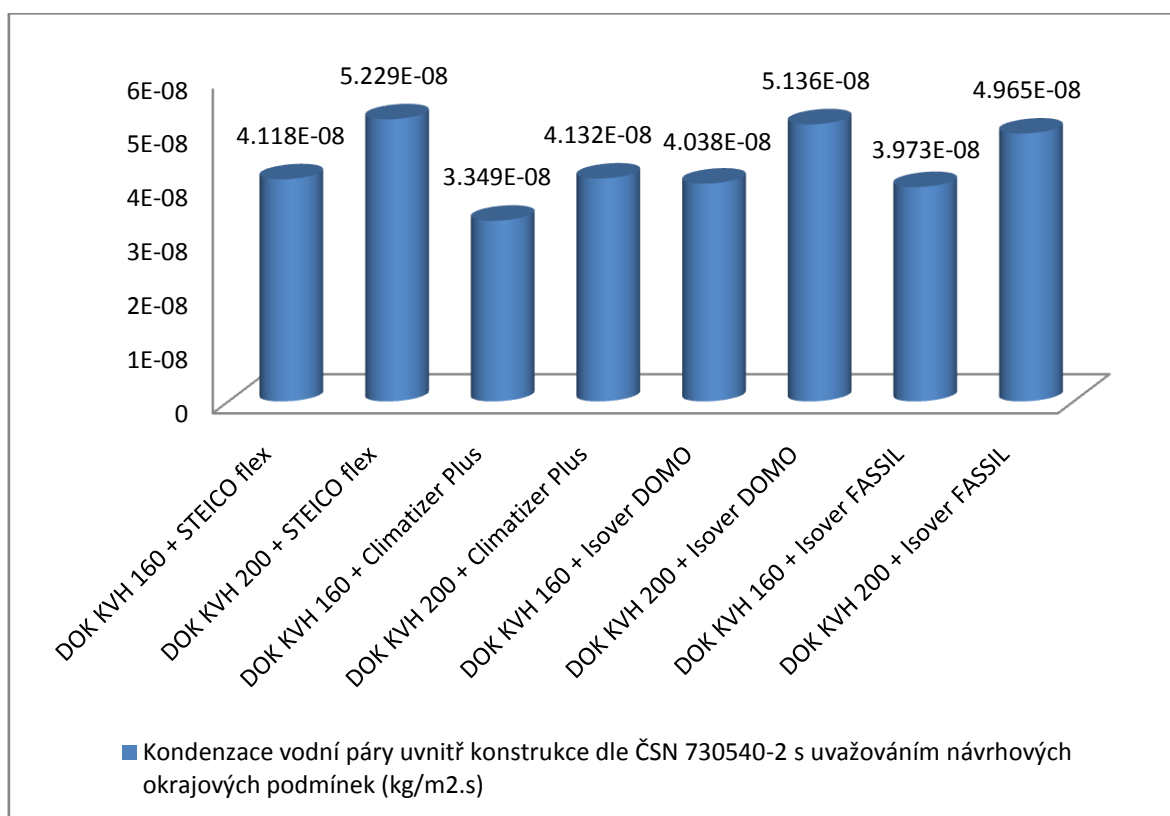
10.1.3 Teplotní faktor vnitřního povrchu

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu byl vypočítán pro dovolenou relativní vlhkost vzduchu na povrchu konstrukce max. 80 %, což je spodní hranice, kdy může docházet k tvorbě plísní na povrchu konstrukce. Teplotní faktor vnitřního povrchu bez problému vyhověl u všech konstrukcí.

Pozorný čtenář si jistě všiml, že nejnižší vnitřní povrchové teploty jsou u všech konstrukcí se sloupkem KVH 60 x 160 mm stejné a to $17,43 \text{ }^\circ\text{C}$, tudíž mají i stejný teplotní faktor vnitřního povrchu a to 0,931. Konstrukce se sloupkem KVH 60 x 200 mm mají rovněž stejnou nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a teplotní faktor vnitřního povrchu a to $17,31 \text{ }^\circ\text{C}$ a 0,927, jen konstrukce s Isover FASSIL se nepatrně odlišuje, její hodnoty jsou $17,32 \text{ }^\circ\text{C}$ a 0,928. **U konstrukcí s homogenními vrstvami platí, že čím nižší je součinitel prostupu tepla konstrukce (můžeme rovněž říci čím vyšší tepelný odpor), tím je i vyšší povrchová teplota.** Nicméně konstrukce obsahují nehomogenní vrstvu v podobě sloupků a tepelné izolace mezi nimi. Dřevěný sloupek KVH tvoří tepelný most, proto je jasné, že nejnižší vnitřní povrchová teplota bude vždy u sloupku. **Pokud jednoduše vysekneme část konstrukce se sloupkem (bez vnitřní izolace), zjistíme, že u**

konstrukcí se sloupkem KVH 60 x 160 mm tvoří 200 mm tloušťky konstrukce (160 mm nosný sloupek KVH + 40 mm KVH předstěny) dřevěný sloupek KVH a tuto vrstvu překrývá 100 mm fasádní dřevovláknité izolace STEICO protect. U konstrukcí s KVH 60 x 200 mm se jedná o 240 mm KVH a 60 mm dřevovláknité izolace. Z tohoto důvodu je nejnižší vnitřní povrchová teplota u všech konstrukcí s KVH 60 x 160 mm vyšší než u konstrukcí s KVH 60 x 200 mm i navzdory tomu, že např. konstrukce s KVH 60 x 200 mm a vnitřní izolací Isover FASSIL má nižší součinitel prostupu tepla (vyšší tepelný odpor) oproti konstrukci s KVH 60 x 160 mm a vnitřní izolací STEICO flex.

10.1.4 Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek



Porovnání množství kondenzující vodní páry při uvažování návrhových okrajových podmínek dle ČSN 730540-2 DOK pasivních domů pro velké budovy

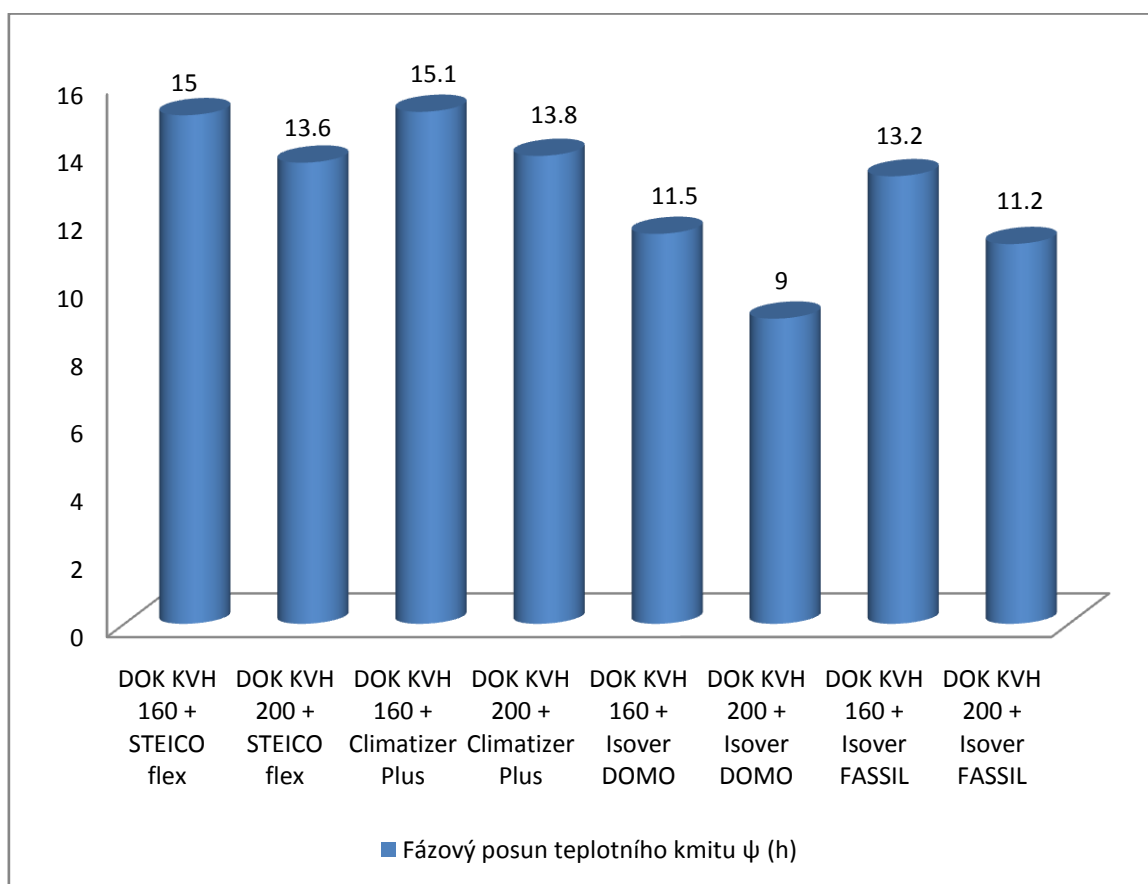
Ke kondenzaci došlo u všech konstrukcí, avšak u žádné z konstrukcí nedochází ke kondenzaci na dřevěném prvku. Norma ČSN 730540-2 říká, že výrobky ze dřeva a materiálů na bázi dřeva nesmí při zabudování překročit vlhkost 18 %. U konstrukcí s KVH 60 x 160 mm je teplota na vnějším konci sloupku cca -1°C a $\varphi =$ cca 65 %, to dle nomogramu vlhkosti dřeva odpovídá vlhkosti cca 13 %, u konstrukcí s KVH 60 x 200 mm je tato teplota okolo -7°C a $\varphi =$ cca 71 %, což odpovídá vlhkosti dřeva asi 15 % (K těmto hodnotám jsem dospěl z programu AREA a následně jsem se podíval do nomogramu pro vlhkost dřeva jaké vlhkosti těmto podmínkám odpovídají, nikde tento postup v práci neuvádím, protože vyhodnocení je stejně na projektantovi. Můžeme tedy konstatovat, že všechny konstrukce vyhověly. Toto jsem uvedl pro úplnost, jinak samozřejmě platí, že to, zda kondenzace ohrožuje funkci konstrukce musí vyhodnotit projektant. Co se týče bezpečnosti konstrukce z hlediska kondenzace, v grafu vidíme, že konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm dosahují menších hodnot zkondenzovaného množství oproti konstrukcím se sloupkem 60 x 200 mm, můžeme tedy říci, že jsou z hlediska kondenzace bezpečnější. Rovněž vidíme, že nejnižší hodnoty zkondenzovaného množství vodní páry vykazuje konstrukce s tepelnou izolací z foukané celulózy Climatizer Plus a to samozřejmě u konstrukcí se sloupkem KVH 60 x 160 mm i KVH 60 x 200 mm, to je dáno největším faktorem difuzního odporu Climatizeru Plus, který je poměrově mnohem větší oproti ostatním izolacím než je jeho rozdíl tepelné vodivosti oproti ostatním izolacím, použití tepelné izolace Climatizer Plus je tedy z hlediska kondenzace nejbezpečnější.

Pokud porovnáme množství zkondenzované vodní páry u konstrukcí s tepelnou izolací STEICO flex a Isover DOMO, které mají stejný faktor difuzního odporu $\mu = 1$, vidíme z grafu, že konstrukce izolací STEICO flex vykazují vyšší množství zkondenzované vodní páry. Z výstupů v programech TEPLO a AREA jsme viděli, že kondenzace probíhá ve vrstvě fasádní tepelné izolace, tepelná izolace STEICO flex má hodnotu $\lambda = 0,042 \text{ W/ m.K}$, Isover DOMO pak $\lambda = 0,043 \text{ W/ m.K}$, **platí čím nižší λ tepelné izolace (lepší tepelně izolační schopnost), tím nižší teplota v zimním období ve vrstvě fasádní izolace, tudíž i větší pravděpodobnost, že se dostaneme pod teplotu rosného bodu, tudíž více zkondenzované vodní páry.**

10.1.5 Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788

U žádné z konstrukcí nedochází v modelovém roku ke kondenzaci, všechny konstrukce jsou tudíž vyhovující.

10.1.6 Fázový posun teplotního kmitu

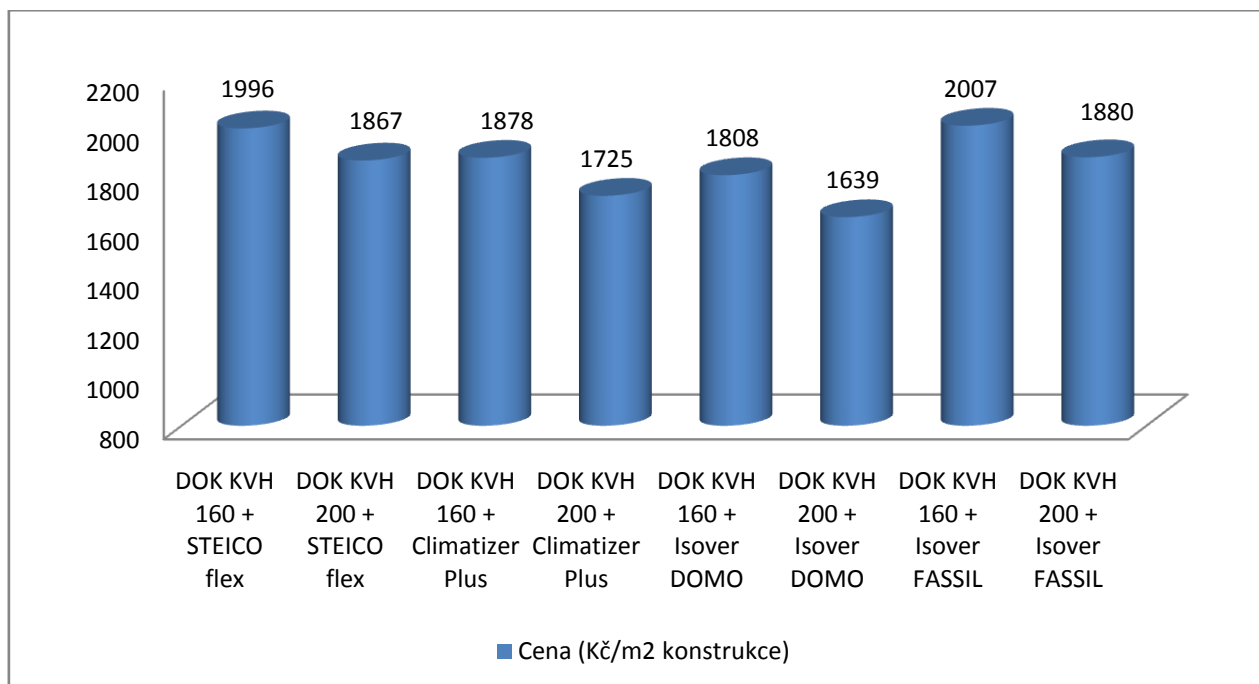


Porovnání hodnot fázových posunů DOK pasivních domů pro velké budovy

Jak vidíme z grafu, platí, že konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm vykazují vyšší hodnoty fázového posunu teplotního kmitu než konstrukce se sloupkem 60 x 200 mm. To je dáno tím, že fasádní dřevovláknitá izolace má nižší teplotní vodivost než jakákoliv tepelná izolace mezi sloupky. Připomínám, že při hodnocení fázového posunu jsme neuvažovali vliv sloupků, které hodnotu fázového posunu zvyšují, proto je výsledná hodnota fázového posunu teplotního kmitu u konstrukcí se sloupkem KVH 60 x 160 mm a

konstrukcí s KVH 60 x 200 mm dána tepelnou vodivostí vnitřní izolace mezi sloupky a fasádní dřevovláknité izolace, to znamená, když zvětšíme tloušťku fasádní tepelné izolace na úkor vnitřní izolace, bude hodnota fázového posunu teplotního kmitu vyšší, proto konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm vykazují vyšší hodnoty fázového posunu teplotního kmitu ve srovnání s konstrukcemi se sloupkem 60 x 200 mm. Co se týče porovnání konstrukcí s různými izolacemi mezi sloupky, nejvyšší hodnotu fázového posunu docílíme použitím foukané celulózy Climatizer Plus, která má nejnižší hodnotu součinitele teplotní vodivosti. Naopak nejnižších hodnot bychom dosáhli použitím izolace Isover DOMO, která především díky své nízké objemové hmotnosti (a rovněž nižší měrné tepelné kapacitě) má nejvyšší hodnotu součinitele teplotní vodivosti.

10.1.7 Cena



Porovnání cen za m² konstrukce DOK pasivních domů pro velké budovy

Jak jsem již zmínil, cenu konstrukce je vždy nutné brát v kontextu se součinitelem prostupu tepla, cena konstrukce je přímo úměrná pořizovací ceně budovy a součinitel prostupu tepla je přímo úměrný provozním nákladům. Z grafů pro porovnání cen a součinitelů prostupu tepla vidíme, že konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 vykazují

vyšší pořizovací cenu konstrukce, avšak lepší hodnoty součinitelů prostupu tepla oproti konstrukcím se sloupkem KVH 60 x 200 mm. To znamená, že budovy s obvodovými stěnami se sloupkem KVH 60 x 160 mm by vykazovaly vyšší pořizovací ceny, avšak nižší provozní náklady. Vyšší cena konstrukce u konstrukcí se sloupkem z KVH 60 x 160 je dána použitím větší tloušťky dražší fasádní dřevovláknité izolace na úkor rámové konstrukce s tepelnou izolací.

Zde je prostor pro výpočet doby návratnosti investice při vyšší pořizovací ceně a nižších provozních nákladech za vytápění, což bychom samozřejmě mohli provést, avšak museli bychom uvažovat i všechny ostatní části obvodového pláště – střechu a podlahu na zemině a rovněž bychom museli započítat okenní otvory atd. K tepelné ztrátě prostupem bychom museli přičíst tepelnou ztrátu větráním a od této hodnoty odečíst tepelné zisky, pro jednotlivé měsíce bychom následně podle teplot dostali potřebu tepla na vytápění. Pokud bychom spočítali tepelný výkon na ohřev teplé vody, následně bychom navrhli tepelný zdroj, jehož výkon by se odvíjel od součtu tepelného výkonu na vytápění a tepelného výkonu na ohřev teplé vody. Tepelný výkon na potřebu teplé vody by tvořil drtivou většinu, protože se jedná o pasivní domy. **Nicméně vyšší hodnota U obvodové stěny = nižší pořizovací cena budovy, ale vyšší tepelný výkon tepelného zdroje = vyšší pořizovací cena tepelného zdroje.**

Co se týče rozdílů mezi tepelnými izolacemi, tepelná izolace STEICO flex má stejnou hodnotu λ jako Climatizer Plus, jejich hodnoty U jsou tedy stejné, avšak cena konstrukce je při uvažování našich cen vyšší u konstrukcí s tepelnou izolací STEICO flex (nicméně cena není dogma, záleží na rabatech apod.). Z tohoto pohledu můžeme konstatovat, že z hlediska pořizovacích a provozních nákladů by bylo rozhodně výhodnější použít tepelnou izolaci Climatizer Plus než tepelnou izolaci STEICO flex (platí při uvažování našich cen, záleží vždy od koho kupujeme a jakou dostaneme slevu). Nejnižší hodnotu součinitele prostupu tepla, jak jsme již zmínili, mají konstrukce s tepelnou izolací Isover FASSIL, pokud ji opět srovnáme s konstrukcemi se STEICO flex, vidíme relativně velký rozdíl v hodnotách U, ale v podstatě zanedbatelný rozdíl v ceně konstrukce, můžeme tedy říci, že z tohoto pohledu jsou konstrukce s Isover FASSIL výhodnější než konstrukce s STEICO flex (opět platí při uvažování našich cen, záleží vždy od koho kupujeme a jakou dostaneme slevu). Konstrukce s Isover DOMO vykazují nejvyšší hodnoty U, ale nejnižší cenu konstrukce. Museli bychom tedy spočítat na konkrétní budově ekonomickou

návratnost investice do vyšší pořizovací ceny budovy při nižších provozních nákladech, což by mohl být námět na další práce.

10.1.8 Celkové vyhodnocení

Analyzovali jsme obvodové stěny dřevostaveb difuzně otevřené pro velké budovy, tedy konstrukce s hodnotou součinitele prostupu tepla se střední až blízkou se spíše k horní hranici doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy. Zkoumali jsme, jaké budou vlastnosti konstrukce při použití sloupku KVH 60 x 160 mm s fasádní izolací 100 mm a při použití větší tloušťky sloupku na úkor zmenšení fasádní izolace, tedy při použití konstrukce se sloupkem 60 x 200 mm a fasádní izolací 60 mm. Rovněž jsme zkoumali vlastnosti konstrukce při použití 4 různých druhů izolací mezi sloupky.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota všech konstrukcí byla vysoko nad hranicí teploty rosného bodu, tudíž je kondenzace na povrchu konstrukce vyloučena. Rovněž, co se týká teplotního faktoru vnitřního povrchu, vyhověli všechny hodnocené konstrukce bez problému, je tedy vyloučeno riziko tvorby plísní na vnitřním povrchu. Co se týče roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry dle ČSN EN ISO 13788, nedocházelo během modelového roku ke kondenzaci u žádné z konstrukcí. **Konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm a fasádní dřevovláknitou izolací 100 mm ve srovnání s konstrukcemi se sloupkem KVH 60 x 200 mm a fasádní dřevovláknitou izolací 60 mm vykazovali:**

- *Nižší hodnoty součinitelů prostupu tepla*
- *Nižší množství zkondenzované vodní páry dle požadavků ČSN 730540 – 2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek*
- *Vyšší hodnoty fázového posunu teplotního kmitu*
- *Vyšší cenu za m² konstrukce*

Můžeme tedy konstatovat, že konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm a fasádní izolací 100 mm (při stejné tepelné izolaci mezi sloupky) mají všechny zkoumané vlastnosti lepší, až na cenu za m² konstrukce. Nicméně pojd'me trochu rozvést váhu jednotlivých ukazatelů. Množství zkondenzované vodní páry vykazují konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm nižší, takže jsou obecně z hlediska kondenzace bezpečnější, nicméně kondenzace neohrožuje funkci u žádné z konstrukcí,

všechny konstrukce tedy vyhověli (během modelového roku dle EN ISO 13788 nedochází ke kondenzaci u žádné z konstrukcí, tedy rovněž všechny konstrukce vyhověli), **a to je podstatné, množství kondenzace s uvažováním návrhových okrajových podmínek není až tak důležité, protože se nepromítne do investori (uživatelovi) peněženky, důležité je, že konstrukce splnila požadavek.** Hodnoty fázového posunu teplotního kmitu jsou rovněž vyšší u konstrukcí s KVH 60 x 160 mm (při použití stejné tepelné izolace mezi sloupky), nicméně rozdíly nejsou nijak markantní, zůstávají dva ukazatele, které mají přímý vliv na investoru (uživatelovu) peněženku, a to součinitel prostupu tepla jako zástupce provozních nákladů a cena za m² konstrukce jako zástupce pořizovacích nákladů. Ideální by byla konstrukce, která by měla co nejnižší hodnotu součinitele prostupu tepla a co nejnižší pořizovací cenu. Konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm (při použití stejné tepelné izolace mezi sloupky) vykazují nižší hodnoty součinitelů prostupu tepla avšak vyšší cenu za m² konstrukce. Nedá se tedy jednoznačně říci, zda je lepší použít sloupek 60 x 160 mm a fasádní izolaci 100 mm nebo sloupek 60 x 200 mm a fasádní izolaci 60 mm. Je zde tedy prostor pro aplikaci na konkrétní stavbu pro výpočet doby ekonomické návratnosti investice do budovy s vyšší pořizovací cenou.

Co se týče vlivu použité tepelné izolace mezi sloupky, můžeme konstatovat následující:

- *Nejnižší hodnotu součinitele prostupu tepla dosáhneme použitím minerální izolace čedičové Isover FASSIL*
- *Nejnižšího množství zkondenzované vodní páry dosáhneme při použití foukané celulózy Climatizer Plus*
- *Nejvyšší hodnoty fázového posunu dosáhneme při použití foukané celulózy Climatizer Plus*
- *Nejnižší ceny konstrukce za m² dosáhneme při použití skelné minerální izolace Isover DOMO*

Pokud by jeden druh izolace v konstrukci vykazoval všechny nejlepší vlastnosti, mohli bychom ji automaticky vyhodnotit jako nejlepší. To ovšem neplatí. Konstrukce s dřevovláknitou izolací STEICO flex v porovnání s konstrukcí s foukanou celulózou Climatizer Plus vykazuje stejný součinitel prostupu tepla U (z důvodu stejné hodnoty λ izolací), ale všechny ostatní hodnoty jsou příznivější při použití Climatizer Plus, který

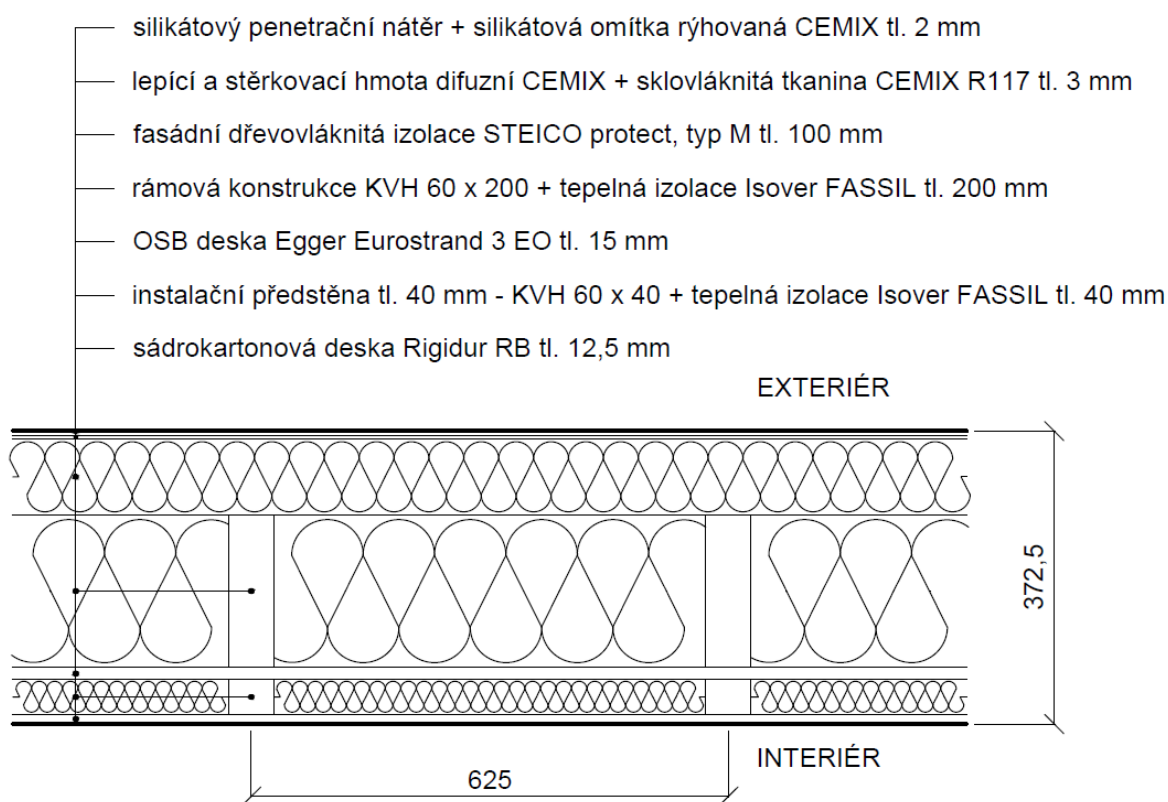
vykazuje vyšší hodnotu fázového posunu, nižší množství zkondenzované vodní páry i nižší pořizovací cenu, nicméně rozdíl v hodnotách fázových posunů je prakticky zanedbatelný. Můžeme tedy říci, že použitím tepelné izolace Climatizer Plus mezi sloupky je při uvažování daných cen výhodnější než použití STEICO flex (samozřejmě ceny nejsou nikdy dogma, záleží na rabatech apod.). Konstrukce se STEICO flex ve srovnání s konstrukcemi s Isover FASSIL vykazují zanedbatelně vyšší cenu za m² konstrukce, avšak relativně o mnoho vyšší hodnotu U. Z pohledu pořizovacích a provozních nákladů by tedy bylo výhodnější při uvažování daných cen použít Isover FASSIL než STEICO flex (samozřejmě ceny nejsou nikdy dogma, záleží na rabatech apod.), avšak STEICO flex vykazuje vyšší hodnotu fázového posunu teplotního kmitu, je tedy otázkou, na kolik by se tento rozdíl promítl do uživateli peněženky či tepelné pohody. Konstrukce s minerální skelnou izolací Isover DOMO vykazují nejvyšší hodnotu součinitele prostupu tepla (z důvodu nejvyšší hodnoty λ ve srovnání s ostatními izolacemi), avšak nejnižší cenu a nejnižší hodnotu fázového posunu teplotního kmitu. Můžeme tedy konstatovat, že izolace mezi sloupky výrazně ovlivňuje vlastnosti celé konstrukce, avšak nemůžeme žádnou izolaci vyhodnotit jako nejlepší.

11 MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA DIFUZNĚ OTEVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH BUDOV

Pokud budeme dále používat KVH hranoly máme možnost snížení hodnoty součinitele prostupu tepla tak, že použijeme co nejtlustší sloupek, tedy KVH 60 x 200 mm a co největší tloušťkufasádní dřevovláknité izolace, což je 100 mm. Abychom dostali co nejnižší hodnotu součinitele prostupu tepla, použijeme mezi sloupky tepelnou izolaci Isover FASSIL, která má ze všech hodnocených izolací nejnižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti, dosáhneme s ní tudíž nejnižší hodnoty součinitele prostupu tepla.

DOK KVH 60 x 200 mm + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL

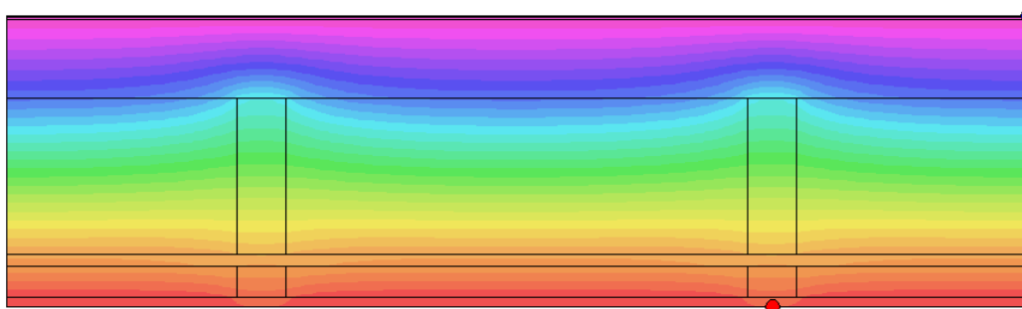
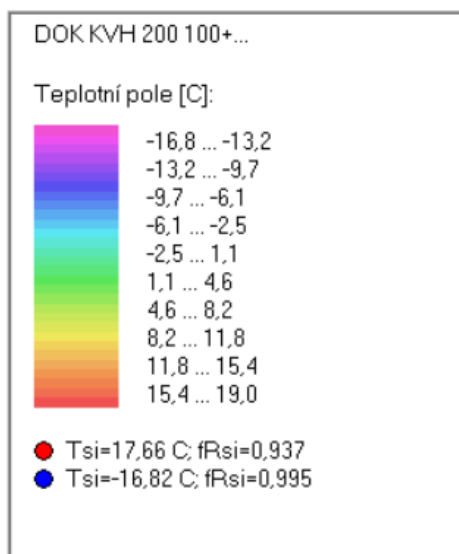
Skladba konstrukce



Obrázek 45 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 46 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

DOK KVH 200 100 + ...

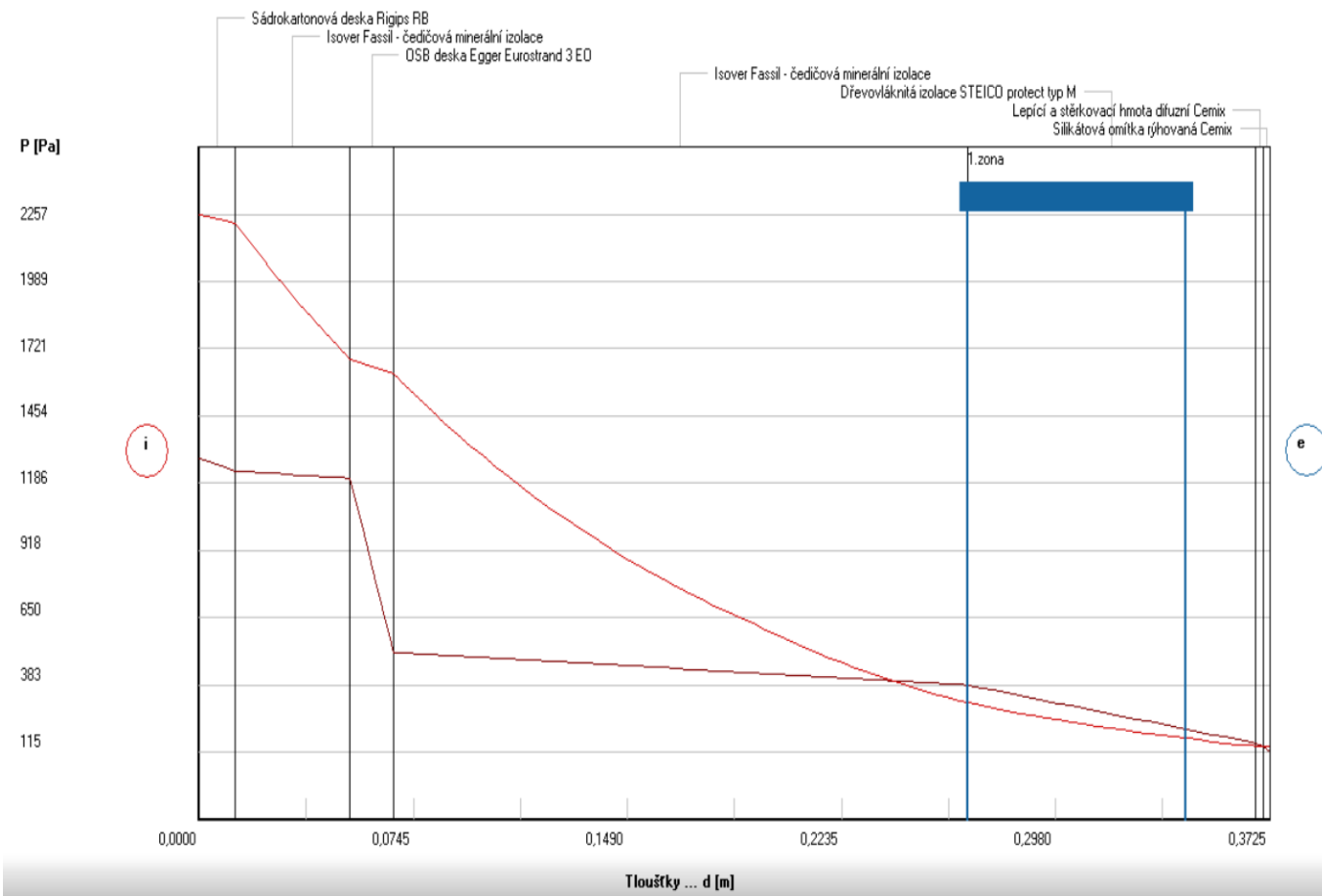
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér 20,0 C
55,0 %
Exteriér -17,0 C
84,0 %

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

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540

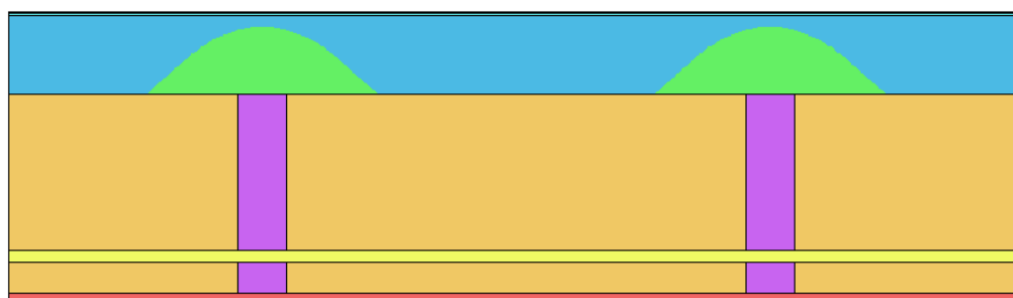


Graf 18 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

LEGENDA:

DOK KVH 200 100+...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry: do kce: 1,20e-07 kg/m,s z kce: 6,64e-08 kg/m,s rozdíl: 5,38e-08 kg/m,s



Obrázek 47 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Aniž bychom z 1D výpočtu vygenerovali hranici kondenzační zóny, je zde u 2D grafiky přehledně vidět, že sloupky nejsou ohroženy kondenzací, to je dáno vyšší teplotou v okolí vnější strany sloupku oproti tepelné izolaci, tudíž se zde nedostáváme na rosný bod a sloupek není ohrožen, to bychom pouhým 1D výpočtem bez uvažování sloupku nezjistili, i když se to dá předpokládat.

Tabulka 33 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnardi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK KVH 60 x 200 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
---	---------------------------------	-------------------	----------------------	--

Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover FASSIL 40 mm	76,5	m ²	90	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Isover FASSIL 200 mm	380,8	m ²	448	0,85
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ M 100 mm	736,0	m ²	736	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	12,6	ks	0,63	20
Lepící a stěrková hmota CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	2 000			
Montáž vnitřní izolace	55			
Montáž fasádní izolace	100			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	2 195 Kč			

Tabulka 34Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK KVH 60 x 200 + 100 mm STEICO protect s vnitřní izolací Isover FASSIL			
Součinitel prostupu tepla U (W/m².K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný U_{N,20}	Doporučený pro PD U_{pas,20}
	0,138	0,3	0,12 – 0,18

		0,138 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,138 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,66 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,66		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,937 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,937	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry (kg/m ² .s)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	4,45.10 ⁻⁸	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a}$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 kg/(m ² .a), resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{dt} (m/s)	1,3.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	460,4			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	14			
Tloušťka konstrukce (mm)	372,5			
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	2 195			

Vidíme, že i když použijeme největší tloušťku sloupku i největší tloušťku fasádní dřevovláknité izolace, dostaneme se na hodnotu $U = 0,138 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, což je nižší než u předchozích konstrukcí, ale stále nejsme na dolní hranici doporučené hodnoty pro pasivní domy, která je $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Co se týče nejnižší vnitřní povrchové teploty, je jasné, že se její hodnota zvýšila vlivem přidání fasádní tepelné izolace, konstrukce tedy bez problému splnila požadavky na teplotní faktor vnitřního povrchu (tudíž i na kondenzaci napovrchu konstrukce). Rovněž vidíme, že se zvýšila hodnota fázového posunu teplotního kmitu vlivem zvětšení tloušťky fasádní izolace a rovněž se snížilo kondenzující množství

vodní páry. Konstrukce ve všech bodech vyhověla, což se po hodnocení předešlých konstrukcí dalo předpokládat.

Možnosti dalšího snižování hodnoty součinitele prostupu tepla U

Pokud se však budeme chtít dostat na spodní hranici doporučené hodnoty U obvodové stěny pro pasivní domy, máme několik možností

- **1. varianta** - udělat kolmo na rámovou konstrukci z vnější strany dřevěný rošt, do něj vsadit tepelnou izolaci a na daný rošt připevnit fasádní dřevovláknitou izolaci. Nicméně, pokud bychom chtěli vyrábět ve velkém, byla by tato varianta mnohem více časově náročná, protože je zde několik operací navíc ve srovnání s dosud hodnocenými konstrukcemi. Navíc dřevěný rošt tvoří další tepelný most, takže samozřejmě by se snížila hodnota U, ale tak nějak neefektivně – tepelný most v podobě roštu a časově náročnější výroba.
- **2. varianta** - použít opláštění na vnější stranu rámové konstrukce v podobě speciální MDF desky, např. DHF od firmy Egger nebo DSP od firmy Kronospan a na toto opláštění připevnit fasádní izolaci **z minerálních vláken, která se vyrábí běžně do 200 mm (nemůže se kotvit přímo na rámovou konstrukci jako fasádní dřevovláknitá izolace, proto speciální MDF deska)**, čímž můžeme dosáhnout velmi vysokých tepelně izolačních vlastností, rozhodně bychom se s přehledem na spodní hranici doporučené hodnoty U pro obvodové stěny pasivních domů dostali, takto provedená konstrukce by byla náročnější na provádění, ale jistě by byla jak z hlediska hodnoty U, tak z hlediska ceny efektivnější než předcházející varianta.
- **3. varianta** – jako nosný prvek použít složený průřez, který tvoří menší tepelný most než KVH hranol a navíc se dá použít ve větší tloušťce než KVH hranol, čímž můžeme zvětšit tloušťku vnitřní izolaci a výrazně tak snížit hodnotu součinitele prostupu tepla, v současnosti je nejpoužívanější tvar průřezu I, tzv. dřevěný I-nosník, se stojinou z OSB desky nebo tvrdé dřevovláknité desky.

My použijeme na další snižování dřevěný I-nosník STEICO wall se stojinou z tvrdé dřevovláknité desky.

Porovnání tepelného odporu KVH hranolu, dřevěného I-nosníku a dřevovláknité izolace

Nejprve si zkusíme pro představu spočítat přibližně tepelný odpor dřevěného I-nosníku v porovnání s KVH hranolem a pro představu i s tepelnou izolací STEICO flex. Budeme porovnávat tepelné odpory při tloušťce 200 mm, u I-nosníku vypočítáme průměrnou hodnotu tepelné vodivosti, kterou následně dosadíme do vzorce pro výpočet tepelného odporu.

Vzorec pro výpočet tepelného odporu

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Tabulka 35 Hodnoty součinitelů tepelných vodivostí materiálů.

Zdroj: www.mta.cz

	KVH hranol	Dřevovláknitá deska tvrdá	Dřevovláknitá izolace STEICO flex
Součinitel tepelné vodivosti λ (W/m.K)	0,18	0,17	0,042

Tepelný odpor KVH hranolu při tloušťce 200 mm

$$R_{KVH} = \frac{0,2}{0,18}$$

$$R_{KVH} = 1,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

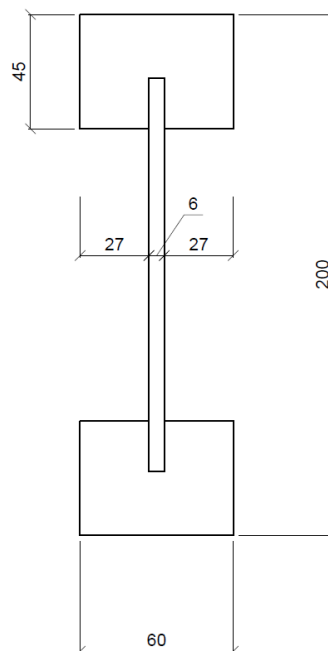
Tepelný odpor dřevovláknité izolace STEICO flex při tloušťce 200 mm

$$R_{STEICO \text{ flex}} = \frac{0,2}{0,042}$$

$$R_{STEICO\ flex} = 4,76\ m^2 \cdot K/W$$

Tepelný odpor dřevěného I-nosníku STEICO wall při tloušťce 200 mm

Nyní musíme nejprve spočítat průměrný součinitel tepelné vodivosti, šířka nosníku je stejně jako běžně u KVH do stěn 60 mm, ta část I-nosníku, kde oproti KVH není materiál je v konstrukci vyplněna vždy tepelnou izolací, my zde budeme uvažovat dřevovláknitou izolaci STEICO flex, samozřejmě platí, že čím nižší λ tepelné izolace, tím má I-nosník oproti KVH lepší tepelně izolační schopnost.



Obrázek 48 Dřevěný I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 mm – rozměry (kóty v mm)

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

$$\text{Plocha I – nosníku} = 0,06 \cdot 0,2 = \mathbf{0,012\ m^2}$$

Nyní spočítáme průměrnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti podle zastoupení jednotlivých materiálů a jejich tepelných vodivostí.

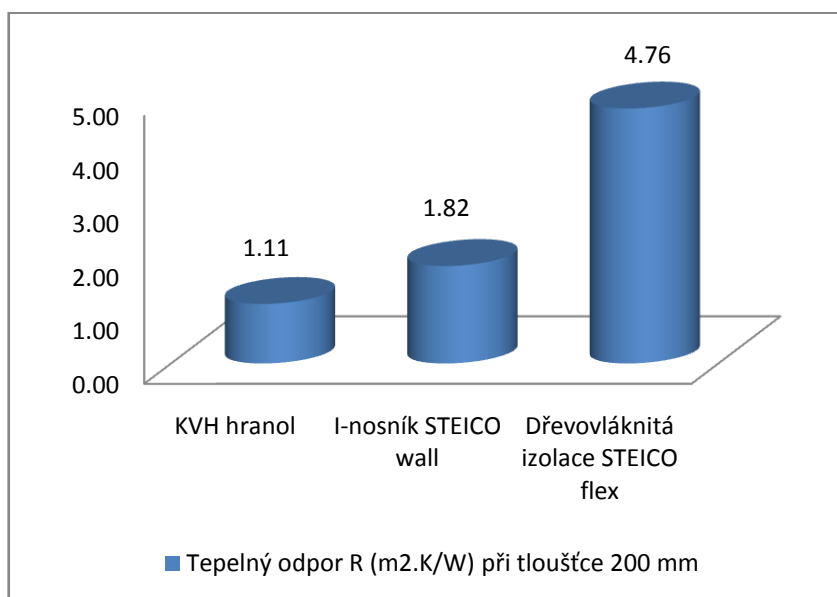
$$\lambda_{\text{průměrná}} = \frac{\lambda_{\text{flex}} \cdot (0,11 \cdot 0,054) + \lambda_{\text{KVH}} \cdot [2 \cdot (0,06 \cdot 0,045)] + \lambda_{\text{HDF}} \cdot (0,11 \cdot 0,006)}{\text{plocha I – nosníku}}$$

$$\lambda_{\text{průměrná}} = \frac{0,042 \cdot (0,11 \cdot 0,054) + 0,18 \cdot [2 \cdot (0,06 \cdot 0,045)] + 0,17 \cdot (0,11 \cdot 0,006)}{0,012}$$

$$\lambda_{\text{průměrná}} = 0,11 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K}$$

$$R_{I\text{-nosník}} = \frac{0,2}{0,11}$$

$$R_{I\text{-nosník}} = 1,82 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$



Porovnání tepelných odporů KVH hranolu, I-nosníku a dřevoláknité vnitřní izolace při tloušťce vrstvy 200 mm

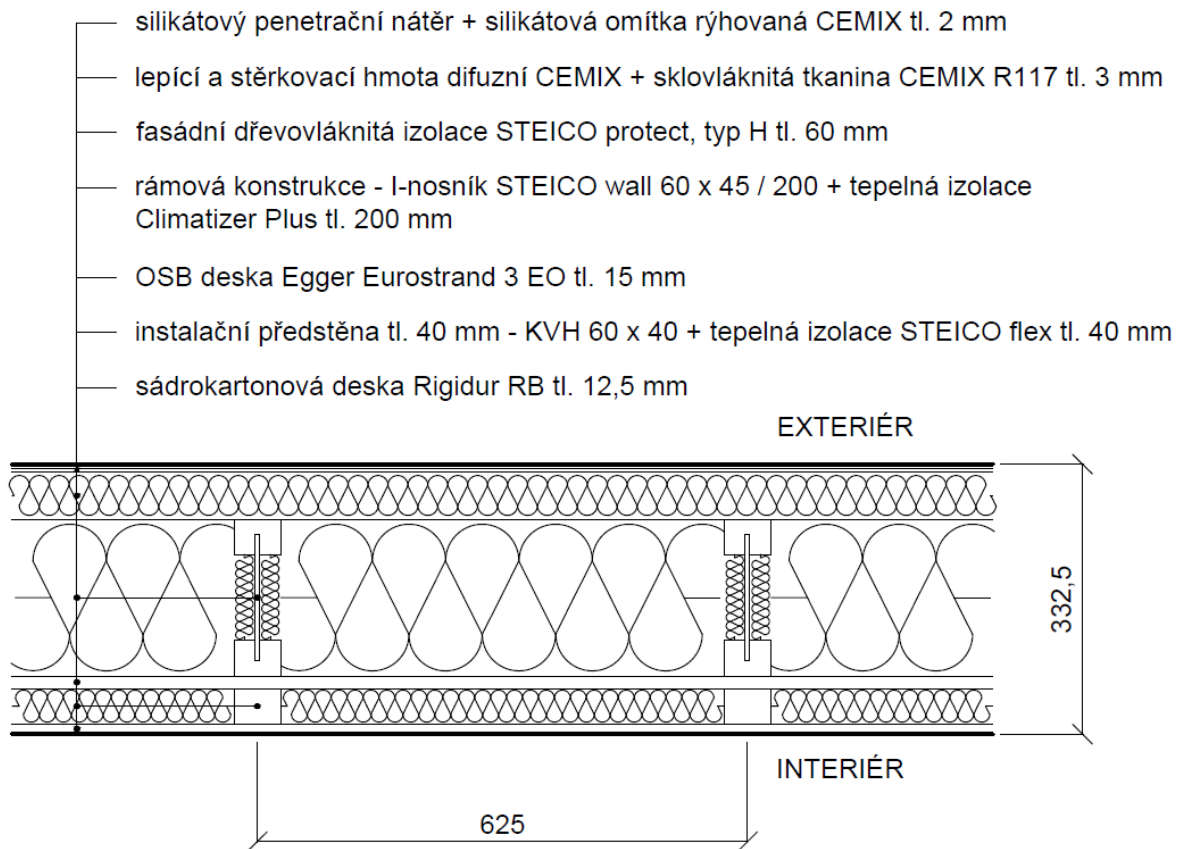
Jak vidíme z grafu, hodnota tepelného odporu I-nosníku je při tloušťce 200 mm o více než 60 % vyšší než KVH hranolu. Tepelná izolace STEICO flex má asi 2,5 krát vyšší tepelný odpor než dřevěný I-nosník. Je tedy jasné, že při použití I-nosníku místo KVH hranolu do obvodové stěny výrazně zvýšíme tepelný odpor celé konstrukce, resp. snížíme hodnotu součinitele prostupu tepla. I-nosníky se navíc dají použít v mnohem větších tloušťkách než

KVH hranoly, což vede k markantnímu snížení hodnoty U. Jen připomínám, tepelný odpor R je obrácenou hodnotou součinitele prostupu tepla U (zde jsme však porovnávali jen uvedené vrstvy ve stejných tloušťkách, ne celou konstrukci), to znamená, čím větší hodnota tepelného odporu R, tím lepší tepelně izolační schopnost.

Dřevěné I-nosníky STEICO wall se vyrábějí v šířkách od 160 do 400 mm, vzhledem k vysoké ceně fasádní izolace STEICO protect ve srovnání v podstatě s jakoukoliv vnitřní tepelnou izolací se rozhodně vyplatí použít co největší šířku dřevěného I-nosníku na úkor fasádní dřevovláknité izolace (to platí zejména proto, že z hlediska tepelně izolačních vlastností je rámovina s I-nosníkem lepší než fasádní izolace, tudíž se vyplatí ji zvětšovat na úkor fasádní izolace, u konstrukcí se sloupkem z KVH hranolu byla rámovina oproti fasádní izolaci z hlediska tepelně izolačních vlastností horší nebo přibližně stejná). Co se týče vnitřní izolace mezi I-nosníky, máme 2 možnosti. První možností je použít I-nosník s izolovanou stojinou a vnitřní izolaci dodávanou v rolích či deskách, jako např. dřevovláknitou izolaci STEICO flex, čedičovou minerální izolaci Isover FASSIL apod. Druhou, z mého pohledu vhodnější možností, je použít foukanou izolaci. Dnes se v podstatě každý druh izolace dá aplikovat foukáním - dřevovláknitá, minerální skelná, minerální čedičová, celulóza atd. Nevýhodou první možnosti je, že izolovaný I-nosník je dražší než neizolovaný, navíc pokud bychom to brali z hlediska provádění, foukáním nevznikají žádné napojení izolací, kde by při použití izolací dodávaných v rolích či deskách mohli vzniknout vzduchové mezery. Použijeme tedy tepelnou izolaci foukanou, která je pro I-nosníky jako stvořená. Nyní vymodelujeme naprosto stejnou obvodovou stěnu jako je DOK KVH 60 x 200 + 60 mm STEICO protect s Climatizer Plus, s tím, že místo KVH hranolů použijeme I-nosníky STEICO wall.

DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus

Skladba konstrukce



Obrázek 49 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:

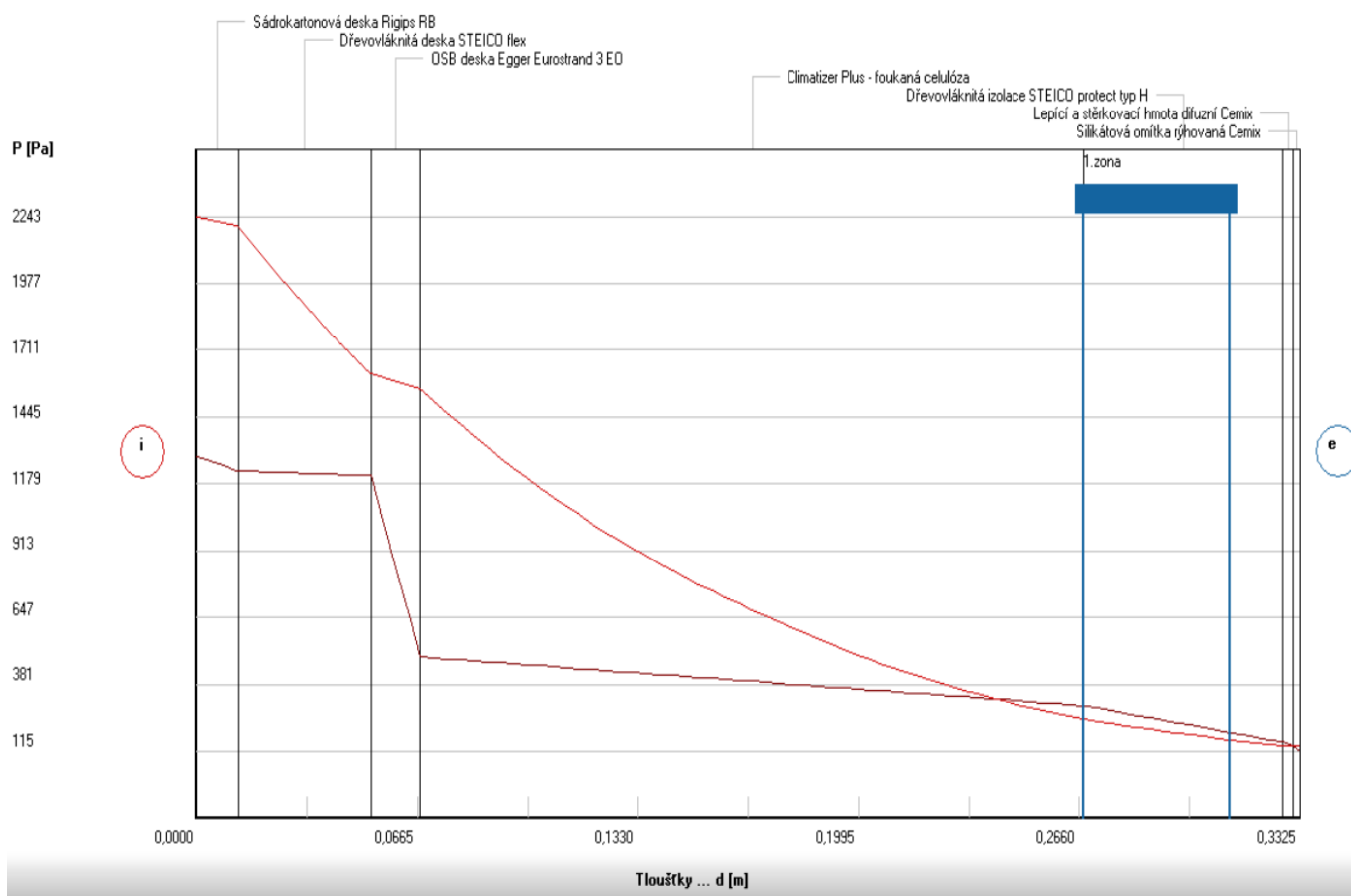
DOK KVH 200 + CLIM...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

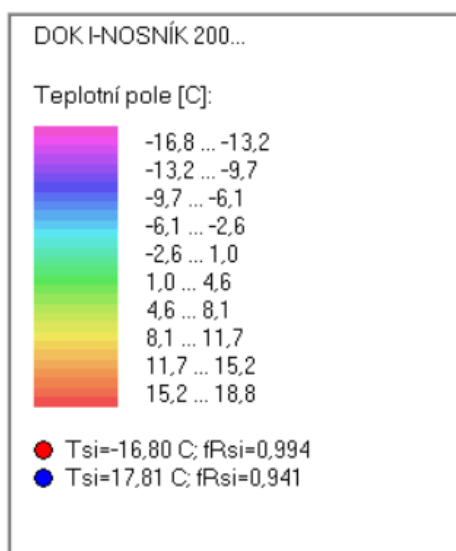
—	nasyc. tlak
—	teoret. tlak
—	skut. tlak
—	kond. zóna

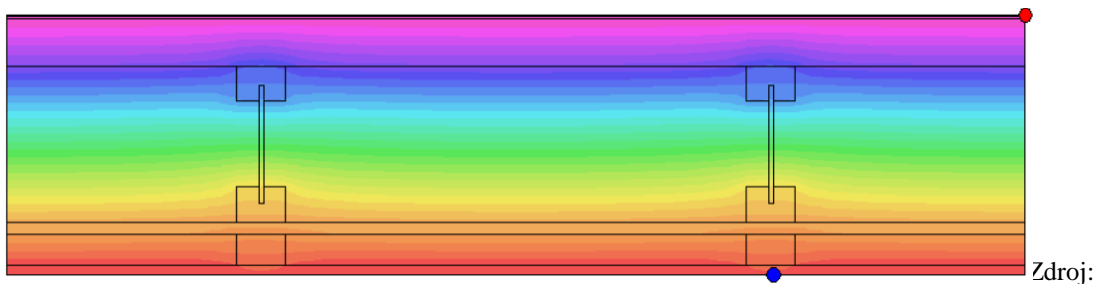


Graf 19 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:



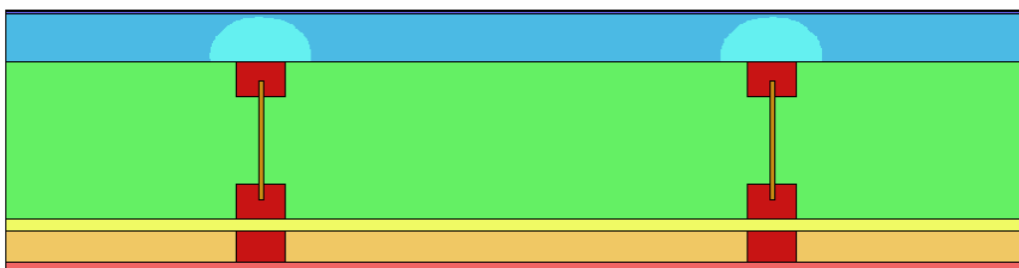


Obrázek 50 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

DOK HNOSNÍK 200...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry:
do kce: 1,23e-07 kg/m,s
z kce: 6,79e-08 kg/m,s
rozdíl: 5,54e-08 kg/m,s



Obrázek 51 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 36 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádkarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny STEICO flex 40 mm	76,8	m ²	90,3	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 mm	414,2	bm	165	2,51
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Climatizer Plus 200 mm	305,3	m ³	1650	0,185
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ H 60 mm	445,0	m ²	445	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	8,2	ks	0,63	13
Lepící a sěrkovací hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	1 845			
Montáž fasádní izolace	80			
CENA CELKEM	1 925 Kč			

Tabulka 37 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus			
Součinitel prostupu tepla U (W/m².K) dle	Vypočítaný U	Požadovaný U_{N,20}	Doporučený pro PD U_{pas,20}

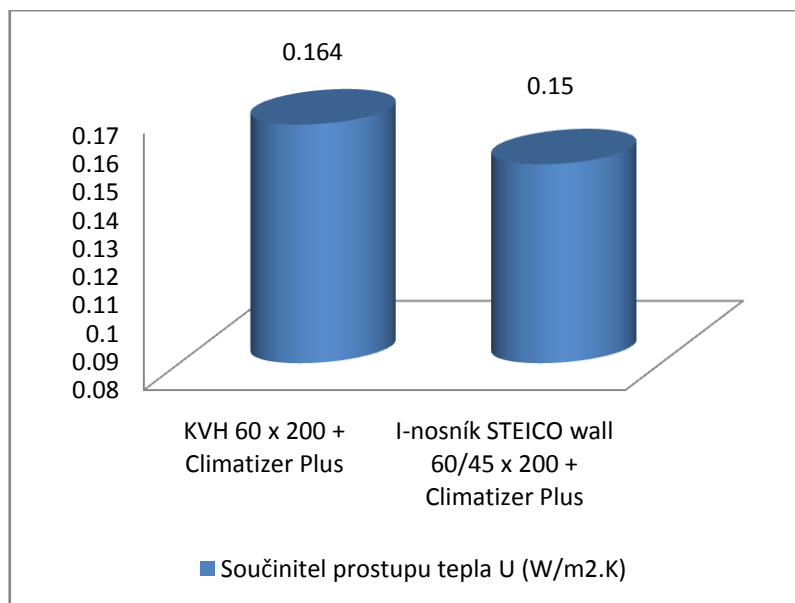
ČSN 730540	0,15	0,3		0,12 – 0,18
		0,15 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,15 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)		10,69 ≤ 17,81 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,81		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,941 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,941	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	ANO	$4,132 \cdot 10^{-8}$	NE	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,2 · 10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	316,1			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	13,8			
Tloušťka konstrukce (mm)	332,5			
Cena za m ² konstrukce (Kč/m ² bez DPH)	1 925			

Vidíme, že konstrukce vyhověla ve všech hodnocených ukazatelích.

Porovnání obvodové stěny s I-nosníkem STEICO wall s obvodovou stěnou z KVH hranolů

Při porovnání budeme hodnotit součinitel prostupu tepla a cenu

11.1.1 Součinitel prostupu tepla

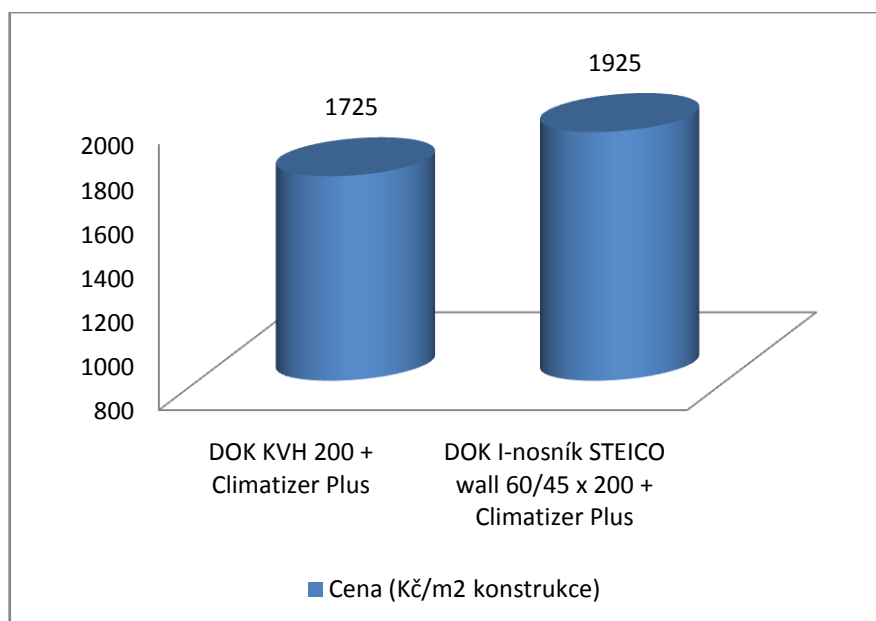


Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla DOK s KVH hranolem a dřevěným I-nosníkem

Zdroj: Vlastní zpracování

Z grafu vidíme, že pouhou změnou nosného prvku z KVH hranolu na dřevěný I-nosník jsme výrazně snížili hodnotu součinitele prostupu tepla U. Vidíme zde tedy jaký vliv má nahrazení KVH hranolu I-nosníkem na celkový součinitel prostupu tepla obvodové stěny.

11.1.2 Cena



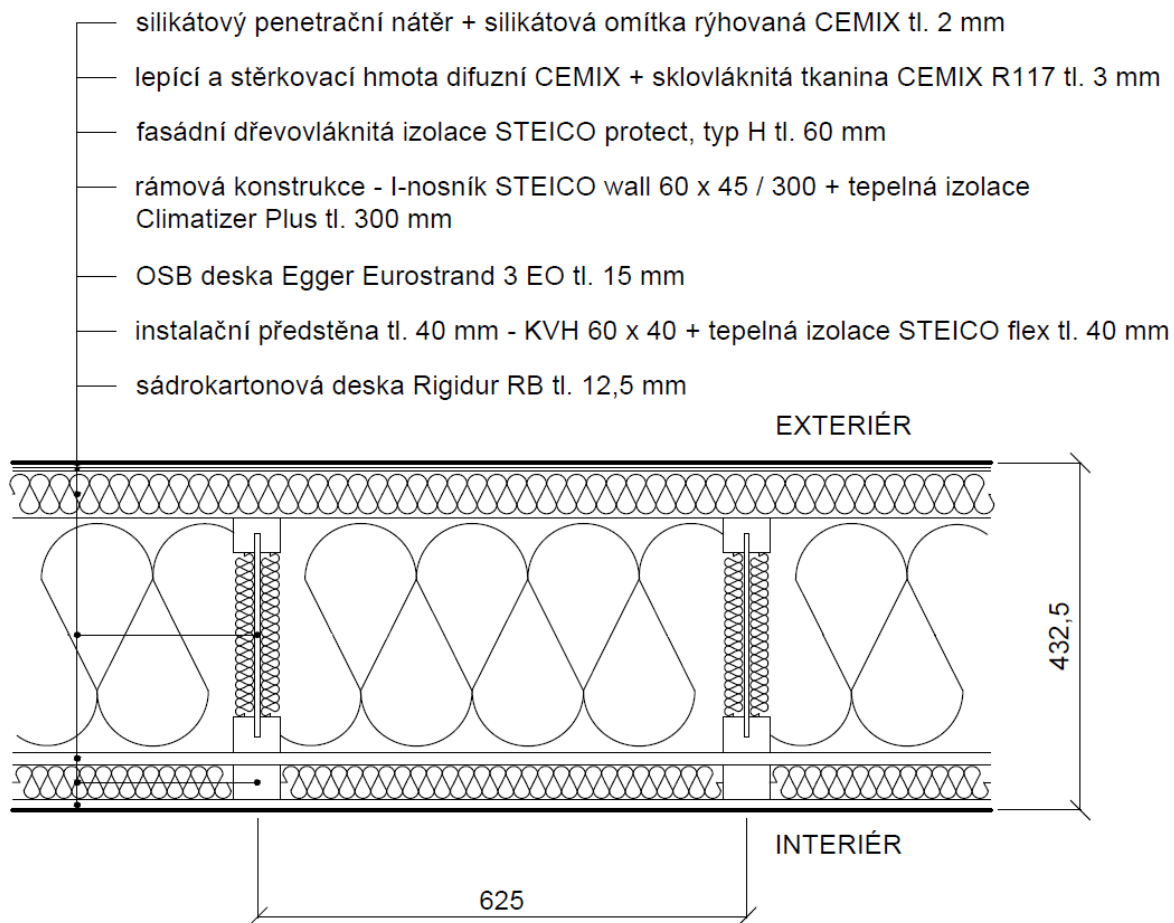
Porovnání ceny za m² konstrukce DOK s KVH hranolem a dřevěným I-nosníkem

Dřevěné I-nosníky jsou samozřejmě z důvodu náročnější výroby dražší než KVH hranoly, to se promítá do vyšší ceny za m² konstrukce. Pokud bychom porovnávali pouze tyto 2 konstrukce, musela by se vypočítat doba návratnosti investice při použití dřevěných I-nosníků, které by vykazovaly nižší náklady na vytápění, tedy nižší provozní náklady.

Zde jsme zkoumali porovnání I-nosníku s dřevěným KVH hranolem, abychom mohli přímo kvantifikovat dopad na součinitel prostupu tepla a rovněž na cenu při substituci KVH hranolu I-nosníkem. Nicméně, jak jsme již uvedli, výhoda dřevěných I-nosníků nespočívá jen v nižším tepelném mostu oproti KVH hranolu, ale rovněž v možnosti použití mnohem větších tloušťek I-nosníků ve srovnání s KVH hranoly, kdy se při větších tloušťkách I-nosníku tepelný most ještě více zmenšuje, protože pásnice mají rozměry stejné, ale prodlužuje se šířka stojiny.

Pro dosažení spodní a nižší hranice doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla obvodové stěny pro pasivní domy tedy nyní použijeme stejnou konstrukci jako doposud, tedy DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 200 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus s tím rozdílem, že místo I-nosníku 200 mm použijeme I-nosník 300 mm.

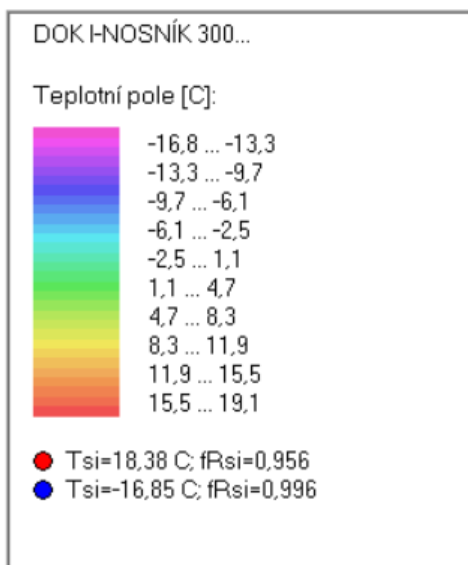
DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 300 mm + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus

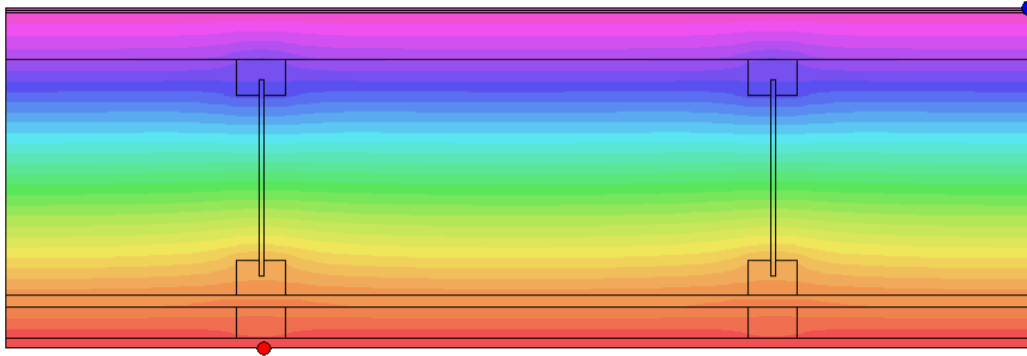


Obrázek 52 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:









Obrázek 53 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

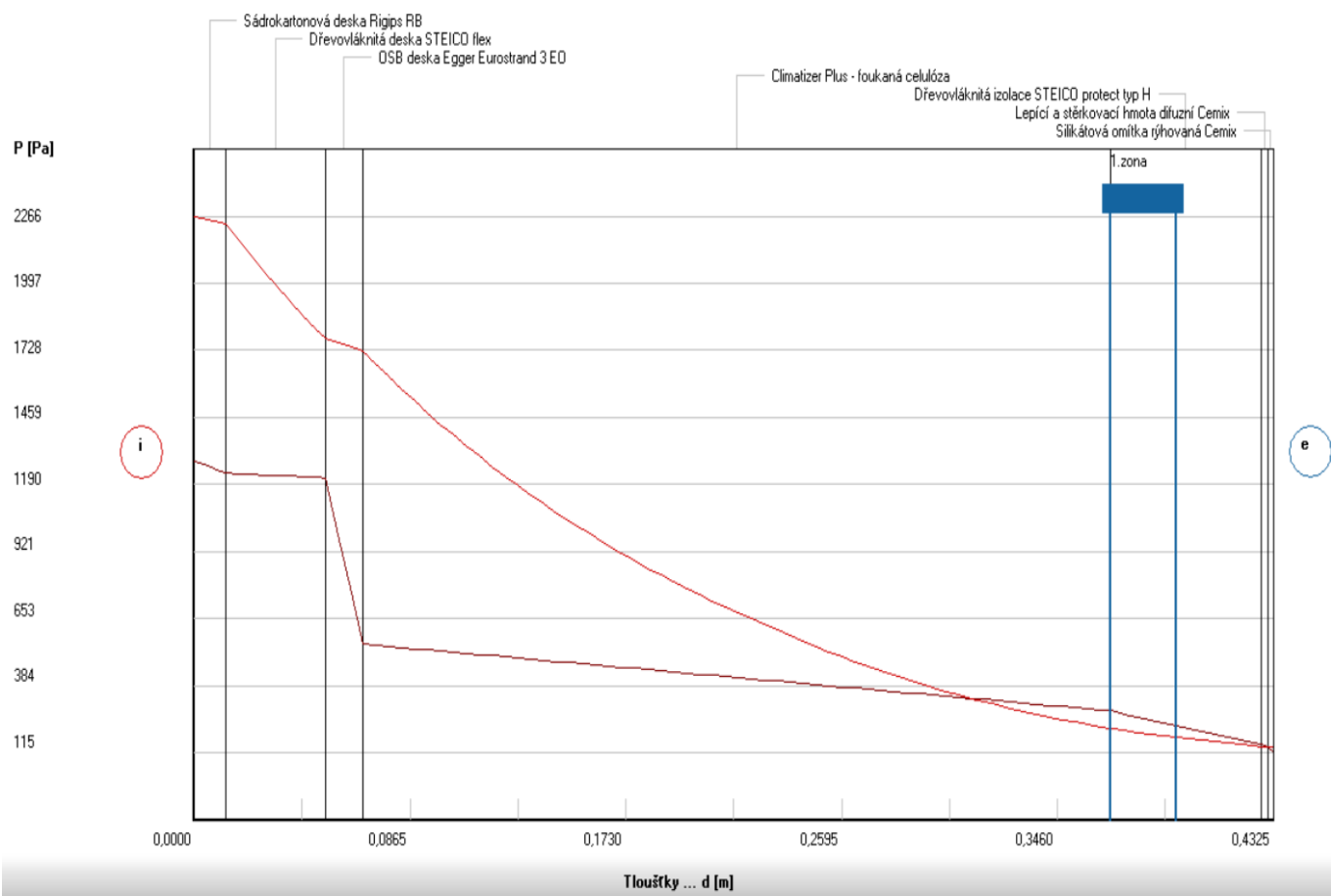
Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

I-NOSNÍK 300 + CLI...	

Rozložení tlaků:	

Okr. podmínky:	
Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %
	nasyc. tlak
	teoret. tlak
	skut. tlak
	kond. zóna



Graf 20 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DOK HNOSNÍK 300...
Přibl.oblast kondenzace:
$T_e = -17,0 \text{ C}$
Toky vodní páry:
do kce: $1,16e-07 \text{ kg/m,s}$
z kce: $5,75e-08 \text{ kg/m,s}$
rozdíl: $5,90e-08 \text{ kg/m,s}$



Obrázek 54 Oblasť kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 50 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 38 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnara.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 300 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádkartón RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny STEICO flex 40 mm	76,8	m ²	90,3	0,85
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 15 mm	128,4	m ²	128,43	1
I-nosník STEICO wall 60/45 x 300 mm	464,4	bm	185	2,51
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
Vnitřní tep izolace Climatizer Plus 200 mm	467,8	m ³	1650	0,2835
Fasádní tep izolace STEICO protect, typ H 60 mm	445,0	m ²	445	1
Spony galvanicky zinkované 2 x 27 mm	8,2	ks	0,63	13
Lepící a stěrkovací hmota difuzní CEMIX 3 mm	87,6	kg	21,9	4
Sklovláknitá tkanina CEMIX R117	25,4	m ²	23,1	1,1

Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka rýhovaná CEMIX 2 mm	113,3	kg	51,5	2,2
Cena materiál celkem	2 058			
Montáž fasádní izolace	80			
CENA CELKEM	2 138 Kč			

Tabulka 39 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

DOK I-nosník STEICO wall 60/45 x 300 + 60 mm STEICO protect s vnitřní izolací Climatizer Plus				
Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2 \cdot K$) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
		0,111	0,3	
		0,111 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,111 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu ($^{\circ}C$) ($\theta_{ai} = 20^{\circ}C$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} ($^{\circ}C$)		10,69 ≤ 18,38 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
		10,69	18,38	
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,956 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
		0,956	0,840	
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($kg/m^2 \cdot s$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	NESPLŇUJE
		ANO	4,563.10 ⁻⁸	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 kg/m^2 \cdot a$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $kg/(m^2 \cdot a)$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
		NE	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	1,4.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	832,7			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	17,5			

Tloušťka konstrukce (mm)	432,5
Cena za m² konstrukce (Kč/m² bez DPH)	2 138

Vidíme, že konstrukce vyhověla ve všech hodnocených ukazatelích až na kondenzaci uvnitř konstrukce dle požadavků ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek. Z 2D výstupu kondenzace vidíme, že pásnice z vnější strany není ohrožena kondenzací jak by se mohlo zdát z výstupu z 1D. Nicméně vidíme, že dochází ke kondenzaci v oblasti napojení pásnice a stojiny (červeně zakroužkováno na obrázku 54), což je samozřejmě nežádoucí, **je ohrožena funkce konstrukce, požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek při uvažování μ OSB desky = 100 není splněn**. Nicméně musíme podotknout, že jsme pro výpočty snížili faktor difuzního odporu OSB desky z původní hodnoty $\mu = 200$ na $\mu = 100$. Pro tuto hodnotu jsem se rozhodl na základě co nejpřísnějšího hodnocení. Expert od firmy KNAUF INSULATION tvrdil, že při precizním provedení se můžeme dostat na hodnotu 70 %. Nyní tedy zkusíme uvažovat pro výpočet 70 % původní hodnoty faktoru difuzního odporu OSB desky, tedy $\mu = 140$ a uvidíme, jak se kondenzace změní.

LEGENDA:

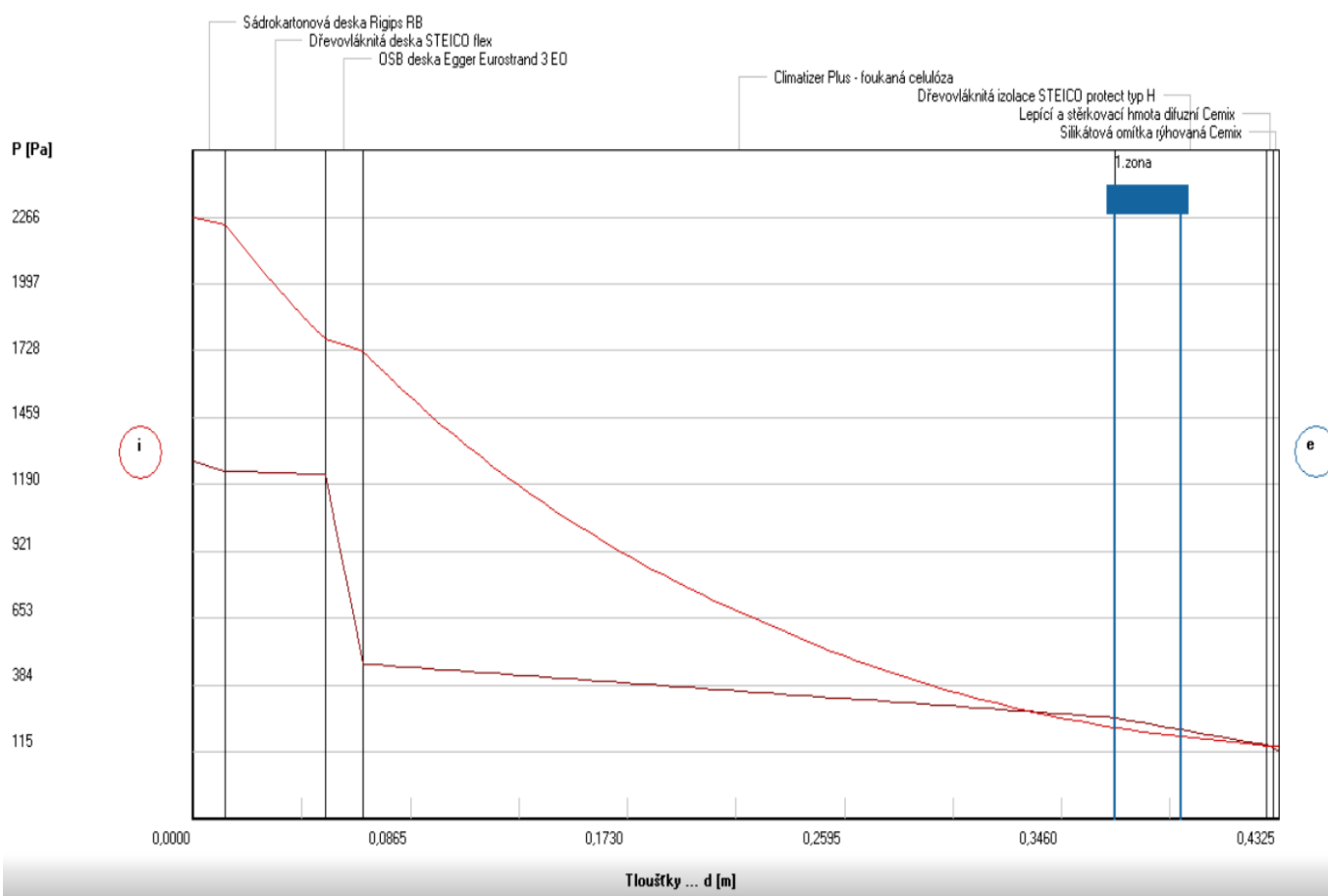
DOK I-NOSNÍK 300 M...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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



Graf 21 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ OSB desky na 70% - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DOKUMENTÁČNÍK 300...
Přibl.oblast kondenzace:
$T_e = -17,0\text{ C}$
Toky vodní páry:
do kce: $9,23\text{e-}08\text{ kg/m.s}$
z kce: $5,72\text{e-}08\text{ kg/m.s}$
rozdíl: $3,51\text{e-}08\text{ kg/m.s}$



Obrázek 55 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ OSB desky na 70 % – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Při použití hodnoty faktoru difuzního odporu OSB desky $\mu = 140$ stoupl difuzní odpor konstrukce z hodnoty $1,4 \cdot 10^{10}$ m/s (při uvažování μ OSB desky 100) na hodnotu $1,7 \cdot 10^{10}$ m/s. Jak vidíme z grafu 1 D, kondenzační zóna se nezměnila, avšak změnilo se množství kondenzující vodní páry v konstrukci, a to z hodnoty $4,563 \cdot 10^{-8}$ kg/m².s na hodnotu $2,557 \cdot 10^{-8}$ kg/m².s a rovněž můžeme z 2D grafického výstupu kondenzace vidět, že ke kondenzaci ve spojení pásnice a stojiny nedochází, není tedy ohrožena funkce konstrukce, **požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek je splněn.**

Vyhodnocení

Pokud bychom uvažovali s faktorem difuzního odporu OSB desky $\mu = 100$ docházelo by k ohrožení funkce konstrukce vlivem kondenzace ve spojení pásnice a stojiny, požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 by tedy nebyl splněn. Avšak při uvažování OSB desky $\mu = 140$ ke kondenzaci v napojení pásnice na stojinu nedochází, funkce konstrukce tedy není ohrožena a požadavek je splněn. Celkově tedy můžeme říci, že při uvažování faktoru difuzního odporu OSB desky $\mu = 140$ bychom mohli použít OSB tl. 15 mm, větší jistota by však byla při použití OSB desky tl. 18 mm, jejíž ekvivalentní difuzní tloušťka by při uvažování $\mu = 116,7$ byla stejná jako u OSB desky tl. 15 mm s uvažováním $\mu = 140$. Nicméně ještě se zastavme u součinitele prostupu tepla. Jak vidíme z tabulky, jeho hodnota je $U = 0,111$ W/m².K, což je hodnota nižší než je spodní hranice doporučené hodnoty U obvodové stěny pro pasivní domy dle ČSN 730540-2, která

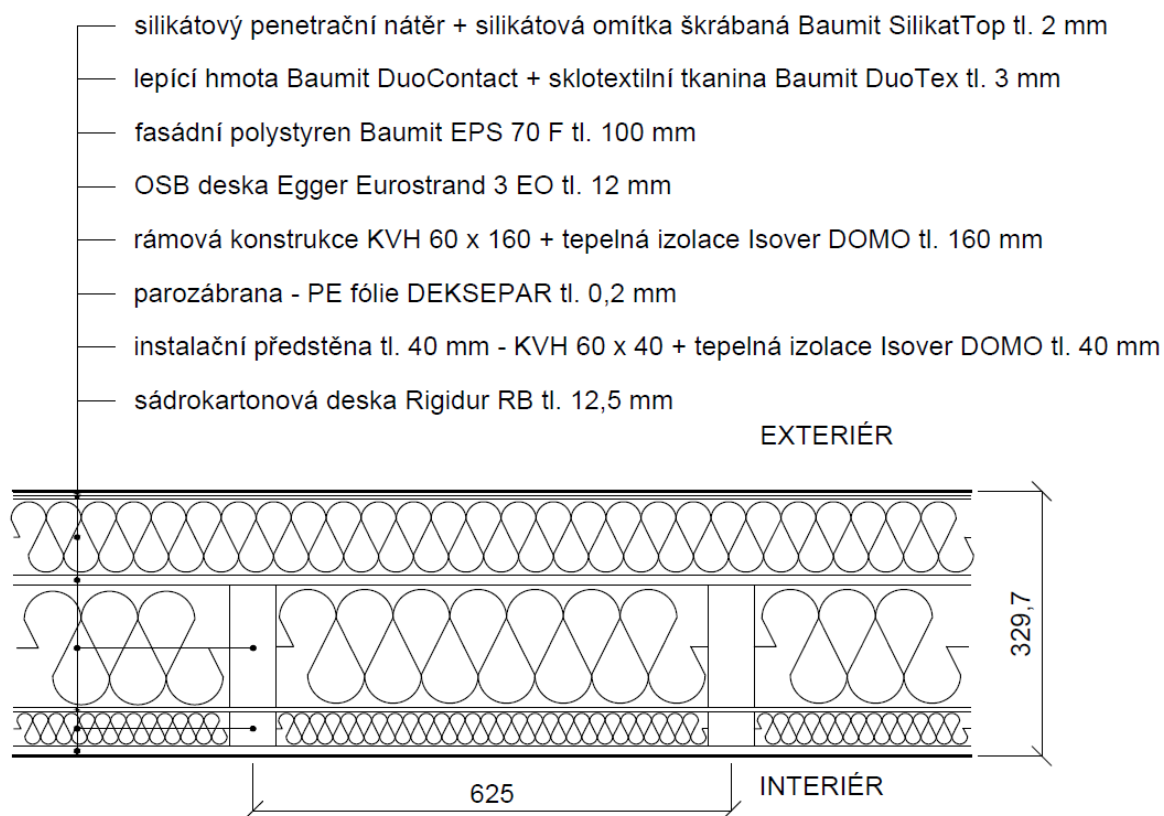
je $U = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Můžeme tedy říci, že tuto konstrukci bychom mohli bez problému použít i pro tu nejmenší pasivní budovu.

12 ANALÝZA DIFUZNĚ UZAVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH DOMŮ PRO VELKÉ BUDOVY

Nyní budeme analyzovat difuzně uzavřené konstrukce, konstrukce budou s jednostranným opláštěním v podobě OSB desky.

DUK KVH 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO

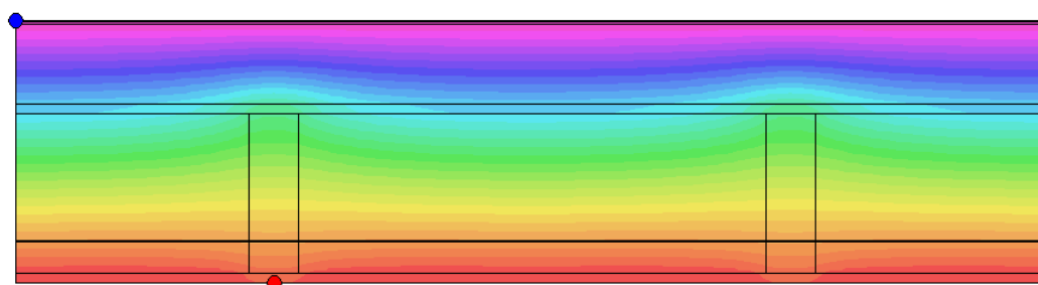
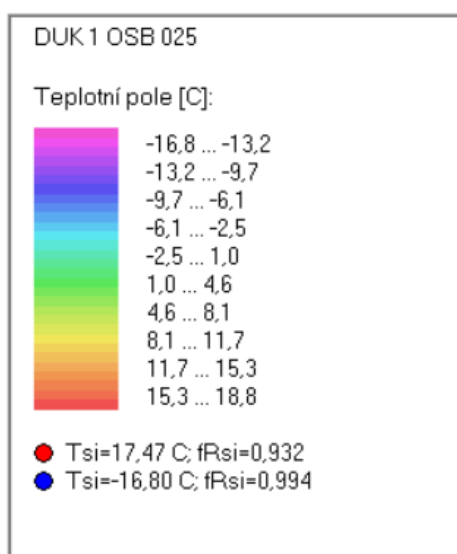
Skladba konstrukce



Obrázek 56 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 57 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

12.1.1 Kondenzace uvnitř konstrukce při uvažování 100 % účinnosti parozábrany (neponížena hodnota μ)

LEGENDA:

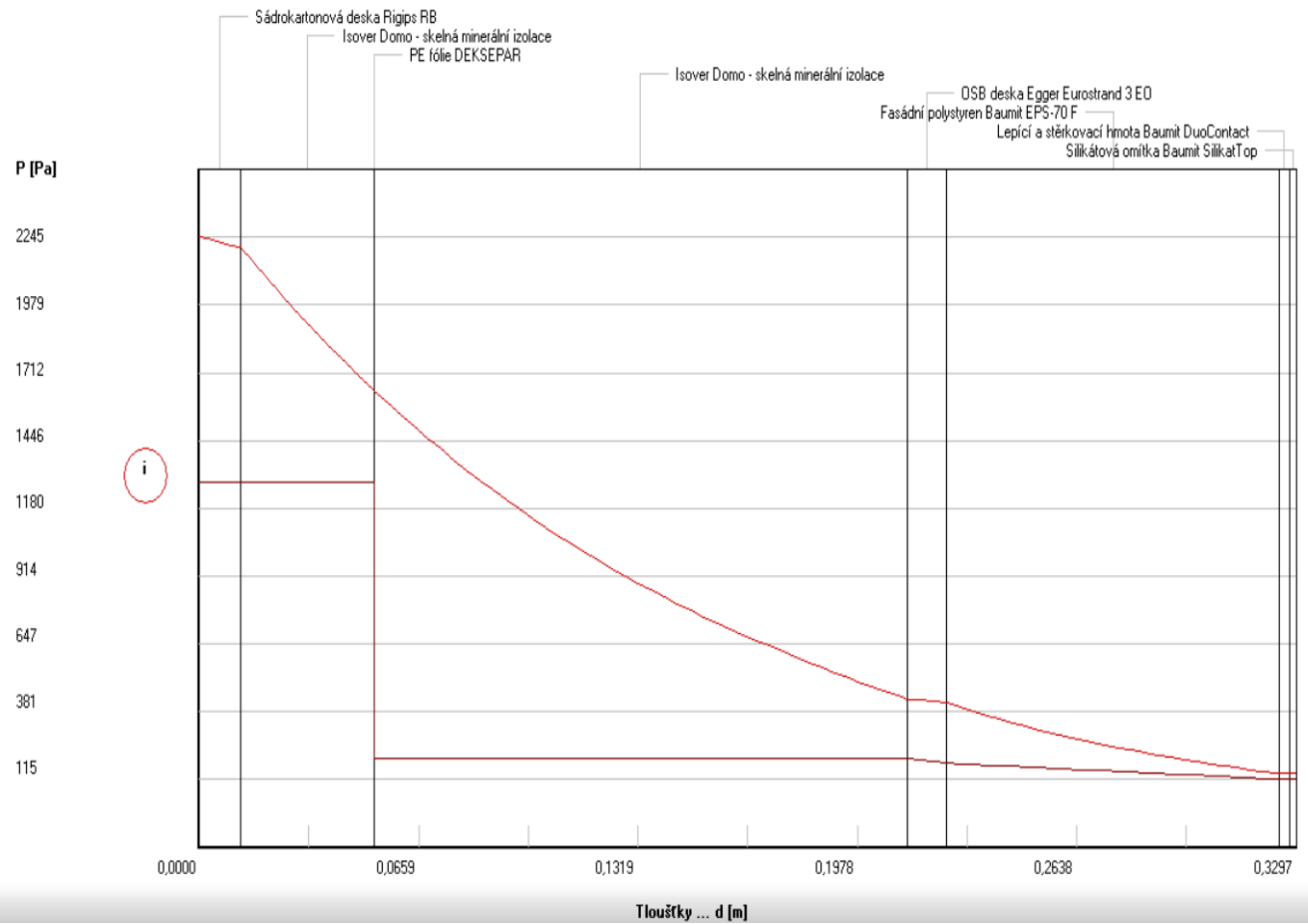
DUK KVH 160 1 OSB ...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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



Graf 22 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při uvažování μ parozábrany na 100 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

Tabulka 40 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DUK KVH 60 x 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384

Tep. izolace předstěny Isover DOMO 40 mm	36,6	m ²	43	0,85
pe folie deksepar 0,2 mm	10,1	m ²	10,06	1
Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,0059923
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Vnitřní tep izolace Isover DOMO 160 mm	144,5	m ²	170	0,85
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 12 mm	102,8	m ²	102,81	1
Fasádní polystyren Baumit EPS 70 F 100 mm	120,0	m ²	120	1
Hmoždinky STR H 60x140 mm	77,4	ks	12,9	6
Zátky STR EPS	9,6	ks	1,6	6
Lepící a stěrková hmota Baumit DuoContact	35,6	kg	3,96	9
Sklotextilní tkanina Baumit DuoTex	21,8	m ²	19,8	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop 2 mm	95,3	kg	43,3	2,2
Cena materiál celkem	1 027			
Montáž parozábrany	30			
Montáž vnitřní izolace	50			
Montáž fasádní izolace	125			
CENA CELKEM	1 232 Kč			

Tabulka 41 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

DUK KVH 60 x 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO				
Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2.K$) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,154	0,3		0,12 – 0,18
		0,154 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,154 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu ($^{\circ}C$) ($\theta_{ai} = 20^{\circ}C$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} ($^{\circ}C$)		10,69 ≤ 17,47 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,47		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,932 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,932	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($kg/m^2.s$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{ca} = 0 kg/m^2.a$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $kg/(m^2.a)$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	4.10 ¹¹			
Teplotní útlum N_y (-)	135			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	5,7			
Tloušťka konstrukce (mm)	329,7			
Cena za m^2 konstrukce (Kč/ m^2 bez DPH)	1 232			

Při uvažování 100 % účinnosti parozábrany v konstrukci ke kondenzaci podle požadavků ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek nedochází, množství difundující vodní páry je $g = 3,137.10^{-9} kg/m^2.s$, požadavek je

tedy splněn. Nicméně parozábrana se vždy nějak poškodí kotvením, proto musíme uvažovat ponížený faktor difuzního odporu parozábrany, základní projektový předpoklad je 10 % původní hodnoty faktoru difuzního odporu parozábrany, jedná se o obecný předpoklad, nikoliv však požadavek. Proto nyní provedeme výpočet kondenzace uvnitř konstrukce s uvažováním 10 % hodnoty μ parozábrany, to znamená, že se tato hodnota změní z $\mu = 345\ 000$ na $\mu = 34\ 500$.

12.1.2 Kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 %

LEGENDA:

DUK KVH 160 1 OSB ...

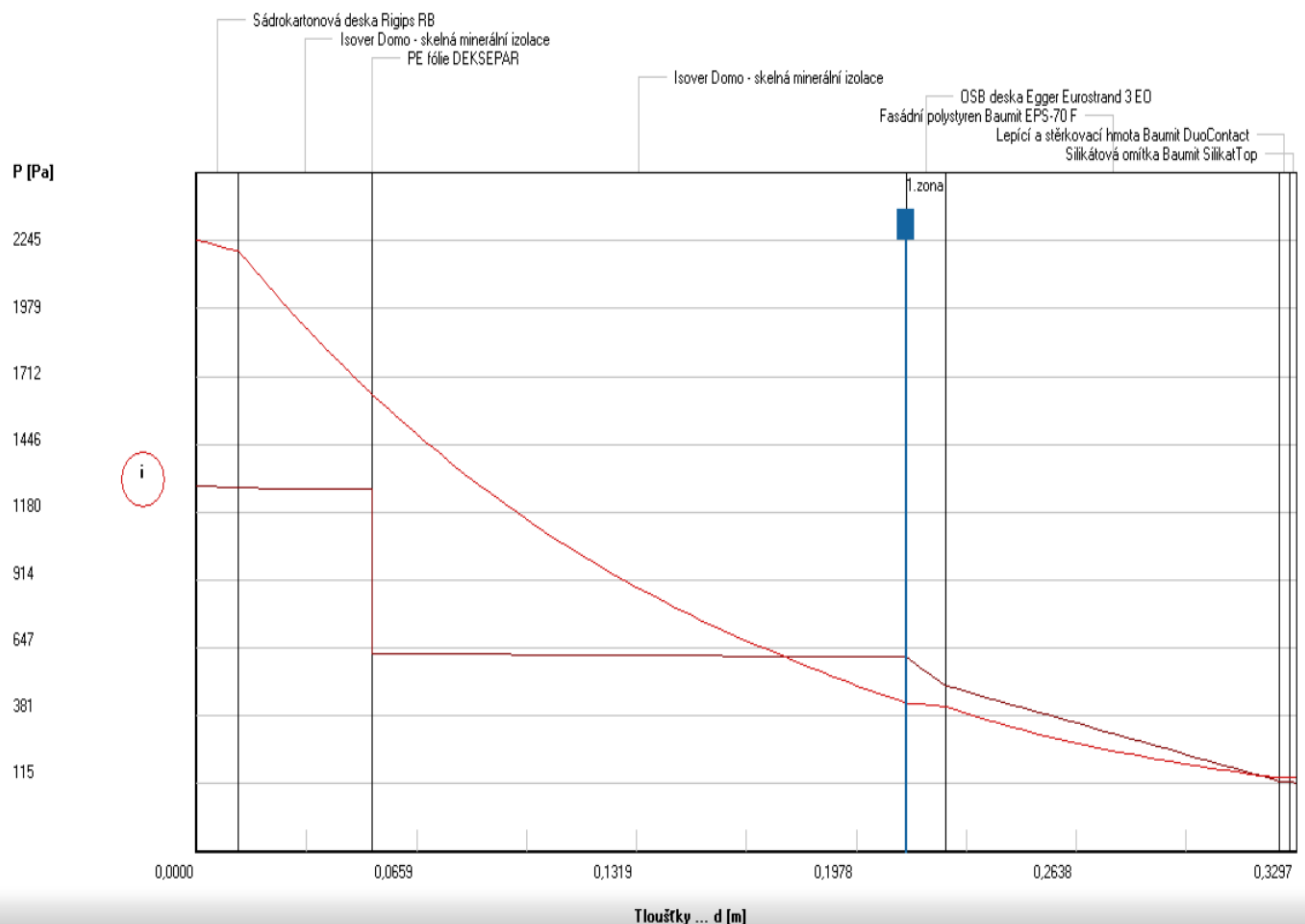
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540

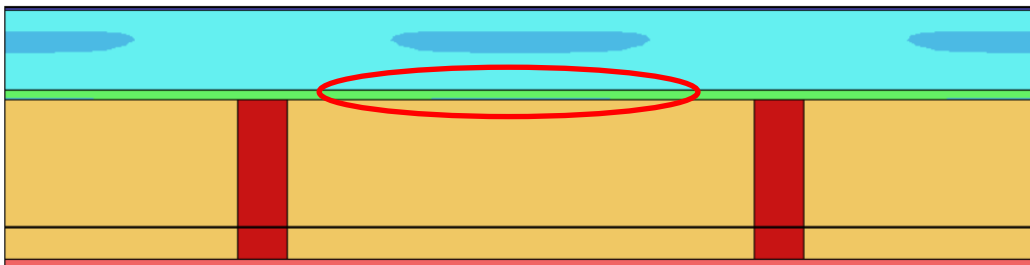


Graf 23 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DUK 1 OSB 013 PO...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry: do kce: 2,95e-08 kg/m.s z kce: 1,51e-08 kg/m.s rozdíl: 1,44e-08 kg/m.s



Obrázek 58 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Při ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na hodnotu 10 %, tedy z původní hodnoty $\mu = 345\,000$ na hodnotu $\mu = 34\,500$ v konstrukci během modelového roku dle roční bilance ČSN EN ISO 13788 nedochází ke kondenzaci vůbec, požadavek je tedy splněn, avšak dle požadavků ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek ke kondenzaci uvnitř konstrukce dochází (množství kondenzující vodní páry je $1,173 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$) a to na vnějším opláštění, tedy na OSB desce, což je nepřijatelné,

kondenzace tedy ohrožuje funkci konstrukce, **můžeme tedy konstatovat, že při ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 % konstrukce nesplní požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek.**

Tento standardní předpoklad ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 % jeho původní hodnoty platí již dlouhou dobu, navzdory tomu, že se materiály neustále vyvíjejí a jejich vlastnosti zlepšují. Je tedy otázkou, nakolik je tento předpoklad realný, odpověď bychom samozřejmě dostali přímým měřením (opět připomínám, že vždy záleží na provedení). Expert od firmy KNAUF INSULATION mi sdělil, že dávají 50 let záruku na jejich parozábranu LDS 100 (PE fólie), výsledky jejich měření prý ukázali, že po aplikaci faktor difuzního odporu parozábrany poklesl pouze na cca 40 %. Je jasné, že je parozábrana náchylná k poškození mnohem více oproti jiným materiálům, nicméně toto je taková ukázka, že nic není tak černé, jak by se mohlo zdát. Záleží samozřejmě o jakou parozábranu se jedná, zda jde o PE fólii nebo Al fólii a i v rámci těchto materiálů jsou rozdíly. Velmi mnoho záleží, jak se parozábrana provede, výrobci doporučují (většinou spíše požadují), aby se parozábrana nepoškozovala kotvícími prostředky, což je ale velmi obtížné splnit, ba skoro nemožné, osobně nevím, jak by to šlo provést (lepení?...těžko říci, jestli by to bylo možné). Nicméně za správné provedení parozábrany můžeme považovat dodržení požadovaných přesahů při napojování jednotlivých pásů parozábrany a jejich přelepení předepsanou vzduchotěsnicí a parotěsnicí páskou (podobně se přelepují i např. OSB desky u DOK ve styčných spárách, kde můžeme použít např. AIR STOP pásku). Rovněž je nutné zbytečně nenadhodnocovat počet kotvících prostředků, přelepit je a pokud se parozábrana kdekoliv poškodí, je nutné předepsanou páskou místo rovněž přelepit. **S parozábranou se musí zacházet velmi opatrně, protože na ní stojí funkce celé konstrukce.** Dle konstatování experta od firmy KNAUF INSULATION tedy ponížíme faktor difuzního odporu parozábrany na hodnotu 25 %, což budeme uvažovat jako splnitelný předpoklad, budeme tedy počítat s hodnotou parozábrany $\mu = 86\ 250$.

12.1.3 Kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 25 %

LEGENDA:

DUK KVH 160 1 OSB ...

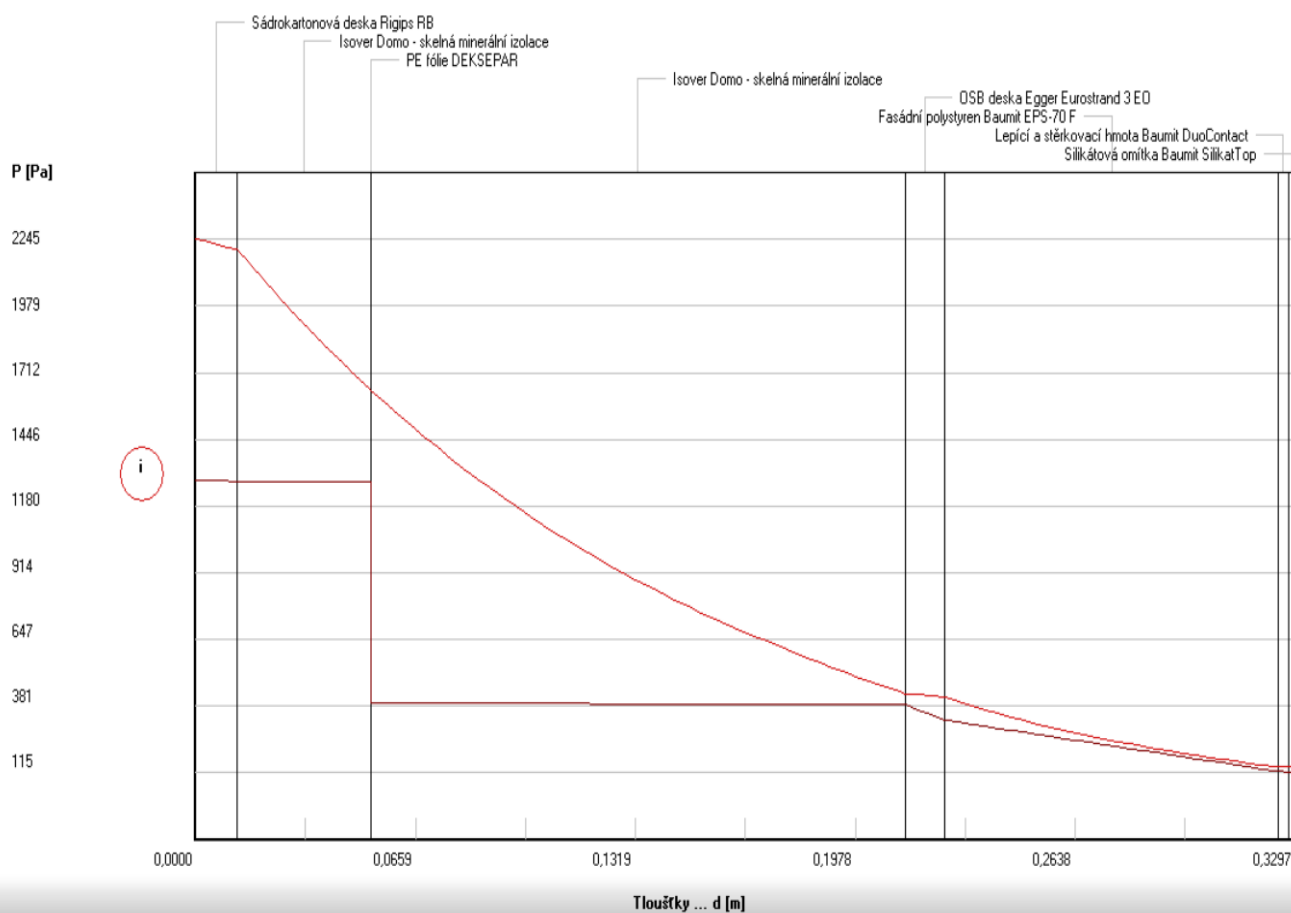
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



Graf 24 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 25 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPL0

Vidíme, že pokud snížíme faktor difuzního odporu parozábrany na 25 %, tak nedochází ke kondenzaci podle ČSN EN 13788 ani podle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek, kde množství difundující vodní páry konstrukcí je $g = 1,023 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, požadavky na kondenzaci uvnitř konstrukce jsou tedy splněny.

Vyhodnocení kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 a ČSN EN ISO 13788

Při uvažování 100 % účinnosti parozábrany nedocházelo ke kondenzaci během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788 ani podle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek. Při ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 %, což je standardní projektový předpoklad (nikoliv však požadavek), nedocházelo během modelového roku ke kondenzaci, ale docházelo ke kondenzaci při uvažování návrhových okrajových podmínek dle ČSN 730540-2, a to ke kondenzaci na OSB desce, desku řadíme do materiálů na bázi dřeva, tudíž je kondenzace na tomto prvku nepřípustná. Navíc OSB deska plní statickou funkci, případná kondenzace by mohla vést k degradaci a ztrátě statické funkce, **při ponížení μ parozábrany na 10 % tedy požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce není splněn. Nicméně, při uvažování 25 % účinnosti parozábrany nedochází ke kondenzaci během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788 ani podle požadavku ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek, při této hodnotě μ parozábrany by tedy byl požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce splněn. Je otázkou do jaké míry je reálné ponížení μ parozábrany na 10 %, ovšem ať tak či tak, každopádně je nutná kvalitní instalace parozábrany.**

Nyní uděláme obdobnou analýzu jako u difuzně otevřených konstrukcí, a sice budeme zkoumat, jaký vliv má tloušťka sloupku a použitá izolace mezi sloupky při porovnatelné hodnotě součinitele prostupu tepla U. U difuzně uzavřených konstrukcí se mezi sloupky nejčastěji používají 2 typy tepelných izolací – minerální skelná a minerální čedičová (kamenná), do konstrukcí tedy použijeme tyto 2 izolace, opět od firmy Isover a to Isover DOMO – minerální skelná a Isover FASSIL – minerální čedičová (kamenná). Budeme hodnotit obvodové stěny, kde tloušťka sloupku bude nejprve 160 mm se 100 mm

fasádního polystyrenu a poté bude tloušťka sloupku 200 mm s 60 mm fasádního polystyrenu. 1 konstrukci již máme zhodnocenou a sice konstrukci se sloupkem 60 x 160 mm s 100 mm fasádního polystyrenu a tepelnou izolací Isover DOMO. **Všechny konstrukce budou provedeny s jednostranným opláštěním v podobě OSB desky. Co se týče ponížení μ parozábrany, bude uvažováno ponížení na 10 %.**

DUK KVH 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL

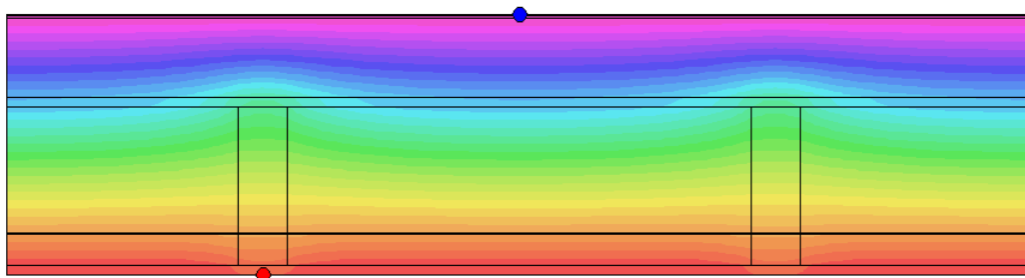
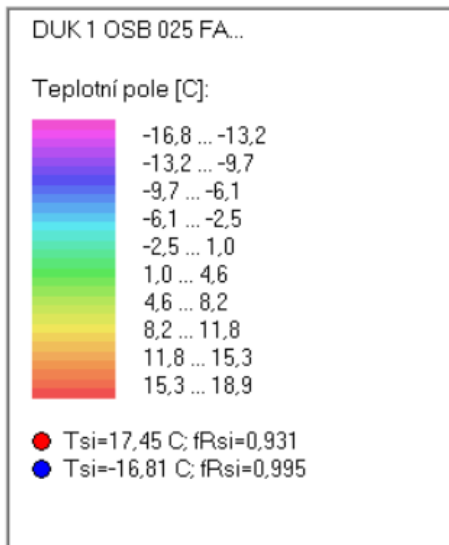
Skladba konstrukce



Obrázek 59 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 60 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

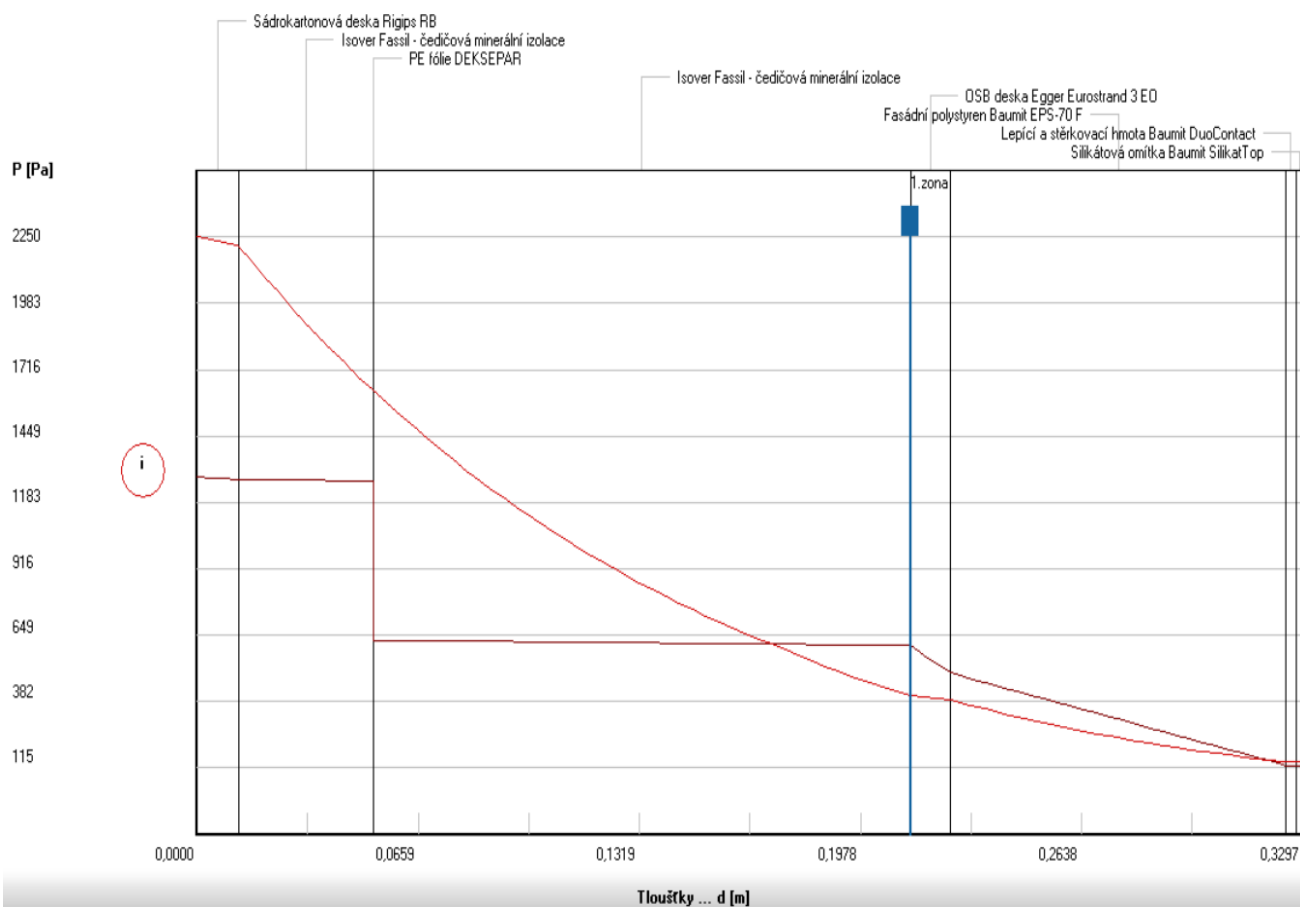
DUK KVH 160 1 OSB ...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

- nasyc. tlak
- teoret. tlak
- skut. tlak
- kond. zóna

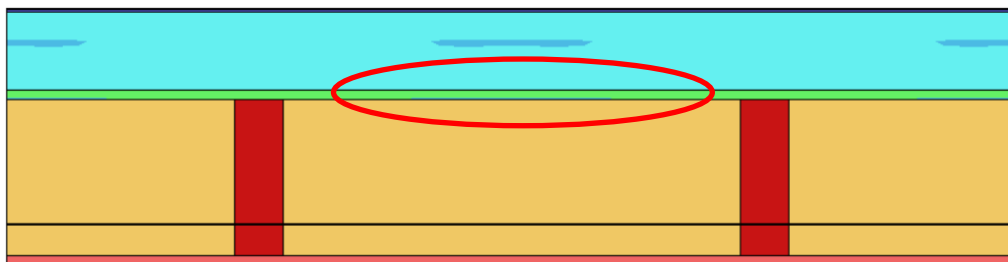


Graf 25 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DUK 1 OSB 013 FA...
Přibl.oblast kondenzace:
$T_e = -17,0\text{ C}$
Toky vodní páry:
do kce: $2,99\text{e-}08\text{ kg/m,s}$
z kce: $1,41\text{e-}08\text{ kg/m,s}$
rozdíl: $1,58\text{e-}08\text{ kg/m,s}$



Obrázek 61 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet..

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 42 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz, www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DUK KVH 60 x 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádkarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover FASSIL 40 mm	76,5	m ²	90	0,85
pe folie deksepar 0,2 mm	10,1	m ²	10,06	1
Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,0059923
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Vnitřní tep izolace Isover FASSIL 160 mm	304,3	m ²	358	0,85
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 12 mm	102,8	m ²	102,81	1
Fasádní polystyren Baumit EPS 70 F 100 mm	120,0	m ²	120	1

Hmoždinky STR H 60x140 mm	77,4	ks	12,9	6
Zátky STR EPS	9,6	ks	1,6	6
Lepící a stěrková hmota Baumit DuoContact	35,6	kg	3,96	9
Sklotextilní tkanina Baumit DuoTex	21,8	m ²	19,8	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop 2 mm	95,3	kg	43,3	2,2
Cena materiál celkem	1 227			
Montáž parozábrany	30			
Montáž vnitřní izolace	50			
Montáž fasádní izolace	125			
CENA CELKEM	1 432 Kč			

Tabulka 43 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

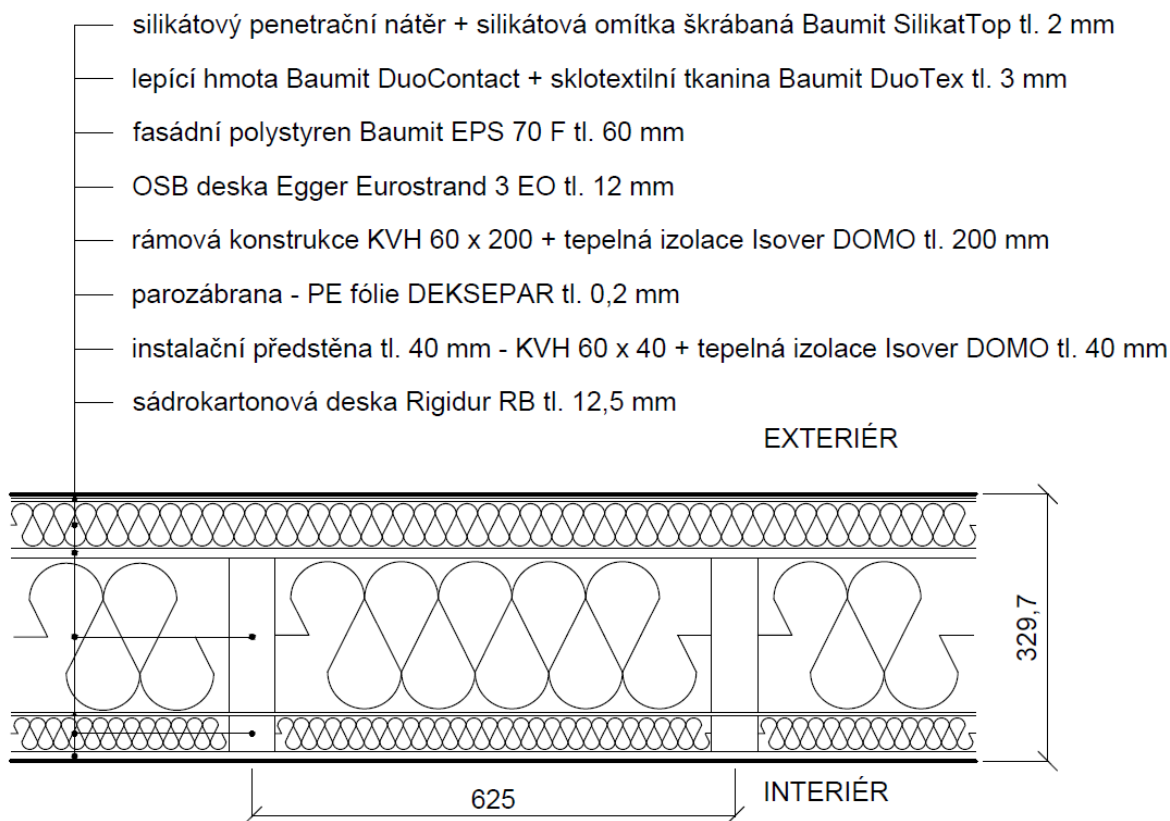
DUK KVH 60 x 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL			
Součinitel prostupu tepla U (W/m ² .K) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$	Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,147	0,3 0,147 ≤ 0,3 SPLŇUJE	0,12 – 0,18 0,147 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu (°C) ($\theta_{ai} = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} (°C)	10,69 ≤ 17,45 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,45	
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$	0,931 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,931	0,840	

Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	NESPLŇUJE
	ANO	$1,327 \cdot 10^{-8}$	ANO	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než $0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	6,7.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	175,6			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	7,5			
Tloušťka konstrukce (mm)	329,7			
Cena za m^2 konstrukce (Kč/ m^2 bez DPH)	1 432			

Vidíme, že při ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 % v konstrukci nedochází ke kondenzaci během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788, avšak dochází ke kondenzaci při uvažování návrhových okrajových podmínek a to na OSB desce, funkce konstrukce je tedy ohrožena, **při ponížení μ parozábrany na 10 % tedy konstrukce nesplní požadavek dle ČSN 730540-2.**

DUK KVH 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO

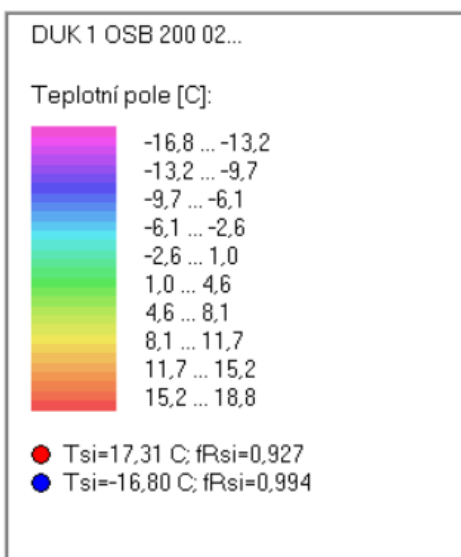
Skladba konstrukce

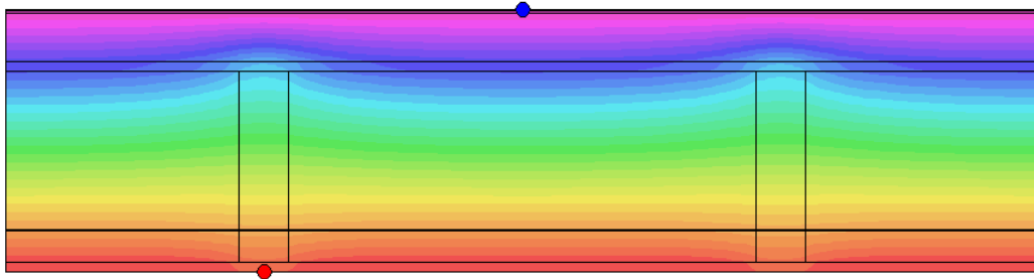


Obrázek 62 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:





Obrázek 63 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

DUK KVH 200 1 OSB ...

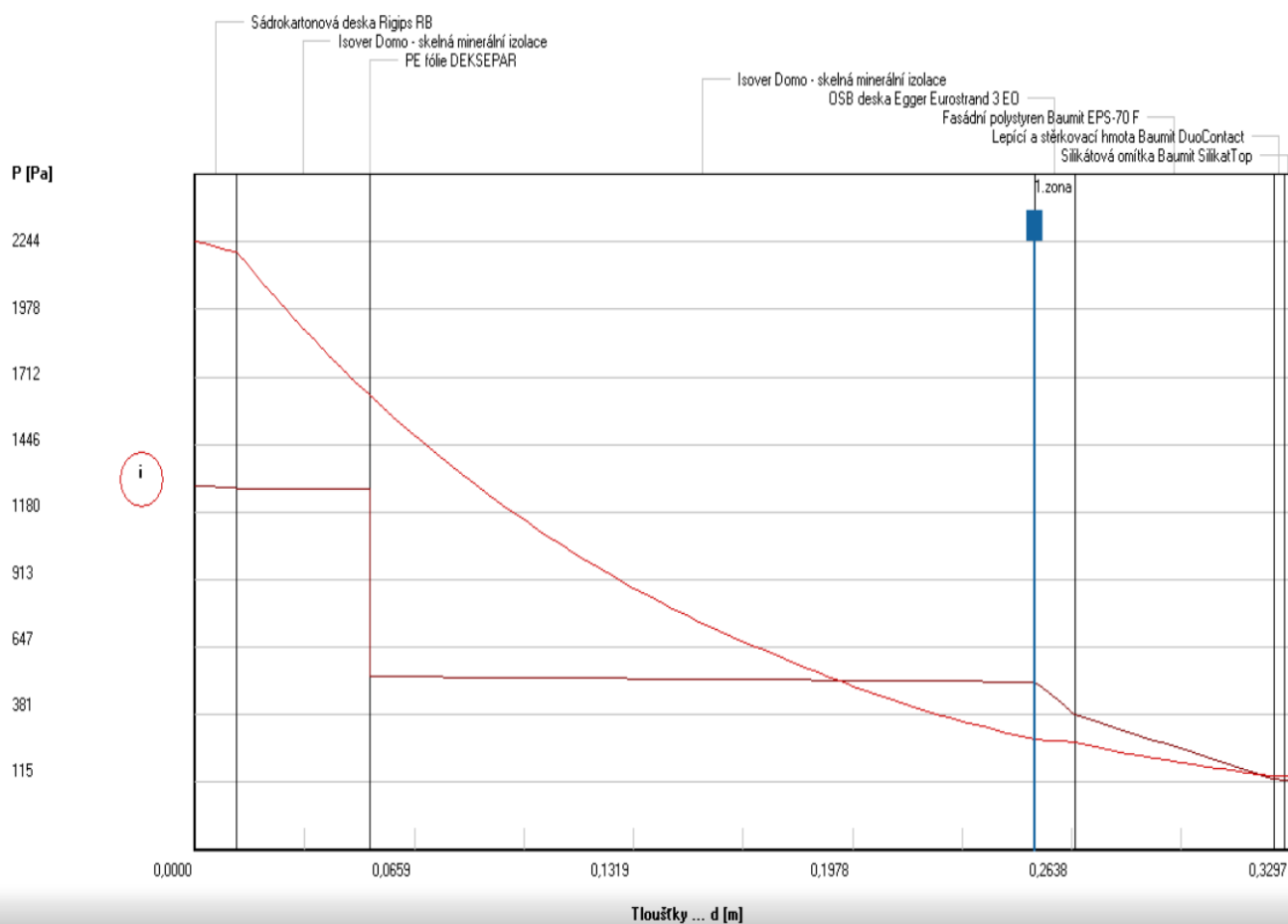
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

- nasyc. tlak
- teoret. tlak
- skut. tlak
- kond. zóna

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540

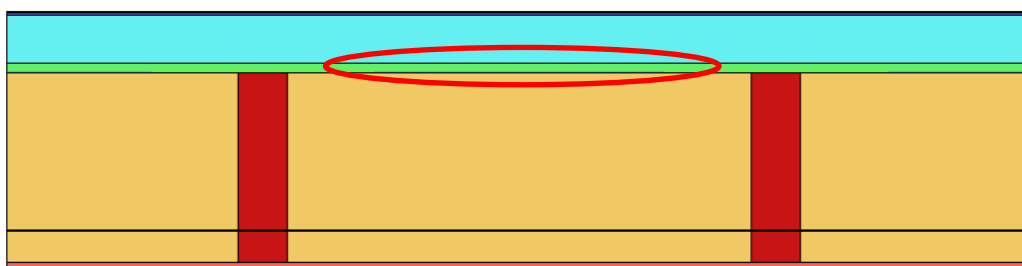


Graf 26 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DUK 1 OSB 200 01...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry: do kce: 3,43e-08 kg/m,s z kce: 1,16e-08 kg/m,s rozdíl: 2,26e-08 kg/m,s



Obrázek 64 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA.

Tabulka 44 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DUK KVH 60 x 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover DOMO 40 mm	36,6	m ²	43	0,85
pe folie deksepar 0,2 mm	10,1	m ²	10,06	1

Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049
Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Vnitřní tep izolace Isover DOMO 200 mm	180,2	m ²	212	0,85
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 12 mm	102,8	m ²	102,81	1
Fasádní polystyren Baumit EPS 70 F 60 mm	70,0	m ²	70	1
Hmoždinky STR H 60x100 mm	60,0	ks	10	6
Zátky STR EPS	9,6	ks	1,6	6
Lepící a stěrková hmota Baumit DuoContact	35,6	kg	3,96	9
Sklotextilní tkanina Baumit DuoTex	21,8	m ²	19,8	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop 2 mm	95,3	kg	43,3	2,2
Cena materiál celkem	1 061			
Montáž parozábrany	30			
Montáž vnitřní izolace	55			
Montáž fasádní izolace	120			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	1 306 Kč			

Tabulka 45 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

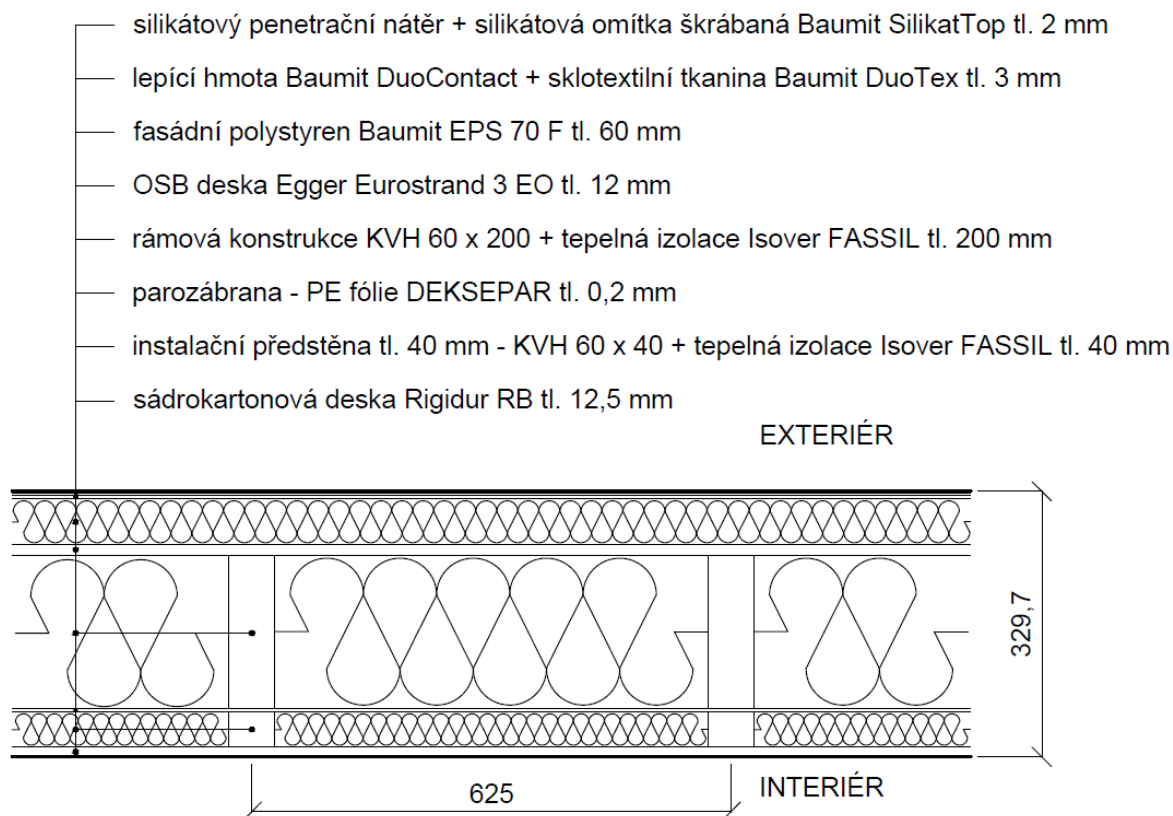
DUK KVH 60 x 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover DOMO				
Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2.K$) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,16	0,3		0,12 – 0,18
		0,16 ≤ 0,3 SPLŇUJE		0,16 ≤ 0,18 SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu ($^{\circ}C$) ($\theta_{ai} = 20^{\circ}C$, $\phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} ($^{\circ}C$)		10,69 ≤ 17,31 Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,31		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		0,927 ≥ 0,840 SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,927	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($kg/m^2.s$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	NESPLŇUJE
	ANO	1,846.10 ⁻⁸	ANO	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{c,a} = 0 kg/m^2.a$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než 0,10 $kg/(m^2.a)$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	5,8.10 ¹⁰			
Teplotní útlum N_y (-)	105,6			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	5,2			
Tloušťka konstrukce (mm)	329,7			
Cena za m^2 konstrukce ($Kč/m^2$ bez DPH)	1 306			

Vidíme, že při ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 % v konstrukci nedochází ke kondenzaci během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788, avšak dochází ke kondenzaci při uvažování návrhových okrajových podmínek a to na OSB

desce, funkce konstrukce je tedy ohrožena, **při ponížení μ parozábrany na 10 % tedy konstrukce nesplní požadavek dle ČSN 730540-2.**

DUK KVH 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL

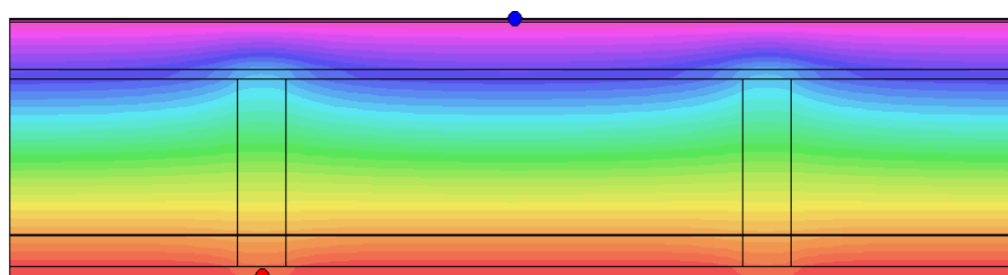
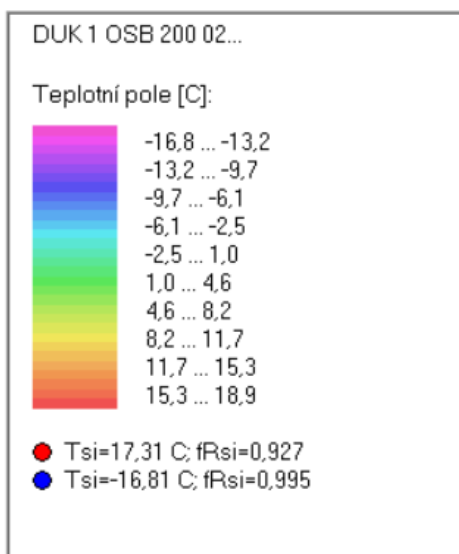
Skladba konstrukce



Obrázek 65 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 66 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

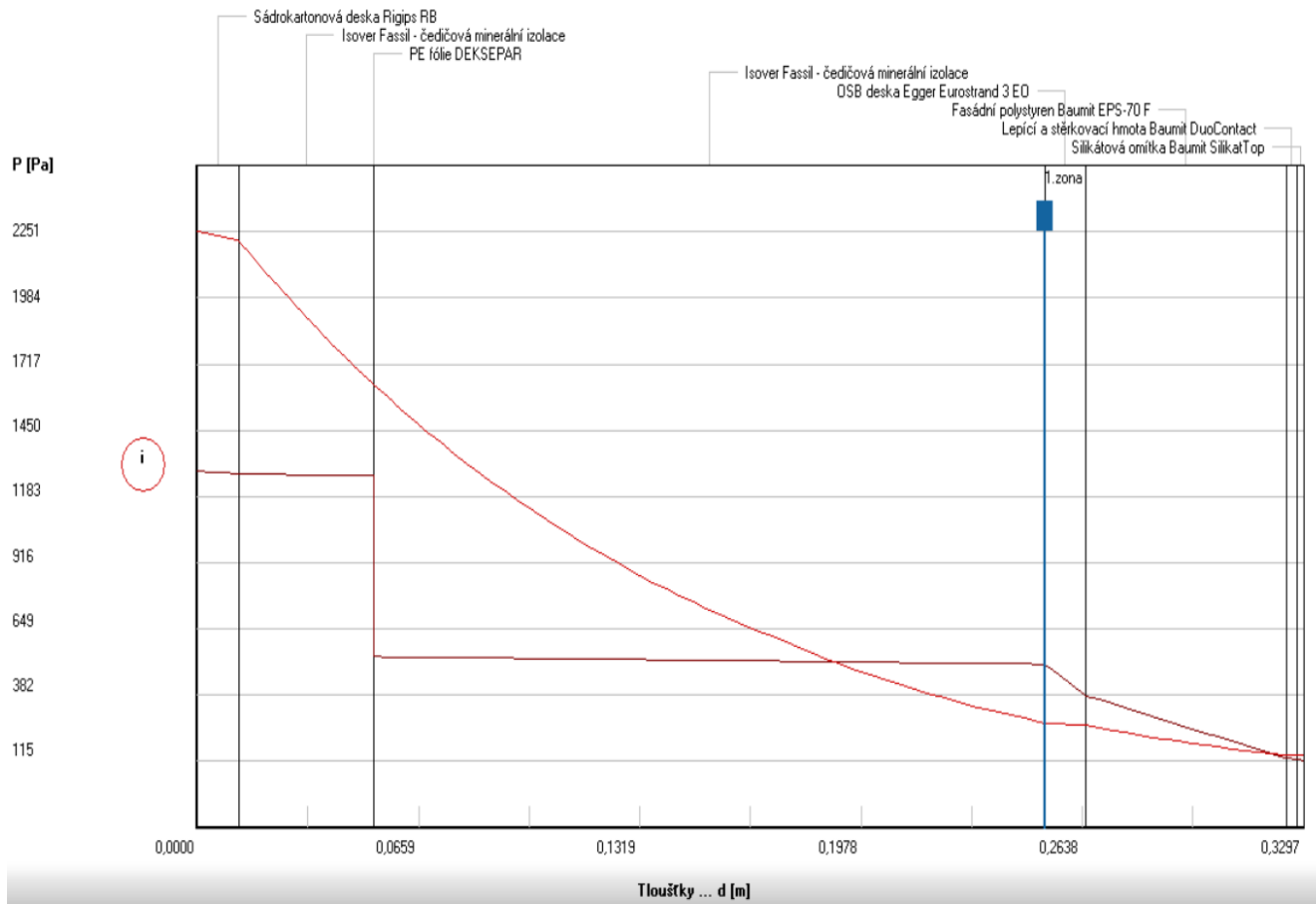
DUK KVH 200 1 OSB+...

Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér	20,0 C
	55,0 %
Exteriér	-17,0 C
	84,0 %

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



Graf 27 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLLO

LEGENDA:

DUK KVH 200 1 OSB+...

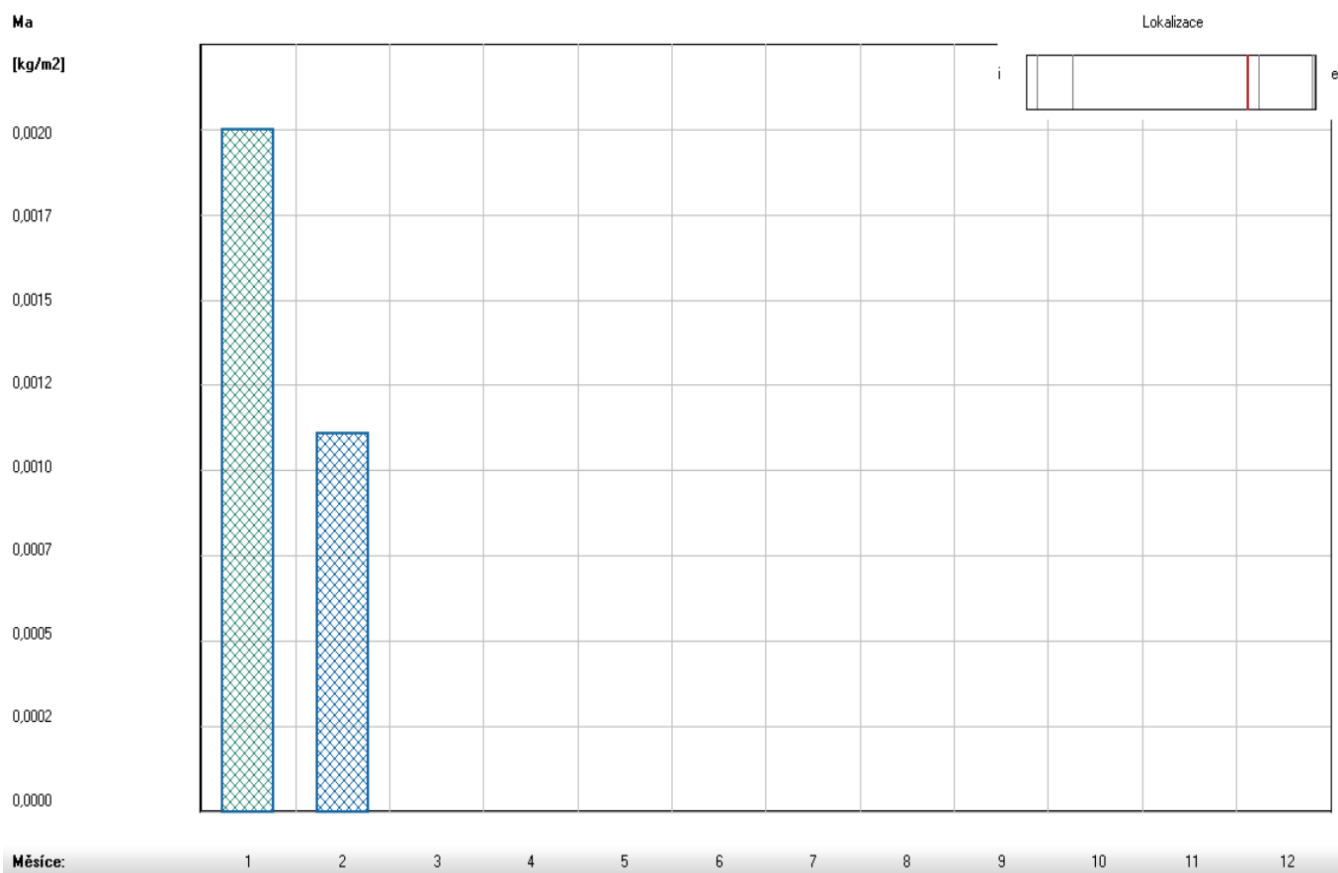
Akumulovaná
vlhkost:

Rok výpočtu č. 1
Kond. zóna č. 1

Na konci model.
roku je zóna
vysušená.

Akumulované množství zkondenzované vlhkosti

Výpočet dle ČSN EN ISO 13788 ... Kondenzační zóna č. 1 ... (1. rok)



Graf 28 Akumulované množství zkondenzované vlhkosti během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788 při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

LEGENDA:

DUK KVH 200 1 OSB+...

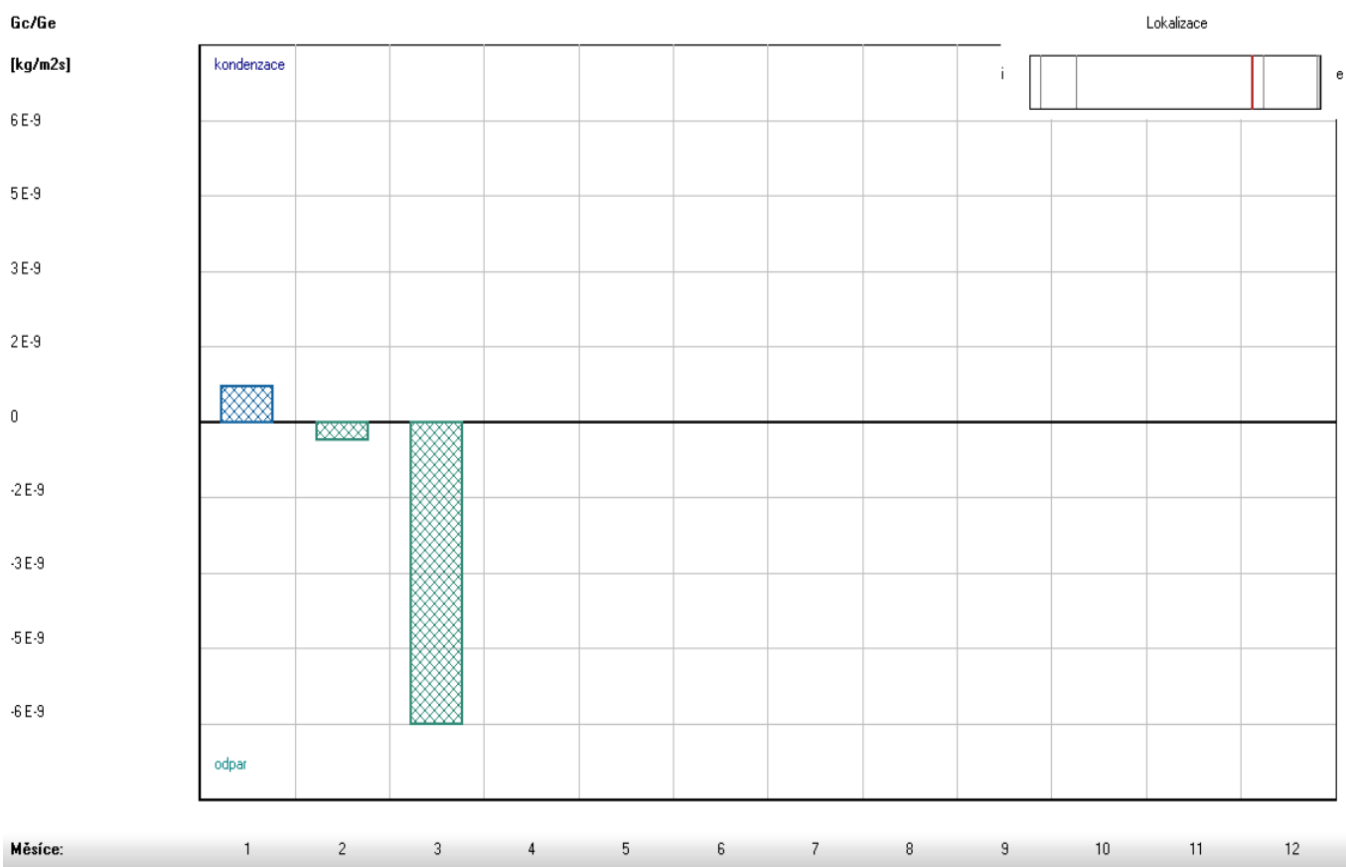
Aktuální míra
kondenzace
a odparu:

Rok výpočtu č. 1
Kond. zóna č. 1

Na konci model.
roku je zóna
vysušená.

Aktuální míra kondenzace a odparu vodní páry

Výpočet dle ČSN EN ISO 13788 ... Kondenzační zóna č. 1 ... (1. rok)



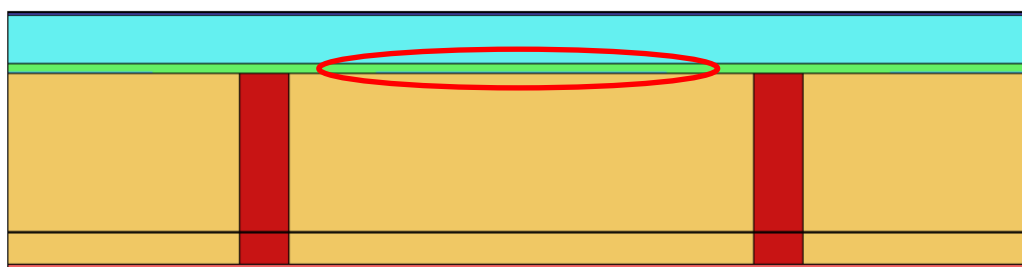
Graf 29 Aktuální míra kondenzace a odparu vodní páry během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788 při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO

Vidíme, že dochází během modelového roku ke kondenzaci dle ČSN EN ISO 13788 pouze v prvním měsíci, tedy lednu, ve druhém měsíci, tedy únoru se část zkondenzovaného množství odpaří, jak vidíme z grafu akumulovaného množství vlhkosti a rovněž z grafu aktuální míry kondenzace a odparu, neodpaří se však všechno množství, ale jen část, zbylé množství se z konstrukce odpaří během měsíce března, jak je vidět z grafu aktuální míry kondenzace a odparu a rovněž z grafu akumulovaného množství zkondenzované vlhkosti, kde v měsíci březnu již není žádná akumulovaná vlhkost, v žádném dalším měsíci ke kondenzaci nedochází, na konci roku je tedy konstrukce vysušená.

LEGENDA:

DUK 1 OSB 200 01...
Přibl.oblast kondenzace:
Te = -17,0 C
Toky vodní páry:
do kce: 3,42e-08 kg/m,s
z kce: 1,09e-08 kg/m,s
rozdíl: 2,33e-08 kg/m,s



Obrázek 67 Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

Tabulka 46 Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.

Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DUK KVH 60 x 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL	Kč/m ² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m ² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover FASSIL 40 mm	76,5	m ²	90	0,85
pe folie deksepar 0,2 mm	10,1	m ²	10,06	1
Nosný sloupek KVH 60 x 200 mm	198,5	m ³	10998	0,018049

Horní pásnice KVH 100 x 200 mm	82,4	m ³	10998	0,007491
Spodní pásnice KVH 60 x 200 mm	49,4	m ³	10998	0,004494
Vnitřní tep izolace Isover FASSIL 200 mm	380,8	m ²	448	0,85
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 12 mm	102,8	m ²	102,81	1
Fasádní polystyren Baumit EPS 70 F 60 mm	70,0	m ²	70	1
Hmoždinky STR H 60 x 100 mm	60,0	ks	10	6
Zátky STR EPS	9,6	ks	1,6	6
Lepící a stěrkovácí hmota Baumit DuoContact	35,6	kg	3,96	9
Sklotextilní tkanina Baumit DuoTex	21,8	m ²	19,8	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop 2 mm	95,3	kg	43,3	2,2
Cena materiál celkem	1 302			
Montáž parozábrany	30			
Montáž vnitřní izolace	55			
Montáž fasádní izolace	120			
Rozdíl cen montáží rámových konstrukcí	40			
CENA CELKEM	1 547 Kč			

Tabulka 47 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

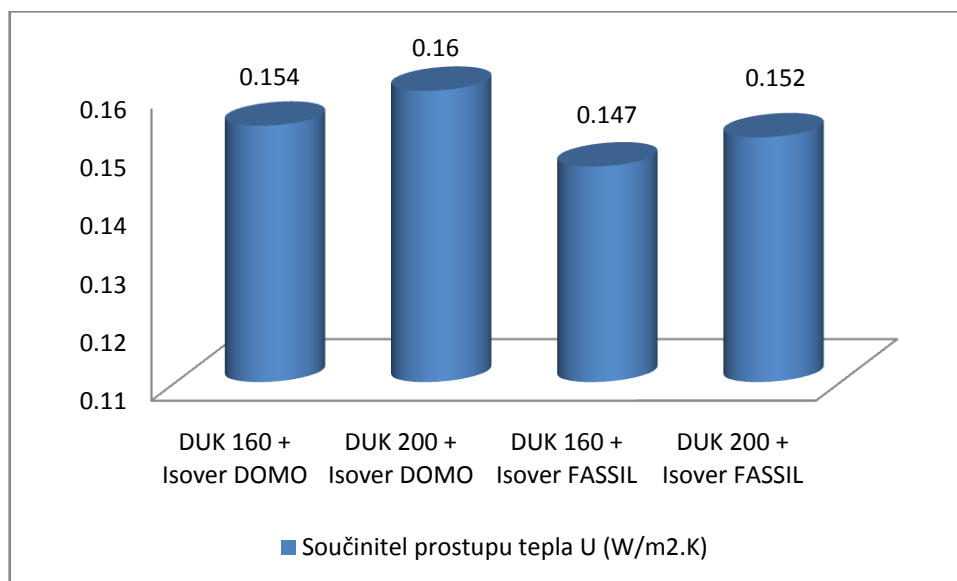
DUK KVH 60 x 200 + 60 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL			
Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2.K$) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$	Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,152	0,3 $0,152 \leq 0,3$ SPLŇUJE	0,12 – 0,18 $0,152 \leq 0,18$ SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu ($^{\circ}C$) ($\theta_{ai} = 20^{\circ}C, \phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce $\theta_{si}(^{\circ}C)$	$10,69 \leq 17,31$ Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	17,31	
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$	$0,927 \geq 0,840$ SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,927	0,840	
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($kg/m^2.s$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?
	ANO	$1,925 \cdot 10^{-8}$	ANO
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{ca} = 0 kg/m^2.a$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než $0,10 kg/(m^2.a)$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?
	ANO	-	ANO
Difuzní odpor Z_{pt} (m/s)	$5,9 \cdot 10^{10}$		
Teplotní útlum N_y (-)	146,6		
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	7,7		
Tloušťka konstrukce (mm)	329,7		
Cena za m^2 konstrukce (Kč/ m^2 bez DPH)	1 547		

Vidíme, že při ponížení faktoru difuzního odporu parozábrany na 10 % v konstrukci nedochází ke kondenzaci během modelového roku dle ČSN EN ISO 13788, avšak dochází ke kondenzaci při uvažování návrhových okrajových podmínek a to na OSB desce, funkce konstrukce je tedy ohrožena, **při ponížení μ parozábrany na 10 % tedy konstrukce nesplní požadavek dle ČSN 730540-2.**

Vyhodnocení

Z hlediska teplotního faktoru vnitřního povrchu, tudíž i z hlediska kondenzace na povrchu konstrukce, vyhověli všechny konstrukce. Není tedy riziko vzniku kondenzace ani tvorby plísní na povrchu konstrukce.

12.1.4 Součinitel prostupu tepla U

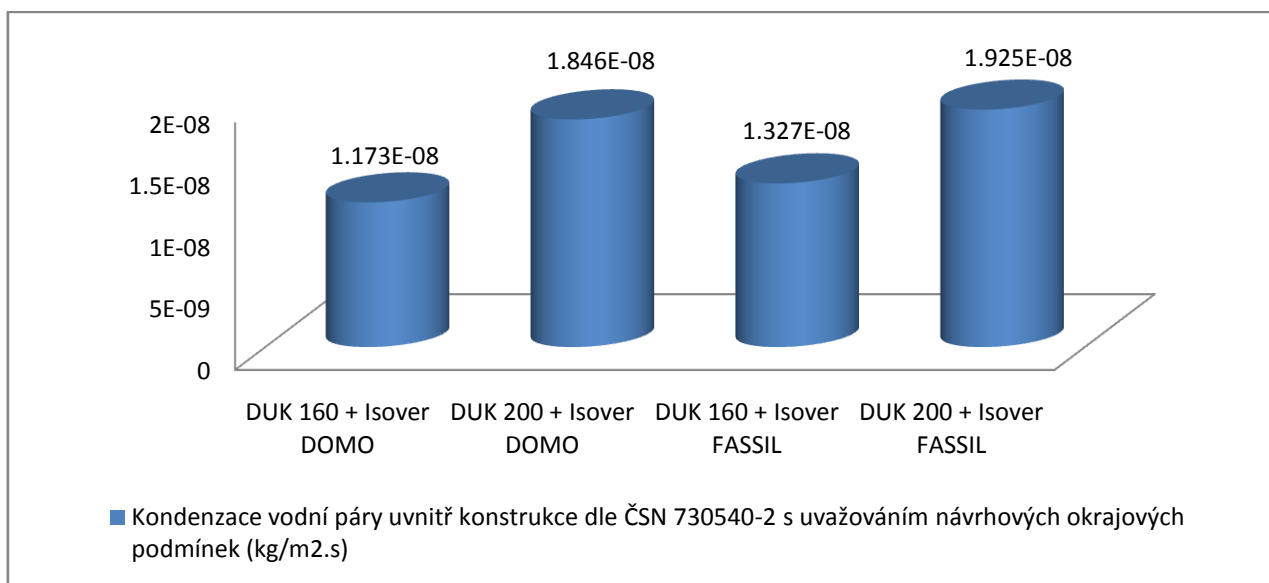


Graf 30 Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla DUK pasivních domů pro velké budovy.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vidíme, že čím větší tloušťka sloupku na úkor fasádního polystyrenu, tím je vyšší hodnota součinitele prostupu tepla. To je dáno tím, že je rámovina s tepelnou izolací izoluje při stejné tloušťce hůře než polystyren, tudíž pokud zvětšíme tloušťku rámové konstrukce na úkor fasádního polystyrenu, zhorší se tepelně izolační schopnost konstrukce, to znamená, že se zvýší součinitel prostupu tepla. Konstrukce s Isover FASSIL mají samozřejmě hodnotu U nižší z důvodu nižší hodnoty λ oproti Isover DOMO.

12.1.5 Kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek



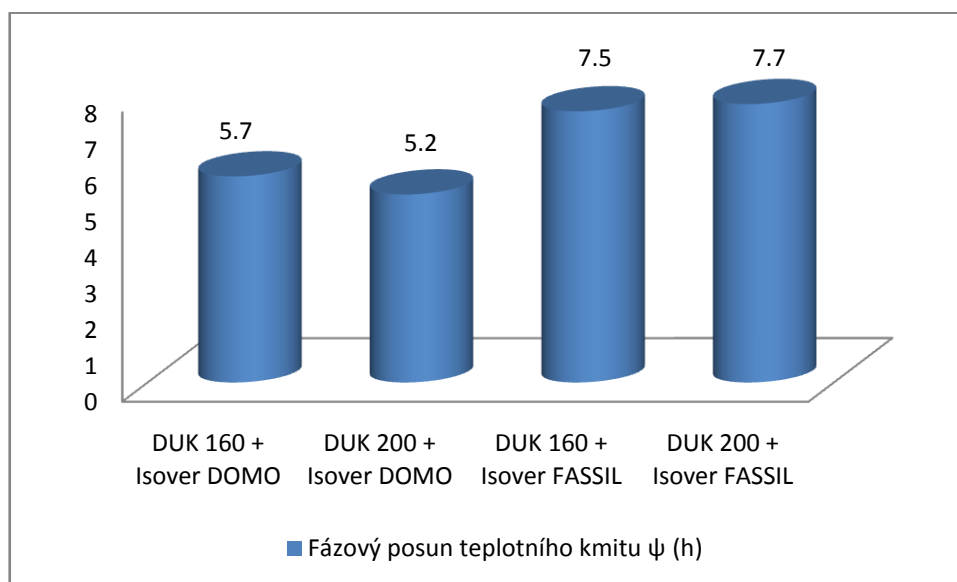
Graf 31 Porovnání hodnot součinitelů prostupu tepla DUK pasivních domů pro velké budovy.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vidíme, že konstrukce s tepelnou izolací Isover DOMO je bezpečnější z hlediska kondenzace uvnitř konstrukce než konstrukce s Isover FASSIL z důvodu menšího množství kondenzující vodní páry, nicméně při uvažování ponížení μ parozábrany na 10 % nevyhověla ani jedna konstrukce na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2, u všech konstrukcí docházelo ke kondenzaci na OSB desce, z důvodu možného ohrožení funkce konstrukce tedy požadavek nebyl splněn, během modelového roku ke kondenzaci ovšem docházelo jen u konstrukce s KVH 600 x 200 mm a vnitřní izolací Isover FASSIL, zde se množství vodní páry ovšem bez problémů odpaří a zóna je na konci modelového roku suchá, avšak není požadavek dle EN ISO splněn, protože kondenzace ohrožuje funkci konstrukce, rovněž musíme konstatovat, že jsme zkoumali DUK KVH 160 + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL a při neponížení hodnoty μ parozábrany nedocházelo ke kondenzaci uvnitř konstrukce, požadavek dle obou norem byl tedy splněn (při neponížení μ parozábrany se dá předpokládat, že všechny konstrukce požadavek dle ČSN 730540-2 bez problému splní a že nebude docházet ke kondenzaci), stejně tak při ponížení μ parozábrany na 25 % u konstrukce nedocházelo ke kondenzaci uvnitř konstrukce ani při požadavku dle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek, požadavek tedy tato konstrukce splnila. Můžeme tedy konstatovat, že při

ponížení μ parozábrany na 10 % konstrukce nesplňují požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2, nicméně, jak jsem již zmínil, je otázkou na kolik je tento předpoklad pravdivý, firma KNAUF INSULATION prý dosáhla při měření μ parozábrany v konstrukci hodnot 40 % původní μ (rovněž používají PE fólii), my jsme uvažovali 10 %, což je standardní projektový předpoklad, ale rozhodně žádné dogma, z mého pohledu je 10 % přísná hodnota, nicméně právě proto jsme ji uvažovali, z daného vyplývá, že každopádně je nutná kvalitní instalace parozábrany.

12.1.6 Fázový posun teplotního kmitu



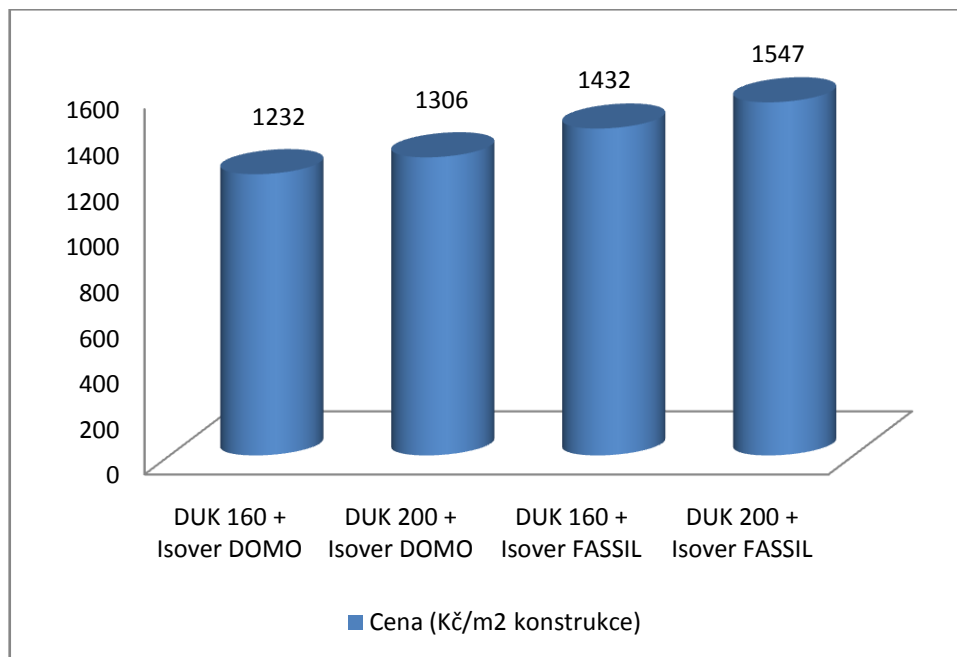
Graf 32 Porovnání hodnot fázových posunů teplotního kmitu DUK pasivních domů pro velké budovy.

Zdroj: Vlastní zpracování

Do výpočtu fázového posunu nejsou zahrnuty sloupky, které by jeho hodnotu vylepšovali. Vidíme, že konstrukce s tepelnou izolací Isover DOMO je při použití větší tloušťky sloupku, tedy KVH 60 x 200 mm nižší hodnota fázového posunu než u konstrukce se sloupkem KVH 60 x 160 mm, to je dáno tím, že Isover DOMO má vyšší hodnotu součinitele teplotní vodivosti ve srovnání s fasádním polystyrenem, tudíž pokud zvýšíme tloušťku sloupku (tudíž i tloušťku vnitřní tepelné izolace) na úkor fasádního polystyrenu, klesne hodnota fázového posunu teplotního kmitu. U tepelné izolace Isover FASSIL je tomu přesně obráceně, jeho teplotní vodivost je nižší než teplotní vodivost

polystyrenu, proto se zvyšující se tloušťkou sloupku na úkor fasádního polystyrenu se hodnota fázového posunu zvyšuje, i když jen nepatrně. Jinak fázový posun teplotního kmitu je samozřejmě lepší u konstrukcí s Isover FASSIL než u konstrukcí s Isover DOMO, ostatně jak jsme již zmínili u difuzně otevřených konstrukcí, zopakují, že je to dáno vyšším součinitelem teplotní vodivosti u Isover DOMO ve srovnání s Isover FASSIL.

12.1.7 Cena



Graf 33 Porovnání cen za m² konstrukce DUK pasivních domů pro velké budovy.

Zdroj: Vlastní zpracování

Jak u tepelné izolace Isover DOMO, tak i u Isover FASSIL vidíme, že čím větší tloušťka sloupku, tím je vyšší cena, to je dáno tím, že rámovina s tepelnou izolací je při stejné tloušťce dražší než fasádní polystyren. Cenu musíme vždy porovnávat současně se součinitelem prostupu tepla, protože na něm závisí provozní náklady. Z grafu vidíme, že je u konstrukcí se sloupkem 60 x 200 i vyšší hodnota součinitele prostupu tepla.

Vidíme tedy, že konstrukce se sloupkem 60 x 200 mm jsou oproti konstrukcím se sloupkem 60 x 160 mm nejen dražší, ale mají i vyšší hodnoty součinitelů prostupu tepla, budova by tedy měla vyšší pořizovací i provozní náklady. Můžeme tedy říci, že z tohoto pohledu jsou jasně vhodnější konstrukce se sloupkem 60 x 160 mm. Když bychom tedy chtěli dále snižovat součinitel prostupu tepla, je ekonomicky výhodnější

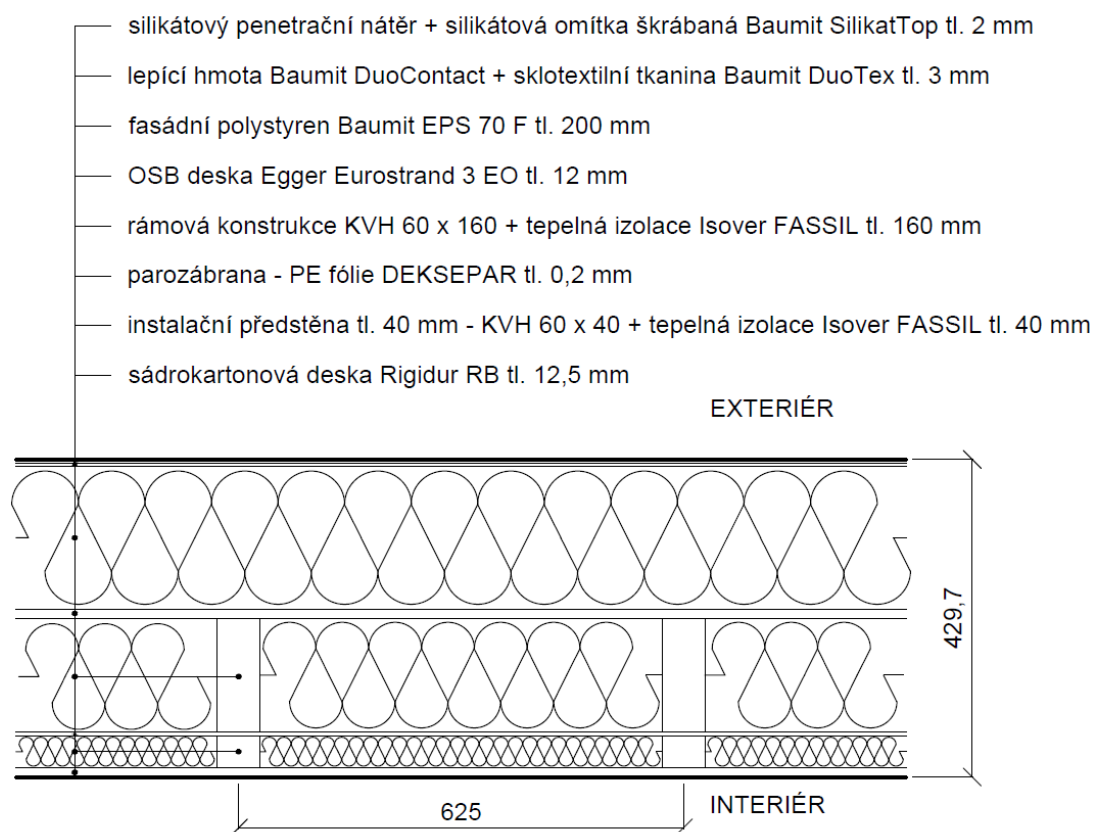
zvolit co nejmenší tloušťku sloupku a co největší vrstvu fasádního polystyrenu, který se (oproti fasádní dřevovláknité izolaci používané na difuzně otevřené konstrukce) vyrábí běžně do tlouštěk 200 mm.

13 MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA DIFUZNĚ UZAVŘENÝCH OBVODOVÝCH STĚN PASIVNÍCH BUDOV

Jak jsme zjistili, je výhodnější použít větší tloušťku fasádního polystyrenu na úkor rámové konstrukce s vnitřní izolací, protože dosáhneme nižší ceny i nižší hodnoty součinitele prostupu tepla. Nyní se pokusíme navrhnout obvodovou stěnu, která bude mít hodnotu součinitele prostupu tepla pod spodní hranicí doporučené hodnoty pro obvodové stěny pasivních budov dle ČSN 730540-2, jejíž hodnota je $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Podle zjištěných poznatků tedy použijeme sloupek KVH 60 x 160 a maximální běžně dostupnou tloušťku fasádního polystyrenu, která je 200 mm, mezi sloupky použijeme minerální izolaci čedičovou Isover FASSIL, která má nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti než skelná minerální izolace Isover DOMO.

DUK KVH 160 + 200 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL

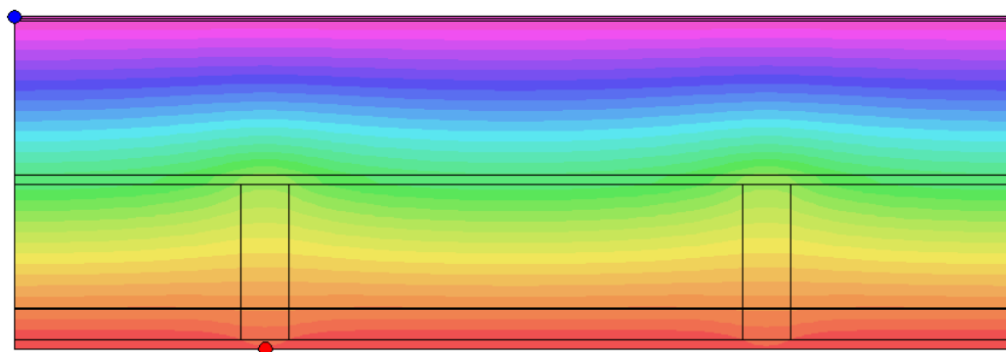
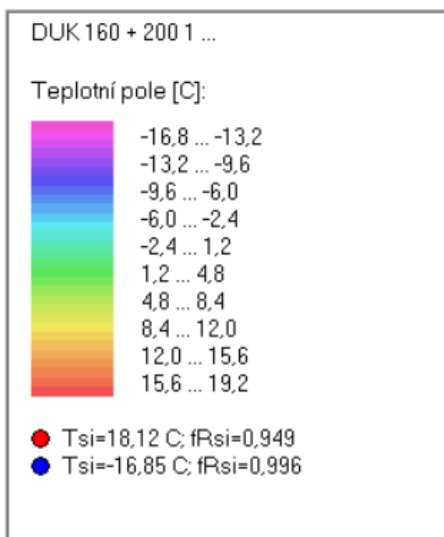
Skladba konstrukce



Obrázek 68 Skladba konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD

LEGENDA:



Obrázek 69 Pole teplot v konstrukci – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA

LEGENDA:

DUK KVH 160 + 200 ...

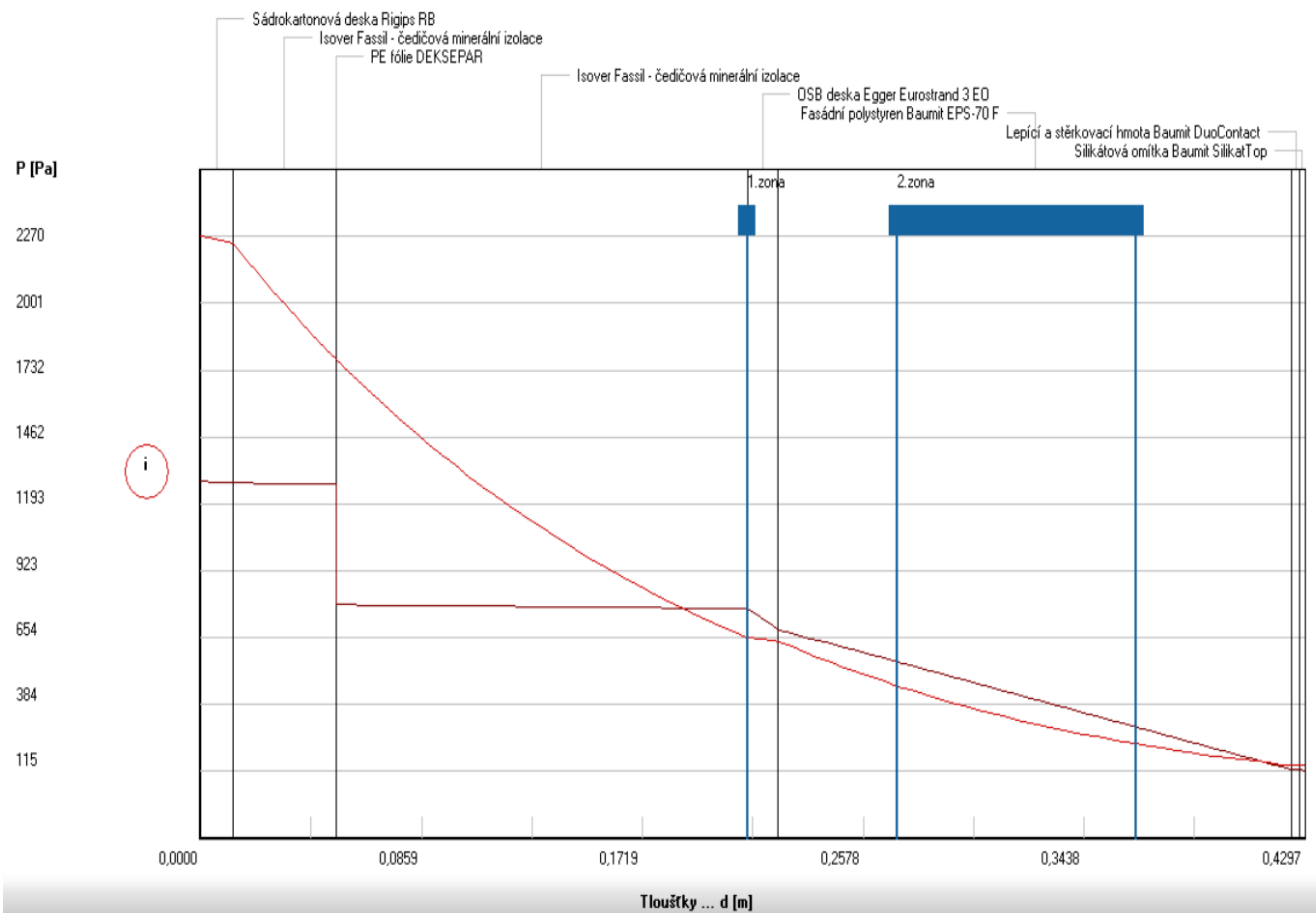
Rozložení tlaků:

Okr. podmínky:

Interiér 20,0 C
55,0 %
Exteriér -17,0 C
84,0 %

- nasyc. tlak
- teoret. tlak
- skut. tlak
- kond. zóna

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



Graf 34 Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10 % - 1D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu TEPLO.

LEGENDA:

DUK 160 + 200 1 ...

Přibl.oblast
kondenzace:

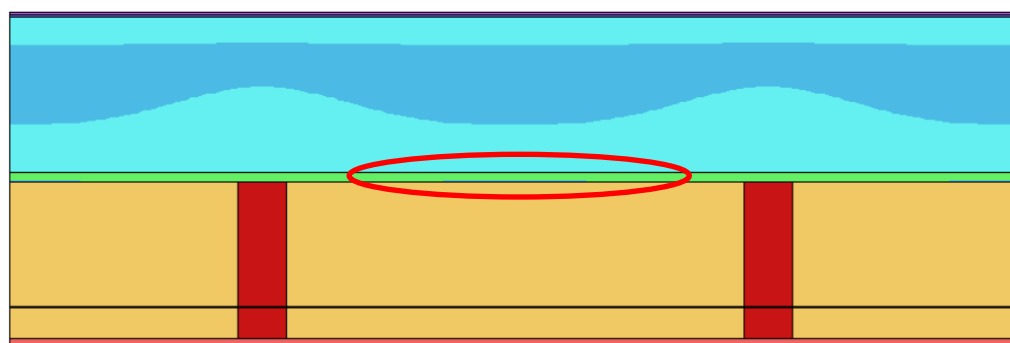
Te = -17,0 C

Toky vodní páry:

do kce: 2,15e-08 kg/m,s

z kce: 1,15e-08 kg/m,s

rozdíl: 1,01e-08 kg/m,s

**Obrázek 70**Oblast kondenzace uvnitř konstrukce při ponížení μ parozábrany na 10% – 2D výpočet.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AREA.

Tabulka 48Kalkulace ceny za 1 m² konstrukce.Zdroj: www.topnaradi.eu, www.ikast.cz, www.isover.cz, www.baumit.cz, www.cemix.cz,
www.levnestavebniny.cz, www.dek.cz, www.jankruta.cz, www.mta.cz, www.bios.cz

DUK KVH 60 x 200 + 200 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL	Kč/m² konstrukce	Měrná jednotka	Kč/měrná jednotka	Spotřeba měrné jednotky na m² konstrukce
Sádrokarton RB 12,5 mm	41,0	m ²	41	1
Sloupek předstěny KVH 40 x 60 mm	42,2	m ³	10998	0,00384
Tep. izolace předstěny Isover FASSIL 40 mm	76,5	m ²	90	0,85
pe folie deksepar 0,2 mm	10,1	m ²	10,06	1

Nosný sloupek KVH 60 x 160 mm	158,8	m ³	10998	0,01444
Horní pásnice KVH 100 x 160 mm	65,9	m ³	10998	0,0059923
Spodní pásnice KVH 60 x 160 mm	39,5	m ³	10998	0,0035955
Vnitřní tep izolace Isover FASSIL 160 mm	304,3	m ²	358	0,85
Spojovací hřebíky	10,0	ks	0,5	20
OSB deska Egger Eurostrand 3 EO 12 mm	102,8	m ²	102,81	1
Fasádní polystyren Baumit EPS 70 F 200 mm	240,0	m ²	240	1
Hmoždinky STR H 60 x 240 mm	136,8	ks	22,8	6
Zátky STR EPS	9,6	ks	1,6	6
Lepicí a stěrková hmota Baumit DuoContact	35,6	kg	3,96	9
Sklotextilní tkanina Baumit DuoTex	21,8	m ²	19,8	1,1
Silikátový penetrační nátěr	15,8	kg	79	0,2
Silikátová omítka škrábaná Baumit SilikatTop 2 mm	95,3	kg	43,3	2,2
Cena materiál celkem	1 406			
Montáž parozábrany	30			
Montáž vnitřní izolace	50			
Montáž fasádní izolace	135			
CENA CELKEM	1 621 Kč			

Tabulka 49 Přehled vyhodnocení jednotlivých ukazatelů konstrukce.

Zdroj: Vlastní zpracování.

DUK KVH 60 x 200 + 200 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL

Součinitel prostupu tepla U ($W/m^2.K$) dle ČSN 730540	Vypočítaný U	Požadovaný $U_{N,20}$		Doporučený pro PD $U_{pas,20}$
	0,108	0,3 $0,108 \leq 0,3$ SPLŇUJE		0,12 – 0,18 $0,108 \leq 0,18$ SPLŇUJE
Kondenzace na povrchu konstrukce	Teplota rosného bodu ($^{\circ}C$) ($\theta_{ai} = 20^{\circ}C, \phi_i = 55\%$)	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce $\theta_{si}(^{\circ}C)$		$10,69 \leq 18,12$ Nedochází ke kondenzaci na povrchu konstrukce
	10,69	18,12		
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-) dle ČSN 730540-2	Vypočítaný f_{Rsi}	Kritický teplotní faktor $f_{Rsi, cr} = f_{Rsi, N}$		$0,949 \geq 0,840$ SPLŇUJE Nedochází k tvorbě plísní na povrchu konstrukce
	0,949	0,840		
Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 s uvažováním návrhových okrajových podmínek	Kondenzace?	Množství kondenzující vodní páry ($kg/m^2.s$)	Ohrožuje kondenzace funkci konstrukce?	NESPLŇUJE
	ANO	$4,483 \cdot 10^{-9}$ $4,045 \cdot 10^{-9}$ Celkem $8,528 \cdot 10^{-9}$	ANO	
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry z konstrukce dle ČSN EN ISO 13788	Dochází během modelového roku ke kondenzaci?	Je konstrukce na konci modelového roku suchá (platí $M_{ca} = 0 kg/m^2.a$)?	Je roční množství zkondenzované vodní páry nižší než $0,10 kg/(m^2.a)$, resp. 3% plošné hm. daného materiálu?	SPLŇUJE
	NE	-	-	
Difuzní odpor Z_{dt} (m/s)	$8,8 \cdot 10^{10}$			
Teplotní útlum N_y (-)	346,1			
Fázový posun teplotního kmitu Ψ (h)	8,7			
Tloušťka konstrukce (mm)	429,7			
Cena za m^2 konstrukce (Kč/ m^2 bez DPH)	1 621			

Vyhodnocení

Během modelového roku ke kondenzaci dle ČSN EN ISO 13788 nedochází, vidíme však, že ani při zvětšení tloušťky fasádní izolace na 200 mm při ponížení μ parozábrany na 10 % není splněn požadavek na kondenzaci uvnitř konstrukce dle ČSN 730540-2 z důvodu nebezpečí ohrožení funkce konstrukce kondenzací na OSB desce. Nicméně je otázkou na

kolik je ponížení μ parozábrany na 10 % reálné, jak jsme již rozebírali. Co se týče součinitele prostupu tepla, konstrukce vykazuje hodnotu $U = 0,108 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, což je pod spodní hranicí doporučené hodnoty pro obvodové stěny pasivních budov, která je $U = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, konstrukci bychom tedy mohli použít i pro tu nejmenší budovu pasivního domu. Rovněž můžeme pozorovat, že při porovnání s DUK 60 x 160 mm + 100 mm EPS s vnitřní izolací Isover FASSIL je cena za m^2 konstrukce vyšší o 189 Kč, ale hodnota součinitele prostupu tepla se snížila velmi markantně, a to z hodnoty $U = 0,147 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ na hodnotu $U = 0,108 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, můžeme tedy konstatovat, že ekonomická návratnost investice by byla velmi krátká, u difuzně uzavřených obvodových stěn se tedy vyplatí použít co největší tloušťku fasádního polystyrenu na úkor rámové konstrukce a rovněž z důvodu nízké ceny polystyrenu je ekonomicky výhodnější použití co největší tloušťky fasádního polystyrenu, čímž se výrazně snižuje součinitel prostupu tepla, ale cena stoupá jen mírně. Obecně je u DOK problém kvalitní instalace parozábrany, na které závisí funkce celé konstrukce.

14 DOK vs. DUK

DOK vs. DUK pro velké budovy

14.1.1 Součinitel prostupu tepla

Z vyhodnocených výsledků vyplývá, že hodnoty součinitelů prostupu tepla jsou obecně u DUK o něco nižší než u DOK, jak můžeme vidět při porovnání grafů. To je dáno především rozdílem v tepelných vodivostech λ fasádních izolací. U DOK je použita fasádní izolace dřevovláknitá s hodnotou $\lambda = 0,049$ W/m.K (STEICO protect, typ M), resp. $\lambda = 0,051$ W/m.K (STEICO protect, typ H), u DUK je použita fasádní izolace EPS (expandovaný polystyren), který má hodnotu $\lambda = 0,041$ W/m.K, rozdíl mezi hodnotami U je částečně snížen tím, že u DOK je použita OSB deska tl. 15 mm, u DUK OSB tl. 12 mm (u každé z konstrukcí má jinou funkci, u DUK má funkci pouze ztužující, u DOK navíc funkce parobrzdý a vzduchotěsnící, ...víme z předcházejících kapitol), obecně tedy platí, že DUK mají při obdobné tloušťce nižší hodnotu součinitele prostupu tepla než DOK, avšak rozdíly nejsou velké, např. DUK KVH 60 x 160 + 100 mm EPS s Isover FASSIL má hodnotu $U = 0,147$ W/m².K (nejnižší z DOK pro velké budovy) a nejvyšší DOK pro velké budovy je rovněž KVH 60 x 160 mm + 100 mm STEICO protect s Isover FASSIL s hodnotou $U = 0,155$ W/m².K.

14.1.2 Cena za m² konstrukce

Jak jsme již mnohokrát zmínili, cenu je vždy nutné brát v kontextu se součinitelem prostupu tepla. Z výsledků vidíme, že DUK mají obecně mnohem nižší ceny za m² konstrukce než DOK (jen připomínám, u DOK jsme porovnávali 4 druhy izolací mezi sloupky, u DOK jen 2, nicméně při tomto porovnání hodnotíme DOK a DUK se stejnými izolacemi mezi sloupky, protože ta, ostatně jak jsme zjistili, má velký vliv na vlastnosti), to je dáno hlavně rozdílem ceny fasádních izolací, kde polystyren používaný u DUK stojí cca 1200 Kč/m³ a fasádní dřevovláknitá izolace u DOK stojí cca 7000 Kč/m³, s rostoucí tloušťkou fasádní izolace tedy při použití menší tloušťky rámové konstrukce s vnitřní izolací na úkor větší fasádní izolace rozdíl cen samozřejmě exponenciálně narůstá.

Pokud tedy vezmeme do kontextu součinitel prostupu tepla a cenu za m² konstrukce, je jasné, že použití DUK je ekonomicky mnohem výhodnější, oproti DOK mají jak obecně nižší hodnoty součinitele prostupu tepla (budovy s DUK by tedy měly nižší náklady na vytápění) a rovněž nižší cenu za m².

14.1.3 Fázový posun teplotního kmitu

Fázový posun teplotního kmitu vyšel lépe u DOK, což je dáno hlavně rozdílem vlastností fasádních izolací, kde fasádní dřevovláknitá izolace má mnohem vyšší hodnoty objemové hmotnosti ρ a měrné tepelné kapacity c , které fázový posun teplotního kmitu ovlivňují.

14.1.4 Kondenzace uvnitř konstrukce dle ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek

Co se týče rizika kondenzace uvnitř konstrukce, jsou obecně DOK bezpečnější, jak jsme prokázali, DOK vyhověli všechny z hlediska obou norem, u DUK je stěžejní provedení parozábrany, při jejímž ponížení na 10 % původní hodnoty μ nevyhověla dle ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek žádná z konstrukcí, nicméně je otázkou na kolik je tento předpoklad pravdivý, nicméně můžeme konstatovat, že DOK jsou bezpečnější než DUK.

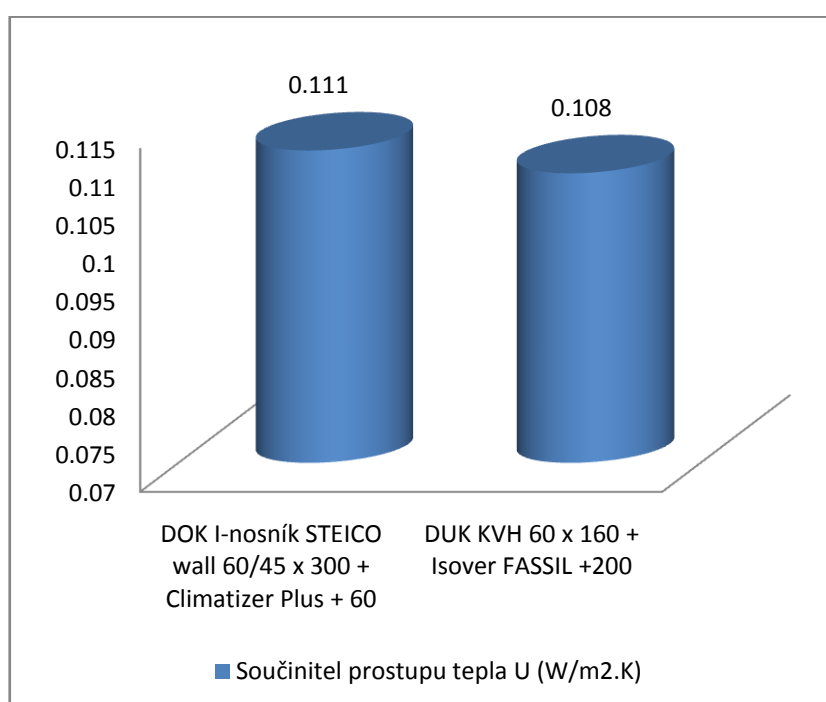
Shrnutí DOK vs. DUK pro velké budovy

Obecně můžeme říci, že DUK mají oproti DOK:

- Při stejné tloušťce o něco málo nižší hodnotu U
- Výrazně nižší cenu za m² konstrukce
- Výrazně nižší hodnotu fázového posunu teplotního kmitu

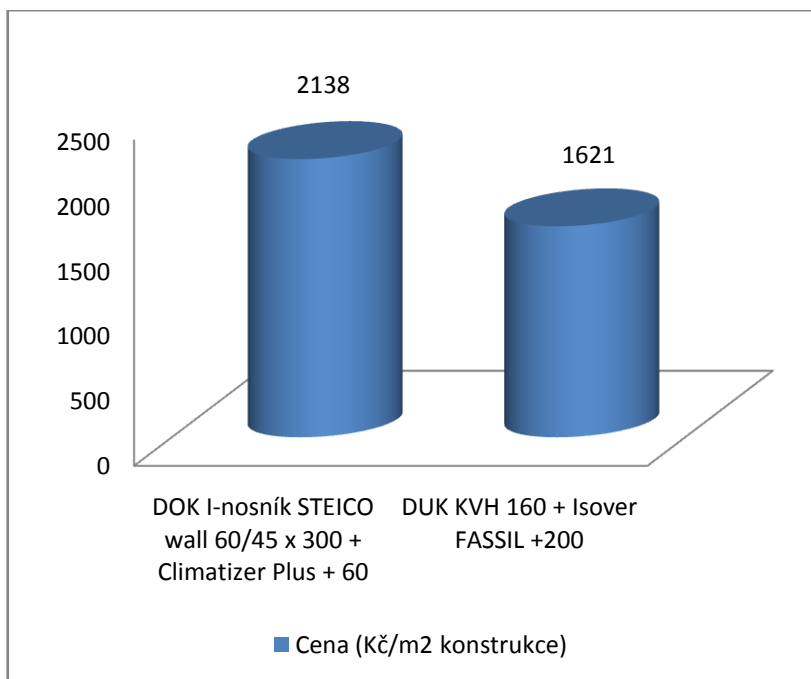
- Mnohem větší rizikovitost z hlediska kondenzace, kdy konstrukce není na kondenzaci navržena a při nesprávném provedení parozábrany dochází ke kondenzaci na OSB desce, což vede k ohrožení funkce konstrukce

DOK vs. DUK pro malé budovy



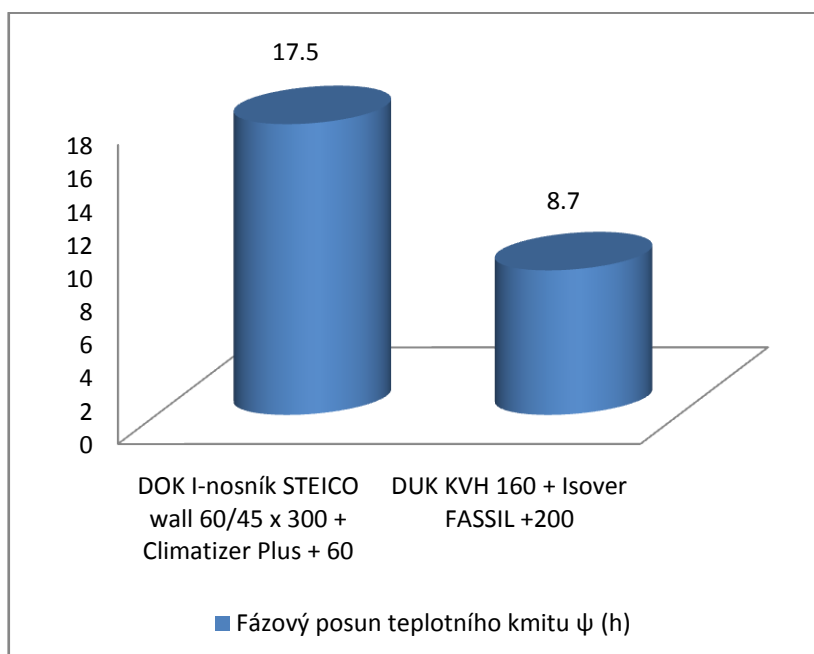
Graf 35 Porovnání součinitele prostupu tepla DOK s I-nosníkem 60/45x300mm + 60 mm STEICO protect a DUK KVH 60x160 + 200 mm EPS.

Zdroj: Vlastní zpracování



Graf 36 Porovnání cen 1 m² konstrukce DOK s I-nosníkem 60/45x300mm + 60 mm STEICO protect a DUK KVH 60x160 + 200 mm EPS.

Zdroj: Vlastní zpracování



Graf 37 Porovnání fázového posunu teplotního kmitu DOK s I-nosníkem 60/45x300mm + 60 mm STEICO protect a DUK KVH 60x160 + 200 mm EPS.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vyhodnocení

Výsledky jsou podobné jako u porovnání DOK a DUK pro malé budovy, můžeme tedy konstatovat, že při téměř totožné hodnotě U je DUK mnohem levnější, z hlediska pořizovacích a provozních nákladů tedy výhodnější, avšak vykazuje mnohem horší hodnoty fázového posunu teplotního kmitu a je rovněž ve srovnání s DOK méně bezpečná. To je, jak jsme již zmínili dáno obecně jinou koncepcí navrhování DUK a DOK, jak jsme již zmínili a rovněž rozdílností fasádních izolací u DUK a DOK. Rovněž můžeme shrnout, fasádní polystyren používaný u DUK se běžně prodává v tloušťkách do 200 mm, fasádní dřevovláknitá izolace používaná u DOK standardně jen do 100 mm, u DUK nám tedy stačí KVH 160 mm a maximální tl. polystyrenu a dostaneme se pod doporučenou hodnotu U pro obvodové stěny pasivních domů, což u DOK neplatí, je tedy použití I-nosníku velmi výhodné.

15 DISKUSE A VYHODNOCENÍ

Byly hodnoceny nejprve DOK pro velké budovy s hodnotou U na střední či spíše horní hranici intervalu doporučených hodnot U pro pasivní domy dle ČSN 730540-2, který je $U = 0,12 - 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Nejprve byly analyzovány difuzně otevřené konstrukce pro velké budovy pasivních domů (tedy konstrukce, jejichž hodnota U se pohybovala na střední či spíše horní hranici doporučeného intervalu pro obvodové stěny pasivních domů dle ČSN 730540-2) s použitím 4 různých tepelných izolací mezi nosnými prvky, a to s použitím dřevovláknité izolace STEICO flex, foukané celulózy Climatizer Plus, skelné minerální izolace Isover DOMO a minerální izolace čedičové Isover FASSIL. Z analýzy vyplynulo, že vnitřní izolace výrazně ovlivňuje vlastnosti celé konstrukce, avšak nemohli jsme žádnou z izolací vyhodnotit jako nejlepší. Nejnižší hodnoty součinitele prostupu tepla dosáhneme použitím vnitřní izolace Isover FASSIL, nejnižší ceny použitím izolace Isover DOMO a nejlepších hodnot fázového posunu použitím Climatizer Plus, rovněž při použití Climatizer Plus je konstrukce nejbezpečnější z hlediska kondenzace, protože vykazuje nejnižší množství zkondenzované vodní páry. Rovněž jsme zjistili, že při použití větší tloušťky fasádní dřevovláknité izolace na úkor menší tloušťky sloupku s vnitřní izolací dosáhneme nižších hodnot U , vyšších hodnot fázového posunu teplotního kmitu, ale vyšší ceny. Zde je důležité zmínit, že cenu je vždy nutné posuzovat v kontextu s hodnotou U , která reprezentuje náklady na vytápění. Při vyšší pořizovací ceně bychom tedy museli spočítat dobu návratnosti investice, což může být námět na další práci.

Dále jsme zanalyzovali možnosti snižování hodnoty součinitele prostupu tepla pro DOK a pro názornost jsme kvantifikovali rozdíl mezi konstrukcí s KVH hranolem a I-nosníkem, který podle předpokladu vyšel samozřejmě s nižší hodnotou U pro I-nosník, ale i s jeho vyšší cenou. Při možnosti snižování hodnoty U jsme byly limitováni omezenou tloušťkou KVH hranolu i fasádní dřevovláknité izolace, při použití I-nosníku, který se používá do tloušťek až 400 mm toto omezení neplatí. Při použití I-nosníku 300 mm a fasádní dřevovláknité izolace 60 mm jsme se dostali pod spodní hranici U doporučeného intervalu pro obvodové stěny pasivních domů, která je $U = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, můžeme tedy tuto konstrukci použít i pro nejmenší budovy pasivních domů, rovněž můžeme konstatovat, že I-nosník je jako stvořený pro snižování energetické náročnosti v bodě, kdy KVH hranol svou maximální tloušťkou nestačí a I-nosník můžeme použít ve větší tloušťce na úkor drahé fasádní dřevovláknité izolace, čímž zlepšíme poměr mezi cenou a hodnotou U .

Dále jsme analyzovali difuzně uzavřené konstrukce dřevostaveb pro velké budovy a následně dle výsledků analýzy určili optimální možnost snížení. U DUK při uvažování 100 % účinnosti parozábrany by všechny konstrukce na kondenzaci vyhověli, avšak při uvažování ponížení na 10 % nevyhověla žádná z nich podle požadavků ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek, ovšem je otázkou na kolik je tento projektový předpoklad pravdivý, skutečné hodnoty bychom dostali přímým měřením v konstrukci, každopádně je nutná kvalitní instalace parozábrany. Co se týče analýzy, vyšlo, že konstrukce s Isover FASSIL mají vyšší hodnotu fázového posunu teplotního kmitu i nižší hodnotu U, ale vyšší cenu za m². Je zde tedy prostor pro výpočet doby návratnosti při aplikaci na konkrétní stavbu. Rovněž vyšlo, že je ekonomicky výhodnější použít větší tloušťku fasádního polystyrenu na úkor zmenšení tloušťky sloupku s vnitřní izolací, kde konstrukce s menším sloupkem a vyšší fasádní izolací vykazuje nižší cenu i nižší hodnotu U. Pro další snížení hodnoty U je tedy nejvýhodnější použít co největší tloušťku fasádního polystyrenu při co nejmenší tloušťce sloupku. Bez problému jsme se dostali pod spodní hranici U pro pasivní domy.

Je otázkou na kolik by se projeví dané faktory přímým měřením parozábrany u DUK a rovněž při aplikaci na konkrétní stavbu, jaké by byly doby návratnosti.

16 ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce se zabývá tepelně technickou analýzou obvodových stěn rámových dřevostaveb v pasivním standardu. V rešeršní části je popsána základní koncepce navrhování energeticky úsporných budov s rozdělením dle energetické náročnosti, rovněž jsou popsány základní rozdíly mezi DOK a DUK. Hlavním cílem práce bylo provést tepelně technickou analýzu obvodových stěn v pasivním standardu, rovněž zhodnotit vliv použití různých izolací mezi nosnými prvky na vlastnosti konstrukce a ekonomické zhodnocení.

Nejprve byly analyzovány difuzně otevřené konstrukce pro velké budovy pasivních domů (tedy konstrukce, jejichž hodnota U se pohybovala na střední či spíše horní hranici doporučeného intervalu pro obvodové stěny pasivních domů dle ČSN 730540-2) s použitím 4 různých tepelných izolací mezi nosnými prvky, a to s použitím dřevovláknité izolace STEICO flex, foukané celulózy Climatizer Plus, skelné minerální izolace Isover DOMO a minerální izolace čedičové Isover FASSIL. Z analýzy vyplynulo, že vnitřní izolace výrazně ovlivňuje vlastnosti celé konstrukce, avšak nemohli jsme žádnou z izolací vyhodnotit jako nejlepší. Nejnižší hodnoty součinitele prostupu tepla dosáhneme použitím vnitřní izolace Isover FASSIL, nejnižší ceny použitím izolace Isover DOMO a nejlepších hodnot fázového posunu použitím Climatizer Plus, rovněž při použití Climatizer Plus je konstrukce nejbezpečnější z hlediska kondenzace, protože vykazuje nejnižší množství zkondenzované vodní páry. Rovněž jsme zjistili, že při použití větší tloušťky fasádní dřevovláknité izolace na úkor menší tloušťky sloupku s vnitřní izolací dosáhneme nižších hodnot U , vyšších hodnot fázového posunu teplotního kmitu, ale vyšší ceny. Zde je důležité zmínit, že cenu je vždy nutné posuzovat v kontextu s hodnotou U , která reprezentuje náklady na vytápění. Při vyšší pořizovací ceně bychom tedy museli spočítat dobu návratnosti investice, což může být námět na další práci.

Dále jsme zanalyzovali možnosti snižování hodnoty součinitele prostupu tepla pro DOK a pro názornost jsme kvantifikovali rozdíl mezi konstrukcí s KVH hranolem a I-nosníkem, který podle předpokladu vyšel samozřejmě s nižší hodnotou U pro I-nosník, ale i s jeho vyšší cenou. Při možnosti snižování hodnoty U jsme byli limitováni omezenou tloušťkou KVH hranolu i fasádní dřevovláknité izolace, při použití I-nosníku, který se používá do tlouštěk až 400 mm toto omezení neplatí. Při použití I-nosníku 300 mm a

fasádní dřevovláknité izolace 60 mm jsme se dostali pod spodní hranici U doporučeného intervalu pro obvodové stěny pasivních domů, která je $U = 0,12 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$, můžeme tedy tuto konstrukci použít i pro nejmenší budovy pasivních domů, rovněž můžeme konstatovat, že I-nosník je jako stvořený pro snižování energetické náročnosti v bodě, kdy KVH hranol svou maximální tloušťkou nestačí a I-nosník můžeme použít ve větší tloušťce na úkor drahé fasádní dřevovláknité izolace, čímž zlepšíme poměr mezi cenou a hodnotou U.

Dále jsme analyzovali difuzně uzavřené konstrukce dřevostaveb pro velké budovy a následně dle výsledků analýzy určili optimální možnost snížení. U DUK při uvažování 100 % účinnosti parozábrany by všechny konstrukce na kondenzaci vyhověly, avšak při uvažování ponížení na 10 % nevyhověla žádná z nich podle požadavků ČSN 730540-2 při uvažování návrhových okrajových podmínek, ovšem je otázkou na kolik je tento projektový předpoklad pravdivý, skutečné hodnoty bychom dostali přímým měřením v konstrukci, každopádně je nutná kvalitní instalace parozábrany. Co se týče analýzy, vyšlo, že konstrukce s Isover FASSIL mají vyšší hodnotu fázového posunu teplotního kmitu i nižší hodnotu U, ale vyšší cenu za m^2 . Je zde tedy prostor pro výpočet doby návratnosti při aplikaci na konkrétní stavbu. Rovněž vyšlo, že je ekonomicky výhodnější použít větší tloušťku fasádního polystyrenu na úkor zmenšení tloušťky sloupku s vnitřní izolací, kde konstrukce s menším sloupkem a vyšší fasádní izolací vykazuje nižší cenu i nižší hodnotu U. Pro další snížení hodnoty U je tedy nejvýhodnější použít co největší tloušťku fasádního polystyrenu při co nejmenší tloušťce sloupku. Bez problému jsme se dostali pod spodní hranici U pro pasivní domy.

Při porovnání DUK a DOK vyšlo, že DOK mají při porovnatelném U mnohem vyšší cenu za m^2 , jsou tedy z hlediska ekonomického výhodnější DUK, které ale vykazují mnohem nižší hodnoty fázových posunů teplotního kmitu a rovněž jsou mnohem méně bezpečné z hlediska kondenzace.

Osobně bych řekl, že DUK jsou sice překonané, avšak pro svou nízkou cenu stále zaujímají své místo na trhu. Obzvláště při současném ekologickém pohledu jsou však stále více zatracovány. Hodně se také hovoří o rizikových vlastnostech DUK z hlediska kondenzace a možné degradace. Osobně myslím, že z hlediska bezpečnosti jsou dnes stále více kladeny požadavky a důraz na materiály parozábran a rovněž její správné provedení. Věřím, že při správném provedení jsou DUK absolutně neškodné. Navzdory vyšší ceně jsou DOK stále více používané, což mě osobně těší. Osobně sympatizuji více s difuzně

otevřenými konstrukcemi, kdy se při použití správných materiálů dají nejen zajistit výborné vlastnosti konstrukce, ale je možnost i snížit ekologický dopad.

17 POUŽITÝ SOFTWARE

AutoCAD 2015

TEPLO 2010

AREA 2010

Microsoft Excel 2010

Microsoft Word 2010

18 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ADAMOVSKEÝ, Radomír, Daniel ADAMOVSKEÝ a Pavel NEUBERGER. *Termomechanika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. ISBN 978-80-213-1634-8.
- [2] BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva*. první. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze , Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.
- [3] CHMÚRNY, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-889-0527-3.
- [4] KULHÁNEK, František. *Stavební fyzika II: stavební tepelná technika*. 5., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 157 s. ISBN 978-80-01-04957-0.
- [5] MRLÍK, František. *Vlhkostné problémy stavebných materiálů a konstrukcí*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985.
- [6] POČINKOVÁ, Marcela, Danuše ČUPROVÁ a Olga RUBINOVÁ. *Úsporný dům*. 1. vyd. Brno: CPress, 2012, viii, 184 s. Stavíme. ISBN 978-80-264-0014-1.
- [7] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. čes. vyd. Překlad Zlatuše Braunšteinová. Bratislava: Jaga, 2009, 196 s. ISBN 978-80-8076-080-92009.

[8] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 193 s. ISBN 978-80-247-2061-6.

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

[10] NORMY

ČSN EN ISO 13788. *Hygrothermal performance of building components and building elements: Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN ISO 10456. *Stavební materiály a výrobky: Tepelně vlhkostní vlastnosti - Tabelované návrhové hodnoty a postupy pro stanovení deklarovaných a návrhových tepelných hodnot*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

ČSN 730540-1. *Tepelná ochrana budov: Část 1: Terminologie*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov: Část 4: Výpočtové metody*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005

Internetové zdroje

www.drevostavitel.cz

www.pasivnidomy.cz

<https://kps.fsv.cvut.cz>

www.demos.cz

www.raj-dreva.cz

www.efel-drevostavby.cz

www.mta.cz

<http://stavba.tzb-info.cz>

www.asb-portal.cz

www.mojdom.zoznam.sk

www.fce.vutbr.cz

www.rigips.cz

www.egger.com

www.steico.com

www.climatizer.cz

www.isover.cz

www.baumit.cz