



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kuželová Jméno: Karolína Osobní číslo: 380183  
Zadávací katedra: K124 - Katedra Konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: Budovy a prostředí  
Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizácia tepelných vlastností murovacieho systému pre sendvičové steny z  
betónových tvárnic  
Název diplomové práce anglicky: Optimalization of thermal properties of layerd walls from concrete blocks

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vypracovanie rešerše o murovacích systémoch pre sendvičové steny z betonových tvárnic
- 2) Zadeinovanie cieľových tepelných vlastností murovacieho systému
- 3) Voľba modelového systému pre optimalizáciu a výpočet jeho tepelných vlastností
- 4) Analýza možností zlepšenia tepelných vlastností modelového systému (dielčie výpočtové štúdie)
- 5) Zhrnutie výsledkov a návrh úprav modelového systému

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0540 - 1 - 4 - Tepelná ochrana budov část 1 - 4

ČSN EN ISO 13 790 - Tepelné chování budov, Výpočet spotřeby tepla na vytápění

TNI 73 03 31 - Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jiří Novák, Ph. D.

Datum zadání diplomové práce: 14.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

14.10.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



Diplomová práce

# Optimalizácia tepelných vlastností murovacieho systému pre sendvičové steny z betónových tvárnic

*Bc. Karolína Kuželová*

Vedoucí práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.

7. januára 2017



---

## Pod'akovanie

Týmto by som chcela poďakovať vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za jeho odborné rady, trpezlivosť, ochotu a správne vedenie počas písania práce. Rada by som poďakovala spoločnosti KB blok system s.r.o. za užitočné podklady. Za poskytnuté podklady k projektom rodinných domov ďakujem pánovi Ing. Emilovi Popovičovi. V neposlednom rade moja vďaka patrí rodine a priateľom za pomoc, rady a podporu.



---

## Prehlásenie

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů, zejména skutečnost, že České vysoké učení technické v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 7. januára 2017

.....

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební

© 2017 Karolína Kuželová. Všechna práva vyhrazena.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě stavební. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí, je nezbytný souhlas autora.*

## **Odkaz na tuto práci**

Kuželová, Karolína. *Optimalizácia tepelných vlastností murovacieho systému pre sendvičové steny z betónových tvárnic*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2017.



---

# Abstract

The main subject of this diploma thesis is optimization of thermal properties of layered walls made from concrete vibropressed blocks. These layered walls consist of two layers of concrete blocks and one layer of thermal insulation between them.

The main purpose of this thesis is to optimize layered wall structure for passive house. The methods of research, analysis, comparison and generalization are used to achieve this purpose.

The thesis is divided into two parts.

The theoretical part is using research method to describe types of layered walls made from different types of material and properties of several types of thermal insulation and the material of anchor. It also contains a selection of buildings representative of this type of construction. The practical part of thesis consists of several calculations. By the application of calculation of annual demand of the heating the U – value of sandwich structure for passive houses is obtained.

The calculations contained in the second part are based on the theoretical portion of the thesis. The calculations optimize U – value of layered wall.

In the end of the thesis modified layered sandwich structure with optimized thermal properties is selected. The final draft proves the use of this structure in passive houses.

**Keywords** thermal transmittance, passive house, vibropressed concrete masonry unit, thermal insulation, thermal conductivity ( $\lambda$  value), sandwich wall structure

---

# Abstrakt

Nosnou témou tejto diplomovej práce je návrh optimalizácie tepelnotechnických vlastností sendvičovej konštrukcie z betónových vibrolisovaných tvárnic. Jedná sa o sendvičový systém, ktorý pozostáva z dvoch vrstiev betónových tvárnic a vrstvy tepelnej izolácie medzi nimi.

Hlavným cieľom práce je na základe získaných výsledkov navrhnúť skladbu konštrukcie tak, aby zvolený objekt spĺňal požiadavky pre pasívne domy. Na jeho dosiahnutie sú využité metódy rešerše, analýzy, komparácie a zo-  
všeobecňovania.

Práca je rozdelená na teoretickú a výpočtovú časť.

V teoretickej časti sú formou rešerše popísané existujúce sendvičové systémy, druhy a vlastnosti rôznych typov tepelných izolácií a kotviacich prvkov. Teoretická časť tiež popisuje výber reprezentatívnych objektov. Praktická časť pozostáva z dielčích výpočtov. Výpočty sú rozdelené do dvoch častí. Výpočet ročnej potreby tepla na vykurovanie slúži k určeniu súčiniteľa prestupu tepla  $U$ , ktorý musí konštrukcia dosiahnuť aby splnila parametre pre pasívny dom.

Druhá časť výpočtov využíva poznatky z teoretickej časti k optimalizácii východzieho sendvičového systému na vypočítanú hodnotu súčiniteľa prestupu tepla.

Záver práce poukazuje, na základe teoretickej a praktickej časti, na upravenú skladbu sendvičovej konštrukcie a návrh konštrukčných detailov, ktoré môžu byť aplikované na pasívne domy.

**Kľúčové slová** súčiniteľ prestupu tepla, pasívny dom, vibrolisovaná betónová tvarovka, tepelná izolácia, súčiniteľ tepelnej vodivosti, sendvičový systém

---

# Obsah

Úvod	1
<b>1 Cieľ práce</b>	<b>3</b>
<b>2 Stavebné systémy so sendvičovou konštrukciou</b>	<b>5</b>
2.1 Charakteristika konštrukcií zo sendvičového muriva . . . . .	5
2.2 Murovacie systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic v Českej republike a vo svete . . . . .	7
2.3 Sendvičový systém od spoločnosti KB blok . . . . .	14
2.4 Sendvičové systémy a ich budúci vývoj . . . . .	15
<b>3 Spôsob výberu reprezentatívnej vzorky budov</b>	<b>17</b>
3.1 Výber reprezentatívneho rodinného domu . . . . .	17
3.2 Výber reprezentatívneho bytového domu . . . . .	19
<b>4 Výpočet potreby tepla na vykurovanie reprezentatívnych objektov</b>	<b>21</b>
4.1 Zadefinovanie cieľových vlastností systému . . . . .	21
4.2 Vstupné údaje . . . . .	23
4.3 Postup výpočtu . . . . .	28
4.4 Zhrnutie výsledkov . . . . .	29
<b>5 Zlepšenie tepelných vlastností sendvičového systému - úprava vibrolisovanej betónovej tvarovky</b>	<b>31</b>
5.1 Úprava tepelných vlastností tvarovky . . . . .	32
5.2 Záver . . . . .	43

<b>6</b>	<b>Vlastnosti tepelných izolantov a spôsob kotvenia</b>	<b>45</b>
6.1	Porovnanie vlastností základných stavebných tepelných izolantov . . . . .	45
6.2	Spôsob kotvenia tepelných izolantov . . . . .	51
6.3	Záver . . . . .	56
<b>7</b>	<b>Optimalizácia vrstvy tepelnej izolácie sendvičovej konštrukcie pomocou programu Cube3D 2015 EDU</b>	<b>57</b>
7.1	Vstupné parametre . . . . .	57
7.2	Výpočet závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiále tepelnej izolácie a kotviacom prvku . . . . .	60
7.3	Posúdenie vhodnosti tepelných izolantov z ekonomického hľadiska . . . . .	68
7.4	Posúdenie sendvičovej konštrukcie z hľadiska kondenzácie vodnej pary . . . . .	71
7.5	Návrh vhodnej skladby sendvičovej konštrukcie pre stavbu pasívneho domu . . . . .	73
<b>8</b>	<b>Posúdenie kritických detailov optimalizovanej skladby sendvičovej konštrukcie</b>	<b>75</b>
8.1	Výpočet lineárneho činiteľa prestupu tepla . . . . .	75
8.2	Vzduchotesnosť obálky . . . . .	78
	<b>Záver</b>	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>Zoznam príloh</b>	<b>85</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>89</b>

---

## Zoznam obrázkov

2.1	Betónová vibrolisovaná tvarovka s izolačným jadrom, [9]	6
2.2	Keramzitová tvarovka vyplnená polystyrénom, [27]	6
2.3	Polystyrénová tvarovka CEPOL Thermo I, [11]	6
2.4	Tepelnotechnická charakteristika stavebných systémov	7
2.5	Francúzsky systém výstavby, [8]	9
2.6	Liaporbetonová tvarovka, [21]	10
2.7	Skladba sendvičovej steny Colinwell, [13]	11
2.8	Konštrukčný prvok z vibrolisovaných betónových tvárnic, Schnell Home, [29]	11
2.9	Tepelná izolácia, ktorá sa vkladá medzi betónové prvky, [29]	12
2.10	Skladba tvárnice Insultech, [15]	13
2.11	Betónový prvok s dvoma vrstvami tepelnej izolácie	13
2.12	Spôsob napojenia tepelnej izolácie na betónovú tvarovku, NRG Insulated block, [25]	14
2.13	Možnosti vytvorenia tepelnoizolačnej tvárnice, [25]	14
2.14	Sendvičové systémy KB Blok, [17]	15
3.1	Graf znázorňujúci počet a veľkosť dokončených rodinných domov za rok 2015	18
3.2	Graf znázorňujúci počet a veľkosť dokončených bytov v bytových domoch za rok 2015	19
4.1	Pôdorys dvojposchodového RD - 1.NP	23
4.2	Pôdorys dvojposchodového RD - 2.NP	24
4.3	Rez dvojposchodovým RD	24
4.4	Pôdorys bungalov	25
4.5	Rez bungalovom	25
4.6	Pôdorys typického podlažia bytového domu	26

4.7	Rez bytovým domom . . . . .	26
5.1	Model sendvičovej konštrukcie z programu Area . . . . .	32
5.2	Skladba sendvičovej konštrukcie . . . . .	34
5.3	Tvar vzduchových vrstiev podľa ČSN EN ISO 6946, [35] . . . . .	34
5.4	Prvý variant riešenia veľkosti vzduchových dutín . . . . .	36
5.5	Druhý variant riešenia veľkosti vzduchových dutín . . . . .	36
5.6	Tretí variant riešenia veľkosti vzduchových dutín . . . . .	37
5.7	Štvrtý variant riešenia veľkosti vzduchových dutín . . . . .	37
5.8	Graf závislosti súčiniteľa prestupu tepla $U$ na veľkosti vzduchových dutín . . . . .	38
5.9	Závislosť súčiniteľa prestupu tepla $U$ sendvičovej konštrukcie na súčiniteli tepelnej vodivosti tepelnej izolácie vzduchovej dutiny . . . . .	39
5.10	Tabuľka súčiniteľov prestupu tepla $U$ jednovrstvých obvodových stien z dutinových tvárnic vyplnených tepelným izolantom . . . . .	41
5.11	Graf znázorňujúci závislosť súčiniteľa prestupu tepla $U$ sendvičovej konštrukcie na emisivite povrchov ohraničujúcich vzduchovú dutinu . . . . .	43
6.1	Vákuový izolačný panel s vrstvami z penového polystyrénu Vacupor PS-B2-S od spoločnosti POREXTHERM, [28] . . . . .	48
6.2	Panel z aerogelu s povrchovou úpravou v podobe výstužnej sieťoviny, [30] . . . . .	49
6.3	Uloženie ocelových kotiev v skladbe obvodovej steny sendvič KB, vodorovný rez . . . . .	52
6.4	Skladba sendvičovej steny a spôsob uchytenia tepelnej izolácie, [16] . . . . .	52
6.5	Typy ocelových kotiev . . . . .	53
6.6	Spôsob rozmiestnenia ocelových kotiev, [6] . . . . .	54
6.7	Zatĺkacie ocelové kotvy, [6] . . . . .	54
6.8	Čadičové kotvy pri uchytení tepelného izolantu v sendvičovej konštrukcii, [6] . . . . .	55
6.9	Spôsob kotvenia pomocou plastových kotiev, [19] . . . . .	56
7.1	Charakteristický výrez sendvičovej konštrukcie (osa XZ) . . . . .	58
7.2	Charakteristický výrez sendvičovej konštrukcie (osa XY) . . . . .	59
7.3	Výpočtový 3D model z programu Cube3D . . . . .	59
7.4	Graf závislosti súčiniteľa prestupu tepla na druhu tepelnej izolácie . . . . .	61
7.5	Graf zmeny súčiniteľa tepelnej vodivosti pri započítaní vplyvu ocelevej kotvy . . . . .	62

7.6	Graf znázorňujúci hrúbku tepelnej izolácie pri cieľovej hodnote súčiniteľa prestupu tepla . . . . .	63
7.7	Graf závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na druhu tepelnej izolácie a plastovom kotviacom prvku . . . . .	65
7.8	Graf zmeny súčiniteľa tepelnej vodivosti pri započítaní vplyvu plastovej kotvy . . . . .	66
7.9	Graf znázorňujúci hrúbku tepelnej izolácie s plastovým kotviacim prvkom pri cieľovej hodnote súčiniteľa prestupu tepla . . . . .	67
7.10	Porovnanie ceny za nehnuteľnosť pri zväčšení podlahovej plochy a ceny investovanej do tepelnej izolácie . . . . .	69
7.11	Graf porovnávajúci dopad zväčšenia podlahovej plochy na zisk a investíciu a zväčšenie . . . . .	70
7.12	Posúdenie kondenzácie vodnej pary v sendvičovej konštrukcii . . . . .	72
8.1	Hodnoty lineárneho činiteľa prestupu tepla vybraných detailov reprezentatívneho domu . . . . .	76
8.2	Hlavná vzduchotesniaca vrstva objektu . . . . .	80





---

# Úvod

Od druhej polovice 20. storočia sa kladie väčší dôraz na úsporu energií. Budovy majú vplyv na dlhodobú spotrebu energie, a preto sa hľadajú možnosti, ktoré prispievajú k jej úspore. Do roku 2020 je v oblasti znižovania energií cieľom dosiahnuť zníženie spotreby energie o 20%, zníženie emisie skleníkových plynov o 20% a zvýšenie podielu obnoviteľných zdrojov na 20 % celkovej výroby v Európe oproti roku 1990.

Cieľom smernice Európskej únie 31/2010/EU (EPBD II) z roku 2010 je stanovenie, dodržovanie a kontrola požiadaviek na energetickú hospodárnosť budov v prepojení na vonkajšie klimatické a miestne podmienky, požiadavky na vnútorné prostredie a efektívnosť nákladov na prevádzkovanie budov [24]. Tieto požiadavky majú vplyv aj na voľbu materiálov, z ktorých bude budova postavená. Sleduje sa dopad výstavby a užívania budovy na životné prostredie a spotreba energií, ktoré sa v budove využívajú na vykurovanie, ohrev teplej vody, vetranie, chladenie či osvetlenie. Súčasne pri výbere materiálu rozhoduje rýchlosť, presnosť prevedenia a náklady spojené s výstavbou. Vhodný výber materiálov vedie k nízkym tepelným stratám objektu, a tým k nízkej spotrebe energií.

K týmto objektom sa radia nízkoenergetické, pasívne alebo nulové domy. Požiadavky zmieňované vyššie majú za úlohu viesť výrobcov, projektantov a investorov k návrhom systémových riešení, ktoré môžu byť použité pri výstavbe objektov s veľmi nízkou spotrebou energie – pasívnym a nulovým domom.

Pasívny dom je budova s veľmi nízkou potrebou tepla na vykurovanie neprekračujúcou v prípade rodinných domov hodnotu 20 kWh/m<sup>2</sup>a, v ostatných prípadoch neprekračujúcou hodnotu 15 kWh/m<sup>2</sup>a [2]. Názov pasívny vychádza z princípu využívania pasívnych tepelných ziskov v budove, ku ktorým patria vonkajšie zisky zo slnečného žiarenia prechádzajúce oknami a zisky vnútorné (teplo vyžarované ľuďmi a spotrebičmi). Základ tvorí kvalitná obálka budovy. Na jej vlastnosti má vplyv predovšetkým kvalitná tepelná izolácia a vysoká tesnosť konštrukcií, ktorá znižuje prestup tepla stratami a zaisťuje počas roka konštantné teploty v miestnostiach. Vetranie v objektoch je mechanicky riadené s rekuperáciou tepla [10].

Aby výrobcovia stavebných materiálov mohli poskytnúť vyššie zmieňované požiadavky, zdokonaľujú vlastnosti a technológie svojich stavebných systémov. Zameriavajú sa na úpravu nosnej, izolačnej aj povrchovej vrstvy, ktoré spolu vytvárajú sendvičovú konštrukciu. V širšom kontexte sendvičová konštrukcia pozostáva z troch a viac vrstiev, ktoré sa líšia svojimi funkciami a vlastnosťami a spolu vytvárajú jeden celok.

Sendvičovú konštrukciu, ktorá bude predmetom tejto diplomovej práce, tvoria dve vrstvy dutinových betónových vibrolisovaných tvaroviek (vnútorná nosná a vonkajšia – pohľadová), medzi ktorými je prikotvená vrstva tepelnej izolácie. Spôsob výstavby z betónových tvárnic je rozšírený v niektorých častiach USA a vyskytuje sa aj vo Veľkej Británii pri rekonštrukciách murovaných domov. V ČR je tento systém menej rozšírený (napr. spoločnosť KB Blok systém s.r.o). Tieto sendvičové systémy sú oproti systémom z iných materiálov (keramika, pórobetón, vápennopiesok) pozadu. Hlavným problémom je momentálne používaná hrúbka a materiál vrstvy tepelnej izolácie. Hrúbka tejto vrstvy je menšia na úkor povrchovej úpravy, ktorá plní len estetickú funkciu. Ďalším problémom je informovanosť potencionálnych investorov. Dlhodobo sú pri výstavbe objektov obľúbené systémy z keramických alebo pórobetónových tvárnic. Do popredia sa dostávajú tiež drevostavby. Výrobcovia týchto systémov sa dlhšiu dobu zameriavajú na výstavbu objektov s veľmi nízkou spotrebou energie a ponúkajú široký sortiment stavebných prvkov s kvalitnými tepelnotechnickými vlastnosťami.

Táto téma bola zvolená, aby na základe zmieneného problému overila či sendvičový systém z dutinových betónových tvárnic možno upraviť tak, aby mohol byť použitý na výstavbu pasívnych domov v našich klimatických podmienkach. Jedná sa o málo používaný systém, ktorý by v budúcnosti po určitých úpravách mohol konkurovať ostatným stavebným systémom pre pasívne domy a súčasne si zachoval svoj jedinečný ráz.

## Cieľ práce

Cieľom tejto diplomovej práce bude na základe tepelných vlastností sendvičovej konštrukcie z betónových vibrolisovaných tvárnic navrhnúť optimalizovanú skladbu konštrukcie. Na splnenie tohto cieľa bude využitá metóda analýzy, ktorá bude smerovať, k tomu, ako sendvičový systém upraviť, aby spĺňal kritéria pre pasívne domy definované normou ČSN 73 0540, TNI 73 0329 a TNI 73 0330.

V prvej časti práce bude na základe rešerše prevedený rozbor existujúcich systémov z vibrolisovaných tvárnic. Bude predstavený sendvičový systém od spoločnosti KB blok, ktorý je východzím stavebným systémom pre túto prácu.

V druhej časti práce bude popísaný postup výberu reprezentatívnych objektov (dva rodinné domy a jeden bytový dom) na základe štatistických údajov a prevedený výpočet ročnej potreby tepla na vykurovanie.

Parametre vstupujúce do výpočtu budú v troch variantoch upravené tak, aby bola dosiahnutá ročná potreba tepla na vykurovanie:

$$E_A \leq 20kWh/m^2a \text{ (pre rodinné domy)}$$

$$E_A \leq 15kWh/m^2a \text{ (pre bytové domy)}$$

Hodnoty ročnej potreby tepla na vykurovanie odpovedajú hodnotám pre pasívne domy. Cieľom tejto časti bude získať hodnotu súčiniteľa prestupu tepla  $U$  [ $W/m^2K$ ], ktorú musí obvodová stena dosiahnuť, aby podmienky splnila. Získaná hodnota súčiniteľa prestupu tepla  $U$  bude východzou hodnotou pre optimalizáciu sendvičovej konštrukcie.

Na základe výsledkov získaných bude práca smerovať k výberu najmenej priaznivého objektu, na ktorom budú aplikované ďalšie výpočty.

V tretej časti práce budú uskutočnené dielčie výpočty zamerané na posúdenie vplyvu možných opatrení na tepelnotechnické vlastnosti sendvičovej konštrukcie. Výpočty budú sledovať, aký vplyv majú navrhnuté úpravy na

## 1. CIEĽ PRÁCE

---

hodnotu súčiniteľa prestupu tepla  $U$ .

Bude overené či úpravou vzduchových dutín betónovej tvarovky dôjde k zníženiu pohybu tepla prúdením, vedením alebo sálaním. V druhej skupine výpočtov bude overený vplyv materiálu kotviaceho prvku na súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda$  [W/mK] tepelnej izolácie. Ďalšie výpočty budú zamerané na ekonomické posúdenie výberu tepelných izolantov a posúdenie konštrukcie z hľadiska kondenzácie vodnej pary. Materiály vhodných tepelných izolácií a kotviacich prvkov budú zvolené na základe rešerše, ktorá je súčasťou tejto časti. Cieľom tretej časti bude na základe uskutočnených výpočtov zvoliť variant, ktorý povedie k najoptimálnejšej úprave sendvičovej konštrukcie z technologického, tepelnotechnického aj ekonomického hľadiska. Na jeho dosiahnutie budú využité metódy analýzy a komparácie.

V poslednej časti práce budú na vybranú optimalizovanú skladbu konštrukcie navrhnuté kritické detaily. Detaily budú zvlášť posúdené ako lineárny tepelný most a ich vplyv bude započítaný do ročnej potreby tepla na vykurovanie. Cieľom tejto časti bude dokázať, ako a či je možné tento systém po optimalizácii použiť na výstavbu pasívnych domov. Na dosiahnutie cieľa bude využitá metóda zovšeobecňovania.

---

# Stavebné systémy so sendvičovou konštrukciou

Táto kapitola bude venovaná charakteristike sendvičových stavebných systémov.

## 2.1 Charakteristika konštrukcií zo sendvičového muriva

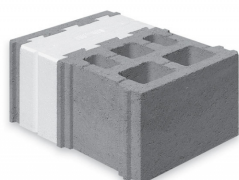
Vo všeobecnosti sa za steny sendvičového typu môže považovať akákoľvek konštrukcia zložená z niekoľkých vrstiev, ktoré sa líšia svojou štruktúrou a vlastnosťami. Konštrukcia je rozdelená na nosnú a tepelnoizolačnú časť. Nosný prvok tvoria tvárnice z rôznych materiálov, panely alebo monolitické steny s vrstvou tepelnej izolácie a povrchovou úpravou. Zatepľovací systém môže byť s nosnou časťou spojený kontaktne (lepením a kotvením) alebo je medzi vrstvou tepelnej izolácie a povrchovej úpravy prevetrávaná vzduchová medzera.

Dnes existuje široká škála tzv. ucelených systémov, kde jeden konštrukčný prvok spája nosné aj tepelnoizolačné vlastnosti. Jedná sa o systémy napríklad z keramických, betónových alebo keramzitových tvární. Tvárnice môžu byť dutinové s dutinami vyplnenými tepelným izolantom alebo sa vo výrobe spojí nosná časť s tepelnoizolačnou vrstvou a výsledkom je jeden kompaktný stavebný diel. Príklady takýchto systémov sú uvedené na obrázkoch 2.1 a 2.2.

## 2. STAVEBNÉ SYSTÉMY SO SENDVIČOVOU KONŠTRUKCIOU

---

Odlíšnym riešením je napríklad systém strateného debnenia. Medzi štiepkocementové dosky je vložená tepelná izolácia, do medzery je vložená oceľová výztuž a následne je medzera zaliata betónovou zmesou napr. systém VE-LOX.

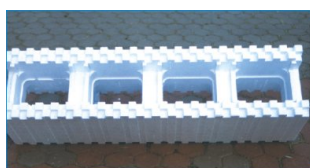


Obr. 2.1: Betónová vibrolisovaná tvarovka s izolačným jadrom, [9]



Obr. 2.2: Keramzitová tvarovka vyplnená polystyrénom, [27]

Ďalším spôsobom strateného debnenia je tvarovka z polystyrénu s dutinami, ktorá sa vyplní betónovou zmesou viď obrázok 2.3.



Obr. 2.3: Polystyrénová tvarovka CEPOL Thermo I, [11]

Samostatnú skupinu predstavujú keramické tvárnice, ktoré majú dutiny vyplnené tepelným izolantom napr. z minerálnych vlákien alebo sendvičové panely používané na výstavbu drevostavieb. Typické sú napríklad konštrukcie z OSB dosiek, ktoré tvoria plášť s izolačným jadrom z polystyrénu. Základná tepelnotechnická charakteristika stavebných prvkov je popísaná v tabuľke 2.4.

## 2.2. Murovacie systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic v Českej republike a vo svete

Tepelné vlastnosti vybraných sendvičových konštrukcií

Typ	Hrúbka a typ tepelnej izolácie	Odpor konštrukcie R [m <sup>2</sup> K/W]	Součiniteľ prestupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Poznámka
keramická tvárnica s KZS	vlastnosti závisia od konkrétneho typu keramickej tvárnice a hrúbky tepelnej izolácie.			
systém strateného debnenia z štiepkocementových dosiek napr. VELOX	400 mm (200 mm EPS)	5,97	0,14	ZL 40 plus WS-EPS-plus 215/beton/WSD 35, *
systém strateného debnenia z polystyrénových tvárnic napr. CEPOL	EPS + betónová výplň, tl. 250 mm	3,66	0,29	CEPOL Thermo I
keramická tvárnica vyplnená tepelnou izoláciou napr. POROTHERM 44 T PROFI	tl. 440 mm (celá tvárnica)	5,74	0,17	*
keramzitová tvárnica s polystyrénovou vložkou	tl. 420 mm	6,66	0,15	GT HOT BLOK, *
betónová tvárnica s izolačnou vrstvou z EPS	tl. 400 mm	4,78	0,21	BIO - PLUS Extra
betónová tvárnica + EPS napr. tvárnice LIVETHERM	tl. 400 mm	4,12	0,23	TOB+N Z400-P6
vibrolisovaná betónová tvárnica + EPS (upevnenie sponami) napr. systém SENDVIČ KB blok	tvárnice KB-Ad tl. 200 mm + 150 mm EPS + tvárnice KB-b tl. 150 mm	-	0,24	

\* splňuje požiadavok pre pasívne domy  $0,12 < U_{pas} < 0,18$

Obr. 2.4: Tepelnotechnická charakteristika stavebných systémov

Doporučená hodnota súčiniteľa prestupu tepla stanovená normou [2] pre ťažké obvodové steny je  $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Podľa tabuľky 2.4 túto hodnotu pri hrúbke obvodovej steny cca 400 – 440 mm dosahujú všetky vybrané konštrukčné prvky. V tabuľke 2.4 sú aj stavebné prvky, ktoré spĺňajú hodnotu súčiniteľa prestupu tepla  $U \text{ [W/m}^2\text{K]}$  pre pasívne domy je podľa normy [2]  $U_{pas} = 0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## 2.2 Murovacie systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic v Českej republike a vo svete

### 2.2.1 Charakteristika a spôsob výroby betónových vibrolisovaných tvárnic

Vibrolisované betónové tvárnice predstavujú ľahký, rozmerovo presný a flexibilný materiál, ktorý umožňuje rýchlu a presnú stavbu. Vyrábajú sa bez prídavných chemických prísad a pozostávajú z drveného kameniva, piesku, cementu a vody. Do zmesi sa môžu použiť prísady, ktoré sú ľahšie ako kamenivo napríklad keramzit alebo penza.

Vyznačujú sa tiež energeticky nízkou náročnosťou pri výrobe v porovnaní

napríklad s klasickými pálenými tehľami, ktoré musia dozrievať vo vyhrievacích boxoch. Použitie tvárnic je možné od základov po strop. Majú širokú možnosť uplatnenia od malých jednoduchých stavieb ako sú garáže, rodinné domy, menšie bytové domy, obchodné a priemyselné centrá, servisné prevádzky, administratívne budovy, hotely až po výrobné haly.

Používajú sa pri zhotovovaní menších stavieb: oplatenia, oporné múry, protihlukové zátarasy, zatravnňovacie dlaždice, obrubníky [5]

V starších technologických postupoch bola výroba nasledovná:

Po základnej terénnej úprave zeminou bol betón nalievajú do pripravených výkopov a jeho ďalšie zvýšenie nad úroveň terénu muselo byť usmernené do dreveného šalovacieho otvoru, ktorého veľkosť dosahovala aj niekoľko metrov, v závislosti od projektu stavby. Tento postup bol časovo veľmi náročný. Vyžadoval množstvo obsluhujúcich pracovníkov a vysokú odbornosť pri šalovaní. Tento spôsob výroby sa stal ekonomicky a časovo nezaujímavý, a súčasne neekologický [4]. Dovoz zahraničných technologických liniek umožnil výrobu betónových vibrolisovaných tvaroviek v ČR a SR.

Moderný postup výroby:

Zmes piesku(85%), cementu (9%) a vody (6%) sa dopraví do zásobníka výrobných liniek. Linka nadáva betón do formy, v ktorej sa za stáleho vibrovania a vzápätí lisovania vyrobí tvárnica. Tá automaticky pokračuje do zakladača na prepravu tvárnic do zrecieho boxu. Dopravník sa po vložení tvárnic do zrecieho boxu presunie k sekcii vyzretých tvárnic a dopraví ich do paletizačného zariadenia, ktoré je umiestnené hneď vedľa výrobných liniek. Výrobky uložené na palete do sekcií podľa druhu a veľkosti ďalej zrejú vo vonkajšom priestore. Po 28 dňoch je možné pripravené tvarovky používať. Z výrobkov nevzniká prakticky žiaden odpad a poškodené tvárnice je možné opätovne použiť ako prísadu do liatych betónov [4].

### 2.2.2 Vibrolisované betónové tvárnice v ČR a v SR

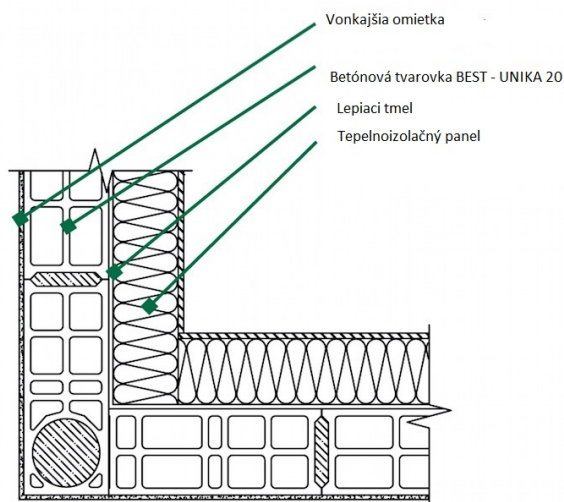
V Českej republike a na Slovensku nájdeme mnoho lokálnych výrobcov, ktorí sa zaoberajú výrobou vibrolisovaných betónových tvárnic. V minulosti sa betónové tvárnice používali hlavne do strateného debnenia alebo do základových konštrukcií. Dnes sa využívajú na nosné obvodové steny, stropy a vedie k vzniku komplexných stavebných systémov.

Jedným zo stavebných systémov je tzv. Francúzsky systém výstavby. Používajú sa v ňom tenkostenné vibrolisované tvárnice zateplené tepelnou izoláciou z vnútornej strany vid' obrázok 2.5. Najčastejšie sa na zateplenie využívajú tepelnoizolačné panely z EPS alebo XPS bodovo lepené na vnútorný povrch steny. Hrúbka tepelnej izolácie je od 100 – 140 mm. Na izoláciu



## 2.2. Murovacie systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic v Českej republike a vo svete

sa upevňuje sádkartónová doska hr. 10 - 12 mm. Túto technológiu používa napríklad spoločnosť BEST so systémom BEST Unika [20],[8].



Obr. 2.5: Francúzsky systém výstavby, [8]

Iný spôsob využíva firma Liapor. Miesto kameniva do betónovej zmesi pridáva ľahké keramické perly vyrobené z ílovej hliny a vzniká tak produkt nazývaný Liaporbeton. Jednotlivé prvky sa vyrábajú vibrolisovaním, čím je zaistené dodržanie presných rozmerov. Vyznačujú sa nízkou objemovou hmotnosťou, priaznivým súčiniteľom tepelnej vodivosti, výborne pohlcujú zvuk a majú vysokú požiarnu odolnosť. Takto vyrobené tvarovky sa väčšinou používajú ako jednovrstvé obvodové murivo. Tvárnice môžu mať dutiny buď prázdne alebo vyplnené izolačnou hmotou na báze z minerálnej vlny. Dodatočne sa tvárnice môžu zatepliť kontaktným zatepľovacím systémom alebo izolačnou omietkou. Skladba tvarovky je znázornená na obrázku 2.6 [21].



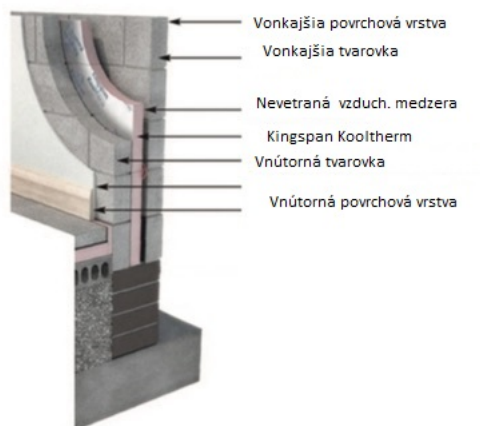
Obr. 2.6: Liaporbetonová tvarovka, [21]

Ďalší stavebný systém predstavuje spoločnosť LIVETHERM vid' obrázok 2.1. Základným materiálom použitým na výrobu stavebných prvkov LIVETHERM je liaporbetón. Vo vibrolisovacom zariadení sa k tvárnici prikladá vložka z tvrdého polystyrénu (styropor) a vzniká tak základný sendvičový prvok. Tento prvok už nie je potrebné ďalej upravovať napríklad vypalovaním v peci pri vysokých teplotách. Tento sendvičový blok je oproti klasickým murovacím materiálom ľahší, dobre opracovateľný s dobrým tepelným odporom. Vlastnosti sendvičovej konštrukcie je možné v prípade prísnejších požiadaviek zlepšiť dodatočným zateplením [9].

### 2.2.3 Výroba vibrolisovaných betónových tvárnic v Európe

Spoločnosť Colinwell zo Severného Írska sa špecializuje na produkty vyrobené z betónu ako sú dekoratívne a akustické tvárnice, oporné steny, fasádne tehly a pod. Z betónových tvaroviek vytvárajú aj sendvičové konštrukcie. Nosným prvkom konštrukčného systému je výlahčená betónová tvárnica. Na výlahčenie sa do zmesi pridáva pemza. Tvarovka sa vyrába vo dvoch variantoch plná alebo dutinová. Skladba sendvičovej konštrukcie pozostáva z vonkajšej betónovej alebo hlinenej tvarovky, nevetranej dutiny, izolačnej vrstvy (panel z fenolickej peny Kingspan kooltherm K8), tvarovka Colinwell Primatherm Common block a vnútorná omietka. Hrúbka izolácie sa pohybuje od 75 – 100 mm a celková hrúbka konštrukcie je 300 – 400 mm [13].

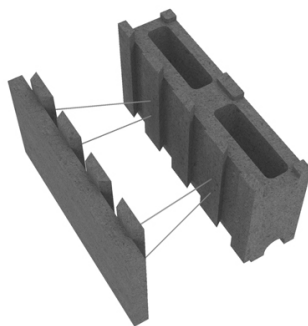
## 2.2. Murovacie systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic v Českej republike a vo svete



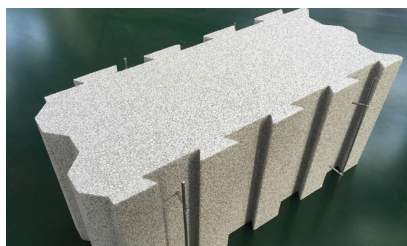
Obr. 2.7: Skladba sendvičovej steny Colinwell, [13]

Talianska spoločnosť Schnell Home vyrába konštrukcie, ktoré pozostávajú z EPS panelov medzi dvoma výstužnými rohožami. Na stavbe sa z oboch strán strieka betónová vrstva.

Ich ďalší výrobok predstavuje vystužená termo tvárnica pozostávajúca z dvoch častí z vibrolisovného betónu. Separované časti sú špeciálne zúbkovito tvarované a spojené výztužou vid' obrázok 2.8. Medzi vrstvy sa vkladá polystyrénový ozubený izolačný blok s výztužou ako je zobrazené na obrázku 2.9. Hrúbka izolácie sa volí na základe vlastností, ktoré chceme dosiahnuť od 75 – 400 mm. Výstavba pomocou týchto špeciálne tvarovaných častí je suchým procesom. Vďaka styku na pero – drážku je potrebná minimálna vrstva malty [29].



Obr. 2.8: Konštrukčný prvok z vibrolisovaných betónových tvárnic, Schnell Home, [29]



Obr. 2.9: Tepelná izolácia, ktorá sa vkladá medzi betónové prvky, [29]

### 2.2.4 Výroba vibrolisovaných betónových tvárnic v USA

V USA majú stavebné systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic takmer storočnú tradíciu. Stavebný prvok má skratku CMU (Concrete masonry unit) a predstavuje dutinovú betónovú tvarovku spojenú s vrstvou tepelnej izolácie. Systém v USA sa používa pri výstavbe energeticky úsporných objektov.

Výhody zateplených CMU systémov:

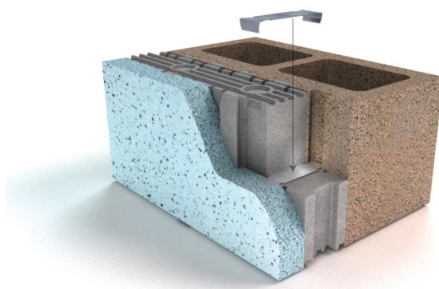
- Úspora energie až 60%
- Za ich použitie je možné získať body pri certifikácii LEED v niekoľkých kategóriách
- Prispievajú k šetreniu nákladov na materiály a prácu
- Vyrábajú sa v širokom farebnom prevedení s rôznymi povrchovými úpravami
- Pri takomto prevedení nedochádza k vzniku tepelných mostov
- Vyrábajú sa z prírodných a recyklovateľných materiálov, ktoré nie sú toxické
- Majú veľmi dobrú požiaru odolnosť, akustické vlastnosti a vysokú odolnosť voči veterným vplyvom
- Sú odolné voči tvorbe plesní
- Domy si zachovávajú optimálne vnútorné prostredie zimných aj v letných mesiacoch vďaka akumuláčnej schopnosti materiálu

## 2.2. Murovacie systémy z vibrolisovaných betónových tvárnic v Českej republike a vo svete

---

Okrem základných stavebných prvkov sú vyrábané aj systémy s tepelnoizolačnou vrstvou. Použité množstvo tepelného izolantu medzi betónovými vrstvami je pre naše podmienky nedostačujúce.

Spoločnosť Echelon so sídlom v štáte Georgia vyrába systémovo betónove tvarovky Insultech. Skladba základného prvku pozostáva z dutinovej betónovej tvárnice, tepelnoizolačnej vložky Neopor EPS s rozličnou povrchovou úpravou, ktorá je upevnená k tepelnej izolácii pomocou vlisovaných nerezových kotiev. Skladba sendvičového dielu je na obrázku 2.10 [15].



Obr. 2.10: Skladba tvárnice Insultech, [15]

Výrobca betónových tvárnic Omniblock neponúka tvarovky s typickými dutinami. Stavebný prvok predstavuje "sendvič"zložený z 3 – 4 betónových vrstiev, medzi ktoré sú vložené 2 – 3 bloky tepelnej izolácie EPS. Na obrázku 2.11 je znázornená skladba betónového stavebného prvku [26].



Obr. 2.11: Betónový prvok s dvoma vrstvami tepelnej izolácie

Na obrázkoch 2.12, 2.13 sú zobrazené ďalšie riešenia izolačných tvaroviek. Základom je dutinová betónová tvarovka s tepelnou izoláciou väčšinou z EPS a s vonkajšiou pohľadovou vrstvou.



Obr. 2.12: Spôsob napojenia tepelnej izolácie na betónovú tvarovku, NRG Insulated block, [25]



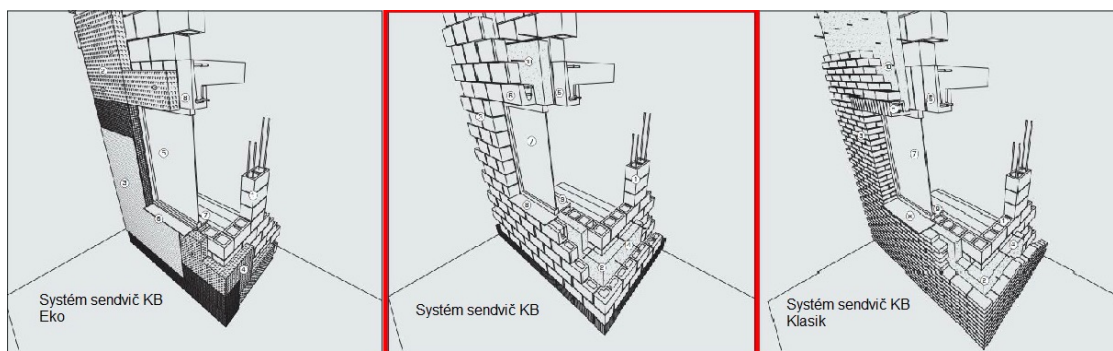
Obr. 2.13: Možnosti vytvorenia tepelnoizolačnej tvárnice, [25]

### 2.3 Sendvičový systém od spoločnosti KB blok

Spoločnosť KB blok patrí k popredným výrobcam vibrolisovaných betónových tvárník v Českej republike. Ponúka betónové tvárnice na výstavbu oplatenia, strateného debnenia alebo na obkladové murivo. Ich stavebný systém SENDVIČ bude v nasledujúcich kapitolách optimalizovaný na systém použiteľný pre pasívne domy. Na obrázku 2.14 sú zobrazené tri základné skladby. Systém pozostáva z nosnej (vnútornej) tvarovky hrúbky 200 alebo 300 mm (v tomto prípade sa tvarovky nevyztužujú a nevyplňajú betónovou zmesou), tepelnej izolácie z EPS alebo minerálnych vlákien hrúbky od 150 - 240 mm (v závislosti na požadovaných vlastnostiach) a povrchovej úpravy (omietky, obklady, tvarovky). Variantne môže byť medzi vrstvou tepelnej izolácie a povrchovou úpravou vzduchová medzera [17].

Na ďalšie posúdenie bol vybraný systém SENDVIČ KB – B (na obrázku zvýraznený červene) – jednoplášťová, nevetraná, vrstvená konštrukcia po-

## 2.4. Sendvičové systémy a ich budúci vývoj



Obr. 2.14: Sendvičové systémy KB Blok, [17]

zostávajúca z vnútornej nosnej tvarovky KB 1 - 20 Ad hr. 200 mm, tepelnej izolácie z EPS hr. 150 mm a vonkajšej murovanej vrstvy hr. 150 mm z tvaroviek KB 1 - 15 Bd. Všetky vrstvy sú prepojené kotevnými sponami z nerezovej oceli. Sendvič KB svojou skladbou reprezentuje typickú sendvičovú konštrukciu z betónových vibrolisovaných tvárnic.

## 2.4 Sendvičové systémy a ich budúci vývoj

V našich krajinách a vo svete vzrastá požiadavka na dosiahnutie čo najlepších tepelnotechnických vlastností obálky budovy pri zachovaní čo najmensej hrúbky tepelného izolantu. Aby mohli byť požiadavky splnené, začali vznikať vyššie spomínané stavebné systémy. Konštrukcie spĺňajú normou [2] doporučené hodnoty. Je možné ich použiť na výstavbu nízkoenergetických domov, ale na výstavbu pasívnych domov budú musieť súčasné skladby prejsť zmenou. Niektoré z vyššie spomínaných systémov majú veľmi komplikovanú skladbu a ich použitie nie sú rozšírené. Systém je potrebné konštrukčne zjednodušiť, optimalizovať hrúbky konštrukcií a tepelnotechnické vlastnosti, aby bol schopný konkurovať rozšíreným keramickým alebo pórobetónovým stavebným blokom.





## Spôsob výberu reprezentatívnej vzorky budov

V tejto kapitole bude popísaný spôsob výberu reprezentatívnych budov. Budovy boli vybrané na základe údajov štatistického úradu. Vo vybraných objektoch bol pôvodný konštrukčný systém nahradený systémom SEND-VIČ KB B. Skladby konštrukcií boli zvolené na základe podkladov [16] od spoločnosti KB – Blok.

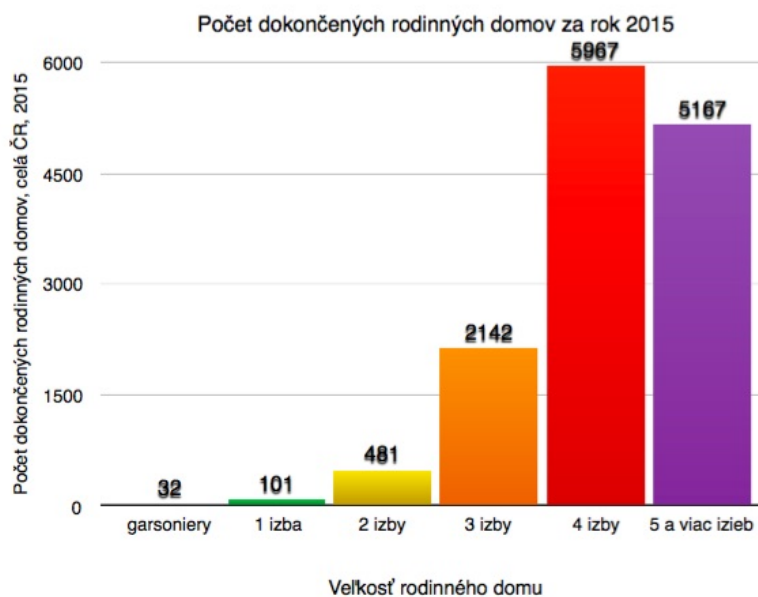
### 3.1 Výber reprezentatívneho rodinného domu

Reprezentatívne rodinné domy, ktoré budú použité vo výpočte potreby tepla na vykurovanie, boli vybraté na základe štatistík Českého štatistického úradu. Podľa štatistiky „Zahájené a dokončené byty - počet bytov" bolo v ČR v roku 2015 dokončených celkovo 25 095 bytov. Z celkového počtu bolo bytov v rodinných domoch dokončených 13 890 bytov. V štatistike podľa „Počtu dokončených bytov podľa veľkosti" z roku 2015 vyplýva, že najväčší záujem je o rodinné domy s štyrmi izbami a kuchyňou viď graf 3.1. V roku 2015 bolo takýchto domov dokončených 5 967. Z toho najviac domov v Stredočeskom kraji. Priemerná obytná plocha jedného bytu sa pohybuje okolo 93 m<sup>2</sup> [36].

Medzi najpoužívanéjšie materiály na výstavbu rodinných domov patria keramické tehly a tvárnice. Do popredia sa dostáva aj drevená výstavba [7]. V rokoch 2001 - 2011 bolo v ČR postavených dokopy 183 578 murovaných rodinných domov, 2 366 domov bolo zo stenových panelov a 9 373 z dreva [36].

### 3. SPÔSOB VÝBERU REPREZENTATÍVNEJ VZORKY BUDOV

---

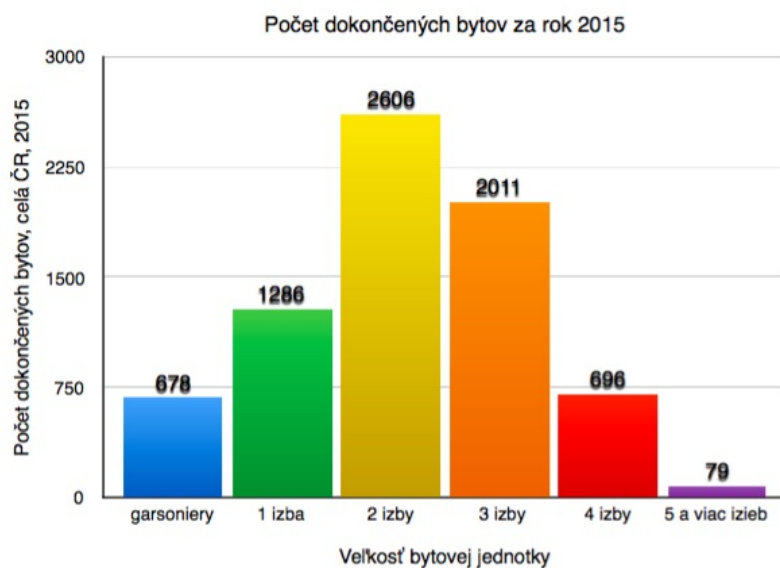


Obr. 3.1: Graf znázorňujúci počet a veľkosť dokončených rodinných domov za rok 2015

Ná základe získaných údajov boli vybrané dva charakteristické rodinné domy. Prvý modelový rodinný dom je dvojpodlažný bez suterénu s plochou strechou. Pôdorysne predstavuje obdĺžnik o rozmeroch 13,1 x 7,5 m. Obytná plocha je 140 m<sup>2</sup>, zastavaná plocha je 98,25 m<sup>2</sup>. V prízemí rodinného domu sa nachádza obývacia miestnosť s kuchynským kútom, kúpeľňa a jedna izba. V 2. NP sú situované ďalšie tri izby, dve kúpeľne a pracovňa. Druhý vybraný rodinný dom je prízemný bez suterénu tzv. bungalov s nevyužívaným podstrešným priestorom. Pôdorysné rozmery domu sú 13,4 x 13 m. Na jednom poschodí sú umiestnené tri izby a obývacia izba s prechodom do kuchyne. K objektu patrí aj terasa, na ktorú sa vchádza z obývacej izby. Pre tieto dva rodinné domy bude v nasledujúcej kapitole prevedený výpočet potreby tepla na vykurovanie. Pre účely výpočtu budú oba rodinné domy modulovo upravené na systém SENDVIČ KB B. Architektonické štúdie rodinných domov pre účely tejto práce poskytol Ing. Emil Popovič.

## 3.2 Výber reprezentatívneho bytového domu

Výber reprezentatívneho bytového domu bol tiež uskutočnený na základe štatistík Českého štatistického úradu. Podľa štatistiky „Zahájené a dokončené byty - počet bytov" bolo v ČR v roku 2015 dokončených celkovo 25 095 bytov z toho 7 356 v bytových domoch. Od roku 1998 bolo najviac dokončených bytových domov v roku 2007 s celkovým počtom bytov 18 171. Od roku 2007 nastal pokles vo výstavbe bytových domov trvajúci až do teraz. V štatistike „Počet dokončených bytov podľa veľkosti" z roku 2015 vyplýva, že najväčší záujem je o byty s dvoma izbami a kuchyňou. Takýchto bytov bolo dokončených 2 606 vid' graf 3.2. Najviac bytových domov bolo dokončených v Prahe. Priemerná obytná plocha jedného bytu je 51,6 m<sup>2</sup> [36].



Obr. 3.2: Graf znázorňujúci počet a veľkosť dokončených bytov v bytových domoch za rok 2015

Najviac bytových domov bolo postavených z tehál a tvárnic v kombinácii so železobetónovou nosnou konštrukciou. V rokoch 2001 - 2011 bolo

### 3. SPÔSOB VÝBERU REPREZENTATÍVNEJ VZORKY BUDOV

---

postavených 9 983 murovaných bytových domov. Do popredia sa dostáva rýchla, suchá výstavba v podobe prefabrikovaných železobetónových rámov v kombinácii s obvodovým plášťom napr. z ľahkej drevenej konštrukcie [36].

Ná základe získaných údajov bola vybraná stavba bytového domu so štyrmi nadzemnými podlažiami. Podľa štatistiky bolo v rokoch 2001 - 2011 postavených 3 084 bytových domov so štyrmi nadzemnými podlažiami. Najviac bytových domov bolo postavených s tromi nadzemnými podlažiami (3 420). Reprezentatívny bytový dom má obdĺžnikový pôdorys o rozmeroch 17,2 x 13,5 m. Na jednom poschodí sa nachádzajú dve bytové jednotky. Obytná plocha jednej bytovej jednotky je 80,67 m<sup>2</sup>. Byt pozostáva z dvoch izieb a obývacieho priestoru spojeného s kuchyňou. Bytový dom bude modulovo upravený na systém SEDNVIČ KB B.

---

# Výpočet potreby tepla na vykurovanie reprezentatívnych objektov

V tejto kapitole bude popísaný postup výpočtu potreby tepla na vykurovanie. Výpočet bude prevedený na troch reprezentatívnych objektoch vybraných v kapitole 3. Výsledkom výpočtu bude súčiniteľ prestupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] obvodovej konštrukcie potrebný na návrh sendvičovej konštrukcie pre pasívne domy.

## 4.1 Zadefinovanie cieľových vlastností systému

Pre každú vybranú budovu bude výpočet potreby tepla na vykurovanie prevedený v troch rôznych variantoch.

**Rozdelenie výpočtu na varianty:**

1. Východzí variant výpočtu – referenčný
2. Nízkoenergetický variant výpočtu – NED
3. Pasívny variant výpočtu – PD

#### 4. VÝPOČET POTREBY TEPLA NA VYKUROVANIE REPREZENTATÍVNYCH OBJEKTOV

---

Rozhodujúce parametre pre výpočet a optimalizáciu sendvičového systému sú nasledovné:

- Súčiniteľ prestupu tepla všetkých obalových konštrukcií  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
- Priemerný súčiniteľ prestupu tepla obálky pre budovu ako celok  $U_{\text{em}}$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
- Ročná potreba tepla na vykurovanie  $E_A$  [ $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ], vzťahujúca sa na jednotku vykurovanej plochy

##### **Definícia nízkoenergetickej budovy, domu:**

Jedná sa o budovu s potrebou tepla na vykurovanie neprekračujúcou hodnotu  $50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ .

Podmienky pre nízkoenergetické budovy:

- Priemerný súčiniteľ prestupu tepla obálky pre budovu ako celok  $U_{\text{em}} \leq 0,30 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- Ročná potreba tepla na vykurovanie  $E_A \leq 50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$

##### **Definícia pasívnej budovy, pasívneho domu:**

Jedná sa o budovy s veľmi nízkou potrebou tepla na vykurovanie neprekračujúcou v prípade rodinných domov hodnotu  $20 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$  a v ostatných prípadoch neprekračujúci hodnoty  $15 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$  [2].

Podmienky pre pasívne budovy:

- Priemerný súčiniteľ prestupu tepla obálky pre budovu ako celok  $U_{\text{em}} \leq 0,20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- Ročná potreba tepla na vykurovanie  $E_A \leq 20 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$

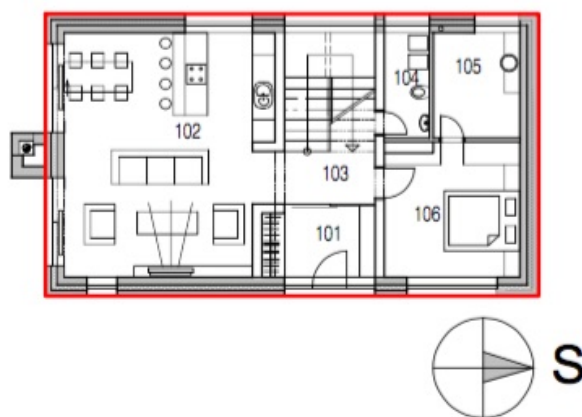
– platí pre rodinné domy

- Ročná potreba tepla na vykurovanie  $E_A \leq 15 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$   
– platí pre ostatné budovy
- Hodnota násobnosti výmeny vzduchu pri tlakovom rozdiely  $50 \text{ Pa}$  (miera tesnosti obálky)  $n_{50} = 0,6 \text{ 1/h}$
- V budove musí byť nainštalovaná vzduchotechnická jednotka s možnosťou spätného získavania tepla

## 4.2 Vstupné údaje

### Hranica vykurovaného priestoru

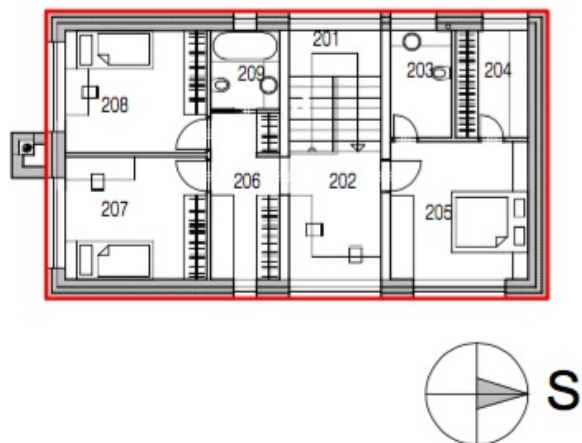
Hranica vykurovaného priestoru leží na vonkajšom povrchu tepelnoizolačných vrstiev ako je to znázornené na obrázkoch 4.1 – 4.7. Budova tvorí jednu vykurovanú zónu. Priestory nevykurovaného podkrovia boli uvažované ako vonkajší priestor. Predpoklad je na strane bezpečnosti. Vo výpočte neboli zohľadnené zmeny plôch konštrukcií, ktoré vznikli v dôsledku navýšenia hrúbky tepelného izolantu.



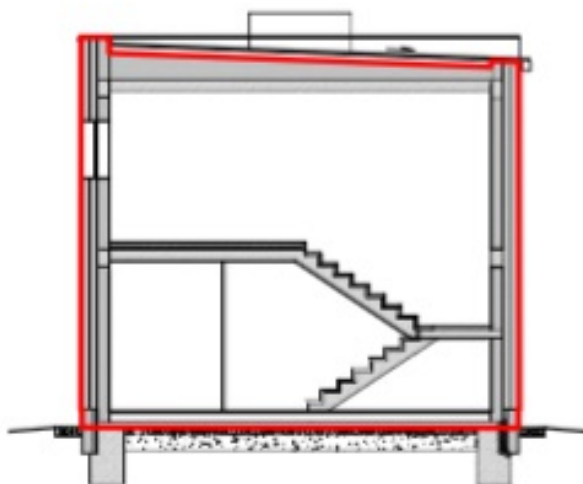
Obr. 4.1: Pôdorys dvojposchodového RD - 1.NP

#### 4. VÝPOČET POTREBY TEPLA NA VYKUROVANIE REPREZENTATÍVNYCH OBJEKTOV

---

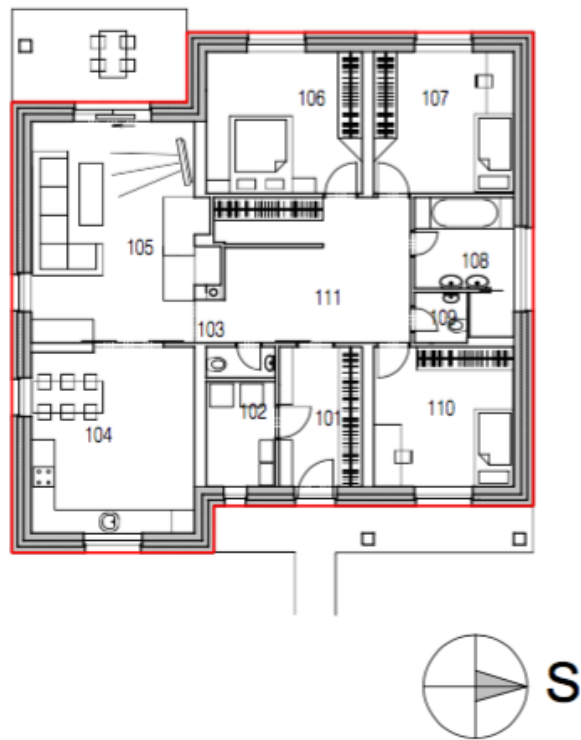


Obr. 4.2: Pôdorys dvojposchodového RD - 2.NP

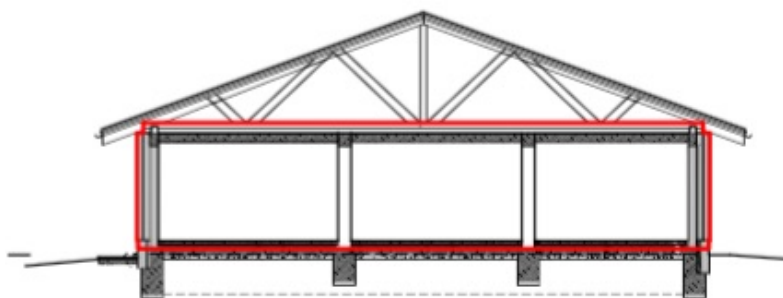


Obr. 4.3: Rez dvojposchodovým RD





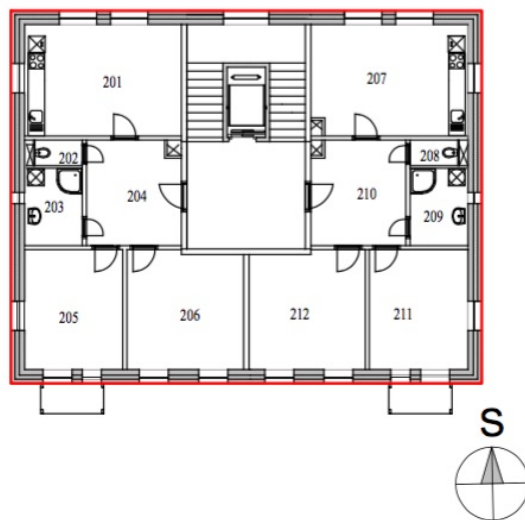
Obr. 4.4: Pôdorys bungalov



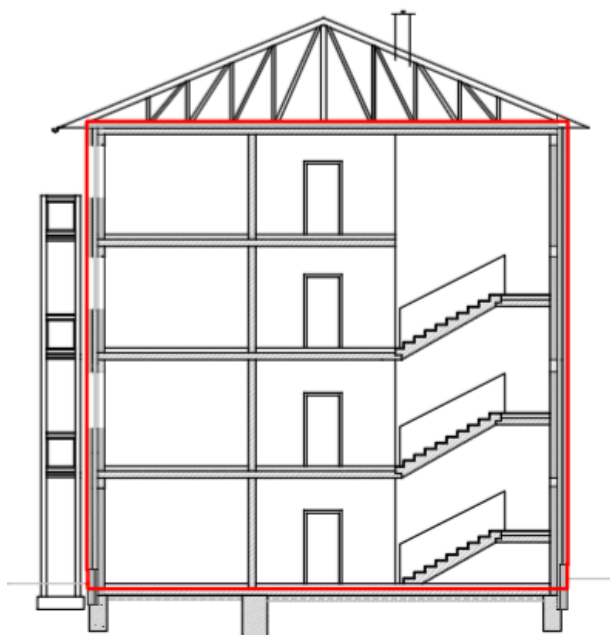
Obr. 4.5: Rez bungalovom

#### 4. VÝPOČET POTREBY TEPLA NA VYKUROVANIE REPREZENTATÍVNYCH OBJEKTOV

---



Obr. 4.6: Pôdorys typického podlažia bytového domu



Obr. 4.7: Rez bytovým domom

**Súčiniteľ prestupu tepla U jednotlivých obalových konštrukcií**

Súčinitele prestupu tepla stavebných konštrukcií boli počítané pomocou programu DEKSOFT. Súčinitele tepelnej vodivosti jednotlivých materiálov boli prevzaté z katalógov výrobcov. Ekvivalentný súčiniteľ tepelnej vodivosti dutinovej tvárnice KB 1-20Ad bol prevzatý z [16].

Súčinitele prestupu tepla výplní otvorov boli získané pomocou programu DEKSOFT pre každé okno zvlášť na základe podrobného výpočtu plôch výplňových konštrukcií. Plocha rámu, zasklenia a dĺžka tepelnej väzby medzi rámom a zasklením boli odmerané z výkresovej dokumentácie.

**Vetranie, výmena vzduchu**

V referenčnom variante a vo variante NED bolo uvažované s prirodzeným vetraním vykurovanej zóny. Priemerný objemový tok vetracieho vzduchu v prípade prirodzeného vetrania závisí od obsadenosti budovy. Vo variante PD bolo uvažované s mechanickým vetraním s ZZT. Účinnosť rekuperácie bola 85%, násobnosť výmeny vzduchu  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ , ktorá zodpovedá veľmi tesnej obálke budovy v budovách so zvlášť nízkou potrebou tepla na vykurovanie [2].

**Solárne tepelné zisky**

Pri určení solárnych ziskov boli použité korekčné činitele. Korekčný činiteľ rámu sa pohyboval v rozmedzí hodnôt 0,7 - 0,8. Korekčný činiteľ tienenia závisí od dielčích činiteľov tienenia horizontom, markízou a bočnými rebrami. Z týchto dielčích činiteľov bol uvažovaný len činiteľ tienenia horizontom. Ostatné dva činitele boli zanedbané, podobne ako korekčný činiteľ clonenia napr. žalúziami. Konkrétne hodnoty sú uvedené v prílohe 1.

**Vnútorne tepelné zisky**

Vnútorne tepelné zisky boli určené približne pomocou výpočtu priemerných tepelných ziskov v obytných budovách. Hodnota vnútorných ziskov závisí od počtu obyvateľov  $n_{os}$  a na každú prítomnú osobu pripadá tepelný výkon 100 W/os. Priemerná obsadenosť obytnej budovy je 0,7. Ďalej bol zadaný počet bytových jednotiek a tepelný výkon 100 W/bj.

**Faktor využiteľnosti tepelných ziskov, akumulčná schopnosť**

Faktor využiteľnosti tepelných ziskov zohľadňuje akú časť tepelných ziskov je možné reálne v objekte využiť a bol stanovený mesačným výpočtom. Akumulčná schopnosť bola do výpočtu zavedená pomocou časovej konštanty. Časová konštanta závisí na skladbách konštrukcií a rastie priamo úmerne s hrúbkou tepelného izolantu a nepriamo úmerne s tepelnými stratami.

### 4.3 Postup výpočtu

Pre všetky tri vybrané budovy bol použitý rovnaký postup výpočtu. Názvy reprezentatívnych budov:

- RD Bungalov
- RD Dvojspochodový
- Bytovka

Základným výpočtovým modelom pre optimalizáciu tepelných vlastností sa stal výpočet potreby tepla na vykurovanie. Na výpočte boli aplikované priemerné mesačné teploty a intenzita slnečného žiarenia, ktoré sú uvedené v [3]. Výpočet bol prevedený po jednotlivých mesiacoch. Prvý variant predstavoval referenčnú budovu resp. východzí stav. Každá modelová budova mala zhodnú skladbu obalových konštrukcií, ktorá bola prevzatá z katalógu Tepelná technika od výrobcu KB Blok [16]. Uvažované východzie skladby sú súčasťou prílohy 2.

Za výplne otvorov boli v referenčnej variante vybrané dvojsklá so súčiniteľom prestupu tepla zasklením  $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  a súčiniteľom prestupu tepla rámom  $U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Hodnota celkovej priepustnosti slnečných lúčov zasklením  $g = 0,67(-)$ .

Podľa týchto podmienok boli určené hodnoty  $U$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] a  $U_{em}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] a hodnota ročnej potreby tepla na vykurovanie  $E_A$ . Z referenčnej budovy sa odvíjali nasledujúce dva varianty nazvané variant NED a variant PD. Výpočet je súčasťou prílohy 2.

#### 4.3.1 Variant NED pre reprezentatívne rodinné domy

Pri optimalizácii výpočtu na variant NED bolo treba upraviť súčiniteľ prestupu tepla  $U$  vybraných konštrukcií. Snahou bolo optimalizovať výpočet, tak aby nedošlo k zmene hrúbky tepelného izolantu EPS medzi vrstvami betónových tvárnic. Pôvodná hrúbka tepelnej izolácie EPS bola 150 mm ostala zachovaná. Celá hrúbka konštrukcie obvodovej steny dosiahla 500 mm. Boli upravené vlastnosti ostatných obalových konštrukcií. Okrem úpravy vlastností obalových konštrukcií neboli zmenené žiadne ostatné parametre. Objekt dosiahol hodnoty požadované pre nízkoenergetickú budovu za prirodzeného vetrania.

### 4.3.2 Variant PD pre reprezentatívne rodinné domy

Obdobne bol výpočet upravený aj pre variant PD. Zmenou vlastností obalových konštrukcií so zachovaním hrúbky obvodovej steny nebolo možné dosiahnuť požadované hodnoty pre pasívne budovy. Pôvodná hrúbka EPS = 150 mm obvodovej steny bola navýšená na 300 mm. Podmienkou pre dosiahnutie hodnôt pre pasívny dom bola aj zmena z prirodzeného vetrania na mechanické s rekuperáciou. Kvôli lepšiemu využitiu solárnych ziskov bola zmenená aj orientácia objektu voči svetovým stranám. Fasáda s najväčším množstvom presklenných plôch bola orientovaná na juh.

### 4.3.3 Variant NED pre reprezentatívny bytový dom

Bytový dom mal splnenú podmienku potreby tepla na vykurovanie  $E_A$  už v referenčnom variante. Optimalizácia spočívala v úprave súčiniteľa prestupu tepla  $U$  všetkých obalových konštrukcií vrátane obvodovej steny, aby bola splnená podmienka  $U_{em}$  pre nízkoenergetické budovy. Hrúbka tepelnej izolácie EPS bola upravená na 200 mm.

### 4.3.4 Variant PD pre reprezentatívny bytový dom

Podobne ako pre modelové rodinné domy, musela byť upravená hrúbka všetkých obalových konštrukcií, vrátane inštalácie vzduchotechnickej jednotky s rekuperáciou. Hrúbka tepelnej izolácie EPS obvodovej steny bola 240 mm.

## 4.4 Zhrnutie výsledkov

Zo zhrnutia, ktoré je súčasťou prílohy č. 1 je vidieť, že ani jedna z reprezentatívnych budov nespĺnila obe sledované požiadavky pre nízkoenergetické budovy v referenčnej variante. RD Bungalov mal splnenú požiadavku na  $U_{em}$ , Bytovka mala splnenú požiadavku na  $E_A$  a najnepriaznivejšie vyšla reprezentatívna budova RD Dvojposchodový, ktorý nemal splnenú ani jednu požiadavku. Oba rodinné domy, tak ako boli pôvodne navrhnuté, sa svojimi hodnotami  $E_A$  blížili požiadavke pre nízkoenergetické budovy 50 kWh/m<sup>2</sup>rok. Na dosiahnutie splnenia požiadavok pre NED variant bolo potrebné upraviť tepelné vlastnosti jednotlivých konštrukcií obálky. Ak to bolo možné hrúbka tepelnej izolácie EPS obvodovej steny ostala nezmenená (neplatilo pre Bytovku). Zhodné s referenčným variantom boli všetky ostatné parametre.

Pomocou optimalizácie výpočtu na pasívny dom sa vo všetkých variantoch podarilo splniť limitné hodnoty priemerného súčiniteľa prestupu tepla

#### 4. VÝPOČET POTREBY TEPLA NA VYKUROVANIE REPREZENTATÍVNYCH OBJEKTŮV

---

aj mernej potreby tepla na vykurovanie. Všetky obalové konštrukcie splnili požiadavky na súčiniteľ prestupu tepla pre pasívne domy s veľkou rezervou. Aby reprezentatívne budovy dosiahli tieto požiadavky, bolo potrebné navýšiť hrúbku tepelnej izolácie všetkých konštrukcií takmer o polovicu oproti referenčnému variantu. Rovnako museli byť vo výpočte použité hodnoty pre výplne otvorov určené pre pasívne domy. V kombinácii s mechanickým vetraním s rekuperáciou došlo až k polovičnému zníženiu tepelných strát oproti referenčnému variantu. Požiadavka na mernú potrebu tepla na vykurovanie je splnená bez rezervy.

Cielom tohto výpočtu bolo získať hodnotu súčiniteľa prestupu tepla obvodovej sendvičovej steny, pri ktorom budova splní kritéria pre pasívny dom. Vo výpočte boli použité zjednodušujúce predpoklady, ktoré nemusia viesť k úplne presnému výsledku. Neboli upravené rozmery objektu (užitková plocha, konštrukčná výška) spôsobené zmenou hrúbky obvodových konštrukcií a boli brané konštantné hodnoty činiteľov ovplyvňujúcich solárne zisky. Pre účel tejto práce možno považovať získané výsledky za dostatočne presné. Aby boli splnené požiadavky na pasívny dom v prípade rodinných domov došlo k zmene orientácie objektu.

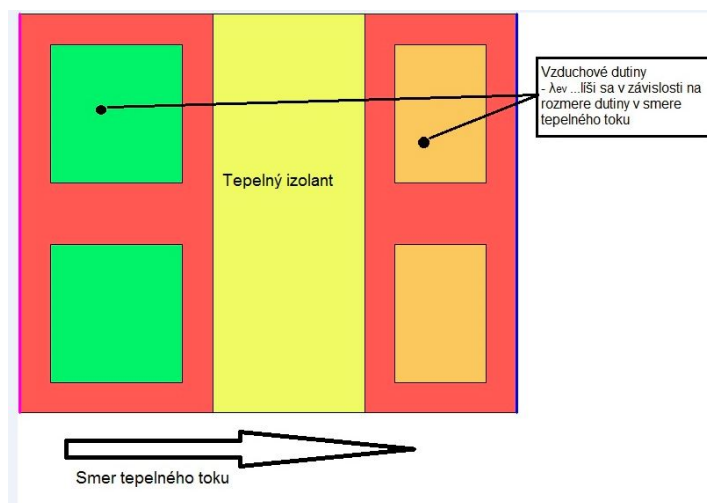
Výsledná hodnota súčiniteľa prestupu tepla potrebná na dosiahnutie pasívneho štandardu je  $U = 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ktorá zodpovedá hrúbke 300 mm tepelnej izolácie z EPS. Táto hodnota platí zhodne pre obvodové steny oboch reprezentatívnych rodinných domov a bude použitá v ďalších výpočtoch.

---

## **Zlepšenie tepelných vlastností sendvičového systému - úprava vibrolisovanej betónovej tvarovky**

Táto kapitola bude zameraná na nevetranú vzduchovú dutinu tvaroviek KB a jej vlastnosti, ktoré majú vplyv na tepelné vlastnosti celého sendvičového systému. Budú prevedené výpočty dvojrozmerného stacionárneho poľa teplôt pomocou metódy konečných prvkov v programe. Model bude tvoriť výrez sendvičovej konštrukcie pozostávajúci z obdĺžnikových homogénnych oblastí, pokrytý sieťou max. 200 x 200 os a s počtom neznámych max. 40 000 viď obrázok 5.1. Modelu budú priradené okrajové podmienky pre exteriér a interiér. Na základe získaných výsledkov sa rozhodne, ktorá z použitých úprav povedie k dosiahnutiu najlepších tepelnotechnických parametrov.

## 5. ZLEPŠENIE TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉHO SYSTÉMU - ÚPRAVA VIBROLISOVANEJ BETÓNOVEJ TVAROVKY



Obr. 5.1: Model sendvičovej konštrukcie z programu Area

### 5.1 Úprava tepelných vlastností tvarovky

Z kapitoly č. 2 je vidieť, že každý výrobca dutinových tvaroviek pristupuje k využitiu vzduchových dutín iným spôsobom. Prvou možnosťou úpravy tepelných vlastností betónovej tvarovky je zamedziť prenos tepla vo vzduchových nevetraných dutinách. Teplo sa môže šíriť vedením, prúdením i sálaním.

**Vedenie tepla** – je dôležité v pevných látkach.

K veličinám, ktoré majú vplyv na vedenie tepla v pevnej látke patrí:

– súčiniteľ tepelnej vodivosti a hustota materiálu. Čím nižšia je hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti tým horšie vedie materiál teplo a stáva sa tepelným izolantom. Podmienkou šírenia tepla vedením je prítomnosť teplotného rozdielu.

**Prúdenie tepla** – v plynch (vzduchových dutinách uzavretých v pevnom materiále) a kvapalinách. Podmienkou šírenia tepla prúdením je prítomnosť teplotného rozdielu medzi teplotou prúdiaceho vzduchu a teplotou povrchu.

**Sálanie tepla** – v plynch (vzduchových dutinách uzavretých v pevnom materiále) a kvapalinách. Prenos tepla sálaním predstavuje prenos energie medzi dvoma telesami o rôznej teplote šírením elektromagnetických vln.

Aby sa zamedzilo prenosu tepla vo vzduchovej dutine je možné previesť opatrenia ako napríklad vyplniť vzduchové dutiny tepelným izolantom s nízkou hodnotou súčiniteľa tepelnej vodivosti alebo zmenšiť veľkosť vzduchových dutín. Opatreniami sa zníži vplyv prenosu tepla prúdením.

K poklesu prenosu tepla sálaním môže dôjsť zmenou emisivity povrchov



obklopujúcich vzduchovú dutinu. Následujúcimi výpočtami bude overené či danými opatreniami dôjde k zlepšeniu tepelných vlastností celej sendvičovej konštrukcie.

### 5.1.1 Zmena počtu a rozmerov vzduchových nevetraných dutín

**Nevetrané vzduchové vrstvy** – predstavujú vrstvy, ktoré nemajú buď žiadne prepojenie s vnútorným či vonkajším vzduchom alebo majú prepojenie o minimálnej ploche vetracích otvorov (do 0,05% celkovej odvetrávanej plochy)[35]. V uzavretej vzduchovej dutine dochádza k všetkým trom druhom šírenia tepla. V úzkych dutinách menších ako 15 mm je prúdenie zanedbateľné [18].

Na získanie potrebných údajov bolo prevedených niekoľko dielčích výpočtov.

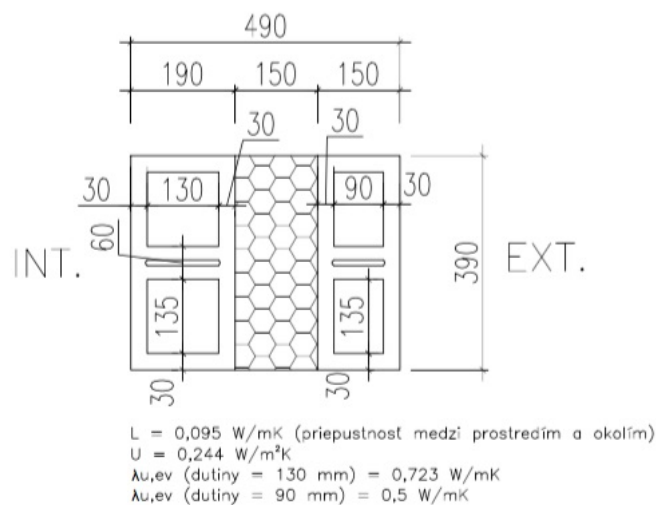
#### **Prvá skupina výpočtov:**

– zameraná na úpravu veľkosti dutín v betónovej tvarovke. V programe Area bol skúmaný charakteristický výrez sendvičovej konštrukcie. Tvar a rozmer vzduchových dutín bol zvolený, tak aby ostal zachovaný pôvodný ráz tvarovky.

– pôvodná rozmery vnútornej tvárnice vo všetkých variatoch sú 190 x 390 mm. Pôvodná rozmery vonkajšej tvárnice sú 150 x 390 mm. Obvodové vnútorné rebro má šírku 30 mm a medzi dutinami je zachovaná vzdialenosť 60 mm. Tvárnica má uprostred otvor, ktorý uľahčuje delenie tvarovky na polovičnú veľkosť.

Tepelná izolácia medzi dvoma vrstvami betónových tvárnic: EPS hr. 150 mm,  $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$  Schématicky je výrez pôvodnej konštrukcie znázornený na obrázku 5.2.

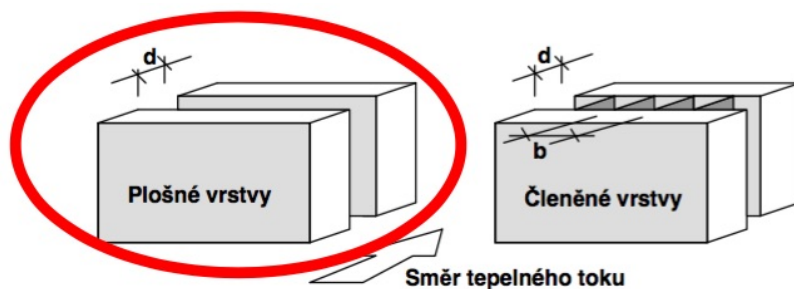
5. ZLEPŠENIE TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉHO SYSTÉMU -  
 ÚPRAVA VIBROLISOVANEJ BETÓNOVEJ TVAROVKY



Obr. 5.2: Skladba sendvičovej konštrukcie

**Predpoklady výpočtu:**

- vlastnosti dutiny určujú dva navzájom rovnobežné povrchy, ktoré sú kolmé na tepelný tok [14]. Vybraný model vid' 5.3 zvýraznený červene.
- vplyv prostredného rebra sa zanedbáva
- ekvivalentná tepelná vodivosť tejto vrstvy sa stanovuje výpočtom alebo zjednodušene pomocou tabuľky. Vzťahy potrebné pre výpočet boli získané z [35] . Postup výpočty pre bežné prípady je prevzatý z normy ČSN EN ISO 6946. Výsledná ekvivalentná tepelná vodivosť vzduchovej vrstvy v sebe zahŕňa všetky zložky prenosu tepla tj. prenos tepla vedením, prúdením a sálaním.



Obr. 5.3: Tvar vzduchových vrstiev podľa ČSN EN ISO 6946, [35]

### Okrajové podmienky výpočtu:

#### Vnútorne podmienky

- Teplota vnútorného vzduchu: 20 °C
- Povrch: vnútorný, vodorovný tepelný tok
- Odpor pri prestupe tepla: 0,13 W/m<sup>2</sup>K

#### Vonkajšie podmienky

- Teplota vonkajšieho vzduchu: -13 °C (Praha)
- Povrch: vonkajší
- Odpor pri prestupe tepla: 0,04 W/m<sup>2</sup>K

Výpočet bol uskutočnený pre pôvodnú sendvičovú konštrukciu a štyri varianty s upravenou veľkosťou vzduchových dutín vnútornej tvárnice (obr. 5.4 – 5.7). Uvažované rozmery sú popísané aj v prílohe 3, tabuľka 1.

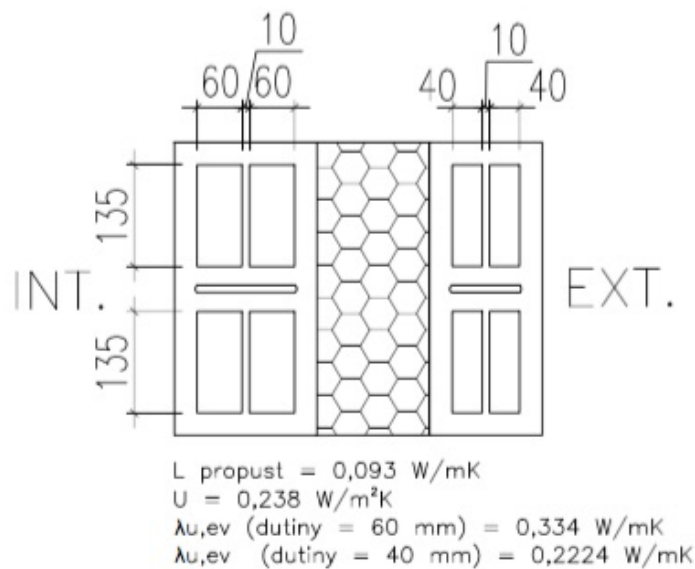
Pri delení konštrukcie na menšie časti nebol braný ohľad na technologický postup výroby betónových tvární. Medzi dutinami je zachovaná určitá hrúbka betónového rebra, ale doporučuje sa overiť, či je možné modelový návrh vyrobiť aj pomocou používanej technológie. Problém môže nastať pri výrobe tvární s rebrami hrúbky 8 mm (obr. 5.7).

Z programu Area boli získané hodnoty súčiniteľa prestupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>K], ktoré charakterizujú tepelné chovanie sendvičovej konštrukcie na základe zmeny hrúbky vzduchových dutín.

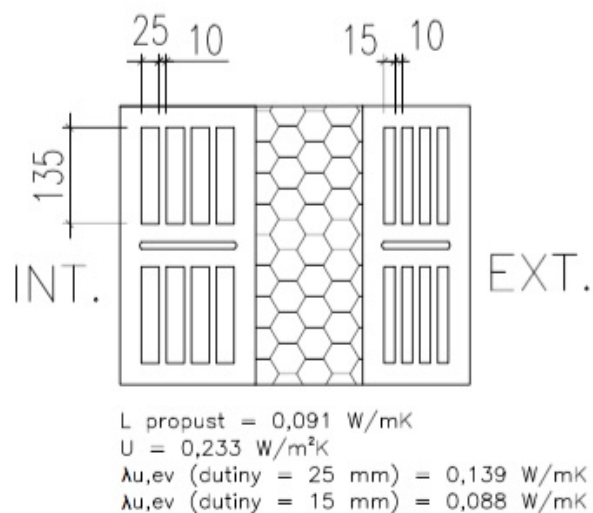
Vplyv na hodnotu  $U$  má ekvivalentná hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti  $\lambda$  dutín, ktorá sa líši v závislosti na šírke dutiny v smere tepelného toku. S menšou šírkou dutiny klesá hodnota ekvivalentnej  $\lambda$ . Menšie vzduchové dutiny sa hodnotami  $\lambda$  blížia k hodnotám tepelných izolantov. Platí, že čím je mešia tepelná vodivosť materiálu, tým horšie dochádza k prenosu tepla. V tomto prípade menšie dutiny prispievajú k zníženiu prúdenia vzduchu v dutine. Princíp sa využíva aj pri výrobe tepelných izolantov, kde je snahou uzavrieť vzduch do maličkých dutín a zamedziť tak prenosu tepla. Pod obrázkami 5.4 – 5.7 sú popísané výsledné hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti dutín a súčiniteľa prestupu tepla získané z programu Area.

Tabuľka s podrobným výpočtom je súčasťou prílohy 3, tabuľka 1.

5. ZLEPŠENIE TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉHO SYSTÉMU -  
 ÚPRAVA VIBROLISOVANEJ BETÓNOVEJ TVAROVKY

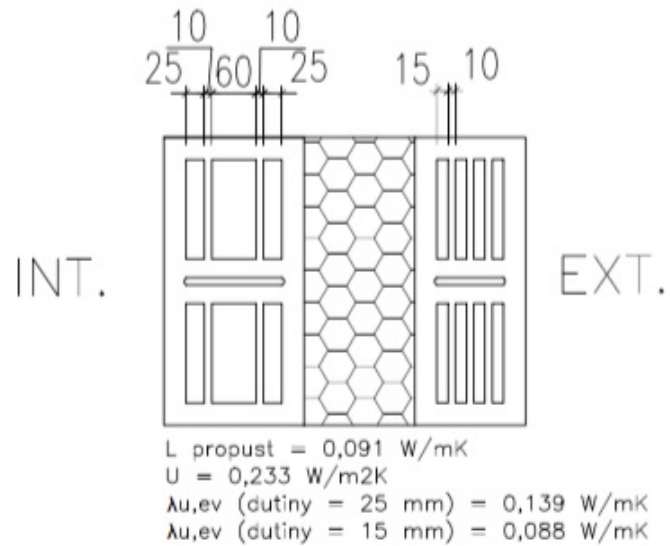


Obr. 5.4: Prvý variant riešenia veľkosti vzduchových dutín

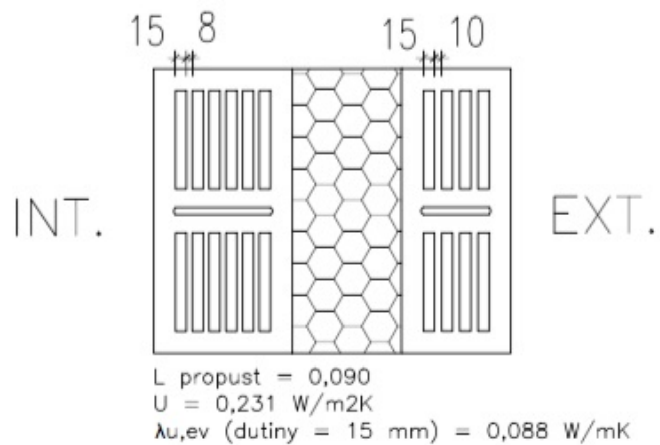


Obr. 5.5: Druhý variant riešenia veľkosti vzduchových dutín

## 5.1. Úprava tepelných vlastností tvarovky



Obr. 5.6: Tretí variant riešenia veľkosti vzduchových dutín



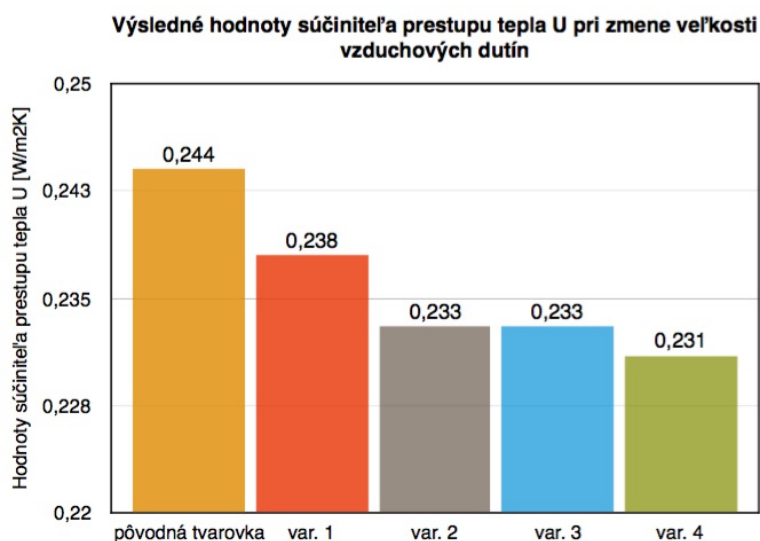
Obr. 5.7: Štvrtý variant riešenia veľkosti vzduchových dutín

## 5. ZLEPŠENIE TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉHO SYSTÉMU - ÚPRAVA VIBROLISOVANEJ BETÓNOVEJ TVAROVKY

Z výpočtu vyplýva, že hodnota  $U$  tvárnice s väčším počtom menších dutín je zo všetkých možností najnižšia. Súčiniteľ prestupu tepla  $U$  pôvodnej sendvičovej konštrukcie je  $0,244 \text{ W/m}^2\text{K}$ , súčiniteľ prestupu tepla  $U$  najlepšej varianty je  $0,231 \text{ W/m}^2\text{K}$  viď graf 5.8.

Zmena veľkosti a počtu vzduchových dutín ovplyvní súčiniteľ prestupu tepla sendvičovej konštrukcie. Tento vplyv nie je dostatočný a nebude dosiahnutá cieľová hodnota súčiniteľa prestupu tepla  $U = 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$  určená v kapitole 4.

Na prvý pohľad môže byť výsledok prekvapujúci, pretože v praxi sú známe dutinové tvárnice s veľmi dobrou hodnotou  $U$  aj bez použitia tepelnej izolácie napríklad kermické tvárnice. Vplyv na výsledok má ekvivalentná hodnota  $\lambda$  dutinovej betónovej tvárnice. Podľa podkladov výrobcu [16] je  $\lambda = 0,8901 \text{ W/mK}$ . Hodnota  $\lambda$  keramickej tvárnice (napr. Porotherm 40 Profi) hrúbky 400 mm je  $= 0,114 \text{ W/mK}$ . Pri takto vysokej hodnote  $\lambda$  celého betónového prvku aj s dutinami nemá zmena veľkosti vzduchových dutín vplyv na zníženie hodnoty  $U$ .



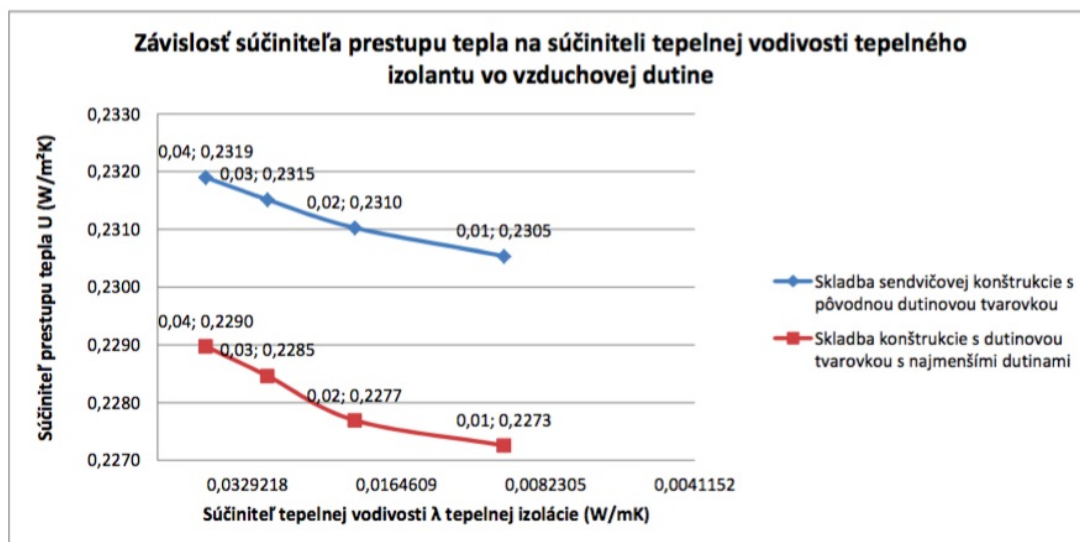
Obr. 5.8: Graf závislosti súčiniteľa prestupu tepla  $U$  na veľkosti vzduchových dutín

### 5.1.2 Výplň vzduchových nevetraných dutín tepelným izolantom

Z kapitoly č. 2 je známe, že mnoho výrobcov zlepšuje tepelné vlastnosti stavebných prvkov vložení tepelnej izolácie do vzduchových dutín. Z toho dôvodu boli nasledujúce výpočty zamerané na zmenu súčiniteľa prestupu tepla  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] obvodovej steny pri vyplnení vzduchových dutín tepelným izolantom. Vyplnením vzduchových dutín tepelným izolantom dôjde k zníženiu tepelnej vodivosti vzduchovej dutiny, a tým k zníženiu prenosu tepla prúdením.

#### Podmienky výpočtu:

- bola posudzovaná pôvodná sendvičová konštrukcia s tvarovkou s dvoma dutinami o rozmeroch 130 x 135 mm (obr. 5.2) a tvarovka s najmenšími dutinami o rozmeroch 15 x 135 mm (obr. 5.7). Predpokladá sa, že ostatné varianty budú hodnotami spadať do tohto rozmedzia.
- vo výpočte nebolo uvažované s výplňou dutín vonkajšej tvarovky
- vo výpočte bola uvažovaná konštantná hrúbka a druh vrstvy tepelnej izolácie EPS hr. 150 mm,  $\lambda = 0,042 \text{ W}/\text{mK}$
- boli uvažované hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti  $\lambda$  tepelných izolantov od **0,04 – 0,01  $\text{W}/\text{mK}$** . V grafe 5.9 je znázornená zmena hodnoty  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] v závislosti na súčiniteli tepelnej vodivosti tepelnej izolácie.



Obr. 5.9: Závislosť súčiniteľa prestupu tepla  $U$  sendvičovej konštrukcie na súčiniteli tepelnej vodivosti tepelnej izolácie vzduchovej dutiny

## 5. ZLEPŠENIE TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ SENDVIČOVÉHO SYSTÉMU - ÚPRAVA VIBROLISOVANEJ BETÓNOVEJ TVAROVKY

---

Hodnota súčiniteľa prestupu tepla  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] klesá s klesajúcou hodnotou  $\lambda$  tepelného izolantu. K výraznému zlepšeniu tepelných vlastností sendvičovej konštrukcie nedôjde ani pomocou tejto úpravy.

Z hodnoty  $U = 0,244 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  (pôvodná tvárnica) sa zníži hodnota na  $U = 0,2305 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  s použitím tepelnej izolácie s  $\lambda = 0,01 \text{ W}/\text{mK}$ .

Tabuľka s podrobným výpočtom je súčasťou prílohy 3, tabuľka 2.

Najčastejšie sa dutiny vyplňajú expandovaným polystyrénom alebo izoláciou z minerálnych vlákien, ktoré dosahujú hodnôt okolo  $\lambda = 0,04 \text{ W}/\text{mK}$ . Tepelná izolácia sa do dutiny vkladá vo forme blokov, vyplňuje penou alebo vysypáva granulátom. Hodnotu  $\lambda = 0,01 \text{ W}/\text{mK}$  dosahuje tepelná izolácia z aerogelu alebo vákuová izolácia. Tieto druhy izolácie sú popísané v kapitole 6. Ich využitie ako výplne vzduchových dutín by bolo pravdepodobne neekonomické a technologicky nemožné. Z toho vyplýva, že ani pri použití tepelnej izolácie s najnižšou hodnotou  $\lambda$  nebude dosiahnutý požadovaný efekt.

### 5.1.3 Vlastnosti dutinovej tvarovky vyplnenej tepelnou izoláciou v porovnaní s inými výrobcami

Bol prevedený prieskum tepelných vlastností tvaroviek s dutinami u svetových výrobcov z kapitoly 2. Výsledkom je tabuľka 5.10, v ktorej sú porovnané hodnoty súčiniteľa prestupu tepla  $U$  základných tvaroviek vyplnených tepelnou izoláciou. Materiály tvaroviek a tepelných izolantov sa líšia.

Do tabuľky bola pre porovnanie vybratá výplň tvárnice KB 1-20 Ad (vnútorná tvarovka sendvičovej konštrukcie) s dutinami vyplnenými tepelnou izoláciou EPS s prímiesou grafitu,  $\lambda = 0,033 \text{ W}/\text{mK}$ .







Najlepšie výsledky dosahujú keramické tvárnice vyplnené polystyrénom alebo minerálnou vatou. Samotná keramická tvárnica bez izolačnej výplne má súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda$  cca  $0,1 \text{ W}/\text{mK}$  (v závislosti od výrobcu). Súčiniteľ tepelnej vodivosti betónu, ktorý vo svojich výrobných podkladoch deklaruje výrobca tvaroviek KB je  $1,33 \text{ W}/\text{mK}$  [16].

Betónové tvárnice, podobné tvarovke KB uvedené v tabuľke 5.10 sa používajú na výstavbu domov v USA. Podľa získaných informácií z katalógových listov jednotlivých výrobcov dosahujú ich tvárnice približne rovnaké hodnoty  $U$ , ako tvarovka KB vyplnená EPS s grafitom. Na  $U_{\text{pas}}$ , ktoré sú požadované normou [2] nie sú výsledné hodnoty dostatočné. Vzhľadom k odlišným klimatickým podmienkam a normovým požiadavkám, je možné tento spôsob obvodových konštrukcií považovať za dostatočujúci v USA. V našich podmienkach je potrebné takúto tvárnicu dotepliť vrstvou vonkajšej tepel-



## 5.1. Úprava tepelných vlastností tvarovky

nej izolácie. Aj preto výplň dutinovej tvarovky tepelným izolantom nemá veľký význam.

	Hrúbka konštrukcie [mm]	U [W/m <sup>2</sup> K]		
Heluz Family 44 2 in1 broušená	440	0,13	- malé dutinky vyplnené EPS	
Porotherm 44 T Profi	440	0,17	- veľké dutiny vyplnené hydrofobizovanou minerálnou vatou	
Tvarovka Liapor SL	365	0,21-0,25 (v závislosti na pevnosti)	- betónova tvarovka z ľahčeného kameniva vyplnená EPS	
Tvarovka KORFIL	200	0,74	- betónova tvarovka čiastočne vyplnená EPS	
Betónova tvarovka vyplnená perlitom	200	0,8	- betónová tvarovka vyplnená perlitom	
Betónová tvarovka vyplnená izolačnou penou	200	0,57	- betónová tvarovka vyplnená tepelnou izoláciou na mieste stavby pomocou injektáže	
Betónová tvarovka KB 1-20 (teoretická možnosť)	200	0,75	- betónová tvarovka vyplnená tep. izoláciou, $\lambda = 0,033$ (EPS s grafitom)	

Obr. 5.10: Tabuľka súčiniteľov prestupu tepla U jednovrstvých obvodových stien z dutinových tvárnic vyplnených tepelným izolantom

#### 5.1.4 Zmena emisivity vnútorných povrchov vzduchovej dutiny

Tretia skupina výpočtov sleduje zmenu súčiniteľa prestupu tepla  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] pri zmene emisivity vnútorného povrchu vzduchovej dutiny. Postup výpočtu bol prevzatý z [35], ktorý sa odkazuje na normu ČSN EN ISO 6946.

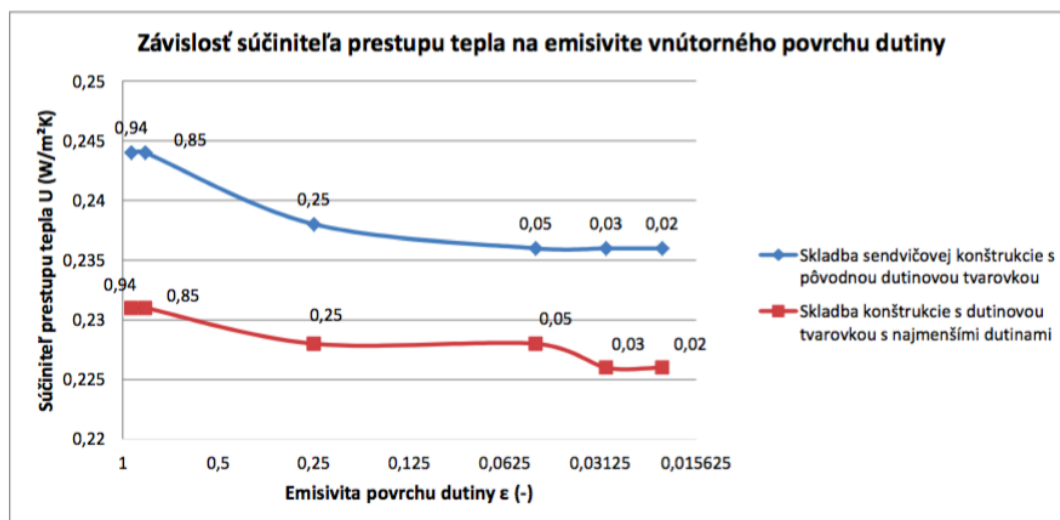
**Emisivita (žiarivosť):** má vplyv na sálanie tepla povrchov kolmých na tepelný tok ohraničujúcich vzduchovú dutinu. Uvažovaný model viď obrázok 5.3. Predstavuje pomer medzi žiarením vyžarovaným z povrchu reálneho telesa a žiarením vyžarovaným z povrchu čierneho telesa za rovnakej teploty ako je teplota reálneho telesa. Hodnota emisivity nie je konštantná, závisí na teplote povrchov, štruktúre povrchu, vlnovej dĺžke a smere žiarenia. Táto veličina sa u bežných materiálov pohybuje okolo hodnoty 0,85 a vyššej. Hodnota emisivity betónu je 0,94.

Energia (teplo) nie je povrchmi len vyžarované, ale súčasne je časť žiarenia odrazená, pohltená alebo prechádza skrz materiál. Povrchy súčasne vyžarujú energiu k iným povrchom a súčasne pohlcujú vyžiarenú energiu z okolitých povrchov. Materiály, ktoré majú nízku pohltivosť (napr. leštené kovy) majú aj nízku emisivitu [18]. So znižujúcou emisivitou sa znižuje prenos tepla vo vzduchovej dutine sálaním.

Vo výpočte bola použitá pôvodná tvarovka (obr. 5.2) a tvarovka s najmenšími dutinami (obr. 5.7).

Bola menená emisivita povrchov dutín len vnútornej tvarovky. Zvolené hodnoty viď tabuľka 3, príloha 3.

Závislosť súčiniteľa prestupu  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] na zmene emisivity povrchov viď graf 5.11. Súčiniteľ prestupu tepla tvarovky s povrchom bez úpravy emisivity má hodnotu  $U = 0,244 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . V prípade použitia zlata ( $\varepsilon = 0,02$  [-]) na vnútorný povrch dutiny bola vypočítaná hodnota  $U = 0,236 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Napriek použitiu materiálov s veľmi nízkou hodnotou emisivity je zmena hodnoty  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] obvodovej konštrukcie minimálna. Tabuľka s podrobným výpočtom je súčasťou prílohy 3, tabuľka 3.



Obr. 5.11: Graf znázorňujúci závislosť súčiniteľa prestupu tepla U sendvičovej konštrukcie na emisivite povrchov ohraničujúcich vzduchovú dutinu

## 5.2 Záver

Výpočty v programe Area zamerané na úpravu vzduchových dutín dokázali, že nedôjde k cieľovému zlepšeniu tepelných vlastností sendvičovej konštrukcie. Zmenšením vzduchových dutín, vyplnením tepelnou izoláciou alebo znížením emisivity vnútorných povrchov nedôjde k obmedzeniu prenosu tepla prúdením, vedením a sálaním. Hodnoty súčiniteľa prestupu tepla U neklesnú pod  $0,2 W/m^2K$ .

Jedinou funkciou vzduchovej dutiny je vylahčiť betónovú tvarovku.

Výsledky analýzy preukázali, že bude potrebné preskúmať možnosti zmeny materiálu vrstvy tepelného izolantu, a súčasne spôsob kotvenia jednotlivých vrstiev.



## Vlastnosti tepelných izolantov a spôsob kotvenia

Výpočty v predošlej kapitole potvrdili, že nie je možné zlepšiť tepelnotechnické vlastnosti sendvičovej konštrukcie vhodnou úpravou vzduchovej dutiny. Prvá časť kapitoly 6 bude zameraná na rozbor materiálov vhodných na zateplenie objektov. V druhej časti bude analyzovaný spôsob kotvenia tepelných izolantov k obvodovej stene z dutinových tvaroviek.

### 6.1 Porovnanie vlastností základných stavebných tepelných izolantov

#### 6.1.1 Charakteristika tepelnoizolačných materiálov

**Definícia tepelnoizolačného materiálu:** materiál výrazne obmedzujúci šírenie tepla, vykazujúci charakteristickú hodnotu súčiniteľa tepelnej vodivosti max. 0,1 W/mK pri referenčných teplotných a vlhkostných podmienkach a danej starobe [1].

Transport tepla tepelnými izoláciami prebieha tromi spôsobmi vedením, prúdením alebo sálaním. Cieľom tepelných izolácií je znížiť tieto účinky na minimum (ideálne na 0). Tepelná vodivosť vzduchu pri teplote 20 °C je  $\lambda = 0,0257$  W/mK pri hrúbke vrstvy 0,1 mm. Vzduch patrí medzi tepelné izolanty, čím menšia dutina, tým menšia vodivosť. Tepelné izolácie majú vo svojej štruktúre malé vzduchové póry, čím sa stávajú málo vodivými materiálmi. Vlákná musia byť dostatočne dlhé a nesmú mať príliš vysokú tepelnú vodivosť. Podstatou tepelnoizolačných materiálov je teda uzavrieť plyn (napr. vzduch) do tzv. mikropriestoru, a tak zamedziť prúde-

niu plyných látok v materiálovej štruktúre izolácie [37].

### Druhy tepelných izolácií:

#### 1. Vlákňité materiály

**Minerálna alebo kamenná (čadičová) vlna** – vyrába sa za vysokých teplôt roztavením čadiča, gabra či bazaltu v peci.

*Forma:* mäkké rohože alebo tuhé dosky.

*Použitie:* dosky – kontaktné zateplovacie systémy ETICS, prevetřované fasády, výplňová izolácia do rámových drevostavieb, izolácia strechy(krovu). Pokiaľ štruktúra nie je vo forme dosiek, tak je väčšinou vlna rozvláknená a aplikuje sa fúkaním napr. do podhľadu.

**Sklená vata** – skelné vlákna sa vyrábajú rozvláknením nového alebo recyklovaného obalového skla.

*Použitie:* obdobné ako použitie vlákien kamenných.

Základné vlastnosti sú popísané v tabuľke 1, prílohy 4 .

#### 2. Penové plasty

**Expandovaný polystyrén(EPS)** – vzniká polymeráciou styřénu, ktorý je spenený a narezaný na bloky.

*Použitie:*

– dosky – kontaktné zateplovacie systémy stien(EPS 70), nepochôdzne ploché strechy (EPS 100), pochôdzne strechy (EPS150), podlahy s malou záťažou (EPS100 alebo EPS150)

– drtený polystyrén - aplikuje sa fúkaním do dutín podkrovných priestorov, stropov, podláh a do obvodových stien. Vzduchové dutiny medzi guľčkami vytvárajú difúzne otvorenú konštrukciu [37].

**Extrudovaný polystyrén (XPS)** – vyrába sa z ropy a polystyrénového granulátu, ktorý sa extruduje rozpínavými plynmi. Takmer nulovú nasiakavosť zaručuje uzavretá štruktúra pórov. Vyznačuje sa veľkou pevnosťou v tlaku a je odolný voči zemine a ďalším vplyvom.

*Použitie:* izolácia spodnej stavby, základov a izolácia soklových oblastí [37], [32].

**Expandovaný polystyrén(EPS) s prímiesou grafitu** – sálavá zložka prenosu tepla v izolácii sa znižuje vďaka prímiesy grafitových nanočastíc. Šedý EPS tak dosahuje lepšie hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti, vďaka čomu sa viac využíva v nízkoenergetickej výstavbe [32].

### **Polyuretánová (PUR), polyisokianurátová (PIR) pena, fenolická pena**

*Použitie:* tvrdá PUR pena sa využíva v detailoch konštrukcií ako výplň. Aplikuje sa ako nástrek, ktorý po pár sekundách zväčší svoj objem a zaplní všetky miesta, ktoré treba zaizolovať.

PIR pena má o niečo nižší súčiniteľ tepelnej vodivosti ako PUR pena, ostatné vlastnosti má takmer rovnaké. Okrem liatej alebo striekanej formy sa môže použiť aj na výrobu dosiek. Dosky sa vyrábajú buď rezaním z blokov, ktoré vznikli napeneným alebo vo formách [31].

Používajú sa tam kde je potrebné zachovať konštrukčnú výšku a súčasne dosiahnuť lepšie tepelné vlastnosti napr. do podláh alebo na strechy (nadkroková izolácia).

Fenolická pena sa vyrába napenením fenolformaldehydových živíc do blokov, ktoré sa následne režu na dosky. Dosky sú z oboch strán opatrené skleneným vlaknom alebo reflexnou hliníkovou fóliou. Používa sa na zateplenie fasád aj pri rekonštrukciách, kde treba brať ohľad na celkovú hrúbku konštrukcie [31]. Fyzikálne vlastnosti sú uvedené v tabuľke 1, prílohy 4.

### **3. Biologické materiály**

**Drevovláknité dosky** – základným materiálom pre výrobu drevovláknitých dosiek sú ihličnaté stromy. Základom je drevená štiepka rozvláknená pomocou vodnej pary a oceľových kotúčov. Dosky sa vyrábajú v hrúbkach od 6 - 200 mm.

*Použitie:* v difúzne otvorených konštrukciách najmä pri zatepľovaní drevostavieb, vďaka schopnosti prepúšťať vodnú paru [37].

**Ostatné** – k ďalším materiálom, ktoré radíme do skupiny ekologických izolantov patrí napríklad konope, slama, ovčia vlna a pod. Keďže sa vyznačujú súčiniteľom tepelnej vodivosti, ktorá sa rovná λ EPS a horšej nebudú v nadchádzajúcich výpočtoch uvažované. Používajú sa ako lokálny ekologický spôsob zateplenia.

### **4. Tepelné izolácie budúcnosti**

**Vákuové izolačné panely (VIP)** - princíp vákovej izolácie spočíva v odčerpaní vzduchu zo štruktúry tepelnej izolácie. Jadro tvorí prevažne pyrogénny silikátový prášok. Póry jadrového materiálu sú tak malé, že uzavretý vzduch sa nemôže pohybovať a transportovať teplo. Výplň je obalená vzduchotesným a mechanicky tuhým obalom, ktorý umožňuje trvalé odčerpanie vzduchu z výplne. V takejto štruktúre je vplyv transportu tepla prúdením minimálny. Sálaniu tepla zabraňuje vrstva

## 6. VLASTNOSTI TEPELNÝCH IZOLANTOV A SPÔSOB KOTVENIA

---

fólie, ktorá tvorí obalovú vrstvu pre VIP.

Vyrábajú sa v hrúbkach 2 - 8 cm a dosahujú súčiniteľ tepelnej vodivosti, ktorý je desatinou hodnoty typického tepelného izolantu. Dôležitá je opatrná manipulácia s panelmi na mieste stavby. Aby nedošlo k poškodeniu dosiek, zvyknú výrobcu na VIP nakaširovať z oboch strán tenkú vrstvu EPS (obr. 6.1), XPS, gumy alebo vrstvu, ktorá tlmí hluk. Vďaka týmto úpravám sa rozširuje možnosť použitia tohto druhu izolácie.

*Použitie:* do konštrukcií, kde je potrebná čo najmenšia hrúbka tepelného izolantu napr. pri rekonštrukcii podláh, na zateplenie fasád alebo do stiech.



Obr. 6.1: Vákuový izolačný panel s vrstvami z penového polystyrénu Vacu-por PS-B2-S od spoločnosti POREXTHERM, [28]

**Aerogel** - tento druh izolácie sa vyrába z gélu oxidu kremičitého pri vysokom tlaku a teplote tak, aby bola odstránená kvapalná zložka. Proces sa nazýva superkritické vysušovanie. Táto pevná látka má najnižšiu známu hustotu a jej zloženie tvorí z 99,8% vzduch a z 0,2% oxid kremičitý. Kremičité pórovité štruktúry o veľkosti niekoľkých nanometrov znemožňujú transport tepla vzduchom [37].

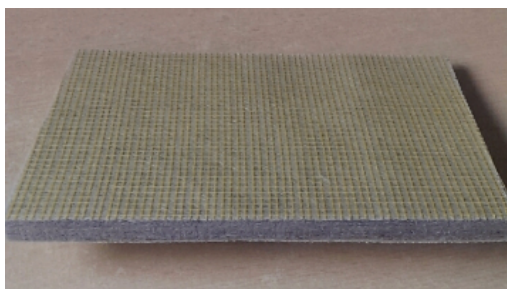
*Formát:* tenké izolačné dosky, tepelneizolačné pásy (obr. 6.2).

*Použitie:* v priestoroch, kde nie je dostatok miesta pre bežné izolačné materiály (na zateplenie stien z interiéru)



## 6.1. Porovnanie vlastností základných stavebných tepelných izolantov

---



Obr. 6.2: Panel z aerogelu s povrchovou úpravou v podobe výstužnej sieťoviny, [30]

### 6.1.2 Fyzikálne parametre tepelných izolácií

#### Súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda$ , [W/mK]

Podľa normy [1] predstavuje súčiniteľ tepelnej vodivosti schopnosť rovnomerného izotropného materiálu pri danej strednej teplote viesť teplo. Meranie tepelnej vodivosti sa prevádza pri ustálenom toku tepla. Skúškou je možné stanoviť súčiniteľ tepelnej vodivosti materiálu pri danej laboratórnej hmotnostnej vlhkosti vzorku a pri strednej teplote vzorku 10 °C [37].

Ďalej rozlišujeme ekvivalentný súčiniteľ tepelnej vodivosti, ktorý predstavuje schopnosť vrstvy danej hrúbky pozostávajúcej z rôznych materiálov vrstvených rovnobežne s tepelným tokom šíriť teplo. Typickým príkladom je napríklad železobetón alebo tepelná izolácia s kotvením [1]. Čím menšia je hodnota  $\lambda$ , tým materiál horšie vedie teplo a stáva sa izolantom.

### **Faktor difúzneho odporu $\mu$ , [-]**

Predstavuje relatívnu schopnosť vrstvy materiálov prepúšťať vodnú paru difúziou. Je pomerom difúzneho odporu materiálu a difúzneho odporu vrstvy vzduchu rovnakej hrúbky pri dohodnutých podmienkach.

Faktor difúzneho odporu vzduchu je 1, čím je jeho hodnota vyššia, tým materiál horšie prepúšťa vodnú paru. Táto vlastnosť je dôležitá, aby v stavbách nedochádzalo ku kondenzácii vodnej pary v konštrukcii a tak k celkovému zhoršeniu vlastností konštrukcie.

### **Objemová hmotnosť materiálu $\rho$ , [kg/m<sup>3</sup>]**

Hmotnosť materiálu/ výrobku v definovanom stave (vlhkosť, stlačenie) o objeme 1 m<sup>3</sup>. Jedná sa o hmotnosť objemovej jednotky aj s dutinami a pórmí.

### **Merná tepelná kapacita $c$ , [J/kgK]**

Veličina, ktorá vyjadruje, aké množstvo tepla prijme 1 kg látky, keď sa ohreje o 1°C. Vlhkosť má výrazný vplyv na tepelnú kapacitu u tepelne izolačných materiálov vo vzťahu k veľkosti pórov. Merná tepelná kapacita narastá s narastajúcou pórovitosťou a tým väčšou schopnosťou absorpcie vody. Ovplyvňuje stabilitu vnútorného prostredia stavby s ohľadom na zmeny v exteriéri [37].

### **Nasiakavosť materiálu $W_p$ [g/m<sup>2</sup>, %]**

Množstvo vody na m<sup>2</sup> nasiaknutej materiálom (skúšobným vzorkom, výrobkom) definovanej vlhkoti za definovanú dobu pri jeho čiastočnom ponorení do vody, [1]. Nasiakavosť je dôležitá z hľadiska tepelnoizolačných vlastností materiálov na zateplenie. Zníženie nasiakavosti materiálu sa dá dosiahnuť napríklad pomocou hydrofobizačných prísad. Tieto prísady sa najčastejšie používajú na zlepšenie vlastností minerálnych izolácií.

### **Horľavosť/Trieda reakcie na oheň**

Je dôležitým ukazovateľom, ako stavebné výrobky svojou horľavosťou prispievajú k rozvoju a intenzite vznikajúceho požiaru. Výrobok je na základe skúšok zatriedený do jednej zo 7 tried reakcie na oheň A1, A2, B, C, D, E, F, kde A1 a A2 predstavujú nehorľavé výrobky. Výrobky triedy B - F predstavujú postupne narastajúcu horľavosť [22]. V tabuľke 1, prílohy 4 sú popísané triedy reakcie na oheň jednotlivých druhov tepelnej izolácie. Triedu reakcie na oheň EPS je možné zlepšiť ak je súčasťou kontaktného zateplovacieho systému z triedy E na B. Do materiálu sa môžu pridávať samozhášivé látky.

### **Opracovateľnosť**

Pri výbere tepelného izolantu je vhodné vedieť či bude možné daný druh na mieste rezať alebo do neho vrátať. Veľmi zlú opracovateľnosť má panel z vákbovej izolácie, u ktorého nesmie v priebehu zabudovania do stavby dôjsť k žiadnemu poškodeniu. Panely majú fixné rozmery.

Na základe vyššie uvedených vlastností a vybraných typov tepelnej izolácie bola zostavená tabuľka viď príloha 4.

## 6.2 Spôsob kotvenia tepelných izolantov

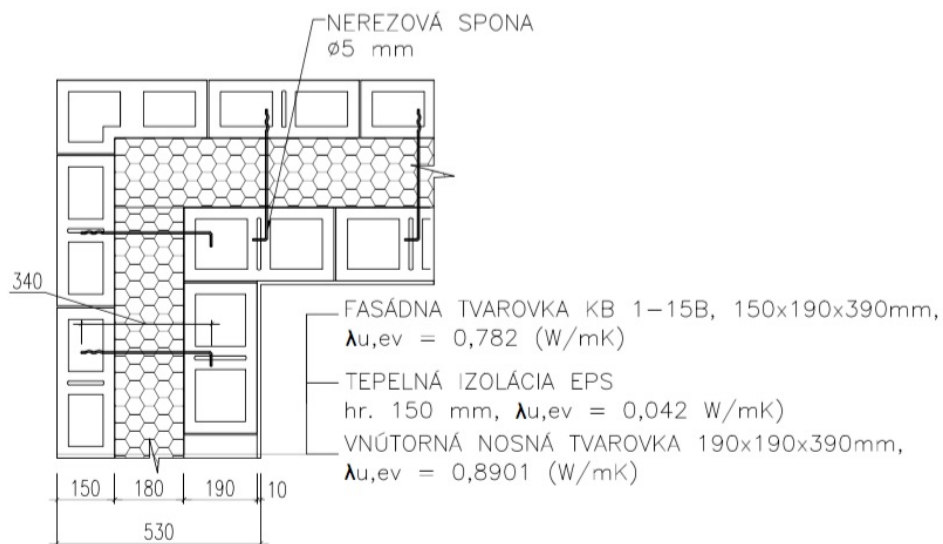
V kapitole č. 2 bol popísaný sendvičový systém od spoločnosti KB blok. Podľa technických podkladov [16] sa na uchytenie tepelnej izolácie EPS používajú nerezové spony. Tieto nerezové spony sa vkladajú do vodorovných škár. Na  $1 \text{ m}^2$  pohľadovej plochy steny pripadá 6 ocelových kotiev [16]. Tepelná izolácia sa nekotví klasickým spôsobom, aký sa využíva u kontaktných zateľovacích systémov, kde sa tepelné izolácie lepí na obvodovú stenu a následne sa dosky kotvia hmoždinkami.

Tvar, veľkosť a rozmiestnenie ocelových kotiev je na obrázku 6.3. Spony majú priemer 5 mm a tepelnoizolačné dosky sa na ne nasúvajú v dvoch vrstvách (80 + 70 mm) tesne na zraz. Ich presná poloha sa zaisť tesným uložením medzi vonkajšiu a vnútornú murovanú časť (obr. 6.4).

Vonkajšia vrstva – prímurovka z betónových tvárnic je väčšinou samonosná na konštrukcii samostatného alebo spoločného základu. S vnútornou vrstvou je spriahnutá pomocou kotiev.

Nevýhoda systému spočíva v spôsobe uchytenia tepelnej izolácie. Pri väčších hrúbkach tepelného izolantu je takýto spôsob nepraktický a vyžaduje si vysokú presnosť prevedenia. Pri tomto spôsobe kotvenia nie je možné použiť vákuovú tepelnú izoláciu, pretože môže ľahko dôjsť k mechanickému poškodeniu. Poškodenie spôsobuje zhoršeniu tepelnoizolačných vlastností VIP. Dosky z PIR alebo fenolickej peny majú pevnú štruktúru jadra, ktorá sa nedá takto prepichnúť.

## 6. VLASTNOSTI TEPELNÝCH IZOLANTOV A SPÔSOB KOTVENIA



Obr. 6.3: Uloženie ocelových kotiev v skladbe obvodovej steny sendvič KB, vodorovný rez



Obr. 6.4: Skladba sendvičovej steny a spôsob uchytenia tepelnej izolácie, [16]

V zahraničí existuje niekoľko typov kotviacich prvkov, ktorými je možné prepojiť jednotlivé vrstvy sendvičovej steny:

### 1. Nerezové kotvy uložené vo vodorovných škárach murovanej steny

– tvarovo rozmanité ocelové kotvy (obr. 6.5), usposobené na uchytenie tepelnej izolácie vo vzduchovej medzere. Kotvy sa vkladajú do malty v ložných škárach. Na stabilizáciu polohy tepelnej izolácie vo vzduchovej medzere sa používajú plastové upevňovacie klipsne. Používajú sa prevažne vo Veľkej Británii pri odstraňovaní porúch murovaných obvodových stien.

**Výhody kotvenia:** dosky tepelnej izolácie sa nenapichujú, používajú sa ľahko opracovateľné materiály, ktoré sú narezané na presné rozmery a kotva prechádza medzi dvoma doskami, sú relatívne flexibilné, dobre sa s nimi pracuje priamo na stavbe

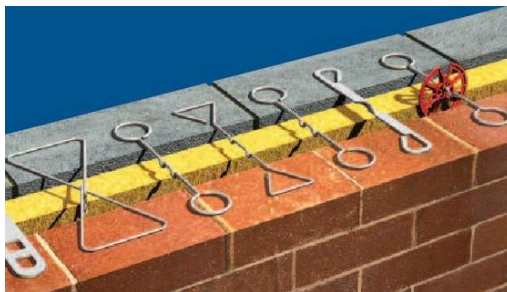
**Nevýhody kotvenia:** bodový tepelný most. Hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti  $\lambda \approx 20 \text{ W/mK}$ .

Treba staticky overiť, či je možné takýto spôsob kotvenia použiť v prípade tvaroviek KB (190x390x190mm) v závislosti na veľkosti a druhu dosiek tepelného izolantu.

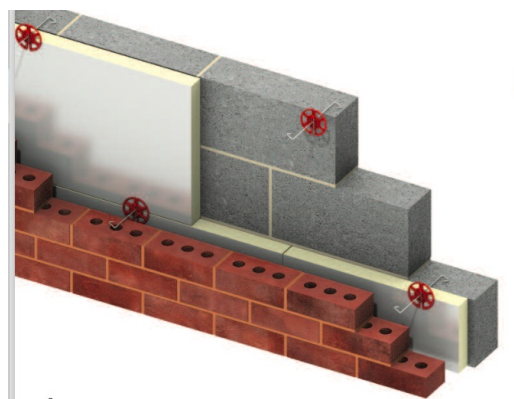
Z podkladov zahraničných výrobcov je známe základné rozmiestnenie kotviacich prvkov:

- vodorovná vzdialenosť = max. 900 mm,
- zvislá vzdialenosť = max. 450 mm
- od otvorov a rohov môže byť kotva vodorovne vzdialená max. 225 mm a zvislé vzdialenosti medzi kotvami v okolí otvorov môžu byť max. 300 mm [6]

Tieto rozmery zodpovedajú hrúbke vnútornej aj vonkajšej steny 90 mm. Dĺžka spôn závisí na hrúbke tepelnej izolácie a hrúbke vzduchovej medzery. Kotvy sú umiestnené v každom druhom rade (obr. 6.6).

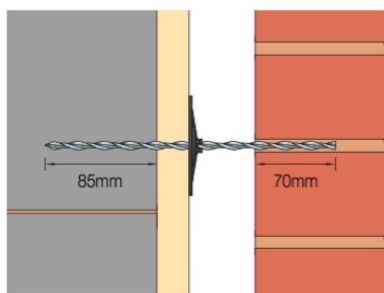


Obr. 6.5: Typy ocelových kotiev



Obr. 6.6: Spôsob rozmiestnenia ocelových kotiev, [6]

2. **Zatĺkacie ocelové kotvy** – tento typ kotiev sa zatĺka pomocou kladiva priamo do vnútornej obvodovej steny cez vrstvu tepelnej izolácie a zvyšná časť ocelej kotvy sa ukladá do malty vodorovných škár vonkajšej prímurovka (obr. 6.7).



Obr. 6.7: Zatĺkacie ocelové kotvy, [6]

**Výhody kotvenia:** jednoduchší spôsob kotvenia ako u východzieho systému (tepelná izolácia sa nenapichuje)

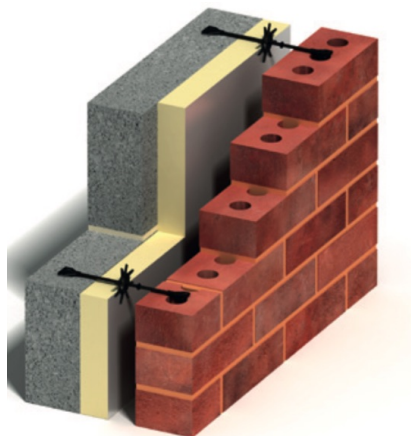
**Nevýhody kotvenia:** pri nesprávnej manipulácii s tepelnou izoláciou môže dôjsť k porušeniu jej vnútornej štruktúry.

– kotvy sú bodový tepelný most.

– v prípade tvarovky KB je nevýhodou hĺbka potrebná na ukotvenie spony do vnútornej steny. Nie je možné dosiahnuť požadovanú hĺbku ukotvenia 85 mm.

3. **Kotviace prvky s nižšou tepelnou vodivosťou** – do tejto podskupiny sa radia kotvy z iných materiálov ako je nerezová ocel napr. vy-

robené z čadičových vlákien a živice. Čadič sa vyznačuje vysokou pevnosťou v tlaku, nenasiakavosťou, mrazuvzdornosťou a nízkou tepelnou vodivosťou (v podobe kotiev je  $\lambda = 0,7 \text{ W/mK}$ , [6]). Tieto vlastnosti sa využívajú aj pri výrobe tepelnej izolácie. Na obrázku 6.8 je znázornený systém kotvenia od britskej spoločnosti Ancon.



Obr. 6.8: Čadičové kotvy pri uchytení tepelného izolantu v sendvičovej konštrukcii, [6]

**Výhody kotvenia:** nižšia tepelná vodivosť oproti bežnej nerezovej oceli

- menší vplyv tepelných mostov,
- prírodný materiál šetrný k životnému prostrediu

**Nevýhody kotvenia:** väčší priemer kotvy

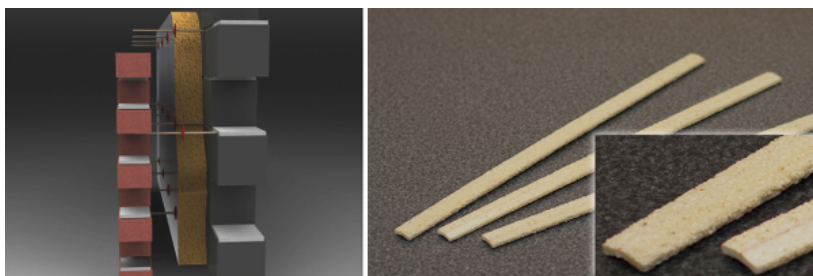
- tuhosť kotevného prvku oproti flexibilným oceľovým sponám
- ťažšia dostupnosť tohto druhu kotvenia na trhu a cena

#### 4. Kotviace prvky s nižšou tepelnou vodivosťou na báze plastov

- k takýmto prvkom radíme kotvy z vyztužených sklenených vlákien. Spája sa v nich pevnosť a odolnosť materiálu s nízkou tepelnou vodivosťou. Lepšiu súdržnosť kotvy s maltou zabezpečuje zrnitý povrch z oxidu kremičitého. Celková hrúbka jednej kotvy je 4,8 mm, šírka kotvy je 16 mm a dĺžka max. 325 mm (obr. 6.9) [19].

**Výhody kotvenia:** veľmi nízka tepelná vodivosť deklarovaná výrobcom  $\lambda = 0,19 \text{ W/mK}$ ,

- materiál šetrný k životnému prostrediu
- sploštený tvar kotvy, ktorý zapadá do medzery medzi izolačnými panelmi



Obr. 6.9: Spôsob kotvenia pomocou plastových kotiev, [19]

- predstavuje takmer nulový tepelný most
- Nevýhody kotvenia:** ťažšia dostupnosť týchto kotiev na trhu
- vyššia cena
  - takmer žiadna informovanosť pracovníkov na stavbe, ktorá môže viesť k nesprávnemu uloženiu kotiev

### 6.3 Záver

Táto kapitola priblížila materiály, s ktorými je možné pracovať pri optimalizácii skladby sendvičovej obvodovej steny. Použitím vhodného tepelnoizolačného materiálu je možné dosiahnuť aj 10x nižší súčiniteľ tepelnej vodivosti. Tepelnotechnické vlastnosti steny zlepšuje aj materiál kotviacich prvkov. V nasledujúcej kapitole bude overený účinok bodového tepelného mosta kotviaceho prvku na súčiniteľ prestupu tepla sendvičovej konštrukcie.



---

# **Optimalizácia vrstvy tepelnej izolácie sendvičovej konštrukcie pomocou programu Cube3D 2015 EDU**

V tejto kapitole bude overený vplyv kotvy z nerezovej oceli a plastu na súčiniteľ tepelnej vodivosti tepelného izolantu a súčiniteľ prestupu tepla celej sendvičovej konštrukcie. Výpočty budú prevedené na charakteristickom výreze stenovej konštrukcie. Cieľom výpočtu bude navrhnúť riešenie na zlepšenie vlastností skladby sendvičovej konštrukcie.

## **7.1 Vstupné parametre**

Program Cube3D 2015 EDU umožňuje výpočet trojrozmerného stacionárneho poľa teplôt. Tiež umožňuje výpočet tepelných tokov tepelnými mostami. Výpočet sa prevádza pomocou metódy konečných prvkov. Detaily sú pokryté sieťou max. 50x50x50 o maximálnom počte neznámych 65 000.

## 7. OPTIMALIZÁCIA VRSTVY TEPELNEJ IZOLÁCIE SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE POMOCOU PROGRAMU CUBE3D 2015 EDU

### Definície pojmov

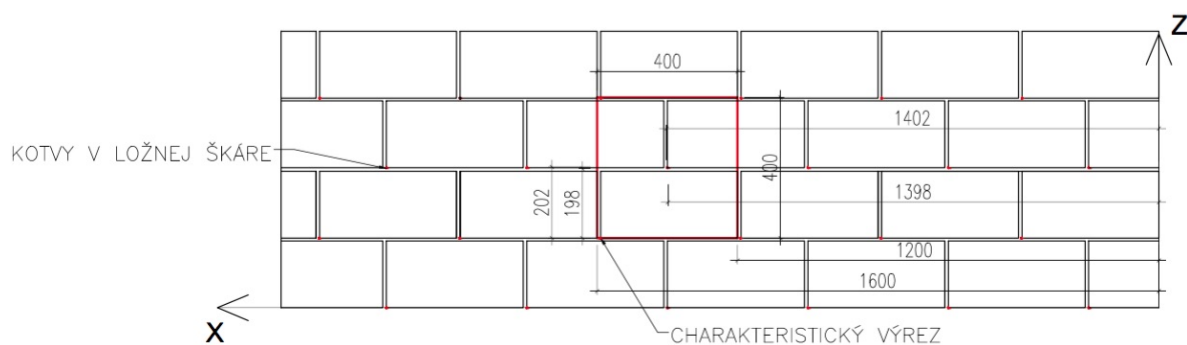
**Tepelný most:** časť danej stavebnej konštrukcie, kde sa jej tepelný odpor miestne významne mení úplným alebo čiastočným prienikom stavebnej konštrukcie alebo vrstvy materiálu s odlišnou tepelnou vodivosťou (konštrukcia je tepelne nerovnorodá), alebo stavebná konštrukcia obsahuje aspoň jednu nerovnorodú vrstvu [1]. Z hľadiska tvaru sa rozlišujú tepelné mosty líniové a bodové. Tepelné mosty vedú k zníženiu vnútornej povrchovej teploty konštrukcie a k zvýšeniu tepelnej straty objektu [23].

**Bodový tepelný most:** tepelný most bez zhodných rezov v ľubovoľnom smere [2]. V tomto prípade je bodovým tepelným mostom ocelová kotva prestupujúca tepelným izolantom.

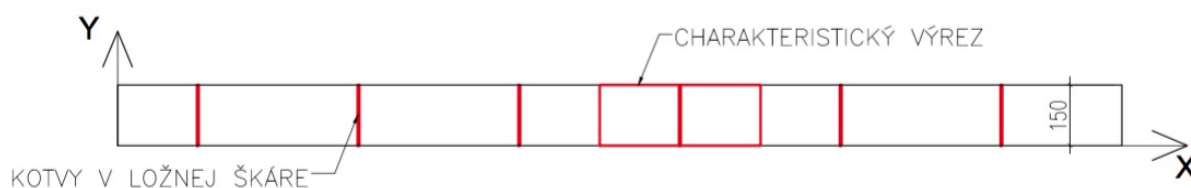
**Bodový činiteľ prestupu tepla:**  $\chi$  [W/K], podiel vplyvu bodového tepelného mosta na tepelnú priepustnosť  $L^{3D}$ , je prídavným tepelným tokom charakterizujúcim vplyv bodového tepelného mosta na plošnú tepelnú priepustnosť. Maximálne prípustné hodnoty tohto činiteľa sú dané v [2] a pre pasívne domy platí  $\chi_{pas} = 0,02$  W/K.

**Pracovný model:** výrez odpovedajúci pohľadovej ploche steny o rozmeroch 400x400 mm (obr. 7.1, 7.2). Výrez predstavuje časť konštrukcie, ktorá sa pravidelne opakuje.

- hrúbka výrezu: premenná, závisí na vybranom materiále tepelnej izolácie



Obr. 7.1: Charakteristický výrez sendvičovej konštrukcie (osa XZ)

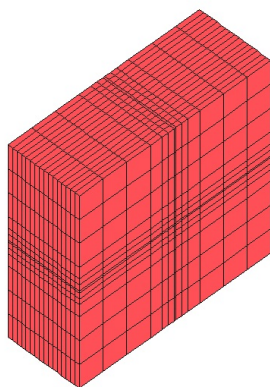


Obr. 7.2: Charakteristický výrez sendvičovej konštrukcie (osa XY)

**Vstupné parametre výpočtového modelu:**

- tepelná izolácia EPS, hrúbka = 150 mm,  $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$
- jedna nerezová kotva, priemer = 5 mm,  $\lambda = 20 \text{ W/mK}$
- súčinitele tepelných vodivostí  $\lambda$  vybraných tepelných izolantov boli použité z tabuľky 1, prílohy 4.
- okrajové podmienky: definované rovnako ako v programe Area vid' kapitola č. 5.
- charakteristický výrez bol namodelovaný zjednodušene, vplyv netestností bol zanedbaný. Pokiaľ bude navrhnutá kotva prechádzať medzi dvoma izolačnými panelmi je nutné dotiesniť vzniknuté škáry (napr. výrezom z tepelnej izolácie alebo izolačnou penou)

Výstupný výpočtový model, s ktorým na základe zadaných parametrov pracuje program Cube3D je znázornený na obrázku 7.3. Detail je pokrytý sieťou max.  $20 \times 20 \times 20$ . Sieť sa zhusťuje v oblasti potencionálneho bodového tepelného mosta - kotviaceho prvku.



Obr. 7.3: Výpočtový 3D model z programu Cube3D

## 7.2 Výpočet závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiále tepelnej izolácie a kotviacom prvku

Výpočet vedie k optimalizácii sendvičovej konštrukcie. Podmienkou je dosiahnuť súčiniteľ prestupu tepla  $U < 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ktorý bol určený v kapitole č. 4. Posudzovaný objekt tak splní požiadavky stanovené pre pasívne domy.

### 7.2.1 Prvý variant výpočtu - kotviaci prvok z nerezovej oceli

Výpočet bol rozdelený do dvoch častí. Na jednotlivých typoch tepelnej izolácie bol overený vplyv kotviaceho prvku z nerezovej oceli, ktorý predstavuje bodový tepelný most.

#### Prvá časť výpočtu:

- porovnanie tepelných vlastností sendvičovej steny pri použití pôvodnej tepelnej izolácie EPS s vybranými tepelnými izolantami
- uvažovaná nerezová kotva viď kapitola 6, podkapitola 6.2.
- hrúbka tepelnoizolačnej vrstvy je konštantná (150 mm).
- na porovnanie boli zvolené izolačné dosky z minerálnych vlákien (čadičová vlna), z penového polystyrénu s prímiesou grafitu a dosky z fenolickej peny. Aerogelová a vákuová izolácia neboli vo výpočte uvažované, pretože sa v takýchto hrúbkach nevyrábajú a nepoužívajú.

Výsledky sú zhrnuté v grafe 7.4. Pri hrúbke tepelného izolantu 150 mm z penového polystyrénu EPS je hodnota  $U = 0,237 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Táto hodnota sa mierne líši od hodnôt z predchádzajúcich výpočtov. Presnosť výpočtu závisí od presnosti zadávaného výpočtového modelu, ktorý používa daný program. V programe Area bola do výpočtu zadaná ekvivaletná hodnota  $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$  charakterizujúca vrstvu tepelného izolantu s nerezovým kotviacim prvkom prevzatá s podkladov výrobcu [16]. Do 3D výpočtu vstupuje nerezová kotva ako samostatný prvok, zvolená hodnota  $\lambda$  sa môže líšiť od hodnoty uvažovanej výrobcou, a preto je hodnota výsledného  $U$  nižšia. V oboch prípadoch je  $U \approx 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

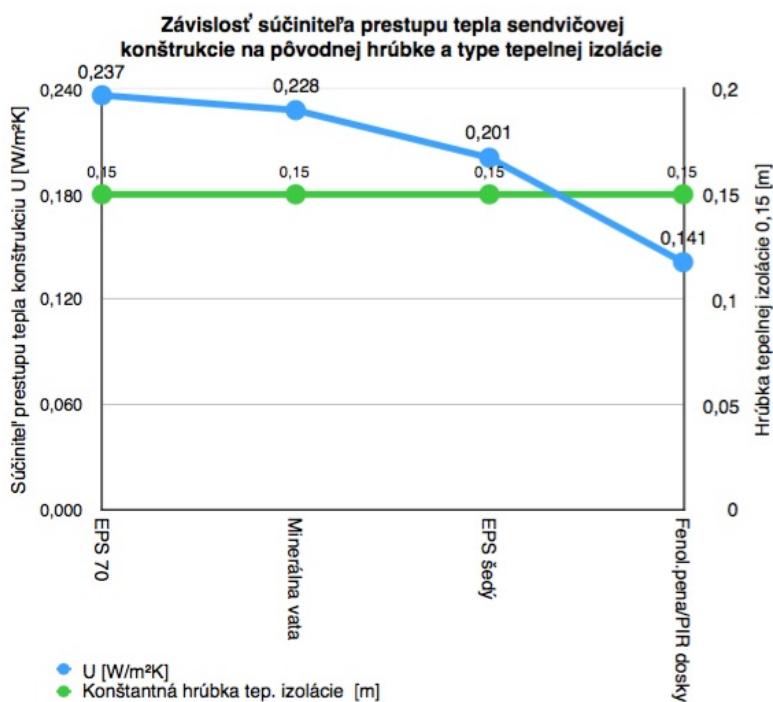
Pomocou programu Cube3D bola získaná hodnota tepelného toku trojroz-

## 7.2. Výpočet závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiále tepelnej izolácie a kotviacom prvku

merného stacionárneho poľa  $Q[W]$ . Výpočet ekvivalentnej hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie s vplyvom kotviaceho prvku bol odvodený zo vzťahov uvedených v [1].

V grafe 7.4 je znázornená hodnota súčiniteľa prestupu tepla  $U$ , ktorú dosiahne sendvičová konštrukcia pri zmene materiálu tepelnej izolácie. Pri konštantnej hrúbke tepelného izolantu (150 mm) nedosahuje sendvičová konštrukcia cieľovú hodnotu  $U = 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$  v žiadnom z uvedených prípadov.

Najbližšie k požadovanej hodnote je skladba steny s tepelnou izoláciou z dosiek z fenolickej peny, ktorá dosahuje hodnotu  $U = 0,141 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Táto hodnota spĺňa doporučené hodnoty pre pasívne domy  $U = 0,12 - 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$  [2]. Významný vplyv na tepelnom chovaní sendvičovej konštrukcie má voľba tepelnoizolačnej vrstvy.

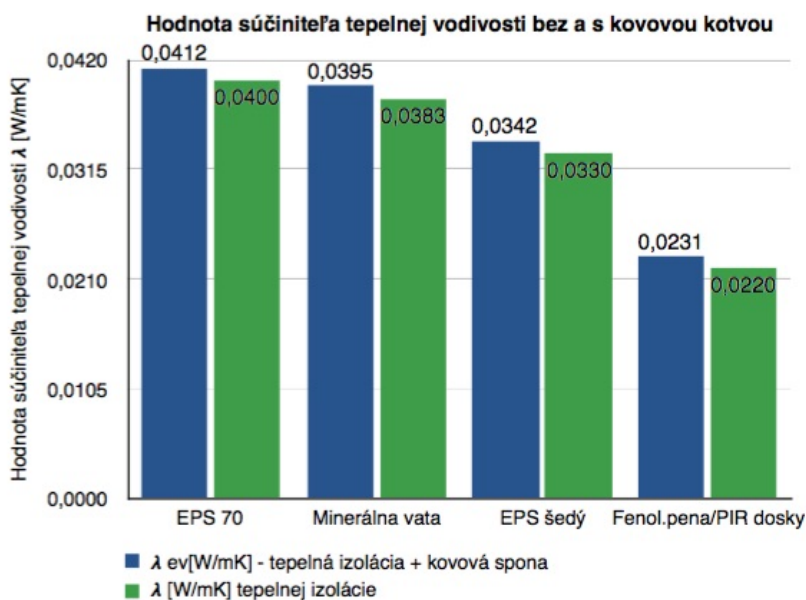


Obr. 7.4: Graf závislosti súčiniteľa prestupu tepla na druhu tepelnej izolácie

Súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda$  tepelnej izolácie vplyvom započítania kotvy z nerezovej oceli ako bodového tepelného mostu sa mení vid' graf 7.5. Kotviaci prvok so svojou vysokou hodnotou súčiniteľa tepelnej vodivosti zhor-

## 7. OPTIMALIZÁCIA VRSTVY TEPELNEJ IZOLÁCIE SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE POMOCOU PROGRAMU CUBE3D 2015 EDU

šuje tepelné vlastnosti izolácie. V mieste ocelevej kotvy dochádza k porušeniu celistvosti tepelnoizolačnej dosky a k netestnostiam.



Obr. 7.5: Graf zmeny súčiniteľa tepelnej vodivosti pri započítaní vplyvu ocelevej kotvy

**Druhá časť výpočtu:** hrúbky jednotlivých druhov tepelných izolantov boli upravené tak, aby konštrukcia splnila cieľovú hodnotu súčiniteľa prestupu tepla  $U = 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Do výpočtu bola zahrnutá aj izolácia z aerogelu.

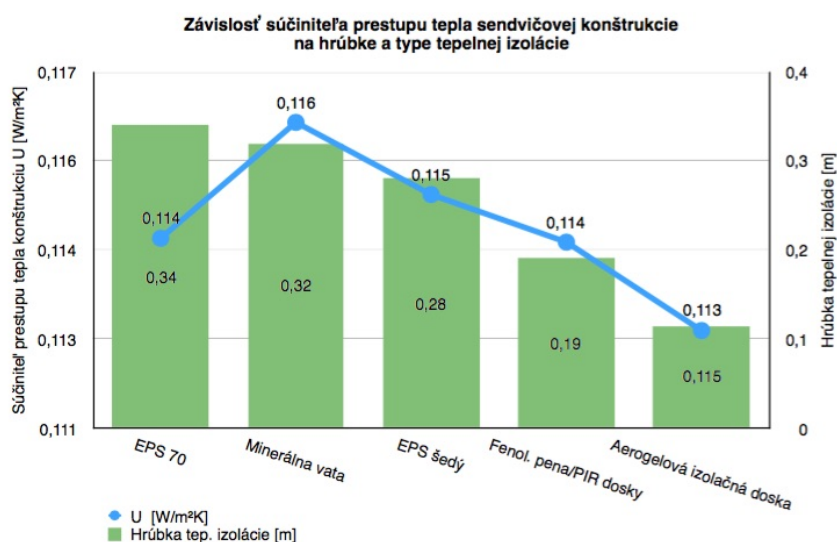
Vákuový izolačný panel bol z výpočtov vynechaný. Pôvodne vybraný izolačný panel na zateplenie obvodovej steny Vacutherm od výrobcu Porotherm pozostáva z dvoch obalových vrstiev penového polystyrénu EPS hrúbky 10 a 20 mm a vnútornej vrstvy vákovej izolácie hrúbky 30 mm. Pri hrúbke panelu 60 mm je deklarovaná hodnota súčiniteľa prestupu tepla hodnotou  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Pri tejto hrúbke nie je splnená požiadavka na sendvičovú obvodovú stenu. Vo vákovej izolácii nedochádza k prenosu tepla prúdením, ale iba sálaním. Hrúbka izolácie nie je rozhodujúca. Pre dosiahnutie požadovaných hodnôt

## 7.2. Výpočet závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiále tepelnej izolácie a kotviacom prvku

by bolo možné použiť dve vrstvy panelov alebo zlepšiť tepelnú vodivosť zvýšením hrúbky obalovej izolačnej vrstvy, preto na zateplenie veľkých plôch (napr. obvodových stien) nie sú vhodné. V ďalších výpočtoch sa s týmto typom zateplenia neuvažuje. Tabuľka s podrobným výpočtom je v prílohe č. 5, tabuľka 1.

Výsledné hodnoty súčiniteľa prestupu tepla  $U$  posudzovanej konštrukcie sa pohybujú v rozmedzí  $0,11 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Presné výsledky získané z programu Cube3D sú znázornené v grafe 7.6.



Obr. 7.6: Graf znázorňujúci hrúbku tepelnej izolácie pri cieľovej hodnote súčiniteľa prestupu tepla

## 7. OPTIMALIZÁCIA VRSTVY TEPELNEJ IZOLÁCIE SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE POMOCOU PROGRAMU CUBE3D 2015 EDU

---

Cieľová hodnota  $U < 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$  bola dosiahnutá pri hrúbke izolačnej vrstvy z EPS = 340 mm. Celá sendvičová konštrukcia dosiahne hrúbku 690 mm (bez vzduchovej medzery). Takáto sendvičová konštrukcia splní požiadavky pre pasívny dom, ale výsledná hrúbka celej konštrukcie je príliš veľká. Kotvy potrebné na uchytenie takejto vrstvy izolácie musia mať dĺžku aspoň 600 mm a väčší priemer.

Rovnakú hodnotu súčiniteľa prestupu tepla  $U$  je možné dosiahnuť použitím izolácie z fenolickej peny s hrúbkou 190 mm.

Pri použití aerogelu stačí na dosiahnutie tepelných vlastností hrúbka 115 mm a hrúbka celej konštrukcie dosiahne maximálne 550 mm.

Izolácie z aerogelu sa vyrábajú v hrúbkach 60 – 80 mm. Na konštrukciu by museli byť ukladané v dvoch vrstvách. V prípade použitia tohto druhu izolácie bude potrebné preskúmať konštrukčnú a ekonomickú vhodnosť.

Pri výbere tepelnej izolácie treba zväžiť spôsob uchytenia tepelného izolantu. Tuhú dosku (napr. z fenolickej peny) nie je možné napichnúť na oceľovú sponu.

Zmena materiálu tepelného izolantu má výrazný vplyv na hodnotou súčiniteľa prestupu tepla  $U$  sendvičovej konštrukcie a jej hrúbku.

### 7.2.2 Druhý variant výpočtu - plastový kotviaci prvok

Obdobný výpočet ako v prípade nerezovej kotvy bol prevedený s použitím kotvy plastovej. Parametreplastového kotviaceho prvku:

– súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda = 0,24 \text{ W/mK}$  (polyamid)

– priemer kotvy = 5 mm

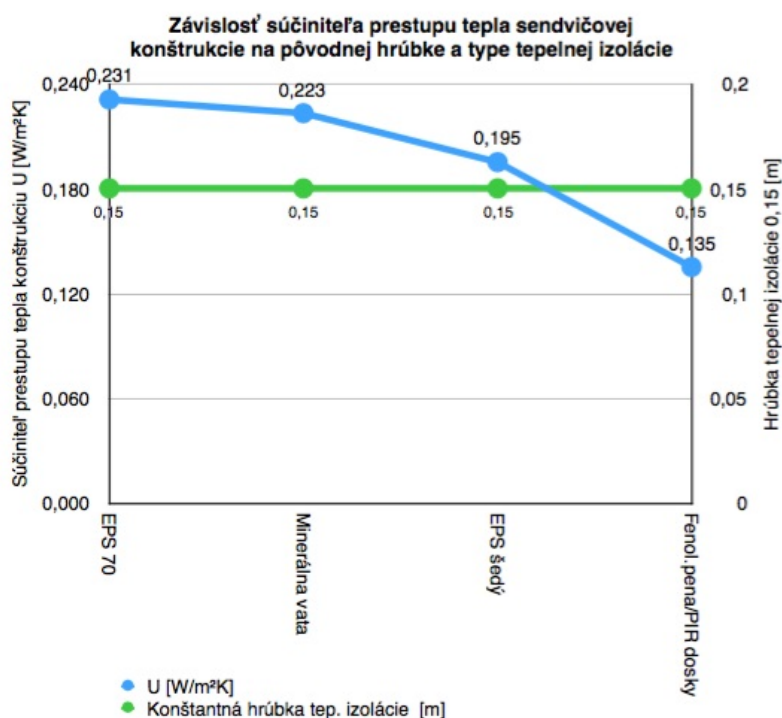
– veľkosť plastového kotviaceho prvku je zhodná s nerezovou kotvou

**Prvá časť výpočtu:** podobne ako v prípade nerezovej kotvy bude prvá časť výpočtu sledovať zmenu súčiniteľa prestupu tepla  $U$  pri konštantnej hrúbke 150 mm rôznych druhov tepelných izolantov. Výpočtom bol určený vplyv plastovej kotvy na súčiniteľ tepelnej vodivosti tepelného izolantu. Podrobný výpočet je v prílohe č. 5, tabuľka 2.

Z grafu 7.7 je vidieť, že pri konštantnej hrúbke 150 mm nebude žiadna zo skladiel spĺňať požadovanú hodnotu  $U$  pre pasívne domy.



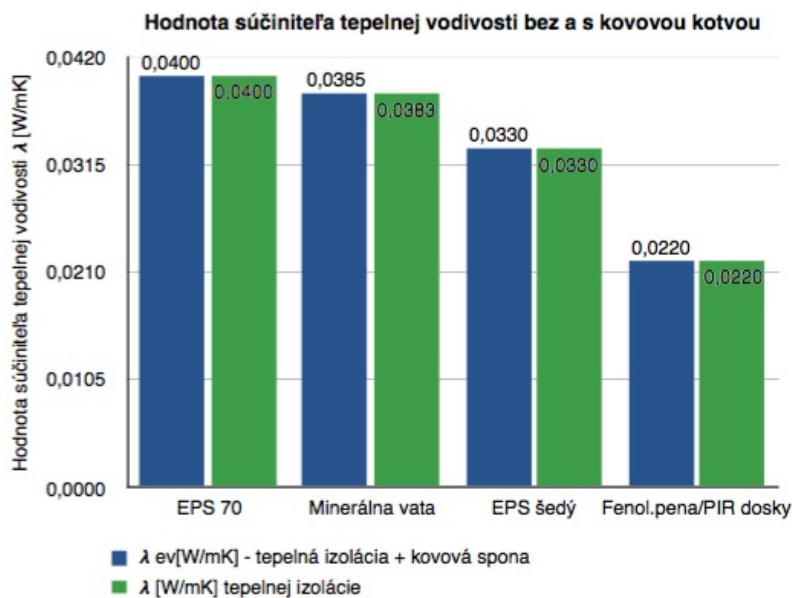
## 7.2. Výpočet závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiále tepelnej izolácie a kotviacom prvku



Obr. 7.7: Graf závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na druhu tepelnej izolácie a plastovom kotviacom prvku

Oproti prvej variante sú hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie nižšie. Hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti tepelnej izolácie so započítaným vplyvom plastovej kotvy ako bodového tepelného mosta sa rovná hodnote súčiniteľa tepelnej vodivosti bez kotviaceho prvku. Plastová kotva nepredstavuje bodový tepelný most pre vybraný charakteristický výrez tepelného izolantu vid' graf 7.8.

## 7. OPTIMALIZÁCIA VRSTVY TEPELNEJ IZOLÁCIE SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE POMOCOU PROGRAMU CUBE3D 2015 EDU

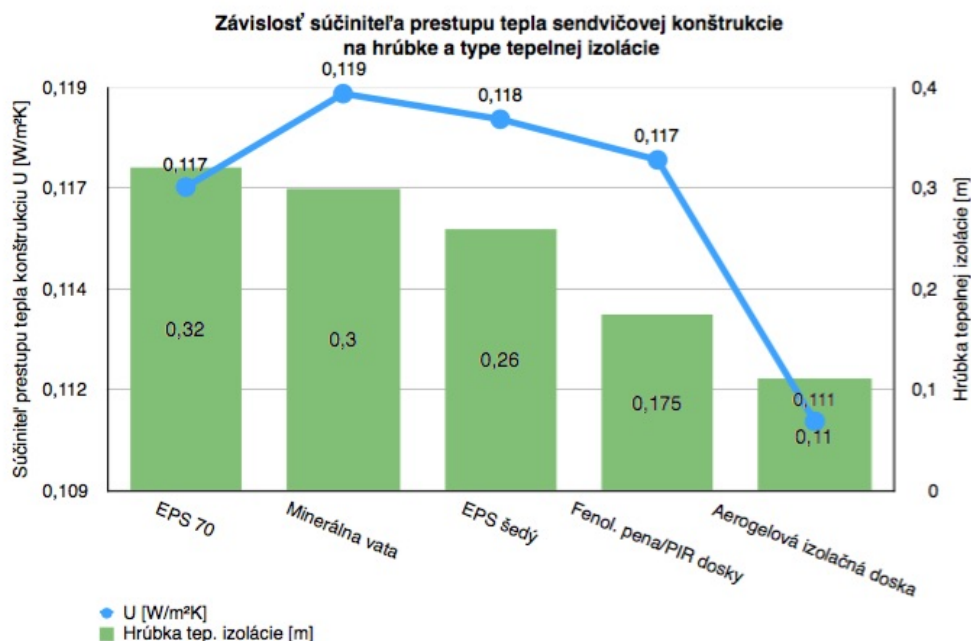


Obr. 7.8: Graf zmeny súčiniteľa tepelnej vodivosti pri započítaní vplyvu plastovej kotvy

**Druhá časť výpočtu:** vo výpočte boli upravené hrúbky tepelných izolácií. Závislosť hrúbky izolantu a dosiahnuté hodnoty súčiniteľa prestupu tepla  $U$  je uvedená v grafe 7.9. Použitím plastových kotiev miesto nerezových sa hrúbka všetkých druhov tepelných izolácií zmenší o 2 cm. Plastový kotviaci prvok nemá veľký vplyv na tepelné vlastnosti konštrukcie, prispieva však k zmenšeniu hrúbky izolácie, a tým k nárastu využiteľnej obytnej plochy.

Spôsob kotvenia napichovaním dosiek tepelnej izolácie pri použití plastových kotiev nie je možné použiť. Kotvy sú menej flexibilné, preto sa umiestňujú do medzery medzi tepelnoizolačné panely. Podrobný výpočet je súčasťou prílohy 5, Tab. 2.

## 7.2. Výpočet závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiále tepelnej izolácie a kotviacom prvku



Obr. 7.9: Graf znázorňujúci hrúbku tepelnej izolácie s plastovým kotviacim prvkom pri cieľovej hodnote súčiniteľa prestupu tepla

### 7.2.3 Tretí variant - bez kotviaceho prvku

Z grafu 7.8 je zrejmé, že plastová kotva nemá žiadny vplyv na tepelnú vodivosť tepelnej izolácie. Sendvičová obvodová stena bez kotviaceho prvku dosahuje hodnoty súčiniteľa prestupu tepla zhodné s hodnotami druhého variantu výpočtu tj. s plastovou kotvou. Hrúbky jednotlivých izolantov sa nezmenia vid' príloha 5, tabuľka 3. Do úvahy pripadá výroba stavebných dielcov spojených do jedného celku s tepelnou izoláciou priamo vo vibrolisovacích zariadeniach.

#### **Výhody murovacieho systému bez kotvenia:**

- menej pracná výstavba (odpadá problém kotvenia tepelnej izolácie pomocou oceľových kotiev)
- stavebné dielce sa murujú na tenkovrstvú maltu v ložných škárach
- styčné škáry sú na suchý perodrážkový spoj
- minimalizácia tepelných mostov
- možnosť výroby prvkov aj s väčšími hrúbkami tepelnej izolácie

#### **Nevýhody murovacieho systému bez kotvenia:**

- možné riziko kondenzácie vodnej pary v spojoch tvarovky s tepelnou izoláciou

– zmena technológie výroby tvárnic

### 7.3 Posúdenie vhodnosti tepelných izolantov z ekonomického hľadiska

Výber vhodnej tepelnej izolácie nezávisí len na tepelnotechnických vlastnostiach tohto materiálu, ale aj na cene a dostupnosti. Súčasťou výpočtov je ekonomické posúdenie, kde bude porovnaná cena za využiteľnú podlahovú plochu objektu pri použití jednotlivých typov izolácie s cenou, ktorú treba investovať do nákupu tepelného izolantu. Posúdenie bolo prevedené na reprezentatívnom dome RD Dvojposchodový, ktorý v kapitole č. 4 vyšiel ako najmenej priaznivý variant z tepelného hľadiska.

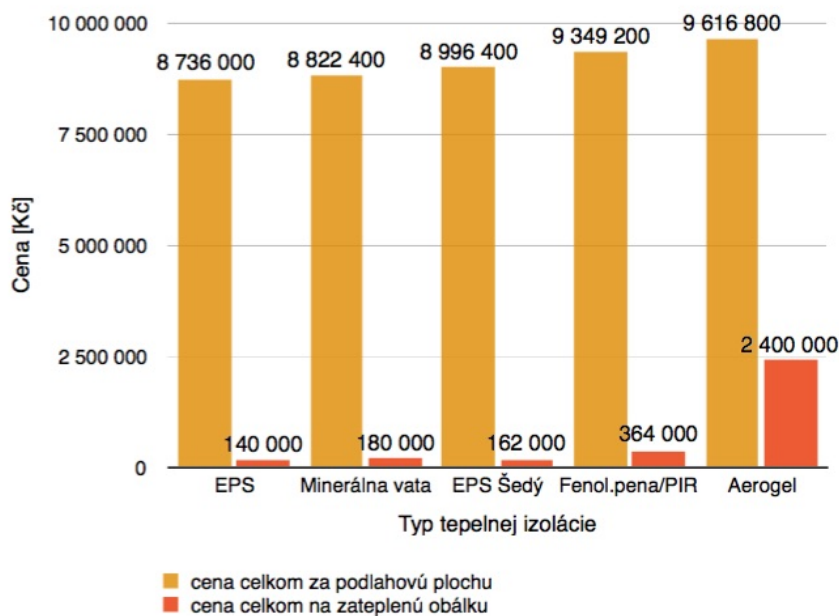
Rodinné domy sa zvyčajne nepredávajú na m<sup>2</sup>, ale vzhľadom na to, že sa všetky doterajšie výpočty prevádzali na rodinnom dome, bude pre zjednodušenie použitý tento postup.

#### Vstupné parametre:

- plocha zatepľovanej obálky = 200 m<sup>2</sup>
- cena za m<sup>2</sup> penového polystyrénu EPS, 320 mm = 700 Kč (ceny s DPH izolačných materiálov sú orientačné a boli prevzaté z portálu dekstavbniny.cz, cena aerogelu bola získaná z portálu thermosilit.sk). Ceny sú uvedené v prílohe 5, tabuľka 4
- cena za m<sup>2</sup> podlahovej plochy v Prahe: 60 000 Kč (cena je orientačná a bola odvodená z cien realít na základe zvolených parametrov z portálu sreality.cz).
- rozhodujúce kritéria pre výber objektu pri určovaní podlahovej plochy: nízkoenergetická novostavba, pri Prahe, so 4 izbami. Výsledná cena za vybraný objekt bola vydelená užitočnou plochou, tak bola získaná cena za m<sup>2</sup>.
- investícia na zateplenie obálky EPS hr. 320 mm = 140 000 Kč
- podlahová plocha pri zateplení EPS hr. 320 mm = 145,6 m<sup>2</sup>
- vonkajšia hrana objektu je zadaná fixne, so zväčšujúcou hrúbkou izolácie sa znižuje obytná plocha
- hrúbky tepelných izolantov zodpovedajú hrúbkam vypočítaným pri kotvení s plastovými kotvami alebo bez mechanického kotvenia

V stĺpcovom grafe 7.10 je porovnanie ceny za predaj podlahovej plochy s cenou, ktorú treba investovať do tepelného izolantu. Cena izolácie z aerogelu je 10 – 15 násobne vyššia ako u ostatných tepelných izolácií.

### 7.3. Posúdenie vhodnosti tepelných izolantov z ekonomického hľadiska



Obr. 7.10: Porovnanie ceny za nehnuteľnosť pri zväčšení podlahovej plochy a ceny investovanej do tepelnej izolácie

Na grafe 7.11 je znázornená závislosť ceny za podlahovú plochu a ceny za zateplenie obálky na zmene podlahovej plochy.

Pôvodná podlahová plocha  $145,6 \text{ m}^2$  pri použití tepelnej izolácie z EPS hr. 320 mm sa pri použití izolácie z aerogelu zväčší o  $16,8 \text{ m}^2$ . Tento prírastok na podlahovej ploche zvýši cenu za RD o 880 800 Kč oproti východnému variantu s použitím EPS. Cena za aerogel je vysoká a v tomto prípade by bolo potrebné použiť 2 vrstvy. Výsledná investícia do zateplenia je 2 400 000 Kč.

Pri zväčšení podlahovej plochy o  $1,42 \text{ m}^2$  v prípade použitia tepelnej izolácie z minerálnych vlákien bude investícia na zateplenie o 40 000 Kč vyššia, ako v prípade použitia EPS. Cena za podlahovú plochu sa zvýši o 86 400 Kč.

Pri použití tepelnej izolácie z fenolickej peny sa investícia do tepelnej izolácie oproti použitiu EPS zvýši o 224 000 Kč, podlahová plocha bude väčšia o  $10,22 \text{ m}^2$ . Cena za podlahovú plochu bude o 613 200 Kč vyššia ako v prípade použitia EPS.

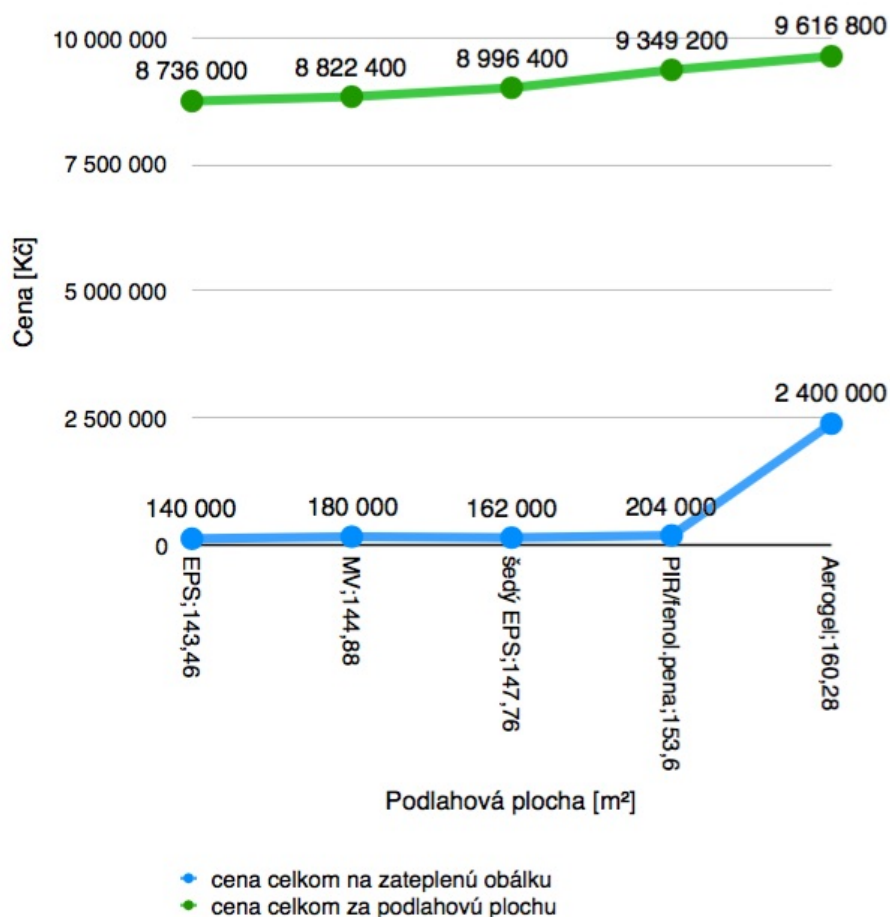
Z tohto zjednodušeného posúdenia vyplýva, že tepelná izolácia z aerogelu

## 7. OPTIMALIZÁCIA VRSTVY TEPELNEJ IZOLÁCIE SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE POMOCOU PROGRAMU CUBE3D 2015 EDU

je kvôli vysokej cene nepoužiteľná. Aerogel nie je vhodným riešením na zatepovanie veľkých plôch ani z technologického a využíva sa na miestach, kde nie je možné použiť iný druh tepelných izolantov kvôli ich hrúbke.

Tepelná izolácia z EPS je oproti ostatným druhom najlacnejšou možnosťou, súčasne je potrebné použiť väčšiu hrúbku. Z výpočtov vyplýva, že vzhľadom na cenu za m<sup>2</sup> podlahovej plochy, je treba brať do úvahy hrúbku tepelného izolantu. Mimo Prahu rozdiel nemusí byť taký markantný.

Výsledky sú súčasťou tabuľky 4, príloha 5.



Obr. 7.11: Graf porovnávajúci dopad zväčšenia podlahovej plochy na zisk a investíciu a zväčšenie

## 7.4 Posúdenie sendvičovej konštrukcie z hľadiska kondenzácie vodnej pary

Posúdenie konštrukcie z tepelnotechnického a ekonomického hľadiska bude pre úplnosť doplnené o posúdenie šírenia vlhkosti v sendvičovej konštrukcii. Bude uvažované so štyrmi druhmi tepelného izolantu a výpočet bude zameraný na ročnú bilanciu vodnej pary a množstvo skondensovanej a vypariteľnej vodnej pary vo vnútri konštrukcie.

### Vstupné parametre:

- vybrané druhy tepelného izolantu: EPS, minerálne vlákna, EPS s grafitom, fenolická pena, (aerogel nebol posudzovaný z dôvodov spomenutých vyššie jeho použitie ako tepelného izolantu do sendvičovej konštrukcie nie je vhodné)
- hrúbka tepelných izolantov: hrúbky prevzaté z kapitoly 7.2.2 (s plastovým kotviacim prvkom)
- hodnota faktora difúzneho odporu prevzatá z tabuľky z prílohy 4
- konštrukcie posudzované bez vzduchovej vrstvy
- netesnosti v okolí kotiev a medzi jednotlivými vrstvami boli zanedbané
- teplotné okrajové podmienky: definované rovnako ako v programe Area viď kapitola č. 5.
- počet hodnotených rokov : 1
- vlhkostné okrajové podmienky:

- 3. vlhkostná trieda (stredná vlhkosť, bytové domy s malým počtom osôb)
- vnútorná relatívna vlhkosť vzduchu: 50%
- vonkajšia relatívna vlhkosť vzduchu: 84%

Podmienky stanovené normou ČSN 73 0540 - 2, kapitola 6. Šírenie vlhkosti konštrukciou:

- sendvičovú konštrukciu radíme podľa podmienky 6.1.2 ku konštrukciám, u ktorých kondenzácia vodnej pary neohrozuje jej požadovanú funkciu. Táto podmienka je obmedzená množstvom vodnej pary skondensovanej za jeden rok. Podmienka, ktorú má konštrukcia splniť je uvedená v norme [2] a platí nižšia z hodnôt buď  $M_{c,N} = 0,5$  [kg/m<sup>2</sup>a] alebo 5% plošnej hmotnosti materiálu, v ktorom dochádza ku kondenzácii vodnej pary (objemová hmotnosť je vyššia než 100 kg/m<sup>3</sup>, pre materiál s objemovou hmotnosťou  $\leq 100$  kg/m<sup>3</sup> sa použije 10

## 7. OPTIMALIZÁCIA VRSTVY TEPELNEJ IZOLÁCIE SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE POMOCOU PROGRAMU CUBE3D 2015 EDU

- podľa podmienky 6.2 ročné množstvo skondenzovanej vodnej pary vo vnútri konštrukcie  $M_c$  [kg/m<sup>2</sup>a] nesmie prekročiť vypariteľné množstvo vodnej pary vo vnútri konštrukcii  $M_{ev}$  [kg/m<sup>2</sup>a] [2]

Pomocou programu Teplo bola konštrukcia posúdená bilančným výpočtom po mesiacoch podľa normy ČSN EN ISO 13 788. Súčasne bola konštrukcia posúdená podľa normy ČSN 73 0540-4 ako rozdiel ročného množstva skondenzovanej vodnej pary  $M_{c,a}$  a ročného množstva vypariteľne vodnej pary  $M_{ev,a}$ . Pri prevedení výpočtu podľa oboch noriem sa výsledná hodnota porovná s požiadavkami 6.1.2 a 6.2 z normy ČSN 73 0540-2. Zrovnáva sa nepriaznivejší výsledok [2].

V tabuľke 7.12 sú zhrnuté výsledky získané z programu Teplo. Komplexné posúdenie je súčasťou prílohy č. 5.

	Hrúbka tep. izolácie	$\lambda_{ev, TI} + spona$	Bilancia vlhkosti podľa ČSN 73 0540 - 4		$M_{ev,a} > M_{c,a}$	Bilancia vlhkosti podľa ČSN EN ISO 13788		$M_{ev,a} > M_{c,a}$
	[mm]		$M_{c,a}$ [kg/m <sup>2</sup> rok]	$M_{ev,a}$ [kg/m <sup>2</sup> rok]			$M_{c,a}$ [kg/m <sup>2</sup> rok]	
EPS	320	0,040	0,024	1,057	áno	nedochádza ku kondenzácii	-	
Minerálna vata	300	0,0383	0,657	1,367	áno	dochádza ku kondenzácii	0,3244	áno
EPS s grafitom	260	0,033	0,036	1,055	áno	nedochádza ku kondenzácii	-	
Fenolickej pena	180	0,022	0,054	1,092	áno	nedochádza ku kondenzácii	-	

Obr. 7.12: Posúdenie kondenzácie vodnej pary v sendvičovej konštrukcii

Pri použití tepelnej izolácie z EPS, EPS s grafitom a fenolickej peny je splnená podmienka z normy ČSN 73 0540-2:

$$M_{ev,a} > M_{c,a}$$

Podľa bilančného mesačného výpočtu z normy ČSN EN ISO 13 788 počas modelového roka nedochádza ku kondenzácii v týchto tepelných izolantoch.

Pri použití tepelnej izolácie z minerálnych vlákien dochádza počas modelového roka ku kondenzácii podľa normy ČSN EN ISO 13 788. Množstvo skondenzovanej vodnej pary je väčšie ako u ostatných druhov izolácií, ale podmienka  $M_{ev,a} > M_{c,a}$  je splnená podľa [2]. Na konci modelového roka ostáva zóna suchá.



## 7.5. Návrh vhodnej skladby sendvičovej konštrukcie pre stavbu pasívneho domu

---

V prípade použitia sendvičového systému pre pasívne domy je hrúbka konštrukcie aj bez vzduchovej medzery vysoká kvôli väčšej hrúbke tepelnoizolačnej vrstvy. Z posúdenia vyplýva, že prevetrávaná vzduchová vrstva medzi tepelnou izoláciou a vonkajšou betónovou tvarovkou nie je potrebná. Táto vrstva by získané výsledky zlepšila, ale celá konštrukcia by bola hrubšia minimálne o 40 mm.

## 7.5 Návrh vhodnej skladby sendvičovej konštrukcie pre stavbu pasívneho domu

Na základe vyhotovenej analýzy z kapitoly 6 a výpočtov uskutočnených v kapitole 7 vyplýva, že pre tento systém sendvičovej konštrukcie možno použiť štyri typy tepelnej izolácie. V pôvodných konštrukciách spoločnosti KB blok používajú tepelnú izoláciu z EPS a z minerálnych vlákien s použitím ocelových kotviacich prvkov. Keby tieto typy chceli použiť do konštrukcie vhodnej pre pasívne domy, hrúbka tepelnej izolácie by presiahla 300 mm. Spoločne s oboma tvarovkami by konštrukcia dosiahla hrúbku viac než 600 mm. Ďalšou možnosťou je použitie tepelného izolantu EPS s prísadou grafitu o hrúbke 260 mm.

Rovnaký súčiniteľ prestupu tepla pri hrúbke tepelnej izolácie menšej o 120 mm oproti pôvodnému návrhu je možné dosiahnuť pri použití tepelnej izolácie z dosiek z fenolickej peny (napr. Kingspan Kooltherm K5) a s použitím plastových kotviacich prvkov. Vlastnosti tepelnej izolácie sú určené v tabuľke prílohy 4.

Z týchto dôvodov bude do novej sendvičovej konštrukcie použitá tepelná izolácia z fenolickej peny o hrúbke 180 mm. Celková hrúbka novej konštrukcie bude 520 mm (platí pre variant s vonkajšou tvarovkou hrúbky 150 mm). Vonkajšia pohľadová tvarovka nemá nosnú funkciu. Spoločnosť KB blok pri realizácii ponúka niekoľko možností povrchovej úpravy (užšie tvarovky, obklady). Vzduchová vrstva medzi tepelnou izoláciou a vonkajšou vrstvou nie je z hľadiska kondenzácie nutná.

Na optimalizovanej konštrukcii budú v nasledujúcej kapitole navrhnuté kritické detaily. Bude posúdený lineárny činiteľ prestupu tepla v kritických miestach.



## Posúdenie kritických detailov optimalizovanej skladby sendvičovej konštrukcie

### 8.1 Výpočet lineárneho činiteľa prestupu tepla

Pre vybrané detaily rodinného domu RD Dvojposchodový budú vypočítané hodnoty lineárneho činiteľa prestupu tepla pomocou programu Area.

**Lineárny činiteľ prestupu tepla:**  $\psi$  [W/mK], predstavuje prídavný tepelný tok charakterizujúci vplyv lineárneho tepelného mostu dĺžky  $l$  na tepelnú vodivosť - lineárnu tepelnú priepustnosť [1]. Veličina zvyšuje/znižuje tepelnú stratu prestupom.

**Lineárny tepelný most:** predstavuje tepelný most (tepelnú väzbu) so zhodnými rezmi v jednom smere [1]

**Lineárna tepelná priepustnosť:**  $L$  [W/mK], schopnosť rovnorodej vrstvy materiálu/výrobku, stavebnej konštrukcie danej hrúbky, pozdĺž ktorej je lineárna hustota tepelného toku stála, šíriť teplo [1]

**Postup výpočtu, predpoklady:**

Bolo vybraných osem detailov: roh (DET1), nepojenie obvodovej steny na strop (DET2), parapet (DET3), ostenie (DET4), nadpražie okna (DET5), napojenie obvodovej steny na strechu (DET6), napojenie obvodovej steny na podlahu na zemine (DET7), napojenie prahu dverí fr. okna na zeminu (DET8).

## 8. POSÚDENIE KRITICKÝCH DETAILOV OPTIMALIZOVANEJ SKLADBY SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE

Pre každý detail bol v programe Area vytvorený model z homogénnych obdĺžnikových oblastí viď príloha 6.

### Zjednodušenia výpočtu:

- vo výpočte všetkých detailov bola zanedbaná vrstva vnútornej omietky
- vzduchové dutiny betónových tvaroviek boli zadané pomocou ekvivalentnej hodnoty  $\lambda$  určenej v kapitole 5
- plastové kotvy boli započítané pomocou ekvivalentnej hodnoty  $\lambda$  určenej v kapitole 7 resp. bol uvažovaný systém bez kotvenia
- rám okna je započítaný do celkovej hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti ekvivalentnej  $\lambda$
- klampiarske prvky (parapety, žalúzie a pod.) boli vo výpočte zanedbané
- v modele napojenia obvodovej steny na plochú strechu bola zanedbaná časť atiky nad vrstvou tepelnej izolácie strechy [33]
- bola zanedbaná hydroizolačná vrstva (DET 6,7,8)
- na všetky detaily (okrem DET 7,8) pôsobia dve okrajové podmienky (interiér, exteriér)
- detaily styku obvodovej steny a podlahy na zemine (DET 7,8) sa počítajú vzťahom uvedeným v [33], [34]

Z výpočtového programu bola pre každý detail získaná hodnota lineárnej tepelnej priepustnosti  $L^{2D}$ . Výpočet bol prevedený pomocou podkladov [33], [34] a normy ČSN 73 0540 - 4, príloha B.7.

Hodnoty lineárneho činiteľa prestupu tepla  $\psi$  pre detaily sú uvedené v tabuľke 8.1.

OZNAČENIE	Dĺžka väzby L [m]	Lin. činiteľ prestupu tepla $\psi$ [W/mK]	$\psi \cdot L$ [W/K]
DET1 - Detail rohu	25,6	-0,067	-1,7152
DET2 - Napojenie obvodovej steny na strop	41,2	0,001	0,0412
DET3 - Parapet okna	25,7	-0,061	-1,5677
DET4 - Ostenie okna	42,2	-0,032	-1,3504
DET5 - Nadpražie okna	33,6	-0,016	-0,5376
DET6 - Napojenie obvodovej steny na strechu	41,2	-0,060	-2,472
DET7 - Napojenie obvodovej steny na podlahu na zemine	31,6	0,001	0,0316
DET8 - Napojenie prahu fr. okna na podlahu na zemine	7,7	-0,013	-0,1001
		$\Sigma$	-7,6702
		A	432,58
		$\Delta U_{tbk}$	-0,0177

Obr. 8.1: Hodnoty lineárneho činiteľa prestupu tepla vybraných detailov reprezentatívneho domu

**Pre pasívne domy musí platiť podmienka:  $\psi < \psi_{pas}$**

Doporučené hodnoty  $\psi$  pre pasívne budovy sú definované v norme ČSN 73 0540 – 2, kapitola 5. Šírenie tepla konštrukciou a obálkou budovy. Pomocou získaných hodnôt lineárneho činiteľa prestupu tepla bolo určené celkové zvýšenie súčiniteľa prestupu tepla vplyvom nepravidelne sa opakujúcich tepelných mostov o hodnotu  $\Delta U_{tbk,j}$ .

Pre lineárne tepelné mosty platí:

$$\Delta U_{tbk,j} = \psi * L_j / A \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Hodnota L predstavuje dĺžku tepelnej vazby a jej opakovanie v objekte viď list 1, príloha 6. Vo väčšine detailov vyšiel lineárny činiteľ prestupu tepla  $\psi$  záporný. Vplyv hodnoteného tepelného mosta na tepelnú stratu miestnosti prestupom je už obsiahnutý v tepelnej strate cez plošné konštrukcie [33].

Hodnota  $\Delta U_{tbk,j}$  na základe posúdených lineárnych tepelných mostov vyšla záporne(- 0,0177 W/m<sup>2</sup>K).

Pôvodne bola vo výpočte potreby tepla na vykurovanie použitá paušálna prirážka pre nízkoenergetické domy  $\Delta U_{em} = 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$  viď príloha 2, tabuľka 6. Ročná potreba tepla na vykurovanie vyšla  $E_A = 19,86 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ . Ročná potreba tepla na vykurovanie pre RD Dvojposchodový po optimalizácii skladby sendvičovej konštrukcie:  **$E_A = 19,22 < 20 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$** . Optimalizovaný variant spĺňa požiadavky na pasívny dom.

**Parametre použité pri výpočte:**

- všetky vstupné parametre boli prebraté z výpočtov z kapitoly 4, príloha 2 pre RD Dvojposchodový
- použitá hodnota  $\Delta U_{em} = 0,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  (aj napriek výslednej zápornej hodnote, výsledok na strane bezpečnosti)
- spoločne so skladbou sendvičovej konštrukcie obvodovej steny boli optimalizované aj ostatné konštrukcie obálky oproti pôvodnému návrhu, preto je rozdiel medzi pôvodnou a novou hodnotou  $E_A$  malý.
- východzie skladby konštrukcií sú popísané v tabuľke 6, prílohy 2. Skladby navrhnutých konštrukcií sú popísané v tabuľke 18, prílohy 6 a vo výkrese skladby (list č. 19, prílohy 6)
- potreba tepla na vykurovanie vyšla s miernou rezervou.

Návrhom a posúdením detailov bolo dokázané, že je možné z tohto systému vytvoriť pasívny RD. Do budúca by mal byť každý dom navrhnutý zo systému SEDNVIČ KB posúdený individuálne.

Výkresy detailov v merítku 1:10, posúdenie v programe Area a finálne posúdenie potreby tepla na vykurovanie sú v prílohe 6. Pôvodný systém KB sendvič bude doplnený o nové stavebné prvky viď príloha 6 – Detaily.

**Komentár ku výbraným detailom:**

- rozmiestnenie plastových kotiev nutno overiť staticky
  - v celej konštrukcii hlavnú vzduchotesniacu vrstvu tvorí súvislá vrstva omietky
  - rám okna je k stene pripevnený pomocou upevňovacích bodov z tvrdeného polystyrénu
  - okno musí byť predsadené pred obvodovú stenu vo vrstve tepelnej izolácie
  - miesto dutinovej tvarovky musí byť tvarovka pod vnútorným parapetom plná (napr. KB 2 – 20A), kvôli možným netesnostiam
  - v detaile ostenia môže byť problém s prekrytím tepelnej izolácie. Boli navrhnuté dve možnosti úpravy viď príloha 6, list 7 a 8. Súčasný systém KB blok ponúka špeciálnu tvarovku na tento účel. Možnosť je vhodne upraviť existujúcu tvarovku, tak aby nedošlo k prekrytiu okenného rámu a súčasne v tom mieste nedošlo k zúženiu tepelnej izolácie (detail bol posúdený na lineárny činiteľ prestupu tepla, príloha 6, list 9, posúdenie je na strane bezpečnosti)
  - Druhá možnosť je vytvorenie šambrány z tepelnej izolácie a jej omietnutie (detail nebol posúdený na lineárny činiteľ prestupu tepla, dá sa predpokladať, že vyjde s lepšou hodnotou, kvôli použitiu tepelnej izolácie v okolí okna).
  - v mieste okolí otvorov musia byť použité tesniace pásky
  - prvý rad tvaroviek v detaile DET7,8 (príloha 6, list 12 a 14), miesto dutinových tvaroviek použiť plné
- Všetky detaily sú v merítku 1:10 súčasťou prílohy 6.

## 8.2 Vzduchotesnosť obálky

Pri návrhu pasívneho rodinného domu musia byť splnené požiadavky na vzduchotesnosť obálky. V tejto práci už nebolo dostatok priestoru na hlbšiu analýzu otázky vzduchotesnosti, avšak počas štúdia a optimalizácie systému sa vyskytlo niekoľko problémov, na ktoré pri návrhu pasívneho domu z hľadiska vzduchotesnosti treba dať pozor.

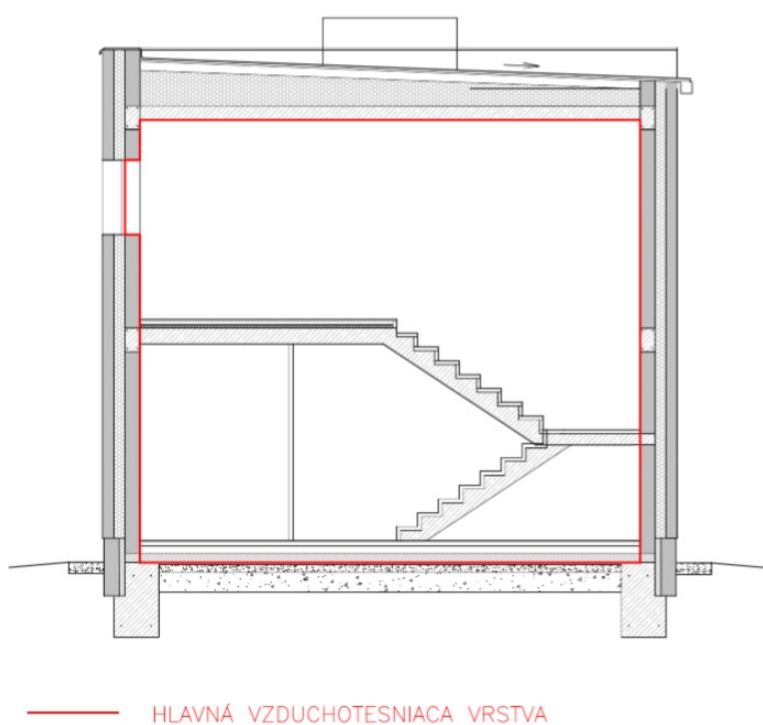
Na niektoré problémy sa natrafilo pri riešení detailu v mieste vnútorného parapetu, kde bola pod parapetom miesto dutinovej tvarovky navrhnutá tvarovka plná. Môžu vznikáť problémy v ložných a styšných škárach alebo pri vedení rozvodov v stene. Rozvody nebude možné do muriva zasekávať. Zásady, ktoré treba pri návrhu dodržať sú spísané nižšie.

### Podmienky vzduchotesnosti [12]:

- Pre pasívne domy s núteným vetraním so spätným získavaním tepla je hodnota celkovej prievzdušnosti obvodového plášťa budovy  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Táto hodnota je daná normou ČSN 73 0540 -2, kapitola 7.
- Hlavnú vzduchotesniacu vrstvu HVV (viď príloha 6 – Detaily) v budove tvorí vrstva vnútornej omietky bez trhlín, spojito prevedená na všetkých obvodových stenách. Schéma HVV viď obrázok 8.2.
- Voľba vhodných utesňovacích materiálov, ktoré sú použité počas výstavby a ich vlastnosti (pružnosť, prílnavosť) musia spĺňať počas celej životnosti konštrukcie
- Minimalizácia prvkov prestupujúcich vzduchotesnou vrstvou a dokonalé prevedenie utesnenia problémových miest konštrukcie napr. v mieste napojenia okenného rámu
- Na trvalo tesné spoje sa používajú butylkaučukové pásky alebo lepiace pásky s akrylátovou vrstvou. Na vnútornú stranu v mieste napojenia okenných otvorov vyberať materiály s väčšou vzduchotesnosťou a parotesnosťou. Smerom k vonkajšiemu povrchu voliť materiály priedušnejšie, kvôli odvetrávaniu a vysychaniu nožnej vlhkosti
- Pri návrhu objektu treba brať ohľad na tvar objektu a expozíciu objektu voči vetru
- Súčasťou zaistenia vzduchotesnosti pasívneho domu je test neprievzdušnosti po dokončení vzduchotesniacej vrstvy. Určenie prievzdušnosti budovy sa uskutočňuje pomocou Blower door testu v čase, keď je možné zistené netesnosti odstrániť

## 8. POSÚDENIE KRITICKÝCH DETAILOV OPTIMALIZOVANEJ SKLADBY SENDVIČOVEJ KONŠTRUKCIE

---



Obr. 8.2: Hlavná vzduchotesniaca vrstva objektu



---

## Záver

Táto diplomová práca bola zameraná na rozbor tepelnotechnických vlastností sendvičového systému z vibrolisovaných betónových tvárnic od spoločnosti KB blok. Na analýzu bol vybraný konštrukčný systém SENDVIČ KB. Východzia skladba sendvičovej konštrukcie pozostávala z vnútornej dutinovej tvarovky KB 1–20 Ad (190x390x190 mm), tepelného izolantu EPS hrúbky 150 mm a povrchovej úpravy – vonkajšia dutinová tvarovka KB 1 – 15 Bd (150x390x190 mm). Vonkajšia povrchová vrstva má estetickú funkciu.

Prvá časť práce bola zameraná na rozbor podobných konštrukčných systémov z vibrolisovaných betónových tvárnic vo svete. Pomocou rešeršii bolo zistené, že tento materiál je viac ako na výstavbu domov rozšírený pri výstavbe oplotenia, strateného debnenia alebo oporných stien. Podobne ako spoločnosť KB blok aj iní výrobcovia rozširujú sortiment o stavebné prvky určené na výstavbu pozemných stavieb (rodinné domy, bytové domy, administratívne budovy atd.). Jedna skupina výrobcov ponúka tvarovky vo forme blokov, ktoré tvoria dve betónové vrstvy s vrstvou tepelnej izolácie. Tepelná izolácia sa vkladá medzi dve vrstvy vo výrobní. Iní výrobcovia dutiny betónových tvaroviek vyplňajú tepelným izolantom. Systém, ktorý používa spoločnosť KB blok je rozšírený hlavne vo Veľkej Británii. Skladbu tvoria dve vrstvy z tvaroviek. Vrstvy sú previazané oceľovými kotvami. Do medzery sa vkladá tepelná izolácia a nevyplnenú časť tvorí vzduchová medzera. Žiadny zo spomínaných spôsobov nie je prispôbený na výstavbu domov v pasívnom štandarde.

Na základe údajov štatistického úradu bol prevedený výber reprezentatívnych budov. Vybrané boli dva základné typy rodinných domov (bungalov a dvojposchodový) a bytový dom. Objekty boli modulovo upravené na systém SENDVIČ KB. Na všetkých objektoch bol v troch variantoch prevedený výpočet potreby tepla na vykurovanie. Výpočtom boli stanovené pod-

mienky, ktoré musia platiť pre konštrukciu objektu, aby splnil požiadavky stanovené normou pre pasívne domy. Bola stanovená hodnota súčiniteľa pre-stupu tepla  $U = 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ktorú musí dosiahnuť obvodová konštrukcia. Na základe výpočtu bol za reprezentatívny objekt zvolený dvojposchodový rodinný dom, ktorý vyšiel najnepriaznivejšie.

Z výpočtov vyplynulo, že na dosiahnutie pasívneho štandardu pri použití pôvodného systému, by musela byť hrúbka tepelnej izolácie EPS sendvičovej konštrukcie viac ako 300 mm. Spolu s vrstvami betónových tvárnic mala obvodová stena hrúbku 640 mm. Z tohto dôvodu boli ďalšie kapitoly zame-rané na optimalizáciu tepelnotechnických vlastností a hrúbky sendvičovej konštrukcie.

Prvá skupina výpočtov bola zameraná na úpravu vzduchových dutín vnútornej betónovej tvarovky. Boli vytvorené štyri varianty úpravy dutín. Zmenšením veľkosti dutín malo dôjsť k zníženiu prenosu tepla prúdením vo vzduchovej dutine, a tým k zníženiu hodnoty súčiniteľa pre-stupu tepla  $U$ . Úpravou veľkosti vzduchových dutín nedošlo k zníženiu súčiniteľa pre-stupu tepla  $U$  pod hodnotu  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . čím nebola splnená cieľová hodnota  $U \leq 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Ďalej bola preskúmaná možnosť výplne vzduchových dutín tepelným izolantom, ktoré majú vplyv na prenos tepla prúdením vo vzduchovej du-tine. Súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda$  tepelnej izolácie bol zvolený od  $0,04 - 0,01 \text{ W/mK}$ . Ani pri najmenej hodnote súčiniteľa tepelnej vodivosti nebola hodnota súčiniteľa pre-stupu tepla  $U$  menšia ako  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . V oboch prí-padoch nebola splnená cieľová hodnota  $U \leq 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Posledná skupina výpočtov bola zameraná na zmenu emisivity vnútor-ných povrchov vzduchovej dutiny. Emisivita (žiarivosť) povrchu má vplyv na prenos tepla vo vzduchovej dutine sálaním. Nízka hodnota emisivity znižuje sálanie tepla v dutine a tým ovplyvňuje súčiniteľ pre-stupu tepla  $U$  konštrukcie. Ani pri aplikácii materiálov s najnižšou emisivitou povrchu (emisivita  $\varepsilon$  zlata =  $0,02$ ) nedošlo k zníženiu súčiniteľa pre-stupu tepla  $U$  na hodnotu  $\leq 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Z výpočtov vyplynulo, že úprava tvarovky a vzduchových dutín nie je dostačujúca pre pasívny štandard.

V ďalšej časti diplomovej práce bol prevedený rozbor materiálov, ktoré môžu nahradiť pôvodnú tepelnú izoláciu. Pôvodná tepelná izolácia z EPS alebominerálnych vlákien sa napichuje na nerezové kotvy uložené do malty ložných škár. Boli analyzované aj materiály používané na kotvenie tepel-ných izolantov.

Na základe tejto analýzy boli vybraté štyri druhy tepelných izolantov. Bol pre-vedený výpočet charakteristického výrezu tepelnej izolácie v programe Cube3D EDU, pomocou ktorého bola určená ekvivalentná hodnota súčiniteľa tepel-nej vodivosti  $\lambda$  tepelného izolantu s vplyvom bodového tepelného mosta –

---

kotviaceho prvku. Jeden variant výpočtu sledoval vplyv ocelevej kotvy na hodnotu  $\lambda$  tepelného izolantu. V druhom variante bola ocelevá kotva nahradená kotvou plastovou. Tretí variant posudzoval skladbu konštrukcie bez kotviacich prvkov.

Po započítaní účinku kotviaceho prvku, boli optimalizované hrúbky tepelných izolantov, tak aby bola splnená podmienka  $U \leq 0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Z pôvodnej hrúbky 340 mm tepelného izolantu EPS bola vďaka voľbe dosiek z fenolickej peny hrúbka zmenšená na 180 mm. Na uchytenie boli použité plastové kotvy.

Výber vhodnej tepelnej izolácie nezávisí len na tepelnotechnických vlastnostiach tohto materiálu, ale aj na cene a dostupnosti. Preto bolo prevedené aj ekonomické posúdenie. Posúdenie bolo zamerané na zmenu podlahovej plochy pri použití jednotlivých tepelných izolantov. Bolo porovnané zvýšenie ceny za nárast podlahovej plochy pri cene investovanej do tepelného izolantu. Z tejto analýzy vyšla najpriaznivejšie investícia do dosiek z fenolickej peny.

Konštrukcia bola posúdená aj z hľadiska kondenzácie vodnej pary. Výpočet bol zameraný na ročnú bilanciú vodnej pary a množstvo skondenzovanej a vypariteľnej vodnej pary vo vnútri konštrukcie. Posúdenie bolo prevedené prostredníctvom noriem, ČSN EN ISO 13 788 a ČSN 73 0540-4, ktoré sa líšia postupom výpočtu. Bolo zistené, že pri žiadnom druhu tepelného izolantu nedochádza v kostrukcii k nadmernej kondenzácii vodnej pary. Konštrukcia bude na konci modelového roka suchá. Vzduchová medzera medzi vrstvou izolácie a vonkajšou tvarovkou nie je potrebná.

Optimalizovaná konštrukcia pozostávala z nezmenenej vnútornej dutinovej tvarovky, tepelnej izolácie z fenolickej peny hrúbky 180 mm kotvanej plastovými kotvami a vonkajšej tvarovky (alebo inej povrchovej úpravy) bez vzduchovej medzery.

V závere boli navrhnuté detaily kritických miest. Detaily boli vypracované tak, aby spĺňali konštrukčné kritéria pre pasívne domy. V programe Area boli kritické detaily posúdené ako lineárne tepelné mosty. Boli vypočítané lineárne činitele prestupu tepla kritických detailov. Pomocou získaných hodnôt lineárneho činiteľa prestupu tepla bolo určené celkové zvýšenie súčiniteľa prestupu tepla vplyvom nepravidelne sa opakujúcich tepelných mostov o hodnotu  $\Delta U_{\text{tbk},j}$ . Použitím optimalizovanej sendvičovej konštrukcie vyšla ročná potreba tepla na vykurovanie  $E_A = 19,22 < 20 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ . Optimalizovaný variant splnil požiadavky pre pasívne domy. Oproti pôvodnému výpočtu z kapitoly 4, kde vyšla hodnota  $E_A = 19,86 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$  sa výsledok veľmi nelíši, pretože boli optimalizované aj ostatné konštrukcie obálky. Pri použití fenolickej peny do obvodovej steny konštrukcie boli zmenšené aj hrúbky tepelných izolantov ostatných konštrukcií.

Na základe analýzy a prevedených výpočtov bolo dokázané, že z výchozieho systému KB Sendvič je možné postaviť aj pasívny dom. S použitím súčasnej skladby konštrukcie to však nebude možné. Ako bolo dokázané, aby mohla konštrukcia konkurovať stavebným systémom, ktoré sa používajú na výstavbu pasívnych domov častejšie nemôže mať výsledná hrúbka obvodovej steny 700 mm. Takúto hrúbku dosahuje konštrukcia s vrstvou EPS hrúbky 340 mm.

Do budúca by bolo treba pre úplnosť posúdiť systém z hľadiska vzduchotesnosti, pre ktorý v tejto práci nebolo dostatok priestoru. Pred samotnou realizáciou bude treba staticky posúdiť a navrhnuť tvar plastových kotiev, ktoré môžu byť použité na uchytenie izolácie. Ako alternatívu je možné navrhnuť tvarovku bez kotvenia ako jeden celý blok, čo by mohlo zefektívniť výstavbu a znížiť pracnosť.

Otázkou ostáva či sa po zapracovaní týchto úprav stane systém z ekonomického a konštrukčného hľadiska atraktívnejší pre budúcich investorov a dokáže konkurovať popredným výrobcom tvárnic z iných materiálov.

## Zoznam príloh

### **Príloha 1 CD**

### **Príloha 2**

1. Tabuľka výpočtu potreby tepla na vykurovanie – RD Bungalov
2. Graf výpočtu potreby tepla na vykurovanie – RD Bungalov
3. Pôdorys – RD Bungalov, 1:100, A4 – RD Bungalov
4. Rez – RD Bungalov, 1:100, A4 – RD Bungalov
5. Pohľady – RD Bungalov, 1:100, A4 – RD Bungalov
6. Tabuľka výpočtu potreby tepla na vykurovanie – RD Dvojposchodový
7. Graf výpočtu potreby tepla na vykurovanie – RD Dvojposchodový
8. Pôdorys 1. NP – RD Dvojposchodový, 1:100, A4
9. Pôdorys 2. NP – RD Dvojposchodový, 1:100, A4
10. Rez – RD Dvojposchodový, 1:100, A4
11. Pohľady – RD Dvojposchodový, 1:100, A4
12. Tabuľka výpočtu potreby tepla na vykurovanie – Bytovka
13. Graf výpočtu potreby tepla na vykurovanie – Bytovka
14. Pôdorys typického podlažia – Bytovka, 1:100, A4
15. Rez – Bytovka, 1:100, A4

## 9. ZOZNAM PRÍLOH

---

16. Pohľady – Bytovka, 1:100, A4

17. Skladby konštrukcií, 1:10, A3

### **Príloha 3**

1. Tabuľka súčiniteľa tepelnej vodivosti sendvičovej konštrukcie v závislosti na veľkosti vzduchových dutín
2. Tabuľka súčiniteľa tepelnej vodivosti sendvičovej konštrukcie v závislosti na výplni vzduchových dutín tepelnou izoláciou
3. Tabuľka súčiniteľa tepelnej vodivosti sendvičovej konštrukcie v závislosti na emisivite povrchu vzduchových dutín

### **Príloha 4**

1. Tabuľka charakteristických vlastností tepelných izolantov

### **Príloha 5**

1. Tabuľka závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiálovej charakteristike spojovacieho prostriedku – spona z nere-zovej oceli
2. Tabuľka závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiálovej charakteristike spojovacieho prostriedku – plastová spona
3. Tabuľka závislosti súčiniteľa prestupu tepla sendvičovej konštrukcie na materiálovej charakteristike spojovacieho prostriedku – bez kotvenia
4. Tabuľka ekonomické posúdenie
5. Posúdenie konštrukcie z hľadiska kondenzácie pri použití tepelnej izolácie EPS
6. Posúdenie konštrukcie z hľadiska kondenzácie pri použití tepelnej izolácie z minerálnych vlákien
7. Posúdenie konštrukcie z hľadiska kondenzácie pri použití tepelnej izolácie z EPS s grafitom
8. Posúdenie konštrukcie z hľadiska kondenzácie pri použití tepelnej izolácie z dosiek z fenolickej peny

---

## Príloha 6

1. Výkres s vyznačenými dĺžkami L lineárnych tepelných mostov, 1:100, A3
2. Detail DET 1 – Detail rohu, 1:10, A4
3. DET 1 – Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
4. Detail DET 2 – Napojenie obvodovej steny na strop, 1:10, A4
5. DET 2 – Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
6. Detail DET 3 + DET 5 - Detail parapetu a nadpražia okna, 1:10, A3
7. DET 3 + DET 5 – Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
8. Detail DET 4 – Detail ostenia I, 1:10, A4
9. Detail DET 4a – Detail ostenia II, 1:10, A4
10. DET4/4a – Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
11. Detail DET 6 – Detail napojenia obvodovej steny na strechu, 1:10, A4
12. DET 6 – Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
13. Detail DET 7 – Detail napojenia obvodovej steny na podlahu na zemine, 1:10, A3
14. DET 7 – Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
15. Detail DET 8 – Detail prahu dveri na zemine, 1:10, A3
16. DET 8– Posúdenie lineárneho činiteľa pretupu tepla
17. Tabuľka výpočtu potreby tepla na vykurovanie – nový stav
18. Graf výpočtu potreby tepla na vykurovanie – nový stav
19. Skladby konštrukcií, 1:10, A3





---

## Literatúra

- [1] *ČSN 73 0540 - 1, Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] *ČSN 73 0540 - 2, Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] *Technická normalizační informace TNI 73 0331, Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [4] : EKODIEL Technológie. [online], [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.ekodiel.sk/technology.html>
- [5] : O vybrolisovaných tvárniciach. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.dapet.sk/o-sortimente>
- [6] Ancon Building Products: [online], [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.ancon.co.uk/products>
- [7] Atelier NÁŠ DŮM s.r.o.: České stavebnictví a bytová výstavba v číslech. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.nasdum.cz/novinky/ceske-stavebnictvi-a-bytova-vystavba-v-cislech>
- [8] BEST: Komplexní nabídka zdících systému. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.best.info/nas-sortiment/zdici-system-best-unika/>
- [9] Betonové stavby group s.r.o.: VŠE O LIVETHERMU - VLASTNOSTI. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.betonstavby.cz/cz/vse-o-livethermu/vlastnosti>

- [10] Centrum pasivního domu: Co je pasivní dům? [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [11] CEPOL – CZ s.r.o.: STAVEBNÍ TVÁRNICE CEPOL THERMO – I. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [http://web.quick.cz/daniel.seidl/cz/stav\\_sys/tvar\\_i.html](http://web.quick.cz/daniel.seidl/cz/stav_sys/tvar_i.html)
- [12] Cihlář, J.; Hazucha, J.: *Neprůvzdušnost, zkoušky kvality*. Centrum pasivního domu, Údolní 32 602 00 Brno, 2007.
- [13] Colinwell: Primatherm Lightweight Thermal Insulation Blocks. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.colinwell.com/products-services-colinwell>
- [14] DEK a.s.: Tepelná technika 1D - Základy práce s aplikací. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [stavebni-fyzika.cz](http://stavebni-fyzika.cz)
- [15] Echelon masonry: Insultech system. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.echelonmasonry.com/performance-upgrade-options/insultech-system>
- [16] Karel Svoboda: Tepelná ochrana budov ve stavebním systému KB Blok. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.kb-blok.cz/cs/ke-stazeni/technicka-dokumentace.shtml>
- [17] KB-blok systém s.r.o.: Technická část SENDVIČ. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.kb-blok.cz/cs/ke-stazeni/technicka-dokumentace.shtml>
- [18] Kopecký, P.: *Stavební tepelná technika. Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích*. Praha, první vydání, 2014.
- [19] KPC – Killeshal Precast Concrete: GFRP Wall ties. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://killeshal.com/building-components/gfrp-wall-ties/>
- [20] LADEN spol.s.r.o.: Betónové tenkostenné vibrolisované tvárnice-novej generácie. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.laden.sk/files/aglo.pdf>
- [21] Liapor: Technická příručka. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.liapor.cz/dokumenty/technicka-prirucka-zdiva-liapor-4vydani.pdf>

- [22] Marek Pokorný: Vnější kontaktní zateplovací systémy z hlediska požární bezpečnosti staveb (část 1). [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/8978-vnejsi-kontaktni-zateplovaci-systemy-z-hlediska-pozarni-bezpecnosti-staveb-cast-1>
- [23] Mařík, R.; Odehnal, L.; Štajnrt, P.: *Návrh a posuzování staveb z hlediska stavební fyziky*. Střední průmyslová škola, Opava, příspěvková organizace, první vydání, 2014.
- [24] Miroslav Urban: Trendy a vývoj v úspoře energií v budovách. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/staveni/86329/trendy-a-vyvoj-v-uspore-energii-v-budovach>
- [25] NRG Insulated Block: NRG Insulated Block. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.nrginsulatedblock.com/>
- [26] Omniblock: Omniblock system. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <https://www.omniblock.com/>
- [27] Petr David: Již třetí řada zdící bloků - GT Hotblok. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.stavnet.cz/clanek/jiz-treti-rada-zdici-bloku-gt-hotblok/>
- [28] Porextherm: Vacupor PS-B2-S. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.porextherm.com/de/produkte/vakuumdaemmung/vacupor-ps-b2-s.html>
- [29] Schnell group: Reinforced thermal block. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.schnell.it/products.asp?se=a3&name=CONCREWALL>
- [30] Thermosilit: Spaceloft. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.thermosilit.sk/-spaceloft>
- [31] TZB info: Izolace PUR, PIR a fenolická pěna. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- [32] TZB info: Polystyrenové izolace. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/297-polystyrenove-izolace>
- [33] Zbyněk Svoboda: Lineární činitel prostupu tepla. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [kps.fsv.cvut.cz/file\\_download.php?fid=5656](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=5656)

## LITERATÚRA

---

- [34] Zbyněk Svoboda: Okrajové podmínky pro tepelně technické výpočty. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [kps.fsv.cvut.cz/file\\_download.php?fid=4274](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=4274)
- [35] Zbyněk Svoboda: Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: [kps.fsv.cvut.cz/file\\_download.php?fid=4275](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=4275)
- [36] Český statistický úřad: Zahájené a dokončené byty – počet bytov. [online], [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/stavebnictvi>
- [37] Šípková, V.; Šárka Korbelová; Ladubek, J.: *Stavební tepelné izolace pro svislé konstrukce*. Ostrava, první vydání, 2014, ISBN 978-80-248-3661-4.