



Diplomová práce

Analýza stavebních systémů pasivních domů

Fakulta: Fakulta aplikovaných věd

Studijní program: Stavební inženýrství

Vypracoval: Bc. Tomáš Lohr

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.

Datum: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš LOHR**
Osobní číslo: **A16N0111P**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavitelství**
Název tématu: **Analýza stavebních systémů pasivních domů**
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Návrh a optimalizace dispozičního řešení pasivních domů.
2. Analýza variant stavebních systémů pasivních domů.
3. Zpracování vybraných konstrukčních detailů.
4. Zhodnocení z hlediska ekonomického, konstrukčního a materiálového řešení.

Rozsah grafických prací: Práce skládající se z výkresů a textových částí
Rozsah kvalifikační práce: úvodní část 50 - 60 stran A4
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

1. Soubor zákonů, norem a vyhlášek v oblasti výstavby.
2. Tepelné mosty: Detaily pro nízkoenergetické a pasivní domy. Grada, 2011.
3. Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům. Bratislava: Jaga, 2009.
4. Pasivní rodinný dům: Proč a jak stavět. Praha: Grada, 2008.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **3. července 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **5. ledna 2018**

Radová

Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka



V. Laš

Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 3. července 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma: „Analýza stavebních systémů pasivních domů“ jsem vypracoval samostatně, pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce Doc. Ing. Jana Paška, Ph.D. a za použití literatury, která je uvedena na konci této diplomové práce.

V Plzni, dne 5. 1. 2018

.....

Bc. Tomáš Lohr

Poděkování

Velké poděkování patří vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Janu Paškovi, Ph.D. za užitečné rady, ochotu, vstřícnost a čas, který mi věnoval na konzultačních hodinách.

Anotace

Diplomová práce se zabývá analýzou vybraných stavebních systémů pasivních domů. Jsou navrženy tři stavební systémy pasivních rodinných domů. Stavební systém z vápenopískové cihly, keramické cihly a dřevěný montovaný systém - dřevostavba. Na vybrané stavební systémy jsou zpracovány projektové dokumentace pro provádění stavby. Dále jsou na jednotlivé systémy zpracovány rozpočty, průkazy energetické energie, komplexní posouzení jednotlivých skladeb, výpočet tepelných ztrát objektu, výpočet energetické náročnosti, výpočet nejvyšší teploty vzduchu v obytné místnosti a posouzení konstrukčních detailů. Výsledkem diplomové práce bude podrobné zhodnocení jednotlivých variant stavebních systémů.

Klíčová slova:

Analýza, rodinný dům, stavební systém, pasivní dům, vápenopísková cihla, keramická cihla, dřevěný montovaný systém, dřevostavba.

Annotation

Dissertation follows up the analysis of selected structural systems of passive houses. There are 3 designed structural systems of passive family houses. They are made of lime-sand bricks, ceramic bricks and wooden assembled system. I went through with the project documentation for construction work. In addition I made the budget, the power energy certificates, the complex assessment of each buildings, the calculation of a heat loss, the calculation of energy intensity, the calculation of the highest air temperature in living rooms and the assessment of construction details. The results of this dissertation will be detailed evaluation of each variant of these structural systems.

Key words:

Analysis, family house, structural system, passive house, lime-sand bricks, ceramic bricks, wooden assembled system, wooden construction

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod | 9 |
| 2 | Textová část | 10 |
| 2.1 | Pasivní dům..... | 10 |
| 2.1.1 | Základní parametry pasivního domu | 10 |
| 2.1.2 | Výhody, nevýhody pasivních domů | 10 |
| 2.2 | Návrh pasivního domu..... | 11 |
| 2.2.1 | Koncepce návrhu | 11 |
| 2.3 | Orientace a zónování | 13 |
| 2.4 | Tepelná izolace konstrukcí | 14 |
| 2.5 | Výplně otvorů | 16 |
| 2.6 | Zastínění..... | 18 |
| 2.7 | Neprůvzdušnost – vzduchotěsnost | 19 |
| 2.7.1 | Blower door - test | 20 |
| 2.8 | Větrání | 22 |
| 2.9 | Vytápění..... | 23 |
| 2.9.1 | Teplovzdušný systém vytápění..... | 23 |
| 2.9.2 | Kombinace nuceného větrání a vytápění..... | 23 |
| 2.10 | Náklady na stavbu pasivního domu | 24 |
| 3 | Praktická část | 25 |
| 3.1 | Porovnané stavební systémy..... | 25 |
| 3.1.1 | Osazení a orientace objektů na pozemek | 25 |
| 3.1.2 | Navržené objekty..... | 26 |
| 3.1.3 | Dispozice | 26 |
| 3.1.4 | Stavební systém: Vápenopísková cihla..... | 27 |
| 3.1.5 | Stavební systém: Keramická cihla..... | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1.6 | Stavební systém: Dřevostavba..... | 29 |
| 3.2 | Porovnání velikosti kapacit stavebních systémů..... | 30 |
| 3.2.1 | Tloušťky konstrukcí..... | 30 |
| 3.2.2 | Podlahová plocha v porovnání se zastavěnou..... | 30 |
| 3.2.3 | Zhodnocení porovnání podlahové plochy..... | 31 |
| 3.3 | Ekonomické porovnání stavebních systémů..... | 32 |
| 3.3.1 | Rekapitulace rozpočtu stavební systém: Vápenopísková cihla..... | 32 |
| 3.3.2 | Rekapitulace rozpočtu stavební systém: Keramická cihla..... | 33 |
| 3.3.3 | Rekapitulace rozpočtu stavební systém: Dřevostavba..... | 35 |
| 3.3.4 | Celkové zhodnocení a porovnání ceny stavebních systémů..... | 36 |
| 3.3.5 | Zhodnocení ceny stavebních systémů dle ploch a objemů..... | 38 |
| 3.3.6 | Celkové zhodnocení ceny stavebních systémů..... | 39 |
| 3.4 | Porovnání posouzených skladeb stavebních konstrukcí..... | 40 |
| 3.4.1 | Shodné skladby konstrukcí stavebních systémů..... | 40 |
| 3.4.2 | Rozdílné skladby konstrukcí stavebních systémů..... | 42 |
| 3.4.3 | Zhodnocení výsledků posouzených skladeb konstrukcí..... | 47 |
| 3.5 | Porovnání výsledků tepelných ztrát..... | 48 |
| 3.5.1 | Tepelné ztráty stavebního systému: Vápenopísková cihla..... | 48 |
| 3.5.2 | Tepelné ztráty stavebního systému: Keramická cihla..... | 48 |
| 3.5.3 | Tepelné ztráty stavebního systému: Dřevostavba..... | 49 |
| 3.5.4 | Zhodnocení výsledků výpočtu tepelných ztrát..... | 50 |
| 3.6 | Porovnání energetické náročnosti stavebních systémů..... | 51 |
| 3.6.1 | Zhodnocení stavebních systémů dle energetické náročnosti..... | 52 |
| 3.7 | Porovnání nejvyšší vypočítané teploty vzduchu v obytné místnosti..... | 53 |
| 3.7.1 | Zhodnocení nejvyšší vypočítané teploty vzduchu v obytné místnosti..... | 53 |
| 3.8 | Porovnání konstrukčních detailů..... | 54 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.8.1 | Porovnání hlavních konstrukčních detailů | 54 |
| 3.9 | Dotace Nová zelená úsporám..... | 62 |
| 3.9.1 | Stavební systém: Vápenopísková cihla..... | 62 |
| 3.9.2 | Stavební systém: Keramická cihla..... | 63 |
| 3.9.3 | Stavební systém: Dřevostavba..... | 65 |
| 3.9.4 | Zhodnocení výsledků jednotlivých systémů | 66 |
| 4 | Závěr..... | 67 |
| 5 | Seznam použité literatury, zdrojů a softwaru..... | 69 |
| 5.1 | Literatura | 69 |
| 5.2 | Normy a vyhlášky..... | 69 |
| 5.3 | Internetové zdroje | 69 |
| 5.4 | Použitý software | 70 |
| 6 | Seznam obrázků | 71 |
| 7 | Seznam tabulek..... | 73 |
| 8 | Seznam příloh..... | 74 |

1 Úvod

Tématem mé diplomové práce je analýza vybraných stavebních systémů pasivních domů. V práci se zabývám třemi vybranými stavebními systémy, které jsou navrženy v pasivním standardu. Jedná se o stavební systém: vápenopísková cihla, keramická cihla a dřevěný montovaný systém - dřevostavba. Z důvodu co nejdůvěryhodnějšího srovnání jednotlivých stavebních systémů pasivních domů, jsem domy navrhl co nejvíce si podobné. Objekty mají stejný obestavěný prostor i stejnou zastavěnou plochu. Rodinné domy se liší pouze svými stavebními systémy. Jednotlivé domy jsou osazeny na stejný pozemek v obci Horoměřice, par. č.: 425/314. Pozemek je rovinného charakteru a nabízí neoptimálnější osazení domu dle požadavků pro pasivní rodinný dům.

V textové části diplomové práce se zabývám obecně informacemi o pasivních domech. Co ovlivňuje energetickou náročnost domů, jaké jsou zásady umístění a orientace, jaké jsou zásady návrhu jednotlivých pasivních domů a mnoho dalších důležitých informací, bez kterých by se nedala zpracovat praktická část diplomové práce.

V praktické části diplomové práce se zabývám porovnáním jednotlivých variant pasivních domů. Jsou zde podrobně porovnány zpracovaná data, která jsou přiložena k diplomové práci jako příloha č. 1, 2, 3. Jednotlivé systémy jsou porovnány z ekonomického a tepelně technického hlediska.

2 Textová část

2.1 Pasivní dům

Pasivní dům je objekt, v němž lze dosáhnout příjemné teploty jak v zimě, tak v létě bez zvláštních vytápěcích a klimatizačních systémů.

Termín pasivní dům se používá pro mezinárodně uznávaný standard budov s velmi nízkou spotřebou energie a vysokým komfortem bydlení. Oproti stávajícím budovám, které jsou spíše teplenými zářiči, spotřebují pasivní domy desetkrát méně energie na vytápění. V porovnání s novostavbami splňujícími současné platné normy činí tato úspora až 85%.¹

Koncepce pasivního domu je velice jednoduchá. Základem je nepustit skoro žádné teplo ven a přitom co nejefektivněji využívat tepelné zisky.

2.1.1 Základní parametry pasivního domu

Maximální roční měrná potřeba tepla na vytápění pasivního domu

$$< 15 \text{ kWh/m}^2$$

Celková neprůvzdušnost n_{50} měřena testem neprůvzdušnosti

$$< 0.6 \text{ h}^{-1}$$

Maximální roční celková měrná potřeba primární energie pasivního domu (vytápění, teplá voda, pomocná energie, domácí spotřebiče, osvětlení)

$$< 120 \text{ kWh/m}^2$$

2.1.2 Výhody, nevýhody pasivních domů

- + vyšší komfortní bydlení
- + nízké náklady na vytápění
- + stálý přívod čerstvého vzduchu
- + příjemné teploty v létě i v zimě
- vyšší cena budovy

¹ (Hazucha, Centrum pasivního domu, 2013)

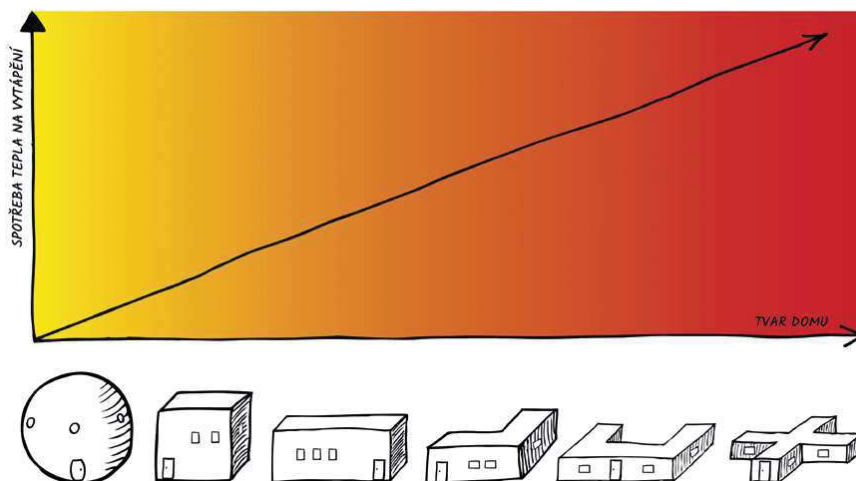
2.2 Návrh pasivního domu

Základem je dokonale promyšlený návrh pasivního domu. Ani použití sebelepších prvků pasivní dům nezajistí. Nejdůležitější je optimalizace všech prvků, jako jsou: tvar a velikost budovy, orientace ke světovým stranám, konstrukční řešení, vnitřní dispozice, velikost, umístění oken, návrh vytápění a větrání. Důležitým faktorem je do detailu promyšlená a zpracovaná projektová dokumentace. Pro pasivní dům je nezbytné mít minimálně dokumentaci pro provedení stavby, která bude obsahovat všechny potřebné detaily.

2.2.1 Koncepce návrhu

Energetickou náročnost budovy ovlivňují tvary budovy a dispoziční uspořádání.

1) Kompaktní tvar budovy tj.: snaha o dosažení co nejnižšího poměru ochlazovaných konstrukcí k objemu budovy A/V . Nejdeálnější tvar je koule, z praxe je dobré volit krychli, nebo dispozičně vhodnější kvádr.

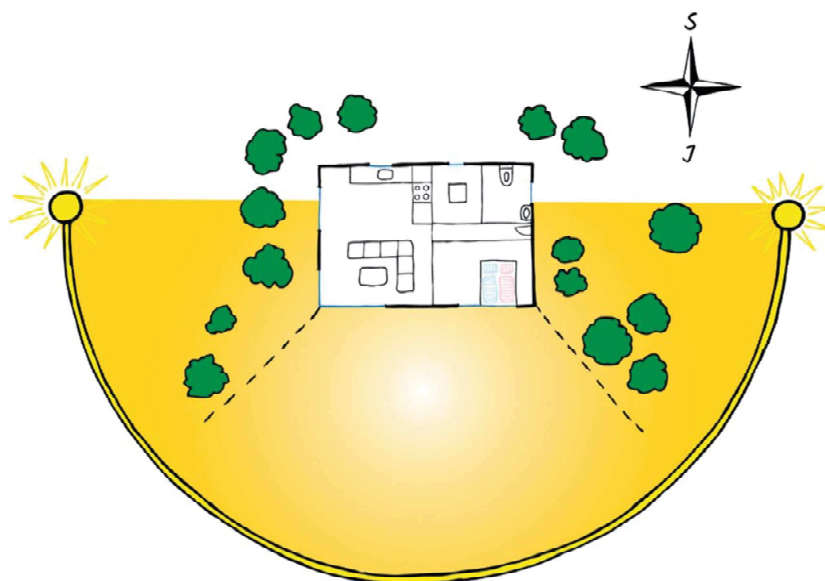


2

Obrázek 1 Ideální tvar domu

2) Orientace nejvíce prosklené fasády na jižní stranu, z důvodu zabezpečení dostatku solárních zisků. Jižní strana by měla zároveň být nezastíněná okolní zástavbou. Nejmenší plocha oken orientována na stranu severní.

² (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

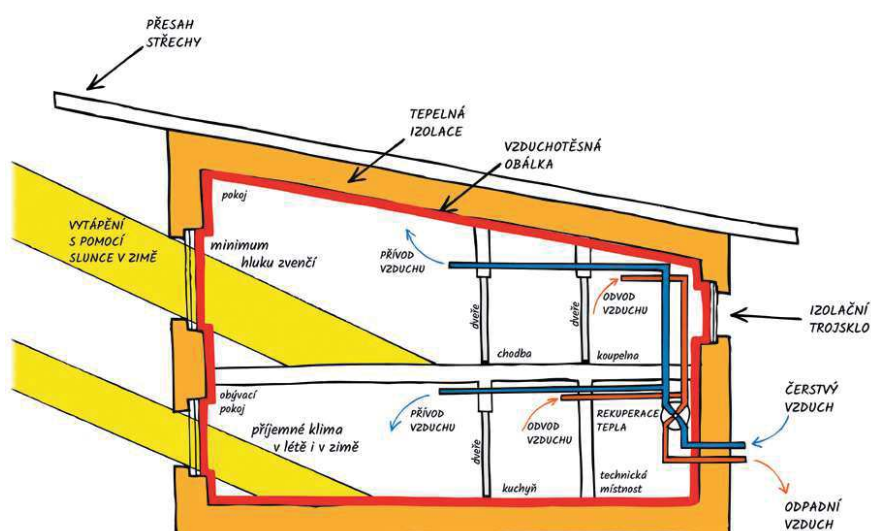


3

Obrázek 2 Orientace pasivního domu na pozemku

3) Omezit složité tvary konstrukce budovy. Při realizaci by vytvářeli složité komplikované detaily a s nimi spojené tepelné mosty.

4) Vnitřní dispozice dobře orientována na světové strany, využití slunečních zisků a optimalizace délky rozvodů větrání, topení a teplé vody



4

Obrázek 3 Základní princip pasivního domu

³ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

⁴ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

2.3 Orientace a zónování

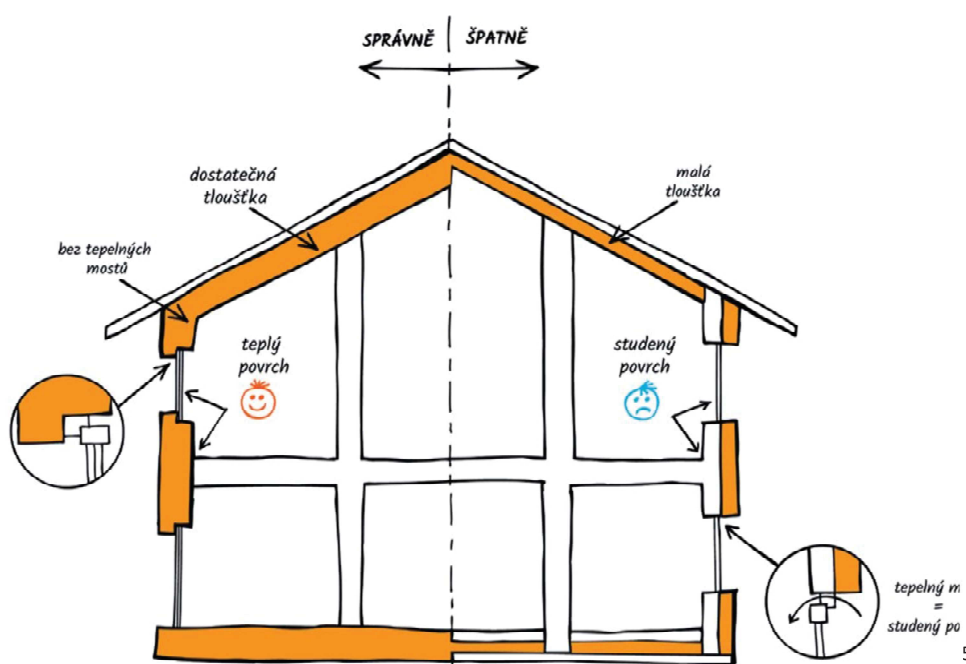
Spotřebu energie, a spokojenost uživatelů zásadně ovlivňuje dobře navržená dispozice. Na vnitřní uspořádání má vliv několik faktorů. Faktory, které ovlivňují uspořádání: teplotní režim a jeho regulace, potřeba denního osvětlení, délka vnitřních rozvodů, funkční propojení místností...

V základu se objekt v pasivním standardu dělí na vytápěnou a nevytápěnou část. Vytápěnou od nevytápěné části objektu je důležité důkladně tepelně oddělit. Ve vytápěné části je objekt dále členěn dle účelu místnosti, provozního režimu a následné regulaci tepla. Je zapotřebí sdružovat místnosti s potřebou teplé vody, aby se nenatahovaly rozvody a nemusela se tak používat energeticky náročná cirkulace. Koupelna, kuchyň a technická místnost by měly být co nejbližší u sebe, případně přímo nad sebou.

Umístění obytných místností je vždy k osluněné straně, od jihovýchodu až po jihozápad. Ložnice se poté umísťuje k severovýchodu až jihovýchodu, čímž je dosažena nižší teplota. K nejteplejším místnostem v rodinném domě patří koupelna, kterou je vhodné umístit do teplejší části objektu. Skladové prostory, komunikace, spíže a toalety se umísťují převážně na severní stranu objektu. Je to z důvodu nenáročnosti osvětlení. Místnosti nepotřebují okno, a když už, tak stačí okno malé a na severní fasádě. Z tohoto důvodu se vyhneme velkým tepelným ztrátám. Prostory jako kanceláře a pracovny je vhodné situovat na neosluněné strany.

2.4 Tepelná izolace konstrukcí

Důležité je správné provedení tepelné izolace bez tepelných mostů. Celá obálka objektu musí být dobře izolovaná v porovnání se současnou běžnou výstavbou, až extrémně. Správná tloušťka izolace se určuje výpočtem energetické náročnosti, běžně se ovšem tloušťka izolace pohybuje kolem 25-40 cm u konstrukce stěny, 25 cm u konstrukce podlahy a až 60 cm u konstrukce střechy. Izolace musí být provedena bez přerušení spár a zbytečných prostupů, které by vytvářely tepelné mosty. U okenních a dveřních otvorů je důležité zaizolování ostění a nadpraží jednotlivých oken a dveří z důvodu zamezení tepelného mostu.



Obrázek 4 Správné a špatné řešení izolace

Pro stavbu v pasivním standardu je možné použít všechny běžně dostupné konstrukční systémy. Jak masivní konstrukce zděná nebo betonová tak i dřevostavby. Výhodné u masivních konstrukcí je dobrá akumulaci schopnost zdiva, za to u dřevostaveb zase menší tloušťka stěny, rychlejší výstavba i menší pracnost při výstavbě. Obecné zásady jsou pro vytvoření co nemenší tloušťky konstrukce za dosažení požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla U , proto je nutné u zděných staveb používat co nejmenší tloušťku zdiva a k ní přidat dostatečnou tloušťku izolace. Tato volba materiálu stěn ušetří každý čtvereční metr zastavěné plochy a tím i výrazné úspory nákladů, proto není ekonomicky výhodné použití zdiva vyšší tloušťky než 30

⁵ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

cm. I tímto způsobem je možné pasivním dům postavit, ale po zateplení je výsledná tloušťka zdiva příliš velká a systém je cenově neefektivní. Na výstavbu domů v pasivním standardu se používají ve velké míře stěny z pevných materiálů, jako jsou vápenopískové bloky nebo beton. Materiály dokáží dosáhnout subtilní konstrukce i při tloušťce pod 20 cm. Při zateplení poté tloušťka stěny nepřesáhne 50 cm. Důležité je ale zabezpečit dostatečný odpor prostupu tepla konstrukce. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

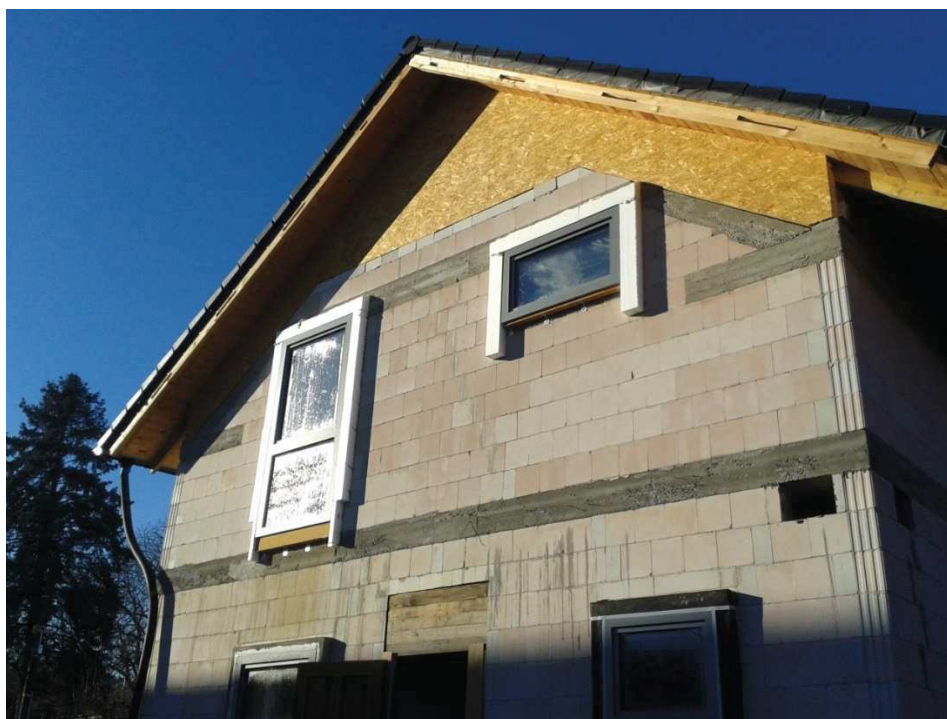
Tabulka 1 Hodnoty součinitele prostupu tepla U

| Typ konstrukce | Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ konstrukcí [W/(m ² *K)] | Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ [W/(m ² *K)] |
|-------------------|---|--|
| Střecha | 0,24 | 0,15 – 0,10 |
| Stěna | 0,30 | 0,18 – 0,12 |
| Podlaha na terénu | 0,45 | 0,22 - 0,15 |
| Okna | 1,5 | 0,8 – 0,6 |

Jako tepelnou izolaci je možné použití všech běžně dostupných izolačních materiálů. Jsou to například: polystyren, minerální vata, sláma, konopná izolace, foukaná celulóza, ovčí vlna... Výběr tepelné izolace závisí jen na výsledném energetickém výpočtu.

2.5 Výplně otvorů

Okna u pasivních domů hrají důležitou roli. Musí splňovat jak estetickou tak i energetickou funkci. Okna jsou nejslabším článkem v řetězci obálky pasivního domu. Přes okna dochází k největším ztrátám tepla. Obecně jsou okna až pětikrát tepelně slabší než obvodová konstrukce domu. Na druhou stranu jsou zdrojem solárních zisků objektu a v topné sezóně jsou zisky z oken výrazně větší než ztráty. Aby bylo možné okna použít, musí splňovat několik požadavků. Tepelně izolované okenní rámy, trojitě izolační zasklení, teplé distanční rámečky, na okraji skla a napojení na vnější stěnu s minimálními tepelnými mosty umožňují dosáhnout součinitele prostupu tepla U – hodnot osazeného okna menší než $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Zasklení izolačními trojskly vyplněnými vzácnými plyny, běžně dosahují hodnot $U_g < 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ s vysokou propustností slunečního záření nad 50%. Minimalizování tepelných mostů v místě napojení okna a dveří je pomocí montáže do tepelné izolace.



Obrázek 5 Předsazená montáž výplní otvorů



Obrázek 6 Předsazená montáž výplní otvorů

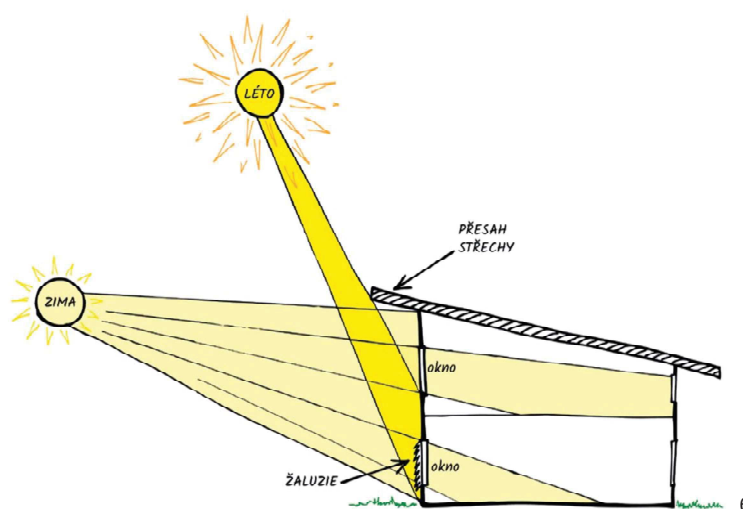
Okna v pasivním domě zajišťují velké solární zisky. Pokrývají třetinovou potřebu tepla na vytápění. Z tohoto důvodu je důležitá jejich orientace, velikost a kvalita zasklení. Nejideálnější případ orientace je jižní strana, v úvahu připadá i jihovýchodní nebo jihozápadní orientace. V ostatních fasádách objektu by mělo být oken co možná nejméně. Úspory energie co se týká solárních zisků okny, rostou do 30 – 40 % prosklené plochy jižní fasády. Větší prosklení fasádní plochy již nevede k dalším úsporám spíše naopak a dochází tak i k přehřívání interiéru. Proto je nutné volit i vhodné zastínění objektu.

2.6 Zastínění

Zastínění objektu je stejně důležitý faktor jako všechny ostatní. Hlavní roly hraje zastínění v letních měsících, kdy může docházet k přehřívání objektu. Ostré sluneční záření za jasného dne dosahuje 1000 W/m^2 . Záření dopadá na zasklení oken, které jej z části odrazí kolem 15% v případě trojskla, zčásti je pohltí přibližně 30 % a zbytek záření okna pustí dovnitř. Skla, stěny a předměty v interiéru se díky pohlcenému záření ohřejí a následně pak teplo vyzažují do interiéru. Teplo ale díky izolační schopnosti stěn a oken obtížně uniká z interiéru do exteriéru a tímto dochází k zahřívání.

Solární zisky jsou naopak přínosné v zimních měsících, proto je důležité, aby stínící systémy byly variabilní a nastavitelné dle potřeby.

Je hned několik možností jak zastínit objekt v letním období. Mezi stínící prvky patří: venkovní žaluzie, rolety, markýzy, slunolamy, pergoly, přesahy střech... Pergoly jako zastínění využívají rozdílné polohy slunce v létě a zimě. Efektivně odstiňují ostrým letním paprskům v letním období a v zimním období pouští zimní nízké slunce dovnitř.



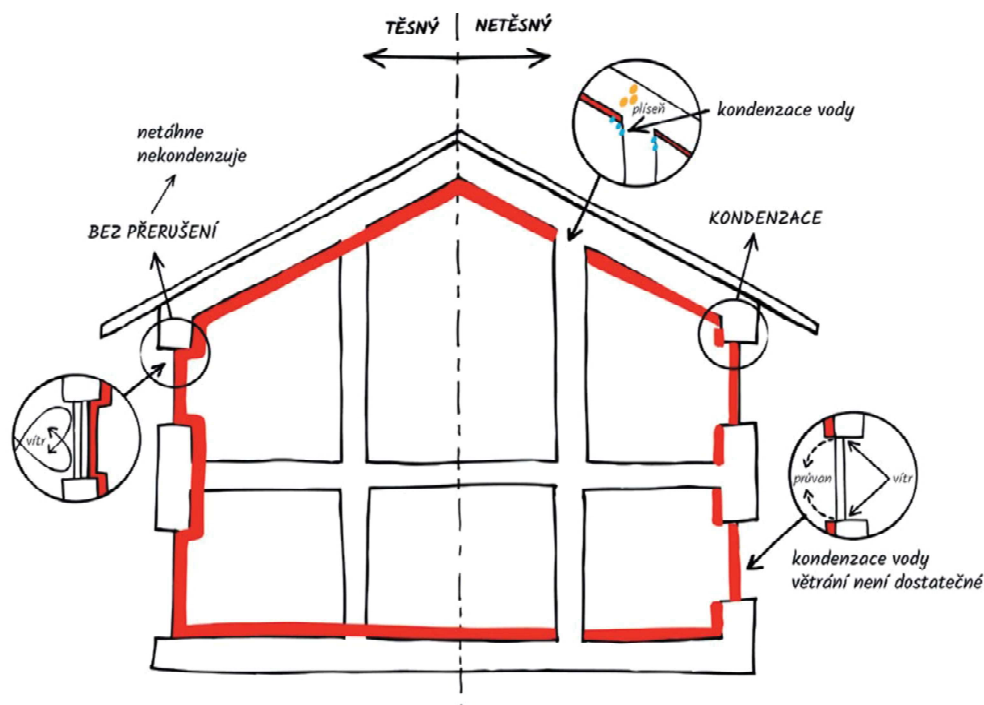
Obrázek 7 Stínění v letním a zimním období

Nejvíce spolehlivá ochrana před slunečním zářením jsou venkovní stínící prvky, jako jsou venkovní žaluzie. Jsou nastavitelné a můžeme si je tedy přizpůsobit našim potřebám. Dalším přínosem stínících prvků je i zpomalení stárnutí okna, a to jak zasklení, tak i rámové konstrukce.

⁶ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

2.7 Neprůvzdušnost – vzduchotěsnost

Neprůvzdušnost – vzduchotěsnost je základním parametrem pasivního domu. Je důležitým parametrem pro snížení tepelných ztrát a zajištění funkčnosti nuceného větrání.



7

Obrázek 8 Správné a nesprávné řešení vzduchotěsnosti objektu

U tlakové zkoušky n_{50} nesmí být překročen 0,6 - násobek výměny vzduchu, n_{50} je hodnota neprůvzdušnosti při tlakovém rozdílu 50 pascalů, měřená metodou tlakového spádu podle ČSN EN ISO 9972 – takzvaný Blower door test.

V případě, že by nebyla splněna potřebná míra vzduchotěsnosti, je celková efektivita zpětného získávání tepla nadměrně snížena a tím hrozí poškození stavby v místě větších netěsností a zároveň v ochlazovaných místech může dojít ke kondenzaci, růstu plísně a narušení kvality vnitřního prostředí.

Z těchto důvodů je potřeba již ve fázi projektování navrhnout v celém objektu spojitou vzduchotěsnou obálku bez přerušení. Při realizaci stavby je poté důležitá pečlivost při provedení a dohled nad prováděním vzduchotěsné obálky.

Vzduchotěsnost obálky objektu lze splnit několika možnostmi. U staveb s masivní konstrukcí lze vzduchotěsnost zajistit pomocí vrstvy omítky bez prasklin. U dřevostaveb je

⁷ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

vzduchotěsná vrstva zajištěna pomocí OSB desek nebo fólií přelepenými speciálními páskami. Důležitá je i kontrola utěsnění a napojení oken a prostupů konstrukcí. Místa styků různých konstrukcí, je nutné utěsnit vhodnou páskou, tmelem nebo fólií.



Obrázek 9 Přelepení spáry pomocí pásky AIRSTOP



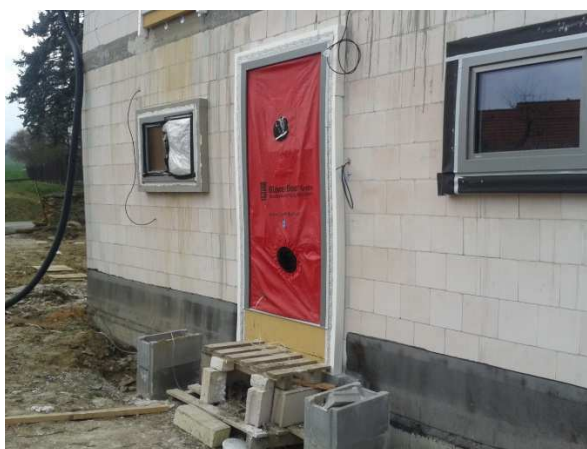
Obrázek 10 Provedení prostupů skrz vzduchotěsnou obálku

Kontrola utěsnění je provedena pomocí zkoušky těsnosti.

2.7.1 Blower door - test

Měření se provádí dle normy ČSN EN ISO 9972. Nejčastěji se k měření používá měřící zařízení tzv. blower door neboli výkonný ventilátor. Je osazen do dveří v obálce budovy pomocí teleskopického rámu a vzduchotěsné plachty. Test funguje na principu podtlaku / přetlaku a

současně se provádí měření. Výsledkem měření je hodnota objemu vyměněného vzduchu za hodinu n_{50} . Hodnota n_{50} musí být menší než $0,6 \text{ h}^{-1}$. V praxi to znamená, že při tlakovém rozdílu 50 Pa by se netěsnostmi objektu nemělo vyměnit více než 60 % celého objemu vzduchu v objektu. Důležité je zkoušku provádět v době, kdy je vzduchotěsná vrstva přístupná opravám. Je to například před montáží podhledů a podlah. Provádí se z důvodu jednoduššího nalezení a opravení chybného místa. V opačném případě je hledání a oprava netěsností složitá a nákladná. Detekce netěsností je součástí měření. K detekci netěsností se využívá měření rychlosti proudění vzduchu citlivým anemometrem, barevný dým, termovizní snímkování, nebo také účinné hledání proudu vzduchu v místě netěsností nastavením dlaní.



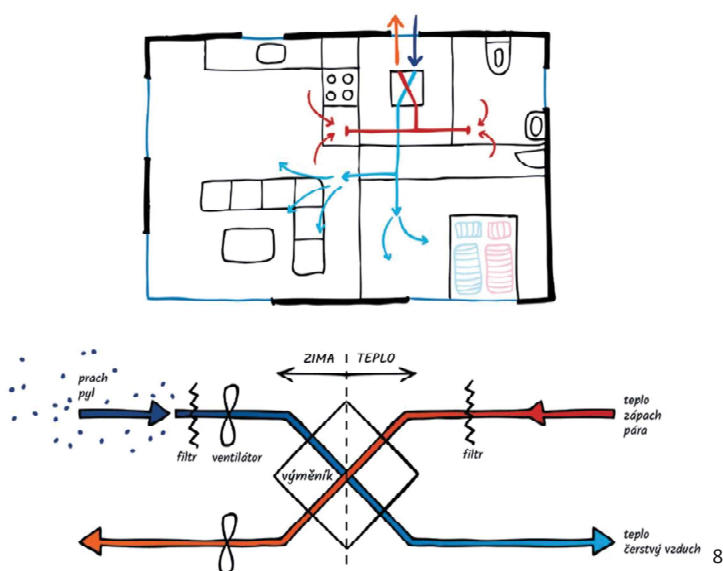
Obrázek 11 Blower door - test



Obrázek 12 Blower door - test

2.8 Větrání

U pasivního domu se o výměnu vzduchu stará řízené větrání se zpětným ziskem tepla z odpadního vzduchu. Výměna vzduchu neboli rekuperace je zásadní pro vysoký komfort objektu, neboť eliminuje tepelné ztráty spojené s větráním okny. Ventilátor s úspornou spotřebou odsává spotřebovaný vzduch nasycený vlhkostí v kuchyni, koupelně, WC a vyfukuje jej ven. Druhý ventilátor, vhání čerstvý vnější vzduch do obytných místností, jako jsou obytné prostory, ložnice, dětské pokoje. Oba proudy vzduchu se pak přivádějí paralelně do výměníku tepla, kde teplo odpadního vzduchu předehřívá studený vnější vzduch. Účinnost rekuperace tepla musí být minimálně 75 %, aby byla zajištěna efektivita systému, tak i tepelná pohoda v místnostech.



Obrázek 13 Větrání s rekuperací

Výhody:

- + 80% až 95% úspora energie, oproti běžnému větrání
- + Stále čerstvý vzduch
- + Odvod vlhkosti – ochrana proti plísním
- + Bezobslužný provoz
- + Filtrovaný vzduch bez znečištění prachem a pily

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady

⁸ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

2.9 Vytápění

U pasivního domu jsou ztráty natolik malé, že zdrojem tepla může být prakticky cokoliv. Objekt má běžně ztráty kolem 15 W/m^2 . U pasivních domů jsou využívány dvě koncepce redistribuce tepla:

- 1) Teplovzdušné vytápění – nosičem tepla přímo vzduch
- 2) Dělený systém větrání a vytápění – klasické zdroje tepla s jiným topným médiem

2.9.1 Teplovzdušný systém vytápění

Teplovzdušné vytápění lze realizovat u objektů s velmi nízkou tepelnou ztrátou. Rozvod vzduchu po domě se současně využívá k distribuci tepla a nahrazuje tím klasickou otopnou soustavu. Ohřev vzduchu je zajištěn pomocí nízkoteplotního výměníku zapojeného do systému ohřevu teplé vody, případně elektrický ohříváč. Ohříváč může být umístěn buď centrálně, nebo před každou vyústkou, což zajišťuje lepší regulaci tepla v místnostech. U teplovzdušného systému vytápění je nutné tepelně izolovat rozvody min. 30 - 50 mm izolace, aby nedošlo k úbytku výkonu na vyústkách.

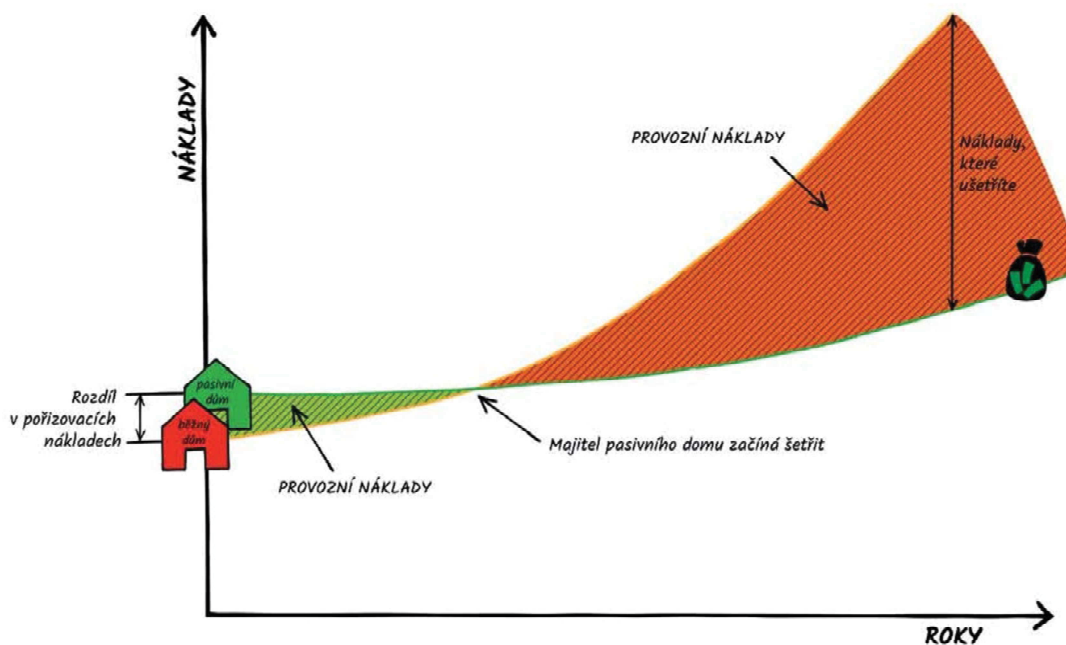
Výhodou systému je schopnost reagovat na změny teplot. Teplovzdušný systém vykazuje vyšší úspory na vytápění, protože zisky solární, nebo vnitřní jsou využívány efektivněji. Nevýhodou systému je nemožnost regulovat teploty na úrovni jednotlivých místností.

2.9.2 Kombinace nuceného větrání a vytápění

Při použití samotného nuceného větrání s rekuperací se ohřev vzduchu realizuje klasickým způsobem pomocí radiátorů, přímotopů, podlahového vytápění. V koupelnách se standardně navrhuje topný žebřík, nebo podlahové vytápění. Výhodou u obytných místností v pasivních domech je, že zdroje tepla nemusí být pod okny. Povrchové teploty skla jsou vyšší a nedochází zde ke kondenzaci vlhkosti. Nutné je zabezpečit kvalitní regulaci a přiměřený výkon zdrojů. Při použití krbových kamen v kombinaci s nuceným větráním je nutné zabránit podtlaku, aby nedocházelo k nedokonalému spalování a nasávání spalin do objektu. Nutné je navržení rovnotlakého, ideálně přetlakového režimu. Navržení externího přívodu vzduchu do kamen zaručuje oddělené zařízení od vnitřního vzduchu.

2.10 Náklady na stavbu pasivního domu

O kolik je pasivní dům dražší než klasický rodinný dům? Pasivní dům má větší nároky na použití kvalitnějších komponent a větší preciznost při návrhu, tak i při samotné realizaci. Náklady navíc oproti klasickým stavbám se pohybují mezi 5 – 15 %.



9

Obrázek 14 Rozdíl v nákladech u pasivního a klasického domu

Zda investovat do realizace pasivního domu či nikoliv záleží na každém jedinci. Dům se nestaví na pět ani deset let. A každý kdo myslí trochu do budoucna ví, že tu jiná možnost není. Vše v dnešní době směřuje k energetickým úsporám a pasivní dům navíc nabízí velice komfortní a zdravé bydlení. V dnešní době kdy je dle zákona nutné dokladovat tzv. Průkaz energetické náročnosti budovy při prodeji, nebo pronájmu se domy na trhu nemovitostí budou prodávat i podle toho jakou mají energetickou spotřebu. Pasivní domy si svojí cenu udrží a nabízejí dále i jistotu do budoucna, kdy není jasné, jak se budou vyvíjet ceny energií.

⁹ (CentrumPasivníhoDomu, 2017)

3 Praktická část

Cílem diplomové práce je analýza stavebních systémů pasivních domů. Byly vybrány tři stavební systémy:

- 1) Stavební systém: Vápenopísková cihla
- 2) Stavební systém: Keramická cihla
- 3) Stavební systém: Dřevostavba (dřevěný montovaný systém)

Samostatně pro každý stavební systém byly zpracovány tyto dokumenty:

- 1) Projektová dokumentace pro provádění stavby
- 2) Rozpočet rodinného domu v programu KROS 4
- 3) Průkaz energetické náročnosti „PENB“
- 4) Komplexní posouzení skladeb stavebních konstrukcí z hlediska šíření tepla a vodní páry v programu Teplo 2014
- 5) Výpočet tepelných ztrát objektu v programu Ztráty 2010
- 6) Výpočet energetické náročnosti v programu Energie 2010
- 7) Výpočet nejvyšší teploty vzduchu v pobytové místnosti v programu Simulace 2010
- 8) Posouzení konstrukčních detailů v programu Agros2D

Jednotlivé dokumenty jsou přílohou diplomové práce.

V praktické části diplomové práce jsou jednotlivé stavební systémy porovnávány a hodnoceny dle ekonomického a tepelně technického hlediska.

3.1 Porovnané stavební systémy

3.1.1 Osazení a orientace objektů na pozemek

Všechny rodinné domy jsou osazeny na stejný pozemek, z důvodu co nejreálnějšího porovnání jednotlivých stavebních systémů pasivních domů. Objekty jsou osazeny na pozemku v obci Horoměřice, par. č.: 425/314, katastrální území: Horoměřice. Pozemek je rovinného charakteru s mírným svahem od západní k východní hranici pozemku, je nezastavěný. Pozemek nabízí vhodnou orientaci navržených pasivních domů. Severní a západní hranice přilehá k sousedním zastavěným pozemkům. Jižní a východní hranice pozemku sousedí s místní komunikací. Rodinný dům je situován na severní části pozemku.

Nejvíce prosklená plocha fasády je orientována na jižní stranu, nejméně prosklená plocha fasády je orientována na stranu severní. Jižní strana objektu není stíněná žádnými sousedními objekty.

3.1.2 Navržené objekty

Z důvodu co nejpřesnějšího porovnání jednotlivých stavebních systémů, byly rodinné domy navrženy co nejvíce si podobné. Objekty mají dvě nadzemní podlaží se sedlovou střechou a jsou nepodsklepené. Půdorysný tvar objektů je obdélník o rozměrech 14,875 x 7,970 m. Na jižní straně jsou doplněny nezastřešenou terasou o ploše 35 m².

Jednotlivé objekty mají stejnou zastavěnou plochu celkem 118,55 m² i stejný obestavěný prostor 957,20 m².

3.1.3 Dispozice

Dispozice rodinných domů je shodná. Stavební systémy se od sebe odlišují pouze rozdílnou velikostí půdorysné plochy jednotlivých místností. Objekt je pomyslně rozdělen na obytnou část a technickou a hygienickou část. Obytná část se nachází na levé straně objektu, technická a hygienická část se nachází na straně pravé.

Vstup do objektu je z jižní strany budovy. Vstupuje se do prvního nadzemního podlaží do zádveří. Ze zádveří se dále vstupuje do šatny a obytného prostoru spojeného s chodbou. Z chodby je dále vstup do koupelny a technické místnosti. V obytném prostoru se nachází kuchyňský kout a jídelna. Z obytného prostoru je dále vstup do pokoje pro hosty, spíže a je zde umožněn výstup na terasu podél jižní fasády rodinného domu. Pro vertikální komunikaci v objektu je navrženo ocelové schodiště, které se nachází v obytném prostoru. Schodiště spojuje první a druhé nadzemní podlaží. V druhém nadzemním podlaží se nachází chodba, ze které je vstup do ložnice, dvou pokojů, WC a koupelny. Z koupelny je dále umožněn vstup do sauny. Více viz výkresy Půdorys 1.NP a 2.NP v přílohách č. 1.1, 2.1, 3.1.

3.1.4 Stavební systém: Vápenopísková cihla

Objekt je navržen z vápenopískové cihly s dodatečným zateplením z důvodu eliminace tepelných mostů pomocí fasádního polystyrenu EPS GREYWALL.

3.1.4.1 Stručný popis stavebního systému

Podrobně řešeno v příloze diplomové práce č. 1.1.

3.1.4.1.1 Základové konstrukce

Objekt je založen na základových pasech šířky 600 mm a výšky 450 mm, třídy betonu C20/25. Jako roznášecí vrstva jsou použity bednicí dílce ve dvou vrstvách tl. 300 mm, které jsou vylity betonem C20/25. V ploše bude proveden podkladní beton C 20/25 s oboustrannou síťovou výztuží (při spodním i horním povrchu).

3.1.4.1.2 Svislé konstrukce

Objekt RD je navržen ze stavebního systému ZAPF DAIGFUSS KS (vápenopískové cihly). Tloušťka nosné obvodové stěny RD je 175 mm + 300 mm POLYSTYREN EPS GREYWALL. Pod obvodové stěny a příčky bude pro založení použita zakládací tvarovka ZAPF DAIGFUSS KS ISO KIMM v tl. dle příslušné stěny. Příčky jsou navrženy ze systému ZAPF DAIGFUSS KS (vápenopískové cihly) tl. 115 mm.

3.1.4.1.3 Stropní konstrukce

Stropní konstrukce nad 1.NP je tvořena panely Spiroll dle výkresu skladby stropu nad 1.NP. Tloušťka konstrukce stropu bude 250 mm. Stropní konstrukce nad 2.NP je tvořena sádkartonovým podhledem s nosnou konstrukcí z plechových profilovaných prvků zavěšených na nosné konstrukce střechy – dřevěných příhradových vaznicích s OSB záklopem.

3.1.4.1.4 Střešní konstrukce

Nosnou konstrukci střechy tvoří příhradová konstrukce. Krov tvoří sedlovou střechu se sklonem 10°. Mezi vazníky bude osazena minerální izolace (skládaná) v min. tl. 600 mm a z interiérové strany budou vazníky zaklopeny OSB deskou min. tl. 18 mm. OSB desky budou mít lepené spoje a bude přelepena styčná spára v místě napojení na omítku z důvodu zajištění vzduchotěsné obálky budovy. Tato konstrukce bude dále sloužit k osazení snížené stropní sádkartonové konstrukce pro vedení instalací.

3.1.5 Stavební systém: Keramická cihla

Objekt je navržen z keramické cihly bez dodatečného zateplení.

3.1.5.1 Stručný popis stavebního systému

Podrobně řešeno v příloze diplomové práce č. 2.1.

3.1.5.1.1 Základové konstrukce

Objekt je založen na základových pasech šířky 600 mm a výšky 450 mm, třídy betonu C20/25. Jako roznášecí vrstva jsou použity bednicí dílce ve dvou vrstvách tl. 400 mm, které jsou vylity betonem C20/25. V ploše bude proveden podkladní beton C 20/25 s oboustrannou síťovou výztuží (při spodním i horním povrchu).

3.1.5.1.2 Svislé konstrukce

Objekt RD je navržen ze stavebního systému HELUZ 2in1 broušená (keramické cihly). Tloušťka nosné obvodové stěny RD je 440 mm. Pod obvodové stěny a příčky bude pro založení použita zakládací cihla HELUZ 38 2in1 broušená. Příčky jsou navrženy ze systému HELUZ (keramické cihly) tl. 140 mm.

3.1.5.1.3 Stropní konstrukce

Stropní konstrukce nad 1.NP je tvořena panely Spiroll dle výkresu skladby stropu nad 1.NP. Tloušťka konstrukce stropu bude 250 mm. Stropní konstrukce nad 2.NP je tvořena sádrokartonovým podhledem s nosnou konstrukcí z plechových profilovaných prvků zavěšených na nosné konstrukce střechy – dřevěných příhradových vaznicích s OSB záklopem.

3.1.5.1.4 Střešní konstrukce

Nosnou konstrukci střechy tvoří příhradová konstrukce. Krov tvoří sedlovou střechu se sklonem 10°. Mezi vazníky bude osazena minerální izolace (skládána) v min. tl. 600 mm a z interiérové strany budou vazníky zaklopeny OSB deskou min. tl. 18 mm. OSB desky budou mít lepené spoje a bude přelepena styčná spára v místě napojení na omítku z důvodu zajištění vzduchotěsné obálky budovy. Tato konstrukce bude dále sloužit k osazení snížené stropní sádrokartonové konstrukce pro vedení instalací.

3.1.6 Stavební systém: Dřevostavba

Objekt je navržen z dřevěného montovaného systému – dřevostavba s dodatečným zateplením z důvodu eliminace tepelných mostů pomocí fasádního polystyrenu EPS 70F.

3.1.6.1 Stručný popis stavebního systému

Podrobně řešeno v příloze diplomové práce č. 3.1.

3.1.6.1.1 Základové konstrukce

Objekt je založen na základových pasech šířky 600 mm a výšky 450 mm, třídy betonu C20/25. Jako roznášecí vrstva jsou použity bednicí dílce ve dvou vrstvách tl. 300 mm, které jsou vylity betonem C20/25. V ploše bude proveden podkladní beton C 20/25 s oboustrannou síťovou výztuží (při spodním i horním povrchu).

3.1.6.1.2 Svislé konstrukce

Objekt RD je navržen z dřevěného montovaného systému (dřevostavba). Tloušťka nosné obvodové stěny RD je 285 mm+ 160 mm POLYSTYREN EPS 70F. Pod obvodové stěny a příčky bude pro založení použita podkladní impregnovaná lať. Příčky jsou navrženy z dřevěného montovaného systému (dřevostavba) tl. 125 mm.

3.1.6.1.3 Stropní konstrukce

Stropní konstrukce nad 1.NP je tvořena dřevěnými KVH stropnicemi dle výkresu skladby stropu nad 1.NP. Tloušťka KVH stropnice bude 320 mm. Na stropnicích bude položena OSB deska tl. 22 mm a následně skladba podlahy 2.NP. Stropní konstrukce nad 2.NP je tvořena sádkartonovým podhledem s nosnou konstrukcí z plechových profilovaných prvků zavěšených na nosné konstrukce střechy – dřevěných příhradových vaznicích s OSB záklopem.

3.1.6.1.4 Střešní konstrukce

Nosnou konstrukci střechy tvoří příhradová konstrukce. Krov tvoří sedlovou střechu se sklonem 10°. Mezi vazníky bude osazena minerální izolace (skládaná) v min. tl. 600 mm a z interiérové strany budou vazníky zaklopeny OSB deskou min. tl. 18 mm. OSB desky budou mít lepené spoje a bude přelepena styčná spára v místě napojení na omítku z důvodu zajištění vzduchotěsné obálky budovy. Tato konstrukce bude dále sloužit k osazení snížené stropní sádkartonové konstrukce pro vedení instalací.

3.2 Porovnání velikosti kapacit stavebních systémů

Zastavěnou plochu mají všechny rodinné domy stejnou. Zastavěná plocha je 118,55 m². Stejně jako zastavěnou plochu tak i obestavěný prostor mají objekty stejný 957,20 m³. Podlahová plocha místností se ale u jednotlivých stavebních systémů liší. Důvodem je rozdílná tloušťka obvodové konstrukce a vnitřních příček.

3.2.1 Tloušťky konstrukcí

3.2.1.1 Stavební systém: Vápenopísková cihla

Obvodová stěna: 475 a 500 mm

Příčka: 115 mm

3.2.1.2 Stavební systém: Keramická cihla

Obvodová stěna: 440 mm

Příčka: 140 mm

3.2.1.3 Stavební systém: Dřevostavba

Obvodová stěna: 445 mm

Příčka: 125 mm

3.2.2 Podlahová plocha v porovnání se zastavěnou

3.2.2.1 Stavební systém: Vápenopísková cihla

Podlahová plocha 1.NP: 94,46 m²

Podlahová plocha 2.NP: 88,69 m²

Podlahová plocha celkem: 183,15 m²

Poměr zastavěné plochy k podlahové ploše: 64,73 %

3.2.2.2 Stavební systém: Keramická cihla

Podlahová plocha 1.NP: 97,53 m²

Podlahová plocha 2.NP: 89,18 m²

Podlahová plocha celkem: 186,71 m²

Poměr zastavěné plochy k podlahové ploše: 63,49 %

3.2.2.3 Stavební systém: Dřevostavba

Podlahová plocha 1.NP: 97,26 m²

Podlahová plocha 2.NP: 90,11 m²

Podlahová plocha celkem: 187,37 m²

Poměr zastavěné plochy k podlahové ploše: 63,27 %

3.2.3 Zhodnocení porovnání podlahové plochy

Z hlediska podlahové plochy je největší podlahová plocha u stavebního systému: Dřevostavby - 187,37 m² dále pak stavební systém: Keramická cihla – 186,71 m² a nejmenší podlahovou plochu má stavební systém: Vápenopísková cihla – 183,15 m². Mezi největší a nejmenší podlahovou plochou je rozdíl 4,22 m².

3.3 Ekonomické porovnání stavebních systémů

Jednotlivé rozpočty byly zpracovány v programu KROS 4. Kompletní položkové rozpočty s výkazem výměr jsou přílohou diplomové práce č.: 1.2, 2.2 a 3.2. Zde jsou uvedené a zhodnocené pouze celkové ceny za práce a dodávky.

3.3.1 Rekapitulace rozpočtu stavební systém: Vápenopísková cihla

Tabulka 2 Rozpočet stavební systém: Vápenopísková cihla

| Kód popis | Cena celkem [Kč] |
|--|---------------------|
| 1) Náklady z rozpočtu | 5 191 544,13 |
| HSV – Práce a dodávky HSV | 2 351 456,56 |
| 1 - Zemní práce | 109 857,93 |
| 2 - Zakládání | 166 570,02 |
| 3 - Svislé a kompletní konstrukce | 353 243,06 |
| 4 - Vodorovné konstrukce | 146 134,36 |
| 6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní | 1 279 172,71 |
| 8 - Trubní vedení | 1 752,80 |
| 9 - Ostatní konstrukce a práce, bourání | 150 705,18 |
| 998 - Přesun hmot | 144 020,50 |
| PSV - Práce a dodávky PSV | 2 468 187,57 |
| 711 - Izolace proti vodě, vlhkosti a plynům | 92 849,27 |
| 713 - Izolace tepelné | 210 423,22 |
| 751 - Vzduchotechnika | 250 000,00 |
| 762 - Konstrukce tesařské | 281 517,83 |
| 763 - Konstrukce suché výstavby | 170 407,41 |
| 764 - Konstrukce klempířské | 312 530,43 |

| | |
|--|-------------------|
| 765 - Krytina skládaná | 15 754,66 |
| 766 - Konstrukce truhlářské | 501 176,68 |
| 767 - Konstrukce zámečnické | 154 781,10 |
| 771 - Podlahy z dlaždic | 40 993,02 |
| 775 - Podlahy skládané | 106 071,56 |
| 781 - Dokončovací práce – obklady | 32 483,79 |
| 784 - Dokončovací práce - malby a tapety | 47 798,60 |
| 721 - Zdravotechnika - vnitřní kanalizace | 62 100,00 |
| 722 - Zdravotechnika - vnitřní vodovod | 63 600,00 |
| 725 - Zdravotechnika - zařizovací předměty | 125 700,00 |
| MON - Montážní práce a dodávky | 371 900,00 |
| 21-M – Elektromontáže | 371 900,00 |
| 2) Ostatní náklady | 181 704,04 |
| Zařízení staveniště | 181 704,04 |

3.3.2 Rekapitulace rozpočtu stavební systém: Keramická cihla

Tabulka 3 Rozpočet stavební systém: Keramická cihla

| Kód popis | Cena celkem [Kč] |
|--|---------------------|
| 1) Náklady z rozpočtu | 5 092 263,92 |
| HSV – Práce a dodávky HSV | 2 249 034,36 |
| 1 - Zemní práce | 117 522,44 |
| 2 - Zakládání | 194 538,93 |
| 3 - Svislé a kompletní konstrukce | 719 711,68 |
| 4 - Vodorovné konstrukce | 151 341,73 |
| 6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní | 763 707,35 |

| | |
|---|---------------------|
| 8 - Trubní vedení | 1 752,80 |
| 9 - Ostatní konstrukce a práce, bourání | 150 960,43 |
| 998 - Přesun hmot | 149 499,00 |
| PSV - Práce a dodávky PSV | 2 471 329,56 |
| 711 - Izolace proti vodě, vlhkosti a plynům | 93 136,36 |
| 713 - Izolace tepelné | 210 889,21 |
| 751 - Vzduchotechnika | 250 000,00 |
| 762 - Konstrukce tesařské | 276 405,45 |
| 763 - Konstrukce suché výstavby | 175 250,92 |
| 764 - Konstrukce klempířské | 312 530,43 |
| 765 - Krytina skládaná | 15 754,66 |
| 766 - Konstrukce truhlářské | 501 176,68 |
| 767 - Konstrukce zámečnické | 154 781,10 |
| 771 - Podlahy z dlaždic | 40 929,95 |
| 775 - Podlahy skládané | 107 963,92 |
| 781 - Dokončovací práce – obklady | 32 516,33 |
| 784 - Dokončovací práce - malby a tapety | 48 594,55 |
| 721 - Zdravotechnika - vnitřní kanalizace | 62 100,00 |
| 722 - Zdravotechnika - vnitřní vodovod | 63 600,00 |
| 725 - Zdravotechnika - zařizovací předměty | 125 700,00 |
| MON - Montážní práce a dodávky | 371 900,00 |
| 21-M – Elektromontáže | 371 900,00 |
| 2) Ostatní náklady | 178 229,24 |
| Zařízení staveniště | 178 229,24 |

3.3.3 Rekapitulace rozpočtu stavební systém: Dřevostavba

Tabulka 4 Rozpočet stavební systém: Dřevostavba

| Kód popis | Cena celkem [Kč] |
|--|---------------------|
| 1) Náklady z rozpočtu | 5 136 055,59 |
| HSV – Práce a dodávky HSV | 1 587 840,16 |
| 1 - Zemní práce | 109 857,93 |
| 2 - Zakládání | 166 570,02 |
| 3 - Svislé a kompletní konstrukce | 56 250,24 |
| 6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní | 991 078,42 |
| 8 - Trubní vedení | 1 752,80 |
| 9 - Ostatní konstrukce a práce, bourání | 151 007,75 |
| 998 - Přesun hmot | 111 323,00 |
| PSV - Práce a dodávky PSV | 3 176 315,43 |
| 711 - Izolace proti vodě, vlhkosti a plynům | 86 137,98 |
| 713 - Izolace tepelné | 369 936,09 |
| 751 - Vzduchotechnika | 250 000,00 |
| 762 - Konstrukce tesařské | 610 721,72 |
| 763 - Konstrukce suché výstavby | 394 992,50 |
| 764 - Konstrukce klempířské | 310 088,27 |
| 765 - Krytina skládaná | 15 754,66 |
| 766 - Konstrukce truhlářské | 501 176,68 |
| 767 - Konstrukce zámečnické | 154 781,10 |
| 771 - Podlahy z dlaždic | 41 434,14 |
| 775 - Podlahy skládané | 108 237,55 |

| | |
|--|-------------------|
| 781 - Dokončovací práce – obklady | 32 708,56 |
| 784 - Dokončovací práce - malby a tapety | 48 946,18 |
| 721 - Zdravotechnika - vnitřní kanalizace | 62 100,00 |
| 722 - Zdravotechnika - vnitřní vodovod | 63 600,00 |
| 725 - Zdravotechnika - zařizovací předměty | 125 700,00 |
| MON - Montážní práce a dodávky | 371 900,00 |
| 21-M – Elektromontáže | 371 900,00 |
| 2) Ostatní náklady | 179 761,95 |
| Zařízení staveniště | 179 761,95 |

3.3.4 Celkové zhodnocení a porovnání ceny stavebních systémů

Legenda značení:

Nejnižší cena

Nejvyšší cena

Tabulka 5 Zhodnocení rozpočtů

| Stavební systém: | Vápenopísková cihla | Keramická cihla | Dřevostavba |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| Kód popis | Cena celkem [Kč] | Cena celkem [Kč] | Cena celkem [Kč] |
| 1) Náklady z rozpočtu | 5 191 544,13 | 5 092 263,92 | 5 136 055,59 |
| HSV – Práce a dodávky HSV | 2 351 456,56 | 2 249 034,36 | 1 587 840,16 |
| 1 - Zemní práce | 109 857,93 | 117 522,44 | 109 857,93 |
| 2 - Zakládání | 166 570,02 | 194 538,93 | 166 570,02 |
| 3 - Svislé a kompletní konstrukce | 353 243,06 | 719 711,68 | 56 250,24 |
| 4 - Vodorovné konstrukce | 146 134,36 | 151 341,73 | - |

| | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| 6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní | 1 279 172,71 | 763 707,35 | 991 078,42 |
| 8 - Trubní vedení | 1 752,80 | 1 752,80 | 1 752,80 |
| 9 - Ostatní konstrukce a práce, bourání | 150 705,18 | 150 960,43 | 151 007,75 |
| 998 - Přesun hmot | 144 020,50 | 149 499,00 | 111 323,00 |
| PSV - Práce a dodávky PSV | 2 468 187,57 | 2 471 329,56 | 3 176 315,43 |
| 711 - Izolace proti vodě, vlhkosti a plynům | 92 849,27 | 93 136,36 | 86 137,98 |
| 713 - Izolace tepelné | 210 423,22 | 210 889,21 | 369 936,09 |
| 751 - Vzduchotechnika | 250 000,00 | 250 000,00 | 250 000,00 |
| 762 - Konstrukce tesařské | 281 517,83 | 276 405,45 | 610 721,72 |
| 763 - Konstrukce suché výstavby | 170 407,41 | 175 250,92 | 394 992,50 |
| 764 - Konstrukce klempířské | 312 530,43 | 312 530,43 | 310 088,27 |
| 765 - Krytina skládaná | 15 754,66 | 15 754,66 | 15 754,66 |
| 766 - Konstrukce truhlářské | 501 176,68 | 501 176,68 | 501 176,68 |
| 767 - Konstrukce zámečnické | 154 781,10 | 154 781,10 | 154 781,10 |
| 771 - Podlahy z dlaždic | 40 993,02 | 40 929,95 | 41 434,14 |
| 775 - Podlahy skládané | 106 071,56 | 107 963,92 | 108 237,55 |
| 781 - Dokončovací práce – obklady | 32 483,79 | 32 516,33 | 32 708,56 |
| 784 - Dokončovací práce - malby a tapety | 47 798,60 | 48 594,55 | 48 946,18 |
| 721 - Zdravotechnika - vnitřní kanalizace | 62 100,00 | 62 100,00 | 62 100,00 |
| 722 - Zdravotechnika - vnitřní vodovod | 63 600,00 | 63 600,00 | 63 600,00 |

| | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| 725 - Zdravotechnika - zařizovací předměty | 125 700,00 | 125 700,00 | 125 700,00 |
| MON - Montážní práce a dodávky | 371 900,00 | 371 900,00 | 371 900,00 |
| 21-M – Elektromontáže | 371 900,00 | 371 900,00 | 371 900,00 |
| 2) Ostatní náklady | 181 704,04 | 178 229,24 | 179 761,95 |
| Zařízení staveniště | 181 704,04 | 178 229,24 | 179 761,95 |
| Cena celkem s DPH | 6 501 630,29 | 6 377 296,72 | 6 432 139,22 |

3.3.5 Zhodnocení ceny stavebních systémů dle ploch a objemů

3.3.5.1 Stavební systém: Vápenopísková cihla

Celková cena s DPH: 6 501 630,29 Kč

Cena (s DPH) za 1 m² podlahové plochy: 35 498,94 Kč/m²

Cena (s DPH) za 1 m² zastavěné plochy: 54 842,94 Kč/m²

Cena (s DPH) za 1 m³ obestavěného prostoru: 6 792,3 Kč/m³

3.3.5.2 Stavební systém: Keramická cihla

Celková cena s DPH: 6 377 296,72 Kč

Cena (s DPH) za 1 m² podlahové plochy: 34 156,16 Kč/m²

Cena (s DPH) za 1 m² zastavěné plochy: 53 794,15 Kč/m²

Cena (s DPH) za 1 m³ obestavěného prostoru: 6 662,45 Kč/m³

3.3.5.3 Stavební systém: Dřevostavba

Celková cena s DPH: 6 432 139,22 Kč

Cena (s DPH) za 1 m² podlahové plochy: 34 328,54 Kč/m²

Cena (s DPH) za 1 m² zastavěné plochy: 54 256,76 Kč/m²

Cena (s DPH) za 1 m³ obestavěného prostoru: 6 719,74 Kč/m³

3.3.6 Celkové zhodnocení ceny stavebních systémů

Dle výše uvedených hodnot z programu KROS 4, tak i z přepočtu celkové ceny s DPH na metry čtvereční či metry krychlové je nejdražším z porovnávaných stavebních systémů vápenopísková cihla. Cena objektu rodinného domu v pasivním standardu se dostala na hodnotu 6 501 630,29 Kč. Za 1 m³ obestavěného prostoru to vychází na 6 792,3 Kč/m³. Jedná se o nejdražší porovnávaný stavební systém s nejmenší podlahovou plochou.

Nejlevnějším stavebním systémem z porovnávaných je stavební systém: Keramická cihla. Cena objektu v pasivním standardu v daném systému je 6 377 296,72 Kč. Cena za 1m³ obestavěného prostoru je 6 662,45 Kč/m³. Stavební systém: Keramická cihla má druhou nejvyšší podlahovou plochu.

Stavební systém: Dřevostavba s největší podlahovou plochou je mezi výše zmíněnými stavebními systémy s cenou 6 432 139,22 Kč. Je o 69 491,07 Kč levnější než nejdražší stavební systém a ještě k tomu má o 4,22 m² větší podlahovou plochu. Cenový rozdíl mezi stavebním systémem: Dřevostavba a stavebním systémem: Keramická cihla je 54 896,5 Kč.

V celkovém ekonomickém porovnání všech zmíněných stavebních systémů jsou rozdíly v cenách minimální. Cena nejdražšího stavebního systému je 6 501 630,29 Kč a cena nejlevnějšího stavebního systému je 6 377 296,72 Kč. Cenový rozdíl mezi nimi je 124 333,57 Kč. Na m³ obestavěného prostoru je rozdíl cen jen 72,56 Kč/m³.

3.4 Porovnání posouzených skladeb stavebních konstrukcí

Skladby jednotlivých konstrukcí byly posouzeny z hlediska šíření tepla a vodní páry v programu Teplo 2014. Podrobné výpočty viz příloha diplomové práce č. 1.4, 2.4, 3.4.

3.4.1 Shodné skladby konstrukcí stavebních systémů

Všechny tři stavební systémy mají shodné skladby konstrukce střechy a podlahy na terénu.

3.4.1.1 Skladba střešní konstrukce

Skladba (od interiéru):

- OSB deska, tl. 18 mm
- Parozábrana Jutafool, tl. 0,2mm
- Minerální izolace Isover Unirol, tl. 600 mm

Skladba je posuzována jako střecha jednoplášťová. Z důvodu zeslabení izolace v místě vazníků je počítáno s korekcí součinitele prostupu tepla ΔU : 0,020 W/m²K.

Tepelný odpor konstrukce R: 12,516 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,079 W/m²K

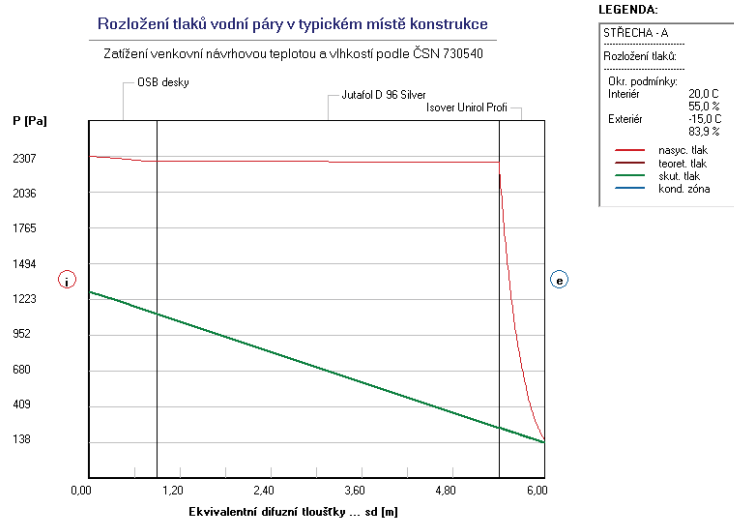
Součinitel prostupu tepla U splňuje doporučené hodnoty pro pasivní dům $U_{pas,20}$.

$$U < U_{pas,20}$$

$$0,079 < 0,15 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Skladba posuzované konstrukce VYHOVUJE z hlediska součinitele prostupu tepla.

Při venkovní návrhové teplotě -15 °C nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry, viz obrázek č. 15.



Obrázek 15 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci střechy

3.4.1.2 Skladba konstrukce podlahy na terénu

Skladba (od interiéru):

- Keramická dlažba, tl. 15 mm
- PE fólie, tl. 0,1 mm
- Betonová mazanina, tl. 65 mm
- Tepelná izolace EPS GREY, tl. 250 mm
- 2 x Hydroizolace 1,4 mm

Skladba je posuzována jako podlaha na zemině.

Tepelný odpor konstrukce R: 7,65 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,128 W/m²K

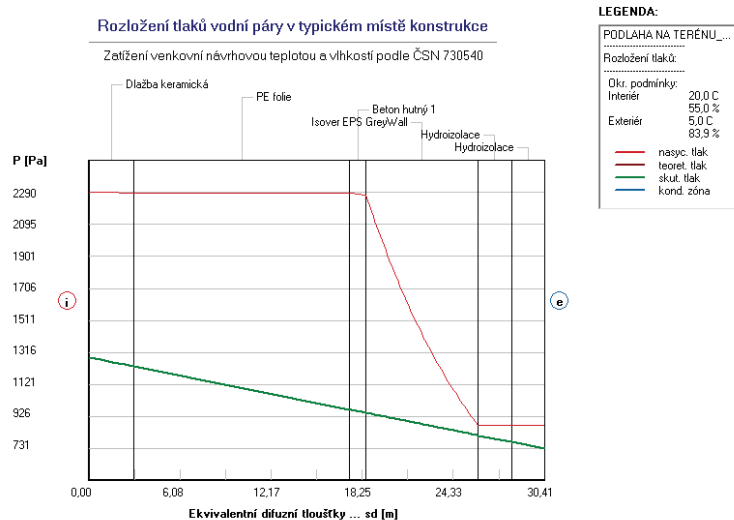
Součinitel prostupu tepla U splňuje doporučené hodnoty pro pasivní dům $U_{pas,20}$.

$$U < U_{pas,20}$$

$$0,128 < 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Skladba posuzované konstrukce VYHOVUJE z hlediska součinitele prostupu tepla.

Při venkovní návrhové teplotě -15 °C nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry, viz obrázek č. 16.



Obrázek 16 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci podlahy

3.4.2 Rozdílné skladby konstrukcí stavebních systémů

Každý stavební systém má navrženou svojí specifickou skladbu obvodové stěny.

3.4.2.1 Skladba stavebního systému: Vápenopísková cihla

3.4.2.1.1 Obvodová stěna, tl. 175 mm

Skladba (od interiéru):

- Baumit sádrová omítka, tl. 5 mm
- Vápenopísková cihla, tl. 175 mm
- Tepelná izolace ISOVER EPS GREYWALL, tl. 300 mm
- Baumit tenkovrstvá omítka, tl. 10 mm

Skladba je posuzována jako stěna vnější jednoplášťová.

Tepelný odpor konstrukce R: 9,320 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,105 W/m²K

Součinitel prostupu tepla U splňuje doporučené hodnoty pro pasivní dům $U_{pas,20}$.

$$U < U_{pas,20}$$

$$0,105 < 0,18 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

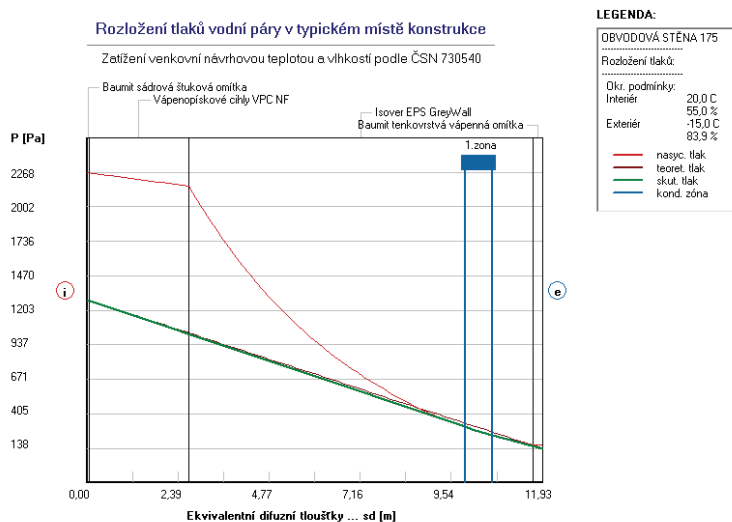
Skladba posuzované konstrukce VYHOVUJE z hlediska součinitele prostupu tepla.

Při venkovní návrhové teplotě nižší než $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry, viz obrázek č. 17.

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0,0024 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 1,5816 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Množství zkondenzované vodní páry za rok je zatelně nižší než množství vypařitelné vodní páry za rok. Konstrukce tedy VYHOVUJE.



Obrázek 17 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny, tl. 175 mm

3.4.2.1.2 Obvodová stěna, tl. 200 mm

Skladba (od interiéru):

- Baunit sádrová omítka, tl. 5 mm
- Vápenopísková cihla, tl. 200 mm
- Tepelná izolace ISOVER EPS GREYWALL, tl. 300 mm
- Baunit tenkovrstvá omítka, tl. 10 mm

Skladba je posuzována jako stěna vnější jednoplášťová.

Tepelný odpor konstrukce R: 9,349 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,105 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

Součinitel prostupu tepla U splňuje doporučené hodnoty pro pasivní dům $U_{pas,20}$.

$$U < U_{pas,20}$$

$$0,105 < 0,18 [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$$

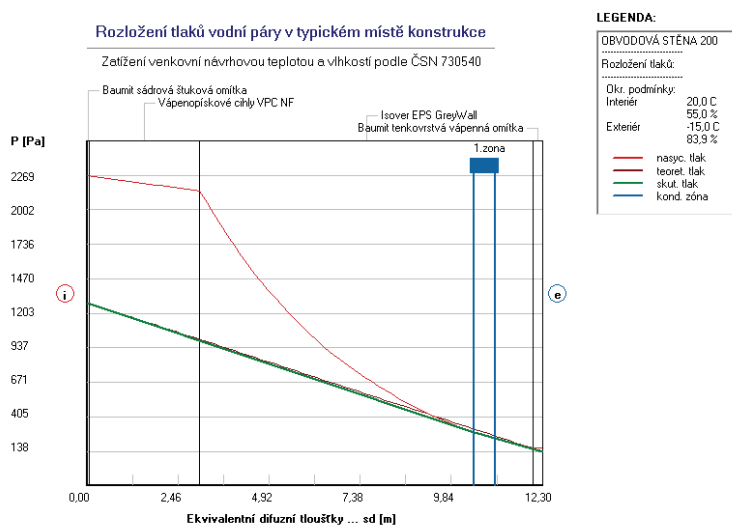
Skladba posuzované konstrukce VYHOVUJE z hlediska součinitele prostupu tepla.

Při venkovní návrhové teplotě nižší než $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry, viz obrázek č. 18.

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0,0020 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 1,6114 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$

Množství zkondenzované vodní páry za rok je ztelně nižší než množství vypařitelné vodní páry za rok. Konstrukce tedy VYHOVUJE.



Obrázek 18 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny, tl. 200 mm

3.4.2.2 Skladba stavebního systému: Keramická cihla

Skladba (od interiéru):

- Baunit sádrová omítka, tl. 15 mm
- Keramická cihla HELUZ FAMILY 2in1 broušená, tl. 440 mm
- Baunit hlazená omítka, tl. 20 mm

Skladba je posuzována jako stěna vnější jednoplášťová.

Tepelný odpor konstrukce R: 7,268 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,134 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

Součinitel prostupu tepla U splňuje doporučené hodnoty pro pasivní dům $U_{pas,20}$.

$$U < U_{pas,20}$$

$$0,134 < 0,18 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

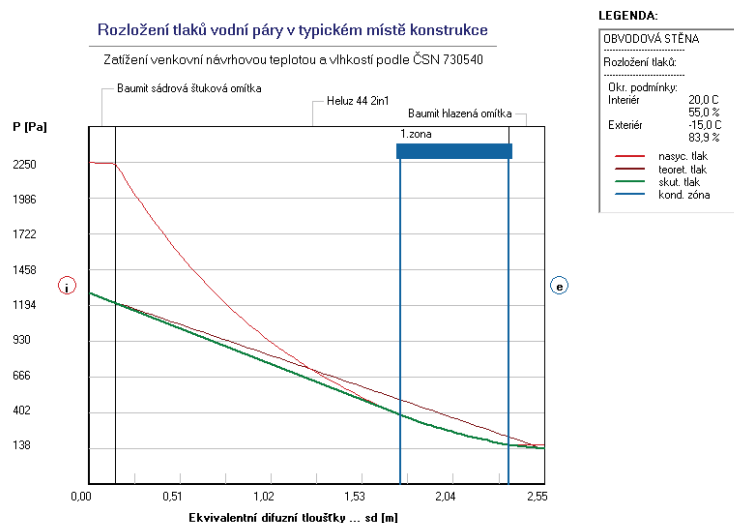
Skladba posuzované konstrukce VYHOVUJE z hlediska součinitele prostupu tepla.

Při venkovní návrhové teplotě nižší než $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry, viz obrázek č. 19.

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: $0,0756 \text{ kg/(m}^2\text{*rok)}$

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: $6,0490 \text{ kg/(m}^2\text{*rok)}$

Množství zkondenzované vodní páry za rok je ztelně nižší než množství vypařitelné vodní páry za rok. Konstrukce tedy VYHOVUJE.



Obrázek 19 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny

3.4.2.3 Skladba stavebního systému: Dřevostavba

Skladba (od interiéru):

- Sádrokartonová deska, tl. 12,5 mm
- Tepelná minerální izolace, tl. 40 mm
- Parozábrana, tl. 0,2 mm
- Tepelná minerální izolace, tl. 60 mm
- Tepelná minerální izolace, tl. 160 mm
- Sádrovláknitá deska, tl. 12,5 mm
- Tepelná izolace polystyren, tl. 160 mm
- Baumit tenkovrstvá omítka, tl. 10 mm

Skladba je posuzována jako stěna vnější jednovrstevná. Z důvodu zeslabení izolace v místě dřevěných roštů je počítáno s korekcí součinitele prostupu tepla ΔU : 0,050 W/m²K.

Tepelný odpor konstrukce R: 7,176 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,136 W/m²K

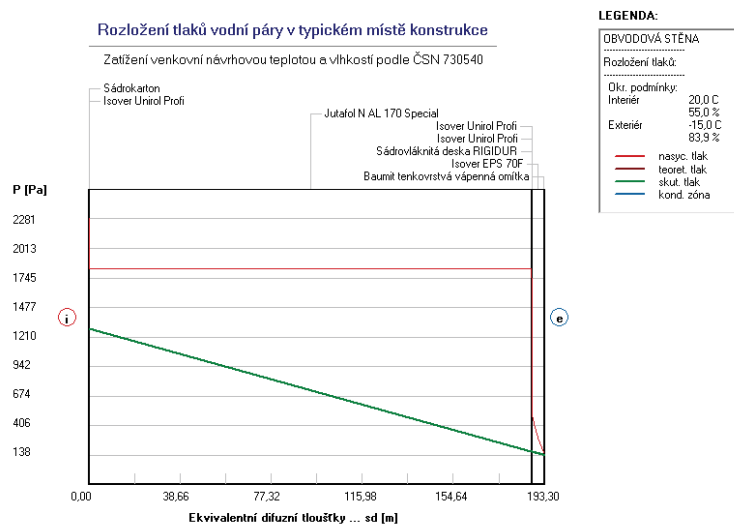
Součinitel prostupu tepla U splňuje doporučené hodnoty pro pasivní dům $U_{pas,20}$.

$$U < U_{pas,20}$$

$$0,136 < 0,18 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Skladba posuzované konstrukce VYHOVUJE z hlediska součinitele prostupu tepla.

Při venkovní návrhové teplotě nižší než -15 °C nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry, viz obrázek č. 20. Konstrukce VYHOVUJE.



Obrázek 20 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny

3.4.3 Zhodnocení výsledků posouzených skladeb konstrukcí

V tabulce níže jsou přehledně sepsány hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí.

Tabulka 6 Zhodnocení součinitelů prostupu tepla

| Stavební systém | Konstrukce střechy | Konstrukce podlahy na terénu | Konstrukce stěny |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | U [W/m ² *K] | U [W/m ² *K] | U [W/m ² *K] |
| Vápenopísková cihla | 0.079 | 0.105 | 0.105 |
| Keramická cihla | 0.079 | 0.105 | 0.134 |
| Dřevostavba | 0.079 | 0.105 | 0.136 |

Z hodnot v tabulce je patrné, že nejlepší hodnoty součinitele prostupu tepla má stavební systém: Vápenopísková cihla s hodnotou 0,105 W/m²*K. Následně je hodnota stavebního systému: Keramická cihla a s největší hodnotou stavební systém: Dřevostavba. Mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou je rozdíl 0,031 W/m²*K. Hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce střechy a konstrukce podlahy na terénu mají shodnou skladbu, proto vychází součinitele prostupu tepla shodné.

3.5 Porovnání výsledků tepelných ztrát

Výpočty tepelných ztrát byly vypracovány v programu Ztráty 2010. Podrobné výpočty viz příloha diplomové práce č. 1.5, 2.5, 3.5.

3.5.1 Tepelné ztráty stavebního systému: Vápenopísková cihla

Tabulka 7 Tepelné ztráty stavební systém: Vápenopísková cihla

| Označení místnosti | Název místnosti | Teplota [°C] | Celková ztráta [W] |
|--------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| 1.01 | Zádveří | 20 | 131 |
| 1.02 | Šatna | 20 | -42 |
| 1.03 | Koupelna | 24 | 256 |
| 1.04 | Tech. místnost | 20 | -25 |
| 1.05 | Obytný prostor | 22 | 1568 |
| 1.06 | Pokoj pro hosty | 20 | 178 |
| 1.07 | Spíž | 20 | -24 |
| 2.01 | Chodba | 20 | 176 |
| 2.02 | WC | 20 | 42 |
| 2.03 | Koupelna | 24 | 267 |
| 2.04 | Sauna | 24 | 125 |
| 2.05 | Pokoj | 20 | 235 |
| 2.06 | Pokoj | 20 | 235 |
| 2.07 | Ložnice | 20 | 410 |

3.5.2 Tepelné ztráty stavebního systému: Keramická cihla

Tabulka 8 Tepelné ztráty stavební systém: Keramická cihla

| Označení místnosti | Název místnosti | Teplota [°C] | Celková ztráta [W] |
|--------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| 1.01 | Zádveří | 20 | 141 |

| | | | |
|-------------|-----------------|----|------|
| 1.02 | Šatna | 20 | -12 |
| 1.03 | Koupelna | 24 | 184 |
| 1.04 | Tech. místnost | 20 | 24 |
| 1.05 | Obytný prostor | 22 | 1443 |
| 1.06 | Pokoj pro hosty | 20 | 206 |
| 1.07 | Spíž | 20 | -9 |
| 2.01 | Chodba | 20 | 269 |
| 2.02 | WC | 20 | 70 |
| 2.03 | Koupelna | 24 | 256 |
| 2.04 | Sauna | 24 | 113 |
| 2.05 | Pokoj | 20 | 216 |
| 2.06 | Pokoj | 20 | 215 |
| 2.07 | Ložnice | 20 | 441 |

3.5.3 Tepelné ztráty stavebního systému: Dřevostavba

Tabulka 9 Tepelné ztráty stavební systém: Dřevostavba

| Označení místnosti | Název místnosti | Teplota [°C] | Celková ztráta [W] |
|--------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| 1.01 | Zádveří | 20 | 162 |
| 1.02 | Šatna | 20 | 23 |
| 1.03 | Koupelna | 24 | 137 |
| 1.04 | Tech. místnost | 20 | 91 |
| 1.05 | Obytný prostor | 22 | 1502 |
| 1.06 | Pokoj pro hosty | 20 | 189 |
| 1.07 | Spíž | 20 | 8 |
| 2.01 | Chodba | 20 | 330 |

| | | | |
|-------------|----------|----|-----|
| 2.02 | WC | 20 | 100 |
| 2.03 | Koupelna | 24 | 223 |
| 2.04 | Sauna | 24 | 89 |
| 2.05 | Pokoj | 20 | 216 |
| 2.06 | Pokoj | 20 | 214 |
| 2.07 | Ložnice | 20 | 430 |

3.5.4 Zhodnocení výsledků výpočtu tepelných ztrát

Tabulka 10 Zhodnocení tepelných ztrát stavebních systémů

| Stavební systém | Celková tepelná ztráta objektu [W] |
|----------------------------|---|
| Vápenopísková cihla | 3535 |
| Keramická cihla | 3559 |
| Dřevostavba | 3712 |

Dle tabulky výše jsou nejmenší ztráty u stavebního systému: Vápenopísková cihla. Jedná se o hodnotu 3535 W. Rozdíl mezi největší a nejmenší tepelnou ztrátou je 177 W.

3.6 Porovnání energetické náročnosti stavebních systémů

Jednotlivé stavební systémy byly vypočítány v programu Energie 2010. Podrobné výpočty viz příloha diplomové práce č. 1.6, 2.6, 3.6.

Rodinný dům byl zhodnocen jako jedna vytápěná zóna. Vytápění je zajištěno pomocí vzduchotechnické jednotky Nilan Compact s podílem 75% s parametry COP 1,8. Doplnkovým zdrojem tepla jsou krbová kamna s podílem 20% a elektrické rohože a fólie s podílem 5%. Zpětné získávání tepla je 77%.

Příprava teplé vody je pomocí vzduchotechnické jednotky Nilan Compact s podílem 100%. V zimních měsících je dopomáháno vzduchotechnické jednotce pomocí elektrické patrony v tepelném čerpadle.

V tabulce č. 11 jsou přehledně vypsány hodnoty, kterých bylo dosaženo ve výpočtu.

Tabulka 11 Hodnoty energetické náročnosti stavebních systémů

| Stavební systém | Vápenopísková cihla | Keramická cihla | Dřevostavba |
|---|------------------------|--------------------|-------------|
| Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² *a] | 10 | 12 | 12 |
| Celková roční dodaná energie [kWh/m ²] | 23 | 26 | 26 |
| Měrná spotřeba energie budovy [kWh/m ² *a] | 23,3 | 25,5 | 25,6 |
| Celková spotřeba primární energie za rok [kWh/m ²] | 43 | 48 | 49 |
| Celková emise CO₂ za rok [kg/m ²] | 9 | 10 | 10 |
| Průměrný součinitel prostupu tepla [W/m ² *K] | 0,16 | 0,17 | 0,17 |

3.6.1 Zhodnocení stavebních systémů dle energetické náročnosti

Z tabulky je patrné, že co se energetické náročnosti budovy týká, vychází nejlépe stavební systém: Vápenopísková cihla. Veškeré uváděné hodnoty jsou ze všech stavebních systémů nejnižší. Stavební systém: Keramická cihla a Dřevostavba jsou si hodnotami velice podobné. Je to z důvodu totožné vnitřní technologie a velmi blízkých hodnot obálky budovy.

3.7 Porovnání nejvyšší vypočítané teploty vzduchu v obytné místnosti

Jednotlivé stavební systémy byly vypočítány v programu Simulace 2010. Podrobné výpočty viz příloha diplomové práce č. 1.7, 2.7, 3.7.

Z důvodu velké plochy prosklení na jižní fasádě domu byla provedena simulace výpočtu tepelné stability v obytné místnosti. Dle ČSN 73 0540-2 pro vyhovující stav musí být nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\Theta_{ai,max} = 27^{\circ}\text{C}$.

Tabulka 12 Teploty vnitřního vzduchu

| Stavební systém | Vápenopísková cihla | Keramická cihla | Dřevostavba |
|--|---------------------|-----------------|-------------|
| Teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] | 25,21 | 24,95 | 24,85 |

3.7.1 Zhodnocení nejvyšší vypočítané teploty vzduchu v obytné místnosti

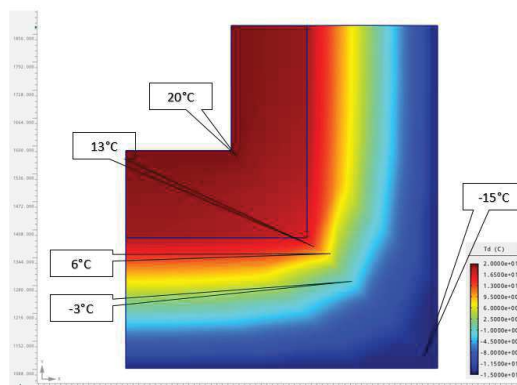
Dle tabulky všechny stavební systémy jsou nižší než maximální hodnota denní teploty vzduchu v místnosti v letním období $\Theta_{ai,max} = 27^{\circ}\text{C}$. Teplota vnitřního vzduchu v letním období VYHOVUJE. Nejlépe je na tom dle porovnání stavební systém: Dřevostavba teplota vnitřního vzduchu bude dosahovat maximálně na hodnotu $24,85^{\circ}\text{C}$. Nejhorším případem je stavební systém: Vápenopísková cihla, kdy teplota vnitřního vzduchu vyšplhá až na hodnotu $25,21^{\circ}\text{C}$.

3.8 Porovnání konstrukčních detailů

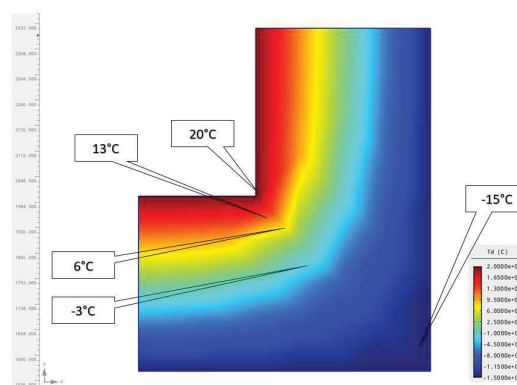
Jednotlivé detaily byly posouzeny v programu Agros 2D. Podrobné posouzení všech konstrukčních detailů viz příloha diplomové práce č. 1.8, 2.8, 3.8.

3.8.1 Porovnání hlavních konstrukčních detailů

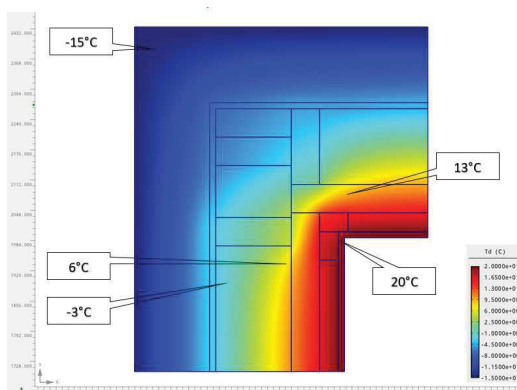
3.8.1.1 Detail nároží obvodové stěny



Obrázek 21 Nároží obvodové stěny - vápenopísková cihla

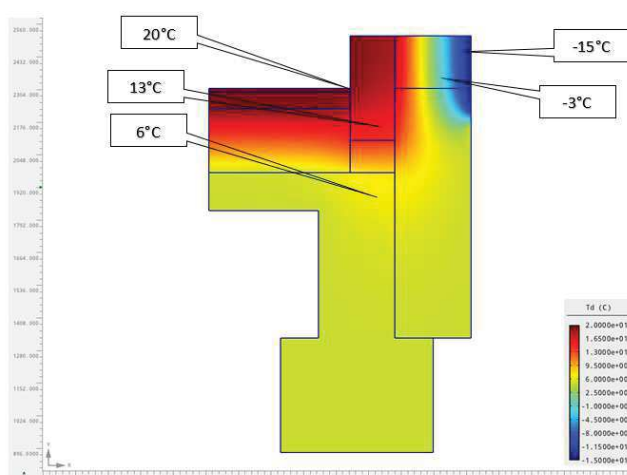


Obrázek 22 Nároží obvodové stěny - keramická cihla

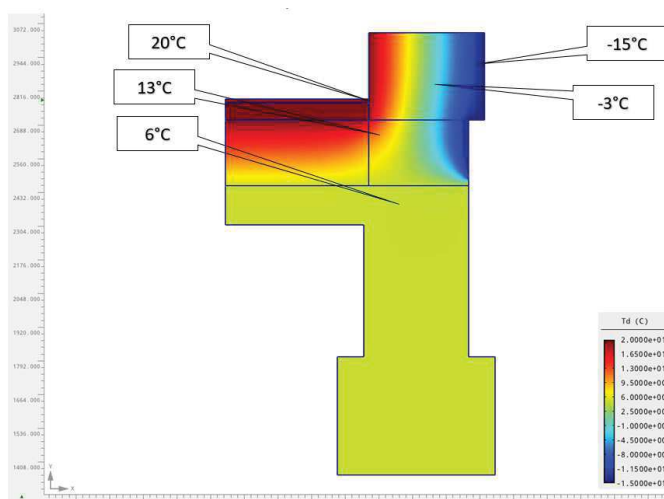


Obrázek 23 Nároží obvodové stěny - dřevostavba

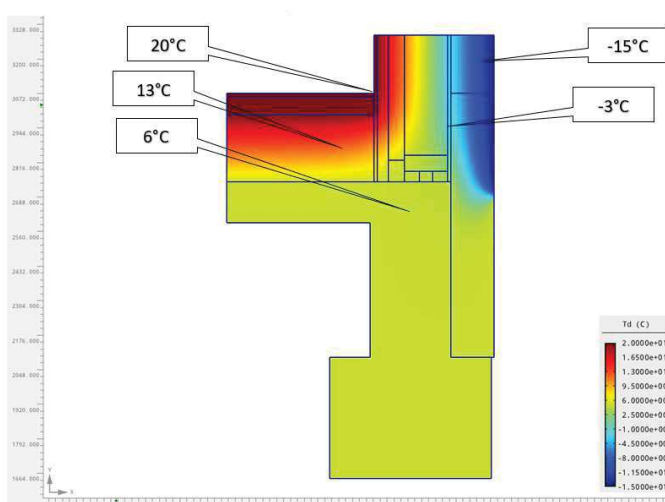
3.8.1.2 Detail založení obvodové stěny



Obrázek 24 Založení obvodové stěny - vápenopísková cihla

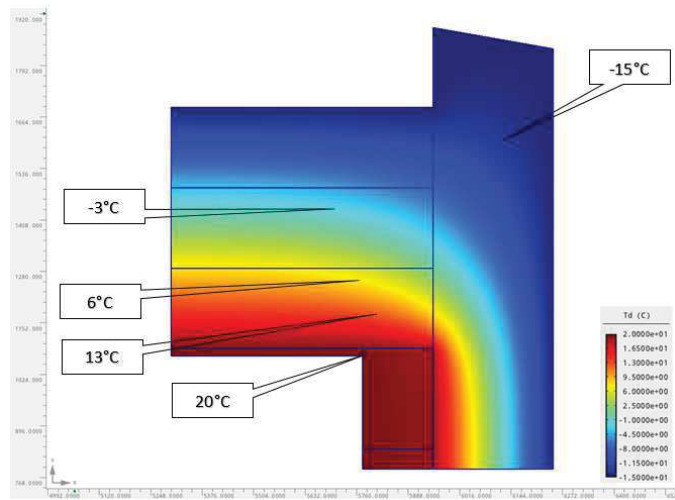


Obrázek 25 Založení obvodové stěny - keramická cihla

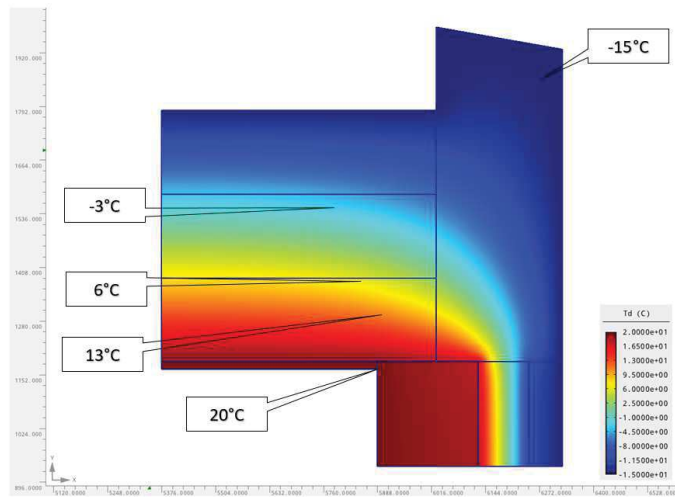


Obrázek 26 Založení obvodové stěny – dřevostavba

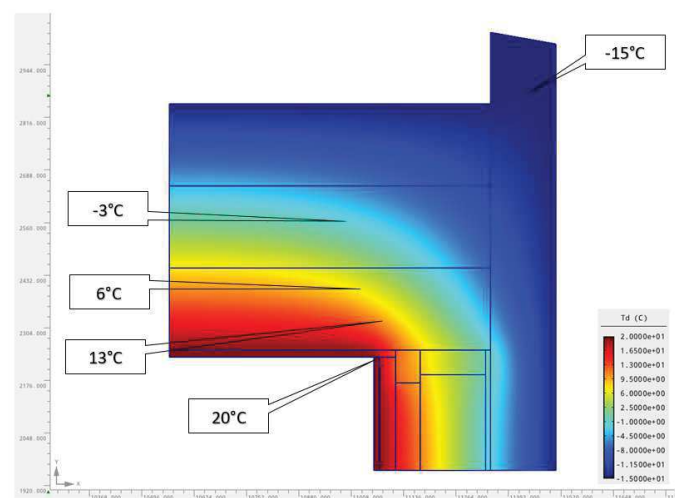
3.8.1.1 Detail nepojení obvodové stěny na šikmou střechu



Obrázek 27 Napojení obvodové stěny na šikmou střechu - vápenopísková cihla

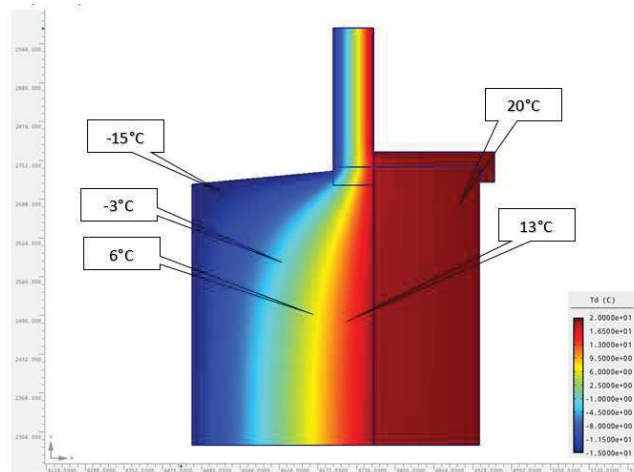


Obrázek 28 Napojení obvodové stěny na šikmou střechu - keramická cihla

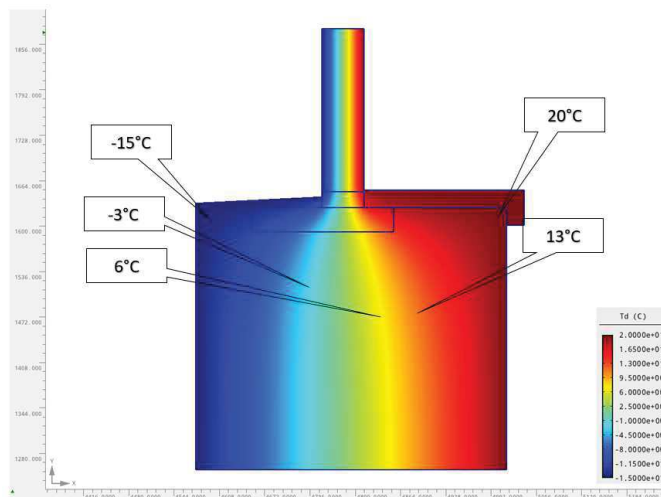


Obrázek 29 Napojení obvodové stěny na šikmou střechu - dřevostavba

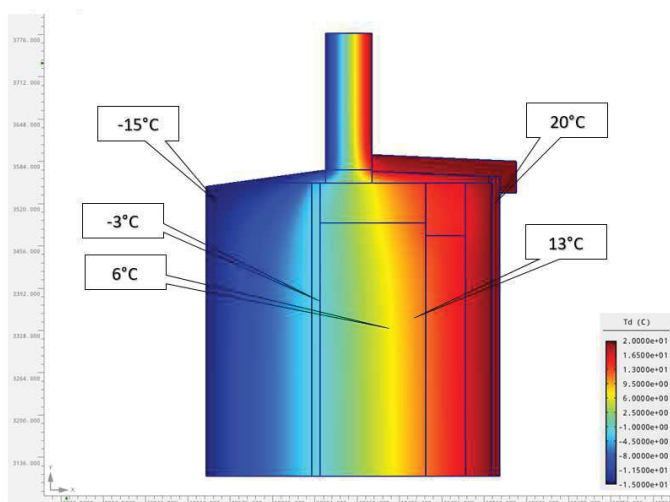
3.8.1.2 Detail parapetu okna



Obrázek 30 Detail parapetu okna - vápenopísková cihla

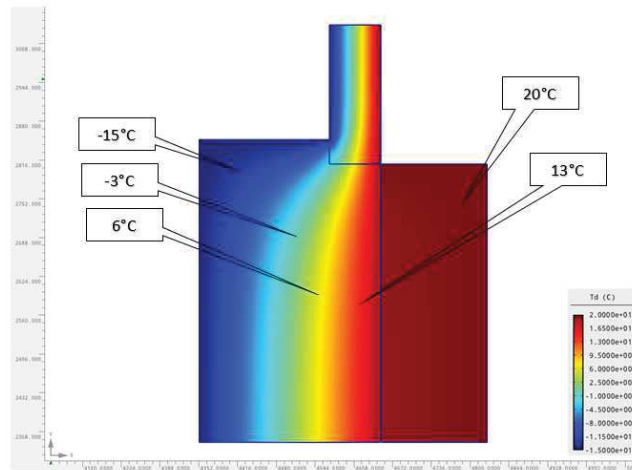


Obrázek 31 Detail parapetu okna - keramická cihla

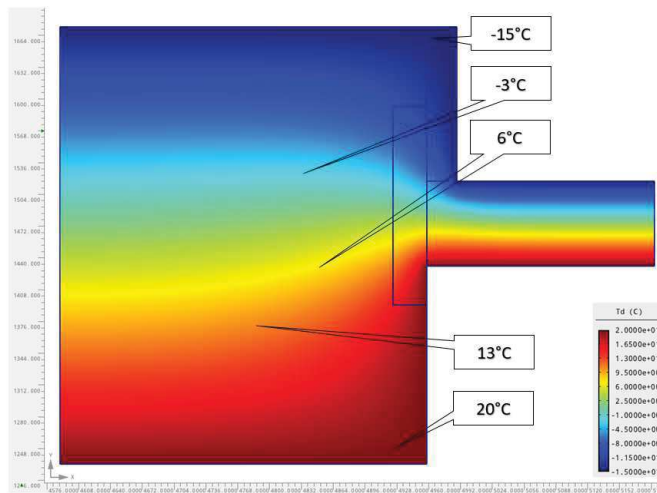


Obrázek 32 Detail parapetu okna – dřevostavba

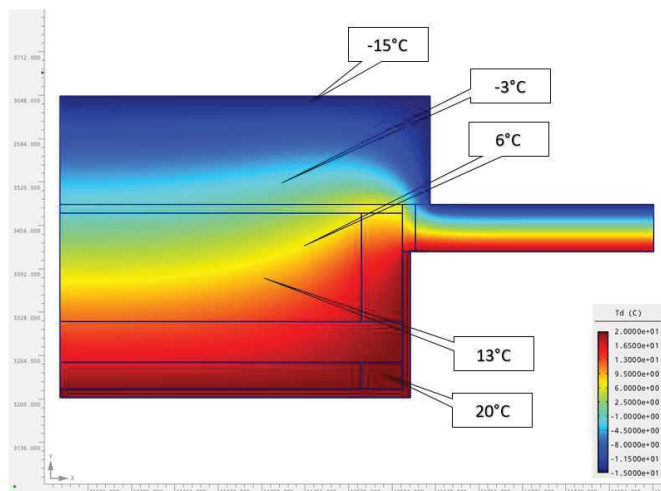
3.8.1.3 Detail ostění okna



Obrázek 33 Detail ostění okna - vápenopísková cihla

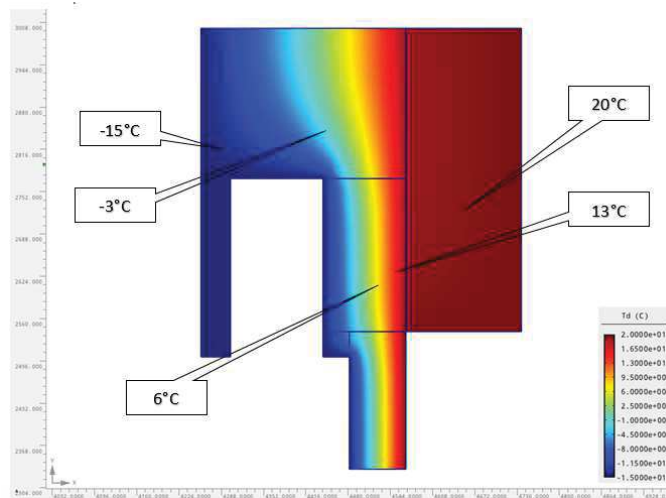


Obrázek 34 Detail ostění okna - keramická cihla

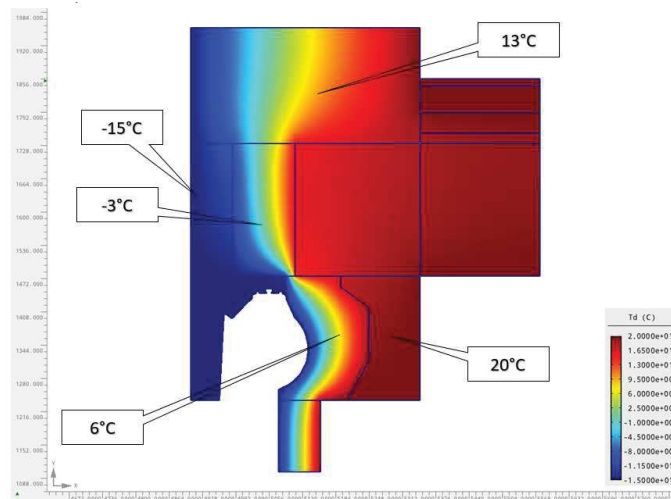


Obrázek 35 Detail ostění okna - dřevostavba

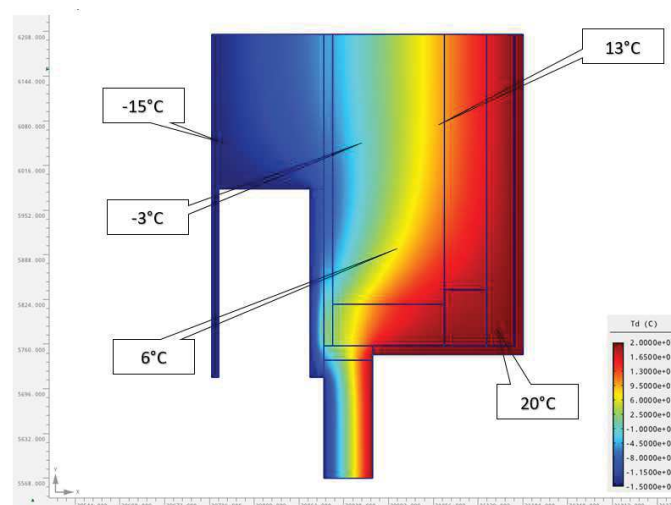
3.8.1.4 Detail nadpraží okna s žaluzií



Obrázek 36 Detail nadpraží okna s žaluzií - vápenopísková cihla

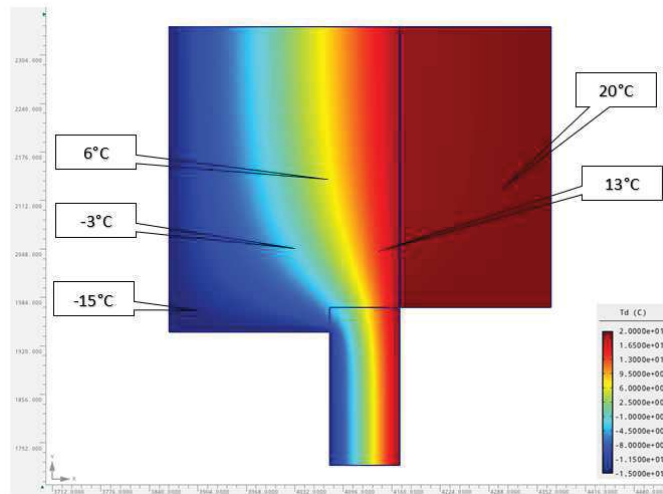


Obrázek 37 Detail nadpraží okna s žaluzií - keramická cihla

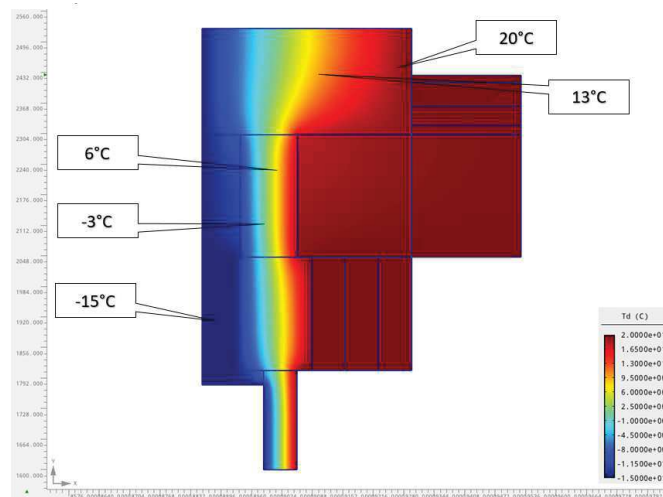


Obrázek 38 Detail nadpraží okna s žaluzií – dřevostavba

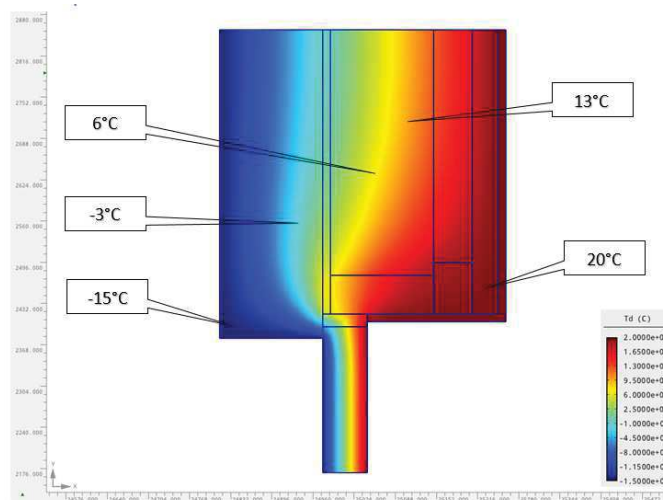
3.8.1.5 Detail nadpraží dveří



Obrázek 39 Detail nadpraží dveří – vápenopísková cihla



Obrázek 40 Detail nadpraží dveří – keramická cihla



Obrázek 41 Detail nadpraží dveří – dřevostavba

3.8.1.6 Zhodnocení teplotních změn

U stavebního systému: Vápenopísková cihla se projevuje vysoká akumulární vlastnost vápenopískového zdiva. Konstrukce těží ze spojení nosného prvku o vysoké objemové hmotnosti s dobrými akumulárními vlastnostmi a prvku izolantu, který dokáže pro nosnou konstrukci zajišťovat trvale stabilní teplotní prostředí. Tato skladba výrazně zvyšuje životnost nosného prvku, jelikož v nosné konstrukci nedochází k výrazným změnám teploty uvnitř zdiva.

Na rozdíl od vápenopískové cihly je stavební systém: Keramická cihla jednovrstvá konstrukce. Konstrukci tvoří keramická tvárnice, která má vyplněné dutiny polystyrenem. Z důvodu jednovrstvého zdiva se v jejím jádru potkávají rozdílné teploty. V interiéru se teploty pohybují mezi 18 °C – 24 °C zatímco na fasádě se může roční proměnlivost pohybovat od -15 °C do 60 °C. Konstrukce tedy nemá takovou akumulární schopnost jako vápenopísková cihla.

U stavebního systémů: Dřevostavba nemá konstrukce velkou akumulární schopnost. Minerální vata, která je v konstrukci navržena je dobrým izolantem, ale nemá dobrou akumulární vlastnost. Teplotní křivka se zde pohybuje na povrchu konstrukce.

3.9 Dotace Nová zelená úsporám

V dnešní době lze na nově budovaný rodinný dům v pasivním standardu získat dotaci na výstavbu. Jedná se již o 3. výzvu pro rodinné domy. Zahájení příjmu dotace bylo 22. října 2015 a ukončení je plánováno na 31. prosince 2021.

Výše dotace pro rodinné domy:

Tabulka 13 Výše dotace

| Podoblast podpory | Popis | Výše podpory [Kč/dům] |
|-------------------|--|-----------------------|
| B. 1 | Dům s velmi nízkou energetickou náročností | 300 000 |
| B. 2 | Dům s velmi nízkou energetickou náročností s důrazem na použití obnovitelných zdrojů energie | 450 000 |

3.9.1 Stavební systém: Vápenopísková cihla

Tabulka 14 Požadované parametry pro program Nová zelená úsporám

| Sledovaný parametr | Označení [jednotky] | Vypočtené hodnoty | Podoblast podpory B. 1 | Splnění podmínek | Podoblast podpory B. 2 | Splnění podmínek |
|--|---|-------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| Výše podpory | Kč/dům | | 300 000 | | 450 000 | |
| Měrná roční potřeba tepla na vytápění | E_A [kWh/ $m^2 \cdot \text{rok}$] | 10 | ≤ 20 | ANO | ≤ 15 | ANO |
| Měrná neobnovitelná primární energie | $E_{pN,A}$ [kWh/ $m^2 \cdot \text{rok}$] | 43 | ≤ 90 | ANO | ≤ 60 | ANO |

| | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici | U [W/m ² *K] | U konstrukcí | \leq Upas,20 | ANO | \leq Upas,20 | ANO |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy | U_{em} [W/m ² *K] | 0,16 | $\leq 0,22$ | ANO | $\leq 0,22$ | ANO |
| Průvzdušnost obálky budovy pro dokončení stavby | n_{50} [1/h] | 0,6 | $\leq 0,6$ | ANO | $\leq 0,6$ | ANO |
| Nejvyšší teplota vzduchu v obytné místnosti | $\Theta_{ai,max}$ [°C] | 25,21 | ≤ 27 | ANO | ≤ 27 | ANO |
| Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla | [-] | ANO | ANO | ANO | ANO | ANO |
| Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu | η [%] | 77 | ≥ 75 | ANO | ≥ 75 | ANO |
| Splnění podmínek pro poskytnutí podpory | - | - | B. 1 | Splnil | B. 2 | Splnil |

3.9.2 Stavební systém: Keramická cihla

Tabulka 15 Požadované parametry pro program Nová zelená úsporám

| Sledovaný parametr | Označení [jednotky] | Vypočtené hodnoty | Podoblast podpory B. 1 | Splnění podmínek | Podoblast podpory B. 2 | Splnění podmínek |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| Výše podpory | Kč/dům | | 300 000 | | 450 000 | |
| Měrná roční potřeba tepla na vytápění | E_A [kWh/m ² *rok] | 12 | ≤ 20 | ANO | ≤ 15 | ANO |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|
| Měrná neobnovitelná primární energie | $E_{pN,A}$ [kWh/ $m^2 \cdot \text{rok}$] | 48 | ≤ 90 | ANO | ≤ 60 | ANO |
| Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici | U [W/ $m^2 \cdot$ K] | U konstrukcí | \leq $U_{pas,20}$ | ANO | \leq $U_{pas,20}$ | ANO |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy | U_{em} [W/ $m^2 \cdot$ K] | 0,17 | $\leq 0,22$ | ANO | $\leq 0,22$ | ANO |
| Průvzdušnost obálky budovy pro dokončení stavby | n_{50} [1/h] | 0,6 | $\leq 0,6$ | ANO | $\leq 0,6$ | ANO |
| Nejvyšší teplota vzduchu v obytné místnosti | $\Theta_{ai,max}$ [°C] | 24,95 | ≤ 27 | ANO | ≤ 27 | ANO |
| Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla | [-] | ANO | ANO | ANO | ANO | ANO |
| Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu | η [%] | 77 | ≥ 75 | ANO | ≥ 75 | ANO |
| Splnění podmínek pro poskytnutí podpory | - | - | B. 1 | Splnil | B. 2 | Splnil |

3.9.3 Stavební systém: Dřevostavba

Tabulka 16 Požadované parametry pro program Nová zelená úsporám

| Sledovaný parametr | Označení [jednotky] | Vypočtené hodnoty | Podoblast podpory B. 1 | Splnění podmínek | Podoblast podpory B. 2 | Splnění podmínek |
|--|---|------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| Výše podpory | Kč/dům | | 300 000 | | 450 000 | |
| Měrná roční potřeba tepla na vytápění | E_A [kWh/ $m^2 \cdot \text{rok}$] | 12 | ≤ 20 | ANO | ≤ 15 | ANO |
| Měrná neobnovitelná primární energie | $E_{pN,A}$ [kWh/ $m^2 \cdot \text{rok}$] | 49 | ≤ 90 | ANO | ≤ 60 | ANO |
| Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici | U [W/ $m^2 \cdot$ K] | U konstrukcí | \leq $U_{pas,20}$ | ANO | \leq $U_{pas,20}$ | ANO |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy | U_{em} [W/ $m^2 \cdot$ K] | 0,17 | $\leq 0,22$ | ANO | $\leq 0,22$ | ANO |
| Průvzdušnost obálky budovy pro dokončení stavby | n_{50} [1/h] | 0,6 | $\leq 0,6$ | ANO | $\leq 0,6$ | ANO |
| Nejvyšší teplota vzduchu v obytné místnosti | $\Theta_{ai,max}$ [°C] | 24,85 | ≤ 27 | ANO | ≤ 27 | ANO |
| Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla | [-] | ANO | ANO | ANO | ANO | ANO |
| Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu | η [%] | 77 | ≥ 75 | ANO | ≥ 75 | ANO |

| | | | | | | |
|--|---|---|------|---------------|------|---------------|
| Splnění podmínek pro poskytnutí podpory | - | - | B. 1 | Splnil | B. 2 | Splnil |
|--|---|---|------|---------------|------|---------------|

3.9.4 Zhodnocení výsledků jednotlivých systémů

Dle tabulek č. 14, 15, 16 jednotlivé stavební systémy splňují veškeré požadavky pro získání nejvyšší dotace B. 2 v hodnotě 450 000 Kč.

4 Závěr

V diplomové práci se zabývám analýzou stavebních systémů pasivních domů.

V textové části diplomové práce je shrnuto, co je to pasivní dům. Jsou zde informace ohledně orientace objektu, správného návrhu, izolace, výplně otvorů, vytápění a dalších informací, bez kterých bych nedokázal zpracovat projekt pro provedení stavby v pasivním standardu.

Pro vypracování diplomové práce a následnou analýzu byly vybrány tři stavební systémy. Konkrétně se jedná o stavební systém vápenopísková cihla, keramická cihla a dřevostavba. Stavební systémy nebyly vybrány náhodně, ale s rozvahou. Stavební systém vápenopísková cihla je systém dvouvrstvé konstrukce, kdy nosnou konstrukcí je vápenopískový blok a izolační vrstvu plní polystyren. Stavební systém keramická cihla je pouze konstrukce jednovrstvá. Nosnou i izolační vrstvu zastává keramická tvárnice, která je vyplněna polystyrenem. U jednovrstvé konstrukce je třeba brát zřetel na složitější řešení detailů a složitější řešení tepelných mostů. Posledním stavebním systémem je vícevrstvá dřevěná montovaná konstrukce dřevostavba. Stavební systémy byly vybrány dle rozdílností skladeb a zároveň tyto stavební systémy patří mezi nepoužívanější konstrukce k výstavbě pasivních domů. To byl hlavní důvod analyzovat, který stavební systém je ten nejvhodnější.

Z důvodu co možná nejdůvěryhodnějšího a nejpřesnějšího srovnání jednotlivých systémů jsou objekty rodinných domů navrženy co možná nejvíce si podobné. Objekty mají stejnou zastavěnou plochu i stejný obestavěný prostor. Rodinné domy jsou dvoupodlažní objekty se sedlovou střechou.

Všechny jsou umístěny na stejném pozemku v obci Horoměřice, par. č.: 425/314. Pozemek je rovinného charakteru a má tu nejlepší možnou orientaci k umístění rodinného domu v pasivním standardu.

Pro jednotlivé stavební systémy jsou vypracovány dokumentace pro provedení stavby, aby bylo srovnání co nejpřesnější. Dále jsou k jednotlivým stavebním systémům vypracovány výpočty nezbytně nutné pro navržení pasivního domu a rozpočty pro ekonomické srovnání. Projektová dokumentace pro provedení stavby, výpočty a rozpočty jsou přílohou diplomové práce.

V praktické části diplomové práce se zabývám analýzou výsledků, výpočtů a rozpočtů. Všechny stavební systémy jsou mezi sebou porovnány a zhodnoceny jak z tepelně technických požadavků tak i z ekonomického hlediska. Ze zhodnocení vyplývá, že nejvhodnější z tepelně technického hlediska je stavební systém vápenopísková cihla, což je promítnuto i do ekonomického hlediska, kde zmíněný stavební systém je nejdražší. Z ekonomického hlediska jako nejlevnější variantou byl zvolen stavební systém keramická cihla.

5 Seznam použité literatury, zdrojů a softwaru

5.1 Literatura

- [1] HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: Doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [2] *Pasivní domy: Speciální ročenka časopisu DŘEVO&Stavby*. Praha: PRO VOBIS, 2017. ISBN 978-80-906132-7-0.
- [3] HUDEC, Mojmir. *Pasivní rodinný dům: Proč a jak stavět*. Praha: Grada Publishing, 2008. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [4] ŠUBRT, ING., Roman. *Tepelné mosty: Pro nízkoenergetické a pasivní domy*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-4059-1.
- [5] NAGY, Eugen. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Přeložil Jaroslava POKORNÁ. Bratislava: Jaga, 2009, 207 s. ISBN 978-80-8076-077-9.

5.2 Normy a vyhlášky

- [6] ČSN EN 1990 Zásady navrhování stavebních konstrukcí
- [7] ČSN 730540 – 2 Tepelná ochrana budov
- [8] ČSN 730540 – 3 Návrhové hodnoty veličin
- [9] ČSN EN ISO 9972 – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda

5.3 Internetové zdroje

- [10] *ISOVER: SAINT-GOBAIN* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.isover-eshop.cz>
- [10] *Kalksandstein* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.kalksandstein.cz/>
- [11] *HELUZ* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/>
- [11] *Centrum pasivního domu* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz>

[12] *Tzbinfo: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>

[13] Pasivní dům. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pasivn%C3%AD_d%C5%AFm

[14] *Projekty domů* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.projektydomu.cz>

[15] *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/>

[15] *Nilan: Větrání s rekuperací* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.nilan.cz>

[17] *Projekty domů* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.projektydomu.cz>

[18] *Internorm: Okna a dveře* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.internorm.com>

[19] *DEKSOFT: Profesionální programy pro stavebnictví* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://stavebni-fyzika.cz>

[20] *Nízkoenergetický dům* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.nizkoenergetickydum.cz>

5.4 Použitý software

AutoCad 2018

Microsoft Excel 2016

Microsoft Word 2016

Fin 2D

Kros 4

Teplo 2014

Ztráty 2010

Energie 2010

Simulace 2010

Agros 2D

6 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Ideální tvar domu | 11 |
| Obrázek 2 Orientace pasivního domu na pozemku | 12 |
| Obrázek 3 Základní princip pasivního domu | 12 |
| Obrázek 4 Správné a špatné řešení izolace | 14 |
| Obrázek 5 Předsazená montáž výplní otvorů | 16 |
| Obrázek 6 Předsazená montáž výplní otvorů | 17 |
| Obrázek 7 Stínění v letním a zimním období | 18 |
| Obrázek 8 Správné a nesprávné řešení vzduchotěsnosti objektu | 19 |
| Obrázek 9 Přelepení spáry pomocí pásky AIRSTOP | 20 |
| Obrázek 10 Provedení prostupů skrz vzduchotěsnou obálku | 20 |
| Obrázek 11 Blower door - test | 21 |
| Obrázek 12 Blower door - test | 21 |
| Obrázek 13 Větrání s rekuperací | 22 |
| Obrázek 14 Rozdíl v nákladech u pasivního a klasického domu | 24 |
| Obrázek 15 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci střechy | 41 |
| Obrázek 16 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci podlahy | 42 |
| Obrázek 17 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny, tl. 175 mm | 43 |
| Obrázek 18 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny, tl. 200 mm | 44 |
| Obrázek 19 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny | 45 |
| Obrázek 20 Rozložení tlaků vodní páry v konstrukci stěny | 46 |
| Obrázek 21 Nároží obvodové stěny - vápenopísková cihla | 54 |
| Obrázek 22 Nároží obvodové stěny - keramická cihla | 54 |
| Obrázek 23 Nároží obvodové stěny - dřevostavba | 54 |
| Obrázek 24 Založení obvodové stěny - vápenopísková cihla | 55 |
| Obrázek 25 Založení obvodové stěny - keramická cihla | 55 |
| Obrázek 26 Založení obvodové stěny – dřevostavba | 55 |
| Obrázek 27 Napojení obvodové stěny na šikmou střechu - vápenopísková cihla | 56 |
| Obrázek 28 Napojení obvodové stěny na šikmou střechu - keramická cihla | 56 |
| Obrázek 29 Napojení obvodové stěny na šikmou střechu - dřevostavba | 56 |
| Obrázek 30 Detail parapetu okna - vápenopísková cihla | 57 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 31 Detail parapetu okna - keramická cihla | 57 |
| Obrázek 32 Detail parapetu okna – dřevostavba | 57 |
| Obrázek 33 Detail ostění okna - vápenopísková cihla | 58 |
| Obrázek 34 Detail ostění okna - keramická cihla | 58 |
| Obrázek 35 Detail ostění okna - dřevostavba | 58 |
| Obrázek 36 Detail nadpraží okna s žaluzií - vápenopísková cihla | 59 |
| Obrázek 37 Detail nadpraží okna s žaluzií - keramická cihla | 59 |
| Obrázek 38 Detail nadpraží okna s žaluzií – dřevostavba | 59 |
| Obrázek 39 Detail nadpraží dveří – vápenopísková cihla..... | 60 |
| Obrázek 40 Detail nadpraží dveří – keramická cihla | 60 |
| Obrázek 41 Detail nadpraží dveří – dřevostavba | 60 |

7 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Hodnoty součinitele prostupu tepla U..... | 15 |
| Tabulka 2 Rozpočet stavební systém: Vápenopísková cihla | 32 |
| Tabulka 3 Rozpočet stavební systém: Keramická cihla | 33 |
| Tabulka 4 Rozpočet stavební systém: Dřevostavba | 35 |
| Tabulka 5 Zhodnocení rozpočtů | 36 |
| Tabulka 6 Zhodnocení součinitelů prostupů tepla | 47 |
| Tabulka 7 Tepelné ztráty stavební systém: Vápenopísková cihla | 48 |
| Tabulka 8 Tepelné ztráty stavební systém: Keramická cihla | 48 |
| Tabulka 9 Tepelné ztráty stavební systém: Dřevostavba | 49 |
| Tabulka 10 Zhodnocení tepelných ztrát stavebních systémů | 50 |
| Tabulka 11 Hodnoty energetické náročnosti stavebních systémů | 51 |
| Tabulka 12 Teploty vnitřního vzduchu | 53 |
| Tabulka 13 Výše dotace | 62 |
| Tabulka 14 Požadované parametry pro program Nová zelená úsporám | 62 |
| Tabulka 15 Požadované parametry pro program Nová zelená úsporám | 63 |
| Tabulka 16 Požadované parametry pro program Nová zelená úsporám | 65 |

8 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Stavební systém: Vápenopísková cihla

Příloha č. 1.1 – Projektová dokumentace pro provádění stavby

Příloha č. 1.2 – Rozpočet rodinného domu v programu KROS 4

Příloha č. 1.3 – Průkaz energetické náročnosti „PENB“

Příloha č. 1.4 – Komplexní posouzení skladeb stavebních konstrukcí z hlediska šíření tepla a vodní páry v programu Teplo 2014

Příloha č. 1.5 – Výpočet tepelných ztrát objektu v programu Ztráty 2010

Příloha č. 1.6 – Výpočet energetické náročnosti v programu Energie 2010

Příloha č. 1.7 – Výpočet nejvyšší teploty vzduchu v obytné místnosti v programu Simulace 2010

Příloha č. 1.8 – Posouzení konstrukčních detailů v programu Agros2D

Příloha č. 2 – Stavební systém: Keramická cihla

Příloha č. 2.1 – Projektová dokumentace pro provádění stavby

Příloha č. 2.2 – Rozpočet rodinného domu v programu KROS 4

Příloha č. 2.3 – Průkaz energetické náročnosti „PENB“

Příloha č. 2.4 – Komplexní posouzení skladeb stavebních konstrukcí z hlediska šíření tepla a vodní páry v programu Teplo 2014

Příloha č. 2.5 – Výpočet tepelných ztrát objektu v programu Ztráty 2010

Příloha č. 2.6 – Výpočet energetické náročnosti v programu Energie 2010

Příloha č. 2.7 – Výpočet nejvyšší teploty vzduchu v obytné místnosti v programu Simulace 2010

Příloha č. 2.8 – Posouzení konstrukčních detailů v programu Agros2D

Příloha č. 3 – Stavební systém: Dřevostavba

Příloha č. 3.1 – Projektová dokumentace pro provádění stavby

Příloha č. 3.2 – Rozpočet rodinného domu v programu KROS 4

Příloha č. 3.3 – Průkaz energetické náročnosti „PENB“

Příloha č. 3.4 – Komplexní posouzení skladeb stavebních konstrukcí z hlediska šíření tepla a vodní páry v programu Teplo 2014

Příloha č. 3.5 – Výpočet tepelných ztrát objektu v programu Ztráty 2010

Příloha č. 3.6 – Výpočet energetické náročnosti v programu Energie 2010

Příloha č. 3.7 – Výpočet nejvyšší teploty vzduchu v pobytové místnosti v programu Simulace 2010

Příloha č. 3.8 – Posouzení konstrukčních detailů v programu Agros2D