

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav základního zpracování dřeva

**Dřevostavba rodinného domu v pasivním
standardu**

Diplomová práce

2015/2016

Bc. Martin Sluka

Zadání

Čestné prohlášení

*Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Dřevostavba rodinného domu v pasivním standardu** zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby moje bakalářská práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora MENDELU o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.*

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně, dne 7. 4. 2016

Podpis.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat paní doc. Dr. Ing. Zdeňce Havířové za její rady při vedení a zpracovávání diplomové práce. Děkuji firmě Slavona, za poskytnutí užitečných informací o vlastnostech oken typu progression. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině za podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Jméno: Martin Sluka

Název práce: Dřevostavba rodinného domu v pasivním standardu

Diplomová práce se zabývá návrhem rodinného domu v pasivním standardu včetně výkresové a výrobní dokumentace. První část se zaměřuje na obecná pravidla a doporučení pro navrhování nízkoenergetických budov. Druhá praktická část se zaměřuje na tepelně technické parametry budovy. V poslední části jsou výsledky porovnávány s požadavky norem a prokázání energetické náročnosti budovy.

Klíčová slova

- Pasivní dům
- Nízkoenergetické domy
- Dřevostavba

Abstract

Author: Martin Sluka

Title: Passive timber house design

The thesis is focused on design of a timber family house in passive standard including project and production documentation. The first part deals with general principles and recommendations for low energy building design. The second part is practical one and focuses on thermal-technical building parameters. The last part consists of comparison of results to standards and demonstration of the building energy performance.

Key words

- Passive house
- Low energy house
- Timber house

1 Obsah

1	Obsah.....	8
2	Úvod.....	10
3	Cíl práce.....	11
4	Metodika.....	12
5	Pasivní dům	13
5.1	Požadavky	14
5.2	Hodnocení pasivních domů.....	14
5.3	Směrování evropského vývoje	15
6	Návrh řešeného domu.....	17
6.1	Výběr konstrukčního systému.....	17
6.2	Dispoziční řešení.....	17
6.3	Velikost a tvar budovy	19
6.4	Konstrukce	20
6.4.1	Obvodové stěny	20
6.4.2	Vnitřní stěny	21
6.4.3	Strop.....	22
6.4.4	Střešní konstrukce.....	22
6.4.5	Základová konstrukce	23
6.4.6	Stavební otvory	24
7	Tepelně technické posouzení.....	26
7.1	Součinitel prostupu tepla.....	26
7.1.1	Vzorový příklad	27
7.2	Kondenzace vodních par v konstrukci	27
7.3	Vnitřní povrchová teplota	28
7.4	Výsledky	28
7.4.1	Obvodová stěna.....	29
7.4.2	Základová konstrukce	32
7.4.3	Střešní konstrukce.....	33
7.5	Vzduchotěsnost	36
7.6	Tepelné zisky a ztráty.....	37
7.6.1	Tepelná ztráta prostupem.....	37

7.6.2	Tepelné ztráty větráním	37
7.6.3	Solární tepelné zisky	38
7.6.4	Vnitřní tepelné zisky	38
8	Vyhodnocení projektu	39
9	Diskuze	41
10	Závěr	42
11	Summary	43
12	Použitá literatura	44
13	Seznam obrázků, tabulek a grafů	46
14	Přílohy	47

2 Úvod

Vývoj v pozemním stavitelství je charakterizován zvyšujícími se požadavky na tepelnou ochranu budov. Výsledkem jsou neustále se zvyšující požadavky na tepelně technické vlastnosti budov. Požadavky na pasivní domy se však stále výrazně zpřísňují, a je tedy nezbytné hledat a vyvíjet nová řešení a výrobky, které splňují ty nejnáročnější předpisy.

Energeticky nenáročné domy spotřebovávají o 85-90% méně energie než běžné stavby. Pojem pasivní dům vznikl na konci osmdesátých let minulého století v Německu. V současnosti jsou postaveny desetitisíce pasivních domů v Evropské unii, přičemž prvenství drží Německo. Nejviditelnější zemí je ale Rakousko, kde je díky politické a finanční podpoře nejdynamičtější růst počtu pasivních domů. V Česku i přes výrazně rostoucí trend výstavby pasivních domů, kdy každým rokem vzrůstá počet postavených pasivních domů na dvojnásobek, se počet pohybuje jen ve stovkách. (Bárta 2013)

V těchto stále se zpřísňujících podmínkách se dřevo popřípadě dřevostavby jeví jako výborný materiál. Dřevo má skvělé tepelně technické a mechanické vlastnosti v porovnání s jeho hustotou. U dřevostaveb jsme schopni dodržet tepelně technické vlastnosti stanovené normou relativně subtilní konstrukcí. Pasivní dřevostavba splňuje i ekologické nároky na stavbu a likvidaci.

3 Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh rodinného domu v pasivním standardu a konstrukční řešení problémových detailů s omezením tepelných mostů a s tím spojených nežádoucích tepelných ztrát budovy. Obsahem práce je vypracování potřebné výkresové a výrobní dokumentace včetně výpisu materiálů.

Důraz je kladen na návrh skladby jednotlivých skladeb konstrukce a posouzením obvodového pláště z hlediska požadavků na tepelnou ochranu budov a to především na výpočet součinitele prostupu tepla, kondenzace a tepelných mostů.

Hlavním cílem práce je navržený pasivní dům ověřit ve výpočtovém programu Passive House Planning Package (PHPP), který se používá pro certifikaci pasivních domů, a prokázat tak energetickou náročnost budovy, zda vyhovuje pasivnímu standardu.

4 Metodika

Diplomová práce se rozděluje na několik částí. V první teoretické části bude vysvětlen pojem pasivní dům a požadavky stanovené a definované v ČSN 73 0540-2 (2011) tepelná ochrana budov. Dále pak směřování evropského vývoje- směrnice EPBD II.

V druhé praktické části bude nejprve obecně popsána problematika návrhu pasivního domu a následně ukázány konkrétní náležitosti navrhovaného rodinného domu. Tato část diplomové práce se bude konkrétně zabývat: založením stavby, skladbou obvodových stěn, skladbou střechy, umístěním objektu vůči světovým stranám, dispozicí objektu, stínění v letních měsících a osazováním stavebních otvorů. Všechny tyto části budou mít i svoji výkresovou dokumentaci zpracovanou podle ČSN 01 3420 Výkresy pozemních staveb v počítačovém programu AutoCAD. Dále bude zhotovena jednoduchá vizualizace celého objektu také v programu AutoCAD. Všechna výkresová dokumentace bude přiložena k diplomové práci jako příloha.

V poslední části se diplomová práce zaměří na tepelně technické posouzení budovy. Specifické detaily stavby z druhé části budou podrobeny výpočtu v programech Area 2014 a Teplo 2014 a zhodnoceny dle příslušných norem. U konstrukce střechy bude proveden výpočet kondenzace vodní páry v provětrávané mezeře pomocí programu Mezera 2014. V této části se bude posuzovat i budova jako celek a to především pomocí certifikačního nástroje PHPP. Na konci třetí části bude provedeno statické posouzení vybraných konstrukcí a to konstrukci stropu, konstrukci střechy a pergoly. Příslušné výsledky budou ve zkrácené míře interpretovány. Kompletní výpočetní protokoly budou přiloženy jako příloha diplomové práce.

5 Pasivní dům

Název pasivní dům vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jsou to vnější zisky ze slunečního záření procházejícího okny a vnitřní zisky z tepla vyzařovaného lidmi a spotřebiči, díky kvalitní izolaci a dalším prvkům tyto zisky „neutíkají ven“ a po většinu roku postačují k zajištění dostatečné teploty v místnostech. (Centrum pasivního domu 2016)

Pasivní budovy jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebnou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením. Základní informace o pasivních budovách jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2. (Tywoniak 2012)

Tabulka 1 Přehled energetické náročnosti budov (Centrum pasivního domu)

domy běžné ve 70.- 80. letech	současná novostavba	nízkoenergetický dům	pasivní dům	nulový dům, dům s přebytkem tepla
charakteristika				
zastaralá otopná soustava, zdroj tepla je velkým zdrojem emisí; větrá se pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se	klasické vytápění pomocí plynového kotle o vysokém výkonu, větrání otevřením okna, konstrukce na úrovni požadavků normy	otopná soustava o nižším výkonu, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplené konstrukce, řízené větrání	řízené větrání s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	parametry min. na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů
potřeba tepla na vytápění [kWh/(m²a)]				
většinou nad 200	80 - 140	méně než 50	méně než 15	méně než 5

5.1 Požadavky

Pasivní domy jsou takové stavby, jejichž roční spotřeba tepla na vytápění je tak nízká, že se u nich obejdeme bez rozvodu aktivní výhřevné energie.

Pasivní domy musí splňovat několik požadavků

- Měrná potřeba tepla na vytápění objektu je maximálně $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Dle ČSN EN ISO 13790 s využitím vstupních údajů uvedených v TNI 73 0329 a TNI 73 0330.
- Neprůvzdušnost obálky budovy n_{50} , ověřená tlakovou zkouškou, nesmí překročit hodnotu $0,6 \text{ h}^{-1}$, kdy při přetlaku a podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit netěsnostmi v obálce víc než 60% vnitřního objemu vzduchu. Dle ČSN EN 13829, TNI 730330 a TNI 730329.
- Celkové množství primární energie spojené s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je nižší než $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- Okna s celkovým součinitelem prostupu tepla U_w maximálně do $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ podle ČSN EN ISO 10077-1 a ČSN 73 0540-2
- Součinitel prostupu tepla zasklení U_g maximálně do $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. stanovené výpočtem nebo dle certifikátu. Zachování vysoké hodnoty prostupu slunečního záření $g \geq 50\%$, tak aby i v zimních měsících docházelo k tepelným ziskům
- Efektivita zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu (rekuperace) minimálně 75% při zachování nízké spotřeby elektrické energie.
- Minimální ztráty při přípravě a rozvodu teplé užitkové vody
- Vysoce efektivní využívání elektrické energie v domácnosti

5.2 Hodnocení pasivních domů

V současné době se na hodnocení pasivních domů používá dvojí metodika TNI a PHPP.

Hodnocení dle TNI

- Používá se pro zjednodušené hodnocení energetické náročnosti domů
- Jednotný postup pro klasifikaci a srovnání staveb dle TNI 73 0329
- Paušální započtení vnitřních tepelných zisků

Hodnocení dle PHPP

- Návrhový nástroj, který byl vytvořen pro výpočet energetické bilance pasivních domů
- Místní klimatická data
- Návrh systému vytápění a ohřevu teplé vody
- Určení přehřívání v letních měsících

Lze předpokládat, že pro různé dotační programy se bude používat metodika podle TNI, která umožňuje porovnání domů, a metodika podle PHPP bude aplikována na skutečné hodnocení domu v konkrétní lokalitě. Byla prováděna různá porovnání dosažených hodnot a většina domů pohybujících se podle TNI na hranici měrné potřeby tepla na vytápění kolem 20 kWh/ (m².a) vycházela podle PHPP kolem 25-30 kWh/ (m².a). (Hudec 2013)

5.3 Směřování evropského vývoje

Evropská unie již mnoho let usiluje o snižování energetické náročnosti budov a dopadu výroby energie na životní prostředí. To je zřejmé z vydaných legislativních dokumentů z evropských směrnic, které kladou důraz na snižování spotřeby energie. Nové i rekonstruované budovy musí být prováděny tak, aby byla zaručena co nejmenší spotřeba energie na celou dobu jejich životnosti. (Borák, 2012)

V roce 2002 vznikla směrnice Evropského parlamentu a Rady o energetické náročnosti budov 2002/91/EC (Energy Performance of Buildings Directive, zkráceně EPBD), která se přenesla do naší národní legislativy zákonem č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, později nahrazený zákonem č. 318/2012 Sb.

Evropské orgány následně vydaly v roce 2010 přepracovanou verzi - tzv. Směrnicí EPBD II (2010/31/EU), která se nyní implementuje do našich zákonů. EPBD II stanovuje, aby měly nové budovy do roku 2020 (a nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci už do roku 2018) téměř nulovou spotřebu energie. Znamená to, že jejich energetická náročnost je velmi nízká nebo nulová a ve značném rozsahu je pokryta energií získanou z obnovitelných zdrojů. (Pacáková, 2015)

Evropská unie se také zavázala podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU splnit do konce roku 2020 tzv. *výzvu 20-20-20*. Členské státy se zavazují, že společně splní:

1. snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 20 % oproti úrovni z roku 1990;
2. zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v celkové spotřebě EU na 20 %;
3. zvýšení energetické účinnosti o 20%.

V těchto souvislostech bylo připraveno nové znění základní technické normy pro tepelnou ochranu budov ČSN 73 0540-2 (v platnosti od 1. 11. 2011 – kapitola 3). Splnění požadavků této normy je chápáno jako splnění odpovídajících normových hodnot ve vyhlášce č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, a tím i stavebního zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu.

6 Návrh řešeného domu

V této kapitole bude popsán a zdůvodněn návrh rodinného domu v pasivním standardu. Tento návrh se řídil přísnými kritérii na tepelně technické vlastnosti staveb. Při návrhu jednotlivých skladeb konstrukce se bral ohled na výběr materiálů z obnovitelných zdrojů a snadnou recyklaci. Velký důraz byl kladen na eliminaci tepelných mostů, které mají nežádoucí vliv na potřebu tepla pro vytápění.

6.1 Výběr konstrukčního systému

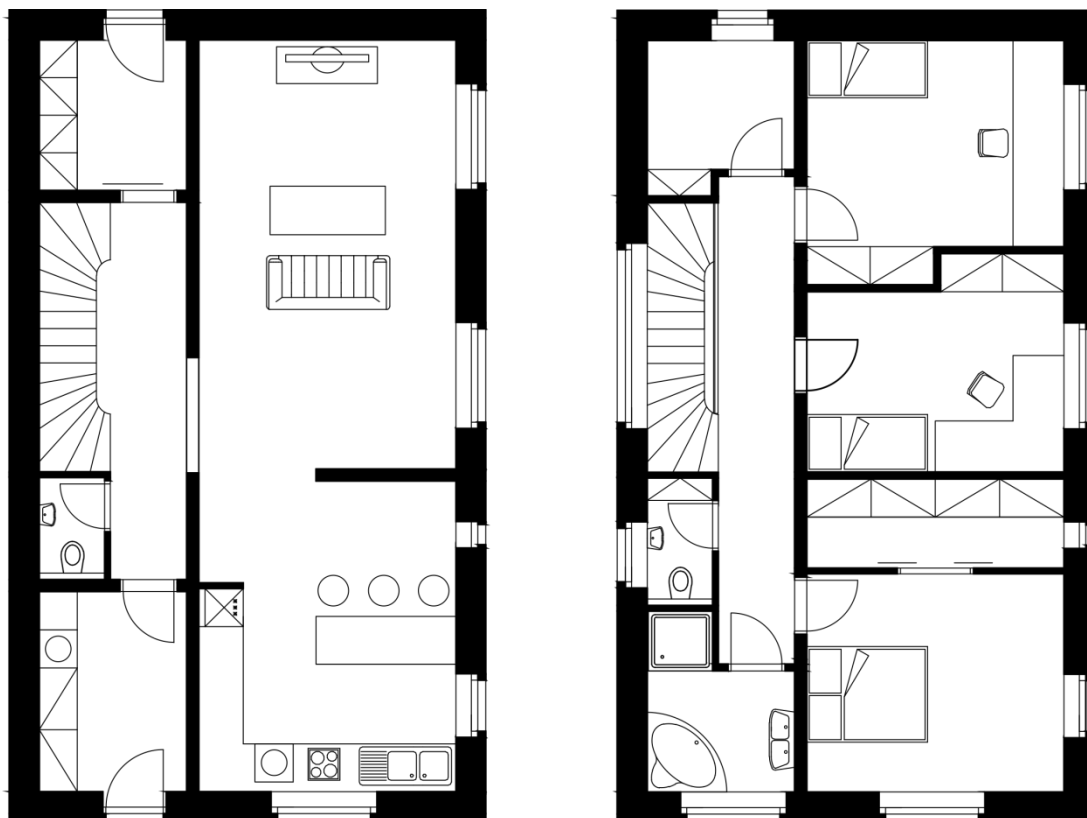
Rozhodujícím kritériem při výběru systému byl výpočet součinitele prostupu tepla a složitost konstrukčních detailů. Z těchto důvodů byly z porovnávání vyřazeny konstrukční systémy s nedostatečnými vlastnostmi, nebo s výskytem tepelných mostů. Porovnávaly se dva konstrukční systémy rámová konstrukce a konstrukce pomocí CLT panelů. (viz příloha A-XVII) Při výpočtu rámové konstrukce bylo dosaženo součinitele prostupu tepla $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ při tloušťce konstrukce 465 mm. U výpočtu CLT panelů bylo tohoto součinitele dosaženo až při tloušťce 535 mm s použitím stejných materiálů. Na základě výsledků výpočtu byla jako konstrukční systém zvolena dřevěná rámová konstrukce s panelovou montáží. Tento konstrukční systém byl vybrán z důvodu dosažení požadovaných tepelně technických vlastností při zachování relativně malé tloušťky stěny a relativně snadné montáže s jednoduchými konstrukčními detaily. Rámová konstrukce bude navržena jako platformframe s důvodu prefabrikace a dopravy.

6.2 Dispoziční řešení

Objekt je navržen jako dvoupodlažní nepodsklepený. Dispozičně je dům navržen jako 4+kk, v prvním nadzemním podlaží se nachází zádveří chodba se schodištěm, technická místnost, WC a obytná část s kuchyní. Ve druhém nadzemním podlaží se nachází chodba, koupelna, pracovna, ložnice, balkon a dva dětské pokoje. Obytné místnosti jsou umístovány tak, aby využívaly tepelných solárních zisků. Technické a společenské prostory jsou situovány do 1. NP a odpočinkové do 2NP. Mezi jednotlivými pokoji jsou protihlukové stěny s vestavěným nábytkem pro zlepšení zvukotěsnosti. K objektu přiléhá terasa, na kterou je možno vejít z obývacích prostorů. Terasu zastřešuje samonosná pergola, která tvoří písmeno L. První část pergoly je zastřešena jen pomocí dřevěných lamel, které budou sloužit jako slunolam. Druhá část

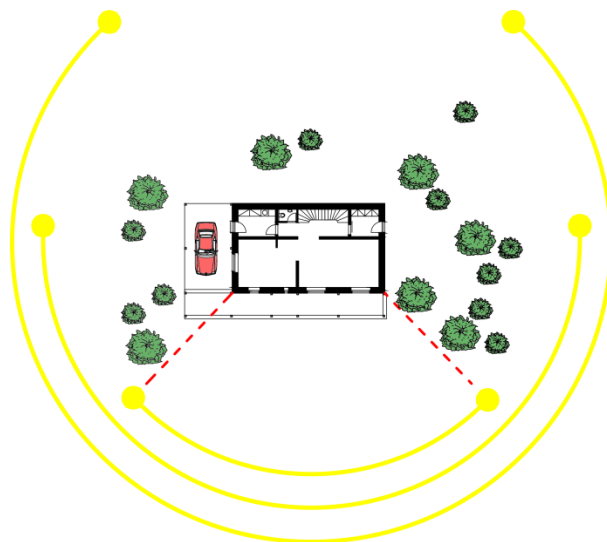
tvoří, která je zastřešena pomocí dřevěných prken, tvoří garážové stání a balkon. Z garážového stání je přímý vstup do technické místnosti.

Půdorysný rozměr domu je 12,75x7,5 m. Půdorysný rozměr včetně terasy stání je 16,75x9,5 m. Zastavěná plocha: 159,13 m², podlahová plocha: 2x 77,36 m², obestavěný prostor: 669,38 m³.



Obrázek 1 Dispozice objektu 1.NP, 2.NP (vytvořeno autorem)

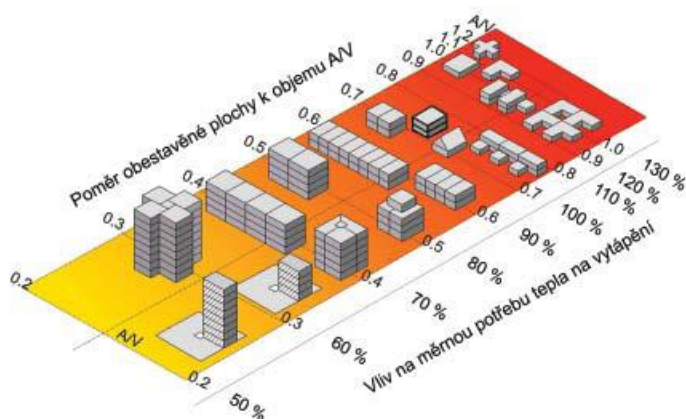
Návrh nemá konkrétní umístění, ale pro výpočet byla zvolena klimatická oblast Brno s nadmořskou výškou 200 m. n. m. Předpokládané umístění je v okrajové části Brna s okolní městskou zástavbou a rovným terénem. Objekt je umístěn jeho delší prosklenou stranou k jihu, pro maximalizaci tepelných zisků v zimním období. Na severní straně jsou okna omezena. Hlavní vstup je situován z východu. Vedlejší vstup do technické místnosti je situován na stranu západní. Parcela je na východní a západní části osázena opadavými stromy, které budou využity pro stínění letním období. Optimální umístění objektu vůči poloze slunce je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2 Umístění objektu na pozemku (vytvořeno autorem)

6.3 Velikost a tvar budovy

Velikost navrhovaného objektu je přizpůsobena získání dobrého poměru ochlazovaných ploch a vytápěného objemu. Tvar je navržen tak, aby byl jednoduchý a málo členitý s eliminací složitých detailů, ve kterých by mohly vznikat tepelné mosty. Navržený objekt je kvádr o půdorysných rozměrech 12,75x7,5 m a výškou 6,5 m. Tento objekt je zastřešen plochou střechou se sklonem 1°. Plochá střecha je vybrána z důvodů dobrých tepelně technických vlastností, jednoduchostí konstrukčních detailů a šetření materiálu. Světlá výška místností je 2,6m tento rozměr je předepsán normou a zároveň respektuje poměr A/V. Tento poměr má vliv na potřebu měrného tepla pro vytápění (viz obrázek 3).



Obrázek 3 Vliv poměru A/V na potřebu tepla pro vytápění (centrum pasivního domu)

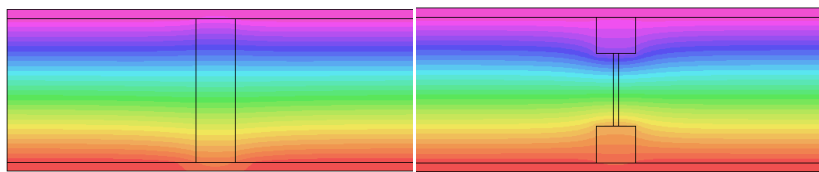
6.4 Konstrukce

V této kapitole budou popsány skladby konstrukcí, které tvoří obálku budovy.

6.4.1 Obvodové stěny

Jedná se o konstrukci difúzně otevřenou, která respektuje využívání přírodních obnovitelných materiálů. U tohoto systému byla věnována pozornost použitým materiálům a jejich umístění v konstrukci. U difúzně otevřeného systému je nutné sledovat faktor difúzního odporu materiálů, který by měl od interiéru do exteriéru klesat, aby nedocházelo k nežádoucí kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. Faktory použitých materiálů můžete nalézt v příloze A. Tento systém je v souladu s evropskou směrnicí EPBD II a tak i ideologií trvale udržitelného rozvoje.

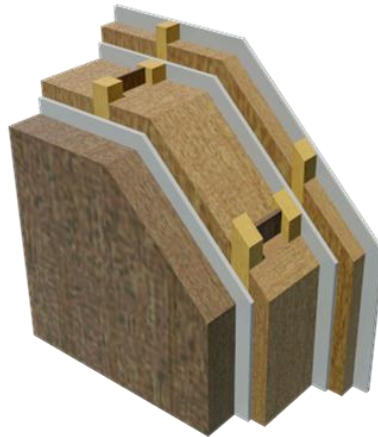
Hlavním nosným prvkem je I nosník Steico SW60. Tento konstrukční prvek byl vybrán z důvodů lepších výsledků v porovnávání s masivním dřevěným prvkem. I nosník vykazuje menší tepelné ztráty a přijatelnější rozložení teplot bez vzniku tepelných mostů. Horní a spodní pás panelu je tvořen lepeným lamelovým dřevem Steico LVL, které má vynikající mechanické vlastnosti. Tento prvek je použit také v ostění stavebních konstrukcí z důvodu kotvení stavebně truhlářských výrobků. Obrázek 3 znázorňuje porovnání nosných prvků v programu Area 2014. Při následném výpočtu součinitele prostupu tepla bylo zjištěno, že při použití I nosníku zredukujeme tento součinitel až o 18%.



Obrázek 4 Pole teplot I-nosníku a dřevěného hranolu (Area 2014)

Skladba stěny (viz obrázek 2) se skládá z nosných prvků Steico Wall SW60 a Steico LVL, které budou tvořit horní a spodní práh panelu. Mezi nosné prvky je vložena tepelná izolace Steico Flex. Tato nosná konstrukce je z exteriérové strany opláštěna sádrovláknitou deskou Fermacel a z interiérové strany sádrovláknitou deskou Fermacell vapor, která tvoří parobrzdu. Tyto desky budou přisponkovány dle technických listů Fermacell. Aby Fermacell vapor fungoval jako parobrzda, a zároveň tvořil

vzduchotěsnou vrstvu budovy, musí být všechny spoje přelepeny speciální páskou. Venkovní fasáda je tvořena kontaktním zateplovacím systémem pomocí dřevovláknité desky Gutex a difúzně otevřeným omítkovým systémem STO. Z interiérové stěny je přišroubován rastr z dřevěných latí, který je vyplněný dřevovláknitou deskou Steico Flex a následně zaklopena sádrovláknitou deskou Fermacell. Tato předstěna bude využita pro rozvody vody a elektřiny.



Obrázek 5 Skladba stěny (vytvořeno autorem)

Tyto stěny budou na stavbu dodávány jako stěnové panely (viz příloha E) se středním stupněm prefabrikace to znamená nosná rámová konstrukce vyplněna tepelnou izolací opláštěná deskami Fermacell. V těchto panelech již budou osazeny stavebně truhlářské výrobky. Tento způsob prefabrikace je nejvýhodnější pro snadnou přepravu, snadnou a rychlou montáž s eliminací rizika vzniku chyb. Stěnové panely budou do základové desky kotveny pomocí úhelníků a chemických kotev. Rohové desky budou přišroubovány, tak aby umožňovali přístup ke kotvení panelů v rohovém spojení.

6.4.2 Vnitřní stěny

V navrhovaném objektu jsou navrženy dvě nosné stěny, které jsou umístěny nad sebe tak, aby přenášely zatížení od střešní konstrukce do základové desky. Konstrukce stěn je rámová s vysokým stupněm prefabrikace. Nosná konstrukce je tvořena sloupky z KVH hranolů mezi hranoly je vložena izolace Steico Flex, která plní funkci zvukové izolace. Ostatní vnitřní stěny jsou navrženy jako nenosné a subtilní, aby příliš nezatěžovaly stropní konstrukci. Skladba nenosných stěn je obdobná jako u stěn nosných s výjimkou tloušťky.

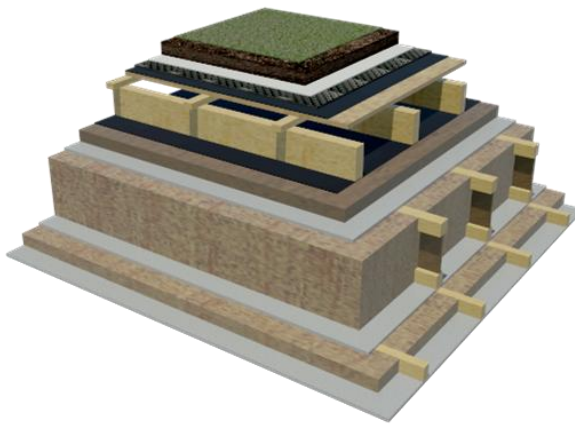
6.4.3 Strop

Navržený strop se skládá z nosné konstrukce, kterou tvoří dřevěné hranoly, které jsou dimenzované v programu Dlubal (viz příloha B) s využitím 81%. Dřevěné hranoly jsou zabezpečené proti klopení pomocí rozpěr z odřezků. Mezi dřevěné hranoly je vložná zvuková izolace Steico flex. Zvuková izolace je pokládána v jedné vrstvě, jen u napojení na obvodovou stěnu je konstrukce vyplněná v celé tloušťce z důvodů eliminace tepelných mostů (viz příloha E). Nosná konstrukce je opláštěna deskou fermacell vapor. Spoje této desky jsou přelepeny speciální páskou. Na spodní stranu se připevní rastr z latí, který je následně vyplněn izolací Steico flex a zaklopen sádrovláknitou deskou Fermacell. Na horní stranu konstrukce se zhotoví jednoduchá plovoucí podlaha s kročejovou izolací Steico isorel, roznášecí vrstvou z desek Fermacell, podkladem Steico underfloor a dřevěnou vrstvenou podlahovinou.

6.4.4 Střešní konstrukce

V mém projektu sem zvolil jako střešní konstrukci plochou dvouplášťovou střechu (viz obrázek 6) s provětrávanou mezerou. Z důvodu jednoduchosti konstrukce a omezení složitých detailů, které by mohly mít za následek tepelné ztráty. Jedná se o extenzivní zelenou střechu se sklonem 1°- 2°. Extenzivní zelené střechy nepotřebují údržbu a ani dodatečného zavlažování. Nosnou konstrukci tvoří I- nosníky Steico Joist SJ60, které jsou ztužené proti klopení pomocí dřevěných křížů v místech ztužení je nutné vyztužit stojnu I- nosníku (viz příloha B) pomocí dřevěných hranolů. Mezi nosníky je vložena tepelná izolace Steico Flex. Tato konstrukce je z exteriérové strany opláštěna sádrovláknitou deskou Fermacel a z interiérové strany sádrovláknitou deskou Fermacell vapor, která tvoří parobrzdu. Tyto desky budou přisponkovány dle technických listů Fermacell. Veškeré spoje jsou přelepeny speciální páskou. Z interiérové strany jsou připevněné latě, které tvoří rastr pro uchycení sádrovláknitých desek Fermacell. Rastr z latí je vyplněn dřevovláknitou tepelnou izolací Steico flex. Na nosnou konstrukci je z exteriérové strany připevněna tvrdá dřevovláknitá deska Steico universal, která po přelepení spojů přebírá funkci pojistné hydroizolace. Další vrstvou jsou dřevěné hranoly, které vytváří konečný sklon střechy. Dřevěné hranoly jsou ztužené proti klopení pomocí latí a dřevěného podbití podhledu. Tato vrstva je opláštěna OSB deskou čtvrté třídy, která odolává větším vlhkostem. Na OSB desku je připevněna

hydroizolace, která musí odolávat prorůstání kořinek. Speciální nopová folie na zelené střechy. Tato nopová folie zabezpečuje vláhu pro rostliny a zároveň odvádí přebytečnou vodu. Voda se uchovává v prolisech nopové folie. Na vrcholcích prolisu jsou díry, kterými uniká přebytečná voda. Pro správnou funkci nopové folie musíme zabezpečit, aby se do prolisů nedostaly nečistoty. K tomuto účelu slouží geotextilie. Poslední vrstvou je substrát s rostlinami. U extenzivních střech se používají suchomilné rostliny tak, aby přečkaly i delší období bez vody. Střešní konstrukce je oplechovaná pozinkovaným plechem. V místech provětrávané mezery je síťka proti hmyzu a jiným živočichům.



Obrázek 6 Skladba střešní konstrukce (vytvořeno autorem)

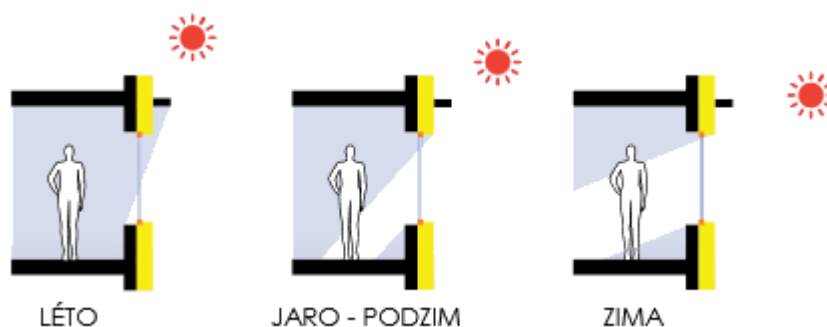
6.4.5 Základová konstrukce

Navržená skladba (viz obrázek 7) se skládá z nosné železobetonové desky, která je izolovaná hydroizolací proti vztlínání zemní vlhkosti. Pod touto deskou je podkladní beton, který chrání hydroizolaci proti protržení. Další vrstvou je štěrk z pěnového skla, které je hutněno ve dvou vrstvách, pro dosažení potřebné únosnosti. Jako protimrazová clona je vrstva pěnového skla přetažena cca jeden metr ven od základů. Jelikož je pěnové sklo nenasákavý materiál musí být provedena drenáž a vyspádování základů směrem k drenáži. Aby se do pěnového skla, které je dokonale propustné pro vodu, nedostala nečistota v podobě hlíny je celá vrstva obalena netkanou geotextilií. Železobetonová deska je po obvodu izolovaná extrudovaným poystyrenem. Na železobetonové základové desce je dále hydroizolace a skladba lehké plovoucí podlahy, kterou tvoří dřevovláknitá deska Steico isorel, roznášecí vrstva v podobě dvou

Zasklení je provedeno pomocí trojskla vyplněného argonem. Jednotlivá skla jsou pokovena při zachování prostupu slunečního světla 60%. Tento prostup zajišťuje dobré solární zisky v zimním období.

Okno je osazeno na hraně nosné konstrukce s kontaktní tepelné izolace. Kotvení oken je provedeno pomocí turbošroubu. Při montáži budou použity tzv. uzávěry připojovací spáry. Jako středový uzávěr, který je mezi okenním rámem a ostěním, bude použita polyuretanová pěna a komprimační páska illbruck, která zajistí těsnost připojovací spáry. Tento uzávěr plní funkci tepelně izolační. Další vnitřní uzávěr v podobě parotěsné pásky brání vniknutí interiérové vlhkosti do připojovací spáry, kde by mohla vlivem teploty kondenzovat. Poslední venkovní uzávěr je difúzně otevřená a zároveň vodotěsná páska, která musí dovolit případné vlhkosti odejít z konstrukce a zároveň bránit vnikání vlhkosti ze strany exteriéru. V druhém nadzemním podlaží jsou osazeny venkovní žaluzie, které slouží ke stínění v letních měsících. Žaluziový box je ke stěně připevněn pomocí bloku compacfoam, který eliminuje tepelný most. Pod boxem je umístěna aerogelová izolace, která má vynikající tepelně izolační vlastnosti a tak přerušuje tepelný most.

Stínění v letních měsících bude zajišťovat hned několik stínících prvků. V prvním nadzemním podlaží bude jižní a západní část stínit pergola a carpot, případně opadavé stromy v okolí budovy. Okna v druhém nadzemním podlaží z jižní strany částečně stíní přesah střešní konstrukce. Tento přesah bude účinný v měsících, kdy je slunce nejvýše na obzoru, proto budou okna v druhém podlaží opatřena venkovními žaluziemi.



Obrázek 9 Ideální stínění v průběhu roku (Centrum pasivního domu)

7 Tepelně technické posouzení

U tepelně technických vlastností se zaměřuji především na součinitel prostupu tepla, kondenzaci vodních par a teplotní faktor.

7.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitelem prostupu tepla je možné charakterizovat vliv celé konstrukce a k ní přilehlých vzduchových vrstev na šíření tepla prostupem. Součinitel prostupu tepla je odvozen z tepelného odporu konstrukce R . (Ostrý, 2014)

Při výpočtu součinitele prostupu tepla si musíme nejprve definovat tepelný odpor konstrukce. Ten vyjadřuje schopnost konstrukce klást odpor při přenosu tepla. Tepelný odpor známého materiálu nebo skladby materiálů určíme podle následujícího vztahu:

$$R = \sum \frac{d_i}{\lambda_i}$$

kde d_i je tloušťka příslušné vrstvy v m
 λ_i součinitel tepelné vodivosti vrstvy (tabulková hodnota)

Celkový tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředními oddělenými od sebe počítanou konstrukcí musí být doplněno o odpor při přestupu tepla:

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

kde R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně v $m^2.K.W$
 R tepelný odpor konstrukce v $m^2.K.W$
 R_{se} odpro při přestupu tepla na vnitřní straně v $m^2.K.W$

Jednotlivé hodnoty odporů při přestupu tepla jsou zobrazeny v ČSN 730540-3.

Z těchto údajů jsme schopni vypočítat součinitel prostupu tepla požadované konstrukce podle vztahu:

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

kde U je součinitel prostupu tepla kce. v $W.m^{-2}.K^{-1}$
 R tepelný odpor kostrukce v $m^2.K.W^{-1}$
 R_{si} odpor přestupu tepla na vnitřní straně v $m^2.K.W^{-1}$

R_{se} odpor přestupu tepla na vnější straně v $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

7.1.1 Vzorový příklad

Výpočet součinitele prostupu tepla základové konstrukce vstupní hodnoty:

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

$$R_{se} = 0,00 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

Tabulka 2 Skladba základové konstrukce (vytvoreno autorem)

Materiál	D (m)	λ
Dřevěné vlysy	0,007	0,18
Izolace Steico underfloor	0,005	0,05
2x Fermacell	0,030	0,32
Izolace Steico isorel	0,04	0,048
Železobeton	0,250	1,43
Podkladní beton	0,05	1,23
Pěnové sklo	0,5	0,075

$$R = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se}$$

$$R = 0,17 + \frac{0,007}{0,18} + \frac{0,005}{0,05} + \frac{0,03}{0,32} + \frac{0,04}{0,048} + \frac{0,25}{1,43} + \frac{0,05}{1,23} + \frac{0,5}{0,075} + 0$$

$$R = 8,12 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = 0,12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot K^{-1}$$

7.2 Kondenzace vodních par v konstrukci

Stavební konstrukce jsou často situovány mezi dvěma prostředními s rozdílnými hodnotami teploty a relativní vlhkostí vzduchu. Vzduch obklopující stavební konstrukci není zcela suchý, ale vždy obsahuje určité množství vodní páry, Z hlediska stavební tepelné techniky proto považujeme vzduch za směs suchého vzduchu a vodní páry.(Ostrý, 2014)

K výpočtu kondenzace vodních par potřebujeme znát faktor difuzního odporu. Faktor difuzního odporu vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí. Tuto hodnotu by měli výrobci stavebních materiálů uvádět v technických listech.

7.3 Vnitřní povrchová teplota

Stavební konstrukce a dvou a více konstrukcí s návrhovou vlhkostí vnitřního vzduchu 60% musí v zimním období za normových podmínek vykazovat v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu splňoval podmínku: (Ostrý, 2014)

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

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

kde $f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu
 $f_{Rsi,cr}$ kritický teplotní faktor vnitřního povrchu

Splnění požadavku je prevencí růstu plísní u stavebních konstrukcí.

7.4 Výsledky

Výše uvedené veličiny jsou počítány v programech Area 2014, Teplo 2014, Mezera 2014. Tyto programy patří do souboru programů stavební fyzika. Zohledňují postupy a požadavky norem ČSN 730540, EN ISO 10211.

Okrajové podmínky výpočtů:	Návrhová vnitřní teplota T_i	20,00 C
	Návrh. teplota vzduchu T_{ai}	21,00 C
	Relativní vlhkost interiéru F_{ii}	50,00 %
	Teplota na vnější straně T_e	-15,00 C
	Návrhová venkovní teplota T_{ae}	-15,00 C
	Relativní vlhkost exteriéru F_{ie}	80,00%

Tabulka 3 Měsíční hodnoty pro klimatickou oblast Brno (Teplota 2014)

Měsíc	Dny	$T_{ai}[C]$	$RH_i[%]$	$P_i[Pa]$	$T_e[C]$	$RH_e[%]$	$P_e[Pa]$
1	31	20.6	55.0	1333.7	-2.5	81.3	403.4
2	28	20.6	58.2	1411.3	-0.3	80.5	479.7
3	31	20.6	59.0	1430.7	3.8	79.2	635.0
4	30	20.6	61.6	1493.7	9.0	76.8	881.5
5	31	20.6	66.2	1605.3	13.9	73.6	1168.5
6	30	20.6	70.1	1699.8	17.0	70.9	1373.1
7	31	20.6	72.1	1748.3	18.5	69.3	1475.1
8	31	20.6	71.7	1738.6	18.1	69.8	1448.9
9	30	20.6	66.7	1617.4	14.3	73.3	1194.3
10	31	20.6	61.6	1493.7	9.1	76.7	886.3
11	30	20.6	58.9	1428.2	3.5	79.3	622.5
12	31	20.6	57.7	1399.1	-0.6	80.7	469.1

Pro výpočet roční bilance vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti: 5.0 %

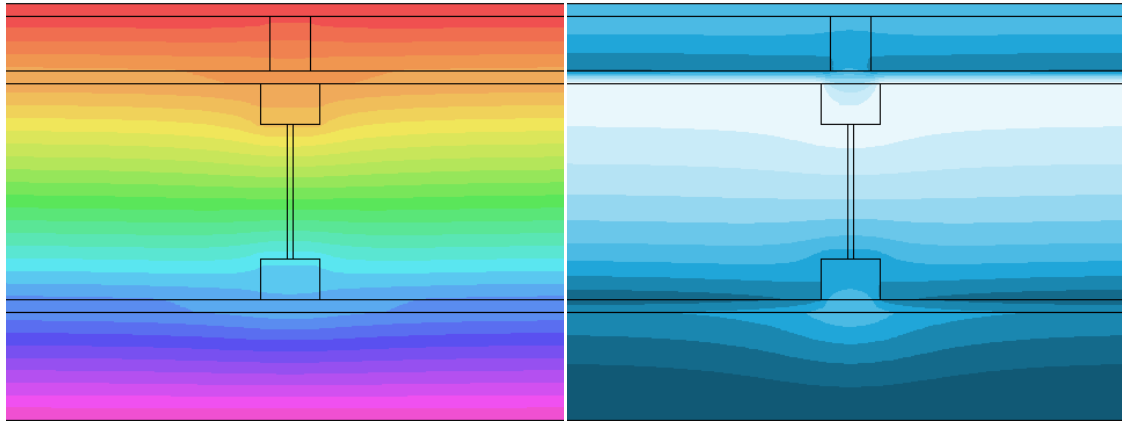
kde	T_{ai} je	průměrná teplota v interiéru
	RH_i	průměrná relativní vlhkost vzduchu interiéru
	P_i	průměrný tlak vodní páry ve vzduchu
	T_e	průměrná teplota v exteriéru
	RH_e	průměrná relativní vlhkost vzduchu exteriéru
	P_e	průměrný tlak vodní páry ve vzduchu exteriéru

7.4.1 Obvodová stěna

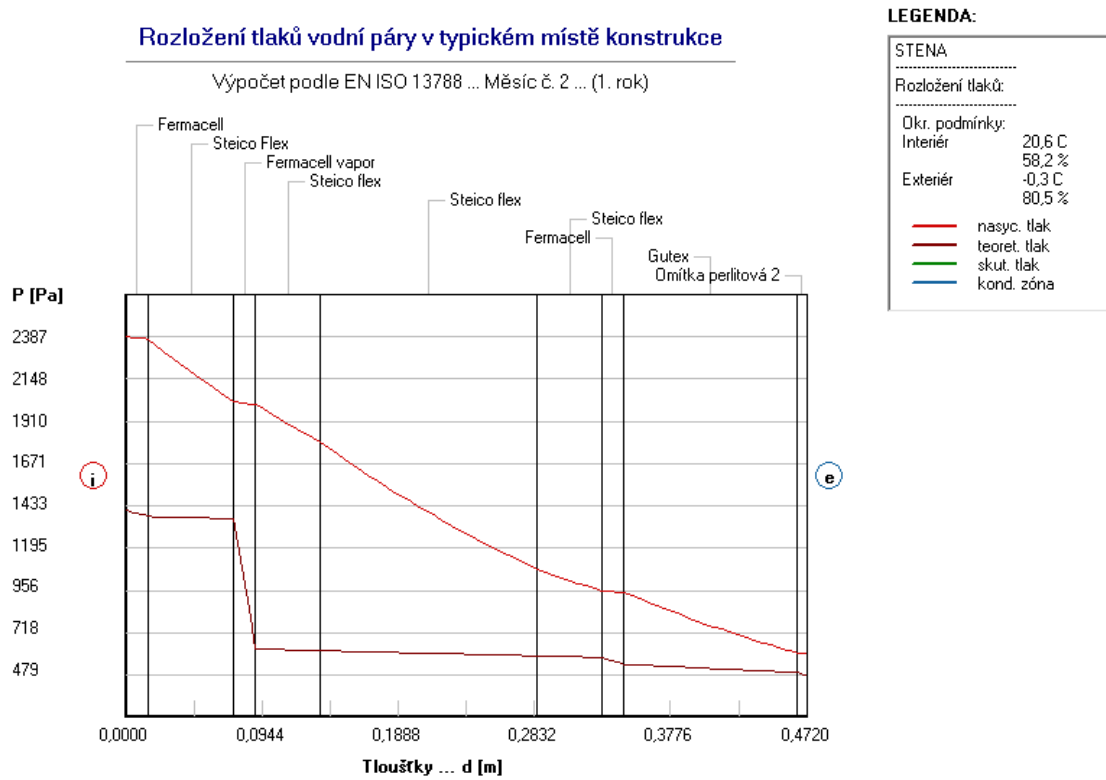
Skladba konstrukce (viz kapitola 6.4.1).

Tabulka 4 Použité materiály a jejich fyzikální vlastnosti (Area 2014)

Název	D [m]	λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	R_o [kg/m ³]	μ [-]
Fermacell	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	13,0
Fermacell vapor	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	250,0
Steico flex	0,0450	0,0380	1000,3	128,8	1,0
Gutex	0,1200	0,0380	2050,0	150,0	2,0
Omítka	0,0070	0,1200	850,0	400,0	11,0
Dřevo měkké	0,1200	0,1800	2510,0	400,0	157,0



Obrázek 10 Pole teplot a rozložení vlhkosti (Area 2014)



Graf 1 Rozložení tlaků vodní páry (Teplo 2014)

Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2 (2011)

- **Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,747$

Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,976$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$ **Požadavek je splněn**

- **Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavek: $U_N = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočítaná hodnota $U = 0,095 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_N > U$ **Požadavek je splněn**

Vypočtený součinitel prostupu tepla zahrnuje vliv systematických tepelných mostů

- **Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavky: Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci. Konstrukce

Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.

Roční množství kondenzátu musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu.

Vypočtené hodnoty: v konstrukci nedochází ke kondenzaci vodních par

Požadavky jsou splněny

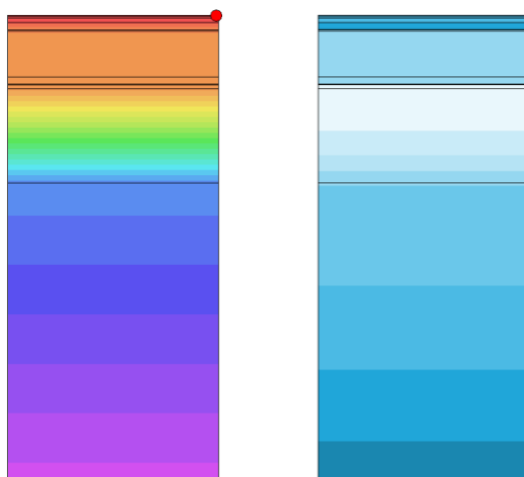
Protokol o výpočtu (viz příloha A-I)

7.4.2 Základová konstrukce

Skladba konstrukce (viz kapitola 6.4.5)

Tabulka 5 Použité materiály a jejich fyzikální vlastnosti (vytvořeno autorem)

Název	λ	μ
Hydroizolace	0.160	20000
Dřevovláknité desky	0.046	3.000
Železobeton	1.430	23
Beton hutný	1.230	17
Pěnové sklo	0.075	1.000
Rostlý terén	0.700	1.500
Fermacell	0.320	13
Steico underfloor	0.048	2.500
Dřevo měkké	0.180	157



Obrázek 11 Pole teplot a rozložení vlhkosti (Area 2014)

Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2 (2011)

- **Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,749$

Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,989$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

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

Požadavek je splněn

- **Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavek: $U_N = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočítaná hodnota $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_N > U$ **Požadavek je splněn**

Vypočtený součinitel prostupu tepla zahrnuje vliv systematických tepelných mostů

- **Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavky: Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci. Konstrukce

Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.

Roční množství kondenzátu musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu.

Vypočtené hodnoty: v konstrukci nedochází ke kondenzaci vodních par

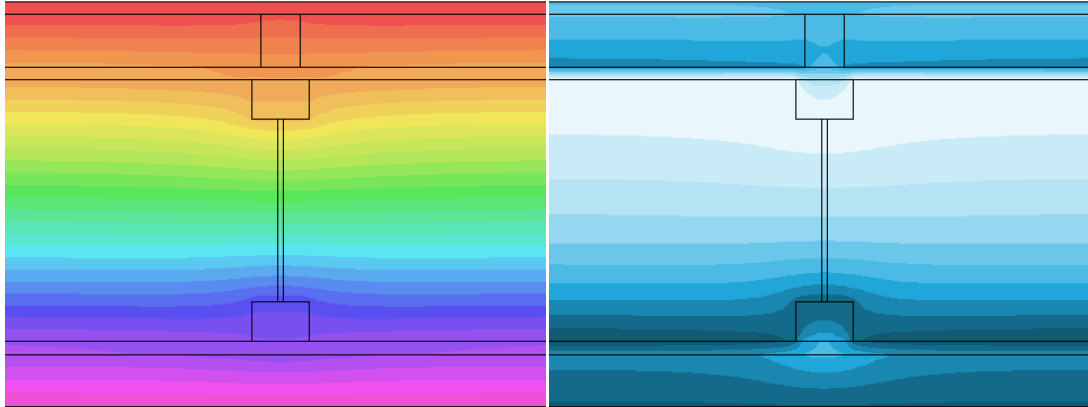
Požadavky jsou splněny

7.4.3 Střešní konstrukce

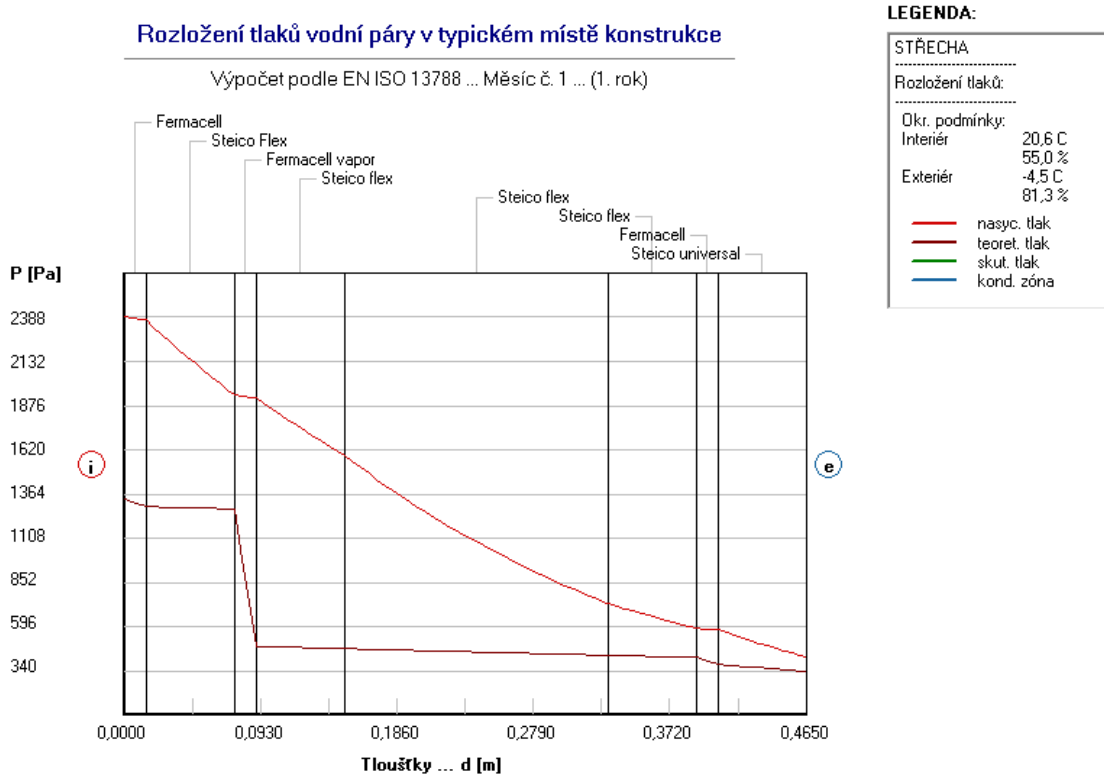
Skladba konstrukce (viz kapitola 6.4.4).

Tabulka 6 Použité materiály a jejich fyzikální vlastnosti (vytvořeno autorem)

Název	D [m]	λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	R_o [kg/m ³]	μ [-]
Fermacell	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	13,0
Fermacell vapor	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	250,0
Steico flex	0,0450	0,0380	1000,3	128,8	1,0
Dřevo měkké	0,1200	0,1800	2510,0	400,0	157,0



Obrázek 12 Pole teplot a rozložení vlhkosti (Area 2014)



Graf 2 Rozložení tlaků vodní páry (Teplo 2014)

Vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2 (2011)

- **Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,747$

Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,976$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

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

Požadavek je splněn

- **Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**

$$\text{Požadavek: } U_N = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Vypočítaná hodnota } U = 0,096 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_N > U$$

Požadavek je splněn

Vypočtený součinitel prostupu tepla zahrnuje vliv systematických tepelných mostů

- **Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavky: Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci. Konstrukce.

Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.

Roční množství kondenzátu musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu.

Vypočtené hodnoty: v konstrukci nedochází ke kondenzaci vodních par

Požadavky jsou splněny

Jelikož je střecha konstruovaná jako dvouplášťová s provětrávanou mezerou musíme zabezpečit, aby tato mezera byla dostatečně velká a provětrávaná, aby zde nekondenzovala vodní pára a netvořily se plesně a hniloba, která by zapříčinila degradaci dřeva.

- **Požadavek na šíření vlhkosti ve vzduchové mezeře (čl. 6.3 v ČSN 730540)**

Požadavky: Relativní vlhkost vzduchu proudícího v otevřené vzduchové vrstvě musí být po celé délce této vrstvy menší než 90 %.

Vypočtené hodnoty: vlhkost proudícího vzduchu nepřesáhla 90 %.

Požadavky jsou splněny

V textové části diplomové práce jsou zmíněny jen konstrukce, které tvoří obálku budovy. Specifické detaily jsou v příloze A.

7.5 Vzduchotěsnost

Vzduchotěsnost domu je jeden z důležitých parametrů referujících o kvalitě provedení domu. Tento parametr je zahrnut v hodnotících požadavcích na splnění pasivního standardu pro výpočtový postup certifikace PHPP. Se zvyšující se průvzdušností obálky budovy rostou teplené ztráty a zvyšuje se potřeba tepla na vytápění. Dobrá vzduchotěsnost je zásadní pro správné fungování nuceného větrání s využitím zpětného získávání tepla.

Zajištění vzduchotěsnosti konstrukce je zajištěno přelepením všech spojů materiálů a konstrukcí speciální páskou v rovině parobrzd. Průchody instalací přes vzduchotěsnou rovinu musí být opatřeny speciální vzduchotěsnou průchodkou Airstop (viz obrázek 13).



Obrázek 13 Vzduchotěsné průchodky (Airstop)

Kontrola vzduchotěsnosti staveb se provádí tzv. blower- door testem. Tento postup se doporučuje provádět před osazením instalačních předstěn, kdy jsme schopni případné netěsnosti nejen odhalit, ale i lehce opravit. Po dokončení instalačních předstěr se doporučuje test opakovat. Průběh testu spočívá v umístění ventilátoru do vhodného stavebního otvoru. Tento ventilátor poté vytváří střídavě přetlak a podtlak o velikosti postupně 20- 100 Pa tlakového rozdílu. Výpočtem se pak zjistí objem vzduchu, který je potřeba dodat do úseku na udržení jednotlivých tlaků. Výstupem testu je koeficient neprůvzdušnosti n_{50} . Limitní hodnota n_{50} pro pasivní domy je $0,6 \text{ h}^{-1}$. Norma ČSN 73 0540-2 doporučuje hodnotu $0,4 \text{ h}^{-1}$ (Smola, 2011)

Jelikož se vzduchotěsnost stavby určuje pomocí testu, použil jsem pro výpočet energetické náročnosti budovy doporučenou hodnotu $0,4 \text{ h}^{-1}$.

7.6 Tepelné zisky a ztráty

Tepelné ztráty můžeme rozdělit na tepelné ztráty větráním a ztráty prostupem. Tepelné zisky z pravidla rozlišujeme dva to solární tepelné zisky a tepelné zisky vyzařované z vnitřních zdrojů tepla. Jestliže známe tepelné ztráty a zisky budovy jsme schopni vypočítat měrnou potřebu tepla na vytápění.

7.6.1 Tepelná ztráta prostupem

Tepelné ztráty prostupem jsou definovány součinitelem prostupu tepla U (viz kapitola 7.1) všech konstrukcí co se podílejí na tvorbě tepelné obálky budovy. Do výpočtu se zahrnují i lineární tepelné vazby spojů konstrukcí a osazování oken.

Tabulka 7 Výsledky tepelných ztrát prostupem v projektu (PHPP 2007)

Konstrukce	U W/(m ² K)	Roční ztráta kWh/a
Stěna	0,095	1895
Střecha	0,096	778
Základy	0,120	523
Okna	0,706	1589

Celková roční ztráta prostupem činí 4785 kWh za rok, jestliže tepelnou ztrátu přepočítáme na m² vytápěné plochy, dostaneme se na hodnotu 33,6 kWh/m² za rok. (viz příloha A-XVIII)

7.6.2 Tepelné ztráty větráním

Tepelné ztráty větrání jsou závislé především na efektivní účinnosti rekuperační jednotky, kterou je v mém případě standardní rekuperační jednotka certifikovaná PHI s účinností 85%. Dalším prvkem, který ovlivňuje tepelné ztráty větráním je efektivnost výměníku tepla, který není do mého výpočtu zahrnut. Proto je za efektivnost zemního výměníku dosazena 0. V neposlední řadě ztráty ovlivňuje objem a intenzita větrání (viz příloha A-XVIII).

Výsledky tepelných ztrát větráním v projektu

Celková roční ztráta větráním činí 824 kWh za rok, jestliže tepelnou ztrátu přepočítáme na m² vytápěné plochy, dostaneme se na hodnotu 5,8 kWh/m² za rok. (viz příloha A-XVIII)

7.6.3 Solární tepelné zisky

Na solární tepelné zisky má vliv hned několik činitelů jako typ oken, jejich zasklení, stínění, velikost, poměr zasklení a orientace vůči světovým stranám. Solární zisky mohou být i nepříznivé a to především v letních měsících, které eliminujeme vhodným stíněním (viz kapitola 6.4.6).

Tabulka 8 Výsledky solárních tepelných zisků v projektu (PHPP 2007)

Orientace	Plocha m ²	Sluneční záření kWh/(m ² a)	Roční ztráta kWh/a
Sever	2,26	99	61
Východ	1,35	215	87
Jih	16,43	423	2073
Západ	6,51	232	416

Celkové roční solární zisky činí 2637 kWh.a, jestliže solární zisky přepočítáme na m² vytápěné plochy, dostaneme se na hodnotu 18,5 kWh/m² za rok (viz příloha A-XVIII).

7.6.4 Vnitřní tepelné zisky

Do vnitřních zdrojů tepla se promítá počet osob, které budou budovu obývat, osvětlení a teplo z elektrospotřebičů. V je počet elektrospotřebičů určen průměrnou hodnotou.

Výsledky vnitřních tepelných zisků v projektu

Celkové roční vnitřní tepelné zisky činí 1469 kWh.a, jestliže vnitřní zisky přepočítáme na m² vytápěné plochy, dostaneme se na hodnotu 10,3 kWh/m² za rok (viz příloha A-XVIII).

8 Vyhodnocení projektu

- **Požadavek na měrnou potřebu tepla pro vytápění Q_H**

Požadavek: $Q_H =$ 15 kWh/(m²a)

Vypočítaná hodnota: $Q_H =$ 13 kWh/(m²a)

Požadavek je splněn

- **Požadavek vzduchotěsnosti n_{50}**

Požadavek: n_{50} 0,4 h⁻¹

Odhadovaná hodnota: n_{50} 0,4 h⁻¹

Požadavek není hodnocen

- **Požadavek na měrnou potřebu primární energie E**

Požadavek: $E =$ 120 kWh/(m²a)

Vypočítaná hodnota: $E =$ 56 kWh/(m²a)

Požadavek je splněn

- **Požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}**

Požadavek: $U_{em} =$ 0,175 W/(m²K)

Vypočítaná hodnota: $U_{em} =$ 0,130 W/(m²K)

Požadavek je splněn

- **Požadavek na součinitel prostupu tepla oken U_w**

Požadavek: $U_w =$ 0,8 W/(m²K)

Vypočítaná hodnota: $U_w =$ 0,71 W/(m²K)

Požadavek je splněn

- **Požadavek na součinitel prostupu tepla zasklení U_g**

Požadavek: $U_g =$ 0,8 W/(m²K)

Vypočítaná hodnota: $U_g =$ 0,6 W/(m²K)

Požadavek je splněn

- **Požadavek na součinitel prostupu slunečního záření g**

Požadavek: $g =$ 0,5

Vypočítaná hodnota: $g =$ 0,63

Požadavek je splněn

- **Požadavek na efektivitu rekuperace tepla η_{REK}**

Požadavek: $\eta_{\text{REK}} =$ 75%

Vypočítaná hodnota: $\eta_{\text{REK}} =$ 85%

Požadavek je splněn

Vytápěná podlahová plocha: m²

Použito: Měsíční metoda

Měrná potřeba tepla pro vytápění:	13	kWh/(m²a)
Výsledek zkoušky neprůvzdušnosti:	0,4	h⁻¹
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, chlaz., pom. a dom. spotřebiče):	56	kWh/(m²a)
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocné a domácí spotřebiče):	27	kWh/(m²a)
Měrná potřeba primární energie Úspora elektřiny pomocí solární energie:	3	kWh/(m²a)
Topná zátěž:	10	W/m²
Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu:	2	%
Měrná potřeba energie pro chlazení :		kWh/(m²a)
Chladicí zátěž:	6	W/m²

Veškeré výpočty jsou dostupné v přílohách diplomové práce.

9 Diskuze

Navrhovaný dům je koncipovaný jako rodinný dům pro čtyřčlennou rodinu. Tomuto konceptu je uzpůsobena i dispozice budovy, kde jsou všechny obytné místnosti situovány na jižní stranu. Velikost a umístění objektu je navrženo k maximálnímu využití potenciálu pasivních staveb. Při návrhu jsem se pokoušel dosáhnout co nejlepšího poměru ochlazované plochy a vytápěného objemu vzduchu. Stínění oken v letních měsících zabezpečuje lamelová pergola a carpot. V druhém nadzemním podlaží jsou okna vybavena venkovní žaluzií. Tímto způsobem je docíleno vysokého komfortu bydlení. Podle výpočtu dochází k překročení nejvyšší teploty (25°) jen v případě 2% což odpovídá cca 8 dnům v roce. Navržený pasivní dům vyhovuje všem hodnotícím parametrům pro rodinný dům v pasivním standardu s výjimkou vzduchotěsnosti obálky budovy, která nebyla zjištěna, ale jen odvozena z podobných skladeb obvodových konstrukcí. A to v hodnocení podle TNI 73 0329 tak i v hodnocení pomocí výpočtového programu PHPP.

Konstrukce stavby je navržena jako rámová konstrukce s panelovou montáží. Jako nosné prvky jsou zvoleny I- nosníky Steico, které jsou certifikované institutem pasivních domů. Skladba konstrukce je difúzně otevřená, a to mělo velký vliv na výběr materiálů. Všechny navržené skladby konstrukcí a rizikové detaily byly navrhované tak, aby splňovaly požadavky tepelné techniky staveb. Tyto požadavky byly ověřené ve výpočtovém programu Area 2014. Jako hodnotící požadavky byly vybrány především ty, které by vedly k tepelným ztrátám, ohrožení stability konstrukce a snížení komfortu bydlení.

Staticky namáhané konstrukce byly dimenzovány ve statickém programu Dlubal RFEM. Statickým výpočtem byla zjištěna stabilita a využití namáhaných konstrukcí. Využití všech prvků nepřesahuje 85%.

10 Závěr

V diplomové práci jsem shrnul nejdůležitější konstrukční principy a zásady pro navrhování pasivních domů. Cílem práce návrh rodinného domu v pasivním standardu a následné prokázání energetické náročnosti budovy a tak dokázat, že jde o pasivní stavbu. Stavba byla navrhována s ohledem na všechny stanovené podmínky a doporučení dle ČSN 73 05 40 a ČSN 734301.

Všechny detaily konstrukce byly podrobeny výpočtu v programech Area a Teplo. Při výpočtu bylo zjištěno, že všechny zkoumané detaily vyhovují zvoleným požadavkům stavební fyziky.

Výpočet energetické náročnosti budovy probíhal v programu PHPP a Energie 2014. Podle výsledků posuzování pomocí programu PHPP je navrhovaný objekt způsobilý pro obdržení certifikátu pasivního domu. Podle posudku z programu Energie 2014 je budova zařazena do klasifikační třídy A- velmi úsporná.

11 Summary

In the thesis, the most important construction principles and design rules for passive houses are summarized. The target of the thesis is timber family house design in passive standard and subsequent demonstration of building energy performance to prove passive solution. The building was designed according to all requirements and recommendations of Czech national standard norms ČSN 73 05 40 and ČSN 73 43 01.

All the construction details subjected calculations in Area and Teplo software. The calculations verified that all the researched details meet chosen building physics requirements.

The calculation of building energy performance was created in PHPP and Energie 2014 software. According to PHPP software results, the designed building is eligible for obtaining passive house certificate. According to Energie 2014 software results, the building is classified in A-class „very cost effective“.

12 Použitá literatura

BORÁK, Dalibor a kol. 2012. *Projekt EdUR2 (Edukace udržitelného rozvoje): AI - Filozofie navrhování budov dle principů trvale udržitelné výstavby*. Brno: Národní stavební centrum. 90 s. ISBN 978-80-87665-00-8.

BROTÁNEK, Aleš. *Pasivní dům: zkušenosti z Rakouska a české začátky*. Vyd. 1. Brno: Veronica, 2004. ISBN 80-239-3048-6.

DOSEDĚL, Antonín. *Čítanka výkresů ve stavebnictví*. 3. upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-86817-06-7.

HUDEC, Mojmír, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.

HUDEC, Mojmír. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2555-0.

CENTRUM PASIVNÍHO DOMU. *Navrhování pasivních domů PHPP 2007. Brno, 2009*

OSTRÝ, Milan a Roman BRZOŇ. *Stavební fyzika - tepelná technika v teorii a praxi*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. ISBN 978-80-214-4879-7.

PACÁKOVÁ, Petra. *Návrh dřevostavby podle principů trvale udržitelného rozvoje*. Diplomová práce. Brno: MENDELU Brno, 2011.

RŮŽIČKA, Martin. *Moderní dřevostavba*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.

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

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

Použité normy:

ČSN 73 4301. Obytné budovy 2009

ČSN 73 4130. Schodiště a šikmé rampy

ČSN 73 33 05. Ochranná zábradlí

ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov

ČSN EN 1990. Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1995. Navrhování dřevěných konstrukcí

Internetové stránky:

www.tzb-info.cz

<http://www.pasivnidomy.cz/>

<http://www.steico.com/cz/>

www.gutex.de

www.slavona.cz

13 Seznam obrázků, tabulek a grafů

<i>Obrázek 1 Dispozice objektu 1.NP, 2.NP</i>	18
<i>Obrázek 2 Umístění objektu na pozemku.....</i>	19
<i>Obrázek 3 Vliv poměru A/V na potřebu tepla pro vytápění.....</i>	19
<i>Obrázek 4 Pole teplot I-nosníku a dřevěného hranolu</i>	20
<i>Obrázek 5 Skladba stěny.....</i>	21
<i>Obrázek 6 Skladba střešní konstrukce</i>	23
<i>Obrázek 7 Základová konstrukce.....</i>	24
<i>Obrázek 8 Detail okna Slavona Progression.....</i>	24
<i>Obrázek 9 Ideální stínění v průběhu roku</i>	25
<i>Obrázek 10 Pole teplot a rozložení vlhkosti</i>	30
<i>Obrázek 11 Pole teplot a rozložení vlhkosti</i>	32
<i>Obrázek 12 Pole teplot a rozložení vlhkosti</i>	34
<i>Obrázek 13 Vzduchotěsné průchodky</i>	36
<i>Tabulka 1 Přehled energetické náročnosti budov</i>	13
<i>Tabulka 2 Skladba základové konstrukce</i>	27
<i>Tabulka 3 Měsíční hodnoty pro klimatickou oblast Brno</i>	29
<i>Tabulka 4 Použité materiály a jejich fyzikální vlastnosti</i>	29
<i>Tabulka 5 Použité materiály a jejich fyzikální vlastnosti</i>	32
<i>Tabulka 6 Použité materiály a jejich fyzikální vlastnosti</i>	33
<i>Tabulka 7 Výsledky tepelných ztrát prostupem v projektu</i>	37
<i>Tabulka 8 Výsledky solárních tepelných zisků v projektu.....</i>	38
<i>Graf 1 Rozložení tlaků vodní páry</i>	30
<i>Graf 2 Rozložení tlaků vodní páry</i>	34

14 Přílohy

Příloha A – Tepelná technika stavby

<i>A-I Obvodová stěna</i>	A2
<i>A-II Střešní konstrukce</i>	A6
<i>A-III Vzduchová vrstva střechy</i>	A10
<i>A-IV Okno nadpraží</i>	A13
<i>A-V Okno fixní nadpraží</i>	A15
<i>A-VI Okno žaluzie</i>	A18
<i>A-VII Okno parapet</i>	A21
<i>A-VIII Roh konstrukce</i>	A24
<i>A-IX Napojení stěna, strop, dveře</i>	A27
<i>A-X Základy</i>	A31
<i>A-XI Napojení základy, stěna</i>	A34
<i>A-XII Okno vodorovný řez</i>	A37
<i>A-XIII Napojení okno, základ</i>	A40
<i>A-XIV Napojení stěna, střecha</i>	A43
<i>A-XV Napojení stěna, strop</i>	A46
<i>A-XVI Hodnocení energetické náročnosti</i>	A49
<i>A-XVII Výpočet součinitele prostupu tepla</i>	A50
<i>A-XVIII Protokol PHPP</i>	A52

Příloha B – Statická analýza

<i>B-I Střešní konstrukce</i>	B1
<i>B-II Stropní konstrukce</i>	B3
<i>B-III Samonosná pergola</i>	B5

Příloha C – Vizualizace

<i>C-I Nosná konstrukce</i>	C1
<i>C-II Jihozápadní pohled</i>	C2
<i>C-III Severovýchodní pohled</i>	C3

Příloha D – Technická zpráva

Příloha E – Výkresová dokumentace

Výkres číslo 1	Půdorys 1. NP	1:50
Výkres číslo 2	Půdorys 2. NP	1:50
Výkres číslo 3	Řez A-A	1:50
Výkres číslo 4	Strop	1:50
Výkres číslo 5	Střecha	1:50
Výkres číslo 6	Základy	1:50
Výkres číslo 7	Pohled- jižní	1:50
Výkres číslo 8	Pohled- východní	1:50
Výkres číslo 9	Pohled- severní	1:50
Výkres číslo 10	Pohled- západní	1:50
Výkres číslo 11	Napojení základů a stěny	1:10
Výkres číslo 12	Základy, vchod na terasu	1:10
Výkres číslo 13	Střecha	1:10
Výkres číslo 14	Napojení stropu a stěny	1:10
Výkres číslo 15	Vchod na balkon	1:10
Výkres číslo 16	Svislý řez fixní okno	1:10
Výkres číslo 17	Svislý řez okno s roletou	1:10
Výkres číslo 18	Svislý řez okno	1:10
Výkres číslo 19	Vodorovný řez okno/ fix	1:10

Výkres číslo 20	Rohové spojení, napojení příčky	1:10
Výkres číslo V1	Označení panelů	1:50
Výkres číslo V2	Panel OS 03	1:50
Výkres číslo V3	Panel OS 01	1:50
Výkres číslo V4	Panel OS 13	1:50
Výkres číslo V5	Panel OS 11	1:50
Výkres číslo V6	Panel OS 02, OS 04	1:50
Výkres číslo V7	Panel OS 12, OS 14	1:50
Výkres číslo V8	Panel NS 01	1:50
Výkres číslo V9	Panel NS11	1:50
Výkres číslo V10	Panel NS 02, NS 03, NS 04	1:50
Výkres číslo V11	Panel P12, P11, P13	1:50
Výkres číslo V12	Panel P15, P110, P16, P18, P19, P112	1:50
Výkres číslo V13	Panel P01, P02, P14, P111, P16	1:50
Výkres číslo V14	Předstěna panel OS 13	1:50
Výkres číslo V15	Předstěna panel OS 14	1:50
Výkres číslo V16	Předstěna panel OS 03	1:50
Výkres číslo V17	Předstěna panel OS 04	1:50
Výkres číslo V18	Předstěna panel OS 11	1:50
Výkres číslo V19	Předstěna panel OS 12	1:50
Výkres číslo V20	Předstěna panel OS 01	1:50
Výkres číslo V21	Předstěna panel OS 02	1:50
Výkres číslo V22	Gutex panel OS 03, OS 01	1:50
Výkres číslo V23	Gutex panel OS 02, OS 04	1:50
Výkres číslo V24	Gutex panel OS 13, OS 11	1:50
Výkres číslo V24	Gutex panel OS 12, OS 14	1:50