

**Mendelova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

Ústav lesnické a dřevařské techniky



**Lesnická  
a dřevařská  
fakulta**

**Nízkoenergetický rodinný dům**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

(příloha č. 1 – Výkresová dokumentace)

(příloha č. 2 – Technická zpráva)

**2015/2016**

**Martin Beneš**



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Nízkoenergetický rodinný dům** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona. Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne 30. 4. 2016

Martin Beneš

**Jméno:** Martin Beneš

**Název práce:** Nízkoenergetický rodinný dům

### **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá návrhem nízkoenergetického rodinného domu, jehož obalová konstrukce má z hlediska tepelně technických výpočtů splňovat požadavky kladené na pasivní domy. Práce tedy dále popisuje obecné požadavky kladené na pasivní domy a zásady jejich návrhu. Dále je proveden rozbor jednotlivých způsobů zakládání pasivních budov, jejich konstrukčních systémů a odůvodnění zvolených konstrukcí. Dům je navržen jako dvoupodlažní dřevostavba pro pětičlennou rodinu. Objekt je obdélníkového půdorysu, který je založen na základových pasech a je osazen ve svažitém terénu. Na zvolené konstrukční systémy jednotlivých konstrukcí je pak zhotovena výkresová dokumentace a provedena hrubá kalkulace stavby.

### **Klíčová slova**

Dřevostavba, nízkoenergetický, pasivní, difuzně otevřená konstrukce, výkresová dokumentace.

**Name:** Martin Beneš

**Title of bachelor thesis:** Low-energy family house

### **Abstract**

The bachelor thesis deals with design low-energy house whose packaging construction has in terms of thermal calculations meet the requirements for passive houses. Thus, the work further describes the general requirements for passive house and principles their application. Furthermore is also analyzed the various ways of foundations passive buildings and their construction systems and the justification their design. The house is designed as a two-storey wooden house for a five members family. The building is rectangular in ground plan which is based on the wall footings and is located in steep terrain. On the chosen construction systems individual constructions is made design documentation and a rough calculation of the building.

### **Keywords**

Wooden building, low-energy, passive, diffusion-open construction, design documentation.

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1 Co je to pasivní dům?</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2 Požadavky kladené na pasivní dům</b> .....	<b>11</b>
<b>2. CÍL PRÁCE</b> .....	<b>12</b>
<b>3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Koncepce a dispoziční řešení</b> .....	<b>13</b>
3.1.1 Volba pozemku a orientace budovy.....	13
3.1.2 Tvarové řešení a kompaktnost.....	14
3.1.3 Zónování dle potřeby na vytápění .....	15
3.1.4 Chlazení pasivních budov .....	15
<b>3.2 Zakládání pasivních staveb</b> .....	<b>15</b>
3.2.1 Základové pasy .....	16
3.2.2 Plovoucí základová deska.....	17
Založení na deskové izolaci (XPS).....	18
Založení na sypané izolaci z pěnového skla .....	19
3.2.3 Založení nad terénem .....	20
Základové patky .....	21
Zemní vruty .....	22
Crawel space .....	23
<b>3.3 Konstrukční systémy pasivních staveb</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 Masivní konstrukce .....	24
3.2.2 Lehké konstrukce (dřevostavby) .....	25
Difuzně otevřené konstrukce (DOK) .....	26
Difuzně uzavřené konstrukce (DUK) .....	27
<b>3.3 Střešní konstrukce pasivních staveb</b> .....	<b>28</b>
<b>3.4 Výplně otvorů pasivních staveb</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5 Způsoby stínění prosklených ploch</b> .....	<b>34</b>
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 Výkresová dokumentace</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 Tepelně technické výpočty</b> .....	<b>37</b>
4.2.1 Tepelný odpor $R$ .....	37
4.2.2 Součinitel prostupu tepla $U$ .....	38
4.2.3 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy $U_{em}$ .....	38
4.2.4 Objemový faktor tvaru budovy .....	41

<b>5.</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>42</b>
5.1	Lokalita pozemku .....	42
5.2	Osazení do terénu a terénní úpravy .....	43
5.3	Základy .....	45
5.4	Architektonické řešení.....	46
5.5	Dispozice .....	47
5.5.1	První nadzemní podlaží .....	47
5.5.2	Druhé nadzemní podlaží .....	49
5.6	Obvodové a dělicí konstrukce .....	51
5.6.1	Obvodová stěna .....	51
5.6.2	Příčky .....	52
5.6.3	Strop.....	53
5.6.4	Podlaha nad terénem.....	54
5.6.5	Střešní konstrukce.....	55
5.6.6	Výplně stavebních otvorů .....	59
5.7	Konstrukce stínění.....	60
5.7	Hrubé ocenění objektu .....	61
5.8	Tepelně technické posouzení obvodových konstrukcí.....	62
5.8.1	Obvodová stěna .....	63
5.8.2	Podlaha nad terénem.....	66
5.8.3	Střešní konstrukce.....	69
5.8.4	Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla budovy $U_{em}$ .....	72
5.8.5	Stanovení objemového faktoru tvaru budovy .....	74
<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>76</b>
<b>7.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>77</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>78</b>
8.1	Knižní literatura .....	78
8.2	Odborné články a časopisy .....	78
8.3	Zákony, vyhlášky a normy .....	78
8.3.1	Zákony .....	78
8.3.2	Vyhlášky .....	78
8.3.3	Normy.....	79
8.4	Internetové zdroje .....	79
<b>9.</b>	<b>Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>81</b>

9.1	Seznam obrázků .....	81
9.2	Seznam tabulek.....	82
10.	Seznam příloh .....	83
10.1	Příloha č. 1 .....	83
10.2	Příloha č. 2.....	83



# 1. ÚVOD

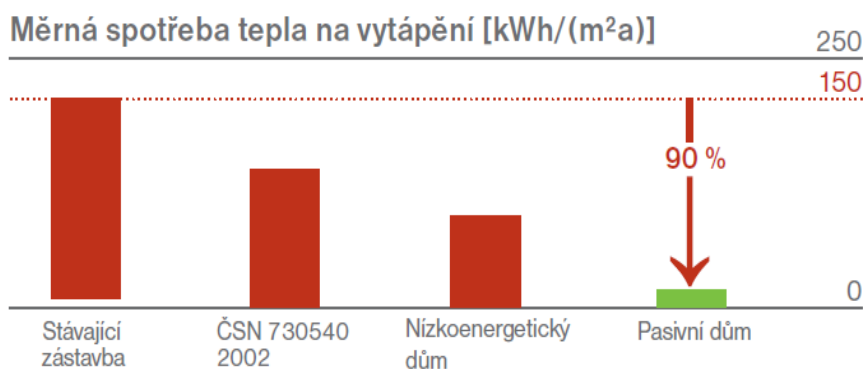
## 1.1 Co je to pasivní dům?

Termín pasivní dům se používá pro mezinárodně uznávaný standard budovy s velmi nízkou spotřebou energie. Oproti stávajícím budovám, které jsou spíše tepelnými zářiči, spotřebují desetkrát méně energie, při současném zajištění vysokého komfortu v zimě i létě. V porovnání s novostavbami splňujícími současně platné normy činí tato úspora až 85 %. Jak toho dosahují? Lidé si často myslí, že pasivní dům je příliš složitý, založen na různých nákladných a technicky náročných zařízeních. Naopak koncepce pasivního domu je vskutku jednoduchá. Jde o to nepustit skoro žádné teplo ven a přitom využít co nejefektivněji tepelné zisky, které jsou k dispozici. Tím dochází k výraznému snížení výkonu zdroje, objemu technologií celkové závislosti objektu na dodávkách energie. Jednoduše řečeno, malé tepelné ztráty pasivního domu lze pokrýt prakticky čímkoliv. Díky tomu se může radikálně změnit také otopný systém. „Klasický“ otopný systém lze zmenšit na minimum nebo jej lze zcela vypustit a vytápět ohřátým vzduchem. Radikální snížení potřeby tepla na vytápění u pasivních domů by nebylo možné bez mimořádně kvalitního zateplení s přerušením tepelných mostů. V době vzrůstajících nároků na kvalitu bydlení přináší precizně izolované konstrukce současně výtečnou tepelnou pohodu prostředí na rozdíl od běžných staveb s chladnějšími vnitřními povrchy. Okna s rámy a zasklením vhodným pro pasivní domy se také značnou částí podílí na vytápění domácnosti, proto je nutné okna správně navrhnout. Řízené větrání se zpětným ziskem tepla, tzv. rekuperací, se neustále stará o čerstvý vzduch v obytných místnostech a odvětrává odpadní vzduch v místech znečištění jako kuchyně, koupelna či WC. To vše bez toho, aby vznikal průvan a zbytečné tepelné ztráty větráním. Má-li správně fungovat větrací jednotka a hlavně rekuperace tepla, nesmí se větrat „neřízeně“, to znamená netěsnostmi v konstrukcích. Následkem jsou nejen větší tepelné ztráty, ale v místě netěsností může dojít k poškození konstrukce. Těsnost obálky budovy je jedna z hlavních podmínek pasivního domu, která se kontroluje v průběhu výstavby tlakovou zkouškou tzv. Blower Door testem a je také určitou zárukou kvality provedení stavby. (Hazucha 2009a)

Název pasivní dům vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jsou to vnější zisky ze slunečního záření procházejícího okny a zisky vnitřní z tepla vyzařovaného lidmi a spotřebiči. Díky velmi kvalitní izolaci a dalším prvkům

tyto zisky „neutíkají ven“ a po většinu roku postačují k zajištění příjemné teploty v místnostech. Vše dohromady zvyšuje kvalitu bydlení a hodnotu nemovitosti. Z porovnání potřeby energie na vytápění dle obrázku (Obr. 1) jsou patrné rozdíly mezi různými standardy, v kterých jsou budovy u nás stavěny. Nezbytným vývojovým stupněm k pasivnímu domu byly domy nízkoenergetické. Hraniční hodnota měrné spotřeby tepla na vytápění pro dosažení tohoto standardu je 50 kWh/(m<sup>2</sup>a). U nízkoenergetických domů je stále ještě nutný klasický vytápěcí systém, který ve spolupráci s větracím zařízením zajišťuje optimální vnitřní prostředí. Nutností obou systémů současně se však navyšuje cena domu. (Hazucha 2009a)

Primární energie vyjadřuje množství energie spotřebované při výrobě určitého zdroje i se ztrátami při distribuci a tudíž nám dává komplexnější pohled na spotřebu dle zvoleného zdroje. Použijeme-li jako zdroj například elektřinu, musíme při výpočtu primární energie vynásobit výsledek třemi díky neefektivní výrobě. V konečném



Obr. 1 : Měrná spotřeba tepla na vytápění dle energetické náročnosti budovy (Hazucha 2009a)

důsledku to vyjadřuje i výši provozních nákladů ve vztahu na použitý zdroj energie. Pro optimalizaci návrhu a hodnocení energetické bilance pasivních domů se celoevropsky nejčastěji používá návrhový nástroj PHPP (Passive House Planning Package), který pracuje s dostatečnou přesností potřebnou pro pasivní domy. Jedná se o jednoduchý návrhový nástroj, který umožňuje architektům a projektantům spolehlivě vypočítat energetickou bilanci a optimalizovat své návrhy. Základní kámen pasivního domu tkví v promyšleném návrhu. V této fázi lze provést nejvíce úspor za nejmenší náklady. Již na počátku návrhu se totiž rozhoduje o tom, jaká bude budoucí spotřeba daného domu. Při projektování je proto nezbytná optimalizace všech prvků, jako je tvar a velikost budovy, orientace vzhledem ke světovým stranám, vnitřní dispozice, konstrukční řešení, velikosti a umístění oken a návrh větrání a vytápění. Nedodržení základních zásad návrhu, jako kompaktní tvar či orientace prosklení, může lehce zmařit snahu o dosažení

pasivního standardu. V některých případech lze kompenzovat malé porušení těchto zásad navýšením kvality ostatních prvků, to se však většinou projeví na ceně stavby. I pasivní domy jsou navrhovány pro bydlení a je tudíž nesmysl vše podřítit pouze energetické náročnosti. Jde však o to, vytěžit co nejvíce z daného pozemku a zadání investora s ohledem na perfektní funkčnost domu a současně snížení potřeby energie až na úroveň pasivního domu. (Hazucha 2009a)

Navrhnout a postavit pasivní dům není příliš složité, je však potřeba vědět jak na to, což vyžaduje mnoho znalostí a kvalitně odvedenou práci. Zkušený architekt a projektant zde hraje klíčovou roli. Nejen kvalita, ale i finanční náročnost stavby závisí od promyšleného návrhu. Optimalizace jednotlivých prvků je proto zásadní a bez ní není možné cíle dosáhnout. Do detailu dořešená projektová dokumentace zjednoduší ocenění zakázky a realizaci na stavbě. Vyloučí se tím zbytečné prostoje na stavbě a nevhodné kompromisy vycházející z nedostatečných podkladů. Kvalita realizace ve velké míře závisí od kvality projektu. Řemeslník či mistr podle nedostatečného projektu, jakým je projekt pro stavební povolení, pasivní dům nepostaví, a proto je nezbytné mít minimálně dokumentaci ve fázi pro provedení stavby, která obsahuje všechny potřebné detaily nutné pro její bezproblémovou realizaci. Dalším nezbytným nástrojem kontroly kvality při realizaci je důsledný dozor projektanta a technický dozor stavebníka. (Hazucha 2009a)

## 1.2 Požadavky kladené na pasivní dům

Abychom vůbec mohli mluvit o pasivním domě, musí takovýto dům splňovat tři základní požadavky. Jedná se především o požadavky týkající se spotřeby energie a těsnosti domu.

- **Měrná potřeba tepla na vytápění** objektu je maximálně **15 kWh/(m<sup>2</sup>a)**, jedná se tedy o maximální roční měrnou potřebu tepla na vytápění pasivního domu, hodnotí se dle programu (PHPP).
- **Neprůvzdušnost obálky budovy n<sub>50</sub>**, ověřuje se tlakovou zkouškou, tzv. Blower Door testem, nesmí překročit hranici **0,6 h<sup>-1</sup>**, tedy při přetlaku a podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit víc než 60 % vnitřního objemu vzduchu.
- **Celkové množství primární energie** spojené s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je menší než **120 kWh/(m<sup>2</sup>a)**, jde tedy o maximální roční celkovou měrnou potřebu primární energie pasivního domu (vytápění, ohřev teplé vody, pomocná energie, domácí spotřebiče, osvětlení).

## 2. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je návrh nízkoenergetického rodinného domu. Je tedy potřeba zvolit lokalitu pro umístění stavby a s ohledem na její podmínky, jako je sklon terénu, orientace ke světovým stranám, okolní zástavba a klimatické podmínky, navrhnout jeho dispoziční řešení. Při návrhu bude dbáno na obecné typologické zásady a požadavky platných norem a předpisů. Součástí práce je posouzení obálky budovy z tepelně technického hlediska, přičemž jednotlivé konstrukce budou splňovat doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle ČSN 73 0540 – 2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, 2011.

V textové části tedy budou popsány zásady návrhu pasivních domů a jejich konstrukcí. Dále bude textová část obsahovat odůvodnění zvoleného architektonicko stavebního a stavebně technického řešení návrhu domu a výše zmíněné tepelně technické posouzení obalových konstrukcí.

Na navrženou dispozici bude vypracováno konstrukčně stavební řešení objektu jako stavby na bázi dřeva, které bude odpovídat požadavkům, které jsou kladeny na domy s nízkou spotřebou energie. Technická zpráva a stavební výkresy budou vypracovány na úrovni dokumentace pro provádění stavby podle §3 vyhlášky č. 499/2006 Sb. a budou samostatnou přílohou práce.

### **3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY**

Tato kapitola popisuje způsoby řešení jednotlivých konstrukcí pasivních budov, jejich specifika z hlediska architektonicko stavebního a stavebně technického. Popisuje tedy běžně používané metody, kterými dosahujeme výše zmíněných požadavků kladených na pasivní budovy.

#### **3.1 Koncepce a dispoziční řešení**

Již prvotní úvahy o tvaru budovy a dispozici definují budoucí energetickou náročnost budov a ovlivňují v konečném důsledku i cenu pasivního domu. O výsledných vlastnostech budovy je tedy rozhodováno právě již ve fázi prvotního návrhu, při vytváření studie. (Hazucha 2009a)

Není pravidlem, že pasivní domy jsou o hodně dražší. Na druhé straně, to že je dům dražší, vůbec nemusí znamenat, že je energeticky úsporný. Cenu domu mnohem více ovlivní prostorové nároky investora a jeho nároky na vybavení, než to, že dům bude v pasivním standardu. Například jednou ze zažitých falešných představ je, že pasivní dům musí být vybavený spoustou drahých technických zařízení. Platí pravý opak, protože současně se snižováním energetické náročnosti budovy se snižují také požadavky na výkon zdroje energie a další technologie. (Hazucha 2009b)

##### **3.1.1 Volba pozemku a orientace budovy**

Při volbě pozemku hrají významnější roli i jiné faktory, než jen energetické úspory. Samozřejmě, že vliv na cenu stavby bude mít jak dostupnost pozemku, tak i jeho další vlastnosti jako například sklon terénu. Zakládání ve svažitém terénu je náročnější, jak technologicky (překládka materiálu, použití mechanizace, složité terénní úpravy, někdy se nevyhneme i budování opěrných zdí a pažení terénu), tak časově, což se odrazí na ceně. Nicméně tohle není záležitost týkající se jen pasivních budov, nýbrž všech staveb.

Volba pozemku je důležitá také vzhledem k dostupnosti občanské vybavenosti. Tam, kde chybí budovy občanské vybavenosti, jako školy, služby atd., a místo není snadno dosažitelné veřejnou dopravou, mohou emise škodlivin spojené s dojížděním vlastním autem být výrazně vyšší, než z provozu domu. (Hazucha 2009b)

Vhodná orientace budovy na pozemku je velmi důležitá. V ideálním případě by měl dům stát na pozemku nestíněn. Hlavní fasáda s největší prosklenou plochou by

měla být otočena směrem k osluněné straně (od jihovýchodu přes jih po jihozápad). To ovšem kromě výhody využívání pasivních solárních zisků skrývá i riziko přehřívání budovy, proto je potřeba pečlivě navrhnout prvky stínící techniky (Hazucha 2009b). Dispozici takového domu je pak třeba navrhnout tak, aby odpovídala orientaci budovy a s ohledem na funkci jednotlivých místností. Na jižní stranu s největším prosluněním se navrhuje pobytové místnosti, jako jsou dětské a obývací pokoje, jídelny s kuchyněmi apod. Naopak na stranu severní se navrhuje místnosti, které nepotřebují velké proslunění, nebo se využívá přisvětlení místnosti z jiné světové strany, tedy strany západní a východní tak, aby na severní straně bylo co nejméně výplní otvorů.

Někdy však volbu pozemku, nebo umístění budovy nemůžeme ovlivnit. Poloha budovy může být regulována určitými pravidly (např. řadová zástavba, uliční čára), nebo jiný pozemek jednoduše nepřipadá v úvahu. V takovýchto případech lze alespoň prověřit zastínění okolní zástavbou, terénem a vzrostlou zelení a pak navrhnout optimální prosklení jednotlivých fasád vzhledem k pasivním solárním ziskům. V případě takového omezení, je třeba tyto podmínky přesně definovat a zahrnout je do návrhů a výpočtů. (Hazucha 2009b)

### **3.1.2 Tvarové řešení a kompaktnost**

Tvar budovy a její členitost se značnou měrou podílí na výsledných energetických vlastnostech budovy. Nejjednodušším způsobem jak omezit tepelné ztráty je zmenšit podíl ochlazovaných ploch konstrukcí vůči objemu vnitřní vytápěné zóny. Pokud by tedy měl být tvar z fyzikálních parametrů ideální, tak nejlepším řešením by byla koule. Samozřejmě z hlediska technického, dispozičního a ekonomického je takováto varianta jen těžko dosažitelná. Současným nejvhodnějším tvarovým řešením pasivního domu je tedy kvádr svou delší stranou natočený k jihu se střechou mírně skloněnou k severu. Další otázkou je, zda je výhodnější dům jednopatrový či vícepodlažní. Z hlediska kompaktnosti je výhodnější vícepatrová varianta. Jedním z rozhodujících faktorů na měrnou potřebu tepla na vytápění je tedy v tomto ohledu poměr obestavěné plochy domu k jeho objemu ( $A/V$ ). Dále vzhledem ke kompaktnosti není vhodné navrhovat příliš členité budovy, ty totiž s sebou přinášejí mimo nárůstu ochlazovaných ploch i množství složitých detailů a napojení nosných konstrukcí komplikujících realizaci. Pasivní domy je samozřejmě možné provádět i jako podsklepené, spojuje se s tím ovšem řada technických i energetických komplikací a stavba se tím zpravidla prodražuje. Tvarová kompaktnost je tedy jak z hlediska tvaru

celého domu, tak menších detailů, jako předstupujících konstrukcí před fasádu, odskoků a výčnělků, základním pravidlem při navrhování pasivních staveb. (Hazucha 2009b)

### **3.1.3 Zónování dle potřeby na vytápění**

Zónování pasivních staveb se již neprojevuje v souvislosti s tepelnými ztrátami, ale spíše na provozním fungování objektu. Základní rozdělení prostoru v objektu je na vytápěné a nevytápěné, které většinou vychází z logicky a funkčně oddělených celků jako sklep, podkroví, garáž a obytné či jiné prostory. Vytápěnou a nevytápěnou zónu je nutné důkladně oddělit a promyšlená volba zde značně usnadňuje řešení detailů. Ve vytápěném prostoru dochází k dalšímu členění dle účelu místností, provozního režimu, což vede k následné regulaci vytápění (Hazucha 2009b). Takto správně navržený systém zónování, jeho oddělení a naregulování vytápění dle potřeby se pak stává dalším článkem v celkové úspoře energií.

### **3.1.4 Chlazení pasivních budov**

Při snaze zabezpečit optimální solární zisky se mnohdy dostávají budovy do rizika letního přehřívání. Nejjednodušším a nejelegantnějším způsobem řešení přehřívání je přehřívání úplně předejít díky optimálnímu navržení velikosti prosklených ploch vycházejícího z potřeb na denní osvětlení v kombinaci s promyšleným systémem stínění, které při správném návrhu také napomáhají ke snížení chladící zátěže. Asi nejdůležitějším faktem kapitoly o chlazení budov je, že v našich klimatických podmínkách se správně navržené pasivní domy zpravidla obejdou bez strojního chlazení. Optimalizované prosklení a stínící prvky, spolu s efektivním nočním větráním a využitím předchlazení nasávaného vzduchu v zemním registru jsou ve většině případů schopny zabezpečit vyhovující teploty. Větší budovy pak mohou využít systému chlazení pomocí rozvodů umístěných v betonových stropěch, kterými protéká ochlazená kapalina, jedná se o tzv. aktivaci betonového jádra. Dochází k předchlazení masivních konstrukcí, které pak jako plošné prvky uvolňují chlad a udržují příjemnou teplotu. V zimě jsou stejné rozvody využívány jako otopný systém. (Hazucha 2009b)

## **3.2 Zakládání pasivních staveb**

Základová konstrukce přenáší zatížení z vrchní stavby do podloží, to znamená, že musí přenést veškeré zatížení ze stavby na základovou půdu v základové spáře, tj.

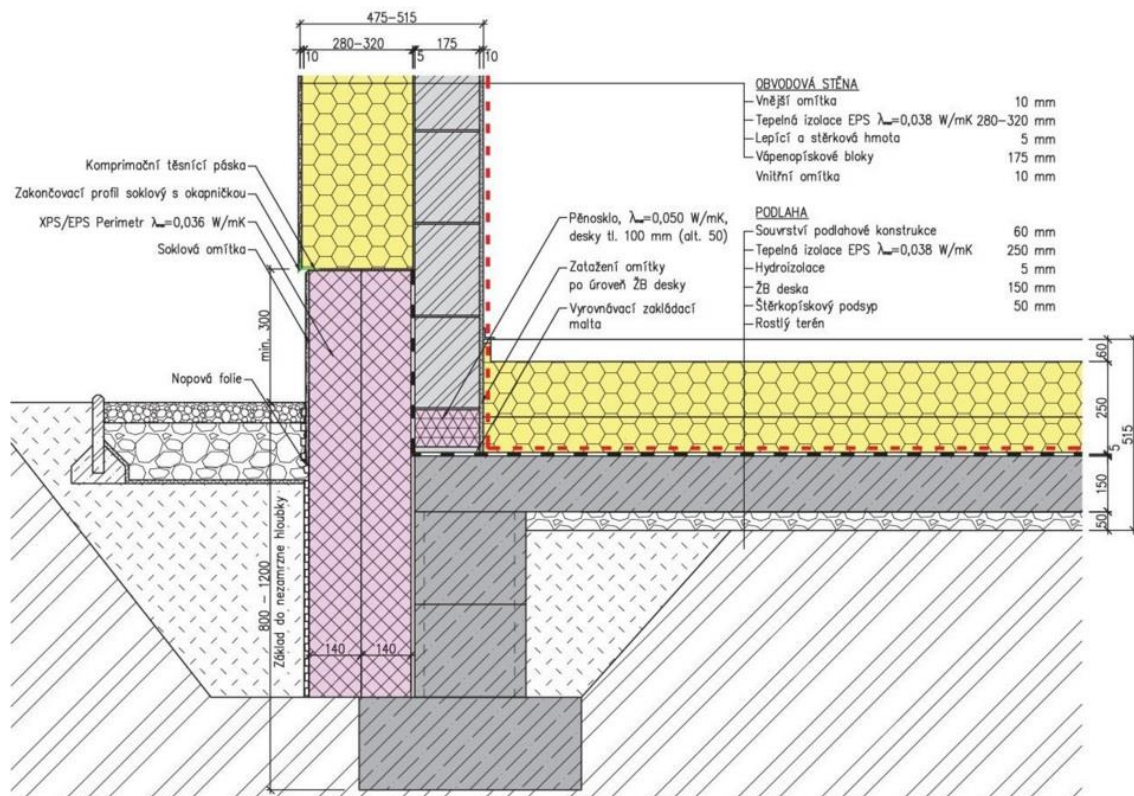
rovině, ve které základ spočívá na základové půdě. Základová konstrukce je nedílnou součástí nosné konstrukce každého domu a dá se řešit několika způsoby. Klasickou základovou deskou na pasech, plovoucí základovou deskou na tepelněizolační vrstvě, založením stavby nad terénem na patkách, zemních vrutech, nebo vytvořením stropní konstrukce nad terénem s odvětrávanou vzduchovou mezerou, takzvaný crawl space.

Obecně nejčastěji používaným a nejvíce rozšířeným způsobem zakládání v ČR je založení pomocí základových pasů. Ty se provádějí do nezamrzlé hloubky, kdy prostor mezi nimi je v požadované tloušťce vyplněn zhutněným šterkem a na povrchu je pak provedena srovnávací základová deska. Ovšem v případě pasivních staveb bývá situace často jiná. A to především u masivních staveb z vodivých materiálů, kde je v případě založení pomocí základových pasů složité vyloučit tepelný most vznikající u paty zdiva, který tak narušuje celistvost izolační obálky. Takové řešení může u rodinných domů znamenat zhoršení potřeby tepla na vytápění o 10 až 15 % (Web 04).

### **3.2.1 Základové pasy**

Existuje několik způsobů jak tento detail řešit, žádný z nich však není z pohledu pasivních budov naprosto dokonalý. Jedná se o různá systémová řešení pomocí tvarovek s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi oproti masivní konstrukci. Jako jsou tvarovky Schöck Novomur, nebo IsoKimm, ty však naráží na horší izolační vlastnosti a cenu. Ostatní řešení jako tvarovky z pěnového skla, nebo pórobetonu zase mají limity ve statické nebo vysoké nasákavosti. Zakládání na základových pasech je tedy výhodné pro obvodové stěny z méně vodivých materiálů s tepelnou vodivostí pod  $0,2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , jako je pórobeton, nebo dřevěná konstrukce, kde nemusíme řešit oddělení tepelného mostu od paty zdiva. (Web 04)





**Obr. 2:** Detail systémového řešení tepelného mostu v patě zdiva pomocí použití tvarovky z pěnového skla (Web 05).

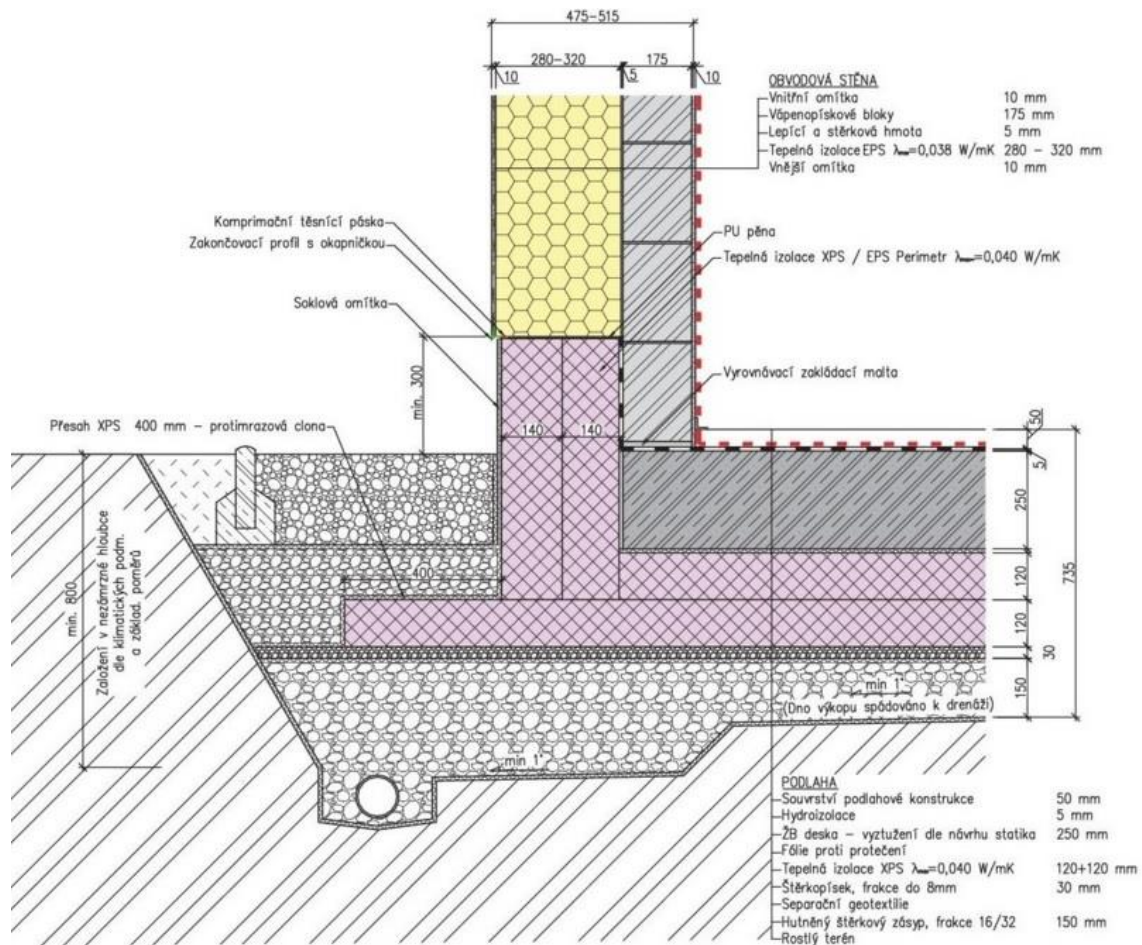
### 3.2.2 Plovoucí základová deska

Dalším, alternativním způsobem založením je založení tak zvané plovoucí základové desky. To znamená, vyztužené železobetonové desky bez základových pasů, která je uložena na únosné tepelně izolační vrstvě. Vzniká tak souvislá tepelně izolační obálka kolem celého domu. Jak je vidět na obrázcích (Obr. 3) a (Obr. 4), všechny nosné konstrukce tak jsou v teple v interiéru. Masivní železobetonová deska navíc přináší do domu velkou akumulaci hmoty, která pomáhá udržovat stabilní vnitřní teplotu. Rozlišujeme dva takovéto způsoby založení. Prvním je založení na deskové izolaci pomocí extrudovaného polystyrenu (Obr. 3) a druhým způsobem je založení na sypané izolaci, nejčastěji prostřednictvím štěrku z pěnového skla (Obr. 4). Oba případy jsou si podobné co do celkové koncepce. Před aplikací izolace musí být hotové výkopové práce a příprava podkladních vrstev. Dno výkopu musí být ve spádu, drenážní vrstva musí být ztuhnutá a s instalovaným příslušným drenážním systémem, aby se zabránilo zaplavení izolační vrstvy. I když se obecně jedná o nenasákové a nevzlínavé materiály, kterým nevadí krátkodobé působení vody, nejsou určeny pro trvalý styk s vodou. U založení na deskové i sypané izolaci proto platí omezení, že nesmí být navrhovány do základových poměrů s vysokou hladinou spodní vody, aby nedocházelo k dlouhodobému

zaplavování izolačního materiálu. Plošné zakládání na tepelné izolaci se provádí do zamrzné hloubky, a proto často vzbuzuje nedůvěru, že objekt musí v patě základové desky promrzat. Z tohoto důvodu se navrhuje přesah tepelné izolace, jako protimrazová clona v šířce 40–60 cm od okraje soklové izolace. Dochází tím k posunu izoterm tak, že izoterma 1 °C prochází bezpečně mimo svislý průmět hrany základové desky. (Web 04)

### **Založení na deskové izolaci (XPS)**

Desková izolace se pokládá na zhutněné vrstvy štěrku postupně se zmenšující frakce, kde poslední vrstva štěrku do 8 mm, je oddělena od ostatních vrstvou geotextilie kvůli propadávání menších částic do spodních vrstev. Důležité je v této fázi provést velice přesné srovnání vrchní podkladní vrstvy. Pro tyto účely se používá extrudovaný polystyren třídy únosnosti od 300 kPa až po 700 kPa, dle statického výpočtu. Aby bylo dosaženo potřebné tloušťky izolace, pokládá se ve dvou nebo třech na sebe kolmých vrstvách tak, aby se spáry jednotlivých vrstev překryly. Vrstvy izolace se k sobě kotví plastovými hřebíky, nebo se lepí speciálním nenasákavým PU lepidlem tak, aby se desky nerozházely a tvořily souvislou izolační vrstvu. Na XPS se pak provádí železobetonová deska s hydroizolací pod, nebo nad deskou. (Web 04)



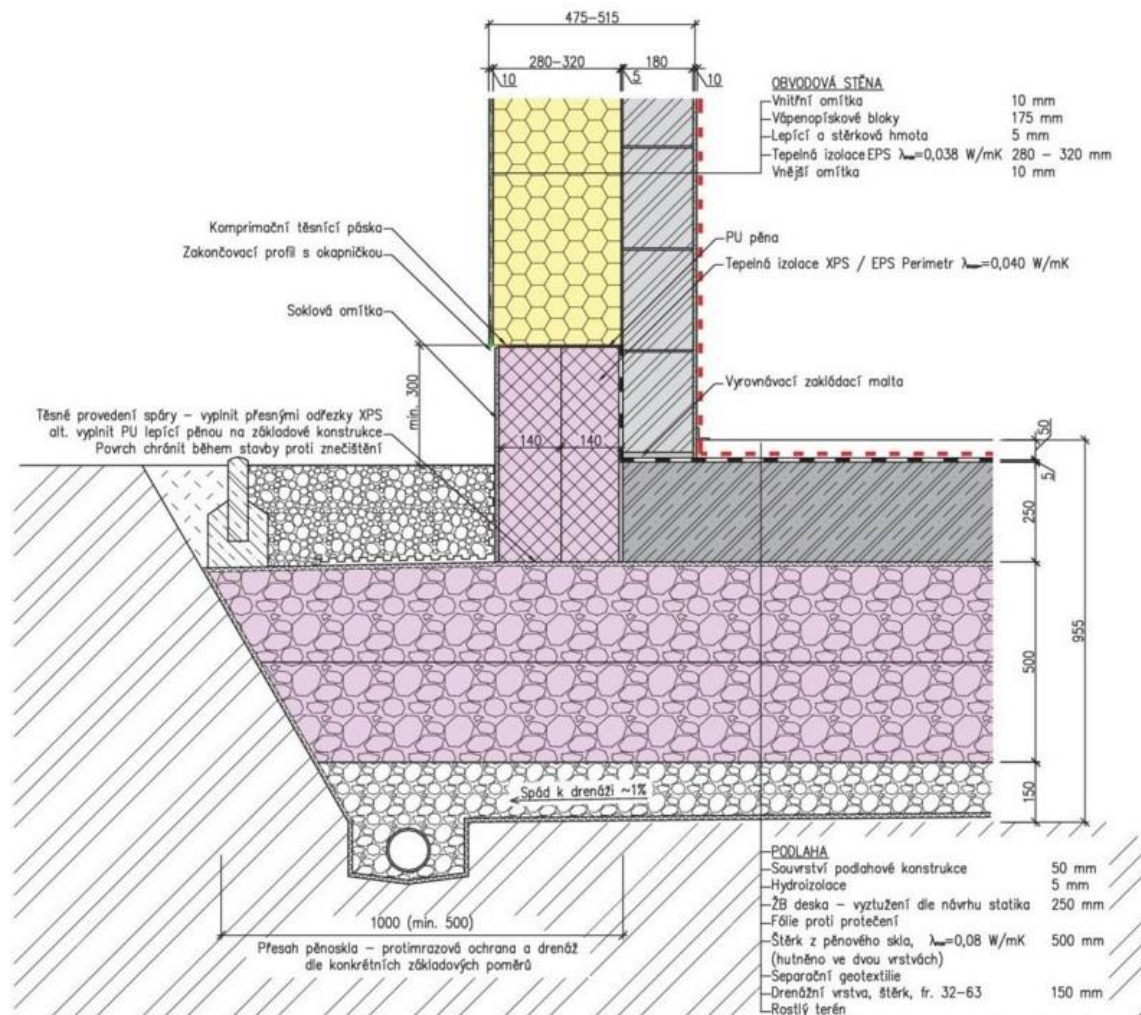
Obr. 3: Detail založení plovoucí základové desky na XPS (Web 07).

### Založení na sypané izolaci z pěnového skla

Pěnové sklo je materiál vysoce únosný a nenasákavý. Aplikace samotné izolační vrstvy je jednoduchá a obvykle vyžaduje pouze malou mechanizaci jako kolečka, hrábě a vibrační desku. Nicméně situace se může měnit v závislosti na svažitosti terénu a jeho dostupnosti. Obecně se nedoporučuje provádět zakládání na plovoucí desku ve svažitých terénech. Deska by měla celou plochou ležet na rostlém terénu, což ve svažitém terénu znamená značné výkopy a nutné pažení terénu či tvorbu opěrných zdí vedoucí k nemalému prodražení stavby. Postup práce je následující, vyhloubí se výkop o požadované hloubce a s přesahem na každou stranu dle dokumentace. Dno jámy se vysypává směrem k drenážnímu systému, dále se vysype menší vrstvou štěrku pro srovnání plochy, vyloží se geotextilií, vysype se vrstvou pěnového skla, která je hutněna ve dvou vrstvách v poměru 1 : 1,3. Po uložení pěnového skla se vše překryje geotextilií. Na takto předpřipravený základ se položí šalování. Do šalování se rozmístí výztuž a vylije se betonem. Po odbednění desky se ošetří boční ochranný perimetr opět pěnovým



sklem. Takováto deska i s pěnovým sklem se potom chová monoliticky, a proto jakékoli pohyby desky pak nemají negativní vliv na horní stavbu. (Web 12)



Obr. 4: Detail založení plovoucí základové desky na pěnovém skle (Web 06).

### 3.2.3 Založení nad terénem

Založením nad terénem rozumíme takové založení objektu, kdy mezi konstrukcí podlahy a terénem je vzduchová mezera. Vzduchová mezera může být viditelná, jako v případě založení na patkách a zemních vrutech, nebo uzavřená, jako v případě takzvaného crawl space systému, v tomto případě musí být ovšem navržen důmyslný systém odvětrání vzduchové mezery. Výhody těchto systémů spočívají v úspoře betonu oproti založení na základové desce, dále díky vzduchové mezeře odpadá nutnost provádění hydroizolace a díky pohybu vzduchu pod konstrukcí podlahy je vyřešen i problém radonového zatížení pozemku.

## Základové patky

Základové patky jsou typickým způsobem zakládání pro Skandinávii a Spojené státy, tudíž také pro stavby na bázi dřeva, které jsou v těchto zemích často stavěny. V závislosti na velikosti a hmotnosti domu a také na únosnosti základové spáry je nadimenzován počet a rozměr základových patek. Dle tohoto návrhu jsou vyhloubeny jámy pro jednotlivé patky do požadované hloubky, pak se provedou monolitické železobetonové konstrukce do úrovně terénu. Nad úroveň terénu do požadované výšky je možno pokračovat ocelovou konstrukcí, která je vetknutá do betonové konstrukce v části pod terénem. Další možností je vyždění patek do potřebné výšky, případně je možno provést i nadzemní část jako monolitickou železobetonovou konstrukci. K horní hraně nadzemní konstrukce se již kotví základové průvlaky, na které přímo navazují další prvky konstrukce dřevostavby. Tato varianta tedy postrádá klasickou betonovou rovinu v podobě základové desky pro zahájení dřevěné konstrukce, protože již tato první vodorovná konstrukce je dřevěná. Tímto způsobem dokážeme při minimálním



Obr. 5: Založení pomocí základových patek vyvedených nad úroveň terénu (Web 02).

navýšení nákladů výrazně zvýšit usazení stavby nad okolní terén. Toto řešení tedy můžeme s výhodou použít v záplavových oblastech nebo také u staveb ve svahu. Výhodou tohoto řešení je, že se nemusí provádět vodorovná hydroizolace podlahy, není třeba se zabývat ani radonovým zatížením pozemku, a navíc získáme prostor pro dostatečnou tloušťku tepelné izolace v podlaze. (Web 14)

## Zemní vruty

Založení pomocí zemních vrutů má celou řadu výhod a je možné jej použít i na velké dřevostavby. Typ zemního vrutu se volí jako u základových patek v závislosti na velikosti a hmotnosti stavby a na vlastnostech zeminy. Použití zemních vrutů, co se staveb na bydlení týká, je ovšem v rámci zatížení omezeno na konstrukční systémy na bázi dřeva, které vynikají svou nízkou hmotností. Výhody zemních vrutů spočívají



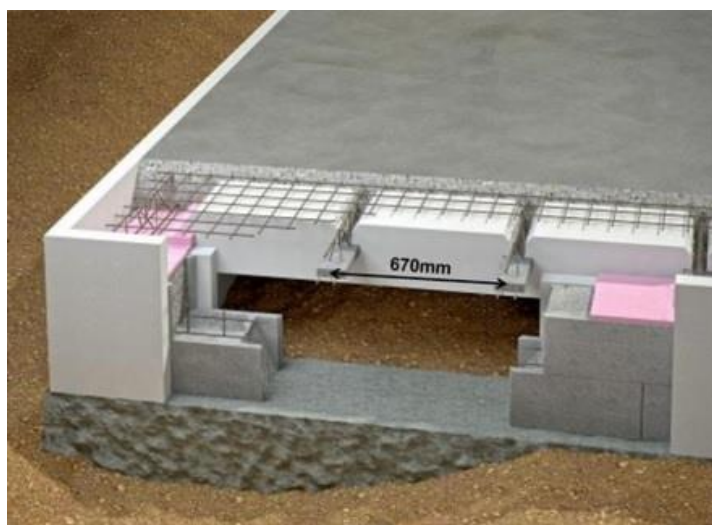
Obr. 6: Založení dřevostavby na zemních vrutech od firmy Krinner (Web 10).

především v jednoduchosti aplikace. Dále ve finanční úspoře skrz prakticky nulové výkopy, související terénní úpravy a časovou nenáročnost. Aplikované vruty je možné okamžitě zatížit, také je demontovat a znovu použít. Montáže se provádí téměř do každé zeminy, nezávisle na ročních obdobích a to i v zimě při mrazu. Celou přípravu pro základové průvlaky rodinného domu je tak možné provést během jednoho dne, což je zlomek potřeby času ve srovnání s časovou potřebou na zhotovení železobetonové základové desky. Na zemní vruty je možné navázat ocelovou konstrukcí, nebo rovnou kotvit základové průvlaky, ovšem vždy je třeba dbát na minimální vzdálenosti dřevěných prvků od přilehlého terénu a na jejich ošetření. Nejzasvěcenější firmou u nás poskytující zemní vruty je firma Krinner, která vlastní patent na jejich výrobu. Zemní vruty Krinner se vyznačují svou unikátní konstrukcí a tvarem. Jako jediné na trhu mají kovanou špičku, navíc zemní vrut při zašroubování do země díky svému kónusovému tělu ztuhne a stlačí zeminu ve svém okolí, a tak vznikne díky ploše pravidelného závitů na těle prutu velmi pevný základ, který lze okamžitě zatížit. Vruty pro založení rodinného domu dosahují délek kolem dvou metrů, pro jejich zavrtání je proto

využíváno speciální mechanizace v podobě pásového stroje Dumper. Tímto způsobem je možné založit stavby jakékoli velikosti při nosnosti až 72 kN na jeden vrut. Vzhledem k zinkové úpravě vrutu je jeho předpokládaná životnost cca 150 let což odpovídá úbytku zinku v tloušťce 1 mikron za rok. (Web 01, 08, 09)

### **Crawel space**

Jednou z možností jak zakládat pasivní domy takzvaně nad terénem je použití systému Elegohouse od firmy Cemex, která vytváří základovou desku na bázi stropních montovaných betonových nosníků s izolační samonosnou vložkou z polystyrenu. Jedná



**Obr. 7:** Založení pomocí systému Elegohouse od firmy Cemex. (Web 04)

se tedy o zateplený strop na základových pasech. Kombinují se tím osvědčené a vyzkoušené technologie, které vytváří samonosný systém bez potřeby podsypů. Integrovaná izolace není zatížena vahou stavby a její vlastnosti neovlivňuje vlhkost zeminy. Pro oddělení tepelného mostu je použit pás 8 cm XPS mezi základovou deskou a pasem. Systém je cenově výhodnější než klasické založení na pasech a v jedné operaci je vytvořena i izolace podlahy. Navíc není potřeba provádět hydroizolaci ani protiradonové opatření, protože dutina je odvětrána. (Web 04)

### **3.3 Kostrukční systémy pasivních staveb**

Pro pasivní domy je nejvýhodnější používat konstrukce, které umí zabezpečit dostatečnou izolační schopnost při co nejmenší tloušťce stěn. Dělíme je na konstrukce těžké (masivní) a lehké (převážně dřevostavby). Vzhledem ke konečnému vizuálnímu vjemu nejde dělat žádná rozdělení, jelikož dřevostavby jsou po omítnutí k nerozeznání



od klasických staveb a naopak některé masivní stavby se po obložení dřevěným obkladem pak tváří jako dřevostavby. Každý ze systémů má své výhody a nevýhody, především u dřevostaveb se pak investoři neoprávněně obávají nejruznějších “mýtů“ o dřevostavbách plynoucích z neznalosti jejich technologie výstavby a nedůvěry ve dřevo jako obecně poddružného materiálu. (Hazucha 2009b)

### 3.2.1 Masivní konstrukce

Masivní stavby mají stále podstatně vyšší podíl na trhu s novostavbami. Pasivní domy jde postavit v podstatě ze všech materiálů ať už se jedná o plně pálené cihly, vápenopískové bloky, beton či plynosilikátové tvárnice. Jestliže chceme využít výhodných vlastností masivních staveb, tudíž jejich schopnosti akumulace tepla a akustického útlumu, je na místě zvolit materiály s větší objemovou hmotností a pevností, které při co nejmenší tloušťce zabezpečí statickou únosnost a tepelnou akumulaci. Tyto materiály pak zvenčí zateplít izolanty s velkou tepelně izolační schopností. Z tohoto pohledu pak nejsou pro pasivní domy odlehčené tvárnice ideálním řešením, snaží se spojit vlastnosti nosného materiálu a izolantu, ale nejsou pořádně ani jedno, ani druhé. Aby splnily požadavky na prostup tepla konstrukcí, musí být i ty nejlepší tvárnice dodatečně izolovány, což navyšuje jejich cenu i celkovou tloušťku stěny a ani jejich akumulační schopnost není zrovna kvalitní. Naopak vhodným a tradičně ověřeným materiálem je cihla plná. Například vápenopísková cihla je energeticky méně náročnou alternativou cihly pálené a vyrábí se i ve větších formátech pro rychlejší mechanizované zdění. Při použití 175 mm tlusté cihly a 300 mm izolace včetně oboustranného omítnutí celková tloušťka stěny nepřesáhne 500 mm. Dosahuje přitom koeficientu přestupu tepla  $U=0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Pro porovnání i nejlepší odlehčené tvárnice dosahují při tloušťce 500 mm horší hodnoty  $U=0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  a současně i slabší akumulace tepla. Dalším možným řešením je použití ztraceného bednění, tedy tvárnic z polystyrenu (neoporu), nebo štěpkocementových tvárnic i izolací, které se po vyskládání vyplní betonem. Jedná se o celistvá systémová řešení celé obálky budovy, tedy i o prvky pro zakládání, překlady a stropy. Výhodou je rychlá a jednoduchá montáž, současně ovšem přicházíme o akumulační schopnost betonového jádra, které je i z vnitřní strany obklopeno vrstvou izolace. V dnešní době jsou však na trhu k dostání i tvárnice, které mají veškerou izolaci umístěnou na venkovní straně, a nedochází tak k zamezení tepelné akumulace do betonové části. (Hazucha 2009b)



### 3.2.2 Lehké konstrukce (dřevostavby)

V případě dřevostaveb v pasivním standardu není možné použití jen dřeva bez tepelné izolace. Taková konstrukce by musela mít tloušťku asi 1,2 m, zároveň by byla neúměrně drahá. Z tohoto důvodu se dřevo v pasivních stavbách používá jen jako konstrukční prvek a to v množství potřebném pro statickou únosnost. Nosné prvky jsou skryty uvnitř stěny a výsledkem je pak její menší tloušťka než u masivních staveb. Předností dřevostaveb je také větší rychlost výstavby, menší náročnost a tím spojené nižší náklady. Lehká konstrukce umožňuje postavit dům nad terénem, odpadá tak nutnost hydroizolace, protiradonového opatření a eliminují se tepelné mosty v místě napojení na základy. Při nejmenším dřevostavby nevyžadují tolik staticky únosné základy a lze je tak v případě potřeby redukovat jen na základové patky. Použití dřeva méně zatěžuje životní prostředí, zejména je-li z lokální produkce a také likvidace stavby po jejím dožití je velice jednoduchá. Pasivní dřevostavby nejčastěji využívají prefabrikované panelové systémy, nebo systémy stavěné přímo na stavbě. Výhodou panelových systémů je rychlá výstavba a menší cena, vzhledem k velice efektivní tovární prefabrikaci. V prostředí výrobních hal bez vlivu počasí, lze pomocí mechanizace dosahovat nižší pracnosti a zároveň vyšší přesnosti. Panely je možné připravit pro instalační vedení už přímo ve výrobě, což zjednodušuje následnou montáž. Po dovozu panelů je samotná výstavba záležitostí několika málo dní. (Hazucha 2009b)

Systémy stavěné přímo na stavbě vycházejí z tradičního systému rozšířeného v USA, označovaného jako two-by-four (2 x 4 palců). Tento systém umožňuje velkou variabilitu prvků i rychlost výstavby. Svislé dřevěné prvky dohromady s velkoformátovými konstrukčními deskami (OSB, sádrovláknité desky apod.) tvoří staticky pevnou a velice kompaktní konstrukci. Jako svislé prvky jsou nejčastěji použity masivní fošny, kombinované I-nosníky, nebo jednoduché příhradové vazníky. Tímto způsobem je vytvořen rošt, do kterého je umísťována izolace, která je z vnější strany zaklopena nejčastěji difuzně otevřenými dřevovláknitými deskami. Konečnou vrstvu tvoří omítkový systém či odvětrávaná fasáda. Dřevostavby mohou být izolovány konvekčními izolačními materiály i přírodními alternativami. Vhodnější jsou materiály s menším difuzním odporem, jelikož dřevo je přírodní materiál a potřebuje dostatečné odvětrání. V opačném případě může dojít k neustálému zvyšování množství z kondenzované vodní páry v konstrukci a následným poruchám. (Hazucha 2009b) Z hlediska možnosti prostupu vodních par konstrukcemi dřevostaveb je tedy dělíme na

konstrukce difuzně uzavřené a difuzně otevřené (viz kapitola *Difuzně otevřené konstrukce* a *Difuzně uzavřené konstrukce*). Další vrstvy obvodových konstrukcí jsou pak voleny v závislosti na požadavku prostupu či zamezení prostupu vodních par.

Akumulační schopnost u lehkých staveb v pasivním standardu již nehraje takovou roli jako u běžných lehkých staveb. Ochranu proti krátkodobým zátěžím zabezpečuje vysoký stupeň zaizolování, který nepouští teplo ven, ale ani dovnitř. Je ovšem nutné pečlivě navrhnout stínění, aby sluneční zisky nezpůsobily přehřívání interiéru, když se přebytečné teplo nemůže ukládat do masivních prvků. Některé akumulční prvky lze s úspěchem využít také u dřevostaveb. Například jílové omítky, masivní betonové podlahy, přízdivky, zděné vnitřní příčky, nebo akumulční stěny k tomuto účelu přímo navržené, ve kterých proudí ohřátý nebo ochlazený vzduch a způsobuje tím jejich tzv. „aktivaci“. S určitým zpožděním podle druhu materiálu jsou pak tyto prvky schopny sálat teplo nebo chlad zpětně do prostoru. (Hazucha 2009b)

### **Difuzně otevřené konstrukce (DOK)**

Difuzně otevřené konstrukce (DOK), jsou takové konstrukce, které umožňují vodní páře prostupovat skrz obvodovou obálku domu ve směru teplotního spádu. Difuze je tedy přirozený jev, který se snaží vyrovnat rozdílná prostředí interiéru a exteriéru a to právě přes obvodovou obálku domu, která tato prostředí odděluje. Obálka pak bude tomuto jevu bránit tím více, čím bude silnější (tlustší) obvodová konstrukce a čím hůře bude vodní páru propouštět, tedy čím menší bude součinitel difuze vodní páry. Tento jev má největší hybnou sílu právě v zimním období, kdy v našich klimatických podmínkách máme v domech výrazně odlišné prostředí než je venku. Pobytem v domě produkujeme nemalé množství vlhkosti, které však teplý, a tedy po vlhkosti hladový vzduch dokáže dobře pojmout. Zdroji vlhkosti jsme my sami (dýchání, odpařování), dále vaření, koupání, významným zdrojem je také sušení prádla a podobně. Nastává tedy situace, kdy na jedné straně konstrukce máme teplý a vlhký vzduch, na druhé straně v exteriéru pak naopak, vzduch studený a suchý. V důsledku toho je pak přirozeně vyvolána difuze vodních par skrz konstrukci a je jen na nás, zda tento pohyb vodní páry umožníme návrhem DOK, nebo mu zcela zamezíme návrhem difuzně uzavřené konstrukce (DUK). (Růžička 2014)

Jak již bylo uvedeno, DOK umožňuje vodní páře prostupovat skrz obvodovou obálku ve směru teplotního spádu. V zimním období tedy směrem z interiéru do exteriéru. Dále dle Růžičky (2014), protože se nejedná o jednosměrný tok, tak

z exteriéru do interiéru prostupuje vzduch, který však vlhkosti obsahuje podstatně méně. Množství vodní páry, které necháváme vstoupit do konstrukce regulujeme pomocí parobrzdy, tedy parobrzdné vrstvy, která je pro vodní páru propustná jen do určité míry. Ekvivalentní difuzní tloušťka  $S_d$  této vrstvy se pohybuje okolo 5 m. Pára, která vstoupí do konstrukce, je teplotním spádem protlačována dále směrem ven, do exteriéru, a na své cestě může dospět i do bodu nasycení, tedy rosného bodu a promění se ve vodu. V rámci návrhu se snažíme hledat takové řešení, u kterého leží rosný bod ideálně mimo konstrukci. Takové řešení lze považovat za ideální, avšak ve stavební praxi umíme pracovat i se stavem, kde v konstrukci za určitých okolností a pouze po určitý časový úsek kondenzace nastat může, v další části roku se však všechna tato zkondenzovaná voda musí bezpečně odpařit. Tento stav nazýváme aktivní bilance vodní páry. Opačný stav, tedy pasivní bilance vodní páry znamená, že v konstrukci může kondenzovat větší množství vodní páry, než se stačí odpařit, to vede k postupnému hromadění vody v konstrukci a takovýto stav je u staveb zcela nepřijatelný. Zcela zásadním pravidlem pro DOK je tedy taková skladba vrstev, která průchod vodní páry do jisté míry umožní, a to tím lepe, čím blíže je pára k exteriéru. Jinými slovy, principem DOK je, že pára, kterou skrz parobrzdu pustíme do konstrukce, dále už nic nebrání, aby se bezpečně dostala na druhou stranu, tedy až do exteriéru. (Růžička 2014)

Mezi výhody DOK patří právě zmíněný difuzní efekt, tedy komunikace vnitřního a vnějšího prostředí, a tak naprosto přirozené chování materiálů na přírodní bázi. Rovněž je považováno za mnohem méně rizikové řešení z hlediska dlouhodobého fungování konstrukce. Dále DOK si udržuje ideální vlhkost podle vnějšího prostředí, což je pro dřevo přirozené a důležité. Větší nebo lokální nápor vodní páry z interiéru snadno pojme, rozvede v rámci skladeb a „vydýchá“ směrem ven. Suchý a hladový zimní vzduch vysává ze stěny vlhkost, a konstrukce tak vysychá i v zimním období, tedy celoročně. Nevýhody DOK spočívají především ve vyšší náročnosti na znalost a zkušenost při vlastním návrhu DOK skladby, výběru vhodných materiálů a jejich vzájemné kombinaci. Dále pak ve vyšších nárocích na provedení a pravděpodobně vyšší ceně, což je dáno cenou jednotlivých vrstev které musí splňovat určité difuzní vlastnosti. (Růžička 2014)

### **Difuzně uzavřené konstrukce (DUK)**

Difuzně uzavřené skladby, jak vyplývá z jejich názvu, vstup vodní páry do konstrukce vůbec nepřipouštějí a jev difuze v nich pak nenastává. Děje se to především

díky parozábraně, což je vrstva pro prostup par dostatečně těsná, ekvivalentní difuzní tloušťka  $S_d$  se pak pohybuje od cca 40 do 200 m, ale máme k dispozici i materiály (fólie) s hodnotou  $S_d=1500$  m. Na první pohled se princip DUK jeví jako rozumný a přirozený, nechceme vodu v konstrukci a proto tam vůbec nepustíme páru, která by se mohla ve vodu proměnit. Při dodržení zmíněného způsobu zamezení vniku vodních par do konstrukcí pak můžeme další vrstvy poskládat celkem libovolně, aniž by bylo nutné přihlížet k jejich difuzním vlastnostem. (Růžička 2014)

Výhody DUK spočívají především v určité jednoduchosti z hlediska návrhu skladeb, zabezpečíme-li správnou funkci parotěsné vrstvy, nemusíme se už o nic moc dalšího ve srovnání v DOK starat. DUK pak vycházejí z cenového hlediska levněji, jelikož v nich používané materiály nemusí splňovat požadavek na difuzní otevřenost a z podobného důvodu mívají i v nich používané tepelné izolace o něco málo lepší tepelně izolační vlastnosti, a je tak možné dosáhnout celkově menší tloušťky stěny. Největším rizikem nebezpečím DUK je vytvoření skutečné parotěsné vrstvy, tedy takové, která zaručí 100% nepropustnost pro vodní páru. Problém není ve vlastních materiálech parozábrany, kterými jsou buď hliníkové, nebo plastové fólie, ale především v provedení jejich spojů, detailů a všech míst, které tuto vrstvu prostupují. V praxi je téměř nemožné udělat parozábranu tak, aby 100% splňovala předpoklady DUK. I malé porušení těsnosti fatálním způsobem naruší fungování konstrukce, kdy dochází k tzv. „vanovému efektu“ vodní pára doslova hledá místo, kudy by se mohla protlačit na druhou stranu stěny a pokud ho najde, protlačí se do porušeného místa a pravděpodobně taky v jednom místě zkondenzuje. Navíc díky tomu, že při návrhu DUK se neuvažuje s tím, že by se do konstrukce nějaká pára mohla dostat, natož kondenzovat a následně vypařit, znamená každé sebemenší porušení parotěsnosti opravdovou hrozbu. Další nevýhodou může být špatný pocitový vjem, kdy dům může uvnitř působit jako igelitový pytel, ve kterém by měl jeho majitel žít. Tato představa se příliš neslučuje s ideou dřevostavby jako bydlení v přírodním a „vzdušném“ stylu. (Růžička 2014)

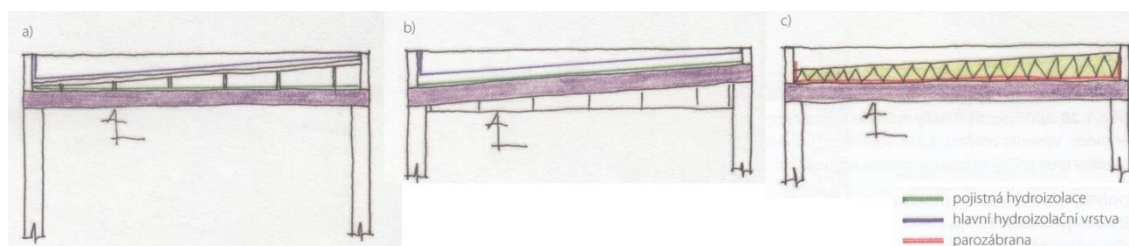
### **3.3 Střešní konstrukce pasivních staveb**

Pasivní domy nejsou nějak tvarově omezeny na jeden typ střechy. Nicméně výhodnější jsou však střechy s malým sklonem 0,5–20 °, ať už střechy ploché, pultové, nebo sedlové. Vytvářejí menší ochlazovanou plochu, jsou konstrukčně jednodušší a z důvodu použití menšího množství izolace, krytiny a dalších střešních prvků vycházejí i ekonomicky lépe. Plochým střechám bylo často vytýkáno, že jsou nekvalitní a často do

nich zatéká. Použití současných kvalitních materiálů však tento problém úspěšně odstranilo. Mírný sklon střech se současně nabízí pro použití zelených vegetačních střech, optimálně v bezúdržbových variantách. Zpomalují odtok vody z krajiny a tím přispívají k jejímu ochlazení, jsou vhodné do přehřátých měst. Toto řešení současně prodlužuje životnost střešního pláště. Nejideálnější tvarovým řešením střechy z pohledu pasivního stavění je mírně sklonitá střecha, tedy tzv. plochá střecha, směrem k severu. (Hazucha 2009b)

Dle (Růžičky 2014) je hodně důležité rozhodnutí mezi variantou difuzně uzavřené, nebo difuzně otevřené skladby konstrukce. Od tohoto rozhodnutí se pak odvíjí i řešení jednotlivých vrstev skladby konstrukce. I v případě ploché střechy vytváříme minimálně poslední vrstvu hydroizolace s určitým sklonem, většinou minimálně 1,5 %. V rámci konstrukce musíme tedy na vnitřní straně vytvořit vodorovný povrch, na vnější straně pak požadovaný spád. Toho lze dosáhnout různými způsoby.

Jednou z možností je uložit nosný konstrukční prvek vodorovně a spád pak vytvořit v dalších vrstvách konstrukce. Pokud půjde o skladbu s větranou mezerou a tedy pojistnou hydroizolační vrstvou, je nutno pamatovat na to, že i na této vrstvě může kondenzovat voda a podle toho je třeba volit materiál a provedení vrstvy. Je možné, že pojistná hydroizolace je beze spádu a spád je vytvořen až nad touto vrstvou. Voda, která v odvětrávané mezeře případně zkondenzuje, zůstává na bezespádové pojistné hydroizolaci a následně je odvětrána (Obr. 8a). Další možnou variantou je nosný prvek uložit ve spádu s tím, že ostatní vrstvy tento spád kopírují. Vodorovné plochy

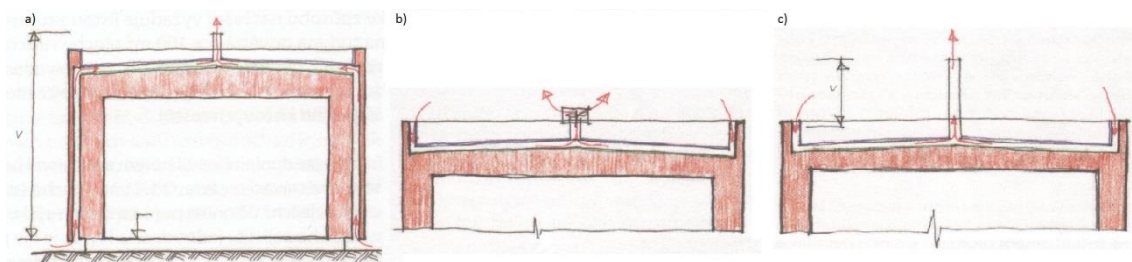


**Obr. 8:** Způsoby vytvoření spádu ploché střechy (Růžička 2014).

v interiéru pak dosahujeme zavěšeným podhledem. V případě skladby s odvětrávanou mezerou budeme mít v tomto případě pojistnou hydroizolaci už ve spádu a je nuto umožnit odvod vody, která na ni bude kondenzovat. Vodu ze střechy je tedy nutno odvádět ze dvou úrovní, z vlastní krytiny a z pojistné hydroizolace (Obr. 8b). Dalším řešením je konstrukce rovná a spád vytvoříme například pomocí spádového polystyrenu vyrobeného na míru dané konstrukci střechy. Toto řešení se uplatňuje nejčastěji v případech požadavku na viditelné stropní prvky. Takovouto skladbu pak volíme jako

difuzně uzavřenou a podmínkou je řádně provedená parozábrana pod vrstvou tepelné izolace (Obr. 8c) (Růžička 2014).

Jedním z nejdiskutovanějších témat týkajících se plochých střech je nutnost či vhodnost jejich odvětrání. Faktem je, že ani v dnešní vyspělé době nejsme schopni provést difuzně otevřenou konstrukci, avšak bez nutnosti jejího odvětrání, k tomu bychom potřebovali vodonepropustnou a zároveň difuzně otevřenou hydroizolaci. A proto u difuzně otevřených skladeb plochých střech volíme vždy odvětrávanou vzduchovou mezeru. Zabezpečení správného, nebo spíše dostatečného proudění vzduchu v této mezeře není ovšem tak jednoduché, jak by se mohlo zdát. Na rozdíl od šikmých střech, kde je odvětrávací efekt podpořen jednak výškovým rozdílem mezi okapem a hřebenem a také často výrazně vyšší teplotou v odvětrávací mezeře než v okolním prostředí, což takový efekt ještě podporuje. V případě plochých střech ovšem tyto podpůrné prostředky tahového efektu využít nemůžeme a musíme hledat jiná řešení, jelikož samotná mezera v takovém případě správně fungovat nebude a představuje tak vážné riziko poruchy střešní konstrukce. Obecně platí, že má-li v nějakém prostoru vzduch proudit, je třeba ho někudy přivádět a odvádět. Tato místa by měla být umístěna na opačných stranách daného prostoru, přičemž by samotný prostor neměl proudění nějak bránit, vzduch by se měl pohybovat samovolně a přirozeně, což je u vodorovných dutin nelehký úkol. Jedním z řešení tohoto problému je možnost napojení odvětrávací mezery obvodové konstrukce na odvětrávanou mezeru



**Obr. 9:** Možnosti podpory proudění vzduchu v odvětrávané mezeře ploché střechy (Růžička 2014).

střešní konstrukce (Obr. 9a). Využívá se tak přirozeného komínového efektu odvětrávací mezery fasádního pláště, a tím dojde k výrazné podpoře provětrání i ploché střechy. Přívod a odvod vzduchu je tak umístěn v rozdílných výškových úrovních, čímž se projeví komínový efekt fungující na základě rozdílného tlaku vzduchu v odlišných výškových úrovních. Další možností jak podpořit odvětrání plochých střech je osazením odvětrací turbíny (Obr. 9b), kterou roztáčí i velice malý pohyb vzduchu a která centrálně vysává vzduch z prostoru. Obecně lze říci, že jedna turbína odvětrá cca 100 m<sup>2</sup> plochy střechy. Při návrhu tohoto řešení je však třeba mít na paměti, že turbína

je bodovým uzlem a je tedy možné ji instalovat jen v prostorech s křížovými rošty, které umožňují propojení celé vzduchové mezery. Odvětrávání ploché střechy můžeme dále podpořit i pomocí odvětrávacích komínků (Obr. 9c), jejichž účinnost poroste s jejich výškou. Toto řešení je z hlediska technického naprosto v pořádku, jeví se jako jednoduché a navíc i levné, nicméně z architektonických a estetických důvodů se používá jen sporadicky. Podobně jako v případě turbín je i komínek bodovým uzlem, platí tedy pro něj stejná pravidla ohledně umožnění přístupu vzduchu k němu. (Růžička 2014)

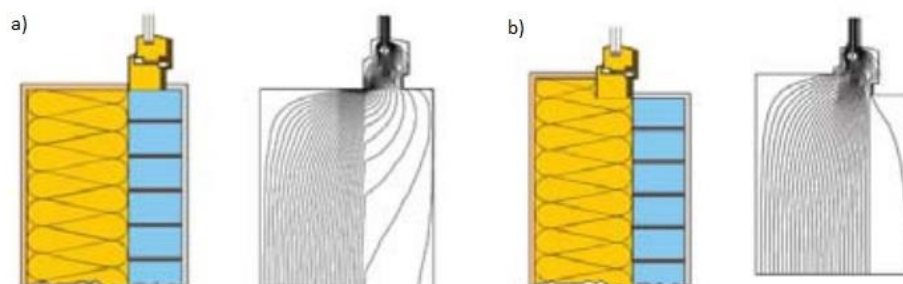
### 3.4 Výplně otvorů pasivních staveb

Každá okna jsou z tepelně technického hlediska „slabým místem“ každého domu a o to více v případě domů v nízkoenergetickém či pasivním standardu. Proto je nutno okna pečlivě vybírat a zaměřit se na parametry, které celkovou bilanci ovlivňují (Němcová 2014).

Při výběru oken a dveří pro pasivní budovy je důležité se zaměřit především na kvalitu zasklení, její výplň, tzn. druh použitého inertního plnu, dále na izolaci rámu okna, výborného utěsnění křídla vůči rámu a dostatečnou hodnotu propustnosti slunečního záření. Při osazování okna je pak třeba dbát na správnou polohu osazení a utěsnění při montáži. Dalším předpokladem správně fungujícího okna je i správný návrh jeho stínění v letním období (Cihlář, Hazucha 2009, Němcová 2014).

Materiálová podoba oken může být různá, nejčastější jsou okna dřevěná a plastová. Ve vztahu k pasivním domům nelze jednoznačně říct, který materiál je lepší, krom toho se na trhu vyskytují i další materiálové provedení na bázi hliníku, či další materiálové kombinace. V každém provedení jsou již dnes k dostání okna odpovídající kvalitě pro pasivní domy a volba je tak jen na nás. Daleko důležitější rozhodnutí než volba materiálu jsou samotné tepelně technické vlastnosti, které mají velký vliv jak na konečnou energetickou bilanci domu, tak i na správnou funkci oken. Nejdůležitějším parametrem pro hodnocení kvality okna pro pasivní dům je součinitel prostupu tepla  $U$ . Přesněji hodnota součinitele jak pro rám samotný tak i zasklení, tedy hodnota  $U_w$ . Požadavky na tuto hodnotu jsou čím dál přísnější, nicméně hodnota pro pasivní domy je ještě výrazně nižší, v současnosti je to  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Důležitá je také jakási vyváženost mezi vlastnostmi rámu a zasklení, tedy hodnotou  $U_f$  a  $U_g$ . Může totiž nastat situace, kdy při zvolení vynikajícího zasklení a horšího rámu se sice celkové  $U_w$  okna vejde do hodnoty  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , nicméně při osazení takového okna do konstrukce pak vznikne

právě v místě styku značný tepelný most, proto se také měří hodnota zabudovaného okna, která má být menší než  $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . A proto také při udělování certifikátu u Passiv Hause Intitutu jsou okna testována se stejným zasklením z hodnotou  $U_g=0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Díky tomu, že rámy mají při vynikajícím zasklení horší vlastnosti,



**Obr. 10:** Vliv polohy osazení okna vzhledem k tepelným ztrátám a) špatně, b) správně (Cihlář, Hazucha 2009).

vycházejí lépe větší okna kde je podíl rámu logicky menší. Stejně tak okno jednoduché je výhodnější než okno dělené z hlediska solárních zisků. Rámy oken totiž běžně zabírají kolem 30 % plochy okna, přičemž teplo nimi jen odchází aniž by umožňovaly solární zisky, je tedy výhodné jejich plošný podíl minimalizovat. (Cihlář, Hazucha 2009)

Dalším významným faktorem správně navrženého okna je jeho poloha osazení v samotném stavebním otvoru. Správné osazení okna by mělo být do vrstvy tepelné izolace, tzv. předsazená montáž, která eliminuje vznik tepelného mostu. U masivních staveb jde nejčastěji o osazení na ocelové kotvy, u dřevostaveb se pak využívá systém monžtáže okna do kaslíku z OSB desek. Rám okna se pak ještě z venku překrývá vrstvou izolace a to minimálně 30–40 mm. Nevhodné osazení okna vede k významnému zvýšení potřeby tepla na vytápění, v některých případech až o 50 %. (Obr. 10). Důležitou volbou je také správný typ distančního rámečku zasklení, který v nesprávně zvolených případech způsobuje rosení okna ve spodních částech zasklení (Cihlář, Hazucha 2009). V dnešní době se distanční rámečky vyrábějí především z hliníku, který je vzhledem k jeho výrazné tepelné vodivosti naprosto nevhodný, dále pak z nerezové oceli, která je na tom o něco lépe, avšak u oken pasivních domů by mělo být pravidlem použití tzv. „teplých rámečků“. Jedná se o plastové rámečky, které mají kvůli přilnavosti tmelů kovové jen hrany. Jejich použití může zlepšit  $U$  hodnotu celého okna až o více než 10 % proti standartním hliníkovým rámečkům (Hazucha 2009c).

Dalším důležitým faktorem oken, či spíše jeho zasklení je schopnost propouštět sluneční záření, parametr, který tuto schopnost udává je propustnost slunečního záření



$g$  (%). Určuje, kolik procent slunečního tepla, což představuje infračervená oblast slunečního záření, se neodrazí, ale pronikne do interiéru. Při dnešním osazování trojitých skel se tento parametr výrazně snižuje, vyžadují to však lepší tepelně izolační vlastnosti, jelikož při celkové bilanci jsou trojskla výrazně úspornější (Cihlár, Hazucha 2009). Platí tedy, že při zlepšování parametru  $U_g$  může klesat hodnota  $g$ , jelikož tato hodnota propustnosti může ve velké míře záviset na selektivní vrstvě pokovení, díky které se právě dosahuje velice nízké hodnoty  $U_g$ . U okna s  $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  by měla být propustnost slunečního záření vyšší než 50 %. Skla těchto parametrů umístěné na jižní fasádě umožní i v zimním období pozitivní energetickou bilanci, tedy více zisků, než-li ztrát. Velmi důležitým parametrem zasklení, který přímo ovlivňuje tepelnou pohodu v místnosti je vnitřní povrchová (dotyková) teplota, která se při  $U_g=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  pohybuje okolo  $17,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . (Hazucha 2009c)

Velice nízké hodnoty součinitele prostupu tepla byly u izolačních skel dosaženy teprve použitím vrstvy pokovení, skleněné tabule jsou tedy opatřeny napařenou vrstvou kovu. Taková skla pak podle vlnové délky vyzařované energie ji buď propouštějí, nebo zadržují. V praxi fungují tak, že krátkovlnné sluneční záření je v požadovaném množství propuštěno do interiéru a po dopadu se promění na teplo. Zpětně vyzařované dlouhovlnné záření se pak na pokovené vrstvě odráží zpět dovnitř. Ve spojení s výplní inertním plynem je pak dosahováno vysokých izolačních parametrů i dostatečných solárních zisků. V současnosti je nejvýhodnější pro pasivní domy používat trojitě zasklení o hodnotách  $U_g=0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $g=52 \%$ , nebo  $U_g=0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $g=60 \%$ . Oba druhy skel dosahují svých parametrů při nejvíce výhodné 18 mm meziskelní mezeře. V meziskelních mezerách se nejčastěji používá argon, méně pak dražší krypton či xenon. Volbu plynu je také důležité vztáhnout k zamýšlené tloušťce samotné mezery. (Hazucha 2009c)

Dalším možným způsobem zasklení oken v pasivních domech je použití systému tzv. tepelného zrcadla. Jedná se o použití nízkoemisivní fólie místo středního skla. Výhodou je především výrazně nižší hmotnost, tedy totožná s dvojskly a při obdobných parametrech jako trojskla. Na trhu existují i varianty s dvěma fóliemi, výsledkem je sice čtyřvrstvý izolační systém s nízkou hodnotou součinitele prostupu tepla, nicméně tyto vlastnosti jsou degradovány nízkou propustností slunečního záření, která při jejich použití posouvá energetickou bilanci na úroveň běžných trojskel. Nevýhodou těchto skel s fólií je tedy obecně nižší propustnost slunečního záření a vyšší cena. (Hazucha 2009c)

### 3.5 Způsoby stínění prosklených ploch

V dnešní době používáme stínící techniku ze tří základních důvodů, tj. zamezení nežádoucích tepelných zisků v letním období, regulace množství světla v interiéru a vytvoření dostatečné úrovně soukromí (Šimonová 2012). Z hlediska nízkoenergetických a pasivních staveb je pak odstínění prosklených ploch důležité především z důvodu přehřívání interiéru. I v případech nízkoenergetických a pasivních budov, které mají správně optimalizované prosklení obálky budovy, je třeba tyto prosklené plochy v letním období zastínit a to tím spíše, jedná-li se o lehké konstrukce dřevostaveb s nízkou akumulační schopností. Pokud chceme chránit budovu před nežádoucími tepelnými zisky, jediným správným řešením je exteriérové stínění, jelikož infračervená složka slunečního záření, která je nositelem tepelné energie dopadá na překážku již v exteriéru, mění se v teplo a do interiéru proniká jen viditelná složka slunečního záření (Šimonová 2012). Jaké jsou tedy možnosti?

- **Stínění okolním prostředím**

Jedná se o stínění pomocí okolního prostředí, ve kterém se stavba nachází, tzn. terénními nerovnostmi, pergolou, okolními stavbami a hlavně vhodnou vzrostlou zelení, která v létě svými listy může zastínit prosklené plochy a na podzim když listy opadají, nám umožní dostatečný přísun slunečního záření a tak potřebných tepelných zisků v interiéru (Hazucha 2009b, Šimonová 2014).

- **Stínění přesahem střechy**

Jde o zastínění prosklení pomocí prodloužené konstrukce střešní roviny, která pak vrhá stín na fasádu budovy.

- **Stínění vnějšími žaluziemi a roletami**

Jde o použití žaluzií a rolet, které jsou umístěny v exteriéru schovány buď v přiznaném, nebo zakrytém kastlíku v nadpraží okenního otvoru. Ovládají se buď ručně, elektricky na dálkové ovládání, nebo automaticky v závislosti na povětrnostních vlivech a úhlu dopadu slunečních paprsků.

- **Stínění markýzami a slunolamy**

Jedná se o speciální konzolovitě vyložené konstrukce na různých materiálových bázích upevněné nejčastěji do obvodové konstrukce domu, které pak vrhají stín na fasádu budovy.

- **Stínění fasádními panely**

Jde o systém podobný dříve používaným okenicím. Fasádní panely jsou osazeny v kolejnicích, které jsou uchyceny do obvodové zdi domu, a umožňují tak horizontální posun panelů. Materiálové provedení samotných panelů může být různorodé.

- **Stínění samonosnou konstrukcí**

Jedná se o typickou konstrukci pro pasivní domy, kdy konstrukce často probíhá i přes několik pater budovy, kdy spodnímu patru poskytuje zastínění prosklených ploch a patru nad sebou balkón či terasu. Tím, že konstrukce je samonosná, a není tedy s objektem nějak významně spojena, nezpůsobuje tepelný most.



**Obr. 11:** Stínění pomocí samonosné konstrukce (Brno-Modřice, dům pro seniory) (Web 13).

## 4. METODIKA

### 4.1 Výkresová dokumentace

Před započítím tvorby výkresové dokumentace je třeba vybrat pozemek a s ohledem na jeho podmínky (sklon terénu, orientace ke světovým stranám, vlastnosti základové zeminy atd.) pak objekt vůči terénu vhodně výškově a polohově osadit. Při osazování obytných budov do území či pozemků je na základě **ČSN 73 4301 – Obytné budovy** respektovat i další vyhlášky a normy jako:

- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- ČSN 73 0802: Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty, 2009
- ČSN 73 0833: Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování, 2010
- ČSN 73 6056: Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel, 2011
- ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006

Dle ČSN 73 4301 je tedy nutné dodržet především vzájemné odstupy staveb, orientaci dispozice vůči světovým stranám, optimální zvolení absolutní nuly a tedy úrovně podlahy vůči okolnímu terénu a terénní úpravy samotné. V další fázi při kreslení situačních výkresů je třeba dodržet:

- ČSN 01 3410: Mapy velkých měřítek – Základní a účelové mapy, 2014
- ČSN 01 3411: Mapy velkých měřítek – Kreslení a značky, 1990

Po výkresu situace je možné dále pokračovat kreslením projektu pro realizaci v měřítku 1 : 50. Tyto výkresy pak musí splňovat požadavky dle ČSN 73 4301 a tedy všech na ní závazně navazujících vyhlášek a norem, výčet pro tyto účely použitých norem a vyhlášek uvádí kapitola 8.3 *Zákony, vyhlášky a normy* v seznamu literatury. Samotný způsob kreslení stavebních výkresů je pak definován normou:

- ČSN 01 3420: Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části, 2004.

Pro kreslení 2D výkresů, tedy výkresové dokumentace byl použit software AutoCAD společnosti Autodesk, který je jedním z nejrozšířenějších programů pro účely 2D a 3D projektování a konstruování.

Pro tvorbu 3D vizualizací a obrázků byl použit program SketchUp od společnosti Trimble Navigation, který má velmi široké využití a kvůli své intuitivitě a schopnosti spolupráce s Google Earth je celosvětově známý a oblíbený.

## 4.2 Tepelně technické výpočty

### 4.2.1 Tepelný odpor $R$

Základní charakteristikou určující izolační schopnost materiálu o dané tloušťce  $d$  (m) je jeho tepelný odpor  $R$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ). Výpočet tepelného odporu se provádí dle vztahu:

$$R = d/\lambda \quad (1.1)$$

Kde  $\lambda$  ( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ) je součinitel tepelné vodivosti, tuto hodnotu najdeme nejčastěji v technických listech výrobce daného materiálu, nebo ČSN 73 0540 – 4 Tepelná ochrana budov Část 4: Výpočtové metody, 2005. V dnešní době, se často používají především vícevrstvé konstrukce, v takovém případě se pak odpor konstrukce určí sečtením odporů jednotlivých vrstev.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots \quad (1.2)$$

To však platí za předpokladu, že dochází k jednorozměrnému vedení tepla. V případě konstrukcí narušených, tzn. takových, kde dochází k místní nepravidelnosti např. vlivem kotvících, nosných a jiných prvků s vyšší tepelnou vodivostí dochází k více rozměrovému vedení tepla. Tento stav je typický pro konstrukce dřevostaveb a to díky dřevěným nosným prvkům, které jsou uloženy v rovině tepelné izolace, a vytvářejí tak systematický tepelný most, který je nutno do výpočtu zahrnout.

Určitým tepelným odporem se vyznačují i vrstvy při povrchích konstrukce, na rozhraní s obklopujícím vzduchem, což je důsledek proudění vzduchu a sálavé výměny tepla s obklopujícími povrchy. Tyto odpory bývají v praxi zjednodušeně popsány

prostřednictvím odporu při přestupu tepla  $R_{si}$ ,  $R_{se}$ , konkrétní hodnoty uvádí tabulka (Tab. 1). (Tywoniak a kol. 2014).

**Tab. 1:** Odpor při přestupu tepla (Tywoniak a kol. 2014).

Směr tepelného toku	Typická konstrukce	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně $R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	Odpor při přestupu tepla na venkovní straně $R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K/W)
Vodorovně	Stěna, Okno	0,13	0,04
Svisle nahoru	Strop	0,10	0,04
Svisle dolů	Podlaha	0,17	0,04

#### 4.2.2 Součinitel prostupu tepla $U$

##### Stanovení:

Součinitel prostupu tepla  $U$  (W/m<sup>2</sup>·K) je převrácenou hodnotou celkového odporu konstrukce při prostupu tepla  $R_T$ .

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{(R_{si} + R + R_{se})} \quad (2.1)$$

##### Požadavek normy:

Dle ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochrana budov Část 2: Požadavky, 2011, konstrukce vytápěných budov v prostorech musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60$  % součinitel prostupu tepla  $U$  takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \quad (2.2)$$

kde  $U_N$  ve (W/m<sup>2</sup>·K) je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla, která se stanoví pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C včetně a pro všechny návrhové venkovní teploty podle tabulky č. 5 v ČSN EN 730540 – 2.

#### 4.2.3 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy $U_{em}$

##### Stanovení:

$U_{em}$  (W/m<sup>2</sup>.K) udává součinitel prostupu tepla celé obálky budovy (vytápěné zóny), který zahrnuje vlivy všech ochlazovaných konstrukcí tvořících systémovou hranici budovy (vytápěné zóny) a musí pak splňovat požadavek dle vztahu 3.6. Zjednodušeně se jedná o vážený průměr součinitelů prostupu tepla všech ochlazovaných konstrukcí ( $U_{stěn}$ ,  $U_w$ ,  $U_{podlahy}$ ,  $U_{střechy}$  apod.). (Web 11) Průměrný součinitel prostupu tepla se vypočítá ze vztahu:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad (3.1)$$

kde,

$H_T$  je měrná tepelná ztráta prostupem tepla ve (W/K) dle vztahu 3.2  
 $A$  plocha obálky budovy v (m<sup>2</sup>).

Výpočet měrné tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcí se provádí podle ČSN 73 0540 – 4, v souladu s ČSN EN 12831 a ČSN EN ISO 13789, která umožňuje využití jednoduššího postupu výpočtu, a to pomocí navýšení součinitele prostupu tepla o hodnotu  $\Delta U_{tb}$ , která zahrnuje vliv tepelných mostů. Měrná tepelná ztráta se tak vypočítá ze vztahu:

$$H_T = \Sigma H_{Tu} + \Sigma H_{Tb} \quad (3.2)$$

kde,

$H_{Tu}$  je měrná tepelná ztráta bez vlivu tepelných vazeb (W/K)  
 $H_{Tb}$  měrná tepelná ztráta tepelnými vazbami (W/K)

přičemž:

$$H_T = \Sigma(A_j \cdot U_j \cdot b_j) + \Sigma A \cdot \Delta U_{tb} \quad (3.4)$$

kde,

$A_j$  je plocha  $j$ -té ochlazované konstrukce (m<sup>2</sup>)  
 $U_j$  součinitel prostupu tepla  $j$ -té ochlazované konstrukce v (W/m<sup>2</sup>.K)  
 $b_j$  teplotní redukční činitel  $j$ -té ochlazované konstrukce (-) dle vztahu 3.5

$\Delta U_{tb}$  průměrný vliv teplených vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi na systémové hranici ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )

Přičemž hodnota navýšení součinitele prostupu tepla  $\Delta U_{tb}$  se stanoví dle ČSN 73 0540 – 4 podle H.2.3 a hodnota teplotního redukčního činitele  $b_j$  ochlazované konstrukce se vypočte ze vztahu:

$$b_j = \frac{\theta_i - \theta_{ex}}{\theta_i - \theta_e} \quad (3.5)$$

kde,

$\theta_i$  je teplota interiéru ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_{ex}$  teplota na opačné straně konstrukce ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_e$  teplota exteriéru ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### Požadavek normy:

Dle ČSN 73 0540 – 2 musí průměrný součinitel prostupu tepla budovy  $U_{em}$  splňovat podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N} \quad (3.6)$$

kde,

$U_{em,N}$  je požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ) podle vztahu 3.7

Požadovaná hodnota  $U_{em,N}$  se stanoví:

$$U_{em,N,20} = \frac{\Sigma(U_{N,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\Sigma A_j + 0,02} \quad (3.7)$$

Kde,

$U_{N,j}$  je odpovídající normová hodnota součinitele prostupu tepla  $j$ -té teplosměnné konstrukce podle tabulky č. 3 v ČSN 73 0540 – 2 ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )  
 $A_j$  plocha  $j$ -té teplosměnné konstrukce stanovená z vnějších rozměrů (m)  
 $b_j$  teplotní redukční činitel odpovídající  $j$ -té konstrukci (-)



#### 4.2.4 Objemový faktor tvaru budovy

##### Stanovení:

Objemový faktor tvaru budovy vyjadřuje poměr mezi ochlazovanou obálkou budovy a vytápěným objemem budovy. Vypočítá se tedy dle vzorce:

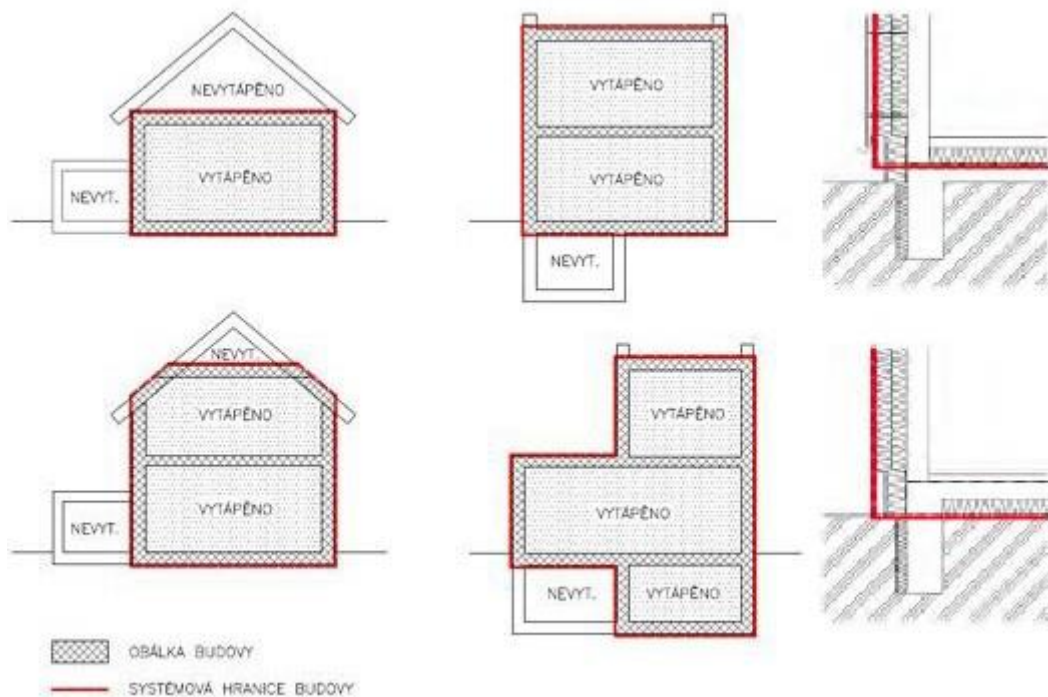
$$\text{objemový faktor} = \frac{A}{V} \quad (4.1)$$

kde,

$A$  je celková plocha ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy ( $\text{m}^2$ )

$V$  objem budovy (vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje tedy lodžie, balkóny, římsy, atiky, základy) ( $\text{m}^3$ )

Pro výpočet je nezbytné správně stanovit systémovou hranici vytápěné zóny, tuto problematiku řeší obrázek (Obr. 12).

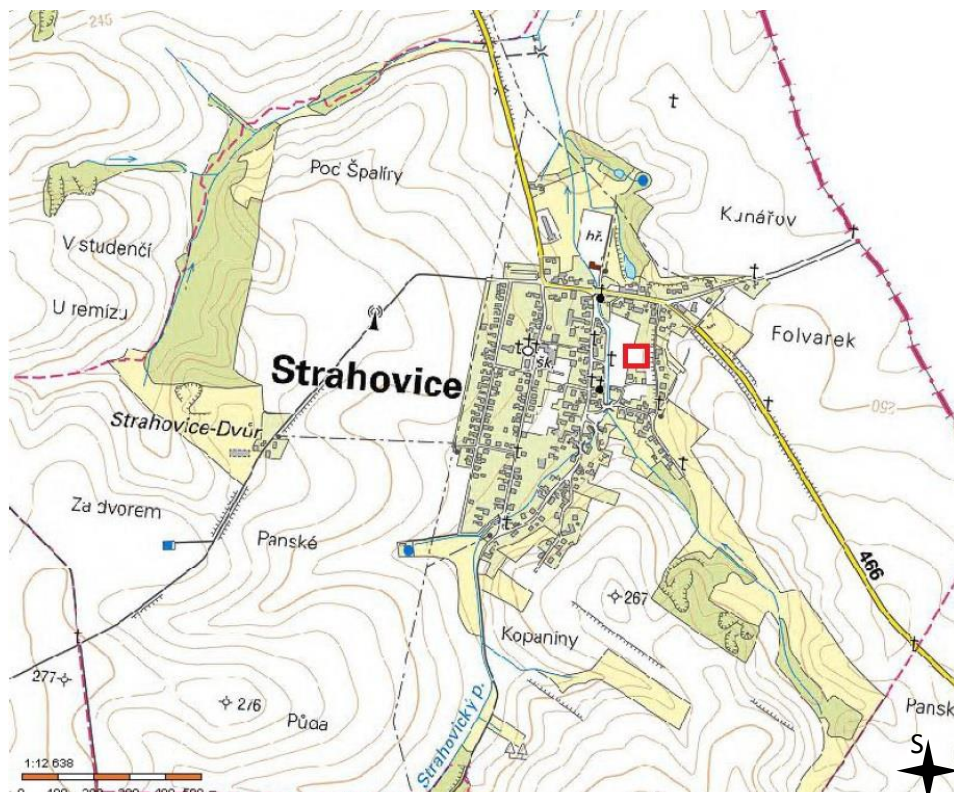


Obr. 12: Systémová hranice obálky budovy (Web 11)

## 5. VÝSLEDKY A DISKUZE

V této kapitole je popsáno a odůvodněno zvolené řešení jednotlivých konstrukcí navržených ve výkresové dokumentaci. Dále je popsán stavební pozemek, navržená dispozice domu a provedeny tepelně technické výpočty.

### 5.1 Lokalita pozemku



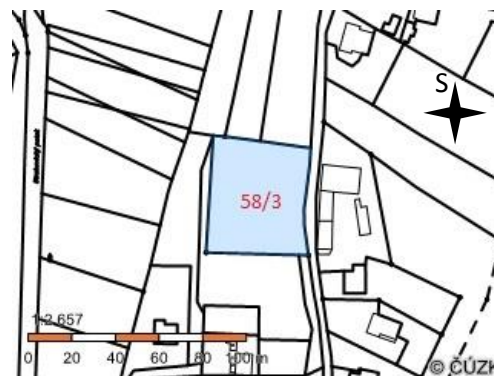
**Obr. 13:** Katastrální mapa obce Strahovic, na které je červenou značkou vyznačena poloha daného pozemku (Web 03).

Pozemek se nachází v Moravskoslezském kraji v obci Strahovice. Strahovice jsou malá vesnice na Opavsku ležící na hranicích s Polskem. Pozemek je umístěn ve východní části obce, přilehlá k němu příjezdová cesta, která je ve vlastnictví obce a u daného pozemku končí. V případě výstavby dalších budov v přilehlém okolí pozemku je dle územního plánu obce v plánu cestu prodloužit, a napojit jí tak na hlavní cestu vesnice. Jedná se o parcelu 58/3 o rozloze 2226 m<sup>2</sup> s průměrnou nadmořskou výškou cca 230 m n. m., podrobnější údaje uvádí tabulka (Tab. 2). Pozemek byl doposud využíván pro pěstitelskou činnost, částečně jako pole a částečně jako louka. Jde o svažité pozemek směrem na západ se stoupáním 10–12°. Svažité pozemek byl vybrán záměrně z důvodu, že i když není ideálním řešením a znamená tak prodražení samotné

stavby, může na druhou stranu nabídnout úsporu právě v pořizovací ceně pozemku a zajímavou variantu architektonického řešení. Poloha parcely je zachycena na obrázku (Obr. 14), podrobnější souvislosti a návaznosti řeší výkres č. 2–Situace (viz příloha č. 1).

**Tab. 2:** Informace o pozemku (Web 03).

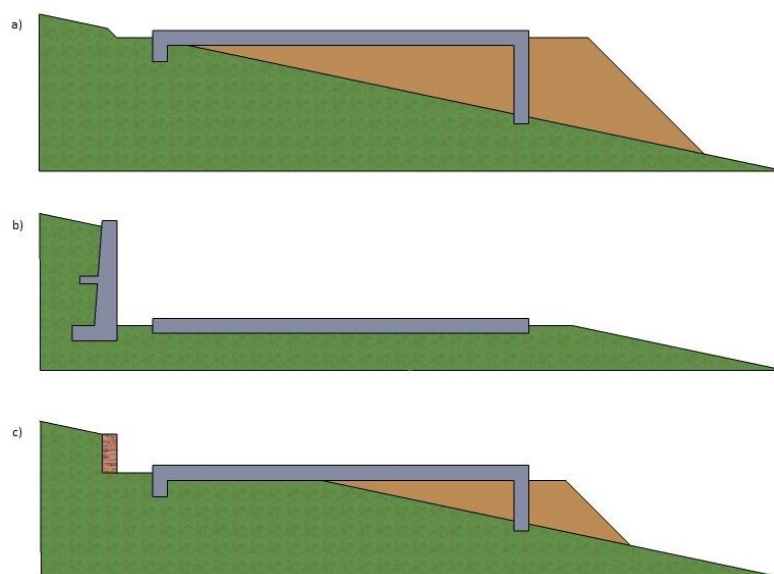
Parcelní číslo	58/3
Obec	Strahovice 512869
Katastrální území	Strahovice 755826
Číslo LV	472
Výměra (m <sup>2</sup> )	2226
Typ parcely	Parcela katastru nemovitosti
Mapový list	DKM
Určení výměry	Graficky nebo v digitální podobě
Druh pozemku	orná půda



**Obr. 14:** Poloha parcely (Web 03).

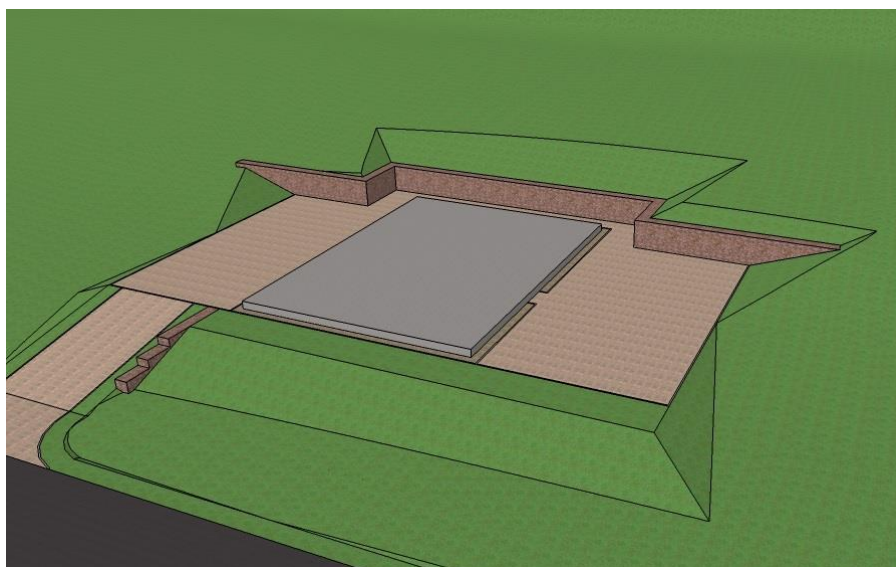
## 5.2 Osazení do terénu a terénní úpravy

Vzhledem ke svažitosti pozemku je velmi důležitá volba osazení objektu do terénu. Osazení je možné udělat několika způsoby, prakticky se jedná o zvolení ideální výškové úrovně podlahy v 1. nadzemním podlaží, tzv. absolutní nuly. Tato problematika je zachycena v projektové dokumentaci výkresu č. 1–Osazení do terénu (viz příloha č. 1). Volba absolutní nuly a výšky upraveného terénu má významný vliv na způsob založení objektu, objem výkopových prací, terénních úprav a na náročnost



**Obr. 15:** Možnosti výškového osazení objektu (vlastní práce).

prací samotných. V případě, že budovu osadíme tak, že celá podlahová plocha bude nad původním terénem (Obr. 15a), bude muset být na stavební pozemek dovezeno velké množství zeminy a základové pásy budou muset sahat hluboko až na úroveň únosného původního terénu, tak aby byl zajištěn dostatečný přenos zatížení, tyto náležitosti spodní stavbu výrazně prodraží. Takovéto výškové osazení objektu může být výhodné v případě použití určitého druhu nadzemního založení s odvětrávaným prostorem pod domem. Další možností je objekt zapustit do svahu (Obr. 15b), na původní terén je pak možné bez větších problémů provést založení pomocí tzv. plovoucí základové desky, tedy desky bez základových pásů. Toto řešení ve svažitém terénu však má obrovské nároky na objem vykopané zeminy a její odvoz, navíc dalším výrazným prodražením tohoto výškového osazení je nutnost vybudování mohutné a vysoké betonové opěrné zdi, která by udržela tlak zeminy nad ní, nebo varianta velmi dlouhého svahování terénu. Z těchto důvodů byla zvolena třetí varianta (Obr. 15c), kdy výškové osazení je provedeno takovým způsobem, aby objemové množství výkopů pokrylo násypy a bylo tak dosaženo největší ekonomické výhodnosti z hlediska zemních prací. Základové pásy jsou pak na výše položené straně provedeny do nezamrzné hloubky a na straně druhé až



**Obr. 16:** 3D zobrazení osazení do terénu, opěrných zídek a terénních úprav (vlastní práce).

na úroveň únosného původního terénu. K opření výkopu upraveného terénu pak postačí nižší opěrná zídka z gabionových košů, nebo prosté svahování terénu. U tohoto výškového osazení je možné použít i založení na plovoucí desce, v takovém případě pak musí být ale nasypaná zemina náležitě zhutněna a posouzena, aby nedošlo k jejímu posuvu či sednutí, to však vyžaduje podrobný geologický průzkum a náležitě znalosti mechaniky zemin, z tohoto důvodu je zvolena varianta odstupňovaných základových

pasů se základovou spárou v původní zemině. Celé řešení opěrných zídek, úprav terénu a jejich spádování je zachyceno ve výkresu č. 2–Situace a v 3D podobě pak na Obrázku (Obr. 16). Opěrné zdi jsou z gabionových košů vyplněných čedičem, zámková dlažba je spádována směrem od domu ve 2% spádu a nájezdová rampa na upravený terén je ve spádu 6,7 %. Svahování terénu je v poměru 1 : 5 a v případě ukončení svahu opěrnou zídou 1 : 4.

### 5.3 Základy

Základy pod obvodovými stěnami jsou navrženy jako základové pasy, jejichž základová spára leží vždy v rostlém únosném terénu a zároveň splňují požadavek na minimální nezamrznou hloubku (800 mm). Vzhledem ke svažitému terénu a úspoře materiálu však není základová spára ve všech místech ve stejné výškové úrovni. Pasy jsou navrženy jako dvoustupňové, kdy první stupeň je z betonu C12/15 o rozměrech 500×200 mm a slouží jako podkladní vrstva pro vyskládání bednicích tvarovek ztraceného bednění PREFA Brno BTB (P+D) o rozměrech 400×300×250 mm (l/b/h). Tvarovky jsou vyskládány na osu podkladního betonu, tzn., že druhý stupeň základových pasů má tloušťku 300 mm a první stupeň jej přesahuje o 100 mm na obě strany. Tvarovky jsou dále vyskládány a vyztuženy podle technických listů daného výrobce, takto připravené bednění je vylito betonem C20/25.

Základová konstrukce pod vnitřními nosnými stěnami tlustými 150 mm je zhotovena totožným způsobem s rozdílem toho, že podkladní beton, tedy první stupeň dvoustupňového základu, je široký 450 mm a druhý stupeň, tedy ztracené bednění, je v šířce 250 mm. Základy pod vnitřními nenosnými stěnami stejné tloušťky je provedena rozšířením vrchní betonové desky o 200 mm směrem dolů a 100 mm na obě strany od povrchu stěny.

Základové pasy jsou z vnitřní strany dosypány zeminou, která je hutněna na předepsaný tlak, na zemině je vrstva rovněž hutněného lomového kameniva frakce 16/32, jejíž horní povrch lícuje s horní hranou bednicích tvarovek. V další fázi je po obvodu upevněno bednění a provedena vrchní deska z betonu C20/25 s výztužnou kari sítí s oky 150×150 mm a průměrem drátu 8 mm a to v tloušťce 150 mm. Z vnější strany základů, tedy na povrch bednicí dílců je pak nalepena tepelná izolace v tloušťce 140 mm proti promrzání základů z extrudovaného polystyrenu. Celou konstrukci základů dokumentuje výkres č. 5–Základy (viz příloha č. 1).



## 5.4 Architektonické řešení

Rodinný dům je architektonicky řešen a na pozemku umístěn tak, aby co nejvíce ctil zásady návrhu pasivních domů a tedy, aby mu jeho architektonické řešení co nejvíce pomohlo tohoto standardu dosáhnout. Dům je tedy dvoupodlažní s obdélníkovým půdorysem, aby dosáhl co nejvýhodnějšího objemového poměru  $AV$ . Střecha je plochá s 2% spádem k severu, což snižuje její ochlazovaný povrch. Delší strana obdélníkového půdorysu je orientována k jihu a představuje největší procentuální prosklení, které umožňuje dostatečné solární zisky v zimním období. Na tuto stranu jsou orientovány obytné místnosti, jakými jsou obývací pokoj, kuchyň s jídelnou a dětské pokoje. Stavební otvory jsou osazeny okny určenými pro pasivní domy, jedná se o okna firmy Slavona s typem rámu Progression, která jsou osazena izolačními trojskly. Tato okna se vyznačují vynikajícími vlastnostmi a typickým přesahem izolace přes okenní rám, čímž vytváří dojem minimalistické architektury. Jižní okna v druhém podlaží, jsou chráněna proti letnímu slunci a nežádoucím tepelným ziskům v tomto období přesahem střešní roviny. Okna na jižní fasádě prvního podlaží jsou pak chráněna konstrukcí, která je zavěšena na trámech předstupujících před fasádu a tvořících přesah střechy. Stínění oken ze západní strany je zabezpečeno posuvnými fasádními panely, pohybujícími se v kolejničkách, upevněných na fasádě. Panely jsou opatřeny otočnými lamelami a umožňují tak regulaci světla a zároveň odstínění i nízkého západního slunečního záření. Z východní strany není navrženo žádné venkovní stínění, jelikož na této straně jsou jen malá okna z koupelny a záchodu a nepředstavují tak hrozbu přehřívání. Ze strany severní je navržen obklad ze sibiřského modřínu, jehož vzduchová mezeře je napojena na odvětrávací mezeru střechy a vytváří tak komínový tah, který významně podporuje proudění vzduchu ve vzduchové mezeře střechy. V domě není navrženo komínové těleso, jelikož je počítáno s tím, že tepelné ztráty domu by mělo pokrýt tepelné čerpadlo o nízkém výkonu.

Terén kolem objektu je upraven do roviny, částečně vydlážděn zámkovou dlažbou, vytváří tak na jižní straně domu terasu a prostor pro stání auta na straně severní, kde je dále umístěn zahradní domek, jehož zastřešení tvoří i střechu pro stání auta. Upravený terén kolem objektu a podlahu v prvním podlaží spojuje hlavní schodiště u hlavních vstupních dveří a vedlejší schodiště spojující přes balkónové dveře prostor jídelny s terasou. Obě schodiště mají pět stupňů, jsou ocelové konstrukce a se zábradlím, které je opatřeno dřevěným madlem.



**Obr. 17:** Jihozápadní pohled na dům z ptačí perspektivy (vlastní práce).

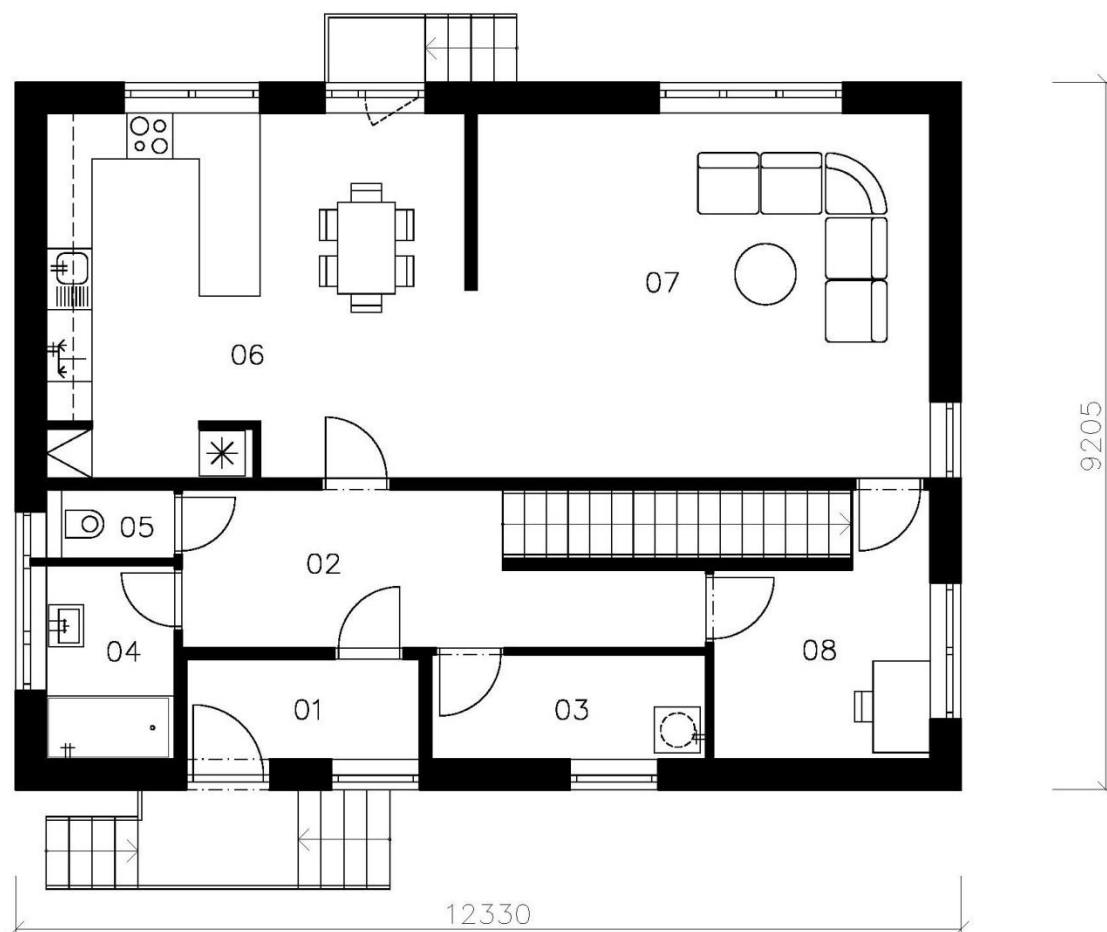


**Obr. 18:** Severozápadní pohled na dům z žabí perspektivy (vlastní práce).

## **5.5 Dispozice**

### **5.5.1 První nadzemní podlaží**

Vstup do prvního podlaží je z přilehlé podesty venkovního schodiště, které komunikačně spojuje upravený okolní terén domu a vstup do objektu. Vstupní dveře jsou umístěny na severní straně domu, a vstupuje se jimi do prostoru zádveří, z kterého se přes další dveře dostaneme do chodby. Chodba je komunikačním centrem domu, ze



**Obr. 19:** Dispoziční řešení 1. NP (vlastní práce).

kterého vedou dveře v podstatě do každé místnosti. Po vstupu do chodby jsou po levé straně dveře koupelny a záchodu, rovněž se pak jde do kuchyně s jídelnou, které jsou volně spojeny s obývacím pokojem. Z obývacího pokoje se dá dále jít ještě do pracovny, přičemž pracovna je dále komunikačně spojena i s chodbou. Tento další vstup je navržen z důvodu požadavků majitelů, kdy jeden z nich pracuje doma a mívá tak pracovní návštěvy a jednání. Tyto osoby se tak mohou dostat do pracovny, aniž by musely procházet obývacími místnostmi domu a narušovat tak soukromí ostatních členů rodiny. Z prostoru chodby pak vedou ještě jedny dveře a to do technické místnosti, dále je chodba skrz přímé jednoramenné schodiště napojena na druhé nadzemní podlaží.



**Tab. 3:** Legenda místností 1. NP.

Č. M.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA (m <sup>2</sup> )	DRUH PODLAHY	POZNÁMKA
01	ZÁDVEŘÍ	4,40	KERAM. DLAŽBA	KERAM. SOKL (V=100)
02	CHODBA	11,20	KERAM. DLAŽBA	KERAM. SOKL (V=100)
03	TECH. MÍSTNOST	2,60	KERAM. DLAŽBA	KERAM. SOKL (V=100)
04	KOUPELNA	5,20	KERAM. DLAŽBA	KERAM. OBKLAD (V=2020)
05	WC	1,50	KERAM. DLAŽBA	KERAM. OBKLAD (V=1500)
06	KUCHYŇ/JÍDELNA	25,50	DLAŽBA/PARKETY	
07	OBÝVACÍ POKOJ	28,80	DŘEV. PARKETY	
08	PRACOVNA	8,50	DŘEV. PARKETY	
<b>CELKEM</b>		<b>87,70</b>		

### 5.5.2 Druhé nadzemní podlaží

Do druhého podlaží je přístup skrz jednoramenné přímé schodiště, které spojuje spodní a horní chodbu. Po pravé straně u schodiště jsou dveře do ložnice, dále jsou z chodby přístupné dva dětské pokoje, kdy první je navržen pro dvě děti a druhý pro jedno dítě, kde součástí pokoje je i samostatná šatna. Z chodby je taky přístupný sklad, a v její zadní části je potom vstup do umývárny se dvěma umývadly, a dalšími dveřmi do záchodu a koupelny. Toto řešení dispozice není příliš obvyklé, nicméně umožňuje přístup k umývadlům, i když je obsazená sprcha, tedy uzamčená koupelna a umožňuje tak lepší využití prostoru pro hygienu. Z umývárny vedou ještě jedny posuvné dveře a to do šatny, která patří k ložnici manželů, od níž je také oddělena posuvnými dveřmi. Ložnice je tedy komunikačně spojena s umývárnou přes průchozí šatnu. Toto dispoziční řešení zvyšuje komfort bydlení, usnadňuje situaci, kdy partneři vstávají do práce v rozdílnou hodinu, jedna osoba může nerušeně spát, zatímco druhá si může bez problému v šatně rozsvítit, převléci se a přes umývárnu odejít.



**Obr. 20:** Dispoziční řešení 2. NP (vlastní práce).

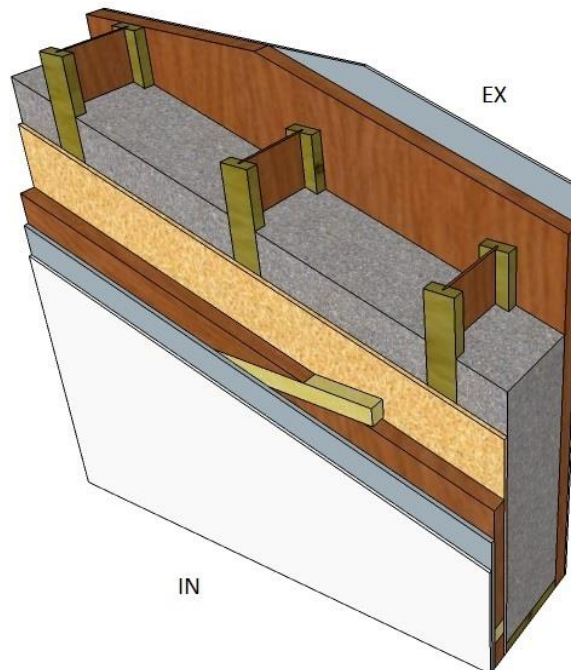
**Tab. 4:** Legenda místností 2. NP.

Č. M.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA (m <sup>2</sup> )	DRUH PODLAHY	POZNÁMKA
01	CHODBA	16,80	DŘEV. PARKETY	
02	POKOJ 1	20,90	DŘEV. PARKETY	
03	POKOJ 2	18,60	DŘEV. PARKETY	
04	ŠATNA 1	2,60	DŘEV. PARKETY	
05	LOŽNICE	12,70	DŘEV. PARKETY	
06	ŠATNA 2	5,70	DŘEV. PARKETY	
07	UMÝVÁRNA	7,00	KERAM. DLAŽBA	KERAM. OBKLAD (V=2020)
08	KOUPELNA	3,80	KERAM. DLAŽBA	KERAM. OBKLAD (V=2020)
09	WC	1,50	KERAM. DLAŽBA	KERAM. OBKLAD (V=1500)
10	KOMORA	1,80	DŘEV. PARKETY	
<b>CELKEM</b>		<b>91,4</b>		

## 5.6 Obvodové a dělicí konstrukce

### 5.6.1 Obvodová stěna

Svislé obvodové stěny jsou navrženy jako difuzně otevřené rámové konstrukce na bázi dřeva. Základním nosným prvkem jsou nosníky Steico Wall SW 90×300 mm, které jsou použity jako stěnové sloupky. Jedná se o I profil na dřevěné bázi, kdy horní a dolní pásnice je vyrobena z masivních KVH hranolů napojovaných zubovým spojem a



**Obr. 21:** Konstrukce obvodové stěny tl. 460 mm (vlastní práce).

stojina spojující tyto pásnice je pak vyrobena z tvrdé, dřevovláknité desky. Tyto I nosníky jsou pak napojeny na spodní a horní práh, který je vyroben z lepeného dřeva Steico LVL, pomocí vlnovců a vytváří tak rám konstrukce. Vzniklý meziprostor mezi jednotlivými I nosníky je zafoukán celulózovou izolací Climatizer Plus. Takovýto rám je z vnitřní strany zaklopen OSB deskou tl. 15 mm, která plní funkci parobrzd, vzduchotěsné roviny a taky statickou. Napojení desek na sebe navzájem a na ostatní konstrukce je prolepeno vzduchotěsnou páskou. Z vnější stany, je pak rám zaklopen dřevovláknitými deskami Steico Protect H v tloušťce 60 mm, které jsou na sebe napojeny systémem péro-drážka. Desky rozbíjejí potenciální vnik systematického tepelného mostu skrz I nosníky a navíc plní také funkci statickou. Desky jsou dále podkladem pro difuzně otevřenou venkovní omítku Weber.pass extraClean, jedná se o tenkovrstvou silikon-silikátovou omítku se samočisticím efektem. Omítko působí

hydrofobně a při tom si udržuje poměrně nízký faktor difuzního odporu  $\mu=20$ . Z vnitřní strany je dále na OSB desku uchycen horizontální rošt z latí 50×60 mm, který vytváří prostor instalační předstěny, který je vyplněn měkkými dřevovláknitými deskami Steico Flex v tloušťce 50 mm. Rošt slouží jako podklad pro ukotvení sádro-vláknitých desek Fermacel v tloušťce 15 mm. Na SVD je pak natažena tenkovrstvá omítka Weber.Mur 659 jako finální vrstva. Celou skladbu obvodového pláště znázorňuje obrázek (Obr. 21).

**Tab. 5:** Prostupnost vodní páry obvodovou konstrukcí. Tabulka udává vlastnosti jednotlivých materiálů použitých ve skladbě obvodové konstrukce z hlediska schopnosti prostupu vodních par. Z tabulky je zřejmé, že největší překážku představuje OSB deska, která tak plní funkci parobrzd.

materiál	$d$ (m)	$\mu$ (-)	$S_d$ (m)
omítka Weber.mur 659	0,010	10	0,100
SDV Fermacell	0,015	13	0,195
≡ Steico flex	0,050	1	0,050
↓ OSB 3	0,015	<b>300</b>	<b>4,500</b>
EX Climatizer Plus	0,300	1,1-3*	0,330-0,900*
Steico protect H	0,060	5	0,300
omítka Weber.pass ex.	0,010	20	0,200

\*závisí na způsobu aplikace a druhu konstrukce

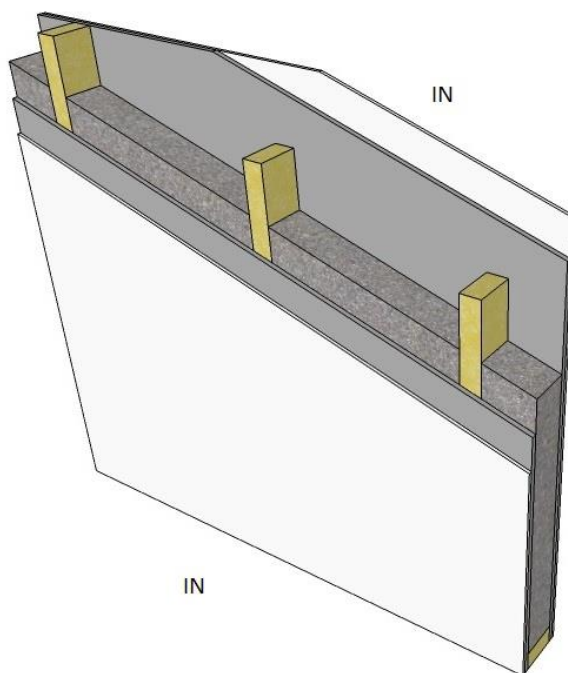
$d$ ... tloušťka (m)

$\mu$ ... faktor difuzního odporu (-)

$S_d$ ...ekvivalentní difuzní tloušťka (m),  $S_d=d.\mu$

## 5.6.2 Příčky

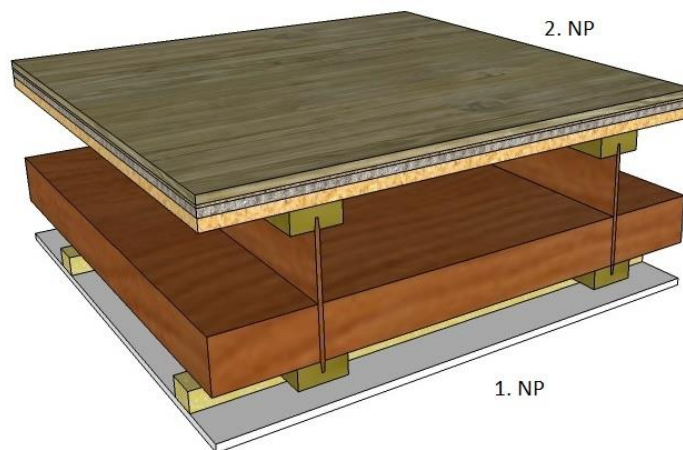
Vnitřní příčky s tloušťkou 150 mm slouží jako nosné konstrukce pro uložení stropních a střešních nosníků. Nosný rám je tvořen KVH sloupky o průřezu 60×120 mm s osovou vzdáleností 625 mm, dále horním a spodním prahem stejného průřezu, dohromady tak vytváří rám konstrukce. Vzniklý prostor mezi sloupky je vyfoukán celulózovou izolací Climatizer Plus, tloušťka izolační vrstvy je tedy 120 mm. Opláštění rámu je z obou stran stejné, a to sádro-vláknitými deskami Fermacell tl. 15 mm, spáry desek jsou přetmeleny a povrch desek je pak upraven nátěrem. Konstrukce dělicích příček s tloušťkou 90 mm je stejná jako u příček s tloušťkou 150 mm, jediným rozdílem je průřez KVH hranolů, který je 60×60 mm a díky tomu i menší tloušťka celulózové izolace, tedy 60 mm.



**Obr. 22:** Konstrukce příčky tl. 150 mm. (vlastní práce)

### 5.6.3 Strop

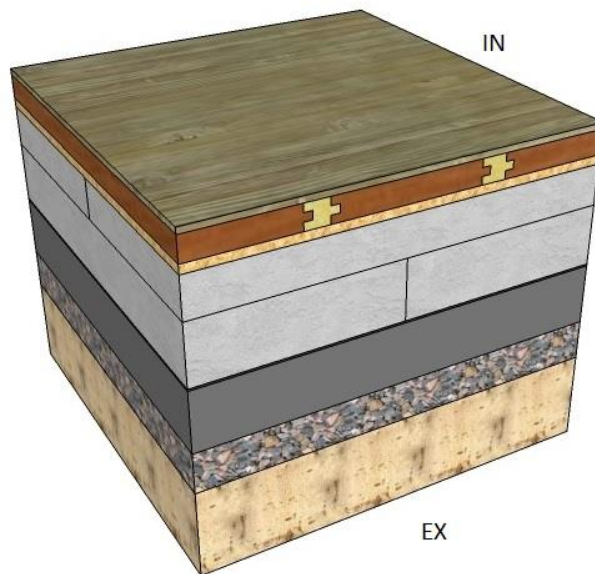
Základním prvkem stropu je nosník Steico Joist SJ 90×300 mm, který je uložen na obvodové stěně a na střední nosné příčce, osová vzdálenost nosníků je 625 mm. Jedná se o I profil na dřevěné bázi, kdy horní a dolní pásnice je vyrobena z lepeného vrstveného dřeva LVL R, všechny vrstvy dýhy jsou tedy ukládány podélně a stojina spojující tyto pásnice je pak vyrobena z tvrdé, dřevovláknité desky. Na horní hranu spodní pásnice nosníku je uložena elastická dřevovláknitá deska Steico Flex v tl. 100 mm. Na spodní pásnici je dále ukotven dřevěný rošt z latí 60×40 mm, který vytváří instalační mezeru o tloušťce 40 mm a sám je podkladem pro ukotvení 15 mm tlusté sádro-vláknité desky Fermacell. Spáry mezi jednotlivými SV deskami a napojení na svislé konstrukce je upraveno přetmelením a následně je provedena povrchová úprava desek nátěrem. Horní pásnice nosníků jsou zaklopy OSB 3 deskou v tloušťce 22 mm. Na OSB desku jsou uloženy 15 mm tlusté zvukově izolační desky Wolf PhoneStar-Tri pro zlepšení kročejové neprůzvučnosti. Na zvukově izolační desky je uložena podkladní vrstva pro podlahovou krytinu, tou je 5 mm tlustá dřevovláknitá deska Steico Underfloor, tato deska slouží k vyrovnání nerovností až do 3 mm a také útlumu kročejového hluku. Na podkladní vrstvu je pak provedena dřevěná podlaha v tl. 15 mm.



**Obr. 23:** Výřez konstrukce stropu 1×1 m (vlastní práce).

#### 5.6.4 Podlaha nad terénem

Na základové pasy a na zhutněný štěrkový podsyp z lomového kamene frakce 16/32 v tloušťce 100 mm je zhotovena srovnávací betonová deska, která je vyztužena kari sítí s oky 150×150 mm a tloušťkou drátu 8 mm. Na desku je položena hydroizolace Penefol 750, která zároveň slouží jako ochrana proti radonu do úrovně středního rizika. Izolace je ve všech spojích vodotěsně svařena. Na hydroizolační vrstvě je uložena vrstva tepelně izolační, která zabezpečuje dostatečný tepelný odpor podlahové konstrukce. Dle Tywoniaka a kol. (2014) je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro podlahu nad terénem ve vytápěné místnosti pro pasivní domy 0,22–0,15 W/m<sup>2</sup>.K. Proto celková navržená tloušťka Polystyrenu EPS je 260 mm a to sice ve dvou vrstvách 140 a 120 mm, kdy jednotlivé dílce jsou vyskládány tak, aby styčné spáry nebyly nad sebou. Pevný podklad na EPS pro podlahu vytváří OSB desky Sterling PD tl. 22 mm. Na tyto desky je pak uložen podlahový systém Steico Floor, který je tvořen tvrdými dřevovláknitými deskami, které jsou navzájem spojovány přes dřevěné spojovací profily, které slouží i jako prvky pro ukotvení finální vrstvy podlahy. Dřevovláknité desky v tl. 60 mm svými dobrými tepelně izolačními vlastnostmi také přispívají ke zvýšení tepelného odporu konstrukce. Na takto připravenou podkladní vrstvu je pak provedena pokládka dřevěné podlahy tl. 15 mm. Napojení podlahy na obvodové konstrukce zachycuje výkres č. 9–Detail D1–Sokl (viz příloha č. 1).



**Obr. 24:** Výřez skladby podlahy 1×1 m (Vlastní práce).

### 5.6.5 Střešní konstrukce

Střešní konstrukce je navržena jako střecha plochá, difuzně otevřená a tedy dvouplášťová s odvětrávanou vzduchovou mezerou a s vegetačním souvrstvím, jako krytinou střechy (viz výkres č. 8–Střecha).

Hlavním nosným prvkem této střechy jsou nosníky Steico Joist ST 60×400 mm, které jsou uloženy ve 2% spádu (tj. 1,15°) a to na obvodových stěnách a střední nosné zdi. Jedná se o I profil na dřevěné bázi, kdy horní a dolní pásnice je vyrobena z lepeného vrstveného dřeva LVL R, to znamená, že všechny vrstvy dýhy jsou ukládány podélně a stojina spojující tyto pásnice je pak vyrobena z tvrdé, dřevovláknité desky. Na spodní pásnici těchto nosníků jsou pak pomocí vrutů uchyceny příložky z OSB desek. Tyto příložky mají proměnnou délku, díky čemuž vytváří klínový prostor pod nosníky a umožňují tak vytvoření roštu ve vodorovné rovině. Příložky jsou rozmístěny z obou stran spodní pásnice nosníku, a to na střídačku. Se spodní hranou těchto příložek lícuje rošt z latí 60×40 mm, které jsou ukotveny v meziprostoru příložek, který vznikl jejich střídavým rozmístěním na spodní pásnici nosníku. Rošt je pak dále podbitý OSB deskami tl. 15 mm, které tak vytváří rovnou plochu, jejímž účelem je parobrzdná a vzduchotěsná funkce. Spáry OSB desek a jejich napojení na obvodové stěny je přelepeno vzduchotěsnou páskou. Na horní pásnice nosníku je položen záklop z hydrofobizovaných dřevovláknitých desek Steico Universal v tloušťce 40 mm. Desky kopírují povrch nosníků, tzn., že jsou uloženy ve 2% spádu, navíc jejich spoje jsou provedeny systémem péro-drážka s přetmelením hydrofobním tmelem a slouží tak jako

pojistná hydroizolace pro odvod zkondenzované vlhkosti v odvětrávané mezeře. Tato rovina je na své nižší hraně opatřena plastovým žlábkem, který je napojen na svod dešťové kanalizace. Toto opatření je navrženo z důvodu, kdyby nastala situace, že množství zkondenzované páry proměněné ve vodu v rámci odvětrávané vrstvy by bylo tak veliké, že by se neovládalo odvětrat. Voda by tak stékala po hydrofobizovaných deskách do plastového žlábků a od tam dále do svodu dešťové kanalizace. Toto řešení je zachyceno ve výkresové dokumentaci, tedy příloze této práce (viz výkres č. 12–Detail D2–Žlab). Dřevovláknité desky dále slouží jako tepelná izolace chránící I nosníky, jakožto vodivější materiál a rozbíjejí tak možnost vzniku systematického tepelného mostu. Dále plní funkci záklopu a spolu s OSB deskou, která je podbitím dřevěného vyrovnávacího roštu tak vymezují prostor, který je následně vyfoukán celulózovou tepelnou izolací Climatizer Plus. Je zřejmé, že vrstva foukané izolace pak není v celé střeše stejná, ale mění s jejím spádem a to od 440 do 645 mm. Dále ze spodní strany konstrukce, tedy na OSB desky jsou ukotveny kontra latě, jako rošt pro finální podhled. Latě o rozměru 60×40 mm pak vytvářejí 40 mm vysokou instalační mezeru. Tento rošt je pak podbitý sádro-vláknitými deskami Fermacell tl. 15 mm. Ty slouží jako podklad

**Tab. 6:** Prostupnost vodní páry střešní konstrukcí. Tabulka udává vlastnosti jednotlivých materiálů použitých ve skladbě střešní konstrukce z hlediska schopnosti prostupu vodních par. Z tabulky je zřejmé, že největší překážku představuje OSB deska, která tak plní funkci parobrzdy.

materiál	$d$ (m)	$\mu$ (-)	$S_d$ (m)
omítka Weber.mur 659	0,010	10	0,100
SDV Fermacell	0,015	13	0,195
≅ Instalační mezeru	0,040	1	0,04
↓ OSB 3	0,015	<b>300</b>	<b>4,500</b>
⊠ Climatizer Plus	0,440 (0,645)	1,1-3*	0,480-0,710 (1,320-1,935)**
Steico universal	0,040	5	0,200
odvětrávaná mezeru	0,200	-	-

\*závisí na způsobu aplikace a druhu konstrukce

\*\* závisí na proměnné tloušťce izolace a na\*

$d$ ... tloušťka (m)

$\mu$ ... faktor difuzního odporu (-)

$S_d$ ...ekvivalentní difuzní tloušťka (m),  $S_d=d\cdot\mu$

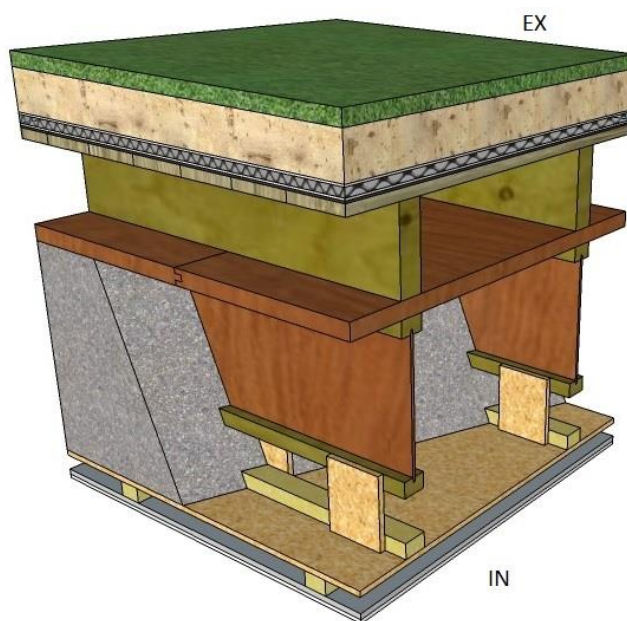
pro tenkovrstvou omítku Weber.Mur 659. Takováto skladba vrstev od vnitřní omítky až po odvětrávanou vzduchovou mezeru umožňuje ideální prostup vodních par skrz konstrukci (popis difuze viz kapitola 3.2.2. *Lehké konstrukce–DOK*), což znázorňuje tabulka (Tab. 6). Dle Růžičky (2014) je vhodné regulovat množství vodní páry, která vstupuje do konstrukce pomocí parobrzdné vrstvy s ekvivalentní difuzní tloušťkou  $S_d$  pohybující se kolem 5 m, dle Nagyho (2002) má být hodnota  $S_d$  2–5 m. Tuto funkci tedy v dané skladbě zabezpečuje OSB deska s hodnotou  $S_d= 4,5$  m. Dále dle Růžičky



(2014) je naprosto zásadní, aby páře, která projde přes parobrzdu už v dalším postupu nic nebránilo a dostala se tak bezpečně na druhou stranu. Tento požadavek je zabezpečen použitím materiálů, které umožňují velmi dobrý prostup vodních par, mají tedy nízkou hodnotu faktoru difuzního odporu  $\mu$ . V konkrétní skladbě je navržena celulózová izolace Climatizer Plus, jejíž hodnota  $\mu$  je podle technických listů daného materiálu závislá na způsobu aplikace (tzn. suchý, či mokrý) a druhu izolované konstrukce (střešní, stropní, obvodová). Nicméně i v případě, že budeme uvažovat následujícím způsobem, kdy budeme počítat s největší vrstvou izolace v rámci dané konstrukce, tedy 0,645 m, a vezmeme v potaz nejhorší možné číslo faktoru difuzního odporu celulózy  $\mu$ , tedy 3, tak ekvivalentní difuzní tloušťka  $S_d$  bude odpovídat 1,935 m, což je výrazně menší hodnota než u parobrzdy. Další překážku vodní páry v cestě ven z konstrukce představuje už jen dřevovláknitá deska Steico universal v tloušťce 40 mm, jejíž  $\mu=5$ , což odpovídá  $S_d=0,2$  m. Dle Nagyho (2002) by parobrzda měla mít pětinasobně vyšší těsnost (vyjádřenou hodnotou faktoru difuzního odporu  $\mu$ ) než součet hodnot  $\mu$  všech následující vrstev směrem k exteriéru.

Odvětrávaná vzduchová mezera nad dřevovláknitými deskami je vytvořena pomocí hranolů z lepeného dřeva Steico LVL R o průřezu 60×200 mm. Výška hranolů tak vymezuje i prostor větrané mezery, tedy výškou 200 mm. Tato poněkud vysoká mezera má své opodstatnění. Díky tomu, že foukaná celulóza není v celé střešní rovině ve stejné vrstvě, tak dle Růžičky (2014) především v zimním období bude docházet k tomu, že v místech s menší vrstvou bude unikat více tepla do vzduchové mezery, než na opačné straně střechy. Tento únik bude bohužel největší v nejnižších místech střechy, což nepříznivě ovlivňuje proudění vzduchu ve vzduchové mezeře, a proto je třeba mezeru patřičně zvětšit. Dalším důvodem vysoké vzduchové mezery a použití výkonného lepeného dřeva je, že hranol předstupuje před fasádu a vytváří tak přesah střešního pláště, který slouží ke stínění oken 2. nadzemního podlaží na jižní straně objektu. Navíc je na něm rovněž pomocí ocelových táhel zavěšena konstrukce pro stínění oken 1. nadzemním podlaží. Na druhé straně objektu je pak na trám zavěšena konstrukce pro opláštění obvodové severní stěny dřevěným obkladem (viz výkres č. 12–Detail D2–Žlab). Tato konstrukce opláštění je úzce spjata s konstrukcí střechy, plní totiž funkci nasávání vzduchu do prostoru střechy. Jde o to, že podstatně zvyšuje výškový rozdíl mezi přívodem a odvodem vzduchu do střešní konstrukce. Tím vyvolává komínový tah založený na rozdílném tlaku vzduchu, a významně tak podporuje jeho proudění v jinak těžko větratelné ploché střeše. Na lepený trám je tedy ukotvena OSB

deska s výztužnou latí 50×40 mm na jejím okraji, do které je pak upevněn dřevěný obklad. OSB deska se hranou opírá o obvodovou konstrukci a odděluje tak jednotlivé provětrávané prostoty s osovou vzdáleností, která je rovna osové vzdálenosti lepených trámů ve střeše, tedy 625 mm. OSB deska tak zabraňuje vytvoření tzv. falešného tahu, tzn. bočního přisávání vzduchu ze sousedních polí, které by mohlo způsobit významné omezení tahového efektu. Situace je tedy taková, že střecha a opláštění severní strany



**Obr. 25:** Výřez střešní konstrukce 1×1 m (Vlastní práce).

obvodové stěny 2. nadzemního podlaží je rozdělena na dvacet samostatných průduchů, které se navzájem neovlivňují a umožňují tak ideální odvětrání střešní konstrukce.

Další vrstvou střešní konstrukce jsou dřevěné desky tl. 25 mm, které tvoří záklop lepených hranolů. Desky tak zajišťují jejich prostorové ztužení a vytvářejí rovinnou plochu ve 2% spádu, která slouží pro uložení hydroizolace. Ve skladbě je navržena hydroizolace PVC-P Alkorplan, která je odolná vůči UV záření. Jako ochranná vrstva hydroizolace je navržena geotextilie Izoltech S 300 (300g/m<sup>2</sup>). Další velmi důležitou vrstvou ve skladbě zelené střechy je vrstva drenážní, či hydroakumulační. Při návrhu drenážní vrstvy je dle Čermákové a Mužíkové (2009) rozhodující zejména sklon střechy, jelikož na plochých střechách se po silném dešti drží voda a značně tak omezuje kořenové dýchání rostlin. Z tohoto důvodu je jednoznačně nutné s drenážní vrstvou u plochých střech počítat. Přičemž drenáž může u plochých střech paradoxně sloužit i k zadržování a hromadění vody. V tomto případě se jedná o vrstvu drenážně-hydroakumulační. Tuto funkci v plochých střechách zajišťují fólie s dvouúrovňovými nopky. Jedná se o fólie, které mají nopky v obou směrech a vrchní nopky jsou navíc

perforovány. Spodní nopky tak zajišťují funkci hydroakumulační a v případě, kdy se hladiny vody zvedne natolik, že dosáhne úrovně perforací horních nopků, tak přes ně proteče do vzduchové mezery která je vytvořena spodními nopky vůči pevnému podkladu. Proteklá voda se dostane na hydroizolaci a dále je odváděna sklonem střechy až do dešťového žlabu. Perforace v nopcích tak zajišťují dostatečné množství vody v kořenovém systému rostlin a zároveň přispívají i k jeho provzdušnění. Na styčnou plochu horních nopků je nakaširována geotextilie Izoltech H 300 (300g/m<sup>2</sup>), která plní filtračně-separační funkci, jejím účelem je tedy zamezení zanesení drenážního systému pod ní. Poslední vrstvou, je vrstva substrátu v tloušťce 100 mm, která je ozeleněna extenzivním druhem zeleně, který je dle Čermákové a Mužíkové (2009) odolnější vůči suchu, množství slunečního záření, působení větru, zároveň s dobrou sebe-regenerační schopností, plošného rozrůstání a malou náročností na mocnost substrátu. Ukončení substrátové vrstvy na krajích střešní roviny je provedeno vytažením filtračně-separační geotextilie, která je z druhé strany dosypána kačirkem, kterým je ošetřen vnější perimetr substrátu (300 mm). Tento pruh kačírku je pak ukončen perforovaným L profilem z nerezové oceli, který tak umožňuje průtok vody do okapních žlabů. Celý obvod střešní roviny je pak ukončen oplechováním, zavětrovacím profilem z titan-zinkového plechu tl. 0,65 mm (viz výkres č. 12–Detail D2–Žlab). Celou popsanou situaci konstrukce střechy pak zachycuje obrázek (Obr. 25).

### 5.6.6 Výplně stavebních otvorů

Jako výplně okenních stavebních otvorů jsou navržena okna pro pasivní domy od firmy Slavona, která jsou certifikována Passive House Institutem v Darmstadtu. Jedná se o dřevěná okna s izolačními trojskly a výrobním názvem Progressin. Tato okna jsou opatřena unikátním rámem, který je z vnější strany přetažen tepelnou izolací, viditelná tak zůstává pouze spodní část rámu. Tímto způsobem je dosaženo minimalizace okenního rámu vůči zasklení a z tepelného hlediska nejslabší část okna je tak redukována na minimum. Vnější část rámu, která je vystavena povětrnostním vlivům, je vyrobena z tepelně upraveného dřeva a spodní viditelná část rámu je opatřena okapnicí z kompozitu, tímto řešením je zaručena vysoká životnost okna. Rám okna je zasklen izolačním trojsklem s hodnotou  $U_g=0,54$  (W/m<sup>2</sup>.K), což je hodnota, která zajišťuje vynikající tepelně izolační schopnosti zasklení i dostatečný solární faktor, tedy zisk pasivních solárních zisků. Okno jako celek má hodnotu součinitele prostupu tepla  $U_w=0,68$  (W/m<sup>2</sup>.K) a dle ČSN EN 73 0540-2 tak splňuje doporučené hodnoty pro

pasivní domy, které jsou 0,8–0,6 (W/m<sup>2</sup>.K). Rám okna je osazen na úrovni vnější hrany I nosníků na bázi dřeva, jejichž meziprostor je vyfoukán celulózovou tepelnou izolací a z vnější strany je pak rám okna přetažen 60 mm tlustými dřevovláknitými deskami, které tvoří z vnější strany I nosníků bednění pro celulózu. Napojení okenního rámu na obvodové konstrukce je vzduchotěsně upraveno kvůli dodržení vzduchotěsné roviny domu a to pomocí vzduchotěsných pásek.

Pro vstupní dveře je zvolen stejný typ konstrukce, tedy Progression, který funguje podobným způsobem jako v případě oken. Také balkónové dveře jsou v provedení Progression a splňují tak tepelně izolační vlastnosti vyhovující pro pasivní domy.

## 5.7 Konstrukce stínění

Aby zejména v letních měsících nedocházelo k přehřívání, byly navrženy následující konstrukce stínění. Pro stínění oken druhého nadzemního podlaží jižní fasády byl navržen přesah střechy. Jeho nosnou částí jsou trámy z lepeného dřeva o průřezu 60×200 mm, které ve skladbě střešního pláště vytváří větranou vzduchovou mezeru, předstupují tedy před jižní fasádu o 1340 mm a zajišťují tak dostatečný přesah střechy. Jelikož je tepelně izolační vrstva střechy umístěna až pod těmito trámy, trámy tak nepředstavují vznik významného tepelného mostu přes obálku budovy.

Pro stínění oken prvního nadzemního podlaží jižní fasády byla navržena dřevěná konstrukce v podobě slunolamu. Nosná část konstrukce je tvořena trámy o průřezu 80×280 mm mezi nimiž jsou pak upevněny lamely tvořící slunolam. Do konstrukce je taky možné umístit květináče pro osazení zeleně. Jelikož je konstrukce velmi exponována jak slunečnímu záření, tak povětrnostním vlivům, je proto navržena z odolného tepelně upraveného dřeva. Celá konstrukce je pak zavěšena pomocí ocelových táhel na výše zmíněných trámech střešní konstrukce, není tak kotvena do obvodové stěny a nezpůsobuje tepelný most. Konstrukce je prostorově zavětrována ocelovými pásy a je dimenzována tak, aby umožňovala občasnou pochozí funkci pro údržbu a mytí fixních prosklených ploch.

Pro účinné stínění západní strany fasády, kdy je slunce položeno níže a způsobuje tak hluboké proslunění, by přesah střešní roviny či jiná předsazená konstrukce nebyla dostačujícím řešením, byly proto navrženy posuvné fasádní panely (okenice) s horizontálně nastavitelnými lamelami. Dle Šimonové (2014) výplní takovýchto panelů může být dekový materiál, speciální tkaniny, dřevo, nebo soustava

pevných či natáčecích lamel, které umožňují citlivější nastavení průchodu světla. Pro konkrétní budovy byl tedy zvolen systém dřevěného rámečku o průřezu 40×60 mm, ve kterém jsou upevněny horizontálně natáčecí dřevěné lamely. Tyto panely se pak mohou v rámci kolejnic upevněných na fasádě horizontálně posouvat podle polohy slunce. Jelikož kolejnice jsou kotveny do obvodové stěny, představují tak vznik bodových tepelných vazeb, které je třeba při výpočtech vzít v potaz. Podobně jako v předchozích případech je pro konstrukci panelů použito vzhledem náročným podmínkám tepelně upravené dřevo. Celou situaci stínění domu pak zobrazuje obrázek (Obr. 26), kde jsou vidět právě vržené stíny předsazených konstrukcí na jižní fasádu domu a zamezení tak přímého vniknutí slunečního záření do interiéru.

Stínění objektu z dalších světových stran není nutné, jelikož ze severní strany není na objekt vrháno přímé sluneční záření a na východní straně jsou umístěna jen malá okna hygienického zázemí budovy, která tak nepředstavují riziko vzniku přehřívání domu. Celý rodinný dům je tak chráněn třemi druhy konstrukcí stínící techniky, a to přesahem střechy, slunolamem a posuvnými fasádními panely.



Obr. 26: Způsob stínění jižní strany fasády objektu

## 5.7 Hrubé ocenění objektu

Ocenění bylo provedeno na základě systému třídění vycházející z jednotné klasifikace stavebních objektů (JKSO). Jedná se o systém používaný k oceňování staveb ve stádiu plánování a propočtů stavebních nákladů. Systém vychází z dlouhodobých

statistik cen stavebních objektů tzv. reprezentativních budov, kde je sledován položkový rozpočet na základě jednotlivých druhů staveb. Z množiny cenových údajů jsou pak stanoveny průměrné hodnoty pro dané typy staveb. Oceňování se provádí na základě obestavěného prostoru budovy a ceny za 1 m<sup>3</sup>. Cena za 1 m<sup>3</sup> se liší dle jednotlivých ukazatelů a to především podle druhu budovy a materiálového provedení. V případě jednobytového rodinného domu na bázi dřeva byla v roce 2015 cena 5 298 Kč/m<sup>3</sup>. V této souvislosti je nutné zmínit, že cena je bez DPH a obsahuje jen hodnotu základních rozpočtových nákladů.

### Výpočet obestavěného prostoru:

Základy: (Objem základové desky: 12,05 m <sup>3</sup> ) (Objem základových pasů: 18,48 m <sup>3</sup> ) (Objem podkladního betonu: 5,38 m <sup>3</sup> )	44,91 m <sup>3</sup>
Vrchní část objektu: (Objem budovy)	721,85 m <sup>3</sup>
Zastřešení objektu: (Objem střechy)	55,65 m <sup>3</sup>
<b>Celkový obestavěný prostor:</b> (Součet předchozích položek)	<b>822,41 m<sup>3</sup></b>
<b>Cena objektu:</b> (Při ceně 5 298 Kč/m <sup>3</sup> )	<b>4 357 119 Kč</b>

## 5.8 Tepelně technické posouzení obvodových konstrukcí

Tato kapitola popisuje základní tepelně technické charakteristiky obvodových konstrukcí, jedná se především o tepelný odpor konstrukce  $R$  (m<sup>2</sup>/K.W) a součinitel prostupu tepla  $U$  (W/m<sup>2</sup>.K). Výpočet je proveden v programu Teplo 2014, metodika výpočtu viz kapitola *Metodika 4.2 Tepelně technické výpočty*. Program dále umožňuje výpočet vnitřní povrchové teploty  $\theta_{si}$  (°C), fázového posunu teplotního kmitu  $\psi$  (h), množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry  $M_c$  a  $M_{ev}$  (kg/m<sup>2</sup>.rok), teplotního faktoru v navrhovaných podmínkách  $f_{Rsi}$  a jeho nejnížší požadované hodnoty vnitřního povrchu  $f_{Rsi,N}$ .

Pro takovéto posouzení je nutné mít k dispozici pro každý materiál jeho charakteristiky v podobě tepelné vodivosti  $\lambda$  (W/m.K), faktoru difuzního odporu  $\mu$  (-), měrné tepelné kapacity  $C$  (J/kg.K) a objemové hmotnosti  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>).

Dále je pro výpočet potřeba správně určit okrajové podmínky každé řešené situace, jako jsou tepelné odpory při přestupech tepla v interiéru  $R_{si}$  a exteriéru  $R_{se}$  ( $m^2/K.W$ ), návrhové teploty vzduchu venkovního  $\theta_e$  a vnitřního  $\theta_{ai,u}$  ( $^{\circ}C$ ) a návrhové relativní vlhkosti vzduchu venkovního  $\varphi_e$  a vnitřního  $\varphi_i$  (%).

### 5.8.1 Obvodová stěna

Obvodová konstrukce je typickou rámovou konstrukcí a v místech sloupků (I nosníků na bázi dřeva) tedy dochází ke zhoršení tepelně izolačních vlastností a vytvoření tzv. systematického tepelného mostu. Ve výpočtu je tak nastavena korekce těchto systematických tepelných mostů hodnotou  $\Delta U=0,02 W/m^2.K$ . Dalším specifickým v materiálové skladbě stěny je vrstva tepelné izolace Climatizer Plus, kdy z důvodu zamezení sesednutí této izolace se provádí její foukání na vyšší hustotu cca  $65 kg/m^3$ , což vede i k malému zvýšení tepelné vodivosti této vrstvy a to z  $0,038$  na  $0,040 W/m.K$ .

#### Skladba konstrukce:

**Tab. 7:** Skladba obvodové stěny a vlastnosti v ní použitých materiálů. (od interiéru)

Číslo	Název	d (m)	$\lambda$ (W/m.K)	C (J/kg.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (-)
1	Weber.mur 659	0,010	1,050	840	1600	10
2	SDV Fermacell	0,015	0,320	1100	1150	13
3	Steico Flex	0,050	0,038	2100	50	0,5
4	OSB 3 Sterling	0,015	0,130	2100	620	300
5	Climatizer Plus	0,300	0,040	2020	65	2
6	Steico Protect H	0,060	0,048	2100	265	5
7	weber.pas extra.clen	0,010	0,800	920	1800	20

Pozn.:  $d$  je tloušťka,  $\lambda$  je návrhová hodnota tepelné vodivosti,  $C$  je měrná tepelná kapacita,  $\rho$  je objemová hmotnost,  $\mu$  je faktor difuzního odporu

#### Okrajové podmínky:

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{si}$ : (dle ČSN EN ISO 6946)	<b>0.13 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{si}$ : (dle ČSN EN ISO 13788)	<b>0.25 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{se}$ : (dle ČSN EN ISO 6946)	<b>0.04 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{se}$ : (dle ČSN EN ISO 13788)	<b>0.04 m<sup>2</sup>K/W</b>
Návrhová teplota venkovního vzduchu $\theta_e$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>-15.0 °C</b>
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai,u}$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>21.0 °C</b>
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu $\varphi_e$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>84.0 %</b>

Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\varphi_i$ :  
(dle ČSN 730540-3)

**50.0 %**

### Výsledky:

Tepelný odpor konstrukce  $R$ :  
(dle EN ISO 6946)

**8.453 m<sup>2</sup>K/W**

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$ :  
(dle EN ISO 6946)

**0.116 W/m<sup>2</sup>K**

Fázový posun teplotního kmitu  $\psi$ :  
(dle EN ISO 13786)

**20.4 h**

Vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si}$ :  
(dle ČSN 730540 a EN ISO 13788)

**19.97 °C**

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi}$ :  
(dle ČSN 730540 a EN ISO 13788)

**0.971**

Požadovaná nejnižší hodnota teplotního faktoru  $f_{Rsi,N}=f_{Rsi,cr}$ :  
(dle ČSN 730540-2)

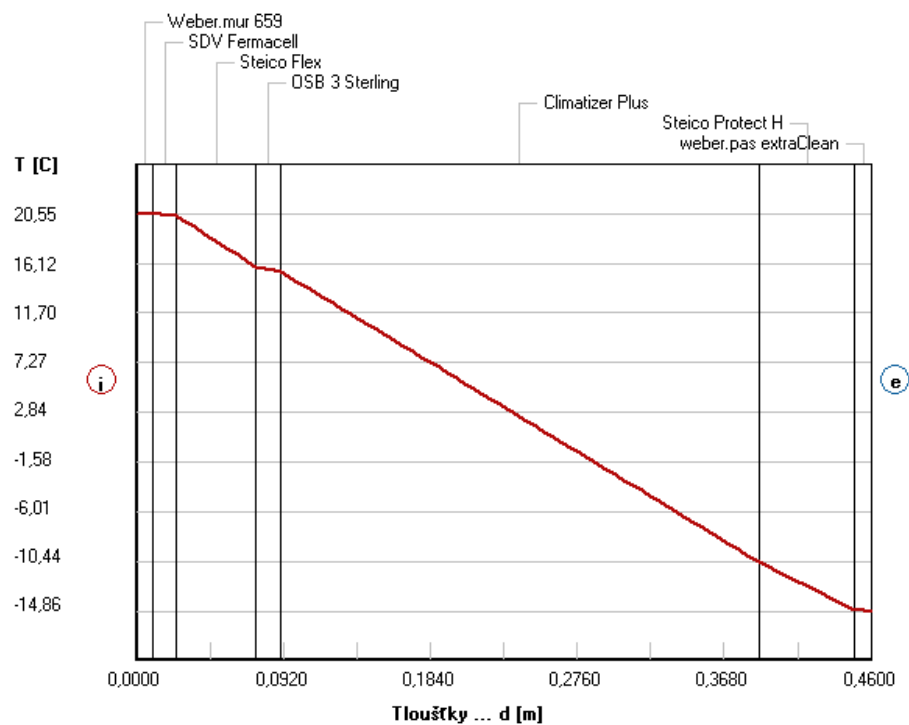
**0.749**

Množství zkondenzované vodní páry  $M_c$ :  
(dle ČSN 730540-2)

**0.0048 kg/(m<sup>2</sup>.rok)**

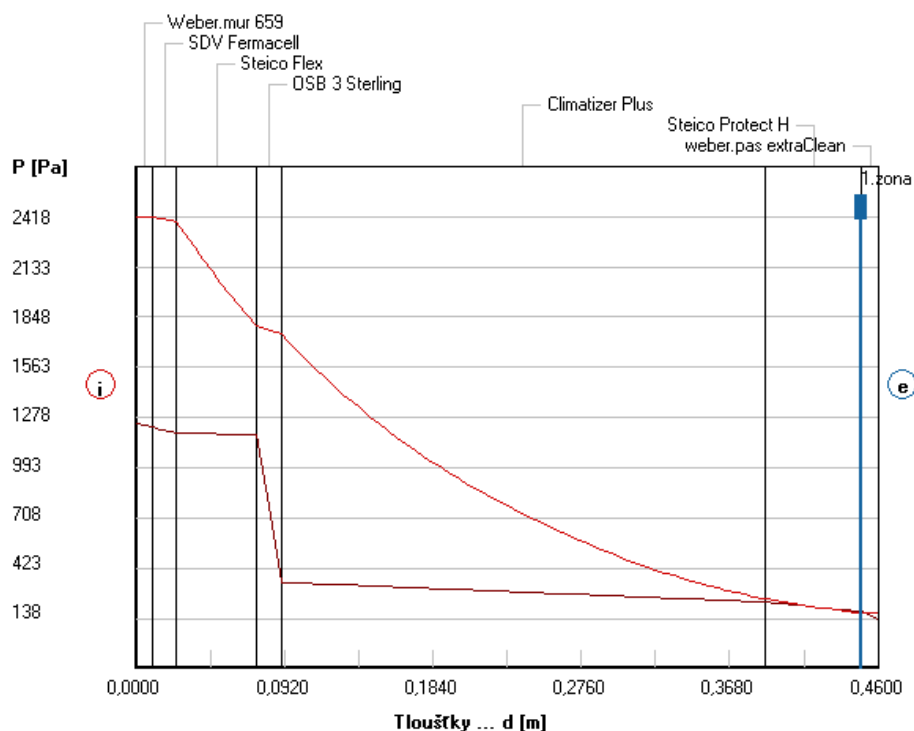
Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev}$ :  
(dle ČSN 730540-2)

**9.5005 kg/(m<sup>2</sup>.rok)**



**Obr. 27:** Rozložení teplot v typickém místě obvodové konstrukce (Výstup z programu Teplo 2014).





**Obr. 28:** Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě obvodové konstrukce. Červenou barvou je vyznačen nasycený tlak vodní páry, hnědou pak teoretický tlak vodní páry a modrá barva představuje oblast kondenzace vodní páry (Výstup z programu Teplu 2014).

### Vyhodnocení výsledků:

Dle ČSN 73 0540–2 Tepelné ochrany budov–část 2: Požadavky je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla  $U_{pas,20}$  pro pasivní budovy 0,18–0,12 W/m<sup>2</sup>.K. Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  obvodové konstrukce je 0,116 W/m<sup>2</sup>.K, čímž je dosaženo vyhovující hodnoty. Dále dle ČSN 73 0540–2 je nutné dodržet požadavky z hlediska kondenzace vodní páry v konstrukci. Prvním požadavkem je, že kondenzace nesmí ohrozit funkci konstrukce. Podle obrázku (Obr. 28) může docházet ke kondenzaci vodní páry mezi vrstvou omítky Weber.pass extra.clean a vrstvou dřevovláknitých desek Steico Protect H. Desky steico protect H jsou systémovým řešením pod omítku, jsou hydrofobně upraveny a kondenzace tak pro ně nepředstavuje ohrožení jejich funkce. Dále podle ČSN 73 0540–2 množství zkondenzované vodní páry  $M_c$  musí být menší než množství vypařitelné vodní páry z konstrukce  $M_{ev}$  a zároveň hodnota  $M_c \leq M_{c,N}$ , kde  $M_{c,N} = 0,1$  kg/m<sup>2</sup>.rok. Hodnota zkondenzované vodní páry v konstrukci  $M_c = 0,0048$  kg/m<sup>2</sup>.rok, přičemž hodnota vypařitelné vodní páry z konstrukce  $M_{ev} = 9,5005$  kg/m<sup>2</sup>.rok. Tedy,  $M_c < M_{ev}$  a zároveň  $M_c < M_{c,N}$  z toho vyplývá, že bilance vodních par je aktivní a požadavky normy jsou tak splněny.

Z hlediska teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$ , je třeba dle ČSN 73 0540–2 zajistit, aby konstrukce a styky konstrukcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí

vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60\%$  v zimním období za normových podmínek vykazovaly v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{R_{si}}$  splňoval podmínku  $f_{R_{si}} \geq f_{R_{si,N}}$ . Vypočtená hodnota teplotního faktoru v návrhových podmínkách je  $f_{R_{si}}=0,971$  a hodnota nejnižšího požadovaného teplotního faktoru je  $f_{R_{si,N}}=0,749$ , tedy  $0,971 > 0,749$  z toho vyplývá, že požadavek je splněn.

## 5.8.2 Podlaha nad terénem

Podlaha je konstruována klasickým systémem, kdy vrstva tepelné izolace je v prostoru nad hydroizolační vrstvou, která je uložena na podkladní železobetonové desce, podlaha tak nepodléhá tvorbě systémových tepelných mostů. Při výpočtu základních vlastností konstrukce jsou brány v potaz jen vrstvy nad hydroizolací. Pro výpočet šíření vlhkosti je v souladu s ČSN EN ISO 13788 Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků (2013) počítáno se všemi vrstvami včetně 2 m zeminy.

### Skladba konstrukce:

**Tab. 8:** Skladba podlahové konstrukce a vlastnosti v ní použitých materiálů. (od interiéru)

Číslo	Název	d (m)	$\lambda$ (W/m.K)	C (J/kg.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (-)
1	dřevěná podlaha	0,0150	0,1020	2510,0	500,0	50,0
2	Steico Floor	0,0600	0,0390	2100,0	160,0	5,0
3	OSB 3 Sterling	0,0220	0,1300	2100,0	620,0	300,0
4	Isover EPS 100	0,2600	0,0370	1270,0	20,0	50,0
5*	H.I. Penefol 750	0,0020	0,2100	1470,0	750,0	50000,0
6*	ŽB C20/25	0,1500	1,6000	1020,0	2400,0	100,0
7*	Zemina vlhká	2,0000	2,0000	920,0	2000,0	2,0

Pozn.:  $d$  je tloušťka,  $\lambda$  je návrhová hodnota tepelné vodivosti,  $C$  je měrná tepelná kapacita,  $\rho$  je objemová hmotnost,  $\mu$  je faktor difuzního odporu, \*jsou označeny vrstvy které jsou brány v potaz pouze při výpočtu šíření vlhkosti

### Okrajové podmínky:

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{si}$ : (dle ČSN EN ISO 6946)	<b>0.17 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{si}$ : (dle ČSN EN ISO 13788)	<b>0.25 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{se}$ : (dle ČSN EN ISO 6946)	<b>0.00 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{se}$ : (dle ČSN EN ISO 13788)	<b>0.00 m<sup>2</sup>K/W</b>
Návrhová teplota venkovního vzduchu $\theta_e$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>5.0 °C</b>
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai,u}$ :	<b>21.0 °C</b>

(dle ČSN 730540-3)

Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu  $\varphi_e$ : **84.0 %**  
(dle ČSN 730540-3)

Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\varphi_i$ : **50.0 %**  
(dle ČSN 730540-3)

### Výsledky:

Tepelný odpor konstrukce  $R$ : **8.882 m<sup>2</sup>K/W**  
(dle EN ISO 6946)

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$ : **0.110 W/m<sup>2</sup>K**  
(dle EN ISO 6946)

Fázový posun teplotního kmitu  $\psi$ : **10.3 h**  
(dle EN ISO 13786)

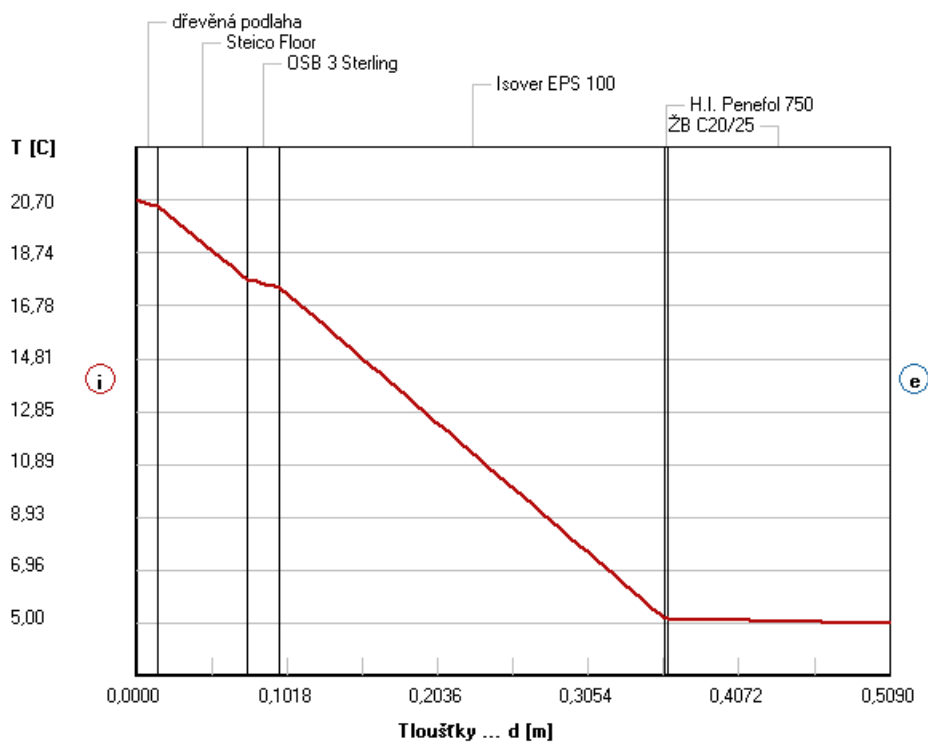
Vnitřní povrchová teplota  $\theta_{si}$ : **20.56 °C**  
(dle ČSN 730540 a EN ISO 13788)

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi}$ : **0.973**  
(dle ČSN 730540 a EN ISO 13788)

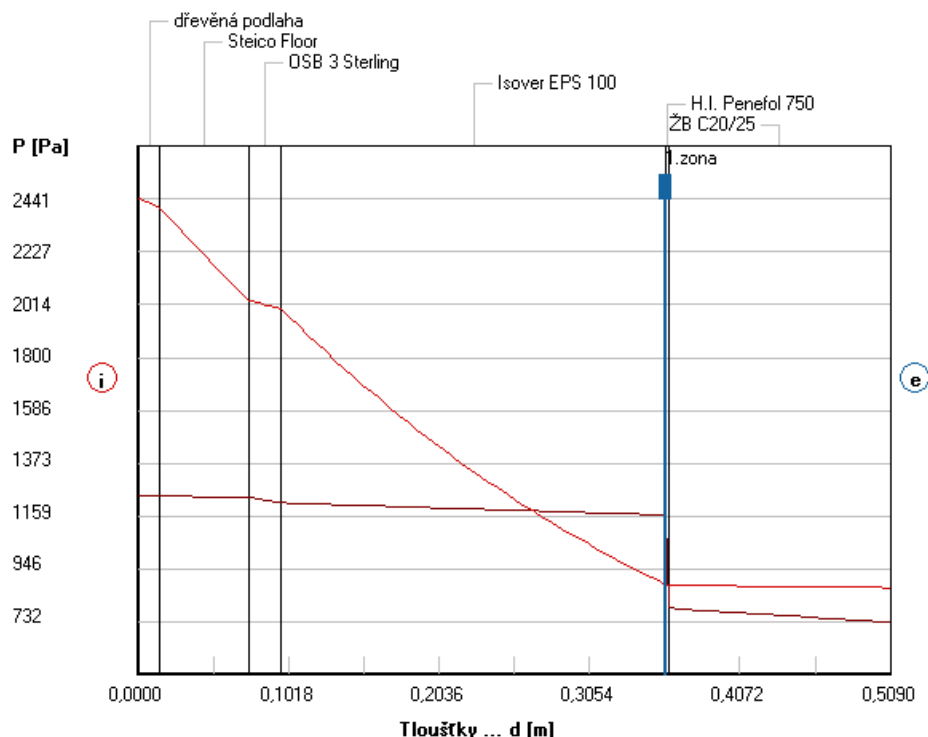
Požadovaná nejnižší hodnota teplotního faktoru  $f_{Rsi,N}=f_{Rsi,cr}$ : **0.791**  
(dle ČSN 730540-2)

Množství zkondenzované vodní páry  $M_c$ : **0.0114 kg/(m<sup>2</sup>.rok)**  
(dle ČSN 730540-2)

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev}$ : **0.0959 kg/(m<sup>2</sup>.rok)**  
(dle ČSN 730540-2)



Obr. 29: Rozložení teplot v typickém místě podlahové konstrukce (Výstup z programu Teplo 2014).



**Obr. 30:** Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce podlahy. Červenou barvou je vyznačen nasycený tlak vodní páry, hnědou pak teoretický tlak vodní páry a modrá barva představuje oblast kondenzace vodní páry (Výstup z programu Teplo 2014).

### Vyhodnocení výsledků:

Dle ČSN 73 0540–2 Tepelné ochrany budov–část 2: Požadavky je doporučena hodnota součinitele prostupu tepla pro podlahu nad zemínou  $U_{pas,20}$  pro pasivní budovy 0,22–0,15 W/m<sup>2</sup>.K. Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  podlahové konstrukce je 0,110 W/m<sup>2</sup>.K, čímž je dosaženo vyhovující hodnoty.

Podle obrázku (Obr. 30) dochází ke kondenzaci vodní páry mezi vrstvou hydroizolace Penefol 750 a vrstvou tepelné izolace Isover EPS 100. V kondenzační oblasti nejsou obsaženy dřevěné prvky či prvky na jeho bázi a tak dle ČSN 73 0540–2 není vyžadováno vyloučení kondenzace v konstrukci a dodržení požadavku podle 6.1.1, kde  $M_c=0$ . Požadavky podle 6.1.2, tedy  $M_c \leq M_{c,N}$  a 6.2, tedy  $M_c < M_{ev}$  se pro konstrukce přilehlé k zemině neuplatňují. Navíc, dle výsledků z programu Teplo 2014, má vypočtená celoroční bilance pouze informativní charakter, protože výchozí venkovní teplota nebyla zadána v rozmezí od -10 do -21 °C. Uvedený výsledek tak byl vypočten za předpokladu, že se konstrukce nachází v teplotní oblasti -15 °C.

Z hlediska teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  je dle ČSN 73 0540–2 třeba zajistit, aby konstrukce a styky konstrukcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi \leq 60$  % v zimním období za normových podmínek vykazovaly

v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  splňoval podmínku  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$ . Vypočtená hodnota teplotního faktoru v návrhových podmínkách je  $f_{Rsi}=0,973$  a hodnota nejnižšího požadovaného teplotního faktoru je  $f_{Rsi,N}=0,791$ , tedy  $0,973 > 0,791$ , z toho vyplývá, že požadavek je splněn.

### 5.8.3 Střešní konstrukce

Jedná se o střechu plochou, dvouplášťovou s odvětrávanou vzduchovou mezerou v tloušťce 200 mm. Tepelně izolační vlastnosti tak zajišťuje spodní část pláště, tedy vrstvy pod odvětrávanou mezerou. Ve výpočtu je tedy uvažováno s tím, že teplotní podmínky v odvětrávané mezeře jsou rovny teplotním podmínkám v exteriéru a vzduchová mezera je považována za silně větranou vrstvu. Výpočet je tedy proveden pro vrstvy od interiéru po odvětrávanou mezeru. Přes tepelně izolační vrstvu prostupují I nosníky (na dřevěné bázi), které mohou vytvářet systematický tepelný most a proto je ve výpočtu provedena korekce těchto tepelných mostů, a to hodnotou  $\Delta U=0,02$  W/m<sup>2</sup>.K. Vrstva tepelné izolace je foukána na objemovou hmotnost odpovídající vodorovným konstrukcím, tedy cca 40 kg/m<sup>3</sup>, tomu odpovídá i výhodnější hodnota součinitele prostupu tepla, než u svislých konstrukcí, tedy 0,039 W/m.K. Tepelná izolace dále v konstrukci tvoří vyrovnávací vrstvu, tzn. není v celé ploše střechy ve stejné tloušťce, do výpočtu je tedy použita její nejnižší tloušťka, tedy v místě napojení střechy na obvodovou stěnu u okapového žlabu, což dělá 440 mm. Další specifickou vrstvou ve skladbě střechy je instalační mezera, která je dle ČSN EN ISO 6946 vyhodnocena jako vrstva nevětraná a její ekvivalentní tepelnou vodivost je tak možné pro základní výpočty získat lineární interpolací hodnot dle tabulky „*Ekvivalentní tepelná vodivost vzduchových dutin*“ v ČSN EN ISO 6946.

#### Skladba konstrukce:

**Tab. 9:** Skladba střešní konstrukce a vlastnosti v ní použitých materiálů. (od interiéru)

Číslo	Název	d (m)	$\lambda$ (W/m.K)	C (J/kg.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (-)
1	Weber.mur 659	0,0100	1,0500	840,0	1600,0	10,0
2	SVD Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0
3	instal. mezera/rošt	0,0400	0,2600	1010,0	1,2	1,0
4	Sterling OSB 3	0,0150	0,1300	2100,0	620,0	300,0
5	Climatizer Plus	0,4400	0,0390	2020,0	40,0	2,0
6	Steico Univesal	0,0400	0,0480	2100,0	270,0	5,0

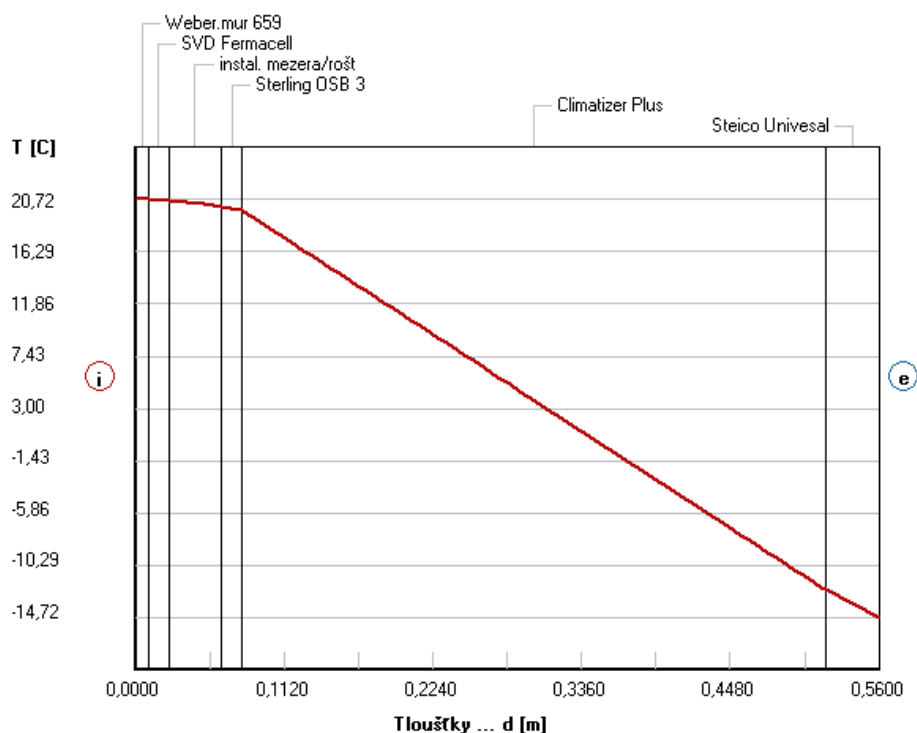
Pozn.:  $d$  je tloušťka,  $\lambda$  je návrhová hodnota tepelné vodivosti,  $C$  je měrná tepelná kapacita,  $\rho$  je objemová hmotnost,  $\mu$  je faktor difuzního odporu

### Okrajové podmínky:

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{si}$ : (dle ČSN EN ISO 6946)	<b>0.10 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{si}$ : (dle ČSN EN ISO 13788)	<b>0.25 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{se}$ : (dle ČSN EN ISO 6946)	<b>0.10 m<sup>2</sup>K/W</b>
Tepelný odpor pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{se}$ : (dle ČSN EN ISO 13788)	<b>0.10 m<sup>2</sup>K/W</b>
Návrhová teplota venkovního vzduchu $\theta_e$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>-15.0 °C</b>
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai,u}$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>21.0 °C</b>
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu $\varphi_e$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>84.0 %</b>
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i$ : (dle ČSN 730540-3)	<b>50.0 %</b>

### Výsledky:

Tepelný odpor konstrukce $R$ : (dle EN ISO 6946)	<b>9.890 m<sup>2</sup>K/W</b>
Součinitel prostupu tepla konstrukce $U$ : (dle EN ISO 6946)	<b>0.099 W/m<sup>2</sup>K</b>
Fázový posun teplotního kmitu $\psi$ : (dle EN ISO 13786)	<b>17.8 h</b>
Vnitřní povrchová teplota $\theta_{si}$ : (dle ČSN 730540 a EN ISO 13788)	<b>20.12 °C</b>
Teplotní faktor v návrhových podmínkách $f_{Rsi}$ : (dle ČSN 730540 a EN ISO 13788)	<b>0.973</b>
Požadovaná nejnižší hodnota teplotního faktoru $f_{Rsi,N}=f_{Rsi,cr}$ : (dle ČSN 730540-2)	<b>0.791</b>
Množství zkondenzované vodní páry $M_c$ : (dle ČSN 730540-2)	<b>0.0000 kg/(m<sup>2</sup>.rok)</b>



**Obr. 31:** Rozložení teplot v typickém místě střešní konstrukce (Výstup z programu Teplo 2014).

### Vyhodnocení výsledků:

Dle ČSN 73 0540–2 Tepelné ochrany budov–část 2: Požadavky je doporučena hodnota součinitele prostupu tepla pro ploché střechy  $U_{pas,20}$  pro pasivní budovy 0,15–0,10 W/m<sup>2</sup>.K. Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  střešní konstrukce v místě s nejmenší vrstvou tepelné izolace je 0,099 W/m<sup>2</sup>.K, čímž je dosaženo vyhovující hodnoty v celé ploše střechy.

Dle vypočtených hodnot ve skladbě konstrukce od interiéru k odvětrávané vzduchové mezeře nedochází ke kondenzaci vodní páry. Avšak je možné, že vodní pára bude kondenzovat v odvětrávané mezeře na vnitřním povrchu vnějšího pláště a skapávat dolů na spodní plášť. Toto riziko kondenzace je řešeno konstrukčním způsobem, viz kapitola 5.6.5 *Střešní konstrukce*.

Z hlediska teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$ , je dle ČSN 73 0540–2 třeba zajistit, aby konstrukce a styky konstrukcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60$  % v zimním období za normových podmínek vykazovaly v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  splňoval podmínku  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$ . Vypočtená hodnota teplotního faktoru v návrhových podmínkách je  $f_{Rsi}=0,973$  a hodnota nejnižšího požadovaného

teplotního faktoru je  $f_{Rsi,N}=0,791$ , tedy  $0,973>0,791$  z toho vyplývá, že požadavek je splněn.

#### 5.8.4 Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla budovy $U_{em}$

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy  $U_{em}$  ( $W/m^2.K$ ) udává prostup tepla celou obálkou budovy (vytápěné zóny), který zahrnuje vlivy všech ochlazovaných konstrukcí tvořících systémovou hranici budovy vytápěné zóny. Výpočet je proveden v tabulkovém procesoru Excel. Postup výpočtu viz kapitola *Metodika 4.2.3 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy  $U_{em}$* . Pro porovnání je proveden výpočet pro případ s důsledně optimalizovanými tepelnými vazbami (Tab. 10) a pro situaci, kdy je tento problém zanedbán, a vznikají tak výrazné tepelné mosty (Tab. 11).

##### **Okrajové podmínky a parametry výpočtu:**

Pro výpočet je třeba znát patřičné vstupní informace uvedené v tabulce (Tab. 10) a (Tab. 11), kde hodnoty  $a$  a  $b$  představují rozměry konstrukcí (m),  $Ks$  je počet konstrukcí,  $A_{(a \cdot b \cdot Ks)}$  je mezi výpočet plochy ochlazovaných konstrukcí ( $m^2$ ),  $A_j$  je plocha ochlazované  $j$ -té konstrukce s odečtenými otvory ( $m^2$ ),  $U_j$  je součinitel prostupu tepla  $j$ -té ochlazované konstrukce ( $W/m^2.K$ ),  $\theta_{ex}$  je teplota na opačné straně konstrukce ( $^{\circ}C$ ),  $\theta_e$  teplota exteriéru ( $^{\circ}C$ ),  $b_j$  je teplotní redukční činitel  $j$ -té ochlazované konstrukce (-),  $H_{Tu}$  je měrná tepelná ztráta bez vlivu tepelných vazeb ( $W/K$ ),  $H_{Tb}$  je měrná tepelná ztráta tepelnými vazbami ( $W/K$ ). Dále je pro výpočet třeba stanovit, teplotu interiéru  $\theta_i$  ( $^{\circ}C$ ) a navýšení součinitele prostupu tepla  $\Delta U_{tb}$  ( $W/m^2.K$ ).



**Tab. 10:** Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  s navýšením součinitele prostupu tepla hodnotou  $\Delta U_{tb}=0,02 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Konstr.	a	b	Ks	$A_{(a*b*Ks)}$	$A_j$	$U_j$	$\vartheta_{ex}$	$\vartheta_e$	$b_j$	$H_{Tu}$	$H_{Tb}$	
OSN - S	12,330	6,285	1	77,494	74,008	0,116	-14,9	-15	0,997	8,561	1,480	
O1	0,980	0,600	2	1,176	1,176	0,610	-15	-15	1,000	0,717	0,024	
VD1	1,100	2,100	1	2,310	2,310	0,900	-15	-15	1,000	2,079	0,046	
OSN - Z	9,205	6,422	1	59,115	50,701	0,116	-14,9	-15	0,997	5,865	1,014	
O2	1,605	1,400	2	4,494	4,494	0,610	-15	-15	1,000	2,741	0,090	
O3	0,980	2,000	2	3,920	3,920	0,610	-15	-15	1,000	2,391	0,078	
OSN - J	12,330	6,509	1	80,256	59,904	0,116	-14,9	-15	0,997	6,930	1,198	
O4	2,740	2,000	2	10,960	10,960	0,610	-15	-15	1,000	6,686	0,219	
O5	1,135	2,000	1	2,270	2,270	0,610	-15	-15	1,000	1,385	0,045	
BD1	1,135	2,315	1	2,628	2,628	0,900	-15	-15	1,000	2,365	0,053	
O6	1,605	1,400	2	4,494	4,494	0,610	-15	-15	1,000	2,741	0,090	
OSN - V	9,205	6,422	1	59,115	56,517	0,116	-14,9	-15	0,997	6,538	1,130	
O7	2,165	0,600	2	2,598	2,598	0,610	-15	-15	1,000	1,585	0,052	
Střecha	12,330	9,205	1	113,498	113,498	0,099	-14,7	-15	0,992	11,143	2,270	
Podl.-stř.	10,330	7,205	1	74,428	74,428	0,109	6,7	5	0,894	7,251	1,489	
Podl.-per.	43,070	1,000	1	43,070	43,070	0,109	-5	-15	0,722	3,391	0,861	
$\Sigma$					506,974					72,367	10,139	
$\Delta U_{tb}$	navýšení součinitele prostupu tepla					0,02 W/m <sup>2</sup> .K	<b><math>U_{em}=0,163 \text{ W/m}^2.\text{K}</math></b>					
$\theta_i$	teplota interiéru					21 °C						

**Tab. 11:** Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  s navýšením součinitele prostupu tepla hodnotou  $\Delta U_{tb}=0,2 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Konstr.	a	b	Ks	$A_{(a*b*Ks)}$	$A_j$	$U_j$	$\vartheta_{ex}$	$\vartheta_e$	$b_j$	$H_{Tu}$	$H_{Tb}$	
OSN - S	12,330	6,285	1	77,494	74,008	0,116	-14,9	-15	0,997	8,561	14,802	
O1	0,980	0,600	2	1,176	1,176	0,610	-15	-15	1,000	0,717	0,235	
VD1	1,100	2,100	1	2,310	2,310	0,900	-15	-15	1,000	2,079	0,462	
OSN - Z	9,205	6,422	1	59,115	50,701	0,116	-14,9	-15	0,997	5,865	10,140	
O2	1,605	1,400	2	4,494	4,494	0,610	-15	-15	1,000	2,741	0,899	
O3	0,980	2,000	2	3,920	3,920	0,610	-15	-15	1,000	2,391	0,784	
OSN - J	12,330	6,509	1	80,256	59,904	0,116	-14,9	-15	0,997	6,930	11,981	
O4	2,740	2,000	2	10,960	10,960	0,610	-15	-15	1,000	6,686	2,192	
O5	1,135	2,000	1	2,270	2,270	0,610	-15	-15	1,000	1,385	0,454	
BD1	1,135	2,315	1	2,628	2,628	0,900	-15	-15	1,000	2,365	0,526	
O6	1,605	1,400	2	4,494	4,494	0,610	-15	-15	1,000	2,741	0,899	
OSN - V	9,205	6,422	1	59,115	56,517	0,116	-14,9	-15	0,997	6,538	11,303	
O7	2,165	0,600	2	2,598	2,598	0,610	-15	-15	1,000	1,585	0,520	
Střecha	12,330	9,205	1	113,498	113,498	0,099	-14,7	-15	0,992	11,143	22,700	
Podl.-stř.	10,330	7,205	1	74,428	74,428	0,109	6,7	5	0,894	7,251	14,886	
Podl.-per.	43,070	1,000	1	43,070	43,070	0,109	-5	-15	0,722	3,391	8,614	
$\Sigma$					506,974					72,367	101,395	
$\Delta U_{tb}$	navýšení součinitele prostupu tepla					0,2 W/m <sup>2</sup> .K	<b><math>U_{em}=0,343 \text{ W/m}^2.\text{K}</math></b>					
$\theta_i$	teplota interiéru					21 °C						

## Vyhodnocení výsledku:

**Tab. 12:** Požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ .

průměrný součinitel prostupu tepla (W/m <sup>2</sup> .K)				
vypočtený $U_{em}$ pro $\Delta U_{tb}=0,02$	vypočtený $U_{em}$ pro $\Delta U_{tb}=0,2$	1. hranice pro pasivní budovy $U_{em,N,20}$	2. hranice pro pasivní budovy $U_{em,N,20}$	požadavek dle ČSN EN 730540-2
<b>0,163</b>	<b>0,343</b>	<b>0,237</b>	<b>0,172</b>	<b><math>U_{em} \leq U_{em,N}</math></b>

Z tabulky (Tab. 12) je patrné, že vypočtený průměrný součinitel prostupu tepla budovy  $U_{em}$  v případě optimalizovaných tepelných vazeb splňuje dle ČSN EN 73 0540–2 hodnotu pro 1. i 2. hranici doporučenou pro pasivní domy. V případě výpočtu se zanedbaným řešením tepelných mostů pak hodnota  $U_{em}$  nesplňuje ani 1. hranici pro pasivní domy. Z tohoto porovnání je zřejmé, jak důležité je důsledné řešení tepelných vazeb vzájemně napojovaných konstrukcí. Z tabulky (Tab. 11) je pak patrné, že měrná tepelná ztráta takovými tepelnými mosty  $H_{Tb}$  je větší, než tepelná ztráta přes obvodovou obálku budovy  $H_{Tu}$ .

### 5.8.5 Stanovení objemového faktoru tvaru budovy

Tvarové řešení budovy (tzn. kompaktnost tvaru, členitost povrchů) se nejlépe vyjadřuje pomocí objemového faktoru  $A/V$ . Velikost celkové tepelné ztráty budovy je závislá na velikosti celkové plochy ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy. Čím je tato plocha vyšší, tím jsou tepelné ztráty větší a naopak, proto se snažíme tuto plochu minimalizovat. Z tohoto pohledu je ideálním tvarem koule, ta je však pro stavební účely jen těžko využitelná. Proto by měl být ideální objemový faktor budovy  $A/V < 0,7$ . Výpočet je proveden v tabulkovém procesoru Excel. Postup výpočtu je uveden v kapitole *Metodika 4.2.4 Objemový faktor tvaru budovy*.

#### Parametry výpočtu:

Pro výpočet je nutné znát vstupní informace v podobě rozměrů hodnocených konstrukcí (m). Tyto rozměry se získávají z výkresů pohledů, popř. řezů a půdorysů budovy. Určení systémové hranice budovy je zachyceno v kapitole *Metodika 4.2.4 Objemový faktor tvaru budovy*.

**Tab. 13:** Výpočet objemového faktoru budovy.

konstrukce	a	b	ks	plocha
OS-V/Z	9,21	6,42	2	118,23
OS-J	12,33	6,51	1	80,26
OS-S	12,33	6,29	1	77,49
Střecha/podlaha	12,33	9,21	2	227,00
konstrukce	a	b	c	objem
budova	12,33	9,21	6,42	728,88
$A \text{ (m}^2\text{)}=502,97$	$V \text{ (m}^3\text{)}=728,88$		$A/V=0,69$	

**Vyhodnocení výsledku:**

Pro rodinné domy je jako ideální hodnota objemového faktoru udávána hodnota kolem 0,7, nejlépe je se vejít do této hodnoty. Výsledná vypočtená hodnota poměru  $A/V$  je 0,69 a z pohledu rodinných domů tak představuje ideální hodnotu a je tedy dobrým předpokladem pro celkové dosažení pasivity domu.

## 6. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout nízkoenergetický rodinný dům na bázi dřeva. Dále k návrhu zpracovat výkresovou dokumentaci a provést posouzení obálky budovy domu.

Výsledkem je tedy návrh rodinného domu na bázi dřeva, který je rámové konstrukce, dvoupodlažní s obdélníkovým půdorysem, jehož delší strana je natočena k jihu a s plochou střechou se spádem k severu. Dispozice domu je navržena pro pětičlennou rodinu. Návrh jednotlivých konstrukcí, jejich skladeb, samotné dispozice a orientace domu byl proveden v souladu s obecnými zásadami návrhu pasivních domů. Obvodová obálka budovy z tepelně technického hlediska splňuje doporučené hodnoty pro pasivní domy, nicméně ani přes to nelze s jistotou tvrdit, že navržený dům je domem pasivním. Toto tvrzení by vyžadovalo posouzení dalších parametrů budovy, což by překročilo rámec této práce, a také spolupráci s optimalizačním programem PHPP od počáteční fáze studie domu.

## **7. SUMMARY**

The aim of this thesis was to design a low-energy house based on wood. Furthermore created design documentation and make an assessment of the building envelope of the house.

The result is a design family house based of wood which is frame construction, two-storey, with rectangular plan whose longest side is turned to the south and with a flat roof with a slope to the north. Layout of the house is designed for a family of five. Design individual construction, their composition, themselves disposition and orientatiton of the house was carried out in accordance with the general principles of the design of passive houses. The perimeter the building envelope from thermal technical standpoint meets the recommended values for passive houses, however cannot say with certainty that the proposed house is a passive house. This statement would require the consideration of other parameters of the building, which would go beyond the scope of this work, as well as cooperation with the optimization program PHPP from the first phase of the study house.

## **8. SEZNAM LITERATURY**

### **8.1 Knižní literatura**

1. ČERMÁKOVÁ, B. MUŽÍKOVÁ, R. 2009. Ozeleněné střechy. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 242 s. ISBN 978-80-247-1802-6.
2. NAGY, E. 2002. Nízkoenergetický ekologický dům. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 283 s. ISBN 80-88905-74-5
3. RŮŽIČKA, M. 2014. Moderní dřevostavba. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 156 s. ISBN 978-80-247-3298-5.
4. TYWONIAK, J. A KOLEKTIV. 2014. Pozemní stavitelství VI, Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost a požární bezpečnost staveb. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 147 s. ISBN 978-80-247-5102-3.

### **8.2 Odborné články a časopisy**

1. CIHLÁŘ, J. HAZUCHA, J. 2009. Okna a dveře pro pasivní domy. Brno, Centrum pasivního domu.
2. HAZUCHA, J. 2009a. Základní principy. Brno, Centrum pasivního domu.
3. HAZUCHA, J. 2009b. Technické a dispoziční řešení. Brno, Centrum pasivního domu.
4. HAZUCHA, J. 2009c. Zasklení. Brno, Centrum pasivního domu.
5. NĚMCOVÁ, L., 2014. Správné zasklení ušetří energii. Dřevo & Stavby, 2014 (6). 36-37.
6. ŠIMONOVÁ, D., 2012. Aby slunce nebylo nepřítelem. Dřevo & Stavby, 2012 (3). 93-94.
7. ŠIMONOVÁ, D., 2014. Když (ne)chceme v domě slunce. Dřevo & Stavby, 2014 (4). 43-46.

### **8.3 Zákony, vyhlášky a normy**

#### **8.3.1 Zákony**

1. Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů.

#### **8.3.2 Vyhlášky**

1. Vyhláška č. 28/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany.

2. Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby.
3. Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb.

### **8.3.3 Normy**

1. ČSN 01 3410: Mapy velkých měřítek – Základní a účelové mapy, 2014.
2. ČSN 01 3411: Mapy velkých měřítek – Kreslení a značky, 1990.
3. ČSN 01 3420: Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části, 2004.
4. ČSN 73 0540 – 1: Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie, 2005.
5. ČSN 73 0540 – 2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, 2011. (Dále změna Z1)
6. ČSN 73 0540 – 3: Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin, 2005.
7. ČSN 73 0540 – 4: Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody, 2005.
8. ČSN 73 0802: Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty, 2009.
9. ČSN 73 0833: Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování, 2010.
10. ČSN 73 4130: Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky, 2010.
11. ČSN 73 4301: Obytné budovy, 2004. (Dále změna Z1 – Z3)
12. ČSN 73 6056: Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel, 2011.
13. ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006.
14. ČSN EN ISO 13788: Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody, 2013.
15. ČSN EN ISO 6946: Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda, 2008.

### **8.4 Internetové zdroje**

- Web 01 ALL SMILES s.r.o. Zemní vruty Krinner pro zakládání staveb. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.zemni-vruty.eu/>>

- Web 02 BARACKY, s.r.o. Naše typové domy dřevostaveb. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.baracky.eu/typove-domy/bungalovy/drevostavba-iroko-4-1/>>
- Web 03 ČÚZK. Nahlížení do katastru nemovitostí. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>>
- Web 04 HAZUCHA, J. 2014. Jak na efektivní zakládání pasivních domů? [online] citováno 17. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/11435-jak-na-efektivni-zakladani-pasivnich-domu>>
- Web 05 HAZUCHA, J., BÁRTA, J. 2014. Katalog konstrukčních detailů. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pasivnidomy.cz/detaily/obvodova-zed-u-zakladu-reseni-s-penosklem-v-pate-zdiva-10>>
- Web 06 KUBÍČEK, R. 2012. Katalog konstrukčních detailů. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pasivnidomy.cz/detaily/obvodova-stena-u-zakladu-zakladova-deska-na-sterku-z-penoveho-skla-13>>
- Web 07 KUBÍČEK, R. 2014. Katalog konstrukčních detailů. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pasivnidomy.cz/detaily/obvodova-stena-u-zakladu-zakladova-deska-na-xps-14>>
- Web 08 KRINNER CZ s.r.o. Seznamte se se zemními vruty na Dřevostavbách 2014. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceskykutil.cz/seznamte-se-se-zemnimi-vruty-na-drevostavbach-2014>>
- Web 09 KRINNER CZ s.r.o. Tipy pro instalaci zemních vrutů. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceskykutil.cz/tipy-pro-instalaci-zemnich-vrutu>>
- Web 10 KRINNER CZ s.r.o. Zemní vruty Krinner. Galerie. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.zemnivruty-krinner.cz/fotogalerie?fotoid=47>>
- Web 11 MŽP ČR. Ministerstvo životního prostředí. Zelená úsporám–Slovníček pojmů. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.zelenausporam.cz/sekce/560/2/slovnicek-pojmu/technicke-termíny/>>
- Web 12 PETÁKOVÁ, H. 2013. CONDRA s.r.o.: Pěnové sklo GEOCELL a základová deska. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/doporucujeme/2460-conda-sro-penove-sklo-geocell-a-zakladova-deska>>



- Web 13 SMOLA, J. 2015. Bezbariérový pasivní komplex domů pro seniory v Modřicích. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.earch.cz/cs/architektura/bezbarierovy-pasivni-komplex-domu-pro-seniory-v-modricich>>
- Web 14 VITTORE s.r.o. Způsoby založení domu. [online] citováno 18. dubna 2016. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.vittore.cz/cz/nase-drevostavby/zpusoby-zalozeni-domu>>

## 9. Seznam obrázků a tabulek

### 9.1 Seznam obrázků

Obr. 1	Měrná spotřeba tepla na vytápění dle energetické náročnosti budovy	10
Obr. 2	Detail systémového řešení tepelného mostu v patě zdiva pomoci použití tvarovky z pěnového skla	18
Obr. 3	Detail založení plovoucí základové desky na XPS	20
Obr. 4	Detail založení plovoucí základové desky na pěnovém skle	21
Obr. 5	Založení pomocí základových patek vyvedených nad úroveň terénu	22
Obr. 6	Založení dřevostavby na zemních vrutech od firmy Krinner	23
Obr. 7	Založení pomocí systému Elegohouse od firmy Cemex	24
Obr. 8	Způsoby vytvoření spádu ploché střechy	30
Obr. 9	Možnosti podpory proudění vzduchu v odvětrávané mezeře ploché střechy	31
Obr. 10	Vliv polohy osazení okna vzhledem k tepelným ztrátám	33
Obr. 11	Stínění pomocí samonosné konstrukce	36
Obr. 12	Systémová hranice obálky budovy	42
Obr. 13	Katastrální mapa obce Strahovic	43
Obr. 14	Poloha parcely	44
Obr. 15	Možnosti výškového osazení objektu	44
Obr. 16	3D zobrazení osazení do terénu, opěrných zídek a terénních úprav	45
Obr. 17	Jihozápadní pohled na dům z ptačí perspektivy	48
Obr. 18	Severozápadní pohled na dům z žabí perspektivy	48
Obr. 19	Dispoziční řešení 1. NP	49
Obr. 20	Dispoziční řešení 2. NP	51
Obr. 21	Konstrukce obvodové stěny tl. 460 mm	52

Obr. 22	Konstrukce příčky tl. 150 mm	54
Obr. 23	Výřez konstrukce stropu 1x1 m	55
Obr. 24	Výřez skladby podlahy 1x1 m	56
Obr. 25	Výřez střešní konstrukce 1x1 m	59
Obr. 26	Způsob stínění jižní strany fasády objektu	62
Obr. 27	Rozložení teplot v typickém místě obvodové konstrukce	65
Obr. 28	Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě obvodové konstrukce	66
Obr. 29	Rozložení teplot v typickém místě podlahové konstrukce	68
Obr. 30	Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce podlahy	69
Obr. 31	Rozložení teplot v typickém místě střešní konstrukce	72

## 9.2 Seznam tabulek

Tab. 1	Odpor při přestupu tepla	39
Tab. 2	Informace o pozemku	44
Tab. 3	Legenda místností 1. NP	50
Tab. 4	Legenda místností 1. NP	51
Tab. 5	Prostupnost vodní páry obvodovou konstrukcí	53
Tab. 6	Prostupnost vodní páry střešní konstrukcí	57
Tab. 7	Skladba obvodové stěny a vlastnosti v ní použitých materiálů	64
Tab. 8	Skladba podlahové konstrukce a vlastnosti v ní použitých materiálů	67
Tab. 9	Skladba střešní konstrukce a vlastnosti v ní použitých materiálů	70
Tab. 10	Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em}$ s navýšením součinitele prostupu tepla hodnotou $\Delta U_{tb}=0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	74
Tab. 11	Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em}$ s navýšením součinitele prostupu tepla hodnotou $\Delta U_{tb}=0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	74
Tab. 12	Požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$	74
Tab. 13	Výpočet objemového faktoru budovy	75

## 10. Seznam příloh

### 10.1 Příloha č. 1

#### VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE:

výkres č. 01 – Osazení do terénu, terénní úpravy	A3	1:200
výkres č. 02 – Koordinační situace	A3	1:200
výkres č. 03 – Půdorys 1. NP	A2	1:50
výkres č. 04 – Půdorys 2. NP	A2	1:50
výkres č. 05 – Základy	A2	1:50
výkres č. 06 – Řez A – A'	A2	1:50
výkres č. 07 – Řez B – B'	A2	1:50
výkres č. 08 – Střecha	A2	1:50
výkres č. 09 – Pohled – jih/západ	A2	1:50
výkres č. 10 – Pohled – sever/východ	A2	1:50
výkres č. 11 – Detail D1 – Sokl	A3	1:10
výkres č. 12 – Detail D2 – Žlab	A3	1:10
výkres č. 13 – Detail D3 – Napojení stropu	A3	1:10
výkres č. 14 – Výpis výplní otvorů	A3	

### 10.2 Příloha č. 2

TECHNICKÁ ZPRÁVA: Architektonicko – stavební řešení