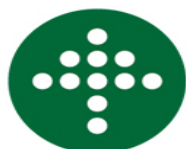


**Mendelova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany lesa



**Lesnická  
a dřevařská  
fakulta**

**Návrh pasivního rodinného domu**

**Bakalářská práce**

Přílohy práce: CD se statickým posudkem

Vizualizace

Samostatná příloha práce – výkresová dokumentace

**2015/2016**

**Jakub Mokrý**



*Prohlašuji, že jsem práci: **Návrh pasivního rodinného domu** zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 11/1998 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, 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 28.4.2016

.....

*podpis studenta*

*Rád bych poděkoval paní Ing. Pavle Kotáskové, Ph.D. za příkladné vedení bakalářské práce, za trpělivost a poskytnutí velkého počtu cenných rad, podle kterých jsem tuto práci dovedl do zdárného konce. Také bych jí chtěl poděkovat za množství času, který mi a mé práci věnovala.*

*Dále bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Charamzovi a umožnění práce v programu SciaEnginner na SPŠS ak. Stanislava Bechyně v Havlíčkově Brodě. Mé poděkování patří také Ing. Radkovi Kubátovi vyučujícímu v tomto programu, za velkou pomoc při tvorbě statického posudku a cenných rad při zpracování dat.*

*Současně bych rád poděkoval také mé rodině a přátelům, kteří byli po celou dobu mého studia mojí oporou a snažili se mi vytvořit nejlepší možné podmínky pro studium.*

## **Abstrakt**

Autor:**Jakub Mokrý**

Název bakalářské práce:**Návrh pasivního rodinného domu**

V této práci je řešen návrh pasivního rodinného domu bez předem určené lokality. Návrh je zpracován dle platných norem pro pasivní domy s výpočtem prostupu tepla obvodovými stěnami. Konstrukce je řešena rámovým způsobem za použití masivnějších hranolů. Pro celou konstrukci je zhotoven statický posudek v programu Scia Enginner, ve kterém je počítáno se stálým zatížením, nahodilým zatížením a zatížením sněhem. Statický posudek je v příloze práce. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci stavby doplněnou vizualizacemi objektu.

V této práci byl řešen návrh pasivní dřevostavby se statickým posudkem konstrukce a s tepelně technickým posouzením obvodové stěny objektu.

### **Klíčová slova:**

dřevostavba

pasivní dům

statický posudek

tepelně technické posouzení

## **Abstract**

Author:**Jakub Mokrý**

Title of the Thesis:**Draft passive family house**

The Bachelor thesis deals with the design of a passive family house without any pre-determined location. The design was worked out in compliance with the standards in force for passive houses complete with the calculation of heat transmission through the perimeter walls. The structure was designed by applying the frame method with the use of massive timbers. For the whole structure, a static expert opinion was elaborated applying the program Scia Enginner, in which permanent load, accidental load and snow load were taken into account. The static opinion is elaborated in the enclosure to the thesis. The enclosure also includes the design documents of the structure comprising visualizations of the building.

In the design of the structure, the author's own experience with a building of similar parameters was applied.

Key words:

passive house

static expert opinion

thermal technical evaluation

timber frame house

## Obsah

1	ÚVOD .....	8
2	CÍL PRÁCE .....	10
3	METODIKA .....	11
3.1	Orientace místností ke světovým stranám.....	11
3.2	Návrh místností obytných místností podle ČSN 73 4301 .....	12
3.3	Výběr vhodného konstrukčního systému a skladeb pro jednotlivé konstrukce .....	13
3.4	Vytvoření hygienicky oddělených prostorů.....	14
3.5	Tepelně technické posouzení obvodového pláště .....	14
3.6	Návrhové hodnoty prostupu tepla pro řešenou konstrukci:.....	15
3.7	Metodika statického posudku v programu SciaEnginner.....	15
3.7.1	Seznámení s programem SciaEnginner .....	15
4	HISTORICKÝ VÝVOJ STAVEB ZE DŘEVA .....	16
4.1	Počátky stavění ze dřeva .....	16
4.2	Historický vývoj konstrukčních systémů.....	18
4.3	Systémy dřevěných staveb z tyčových prvků .....	18
4.4	Rámová konstrukce dřevostavby .....	18
4.4.1	Realizace poloprefabrikovaných dřevostaveb.....	20
4.4.2	Realizace panelových dřevostaveb.....	20
4.5	Skladba rámové konstrukce dřevostavby.....	21
5	STATICKÝ POSUDEK .....	25
5.1	Posuzované vlastnosti dřeva ve statickém posudku pro mezní stavy použitelnosti.....	26
5.1.1	Mezní stav použitelnosti.....	26
5.1.2	Obecná posouzení pro mezní stavy únosnosti.....	27
5.1.3	Hlavní posuzované veličiny důležité pro dřevostavbu .....	27
5.2	Definování ve statickém programu SciaEnginner.....	32
5.2.1	Postup provádění- modelování stavby.....	32
5.2.2	Definice zatížení.....	33
6	VÝSLEDKY PRÁCE .....	35
6.1	Technický popis objektu .....	35
6.1.1	Urbanistické, architektonické a stavebně technické řešení .....	35
6.1.2	Zakládání stavby .....	36
6.1.3	Obvodové stěny.....	36
6.1.4	Vnitřní nosné stěny.....	37

6.1.5	Vnitřní nenosné stěny .....	38
6.1.6	Provádění konstrukcí stěn .....	38
6.1.7	Konstrukce stropu .....	39
6.1.8	Konstrukce schodiště.....	39
6.1.9	Střešní konstrukce .....	39
6.1.10	Podlahy .....	40
6.1.11	Tepelná a zvuková izolace .....	41
6.1.12	Hydroizolace, parozábrany a geotextilie .....	41
6.1.13	Obklady.....	41
6.1.14	Truhlářské, zámečnické a ostatní doplňkové výrobky.....	41
6.1.15	Klempířské práce .....	42
6.1.16	Malby a nátěry.....	42
6.1.17	Větrání místností .....	42
6.2	TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ OBJEKTU.....	43
6.2.1	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí „U <sub>540</sub> “ .....	43
6.2.2	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí „U“ podle Fokina .....	45
7	DISKUZE .....	46
8	ZÁVĚR .....	48

# 1 ÚVOD

Stavby pro bydlení jsou součástí člověka již řadu tisíciletí. Člověk si nejdříve stavěl chatrče ze dřeva a hlíny pro ochranu před zvířaty a klimatickými podmínkami. Až později člověk začal využívat stavby i pro své pohodlí. Různě je upravovat svým potřebám a potřebám všech obyvatelů daného domu.

V dnešní době je bydlení pro člověka velmi důležitou otázkou. Člověku dnes bydlení umožňuje jistý pocit vlastnictví, bezpečí a umožnění určitého komfortu pro život. Většina lidí se snaží stěhovat do měst, kde si hledají byty kvůli téměř nulové údržbové práci z jejich strany. Někteří toto pohodlí našli v bytech, jiní v ubytovnách nebo k němu přišli při studentském životě například na vysoké škole.

Pro člověka vlastnictví rodinného domu neznámá jenom část majetku. Když si člověk chce pořídit rodinný dům, musí počítat s tím, že se o něj bude muset starat a vynaložit tak určitý čas z osobního volna. A to jak při koupi staršího domu, tak u novostavby, u které se však potřebné opravy projevují většinou až po několika letech.

Současným trendem je stavět menší, levnější domy pro jednu generaci a těmto trendům se musely podřídit i stavební firmy, které nabízejí stavby bungalovů nebo přízemních objektů s obytným podkrovím.

Investoři často žádají po firmách v dnešní uspěchané době výstavbu domu v co možná nejkratším možném čase. Při zděných objektech to pro většinu mladých lidí trvá moc dlouho a tak se nabízí alternativa dřevostaveb. Bohužel pro nás není důvěra v dřevostavby tak velká jako ve zděné stavby. Lidé si totiž často myslí, že jim jejich dům rozkousají brouci nebo že se jim do konstrukce pustí hlodavci. Velmi často se bojí i požárů, protože je známo, že dřevo velmi dobře hoří. Další věc, která z myslí budoucích investorů často zaznívá, je životnost konstrukce. Lidé se často domnívají, že dům ze dřeva je pouze otázkou jedné generace, což není pravda. Jasným důkazem nám jsou hrázdné stavby, které jsou v naší společnosti i několik století.

Projektanti a firmy tedy musejí na základě těchto rizik zaujmout zájemce pro volbu dřevostavby. Většina nových staveb je však stále stavěna z keramických tvárnic nebo jiné zděné konstrukce. Dřevostavby se v České republice však začínají pomalu



ale jistě prosazovat. Na základě těchto poznatků lze tedy říci, že dřevostavby u nás dosáhly zvýšení oblíbenosti u zákazníků.

Důležitými faktory, které tomuto trendu stavění přispívají, jsou rychlost výstavby, zdravý životní styl, ekonomičnost stavby a také dodatečná změna dispozičního řešení stavby. Ekonomičnost objektu je nejvíce skloňovaným kladem dřevostaveb. S ohledem na životní prostředí a samotnou spotřebu energie jsou na tom dřevostavby daleko lépe než stavby zděné. Dřevostavba jako taková není totiž odrazem několika desetiletí, ale může být pro nás důležitá i po staletí.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je návrh prostorného pasivního rodinného domu pro čtyřčlennou rodinu. Rodinný dům má být řešen jako jednopodlažní s obytným podkrovím. Pro rodinný dům má být navrženo optimální rozvržení místností s ohledem na orientaci ke světovým stranám. Projekt bude doplněn vizualizacemi.

Celý dům je navržen systémem rámové konstrukce za použití masivnějších prvků. K této problematice navazuje statický posudek konstrukce řešený v programu SciaEnginner, kde je celá konstrukce vymodelována ve skutečném měřítku a jednotlivé prvky dřevostavby posuzovány na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti jednotlivých prvků.

V poslední části práce je řešen prostup tepla obvodovým pláštěm dřevostavby s ohledem na normu tepelně technických požadavků pro tvorbu pasivních konstrukcí.

### **3 METODIKA**

Při návrhu objektu bylo vycházeno ze základních norem pro navrhování staveb pro bydlení:

ČSN 73 4301: Obytné budovy

ČSN 734130: Schodiště a šikmé rampy

ČSN 73 4108: Šatny, umývárny a záchody

Pro samostatné vytvoření projektové dokumentace se muselo počítat i s několika dalšími dílčími úkoly, kterými byly především:

- vhodná orientace jednotlivých místností s ohledem na světové strany,
- návrh velikostí obytných místností,
- výběr vhodného konstrukčního systému stavby a skladeb pro jednotlivé konstrukce,
- vytvoření hygienicky oddělených prostorů,
- návrh skladby a tepelně technické posouzení obvodového pláště,
- tvorba statického posudku v programu SciaEnginner,
- vytvoření výkresové dokumentace v programu ArchiCAD 19

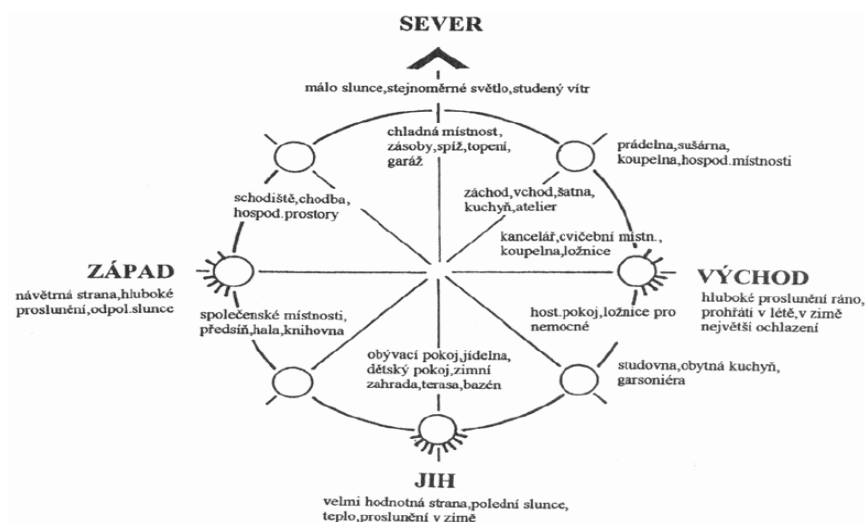
#### **3.1 Orientace místností ke světovým stranám**

Vhodnou orientací místností vzhledem ke světovým stranám máme na mysli rozmístění místností v domě s ohledem na proslunění místností, návaznosti jednotlivých místností a snížení tepelných ztrát.

Vhodná orientace místností a jejich uspořádání v celém domě má za následek psychickou pohodu obyvatelů domu. Všeobecně uznávaným pravidlem je, že na sever se umísťují místnosti, které nejsou brány jako obytné například WC, koupelny nebo spojovací komunikační prostory. Naopak na jih se umísťují obytné prostory s maximálním využitím prosklených ploch. Je to dáno především slunečním svitem.

Při návrhu dispozičního řešení objektu bylo k těmto faktům přihlíženo v maximální možné míře. Přibližná orientace místností a jejich vhodné rozprostření je zobrazeno viz Obr. 1.

Obr.1



Obr. 1 Optimální orientace místností vzhledem ke světovým stranám (Orientace místností ke světovým stranám, 2005)

### 3.2 Návrh obytných místností podle ČSN 73 4301

Podle této normy musíme dodržet minimální parametry jednotlivých místností. Rozměry všech místností v domě vyhovují předepsaným hodnotám této normy.

#### Zádveří

Šířka zádveří v navrhovaném objektu je stanovena na 1790 mm. Norma nám stanovuje minimální šířku zádveří na 1100 mm (ČSN 73 4301).

#### Hlavní domovní komunikace

Hlavní domovní komunikace jsou provedeny jak v přízemí, tak i v podkroví tohoto objektu. Šířka chodby v přízemí je navržena na 1005 a 1175 mm. V obytném podkroví je navržena chodba šířky 1000 mm a 1024mm. Minimální stanovená šířka pro domovní komunikace je v normě daná hodnotou 800 mm (ČSN 73 4301). Komunikační prostory tohoto objektu tudíž těmto požadavkům vyhoví.

#### Kuchyň bez stolování

Norma nám v tomto případě určuje jako minimální zastavěný prostor kuchyně 8m<sup>2</sup> (ČSN 73 4301). V projektu je uvažováno s kuchyní o velikosti 12,08 m<sup>2</sup>.

Kuchyňská linka ve tvaru písmene U nabízí velmi pohodlné a prostorné pracovní zázemí pro přípravu pokrmů. Kuchyň je navíc s použitím barového pultu i prosluněná a s přímým přístupem do větrané spíže.

### Obývací pokoj se stolováním

Obývací pokoj s možností využití stolování má stanovenou minimální plochu na 24 m<sup>2</sup> (ČSN 73 4301). V projektu je navržen obývací pokoj o velikosti 30,15 m<sup>2</sup> a s kuchyní je spojen volným průchodem bez dveří. Kuchyň a obývací pokoj jsou tedy propojeny a tvoří jednu velkou obytnou místnost.

Dispoziční řešení objektu by umožňovalo udělat tyto místnosti oddělené, avšak v dnešní době je takto pojaté uspořádání kuchyně s obývacím pokojem velkým trendem. Proto jsem tyto dvě místnosti spojil v jednu velkou místnost.

### **3.3 Výběr vhodného konstrukčního systému a skladeb pro jednotlivé konstrukce**

Volba vhodného konstrukčního systému je velmi důležitou součástí projektu. Pro tvorbu tohoto objektu byla zvolena konstrukce rámové dřevostavby prováděné přímo na staveništi. Zvolena byla proto, že výstavbou takovéto dřevostavby jsem si již prošel a mohl jsem tak rozvinout poznatky získané při stavbě této dřevostavby.

Při tvorbě skladeb jednotlivých konstrukcí bylo stěžejní zadání projektu. Objekt měl být řešen jako pasivní dřevostavba. Jednotlivé hodnoty tepelně technických parametrů nám udává norma ČSN 73 0540-2. Při samostatném návrhu konstrukce je zapotřebí dosáhnout co nejmenší ztráty tepla prostupem. Konstrukce by tedy měla mít co nejvyšší tepelný odpor. Kde se pro součinitel prostupu tepla  $U$  uvažuje s hodnotami od 0,12 – 0,15 W/ m<sup>2</sup>\*K.

Skladba konstrukce nám také ovlivňuje to, jak celá stavba bude spolupůsobit. Musíme tedy navrhnout dostatečné ztužení stavby, které je poté velmi důležité pro statiku konstrukce.

### 3.4 Vytvoření hygienicky oddělených prostorů

V návrhu byl objekt rozdělen do hygienických částí, které byly vždy odděleny konstrukcí dveří. Mezi tyto prostory, které by měli být oddělené, patří například i garáž s technickou místností, která je od prostorů pro bydlení oddělená zádveřím a vnitřními komunikačními prostory. Oddělená byla například také koupelna, kterou vždy od obytné místnosti dělí komunikační prostor domu.

### 3.5 Tepelně technické posouzení obvodového pláště

Pro posouzení obvodového pláště byly použity základní vzorce pro určení tepelně technických parametrů obvodových stěn (Vaverka & kol., 2006)

Tepelný odpor určité vrstvy konstrukce, který je stanovený pro hmotné vrstvy konstrukce, lze vypočítat ze vztahu:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

Kde:  $d_j$  – tloušťka vrstvy (mm)

$\lambda_j$  – součinitel tepelné vodivosti materiálu (W/mK)

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

Kde:  $R_T'$  je horní mezní odpor při prostupu tepla v ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) stanoveného z výseku konstrukce rovnoběžného s tepelným tokem

$R_T''$  je dolní mezní odpor při prostupu tepla v ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) stanoveného z výseku konstrukce rovnoběžného s tepelným tokem

Tepelný tok je dán vztahem:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_x}{R_{Tx}}$$

Kde:  $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tx}$  jsou odpory při prostupu tepla v ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ), vypočítané ze vztahu pro jednosměrné šíření tepla

$$f_a = \frac{A_a}{A}, f_b = \frac{A_b}{A}, \dots, f_x = \frac{A_x}{A}$$

Kde se pro každou nestejnorodou vrstvu určí její tepelný odpor ze vztahu:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_x}{R_{xj}}$$

Celkový součinitel prostupu tepla konstrukcí je pak vypočítán ze vztahu:

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

### **3.6 Návrhové hodnoty prostupu tepla pro řešenou konstrukci:**

Návrhová hodnota odporu při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Návrhová hodnota odporu při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Při výpočtu bylo nutné určit i přibližnou oblast, kde bude objekt realizován, pro bližší určení výpočtových teplot, jejichž okrajové podmínky byly stanovené na teplotu exteriéru  $t_e = -15^\circ\text{C}$  a výpočtovou teplotu interiéru  $t_i = 20^\circ\text{C}$ .

### **3.7 Metodika statického posudku v programu SciaEnginner**

Po domluvě s vedoucí bakalářské práce bylo rozhodnuto, že se nebude v této práci řešit zatížení konstrukce větrem kvůli rozsahu samotné práce. Na výpočet zatížení větrem může být navázáno u diplomové práce.

#### **3.7.1 Seznámení s programem SciaEnginner**

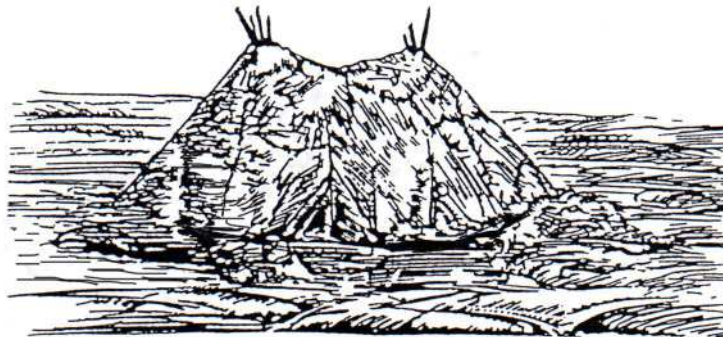
Tento program slouží pro statické posudky betonu, oceli a dřeva. Obsahuje velkou škálu nejpoužívanějších ocelových prvků různých profilů a lze v něm definovat a modelovat jakýkoliv tvar i pro dřevěné konstrukce. Pro statický posudek jsou zde nastavené normové výpočty, které lze do jistých úrovní upravovat a tím tak docílit nejpresnějšího výsledku. Materiály nadefinované v tomto programu se dají kombinovat s jinými materiály a lze si zde vytvořit i optimální materiál dle vlastních parametrů. Dřevěné prvky řeší program pouze jako osové s možností zvolení excentricity prvku, což nám umožňuje posouzení například stropních trámů s využitím průvlaků.

## 4 HISTORICKÝ VÝVOJ STAVEB ZE DŘEVA

### 4.1 Počátky stavění ze dřeva

Dřevo a kámen patří k nejstarším stavebním materiálům, který využívali lidé pro stavbu obydlí. Kompletní vývoj staveb ze dřeva do dnešního dne však nejde kompletně doložit, ale existuje řada nálezů, podle kterých lze doložit existenci a vývoj staveb ze dřeva. První stavby ze dřeva lze datovat na starší a střední dobu kamennou, kde si lovci a rybáři stavěli budovy ze dřeva, kůry, listí a kostí. (Vaverka, Havířová, Jindrák, & kol., 2008)

Obr. 2

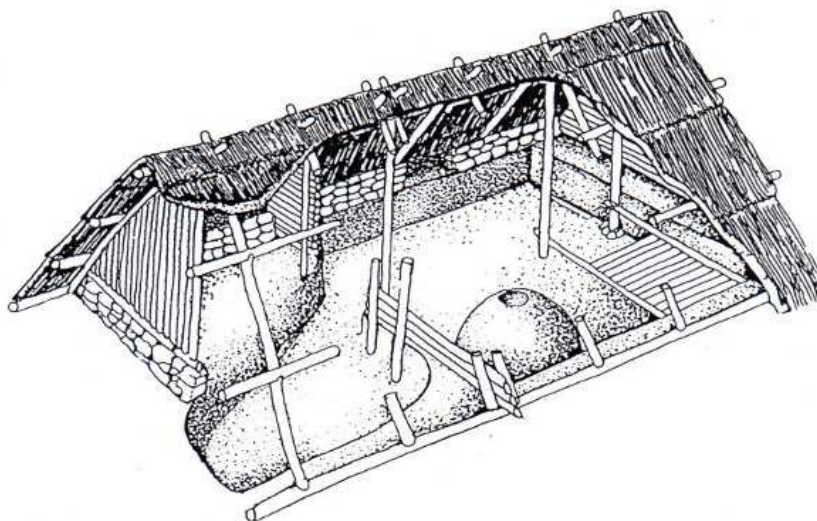


Obr. 2- Jedna z prvních opláštěných staveb ze dřeva  
(<http://www.casopisstavebnictvi.cz/>)

První dům se svislými stěnami a konstrukčně oddělenou střechou lze doložit z mladší doby kamenné, kde bylo dřevo vyplétáno proutím, do kterého byla nanášena hlína, tato kombinace tvořila výplň stěn. Tímto způsobem se daly tvořit různé tvary půdorysů. Stavby se sdružovaly do osad, které byly ohraničeny jednoduchou dřevěnou palisádou.



Obr. 3



Obr.3 – Na obrázku je naznačen průřez objektem dřevostavby (<http://www.casopisstavebnictvi.cz/>)

Nejjednodušší stavby se svislými stěnami byly stavěny na velkých kůlech zaražených do vodního dna. Tyto kůly byly nad hladinou svázány tzv. plošinou, která tvořila i základní desku pro celou stavbu. Tato plošina byla umístěna v určité výšce nad hladinou vody (někdy až 2 metry), podle toho, jak se dokázala hladina vody pohybovat.

V mladší době kamenné vznikl další konstrukční způsob staveb ze dřeva a to stavby pletivové, které už potřebovaly pevný podklad. Na tomto pevném podkladu byly umístěny 3-4 příčné trámy, které vynášely povalový strop, ten tvořil podlahu.

Vývoj staveb ze dřeva závisel na schopnosti zlepšování dovedností člověka. Při vynálezu prvních nástrojů bylo umožněno i úpravě dřeva a tím i promyšlenějších konstrukcí. Prvotní konstrukce držely pohromadě pomocí lýka, kde docházelo ke svázání tyčovin. Dalším způsobem byly přirozené vidlice z větví, které sloužily jako podpory vodorovných prvků. Jako první tesařský spoj byl využíván spoj na čep a dlab pro spojení svislého a vodorovného prvku v konstrukci.

Při náhradě vnější stěnové konstrukce, vypletené proutím a hlínou, kulatinou vznikaly první srubové stavby. Tyto stavby byly stále uloženy na povalovém roštu, na který se ukládaly jednotlivé výřezy, které byly spojovány v rozích stavby. Využívala se kulatina o průměru 15-20 cm. Takováto konstrukce splňovala ochrannou funkci

interiéru a současně i funkci nosnou. Později se využívala kulatina větších průměrů, polohraněné a hraněné profily.

V minulém století se objevily první hrázděné konstrukce s vyspělými tesařskými spoji, u kterých byl prostor mezi jednotlivými prvky vyzdíván. (Vaverka, Havířová, Jindrák, & kol., 2008)

#### **4.2 Historický vývoj konstrukčních systémů**

Všechny dnešní stavby se původně vyvinuly ze dvou principiálních řešení staveb, a to ze staveb hrázděných a srubových. Dnes se nazývají tyto skupiny jako stavby z tyčových prvků (rámové konstrukce, skeletové konstrukce) a stavby masivní.

#### **4.3 Systémy dřevěných staveb z tyčových prvků**

Tento systém vzešel z původních hrázděných staveb, které byly nejprve vyplétány proutím a hlínou, později byly vyzdívány pomocí nepálených cihel a pomocí pálených cihel. Na takovouto konstrukci byly kladeny vysoké požadavky na přenos zatížení. Konstrukce musela přenášet svislé i vodorovné zatížení až do základové desky (základových pasů). Proto byly na stavbu použité i šikmé vzpěry pro přenos veškerého zatížení a také pro vyztužení celé stavby. Z hrázděných staveb v Americe vznikl nynější nejpoužívanější systém dřevostaveb, který využívá přířezy daleko menších profilů, než byly využívány u hrázděných staveb. Tento systém je známý pod názvem „Timber-Frame“. Systém využívá stavbu celé konstrukce z jednotného profilu dřeva. Nejčastěji 2x4 palce, nyní v oblibě i profil 2x6 palců. Z angličtiny přeloženo jako „Two by Four“, nebo „Two by Six“. Sloupkovou konstrukci lze realizovat jako průběžnou na celou výšku stavby, nebo po jednotlivých podlažích, kde dochází k přerušení průběžnosti v oblasti stropní konstrukce. V prvním případě je stropní konstrukce připojená ke svislým prvkům z boku, ve druhém případě je strop uložen na horní rám stěnové konstrukce. Tyto dva typy konstrukcí mají svůj název „Balloon-Frame“ pro první možnost a „Platform-Frame“ pro druhý konstrukční způsob. Ze systému „Platform-Frame“ se stala dnešní konstrukce rámové dřevostavby, podle které je řešena i tato bakalářská práce. (Vaverka, Havířová, Jindrák, & kol., 2008)

#### **4.4 Rámová konstrukce dřevostavby**

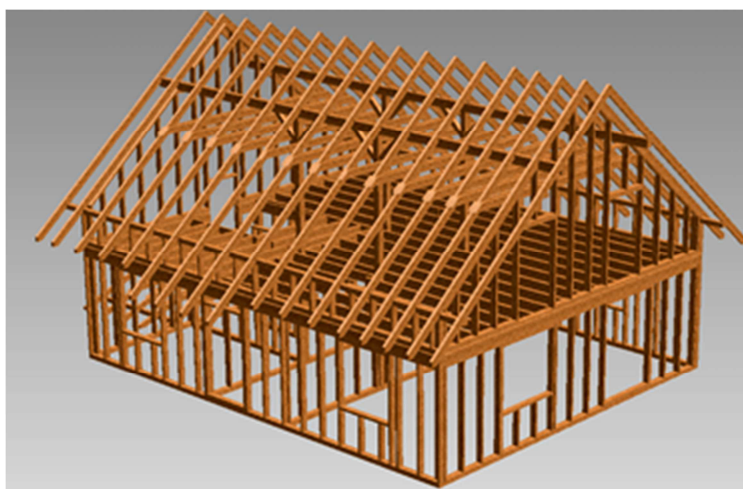
Nyní se dřevostavby stavějí jako elementární stavby, kdy je použit na stavbu pouze jeden profil dřeva. Tyto profily tvoří nosnou dřevěnou kostru stavby, která je

navíc doplněna ve své skladbě i dalšími konstrukčními materiály. Tento druh stavby vznikl v Americe na přelomu 19. a 20. století. Největším rozdílem mezi stavbami hrázděnými a elementárními je v jejich ztužení. Zatímco hrázděné stavby pro své vyztužení používaly šikmé vzpěry, tak stavby elementární využívají jako ztužení samostatné opláštění budovy. To se nejčastěji provádí z desek na bázi dřeva, jako jsou DTD, OSB desky. Rámový typ dřevostavby lze připravit ve výrobě jako prefabrikát (panelová konstrukce dřevostavby), poloprefabrikát, kdy je rámová konstrukce opláštěná z jedné strany a dopravena na stavbu, nebo jako celou konstrukci až na stavbě. Samostatný dřevěný rám tvoří spodní práh (patní fošna), svislé stojky a horní pásnice. Stejný dřevěný rám je využit i pro vodorovné nebo šikmé konstrukce celé dřevostavby, jako jsou střešní konstrukce a konstrukce stropu.

### **Realizace přímo na staveništi**

Při realizaci dřevostavby pomocí rámové konstrukce, přímo na staveništi se jednotlivé profily spojují natupo pomocí hřebíků nebo ocelových úhelníků, kde se celá konstrukce dřevěného rámu skládá ve vodorovné poloze (na podlaze) a až poté je postavena do svislé polohy, kde je nutností postavenou část stěny provizorně zavětrovat. Po vystavění několika částí se v oblasti horní pásnice spojí jednotlivé části pomocí dalšího průběžného profilu, který nám slouží jako ztužení stavby a tvoří nám zároveň i obvodový věnec celé stavby.

Obr. 4



Obr. 4- Rámová konstrukce dřevostavby provedená systémem Platform-Frame

#### **4.4.1 Realizace poloprefabrikovaných dřevostaveb**

Částečně připravená rámová konstrukce z výrobní haly obsahuje nosný rám, který je jednostranně opláštěný ztužující deskou. Takto zhotovené rámy se odvezou na místo provádění stavby, kde se smontují pomocí vrutů nebo svorníků k sobě, a tím nám vytvoří prostorovou konstrukci celé dřevostavby, která je dostatečně vyztužená pro přenášení zatížení, a tím nám umožňuje v co nejbližší době provést zastřešení celého objektu. Po zastřešení celého objektu lze provádět dokončovací práce včetně vložení tepelné izolace a doplnění opláštění bez nebezpečí promoknutí. Tento systém nám urychluje výstavbu domu, protože příprava ve výrobní hale trvá kratší dobu, při využití vybavení výrobní haly.

#### **4.4.2 Realizace panelových dřevostaveb**

Panelové dřevostavby, jak již název vypovídá, jsou kompletně připravené ve výrobní hale závodu. Při této formě dřevostavby je rámová konstrukce opláštěná z jedné strany, poté otočená pomocí speciálního zařízení na druhou stranu, kde se provede vyplnění rámu vložением vláknité izolace a vložení rozvodů a elektroinstalace. Dále následuje provedení opláštění z druhé strany, do které jsou vytvořeny prostupy pro instalace přímo ve výrobní hale. Vše závisí na detailnosti projektu. Po opláštění druhé strany přijde na řadu jeřáb, který samotný dílec zvedne do svislé polohy, kde je na něm provedena povrchová úprava, provedení zateplovacího systému nebo osazování oken. Při správném provedení celé dřevostavby pomocí panelů, nenastane žádný problém při montáži. Z výrobní haly pokračují panely na staveniště, kde se na připravenou základovou desku osadí a smontují.

Obr. 5



Obr. 5 – Vlastní foto realizace panelové dřevostavby

#### **4.5 Skladba rámové konstrukce dřevostavby**

Skladba jednotlivých vrstev dřevostavby je dána především architektonickými požadavky, statickým výpočtem, požadovanou požární odolností konstrukce a stavební fyzikou objektu. Liší se však pouze určité konstrukce celé dřevostavby, jako je například rohový spoj obvodových stěn dřevostavby, nebo ukotvení dřevostavby k základové konstrukci. Většina dřevostaveb stavěných u nás má v konstrukci obvodové stěny zakomponovanou parozábranu. Stále častěji se však objevují dřevostavby difúzně otevřené, bez použití parozábrany. U difúzně otevřených dřevostaveb však musíme dát velký pozor na posouzení z hlediska problematiky tepelně vlhkostního chování při běžném využívání stavby. U difúzně otevřených dřevostaveb je ztužující konstrukce umístěna na vnitřní straně stavby, kde nám zároveň plní funkci parobrzd, toto opláštění však musí být provedeno jako vzduchotěsné. Musí se u něj přelepovat všechny spáry vzduchotěsnou lepicí páskou na konstrukční spoje.

#### **4.6 Realizace dřevostavby v rámci sebevzdělání v Kozojedech u Prahy**

Na připravenou základovou desku byly upevněny pomocí ocelových kotev patní trámy profilu 120x160 mm. Kotvy o průměru 12mm a délky 250 mm procházely přímo přes patní trám až do betonové konstrukce základové desky. Do patních trámů byly pomocí „řetězové dlabačky“ vydlabány dlaby hloubky 60 mm. Dlaby byly

rozmístěny osově po 625 mm a navíc byly vytvořeny i dlaby pro pomocné sloupky mimo osovou vzdálenost.

Obr. 6



Obr. 6- Připravená základová konstrukce pro uložení patních trámů

Po vyřezání sloupků rohových profilů 160x160 mm, osových sloupků 100x160 mm a pomocných sloupků 100x160mm, na kterých byly vytvořeny čepy o délce 60mm, byly sloupky zasazeny do dlabů v patních trámech. Pro okna a dveře byly vytvořeny pevné rámy, které byly opět spojeny vodorovným trámem profilu 100x160 mm. Uložení těchto vodorovných trámů bylo řešeno také pomocí tesařského spoje na čep a dlab. Štítové stěny byly vytvořené způsobem Platform-Frame a zbylé dvě stěny pomocí způsobu Balloon Frame, kde při dokončení štítových stěn byla osazena horní pásnice profilu 140x160 mm, která zároveň byla uložena do výšky stropní konstrukce pro jednodušší tvorbu stropu.

Obr. 7



Obr. 7- Po ukotvení patních trámů, započala stavba obvodových stěn

Tímto způsobem byly řešeny i vnitřní nosné stěny celé dřevostavby opět celé z profilů 100x160mm. Po dokončení konstrukce prvního nadzemního podlaží se

přestoupilo k ukládání stropních trámů profilů 100x200mm, které byly pomocí svorníků o průměru 16mm připevněny ke sloupkům konstrukce. Po dokončení stropní konstrukce byly osazeny na čepy sloupků pozednice profilů 120x160mm. Pro zajištění spolupůsobení pozednice se sloupky byly použity 300 mm dlouhé hřebíky pro každý spoj. Další v pořadí byly tvorby „plných vazeb“ střešní konstrukce. Ty tvořily sloupky profilů 160x160 mm, vzpěry profilů 160x180mm a rozpěry profilů 160x160 mm. Sloupek a vzpěry byla spojena se stropním trámem opět pomocí čepu a dlabu. Tento spoj byl využit i pro spojení rozpěry se sloupky. Po dokončení plných vazeb byla na sloupky umístěna vaznice o profilu 180x160 mm doplněná pásky o profilu 100x100mm.

Obr. 8



*Obr. 8- Pokračování výstavby přízemí*

Obr. 9



*Obr. 9- Na tomto obrázku je již dokončena stavba přízemí a zároveň vytvořena první plná vazba pro konstrukci krovu*

Obr. 10



Obr.10- Dokončení nosné konstrukce dřevostavby

V poslední části montáže byly vyřezávány krokve profilů 100x160 mm, které byly přibíjeny pomocí 240 mm dlouhého hřebíku přes sedla do pozednic a vaznic. Na závěr byly vyřezány dvojice kleštín pro ztužení konstrukce krovu. Kleštiny profilů 2x80x160 mm byly pomocí svorníků průměru 16mm připojovány ke krokvím. Po dokončení jednotlivých částí konstrukcí byly vždy čepy probíjeny dvojicí hřebíků délky 100mm z obou stran trámu. Celá konstrukce tvořená pomocí spoje na čep a dlab



dostala velkou tuhost stavby i bez dodatečného ztužení konstrukce OSB deskami.  
Realizace této dřevostavby byla prováděná v květnu 2013.

Obr. 11



Obr. 11- Opláštění konstrukce krovu pomocí hoblovaných prken

## 5 STATICKÝ POSUDEK

Pro nosné dřevěné konstrukční prvky se smí v zásadě používat jen takové rostlé dřevo, které lze na základě třídění přiřadit k určité třídě pevnosti. (Blass,2008)  
Jehličnaté dřevo je v České republice nejvyužívanějším materiálem pro dřevostavby, tudíž se budeme zabývat pouze jehličnatým dřevem. To lze rozdělit do jednotlivých tříd pevnosti od C14, nejvyužívanější je C24 až po C40. Pro projekt je uvažováno s charakteristickou pevností dřeva C24 u všech prvků dřevostavby. Tato pevnost se odrazí také v samostatném statickém posudku dřevostavby. Pokud by prvky ve statickém posudku nevyhovovaly, mohly by být nahrazeny prvky stejného průřezu jen s vyšší třídou pevnosti dřeva.

Tab. 1

Třídy pevnosti dřeva pro řezivo deskové a hraněné [MPa] <sup>1)</sup>										
Namáhání	Třídy pevnosti pro dřevo									
	Označení	Jehličnaté a topol								
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
<b>ohyb</b>	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
<b>tah</b>	$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>tlak</b>	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
	$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
<b>smyk</b>	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
<b>modul pružnosti</b>	$E_{0,mean}$	7000	8000	9000	10000	11000	12000	12000	13000	14000
	$E_{0,05}$	4700	5400	6000	6700	7400	8000	8000	8700	9400
	$E_{90,mean}$	230	270	300	330	370	400	400	430	470
	$G_{mean}$	440	500	560	630	690	750	750	810	880

1) Výpočtové pevnosti jsou určeny vydělením charakteristických hodnot dílčím souč. spolehlivosti materiálu:  $\gamma_M = 1,3$  pro základní kombinaci zatížení v I.M.S. Pro MS použitelnosti (výpočet průhybů) je  $\gamma_M = 1,0$ .

Tab. 1 Materiálové charakteristiky dřeva jehličnanů a topolu (Ugolev,1986)

## 5.1 Posuzované vlastnosti dřeva ve statickém posudku pro mezní stavy použitelnosti

### 5.1.1 Mezní stav použitelnosti

Mezní stavy použitelnosti jsou takové stavy, při nichž překročení deformací ovlivňuje vzhled nebo plánovité využití konstrukce, nebo které způsobují kmitání nepohodlné osobám, nebo poškození konstrukce (Blass, Ehlbeck, Kreuzinger, & Steck, 2008). Pro posudek na mezní stav použitelnosti musíme uvažovat s jednotlivými deformacemi dřeva. Pro posouzení mezního stavu použitelnosti se provádí výpočet pouze s průměrnými hodnotami tuhosti konstrukce vyjádřenými součinitelem  $\gamma_M$ . Kde pro dřevo a materiály na bázi dřeva je roven hodnotě  $\gamma_M = 1,3$  (Kadlčák & Kytýr, 2010). Při překročení mezního stavu použitelnosti nedochází k ohrožení osob a škody na konstrukci jsou pouze minimální, nemusíme na tento výsledek přihlížet. Důležitější je pro nás mezní stav únosnosti.

#### a) Mezní hodnoty deformací

Mezní hodnoty deformací závisejí na používání nosné konstrukce a z toho vyplývajících požadavků (Blass,2008). Deformací rozumíme průhyb konstrukce na rozpětí. Průhyb nám může poškozovat nenosné konstrukce stavby, proto není zanedbatelný. Musíme zde počítat i s časovým dotvarováním konstrukce. To se projeví až po přibližně roce používání stavby. Dotvarování však bývá pouze s minimálními změnami v řádech milimetrů. Při výpočtu deformace můžeme počítat i se skutečným průhybem, který počítá i s dotvarováním konstrukce.

b) Posuzování kmitání

Pro dřevěné konstrukční prvky s převážně stálým zatížením ve smyslu ČSN 1991-1-1 se kmitání nemusí posuzovat (Blass,2008).

### 5.1.2 Obecná posouzení pro mezní stavy únosnosti

Mezní stavy únosnosti jsou definovány na úrovni napětí:

$$\frac{\sigma_d}{f_d} \leq 1 \text{ (Blass,2008).}$$

kde  $\sigma_d = S_d/\text{průřezová hodnota}$

$S_d = \text{návrhová hodnota vnitřní síly}$

$f_d = k_{mod}/\gamma_M$

$k_{mod}$  = součinitel pro rostlé dřevo upravený pro třídu využití a třídu trvání zatížení

$\gamma_M$  = součinitel pro vlastnosti materiálu a jeho únosnost

Únosnost dřeva je závislá na úhlu odklonu dřevních vláken, tudíž pro výpočet se uvažuje s natočením dřevních vláken od 0° do 10°.

### 5.1.3 Hlavní posuzované veličiny důležité pro dřevostavbu

a. Posouzení tlaku rovnoběžně s dřevními vlákny (sloupky v dřevostavbě)

Účinnost průřezů namáhaných tlakem se posuzuje s plochou průřezu.

$$\sigma_p = \frac{F_{max}}{a*b} \text{ (MPa)}$$

$F_{max}$  = síla na mezi pevnosti (N)

a,b = příčné rozměry tělesa v mm<sup>2</sup>

Tlaková pevnost dřeva je pro samotný posudek velmi důležitá. Dojde při ní k deformaci tělesa (jeho zkrácení). Pro pevnost dřeva v tlaku je rozhodující anatomická stavba dřeva, hustota dřeva a jeho vlhkost.

Tab. 2

druh dřeva	$s_{p \parallel}$ (MPa)		druh dřeva	$s_{p \parallel}$ (MPa)	
	w = 12%	w <sup>3</sup> 30%		w = 12%	w <sup>3</sup> 30%
modřín	64,5	25,5	akát	75,5	41,5
borovice	48,5	21,0	buk	55,5	26,0
smrk	44,4	19,5	dub	57,5	30,4
habr	60,0	26,5	topol	39,0	18,0

Tab. 2- Hodnoty meze pevnosti v tlaku ve směru vláken pro dřevo některých dřevin (Ugolev,1986) v tabulce  $\sigma$  - sigma

b. Posouzení tlaku kolmo na směr dřevních vláken

Na rozdíl od tlaku ve směru dřevních vláken dřevo není porušeno oddělováním jednotlivých částí, ale dochází k postupné deformaci a zhušťování dřevní struktury v celém objemu. Nepochází tedy k poškození celé dřevní struktury, ale pouze části. Proto se tlak napříč vláken určuje z meze úměrnosti. S ohledem na to, že mez úměrnosti je velmi obtížné určit, zjišťuje se v podstatě mez úměrnosti na základě předem stanovených kritérií. Takto stanovená mez úměrnosti je označovaná jako konvekční mez pevnosti.

Tab. 3

druh dřeva	konvenční mez pevnosti (MPa) v tlaku napříč vláken ve směru			
	radiálním při vlhkosti		tangenciálním při vlhkosti	
	12%	> 30 %	12 %	> 30 %
modřín	4,5	2,7	6,1	2,5
borovice	5,2	3,1	7,6	3,1
smrk	3,4	2,3	4,0	2,0
dub	11,0	6,5	8,5	5,1
jilm	5,8	3,5	4,8	2,9
buk	12,9	7,3	8,5	5,3
habr	14,0	7,9	8,5	5,2

Tab. 3- Průměrné hodnoty konvenční meze pevnosti dřeva v tlaku napříč vláken u vybraných dřevin (Ugolev,1986)

c. Pevnost dřeva v tahu ve směru dřevních vláken je v porovnání s ostatními vlastními pevnostmi největší a jeho průměrná hodnota tahové pevnosti ve směru s dřevními vlákny se pro všechna naše dřeva udává 120 MPa. Při namáhání dřeva v tahu se poškození tělesa projevuje roztrhnutím buněk dřeva. Dobrých vlastností v tahu podél dřevních vláken dosahuje dřevo díky svému vláknitému tvaru buněk a strukturou buněčných stěn. Bohužel této vlastnosti dřeva nelze plně využít, protože často dochází k porušení dřeva smykem, nebo otláčením v místech upevnění konstrukčních dílů.

Tab. 4

druh dřeva	mez pevnosti v tahu ve směru vláken (MPa)		druh dřeva	mez pevnosti v tahu ve směru vláken (MPa)	
	w = 12%	w = 30%		w = 12%	w = 30%
modřín	125	96	dub	132	100
borovice	103	79	jasan	145	109
smrk	103	79	buk	123	92
jedle	79	61	bříza	139	106

Tab. 4 -Pevnost v tahu ve směru dřevních vláken u některých dřev (Ugolev,1986)

d. Pevnost dřeva v tahu napříč vláken

Dřevo zatěžované na tah ve směru napříč dřevních vláken vykazuje nejnižší pevnost ze všech. U dřeva můžeme dosáhnout průměrných hodnot od 1,5 po 5 MPa, proto bychom se měli tomuto způsobu zatížení u nosných konstrukcí vyhnout. Nízká pevnost v tahu kolmo na vlákna je dána působícími vodíkovými a Van der Waalsovými vazbami, které jsou řádově slabší než vazby kovalentní, které působí v tahu podél dřevních vláken. V radiálním tahu je mez pevnosti větší než v tahu tangenciálním. U jehličnanů o 10-50 %. Pevnost tahu napříč dřevních vláken je udávána zhruba 1/20 pevnosti tahu podél dřevních vláken.

Tab. 1

druh dřeva	mez pevnosti (MPa) v tahu napříč vláken ve směru	
	radiálním při vlhkosti	tangenciálním při vlhkosti
	12%	12 %
smrk	2.2	1.7
dub	5.8	-
buk	4.4	3.4
habr	4.6	3.8

Tab. 2 - Pevnost dřeva napříč vláken u vybraných dřev (Ugolev,1986)

e. Pevnost dřeva v ohybu

Pro jednoduchý nosník umístěný na dvou podporách a zatížen silou F v jeho středu platí vztah:

$$\sigma_{max} = \frac{3*F*l_0}{2*b*h^2}$$

Kde:

F= působící síla (N)

h= výška (m)

b= šířka nosníku (m)

l<sub>0</sub>= vzdálenost mezi podporami (m)

Pevnost dřeva v ohybu je jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností. Rozlišujeme u dřeva dva způsoby pevnosti v ohybu s ohledem na průběh dřevních vláken.

1. Pevnost v ohybu, kdy dřevní vlákna probíhají rovnoběžně s podélnou osou tělesa a síla působí kolmo na dřevní vlákna v radiálním nebo tangenciálním směru.

2. Pevnost v ohybu, kdy dřevní vlákna probíhají kolmo na podélnou osu tělesa, kdy příčný řez je orientován ve směru působící síly nebo kolmo ke směru působení síly.

Při ohybu tělesa napříč vláken vzniká v jeho horní části napětí tlakové a ve spodní části napětí tahové. Nedeformovatelnou část tělesa nazýváme neutrální osou. Mezi tlakovým a tahovým napětím nám působí napětí smykové. Vzhledem k tomu, že

tuto znalost využijeme u stropních trámů nebo vaznic u dřevostavby, musíme vědět, že k porušení dřeva při ohybu dochází nejprve v tlakové zóně, která má horší pevnostní vlastnosti než zóna tahová. V tlakové zóně dojde k vybočování dřevních vláken, což ve většině případů nelze pozorovat pouhým okem. Ke konečnému poškození tělesa však dochází v tahové zóně dřeva, kdy nejprve dojde k odštěpení krajních vláken dřeva a poté k úplnému přelomení tělesa.

Tab. 3

druh dřeva	mez pevnosti v ohybu při vlhkosti (MPa)		druh dřeva	mez pevnosti v ohybu při vlhkosti (MPa)	
	w = 12%	w = 30%		w = 12%	w = 30%
modřín	112	62	dub	108	68
borovice	86	50	jasan	123	75
smrk	80	44	buk	109	65
jedle	69	41	bříza	110	60

Tab. 4 - Mez pevnosti vybraných dřev v ohybu (Ugolev, 1986)

#### f. Vzpěrný tlak

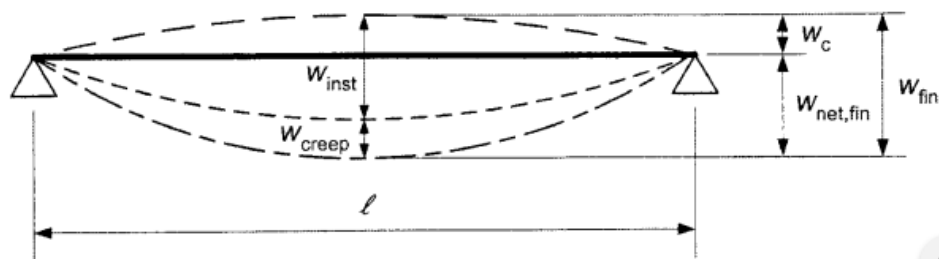
Důležitou charakteristikou tlačенého prutu je jeho štíhlost, která je dána poměrem jeho vzpěrné délky a poloměru setrvačnosti jeho průřezu. U dřevěných konstrukcí se většinou setkáváme s případy, kdy vzpěrná délka (účinná délka) prutu je rovna délce tlačенého prutu, což odpovídá předpokladu, že prut je na obou koncích uložen kloubově. Tento předpoklad souvisí se skutečností, že v uchycení konců dřevěných tlačенých prutů téměř vždy dochází k malému prokluzu ve spojích s ohledem na otláčení dřeva pod spojovacími prostředky a tím k natočení konce prutu. (Blass,2008)

#### g. Průhyb

Deformace konstrukce je způsobena účinky zatížení (osové a posouvající síly, ohybové momenty, prokluz spoje atd.). Tato zatížení nesmí překročit meze únosnosti a použitelnosti. Všechny složky průhybů, které se musí připočítat, jsou uvedené v normě ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí.

Průhyb musí být v konstrukci co nejnižší, protože hrozí poškození ostatních konstrukcí například podhledů, stropů nebo omítek.

Obr. 12



Obr. 12 – Složky a označení průhybu

Tab. 7

	$W_{inst}$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$
Prostý nosník	L/300 až L/500	L/250 až L/350	L/150 až L/300
Konzolový nosník	L/150 až L/250	L/125 až L/175	L/75 až L/150

Tab. 7 – Mezní hodnoty průhybů nosníků

## 5.2 Definování ve statickém programu SciaEnginner

### 5.2.1 Postup provádění- modelování stavby

Při spuštění programu byla nedefinována orientační poloha objektu kvůli normovému zatížení sněhem a větrem. Dále byly definovány jednotlivé průřezy. Návrh průřezů byl volen dle již podobné realizované dřevostavby poblíž Prahy, na jejíž stavbě jsem se podílel. Prvky jsou tudíž zhotoveny z větších průřezů, než by bylo potřeba. Po editaci prvků bylo přistoupeno k samotnému modelování dřevostavby dle příložených výkresů. V první fázi byly řešeny patní trámy, které jsou plně podporovány základovými pasy. Druhá fáze modelování řešila stěny v přízemí (obvodové, nosné vnitřní i nenosné vnitřní stěny). V třetí fázi se řešily průvlaky a stropní trámy. Navazující podkroví bylo řešeno ve fázi čtvrté, na kterou postupně navazovalo řešení střešní konstrukce, plných a jalových vazeb.



### 5.2.2 Definice zatížení

Pro celý statický posudek bylo vytvořeno plošné zatížení na stěny, stropy a střešní konstrukci. Samotné zatížení prvků se nemuselo připočítávat. Bylo totiž nastaveno automaticky dle objemu daného prvku a směru působení.

a. Pro obvodové stěny dřevostavby bylo uvažováno se zatížením  $1,3 \text{ kN/m}^2$  plochy. Je to dáno přepočtem zatížení jednotlivých vrstev skladby.

b. Pro vnitřní nosné stěny bylo uvažováno se zatížením  $1,0 \text{ kN/m}^2$

c. Pro vnitřní nenosné stěny bylo uvažováno se zatížením  $0,9 \text{ kN/m}^2$

d. Pro stropní konstrukci byly definovány dva zatěžovací stavy a to stálé zatížení vlastní tíhou konstrukce  $1,3 \text{ kN/m}^2$  a zatížením nahodilým udávaným normou pro obytné budovy s hodnotou  $1,5 \text{ kN/m}^2$

e. Pro konstrukci střešního pláště bylo uvažováno se stálým zatížením  $1,3 \text{ kN/m}^2$

f. Dle normy zatížení bylo nastaveno plošné zatížení střešního pláště sněhem o hodnotě  $1,5 \text{ kN/m}^2$

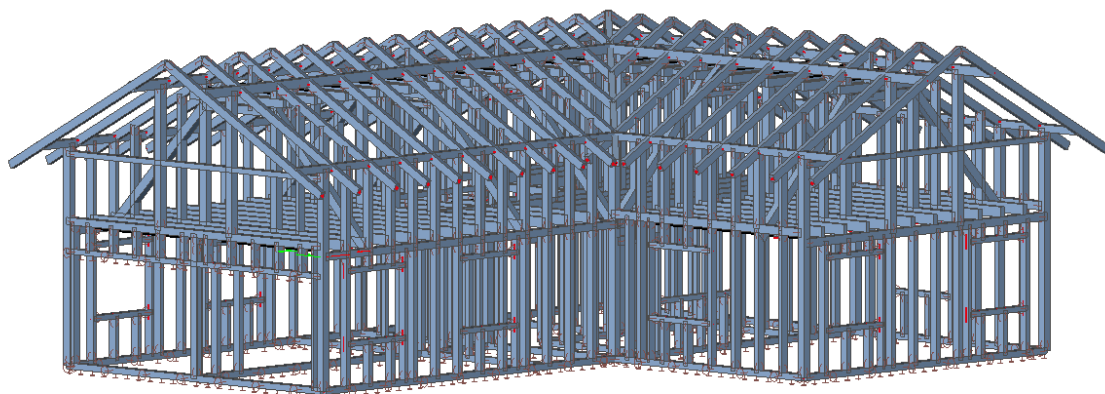
Po nadefinování plošného zatížení na všechny části konstrukce byla řešena samotná statika jako podpory prvků, kloubové připojení prvků a křížení jednotlivých prvků. Odladění modelu bylo velmi důležité pro pozdější výpočet.

Pro zjednodušení práce bylo uvažováno s nahrazením plošného ztužení prvků dřevostavby, kde byl místo OSB desek zvolen ocelový ztužující prut  $\varnothing 20\text{mm}$ . Skutečné ztužení pomocí OSB desek je však vyšší než u ocelového prutu, tudíž pokud model staticky vyhoví s použitím ocelového prutu, vyhoví i s OSB deskami. Celkový výsledek se v tuhosti konstrukce liší o 5-10%. Jedná se však pouze o tuhost a spolupůsobení celé konstrukce, nejedná se o zlepšení statických parametrů jako například únosnosti.

Po vyhotovení modelu musela být provedena kontrola duplicity prvků, kontrola statické určitosti modelu, kontrola vzájemného propojení prvků a kontrola křížení prvků. Po této kontrole byl spuštěn samostatný statický výpočet celého modelu.

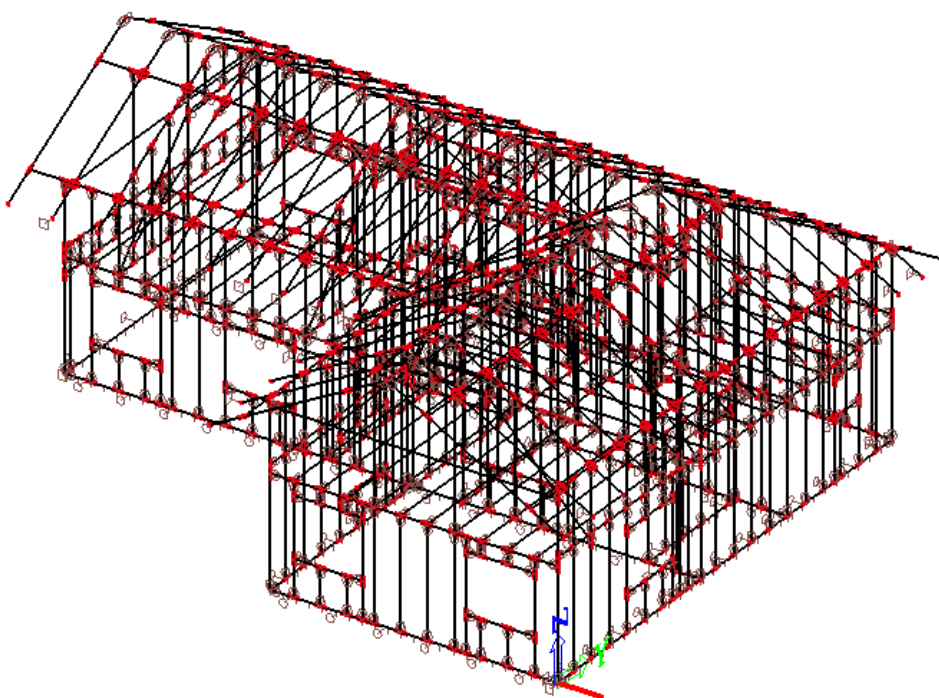
Z výpočtů můžeme zjistit, který prvek má nejmenší únosnost a který prvek je naopak na tomto modelu naddimenzovaný. Na této práci byly všechny profily dřeva posouzeny podle 1. a 2. mezního stavu a z výsledků je patrné, že vyhověly.

Obr. 13



Obr. 13 – Rámová konstrukce vytvořená v programu SciaEnginner

Obr. 14



Obr. 14- Vytvoření osového modelu v programu SciaEnginner

Další obrázky z programu SciaEnginner s jednotlivými popisky jsou obsaženy v příloze bakalářské práce.

## **6 VÝSLEDKY PRÁCE**

### **6.1 Technický popis objektu**

#### **6.1.1 Urbanistické, architektonické a stavebně technické řešení**

V této bakalářské práci je řešen projekt jednopodlažního rodinného domu s obytným podkrovím půdorysu tvaru písmene L systémem dřevěné rámové konstrukce se sedlovou střechou. Celková zastavěná plocha rodinného domu činí 119,9 m<sup>2</sup> a celková zastavěná plocha s podkrovím je 230,19 m<sup>2</sup>.

Dům je navržen pro 4-člennou rodinu, jehož součástí je i garáž. Samostatná dispozice domu je řešena v souladu s platnými ustanoveními s ohledem na pohodlí a komfort při užívání objektu s minimálními požadavky na údržbu. Vstup do objektu je orientován z jižní strany. Za vchodovými dveřmi se nachází zádveří, ze kterého je možné vstoupit do obytného prostoru, nebo do garáže pro dvě osobní vozidla a technické místnosti. Uprostřed objektu je umístěna chodba tvaru písmene L, z níž je možné se dostat do prostorné koupelny umístěné v severovýchodní části domu. Další možností je vstoupit do obývacího pokoje, který je orientovaný na jihovýchod objektu. Obývací pokoj je prostorný a spojený s kuchyní, ze které lze vstoupit do spíže, orientované na východní stranu objektu pro lepší ochlazování místnosti. Poslední možností, kam se dostat z chodby, je dřevěné schodnicové schodiště vedoucí do obytného podkroví. Schodiště je umístěné v severní části objektu.

V obytném podkroví na schodiště navazuje také chodba tvaru písmene L. Z této chodby je po výstupu po schodišti do 2. podlaží po levé straně možné vstoupit do druhé koupelny umístěné přímo nad koupelnou v přízemí pro lepší využití stoupaček. Dále je ve východní části objektu umístěná prostorná šatna, která slouží pro ukládání věcí, aby se zvětšil prostor v obytných místnostech. V jižní části objektu je umístěná ložnice rodičů, ze které je možné se dostat na lodžii pomocí balkónových dveří. Přímo naproti schodišti je umístěn pod úžlabím půdní prostor, který může sloužit pro ukládání nepotřebných věcí. Vedle půdního prostoru je umístěna knihovna. Naproti knihovně byla umístěna v severní části objektu menší pracovna, kterou lze využívat i jako místnost pro klid. Poslední místnost podkroví je dětský pokoj, který je orientovaný na západní stranu objektu a lze z něj vstoupit na druhou lodžii objektu.

### **6.1.2 Zakládání stavby**

Výkopové práce budou prováděny pomocí lehčí mechanizace. Obvodové rýhy pro základové pasy budou vyhloubeny do hloubky 1300 mm. Rýhy pro vnitřní nosné stěny budou vyhloubeny do hloubky 1050 mm.

Základové pasy budou vylity z prostého betonu třídy C 25/30 do výšky 500 mm pro obvodové i vnitřní nosné stěny. Beton bude řádně zhuštěn a po dobu tvrdnutí ošetřován, aby nevznikly trhliny a byla tak docílena maximální pevnost betonové konstrukce.

Po dostatečném vytvrzení betonu základových pasů bude základ stavby navýšen pomocí dvou na sebe uložených řad tvárnic ztraceného bednění. Tyto tvarovky budou ve vodorovném směru ztuženy dvojicí ocelových drátů průměru 12mm. Tvárnice ztraceného bednění budou ukládány s polovičním přesahem jednotlivých řad. Každá druhá tvarovka bude svisle vyztužena pomocí ocelových drátů průměru 10 mm, zabetonovaných do již vytvořeného základu pro lepší ztužení a provázání celé základové konstrukce.

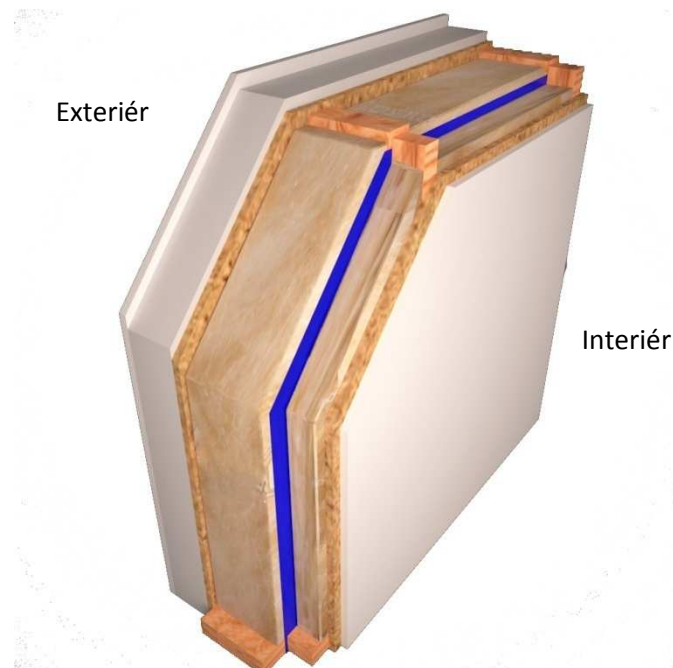
Vnitřní prostor mezi tvárnicemi ztraceného bednění bude do hloubky 300 mm od vrchní hrany tvárnic vyplněn zhutněným štěrkopískovým podsypem. Na tento podsyp bude následně vylitá vrstva betonu třídy C20/25 o tloušťce 50 mm na kterou bude po vytvrzení uložena hydroizolace a izolace proti radonu. Na vrstvu izolace bude vylitá základová železobetonová deska z betonu třídy C 20/25 provázána KARI sítěmi s průměrem ocelových prutů 8 mm a velikostí ok 100x100 mm. Deska bude kvůli dostatečné ochraně izolace před kotvícími prvky tlustá 120mm.

### **6.1.3 Obvodové stěny**

Nosnou konstrukci obvodových stěn bude tvořit dřevěný rám z rostlého dřeva o profilu osových sloupků 100x160mm, rohových sloupků 160x160 mm a pomocných sloupků 60x160mm. Svislé profily sloupků jsou od sebe v osově vzdálenosti 625 mm. Všechny stěny jsou tvořeny systémem „Platform-Frame“. Sloupky budou spojeny s patním trámem profilu 120x160 mm pomocí čepů a dlabů hloubky 60mm a horní pásnicí profilu 100x160 pomocí čepů a dlabů hloubky 50mm. Prostor mezi sloupky je vyplněn minerální vatou tloušťky 160 mm. První následující vrstvou směrem do interiéru je parozábrana, která bude připevněná v místě

sloupků. Dále směrem do interiéru bude umístěn rošt z latí 40x60 mm, který bude vyplněn tepelnou izolací. Následuje záklop tvořený dřevotřískovou deskou tloušťky 15 mm a sádrovláknitou deskou FERMACELL tloušťky 15mm pro zlepšení požární odolnosti konstrukce.

Obr. 15



Obr. 15- Zobrazení skladby obvodové stěny

Na stranu exteriéru je na svislých sloupcích umístěna dřevotřísková deska tloušťky 15 mm, která slouží jako ztužující deska konstrukce. Na tuto desku je připevněn zateplovací fasádní systém ISOVER tloušťky 100 mm, na který je nanesená vnější silikonová omítka MAMUT Silikon AS R+Z barvy šedé (bílá), tloušťky 3 mm uložená na vyrovnávacím lepidle tloušťky 9 mm.

Obvodová stěna má celkovou tloušťku 385mm a v oblasti garáže bez přídavné vnitřní izolace (instalační předstěny) tloušťku 320 mm. Celá konstrukce bude montovaná až na místě stavby bez využití prefabrikovaných panelů.

#### 6.1.4 Vnitřní nosné stěny

Vnitřní nosné stěny v přízemí budou provedeny ze sloupků profilu 100x160 na osovou vzdálenost 625 mm. Vytvořený prostor mezi sloupkou bude vyplněn tepelnou izolací. Sloupky budou ve spodní části připevněny k patnímu trámu profilu 120x160 mm a ve vrchní části ukončeny horní pásnicí 140x160mm. Celková šířka vnitřní

nosné stěny je 190 mm. Stěna je z obou stran opláštěná dřevotřískovou deskou tloušťky 15 mm. Při provedení s instalační předstěnou pro instalaci WC má stěna tloušťku 300 mm, kterou tvoří nosná konstrukce 160 mm a instalační předstěna o tloušťce 110 mm.

#### **6.1.5 Vnitřní nenosné stěny**

Příčky dřevostavby jsou tvořené profilem sloupků 100x100 mm po osové vzdálenosti sloupků 625mm. Vytvořený prostor bude vyplněn tepelnou izolací. Sloupky budou ve spodní části připevněny k patnímu trámu profilu 100x120 mm a v horní části k horní pásnici profilu 100x140 mm. Opláštěné budou z obou stran dřevotřískovou deskou tloušťky 15 mm.

#### **6.1.6 Provádění konstrukcí stěn**

Všechny patní trámy budou připevněny k základové desce pomocí ocelových natloukacích kotev o průměru 12 mm a délce 240 mm. Pro lepší a pevnější ukotvení bude využito velkých tesařských podložek o průměru 50 mm. Vzdálenost kotev bude po cca 1500 mm, tak aby nám kotva nevadila pozdějšímu umístění sloupků. U vnitřních nosných stěn a příček budou vzdálenosti kotvicích prvků zmenšeny na cca 1000 mm. Patní trámy budou v rozích a ve spojích s patními trámy z vnitřních nosných stěn a patními trámy pod příčkami spojeny pomocí přeplátování, které bude spojeno pomocí hřebíků délky 120 mm. Jednotlivé sloupky budou s patními trámy spojeny pomocí čepů a dlabů.

V místech oken bude proveden pevný rám okna pomocí sloupků a dvou vodorovných trámů profilu 100x160 umístěných v místě parapetu (nadpraží) okna. Vodorovné trámy budou do svislého rámu okna čepovány. Všechny otvory budou provedeny s šířkovou i výškovou rezervou 3 cm, která bude později sloužit pro ukotvení okna.

Jednotlivé sloupky se budou muset v průběhu provádění práce zavětrovat, aby nedošlo k pádu konstrukce. Zavětrování se bude provádět ze strany interiéru tak, aby po provedení celé konstrukce mohlo být provedeno opláštění ze strany exteriéru. Po provedení ztužujícího opláštění bude zavětrování odstraněno.

### 6.1.7 Konstrukce stropu

Stropní trámy profilu 100x200mm budou ke svislé konstrukci stěn (horním pásnicím) přibíjeny hřebíky o délce 300 mm. Stropní trámy jsou ukládány na osovou vzdálenost 625 mm. Prostor mezi stropními trámy je do výšky 140 mm vyplněn tepelnou izolací a 60 mm tvoří vzduchová mezera. Na spodní hraně stropní konstrukce je umístěna sádrovláknitá deska pro zlepšení požární odolnosti konstrukce. Záklop stropu je proveden z OSB desek tl. 15 mm.

### 6.1.8 Konstrukce schodiště

Vnitřní schodiště je řešeno jako schodnicové z lepeného modřínového dřeva. Schodnice je připevněna ve spodní části k základové desce a v horní části ke stropnímu trámu. Spojení je v obou případech řešené pomocí ocelových úhelníků. Ve spodní části pomocí hmoždinek a vrutů do základové konstrukce a pomocí vrutů do schodnice. Schodiště je řešeno jako jednoramenné tvaru písmene U na konstrukční výšce 2980 mm. Obsahuje celkem 18 stupňů výšky 166 mm a šířce schodišťového stupně na výstupní čáře délky 300 mm. Je navrženo podle vzorce pro výpočet schodiště.

$$2h + b = 630$$

$$2 * 166 + 300 = 632$$

Celá schodnice je profilovaná tak, aby nebylo zapotřebí využití podstupnic.

Stupnice tloušťky 60 mm jsou zapuštěny do schodnice o rozměrech 400 x 80 mm, která bude na obou stranách schodiště. Schodiště bude v prostoru zrcadla doplněno ocelovým sloupkovým zábradlím s madlem z modřínového dřeva výšky 900 mm. Zábradlí bude přišroubováno ke schodišťovým stupňům.

### 6.1.9 Střešní konstrukce

Pro tento objekt byla vybrána vaznicová soustava se stojatou stolicí. Sloupky 160x160 mm umístěné pod středovými vaznicemi 160x180mm budou přenášet zatížení kladené na vaznice do svislých nosných stěn. Konstrukce krovu bude až na kleštiny a pásy zakrytá. Kleštiny a pásy budou ohoblované, pohledové a natřené vhodnou nátěrovou povrchovou hmotou. Sloupky pod středovými vaznicemi budou vždy schovány do konstrukce stěn, kromě sloupků uložených v oblasti lodžii. Ty

budou ohoblovány. Pro ztužení konstrukce budou sloupky doplněny pásky profilu 100x100mm podle výkresu krovu.

Středové vaznice budou uloženy na sloupky plné vazby tvořené dále vzpěrou o profilu 160x180mm, rozpěrou o rozměru 160x140mm, krokve o profilu 100x160mm, pásky profilu 100x100mm a dvojicí kleštin profilu 80x160mm. Jalové vazby budou od sebe vzdáleny podle výkresu krovů a budou doplněny dvojicí kleštin vzájemně spojených svorníkem o průměru 12mm. Krokve budou ukládány na středové vaznice a pozednice. Pozednice bude připevněná ke svislé konstrukci pomocí čepů a dlabů, které budou probity hřebíky délky 240 mm na každém druhém sloupku obvodové konstrukce. K pozednicím a vaznicím budou krokve přibíjeny pomocí hřebíků délky 240mm. Na krokvích bude v oblasti pozednice a vaznice provedeno osedlání hloubky 40mm. Krokve budou po celé délce až do oblasti kleštin podbity OSB deskou. Mezi krokve ovlivní bude vzduchová mezera kvůli zateplení nad krokve. Zateplení pomocí PUR panelů tloušťky 200mm bude na zakázku dodáno včetně laťování 40x50mm pro uložení pálené střešní krytiny TONDACH v černé barvě. Zateplení bude probíhat po celé ploše střešní konstrukce včetně přesahů. V horní části pod konstrukcí laťování bude obsahovat hliníkový plech tloušťky 1mm, který bude sloužit jako ochranná vrstva izolace.

Kleštiny budou sloužit, jako nosná konstrukce stropu, který bude nad kleštinami. Strop podkroví budou tvořit OSB desky přibité z vrchní strany kleštin, opatřeny budou neprůhlednou nátěrovou hmotou.

#### **6.1.10 Podlahy**

Konstrukce podlahy na základové desce v obytných prostorech domu (mimo garáž a technickou místnost) má výšku 180mm. Je tvořena hydroizolací, podlahovou tepelnou izolací EPS pro zlepšení podlahové izolace tloušťky 120mm, vrstvou anhydritového potěru s povrchovou úpravou pro keramickou dlažbu nebo plovoucí podlahu podle druhu nášlapné vrstvy v jednotlivých místnostech. U plovoucí podlahy je nutno zajistit dilatační prostor mezi stěnami, který bude překryt krycí lištou.

Podlahová vrstva v garáži a technické místnosti je řešena pouze pomocí betonového povrchu základové desky. Vyrovnání výšek mezi garáží a zádveřím je tvořeno deskou výšky 180mm viz výkres půdorysu 1.NP.



V podkroví je skladba podlahy tvořena mirelonem, dřevovláknitou deskou tloušťky 60 mm pro zlepšení zvukově izolačních vlastností stropu, vyrovnávacím cementovým potěrem pro uložení plovoucí podlahy, která bude v oblasti koupelny nahrazena keramickou dlažbou.

#### **6.1.11 Tepelná a zvuková izolace**

V objektu byly navrženy tepelné i zvukové izolace od firmy Isover. Tloušťky izolací a jejich druh závisí na typu a místě využití v konstrukci.

Základové pasy i ztracené bednění bude zatepleno pomocí extrudovaného polystyrénu tloušťky 100 mm pro zlepšení zateplení budovy. Z vnitřní strany extrudovaného polystyrénu směrem k základům bude provedena hydroizolace. Z vnější strany bude extrudovaný polystyrén opatřen mrazuvzdornou stěrkou s armovací sítovinou, na které bude vytvořen finální vzhled.

Zateplení střechy bude dodáno od firmy HALOVÉ SYSTÉMY s.r.o., kde bude PUR panel vytvořen na zakázku s profilací.

#### **6.1.12 Hydroizolace, parozábrany a geotextilie**

Pro tento objekt byla navržena hydroizolační fólie PENEFOL 800, která bude natažena po celé ploše základové desky. Tato hydroizolace bude po natažení překryta vrstvou betonu viz základové konstrukce. Tato hydroizolační izolace je provedena i jako svislá izolace základových pasů.

Pro zamezení pronikání vlhkosti do obvodové konstrukce bude provedena parozábrana Jutafol N 140. Parozábrana je v souvrství umístěna na svislých sloupcích. Spoje jednotlivých částí parozábrany budou provedeny s přesahem minimálně 15 cm a takto vzniklé spoje budou přelepeny těsnící lepicí páskou AIRSTOP FLEX.

#### **6.1.13 Obklady**

Všechny vnitřní obklady stěn a podlah jsou popsány v tabulce legenda místností na jednotlivých půdorysech.

#### **6.1.14 Truhlářské, zámečnické a ostatní doplňkové výrobky**

Všechna okna a dveře jsou navrženy z masivních EURO hranolů firmy tpEUROOKNA s.r.o. Barvy oken a dveří jsou popsány ve výkresech pohledů.

### **6.1.15 Klempířské práce**

Odvodňovací systém střechy je tvořen okapovým žlabem průměru 100 mm ve spádu 0,5% směrem k okapové vpusti. Okapové svody budou napojeny na okapový žlab. Materiál okapových svodů a žlabu je navržen jako ocelový. Objímky okapových svodů jsou z oceli.

### **6.1.16 Malby a nátěry**

Vnitřní nátěrové hmoty od firmy MAMUT s.r.o. Odstíny barev budou později zvoleny investorem.

Venkovní fasáda bude tvořena silikonovou omítkou MAMUT Silikon AS R+Z barvy šedé (bílé) tloušťky 3 mm uložená na vyrovnávacím lepidle tloušťky 9 mm.

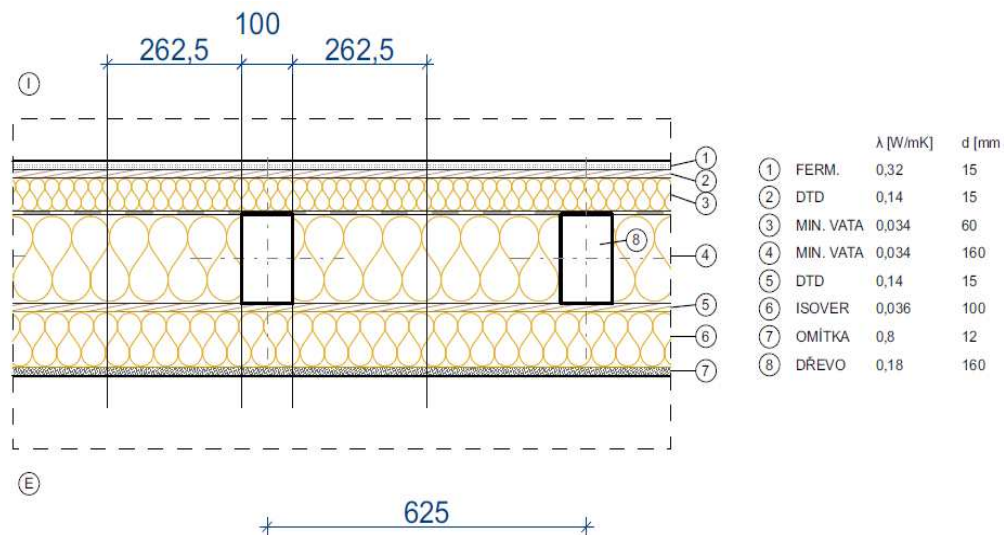
### **6.1.17 Větrání místností**

Větrání místností bude zajištěno pomocí okenních otvorů a prostupy stěnovou konstrukcí zobrazených ve výkresech.

## 6.2 TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ OBJEKTU

### 6.2.1 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí „U<sub>540</sub>“ podle normy ČSN 73 0540

Obr. 16



Obr. 16- Skladba stěny dřevostavby pro výpočet součinitele prostupu tepla

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} \quad \alpha_i = \frac{1}{R_{si}} = 7,69 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} \quad \alpha_e = \frac{1}{R_{se}} = 25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

#### Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí „U<sub>540</sub>“

$$f_a = \frac{a}{a + b + c} = \frac{0,2625}{0,625} = 0,42$$

$$f_a = \frac{b}{a + b + c} = \frac{0,1}{0,625} = 0,16$$

$$f_a = \frac{a}{a + b + c} = \frac{0,2625}{0,625} = 0,42$$

#### Výpočet horního mezního stavu R'

$$R_{Ta} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + \frac{1}{\alpha_e}$$

$$R_{Ta} = 0,13 + \frac{0,015}{0,32} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,06}{0,034} + \frac{0,16}{0,034} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,012}{0,8} + 0,04$$

$$R_{Ta} = 9,695 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{Tb} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_8}{\lambda_8} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + \frac{1}{\alpha_e}$$

$$R_{Tb} = 0,13 + \frac{0,015}{0,32} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,06}{0,034} + \frac{0,16}{0,18} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,012}{0,8} + 0,04$$

$$R_{Tb} = 5,88 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{Tc} = R_{Ta} = 9,695 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R' = \frac{1}{\frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}}} = \frac{1}{\frac{0,42}{9,625} + \frac{0,16}{5,88} + \frac{0,42}{9,625}} = 8,78 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'' = R_{ai} + \sum R_{\lambda} + R_{ae}$$

$$R_a = \frac{0,16}{0,034} = 4,7 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_b = \frac{0,16}{0,18} = 0,889 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_a = \frac{0,16}{0,034} = 4,7 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'' = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}}} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se}$$

$$R'' = 0,13 + \frac{0,015}{0,32} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,06}{0,034} + \frac{1}{\frac{0,42}{4,7} + \frac{0,16}{0,889} + \frac{0,42}{4,7}} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,012}{0,8} + 0,04$$

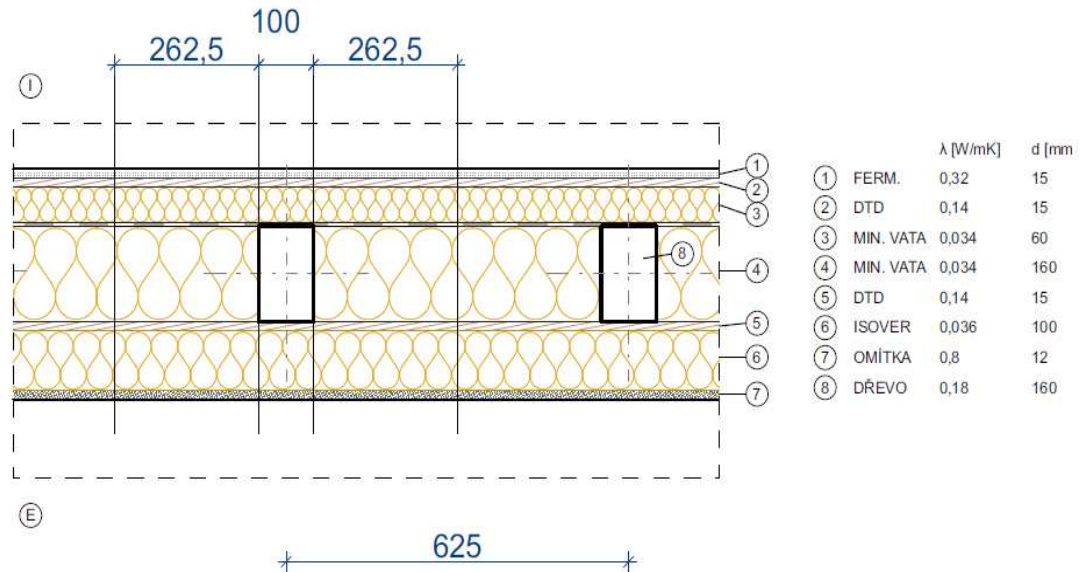
$$R'' = 7,776 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{c540} = \frac{R' + R''}{2} = \frac{8,78 + 7,776}{2} = 8,278 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{540} = \frac{1}{R_{c540}} = \frac{1}{8,278} = 0,1208 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## 6.2.2 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí „U“ podle Fokina

Obr. 17



Obr. 17- Skladba stěny dřevostavby pro výpočet součinitele prostupu tepla

$$f_a = \frac{a}{a + b + c} = \frac{0,2625}{0,625} = 0,42$$

$$f_b = \frac{b}{a + b + c} = \frac{0,1}{0,625} = 0,16$$

$$f_c = \frac{a}{a + b + c} = \frac{0,2625}{0,625} = 0,42$$

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

$$R_a = \frac{0,015}{0,32} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,06}{0,034} + \frac{0,16}{0,034} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,012}{0,8}$$

$$R_a = 9,52 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_b = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_8}{\lambda_8} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7}$$

$$R_b = \frac{0,015}{0,32} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,06}{0,034} + \frac{0,16}{0,18} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,012}{0,8}$$

$$R_b = 5,7 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_c = R_a = 9,52 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R' = \frac{1}{\frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} + \frac{f_c}{R_c}} = \frac{1}{\frac{0,42}{9,52} + \frac{0,16}{5,7} + \frac{0,42}{9,52}} = 8,598 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'' = \text{stejné jako } R''_{U540} = 7,776 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{c,FOK} = \frac{R' + 2 * R''}{3} = \frac{8,598 + 2 * 7,776}{3} = 8,05 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{FOK} = \frac{1}{R_{c,FOK}} = \frac{1}{8,05} = 0,124 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## 7 DISKUZE

Jako konstrukční metoda byla zvolena rámová konstrukce dřevostavby prováděná přímo v místě stavby. Je to méně častý způsob stavění dřevostaveb, protože je časově náročnější. Jeho výhodou je v tom, že při stavbě si investor může na přání nechat drobně změnit dispozici objektu. Nechat si posunout příčku, okno ve stěně atd. Všechny změny samozřejmě musí být drobného charakteru a musí být uvedeny ve stavebním deníku. Ztužení konstrukce pomocí čepového spoje je jako velkou výhodou ale zároveň víme, jak pracné a namáhavé to je, i za pomoci řetězové dlabacky to trvá o hodně déle, než kdyby byly sloupky spojovány natupo. Největší zdržení zde však nastává při vyřezávání čepů pomocí motorové (elektrické) řetězové pily. Při tomto způsobu stavby lze využít i stavbu svépomocí, která je v malém množství od investorů vyžadovaná. K této problematice lze v této době přiřadit i používání CNC strojů, které tyto úkony zvládají s velkou přesností v poměrně krátkém čase. Koupě CNC stroje je však velmi nákladná.

Rámová konstrukce formou „Platform-Frame“ i formou „Balloon-Frame“ jsou nejvyužívanějšími stavebními konstrukcemi dřevostaveb. Mezi málo využívaný typ dřevostaveb bych určitě zařadil srubové stavby, kvůli velkému sesychání profilu kulatiny. U srubových staveb se počítá se seschnutím stěny o výšce 3000 mm až o 130 mm, proto se dlouhou dobu nemohou osadit ani výplně otvorů. Tato problematika se však dá řešit vhodnými detaily s ohledem na toto sesychání. U rámových i skeletových dřevostaveb lze ke stavbě využít vysušené řezivo. Nejčastěji se však ve výrobních halách využívají KVH hranoly, které mají minimální změnu rozměrů, protože jsou již vysušené. Vysušené dřevo se v dnešní době dá použít i na roubené stavby. Další možností je využití lepených profilů.

Pasivní dřevostavbu jsem si vybral pro výraznou úsporu využívaných energií. Vytápění lze kombinovat i s alternativními zdroji energie a tak se tento objekt může dostat až na nulovou spotřebu energie.

Při samotném návrhu projektu, nebyl brán ohled na finanční stránku stavby. Masivnější profily dřevostavby považuji ve více ohledech za velmi výhodné (statika, požární odolnost, odolnost proti biotickým škůdcům).

Jako další velmi užitečnou výhodu masivnějších dřevostaveb je rychlost vytopení objektu. Při využití masivnějších profilů je zde více materiálu, který dokáže teplo naakumulovat do sebe. Dřevo samo o sobě je velmi „teplý a příjemný“ materiál, který v kombinaci s tepelnou izolací zajišťuje velmi kvalitní zateplení budovy, které teplo ve velké míře udržuje uvnitř. Prostup tepla přes tuto stěnu a zároveň i jeho sdílení s ostatními vrstvami konstrukce je rychlejší a tak budovu rychleji vyhřejeme na požadovanou teplotu. Při masivních zděných konstrukcích se teplo nejprve akumuluje do stěn a až po plném naakumulování stěn jsou stěny schopné teplo udržet uvnitř budovy.

Největší výhodou je však vždy uváděna rychlost výstavby. Mladí lidé, kteří se rozhodnou postavit vlastní dům, ho chtějí co nejdříve začít využívat. Nečekat například jeden rok, než bude zděná konstrukce schopná obývání. U dřevostaveb se to dá zvládnout do tří měsíců, což je ohromná úspora času. Při cenovém srovnání vychází cena dřevostavby o něco vyšší než u zděného objektu. Tuto cenu však vyrovná rychlost výstavby.

Planeta Země potřebuje, aby lidé snížili spotřebu energie vynaložené na vytápění budov. Proto se také neustále mění normy pro nově stavěné objekty. Při zamyšlení nad touto problematikou do důsledků zjistíme, že pasivní stavby jsou to nejlepší, co člověk může pro Zemi udělat. Využívat se dají i bez alternativních zdrojů energie a stále zůstávají velice málo nákladné na provoz.

## 8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout prostornou pasivní dřevostavbu rodinného domu v souladu se všemi platnými normami. Dřevostavba byla řešena pomocí systému rámové konstrukce pro velmi dobrou stabilitu, výborné tepelně technické parametry celého objektu a také pro svoji jednoduchost a rychlost výstavby. Pro projekt byla zvolena realizace rámové konstrukce přímo na staveništi za použití masivnějších profilů.

Rodinný dům půdorysu tvaru písmene L se zastavěnou plochou je řešen jako jednopodlažní s obytným podkrovím o celkové zastavěné ploše 230,19 m<sup>2</sup>. Obytná část domu je propojena s prostornou garáží pro dvě osobní vozidla. Nad celým objektem je provedena jednoúrovňová sedlová střecha.

Rozložení místností bylo navrženo v souladu s platnou normou na optimální rozmístění místností vzhledem k natočení světových stran a také byl celý objekt řešen tak, aby byly dodrženy minimální rozměry místností. V přízemí objektu byla navržena 1 obytná místností a v podkroví domu 3 obytné místností a 2 lodžie. Celkový počet místností v 1. a 2. nadzemním podlaží je 15 včetně lodžii.

Při návrhu skladby obvodového pláště budovy byl řešen celý objekt jako pasivní dřevostavba difúzně uzavřená. Stěny byly navrženy s požadovanými tepelně izolačními materiály, s ohledem na zdravotní nezávadnost jednotlivých vrstev a projevená byla i snaha o zvýšení požární odolnosti celé konstrukce. Stěna celkové tloušťky 385 mm včetně instalační vrstvy o tloušťce 40 mm.

Obvodový plášť byl posouzen z hlediska tepelné techniky tak, aby splnil požadavky pro pasivní domy dané normou. Výpočet celkového součinitele prostupu tepla byl počítán dvěma metodami. První součinitel prostupu tepla podle normy  $U_{540} = 0,1208 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$  splňuje požadavky pro pasivní domy. Výpočet součinitele prostupu tepla podle Fokina vyšel  $U_{\text{FOK}} = 0,124 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$

Celá nosná konstrukce byla posouzena pomocí programu SciaEnginner. Jednotlivé navrhované prvky dřevostavby vyhovují na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti. Některé prvky v dřevostavbě však nebyly dostatečně ztuženy a tak došlo k překročení mezních hodnot v kroucení. Tohoto kroucení lze však jednoduše



eliminovat použitím opláštění z velkoformátového materiálu, se kterým nebylo pro zjednodušení počítáno.

## 9 SUMMARY

The objective of the study was to design a roomy passive wooden house in compliance with all the standards and their supplements in force. The wooden house was designed with the aid of a system of frame construction to ensure its very good stability, excellent thermal and technical parameters of the whole structure and also the simplicity and rate of the building construction. The project implementation implied the realization of the frame construction on the building site using rather massive sections.

The family house and its ground coverage was designed as a one-storied house comprising an attic of a total ground coverage of 230.19 sq. m. The dwelling part of the house is connected with a spacious double garage. The whole building is covered by a single-level close-couple roof.

The layout of the rooms was designed in compliance with the standard in force laid for the optimal layout of rooms with respect to the orientation of the cardinal points and the whole building was designed so as to hold to the minimum dimensions of the rooms. On the ground floor of the building, 1 habitable rooms were designed and the attic comprises 3 habitable rooms and 2 recessed balconies. Total number of rooms in the 1st and 2nd floor 15 including balcony.

In the structural design of the cladding of the building, I designed the whole building as a diffusion-closed passive wooden structure. The walls were designed with the required heat-insulating materials taking into consideration the soundness of the individual layers and an effort was also made to enhance the fire safety of the whole structure. The wall of a total thickness of 385 mm complete with the insulation layer 40 mm thick.

The cladding of the house was evaluated from the point of view of the heating technology to comply with requirements laid on passive houses stipulated by the standard. For the calculation of the total coefficient of heat transmission, two methods were applied. The first coefficient of heat transmission according to Standard U540 = 0,1208 W/ m<sup>2</sup>\*K complies with the requirements laid for passive houses. The

calculation of the coefficient of heat transmission in compliance with Fokin is equal to  $U_{FOK} = 0,124 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$ .

The last point of the solution was the statics of the structure, which was solved by means of the SciaEnginner program. The evaluation of the individual elements of the wooden structure at the serviceability limit state and the ultimate limit state (ULS) turned out well. Nevertheless, some elements of the wooden structure were not sufficiently stiffened and due to it the limit winding values were exceeded. Nevertheless, such a winding can be eliminated by applying large-format materials.

## 10 SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY

1. ČSN 73 4301: Obytné budovy, 2004
2. ČSN 73 0540: Tepelná ochrana budov, 2011
3. BLAŠ, H J. -- KOŽELOUH, B. a kol. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby: komentář k ČSN 73 1702:2007 : modifikovaný překlad vysvětlivek k německé normě DIN 1052:2004*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2008. 227 s. ISBN 978-80-87093-73-3.
4. HAVÍŘOVÁ, Z. *Dům ze dřeva*. 2. vyd. Brno: ERA, 2006. 99 s. Stavíme. ISBN 80-7366-060-1.
5. KADLČÁK, J. -- KYTÝR, J. *Statika stavebních konstrukcí. : Základy stavební mechaniky, staticky určité prutové konstrukce . I*. 3. vyd. V Brně: VUTIUM, 2010. 349 s. ISBN 978-80-214-3419-6.
6. VAVERKA, J. -- HAVÍŘOVÁ, Z. -- JINDRÁK, M. a kol. *Dřevostavby pro bydlení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. 376 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
7. VAVERKA, J. a kol. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2006. 648 s. ISBN 80-214-2910-0.

## **11 SEZNAM ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ**

[www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)

[www.casopisstavebnictvi.cz](http://www.casopisstavebnictvi.cz)

[www.is.mendelu.cz/](http://www.is.mendelu.cz/)

[www.mamutsro.cz](http://www.mamutsro.cz)

[www.tpeurookna.cz](http://www.tpeurookna.cz)

[www.lithoplast.cz](http://www.lithoplast.cz)

[www.stresnifolie.eu](http://www.stresnifolie.eu)

[www.halovesystemy.cz](http://www.halovesystemy.cz)

[www.isover.cz](http://www.isover.cz)

[www.tondach.cz](http://www.tondach.cz)

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Optimální orientace místností vzhledem ke světovým stranám

Obr. 2- Jedna z prvních opláštěných staveb ze dřeva

Obr. 3- Na obrázku je naznačen průřez objektem dřevostavby

Obr. 4- Rámová konstrukce dřevostavby provedená systémem Platform-Frame

Obr. 5 – Vlastní foto realizace panelové dřevostavby

*Obr. 6- Připravená základová konstrukce pro uložení patních trámů*

*Obr. 7- Po ukotvení patních trámů, započala stavba obvodových stěn*

*Obr. 8- Pokračování výstavby přízemí*

*Obr. 9- Na tomto obrázku je již dokončena stavba přízemí a zároveň vytvořena první plná vazba pro konstrukci krovu*

Obr.10- Dokončení nosné konstrukce dřevostavby

Obr. 11- Opláštění konstrukce krovu pomocí hoblovaných prken

Obr. 12 – Složky a naznačení průhybu

Obr. 13 – Rámová konstrukce vytvořená v programu SciaEnginner

Obr. 14- Vytvoření osového modelu v programu SciaEnginner

Obr. 15- Zobrazení skladby obvodové stěny

Obr. 16- Skladba stěny dřevostavby pro výpočet součinitele prostupu tepla

Obr. 17- Skladba stěny dřevostavby pro výpočet součinitele prostupu tepla

## **13 SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Materiálové charakteristiky dřeva jehličnanů a topolu

Tab. 2- Hodnoty meze pevnosti v tlaku ve směru vláken pro dřevo některých dřevin

Tab. 3- Průměrné hodnoty konvenční meze pevnosti dřeva v tlaku napříč vláken u vybraných dřevin

Tab. 4 -Pevnost v tahu ve směru dřevních vláken u některých dřev

Tab. 5 - Pevnost dřeva napříč vláken u vybraných dřev

Tab. 6 - Mez pevnosti vybraných dřev v ohybu

Tab. 7 – Mezní hodnoty průhybů nosníků

## **14 SEZNAM PŘÍLOH**

CD s výsledky statického posudku

Vizualizace

Doplňující obrázky z programu SciaEnginner

Výkres č. 1 – Základy

Výkres č. 2 – Půdorys 1.NP

Výkres č. 3 – Půdorys 2.NP

Výkres č. 4 – Půdorys – krov

Výkres č. 5 – Řez – krov

Výkres č. 6 – Řez 1 – 1´

Výkres č. 7 – Řez 2 – 2´

Výkres č. 8 – Pohled – SEVER

Výkres č. 9 – Pohled – JIH

Výkres č. 10 – Pohled – VÝCHOD

Výkres č. 11 – Pohled – ZÁPAD

Výkres č. 12 – Skladby konstrukcí

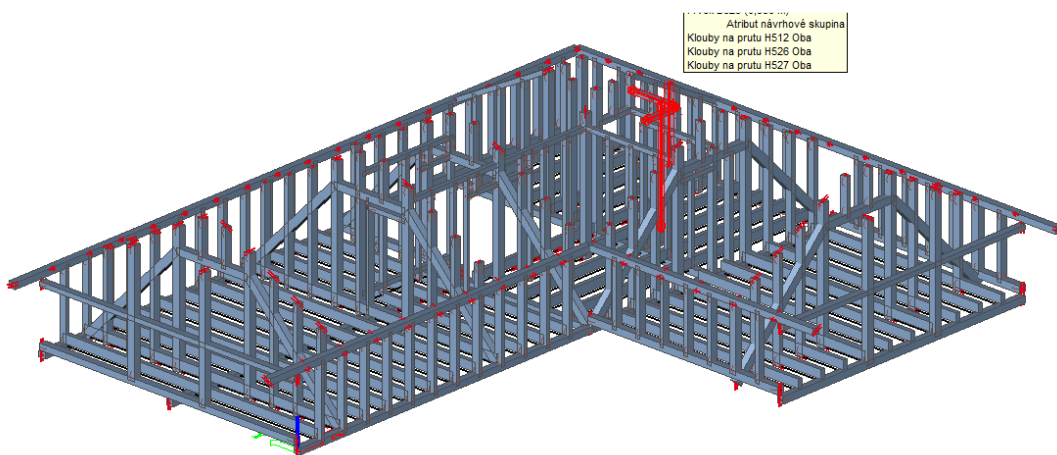
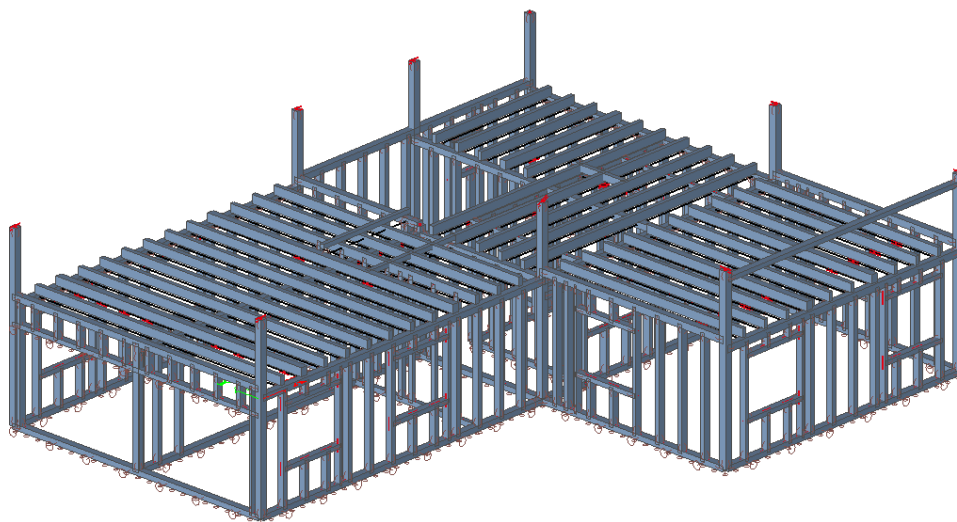
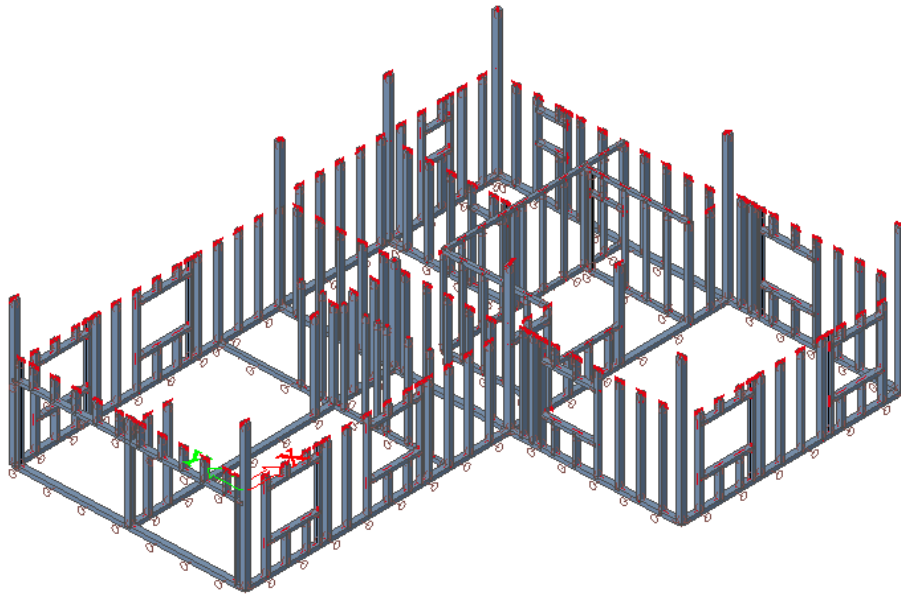
Výkres č. 13 – Skladby konstrukcí

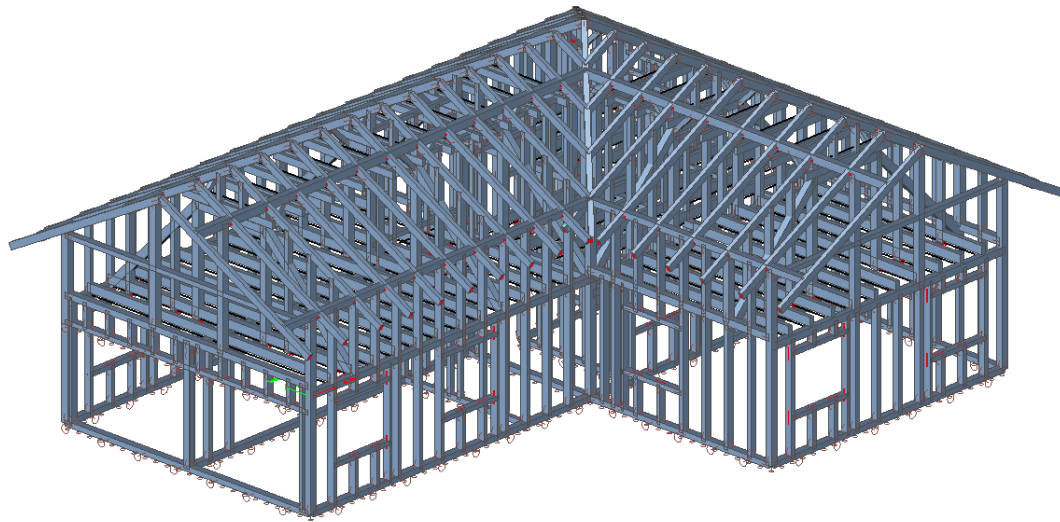
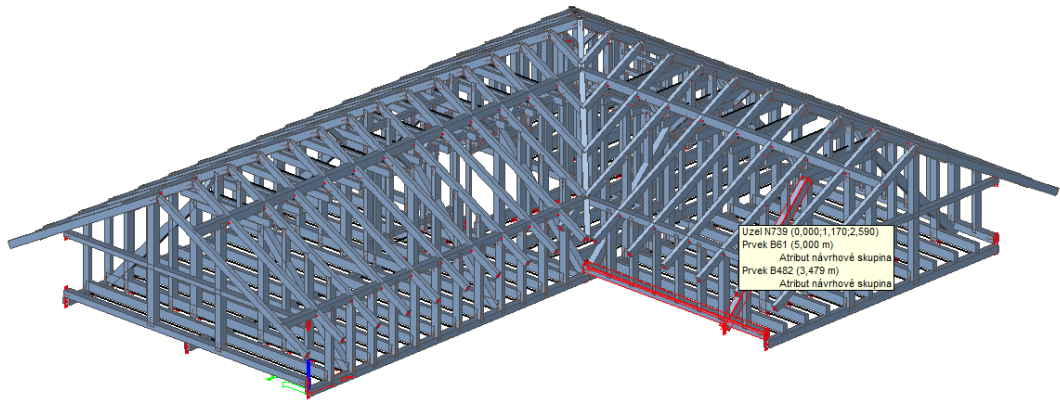


## VIZUALIZACE OBJEKTU

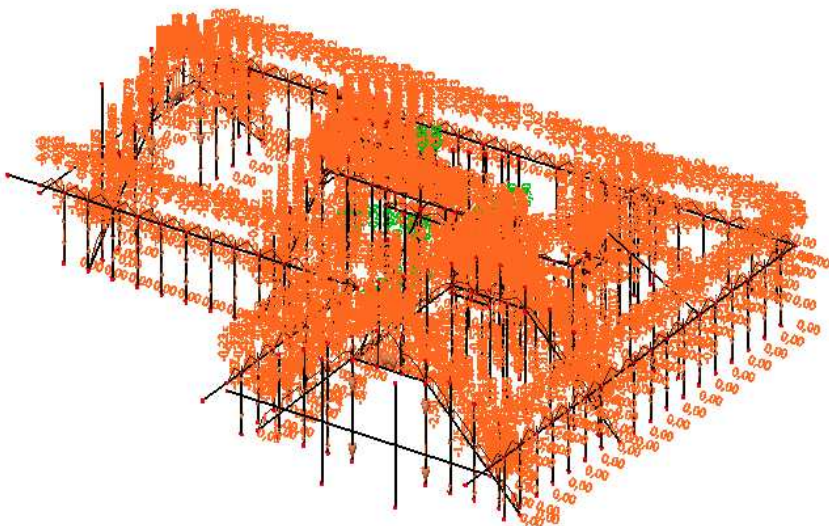
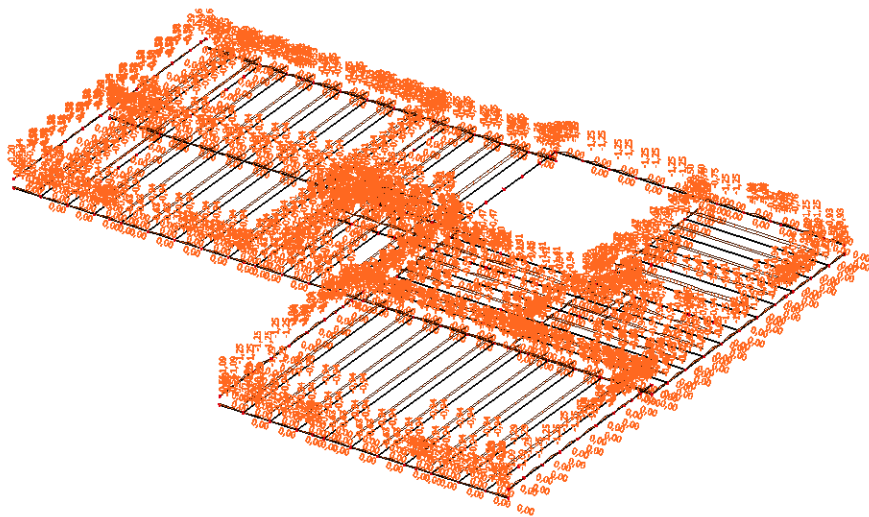


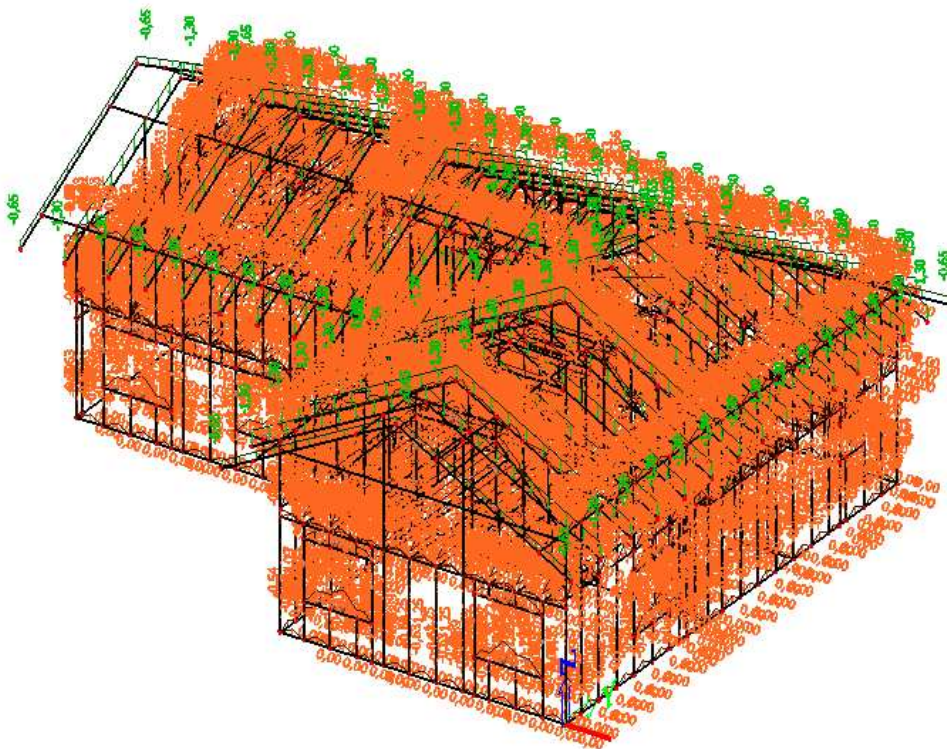
# KONSTRUKCE OBJEKTU V PROGRAMU SCIAENGINEER





# TVORBA ZATÍŽENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ DŘEVOSTAVBY





## UKÁZKY VÝSLEDKŮ

