

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB**



Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí (konstrukce budov)

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Komplexní hodnocení kvality budov  
s využitím BIM – BD Rokycany**

Complex assessment of the building quality with the use  
of BIM – BD Rokycany

Vypracoval:

Bc. Václav Černý

Vedoucí práce:

Ing. Jan Růžička, Ph.D.

Datum odevzdání:

2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Černý Jméno: Václav Osobní číslo: 458968

Zadávací katedra: K124 - Konstrukce pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí - konstrukce budov

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Komplexní hodnocení kvality budov s využitím BIM - BD Rokycany

Název diplomové práce anglicky: Complex assessment of the building quality with the use of BIM - BD Rokycany

Pokyny pro vypracování:

- návrh konstrukčního systému, materiálového a technologického řešení ve variantách včetně environmentálního vyhodnocení
- vypracování BIM modelu pro komplexní analýzu
- vyhodnocení a výběr varianty
- vypracování vybraných částí PD v podrobnosti DPS
- základní koncept TZB - vytápění, příprava teplé vody, větrání

Seznam doporučené literatury:

SBToolCZ pro bytové domy - Členové Národní platformy SBToolCZ

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jan Růžička, Ph.D

Datum zadání diplomové práce: 23.9.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

23.9.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Václav Černý.....

Název diplomové práce: Komplexní hodnocení kvality budov s využitím BIM - BD Rokycany.....

Základní část: Konstrukce pozemních staveb..... podíl: 100..... %

Formulace úkolů: návrh konstrukčního, materiálového a technologického řešení ve variantách včetně environmentálního vyhodnocení, vypracování BIM modelu pro komplexní analýzu, vyhodnocení a výběr varianty, vypracování vybraných částí PD v podrobnosti DPS (komplexní řez 1:20), základní koncept TZB - vytápění, příprava teplé vody, větrání.

Podpis vedoucího DP:  Datum: 23.9.2020.....

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

## Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedoucím diplomové práce Ing. Janem Růžičkou, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Také prohlašuji, že elektronická verze se shoduje s verzí tištěnou.

V Praze dne 2.1.2021

Bc.Václav Černý

.....

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Janu Růžičkovi, Ph.D za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování této diplomové práce a také všem, kteří mě při zpracování této závěrečné práce podporovali.

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na využití BIM (Informační model budovy) při hodnocení komplexní kvality budov a environmentálních dopadů objektu. Využití BIM a hodnocení dopadu na životní prostředí bylo provedeno pro 5 navržených konstrukčních a materiálových variant. Varianty jsou vyhodnoceny pomocí vybraných environmentálních parametrů. Po výběru optimální varianty z environmentálního hlediska byl řešen způsob využití BIM pro komplexní hodnocení kvality budov dle metodiky SBToolCZ. Cílem této práce není vyhodnocovat (přidělovat body) jednotlivá kritéria daná metodikou, ale přijít na jejich způsob exportu dat. Pro toto hodnocení bylo využito probíhajícího výzkumného projektu BIMIP. Pro výslednou variantu jsou zpracovány vybrané části projektové dokumentace v podrobnosti DPS. Součástí práce je také stavebně-energetický koncept a koncept technických zařízení budov.

## **Klíčová slova**

BIM; environmentální analýza; komplexní hodnocení kvality budov; bytový dům; stavebně-energetický koncept; Revit; konstrukční varianty, materiálové varianty; koncept TZB

## **Abstract**

This master thesis focuses on the uses of the Building Information Modeling or BIM in the evaluation of overall quality of buildings and environmental impact of the subject. Use of BIM and environmental impact evaluation was used on five building designs with variations in construction materials. Each variation is evaluated based on selected environmental parameters. After choosing the optimal variant from the environmental point of view, the thesis focuses on using BIM for overall evaluation of building quality based on SBToolCZ methodology. The goal of this is not to evaluate individual criteria of the methodology (assign points), but to arrive to find out the means of exporting data. For this purpose, this work uses the evaluation of the ongoing research project BIMIP. Selected parts of the project documentation in DPS were made for the final project. The thesis also includes energy-construction concept as well as concept of technical equipment of buildings.

## **Keywords**

BIM; environmental analysis, complex assessment of building quality; apartment building, energy-construction concept; Revit; design variants; material variants; technical equipment of buildings concept

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Řešený objekt .....	10
2.1. Stavebně-energetický koncept .....	13
2.2. Konstrukční, materiálové a technologické řešení .....	17
2.3. Popis systémů TZB.....	35
3. Postup tvorby BIM modelu.....	37
3.1. Stavebně architektonický model.....	37
3.2. Úprava modelu pro environmentální analýzu .....	40
3.3. Úprava modelu pro komplexní hodnocení SBToolCZ .....	43
3.4. Model TZB .....	59
4. Environmentální analýza .....	60
4.1. Okrajové podmínky .....	60
4.2. Hodnotící kritéria .....	61
4.3. Vyhodnocení variant .....	62
4.4. Výběr výsledné varianty .....	70
4.5. Optimalizace tepelné izolace .....	71
4.6. Porovnání finálního modelu.....	77
5. Závěr .....	81
Seznam obrázků.....	83
Seznam grafů .....	85
Seznam tabulek.....	86
Literatura a použitý software .....	87

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

BIM	Informační model budovy	-
$E_A$	Celková potřeba tepla na vytápění	kWh/(m <sup>2</sup> *a)
$U_{em}$	Průměrný součinitel prostupu tepla	W/(m <sup>2</sup> *K)
$R_w$	Vzduchová neprůzvučnost	dB
$U_f$	Součinitel prostupu tepla rámu	W/(m <sup>2</sup> *K)
$U_w$	Součinitel prostupu tepla oknem	W/(m <sup>2</sup> *K)
CLT	Cross laminated timber = křížem lepené dřevo	-
LLD	Lepené lamelové dřevo	
KVH	Konstruktionsvollholz = konstrukční stavební dřevo-	
LOD	Level of detail; level of development	



# 1. Úvod

Cílem této diplomové práce je využití BIM pro návrh bytového domu, environmentální analýzu a komplexní hodnocení budovy. Práce je zaměřena především na to, které parametry a jakým způsobem lze automaticky převzít z informačního modelu budovy pro komplexní hodnocení kvality budovy a environmentálního posouzení. Objekt je modelován pomocí BIM software, Autodesk Revit 2021.

První část práce je zaměřena na stavebně-energetický koncept řešeného objektu, kdy je objekt navržen jako energeticky pasivní. Dále je práce zaměřena na konstrukční, materiálové a technologické řešení objektu v několika konstrukčních a materiálových variantách včetně předběžného statického výpočtu pro každou variantu. Poslední kapitola v této části řeší základní koncept technického zařízení budovy, kde jsou popsány základní technologie. Výsledkem první části je environmentální porovnání všech variant navržených řešení.

Druhá část diplomové práce je věnována komplexnímu hodnocení kvality budovy (bytového domu) na vybrané finální konstrukční a materiálové variantě. Pro toto hodnocení je využita metodika SBToolCZ. V diplomové práci se zaměřuji pouze na kritéria, která lze získat pomocí informačního modelu budovy. V této části není cílem vyhodnotit jednotlivá kritéria, ale přijít na způsob, jak jednotlivá data z BIM softwaru generovat.

Ve třetí části jsou řešeny vybrané části projektové dokumentace v podrobnosti DPS opět pro jednu vybranou variantu a dále schématické koncepční výkresy vedení TZB.

Diplomová práce bude zpracována na základě hotové studie bytového domu nacházející se v Rokycanech.

## 2. Řešený objekt

Výchozím podkladem pro zpracování diplomové práce byla návrhová studie bytového domu v Rokycanech. Studie byla zpracována Ing. et Ing. arch. Lukášem Janoutem. Pro účely diplomové práce bylo převzato pouze dispoziční řešení. Všechny materiálové charakteristiky a konstrukční řešení jsou součástí diplomové práce.

Jedná se o 5 podlažní objekt, obdélníkového tvaru s plochou střechou, kdy 1.NP je částečně zapuštěno pod terénem. V 1.NP je umístěno 6 parkovacích stání pro osobní automobily včetně dvou stání pro osoby se sníženou pohyblivostí, vstup do objektu, vjezd do objektu, kočárkárna, kolárna a prostor pro technická zařízení objektu. Ostatní parkovací místa jsou umístěna vně objektu. V ostatních podlažích jsou umístěny bytové jednotky o dispozicích 1+KK a 3+KK. Výjimkou je poslední ustupující podlaží, kde jsou 2 byty o dispozicích 4+KK. Spojení jednotlivých podlaží zajišťuje jednoramenné schodiště na severní straně objektu. Jižní fasáda je doplněna průběžnými balkony v každém podlaží a velkými francouzskými okny. V posledním ustupujícím podlaží je střešní terasa. Dispoziční řešení uvádí následující výkresy, které byly převzaty ze studie architekta. [1]

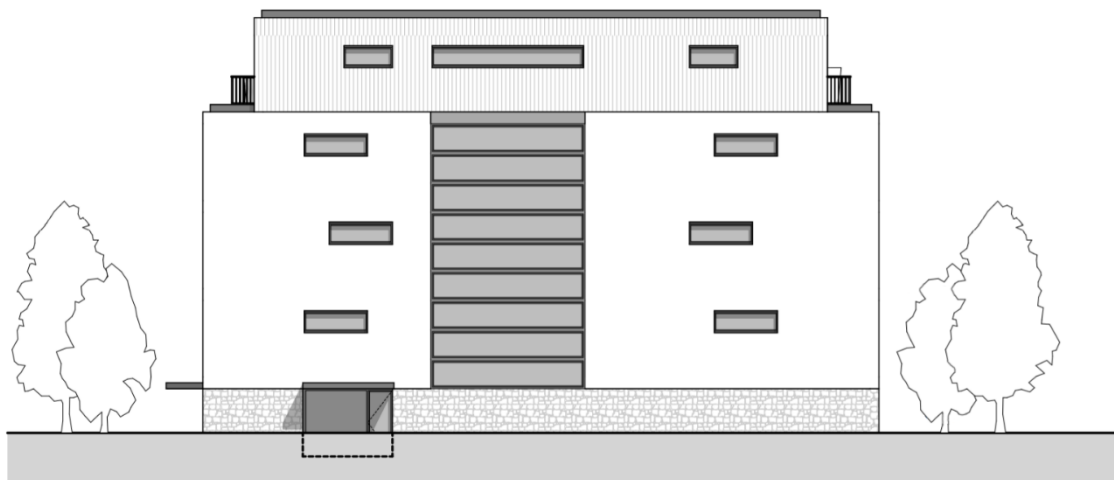
### Údaje o objektu:

Půdorysný rozměr objektu: 24,1 m x 14,0 m

Výška objektu: 16,6 m

Počet bytových jednotek: 14

Počet osob: 38



Obr. 1: severní pohled, studie [1]



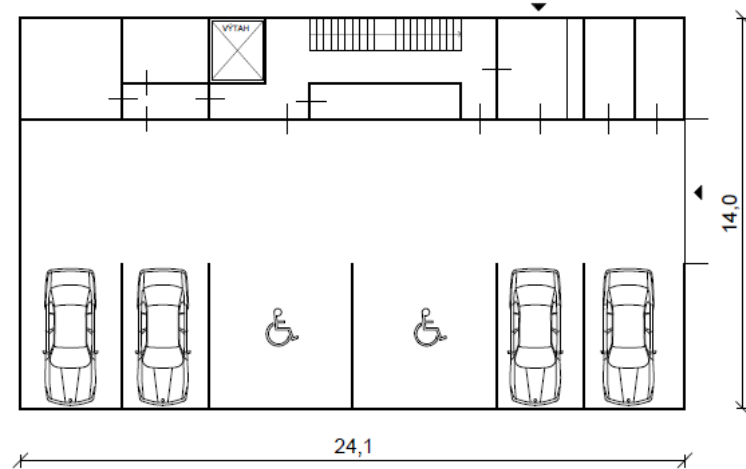
Obr. 2: jižní pohled, studie [1]



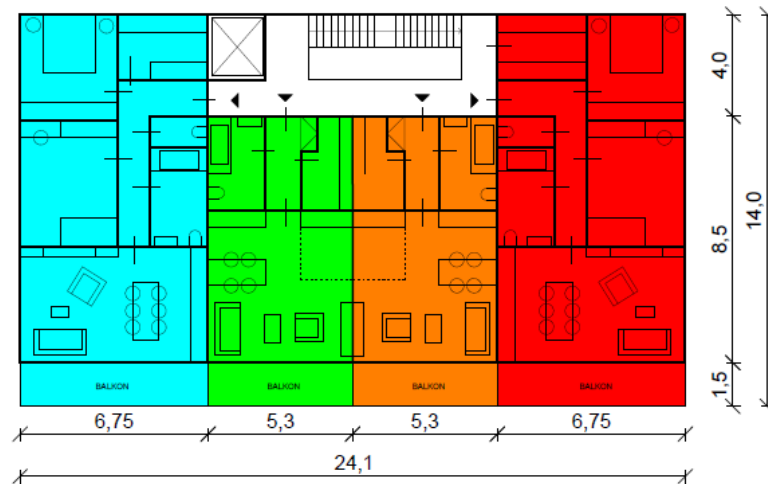
(a)

(b)

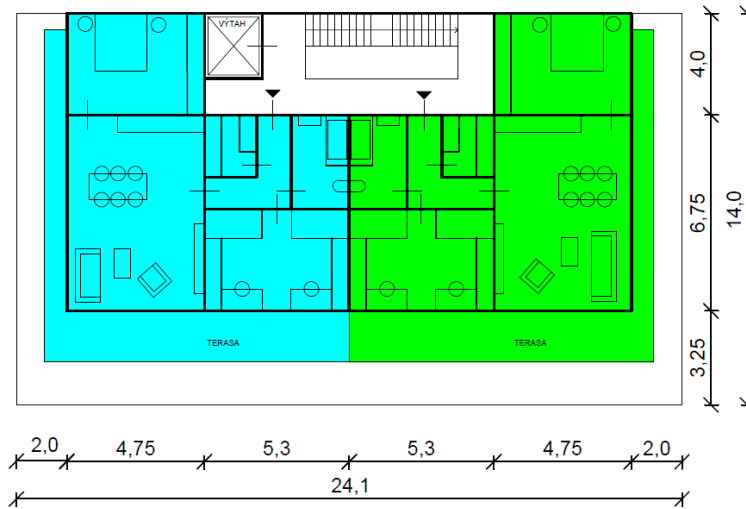
Obr. 3: (a) východní pohled, studie; (b) západní pohled, studie [1]



Obr. 4: dispozice 1.NP, studie [1]



Obr. 5: dispozice 2.-4.NP, studie [1]



Obr. 6: dispozice 5.NP, studie [1]



Obr. 7: řez, studie [1]

## 2.1. Stavebně-energetický koncept

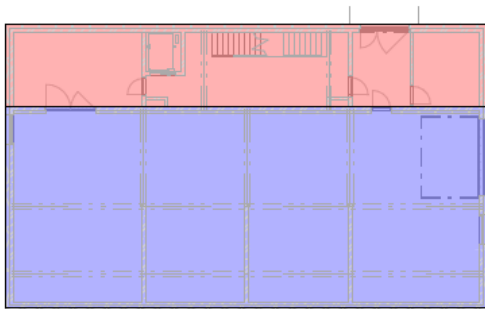
Vyhodnocení energetické náročnosti budovy spočívá v rozdělení objektů do příslušných zón, stanovení součinitelů prostupu tepla jednotlivých obalových konstrukcí a výkazu výměr všech obalových konstrukcí. Výsledkem tohoto konceptu je celková potřeba tepla na vytápění  $E_A$  a průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ . Pro toto vyhodnocení byl použit software Teplo 2017 EDU [2] a MS Excel [3].

### 2.1.1. Zónování objektu

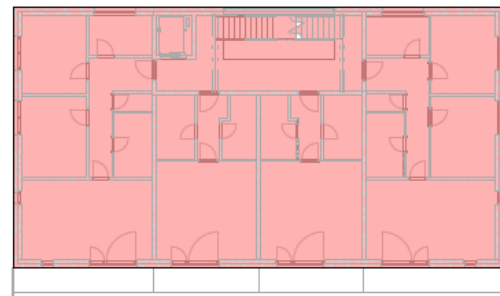
Zónování objektu bylo provedeno z důvodu odlišných posuzovaných prostor (rozdílná teplota, vnitřní relativní vlhkost, intenzita výměny vzduchu). Pro stanovení energetických vlastností celého objektu bylo nejprve potřeba rozdělit objekt na vytápěné a nevytápěné zóny. Zónování objektu bytového domu je znázorněno na schématech níže. Po stanovení těchto zón bylo možné stanovit průměrný součinitel prostupu tepla, potřebu tepla na vytápění a součinitele prostupu tepla jednotlivých skladeb konstrukcí.

Objekt byl v tomto případě rozdělen na 2 zóny:

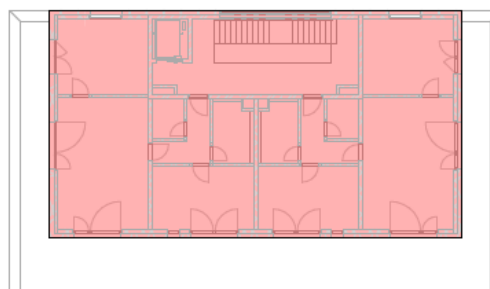
- **Zóna č.1 (vytápěná):** bytové jednotky, schodišťový prostor, technická místnost, místnost pro kola a kočárky  
 $\Theta_i = 22\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 50\%$
- **Zóna č.2 (nevytápěná):** prostor garáží



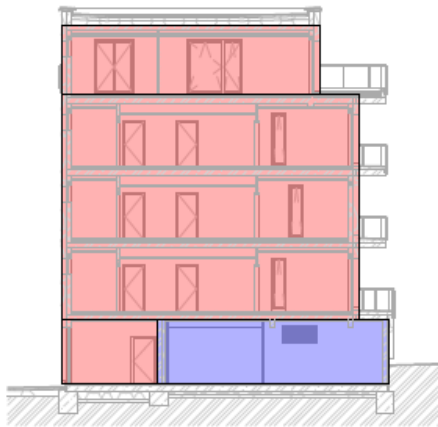
Obr. 8: Zónování, 1.NP



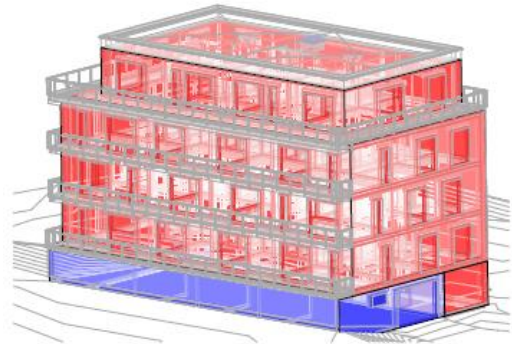
Obr. 9: Zónování, 2.NP, 3.NP, 4.NP



Obr. 10: Zónování, 5.NP



Obr. 12: Zónování, řez příčný



Obr. 11: Zónování, 3D pohled

### 2.1.2. Potřeba tepla, průměrný součinitel prostupu tepla

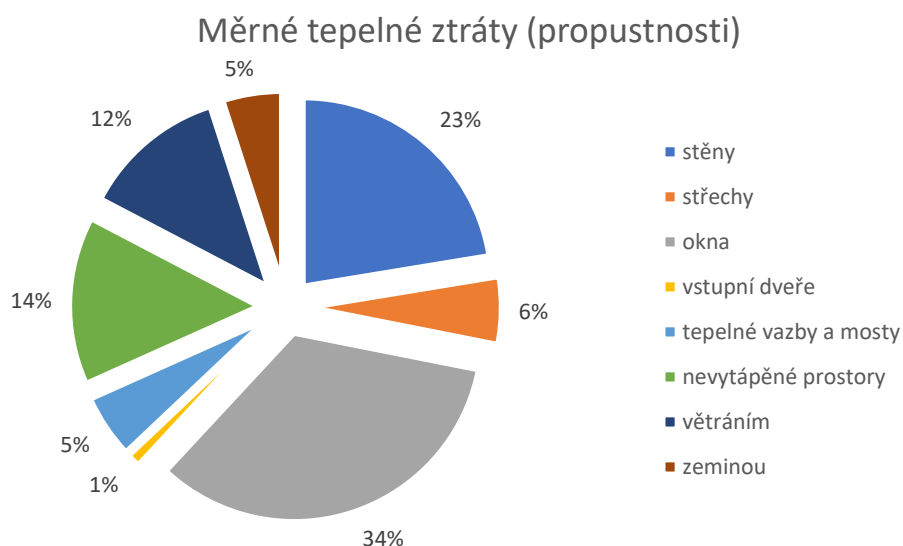
Cílem tohoto stavebně-energetického konceptu bylo navrhnout bytový dům v pasivním standardu. Celková měrná potřeba tepla na vytápění nesmí tedy přesáhnout  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Pro výpočet celkové potřeby tepla na vytápění a průměrného součinitele prostupu tepla byl použit Excel získaný během studia. Výpočet byl zpracován podle ČSN 73 0540-2 [4], ČSN EN ISO 52016-1 [5].

Nejdříve byly zadány základní údaje o objektu jako je počet osob, procento pobytu osob, požadovaná vnitřní teplota, objem vytápěné zóny, plocha obalových konstrukcí a podlahová plocha vytápěné zóny. Následně byly zadány veškeré plochy a orientace obalových konstrukcí jak mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím, tak i z prostoru vytápěného do nevytápěného (neprůsvitné konstrukce, výplně otvorů, podlaha na terénu). Poté byly zadány maximální hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  pro jednotlivé skladby konstrukcí. Tyto hodnoty byly nadále upravovány a zároveň byla sledována celková potřeba tepla na vytápění a průměrný součinitel prostupu tepla. Ve výpočtu byly zahrnuty i přírážky na tepelné vazby a mosty. Celková potřeba tepla byla stanovena na  $E_A = 11,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  a průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Pro tyto hodnoty platí součinitelé prostupu tepla uvedené v Tab. 1. Celkové vstupy do výpočtu jsou uvedeny v příloze B. [4]

Typ konstrukce	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	U <sub>pas,20</sub> [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
Stěna vnější (2.-5.NP)	0,15	0,12-0,18
Stěna vnější (1.NP)	0,167 – 0,152	0,12-0,18
Plochá střecha	0,127	0,10-0,15
Stěna z vytápěného do nevytápěného prostoru	0,269	0,20-0,30
Strop z vytápěného do nevytápěného prostoru	0,274	0,20-0,30
Terasa	0,133	0,10-0,15
Podlaha na terénu (vytápěný prostor)	0,136	0,15-0,22
Podlaha na terénu (nevytápěný prostor)	0,283	0,30-0,45
Okna (U <sub>w</sub> )	0,64-0,72	0,6-0,8
Dveře	0,85	0,9
Lehký obvodový plášť (U <sub>w</sub> )	0,55	1,10

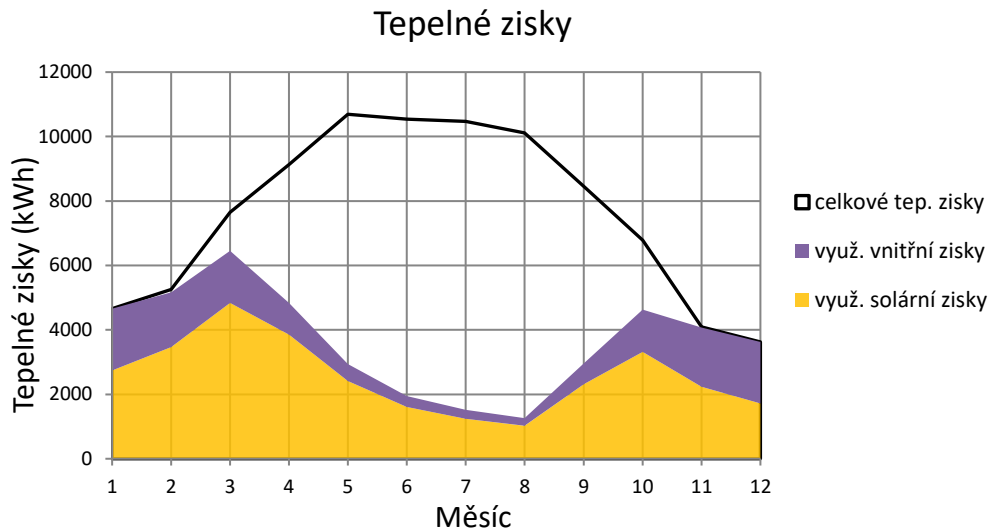
Tab. 1: Součinitelé prostupu tepla obalových konstrukcí [4]

Na následujícím grafu (Graf 1) je po výpočtu vidět bilance tepelných ztrát (propustnosti) jednotlivých konstrukcí. Z grafu vidíme, že nejvíce tepelných ztrát způsobují výplně otvorů – okna (34 %) a stěny (23 %). V bilanci jsou zahrnuty jak tepelné ztráty konstrukcí, tak i tepelné ztráty prostupem, větráním a zeminou.



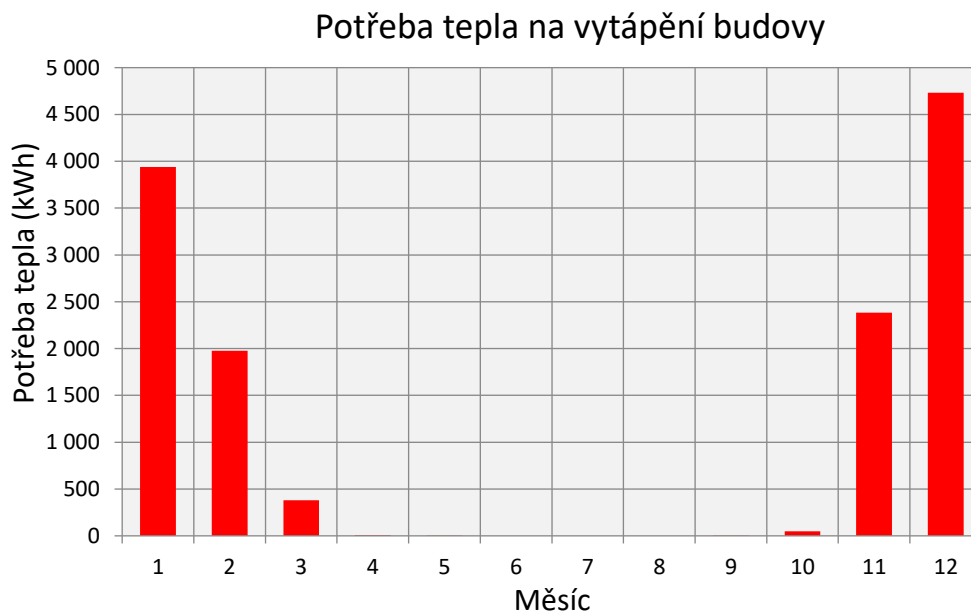
Graf 1: Měrné tepelné ztráty

Pro výpočet potřeby tepla bylo potřeba stanovit i bilanci tepelných zisků. Ve výpočtu byly zohledněny tepelné zisky od průsvitných konstrukcí a vnitřní tepelné zisky od osob. Vstupní hodnota pro výpočet vnitřních tepelných zisků od osob byla uvažována produkce od člověka na 100 W/os. Bilanci tepelných zisků můžeme vidět na grafu dále (Graf 2).



Graf 2: Tepelné zisky

Na následujícím grafu (Graf 3) vidíme potřebu tepla na vytápění budovy v jednotlivých měsících. Z grafů lze vyčíst, že potřeba vytápět objekt při uvažovaných okrajových podmínkách (vstupy uvedeny v příloze B) bude v měsících leden až březen a v podzimních měsících říjen až prosinec.



Graf 3: Potřeba tepla na vytápění budovy



## 2.2. Konstrukční, materiálové a technologické řešení

Bytový dům byl navržen v pěti variantách:

- stěnový systém s nosným systémem z keramických dutinových bloků a železobetonovými monolitickými stropními konstrukcemi,
- stěnový systém s nosným systémem z vápenopískových bloků a železobetonovými monolitickými stropními konstrukcemi,
- stěnový systém s nosným systémem z plynosilikátových tvarovek a železobetonovými monolitickými stropními konstrukcemi,
- stěnový systém s nosným systémem a stropními konstrukcemi z CLT panelů,
- skeletový systém s nosnými sloupy a stropy z lepeného lamelového dřeva (masivní skelet).

Primárně nosné konstrukce byly navrženy v předběžném statickém výpočtu (příloha A).

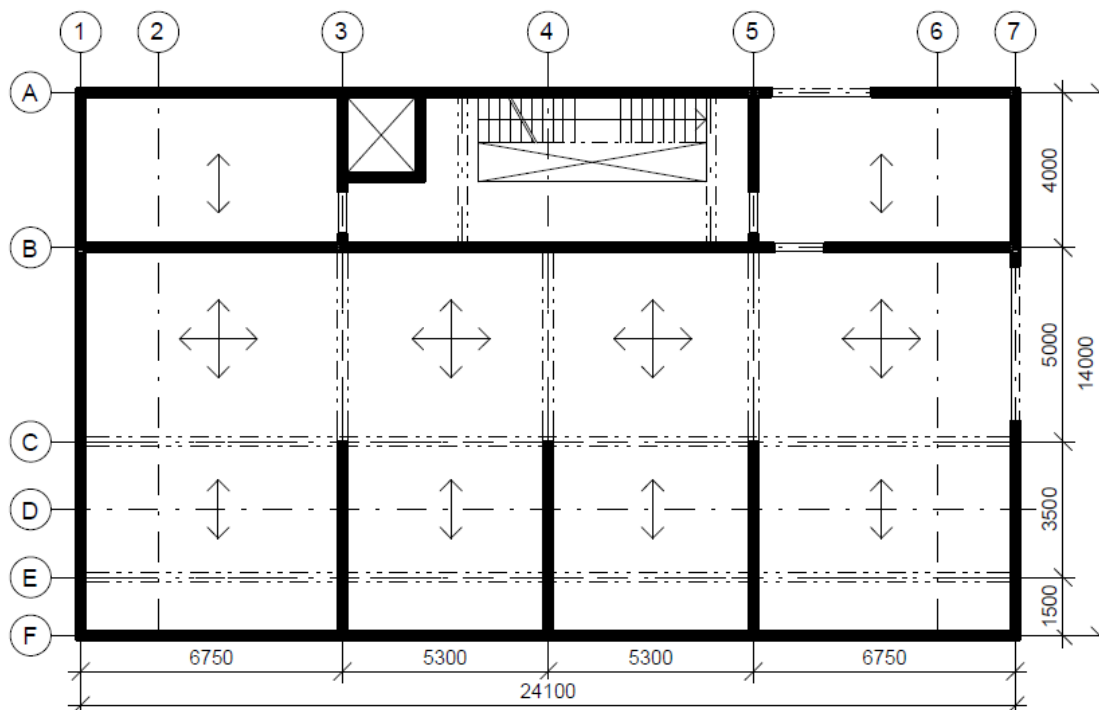
Navržené materiálové varianty mají několik identických konstrukcí, popř. kompletačních konstrukcí, které jsou vyjmenovány a specifikovány níže. Jedná se o společné první nadzemní podlaží, ztužující jádro se schodištěm, podlahové souvrství v prvním a druhém nadzemním podlaží, podhledy, výplně otvorů a lehký obvodový plášť.

### 1. Nadzemní podlaží:

- kombinovaný stěnový systém,
- monolitické železobetonové stěny tl. 200 mm zatepleny minerální vatou,
- zateplení i na nevytápěné části kvůli zachování vzhledu objektu,
- vnitřní nosná stěna mezi vytápěným a nevytápěným prostorem zateplena minerální vatou tl. 160 mm,
- vodorovné konstrukce – jednosměrně i obousměrně pnuté desky tl. 190 mm,
- zateplení stropní konstrukce na spodním líci čedičovou vlnou tl. 100 mm,
- průvlaky 630 x 300 mm a 550 x 250 mm.

### Ztužující jádro se schodištěm:

- monolitické žb stěny tl. 200 mm a jednosměrně pnuté žb monolitické desky,
- průvlaky 500 x 250 mm,
- schodiště prefabrikované jednoramenné s mezipodestou, uložené na ozub,
- šířka ramene 1200 mm, 18 stupňů, 177,8 x 275 mm,
- umístěna výtahová šachta, schodiště, chodba se vstupy do bytů.



Obr. 13: konstrukční systém 1.NP

**Podlahy 1.NP:**

- štěrk z pěnového skla (tloušťky závisí na vytápěném/nevytápěném prostoru),
- železobetonová monolitická deska tloušťky 250 mm,
- betonová mazanina vyztužena skelnými vlákny tloušťky 100 mm,
- epoxidová stěrka.

**Podlaha 2.NP:**

- plovoucí těžká podlaha,
- PVC parozábrana,
- akustická izolace z minerálních vláken tloušťky 30 mm,
- systémová deska pro podlahové vytápění,
- betonová mazanina,
- keramická dlažba/vinylová podlaha.

**Podhledy:**

- ve všech místnostech bytů,
- světlá výška 2600 mm, v chodbách sníženo kvůli vedení VZT na 2300 mm,
- sádkartonové desky na ocelových CD profilech,
- v místnostech se zvýšenou vlhkostí použity vhodné sádkartonové desky.

### Výplně otvorů a lehký obvodový plášť:

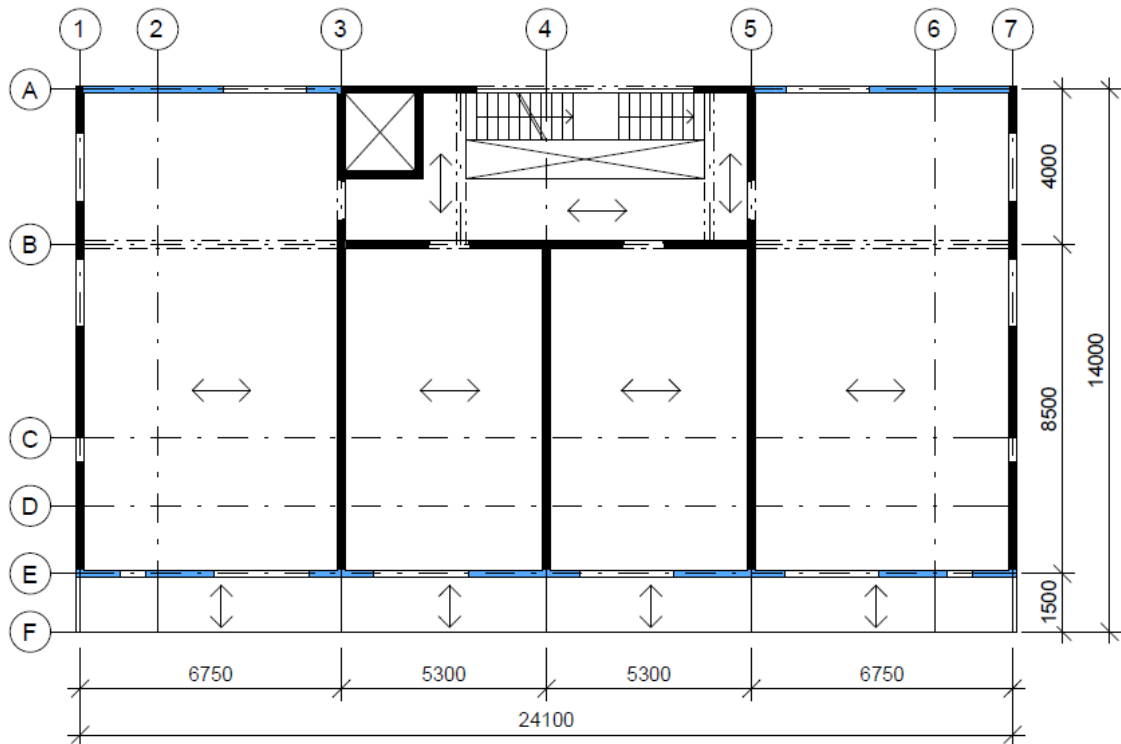
- okna - dřevěný rám s izolačním trojsklem,
- vstupní dveře – hliníkový profil s celoplošnou skleněnou výplní,
- garážová vrata – sekční, hliníkový rám, dvojitě opláštěné vyplněné PUR pěnou,
- kotvení v přípojovací spáře pomocí pásových kotev do ostění,
- výplně otvorů umístěny v rovině mezi nosnou konstrukcí a tepelným izolantem,
- lehký obvodový plášť – sever. fas. (2.-4.NP), Schueco FWS-60,  $U_f$  až  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- skleněné výplně, v místech průvlaků zatmavené sklo. [6]

### **2.2.1. Stěnový KS z keramických dutinových bloků**

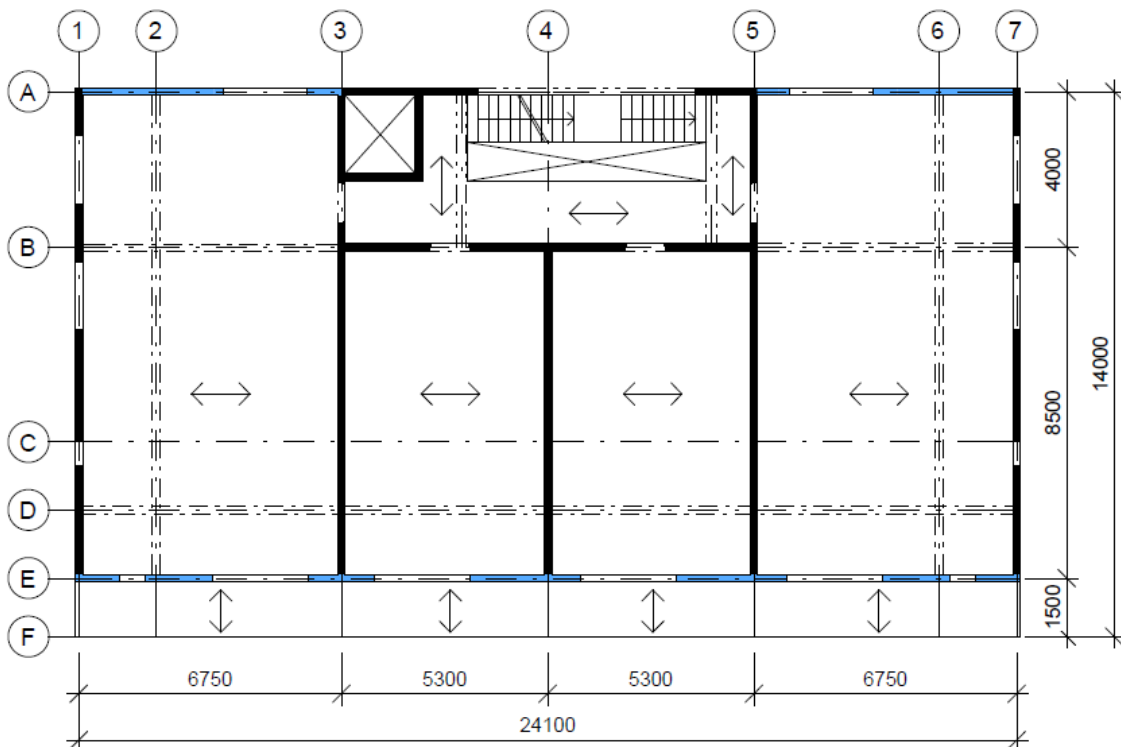
Jako první variantou je navržen konstrukční systém příčný stěnový se ztužujícím železobetonovým jádrem. Konstrukční systém pro 2.-3. nadzemní podlaží je znázorněn na Obr. 15. Konstrukční systém pro 4. nadzemní podlaží je uveden na Obr. 16 a konstrukční systém pro ustupující páté podlaží je uveden na Obr. 17. Nosný systém je tvořen z keramických dutinových bloků a železobetonové jednosměrně pnuté monolitické stropní konstrukce. Základové konstrukce jsou navrženy ve formě základových pasů o rozměrech (b x h) 1,1 x 0,8 m v případě vnitřních nosných stěn a 0,8 x 0,8 m v případě obvodových nosných stěn.



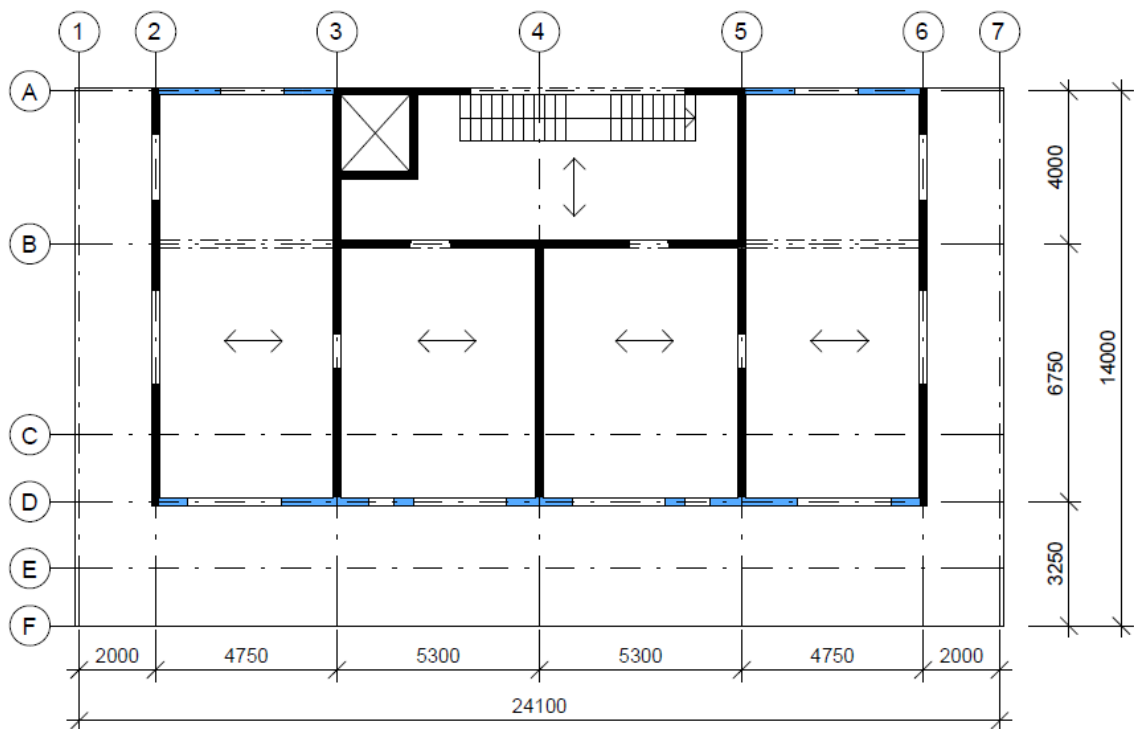
Obr. 14: Render nosného systému, var. 1, 2, 3



Obr. 15: Konstrukční systém 2.NP, 3.NP, varianta 1,2,3



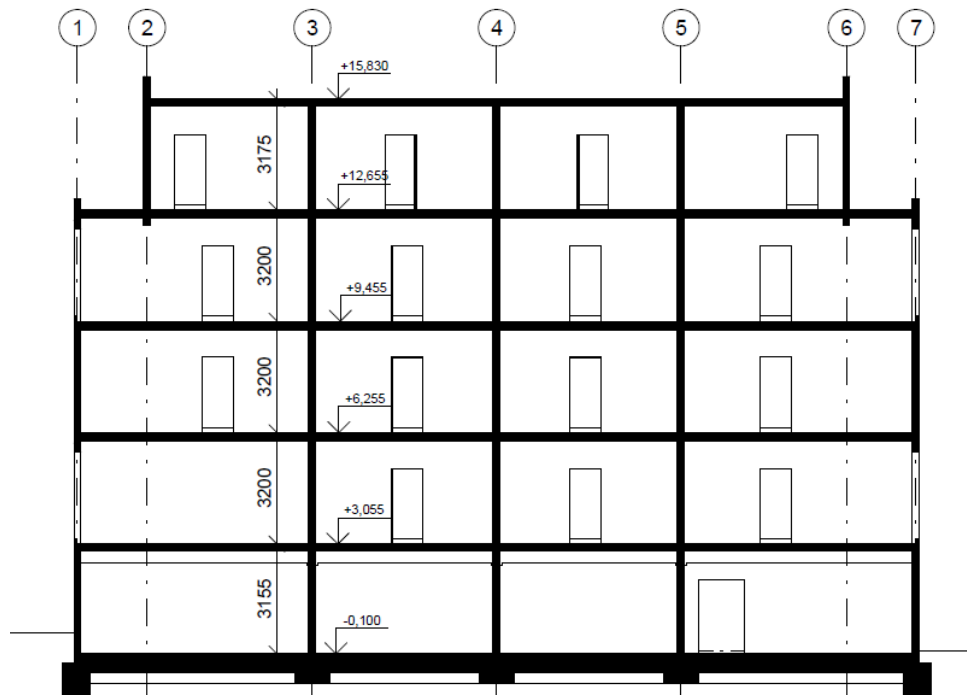
Obr. 16: Konstrukční systém 4.NP, varianta 1,2,3



Obr. 17: Konstrukční systém 5.NP, varianta 1,2,3



Obr. 18: Konstrukční systém, řez příčný, varianta 1,2,3



Obr. 19: Konstrukční systém, řez podélný, varianta 1,2,3

#### Svislé nosné konstrukce:

- keramické tvarovky Porotherm 30 AKU Z, tloušťky 300 mm ( $R_w = 57$  dB),
- kontaktní zateplovací systém z čedičových vláken tloušťky 200 mm.

#### Stropní konstrukce a překlady:

- monolitické železobetonové jednosměrně pnuté desky, tloušťky 240 mm,
- rozpětí 5,3 m a 6,75 m,
- železobeton C30/37 XC1 – Cl 0,2 –  $D_{max}$  16 – S3, stupeň vyztužení 0,5 %,
- překlady řešeny systémovými produkty výrobce Porotherm.

#### Střešní konstrukce:

- monolitické železobetonové jednosměrně pnuté desky, tloušťky 180 mm,
- rozpětí 4,75 m a 5,3 m,
- jednoplášťová plochá střecha, přitěžující vrstva z praného říčního kameniva,
- zateplení z expandovaného polystyrenu, min. tloušťka 260 mm,
- spád řešen pomocí spádových klínů EPS
- hydroizolace a parozábrany z PVC včetně ochranné geotextílie.

Balkony a terasy:

- řešeno vykonzolováním stropní konstrukce (1,5 m),
- přerušení tepelného mostu iso-nosníkem, Schöck Isokorb XT tl. 120 mm,
- spádová vrstva z betonové mazaniny,
- PVC hydroizolace,
- mrazuvzdorná keramická dlažba,
- zateplení střešní terasy pomocí vakuové izolace a PIR deskami.

Nenosný obvodový plášť:

- keramické bloky Porotherm 25 AKU Z, tloušťky 250 mm,
- zatepleno stejným způsobem jako nosné zdivo.

Příčky:

- keramické příčkovky Porotherm 11,5 AKU Z,
- založení na nosné stropní desce.

Podlahy:

- plovoucí těžké podlahy,
- parozábrana z PVC,
- akustická izolace – tuhé desky z minerálních vláken,
- deska pro podlahové vytápění,
- betonová mazanina, tloušťky 50 mm,
- keramická dlažba/vinylová podlaha.

Povrchové úpravy:

- vnitřní omítky - sádrové omítky,
- vnější omítky – difuzně otevřená tenkovrstvá omítka.

**2.2.2. Stěnový KS z vápenopískových bloků**

Druhou variantou je konstrukční systém příčný stěnový se ztužujícím železobetonovým jádrem. Konstrukční systém je shodný s variantou 1, liší se pouze v použitých materiálech. Nosný systém je tvořen z vápenopískových bloků a železobetonové jednosměrně pnuté monolitické stropní konstrukce. Základové konstrukce jsou navrženy ve formě základových pasů o rozměrech (b x h) 1,1 x 0,8 m v případě vnitřních nosných stěn a 0,9 x 0,8 m v případě obvodových nosných stěn.

Svislé nosné konstrukce:

- vápenopískové bloky Silka S20-2000, tloušťky 200 mm,
- kontaktní zateplovací systém z čedičových vláken tloušťky 220 mm.

Stropní konstrukce a překlady:

- stejné jako u varianty 1,
- překlady řešeny produkty od společnosti Silka.

Střešní konstrukce:

- stejné jako u varianty 1.

Balkony a terasy:

- stejné jako u varianty 1.

Nenosný obvodový plášť:

- vápenopískové bloky Silka S20-2000, tloušťky 200 mm,
- kontaktní zateplovací systém z čedičových vláken tloušťky 220 mm.

Příčky:

- vápenopískové příčkovky Silka S12-1400, tloušťky 115 mm,
- uložení na stropní desce.

Podlahy:

- stejné jako u varianty 1.

Povrchové úpravy:

- stejné jako u varianty 1.

### 2.2.3. Stěnový KS z plynosilikátových bloků

Třetí varianta je opět podobná předchozím variantám a liší se opět pouze v použitém nosném materiálu nosných stěn, výplňových stěn a příček. Nosnou konstrukci tvoří zdivo z plynosilikátových bloků a železobetonové jednosměrně pnuté monolitické stropní konstrukce. Základové konstrukce jsou navrženy ve formě základových pasů o rozměrech (b x h) 1,1 x 0,8 m v případě vnitřních nosných stěn a 0,8 x 0,8 m v případě obvodových nosných stěn.

Svislé nosné konstrukce:

- plynosilikátové tvarovky Ytong Statik P6-650, tloušťky 250 mm,
- kontaktní zateplovací systém z čedičových vláken tloušťky 180 mm.

Stropní konstrukce a překlady:

- stejné jako u varianty 1,
- překlady řešeny produkty od společnosti Ytong.

Střešní konstrukce:

- stejné jako u varianty 1.



Balkony a terasy:

- stejné jako u varianty 1.

Nenosný obvodový plášť:

- plynosilikátové tvarovky Ytong Statik P6-650, tloušťky 250 mm,
- kontaktní zateplovací systém z čedičových vláken tloušťky 180 mm.

Příčky:

- plynosilikátové příčkovky Ytong 100, tloušťky 100 mm,
- založení na stropní desce.

Podlahy:

- stejné jako u varianty 1.

Povrchové úpravy:

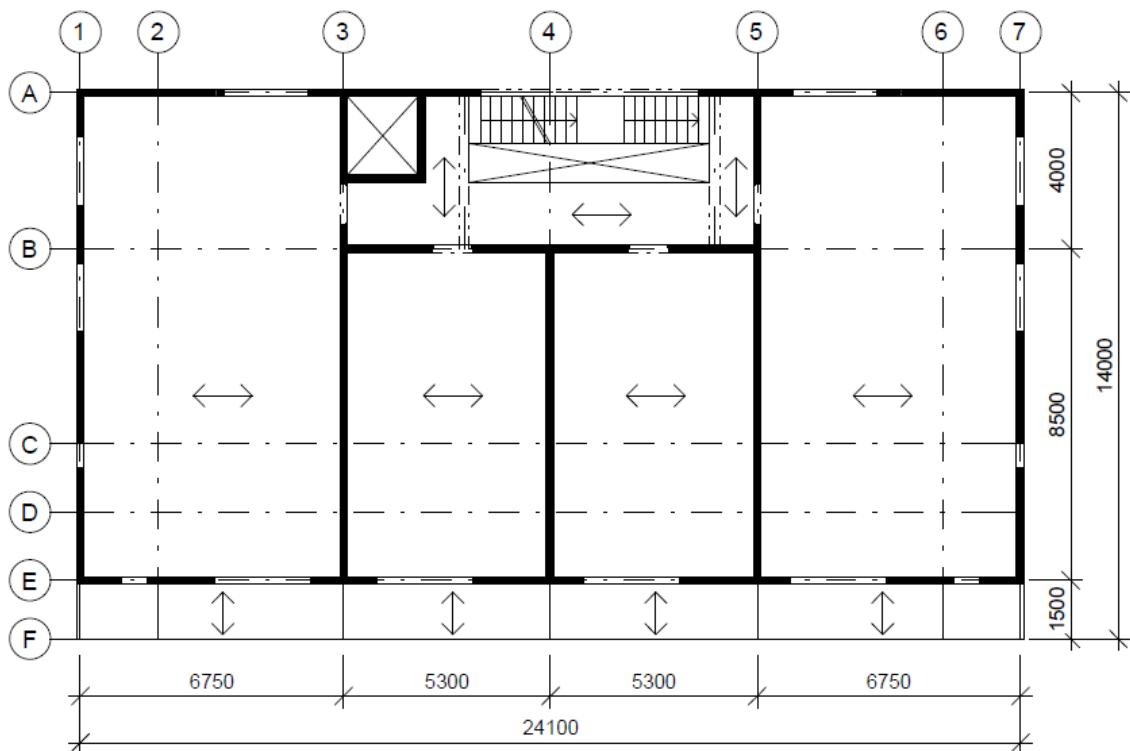
- stejné jako u varianty 1.

### 2.2.4. Stěnový KS z CLT panelů

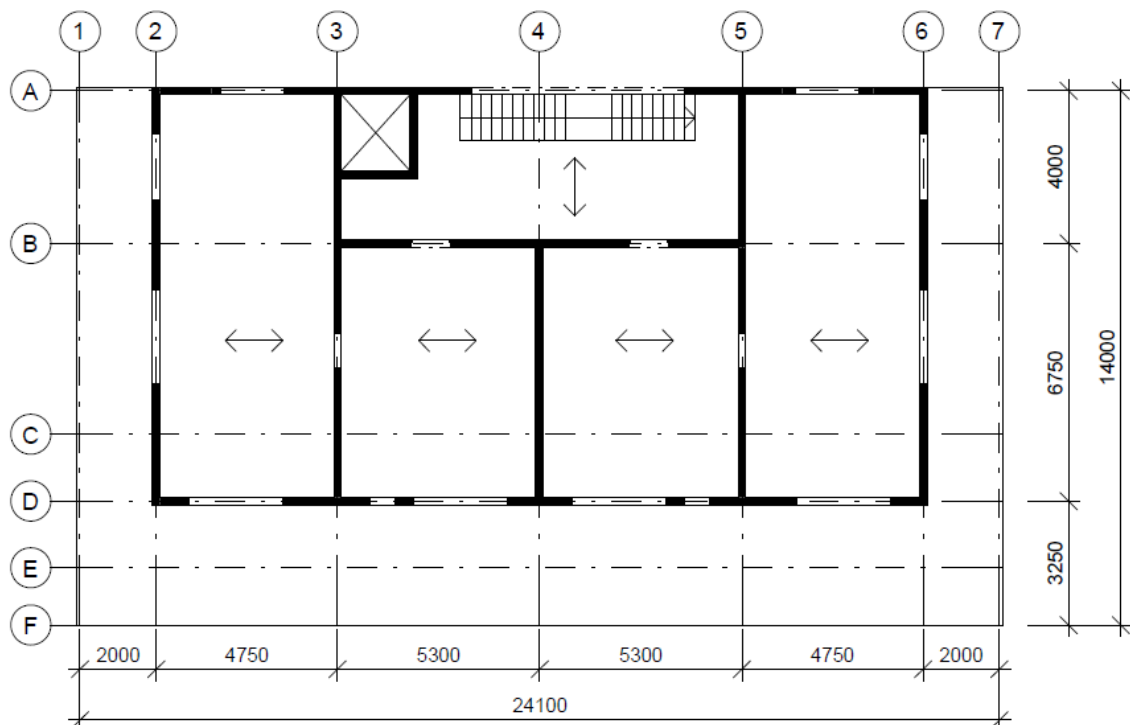
Čtvrtou variantou je konstrukční systém stěnový z CLT panelů. Konstrukční systém pro 2.-4. nadzemní podlaží je znázorněn na Obr. 21. Konstrukční systém pro ustupující páté podlaží je uveden na Obr. 22. Nosnou kostru tvoří stěny a stropní panely z plných CLT panelů. Základové konstrukce jsou navrženy ve formě základových pasů o rozměrech (b x h) 0,8 x 0,55 m v případě vnitřních nosných stěn a 0,6 x 0,8 m v případě obvodových nosných stěn.



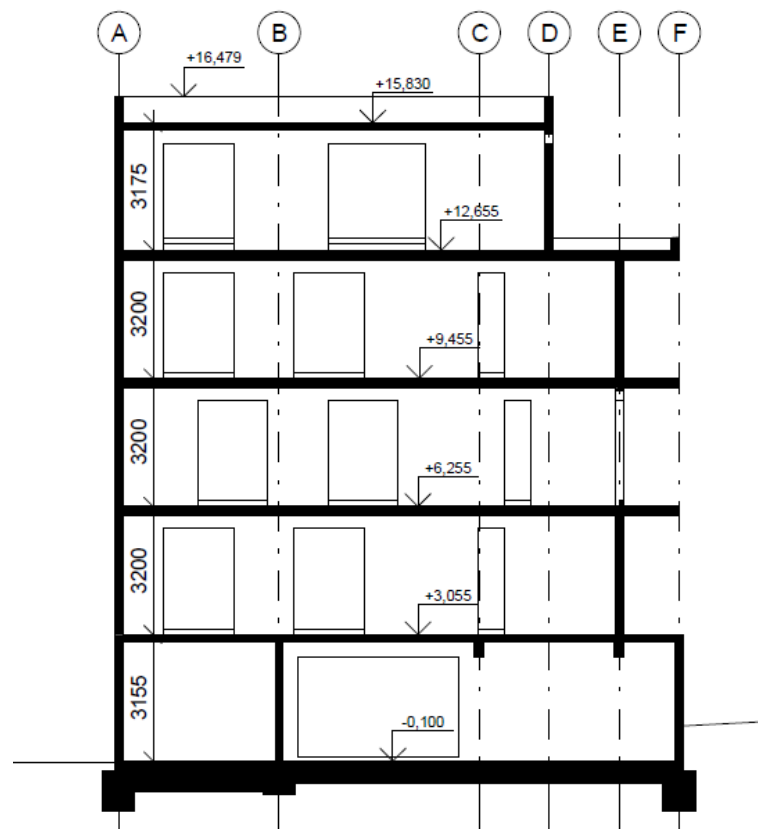
Obr. 20: Render nosného systému, var. 4



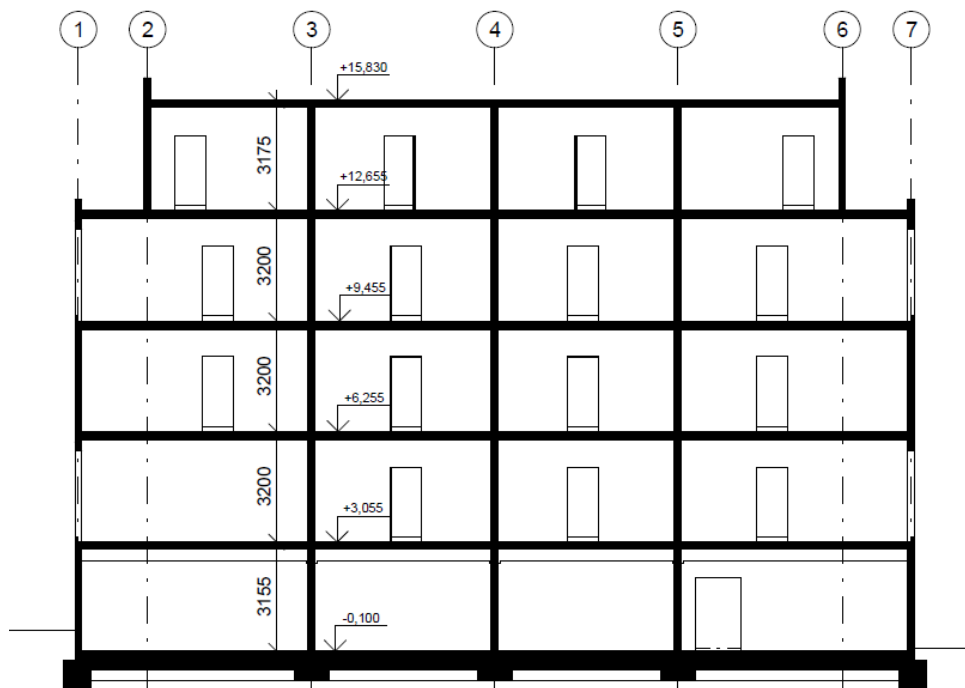
Obr. 21: Konstrukční systém 2.NP, 3.NP, 4.NP varianta 4



Obr. 22: Konstrukční systém 5.NP, varianta 4



Obr. 23: Konstrukční systém, řez příčný, varianta 4



Obr. 24: Konstrukční systém, řez podélný, varianta 4

Svislé nosné konstrukce:

- CLT panely tloušťky 100, 120, 140 mm,
- kontaktní zateplovací systém z čedičových vláken tloušťky 180 mm,
- připojení stěn na železobetonovou desku pomocí úhelníků a vrutů,
- spojení stěnových a stropních panelů pomocí úhelníků a vrutů,
- těsnící podložky mezi panely,
- spojení dvou stěnových panelů pomocí vrutů,
- umožnění vedení instalací (elektro) – předstěna tloušťky 75 mm,
- konstrukce předstěny z KVH sloupků 60 x 40 mm, výplně tepelnou izolací a opláštění sádrovláknitou deskou,
- mezibytové stěny z CLT, oboustranné opláštění.

Stropní konstrukce:

- CLT panely, maximální šířka 3,5 m,
- tloušťky 160 a 220 mm,
- spojení stropních panelů pomocí vrutů.

Střešní konstrukce:

- CLT panely,
- tloušťka 120 mm,
- spojení střešních panelů pomocí vrutů,
- nad železobetonovým jádrem monolitická železobetonová deska, tl. 180 mm,
- jednoplášťová plochá střecha, přitěžující vrstva z praného říčního kameniva,
- zateplení z expandovaného polystyrenu, min. tloušťka 240 mm,
- spád řešen pomocí spádových klínů EPS,
- hydroizolace a parozábrany z PVC včetně ochranné geotextílie.

Balkony a terasy:

- vykonzolování stropního CLT panelu v případě terasy,
- obalení tepelnou izolací tloušťky 180 mm,
- spádová vrstva z betonové mazaniny,
- terasa zateplena vakuovou izolací tloušťky 40 mm a PIR deskami tloušťky 40 mm,
- PVC hydroizolace,
- mrazuvzdorná keramická dlažba na rektifikačních terčích,
  
- balkony řešeny uložení CLT panelu na úhelník přes termoizolační profil,
- na opačné straně podepřeno sloupy z LLD,
- spádová vrstva z betonové mazaniny,
- PVC hydroizolace,
- mrazuvzdorná keramická dlažba.

Příčky:

- dřevěné sloupkové z KVH o průřezu 40 x 60 mm,
- výplň roštu tepelnou izolací z čedičové vlny,
- povrchová úprava ze sádrovláknitých desek,
- uložení na stropní desce.

Podlahy:

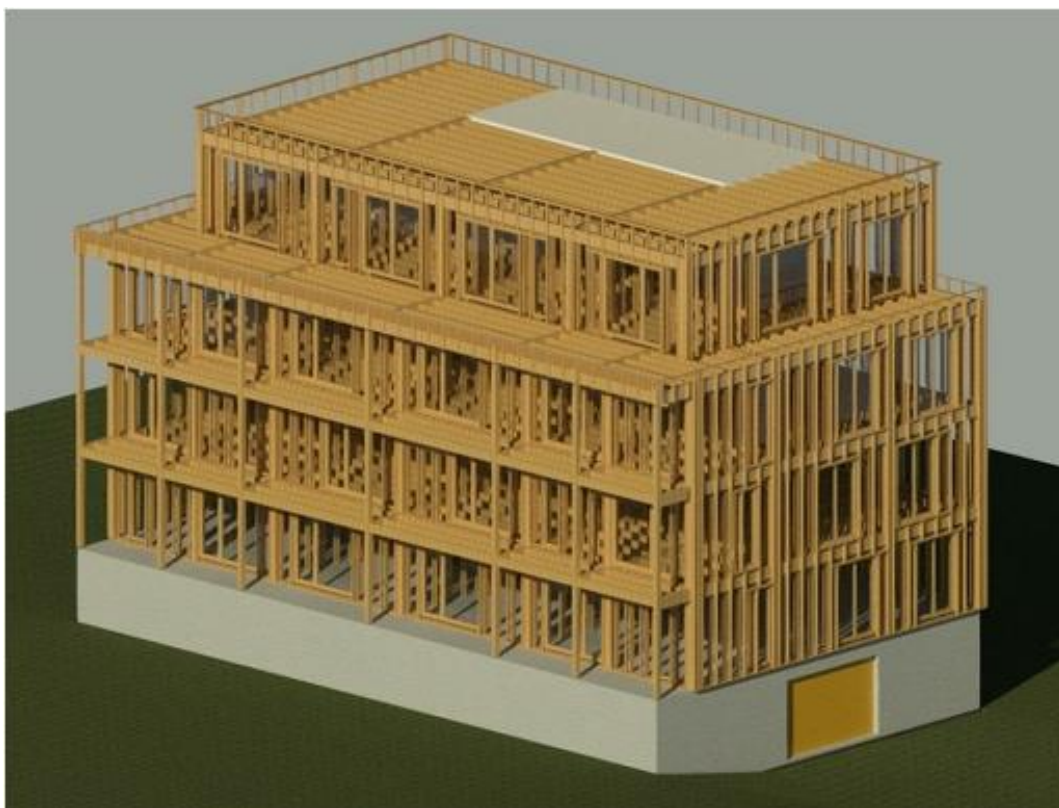
- plovoucí těžké podlahy,
- parozábrana z PVC,
- akustická izolace – tuhé desky z minerálních vláken,
- deska pro podlahové vytápění,
- betonová mazanina, tloušťky 50 mm,
- keramická dlažba/vinylová podlaha.

Povrchové úpravy:

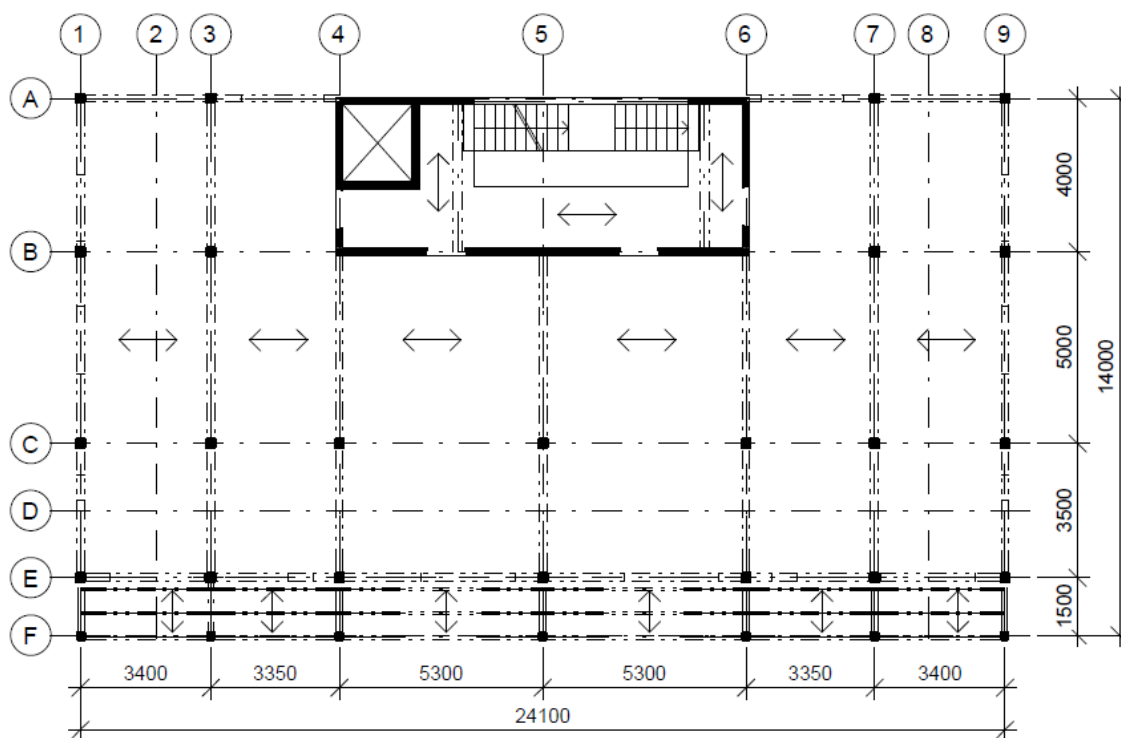
- dřevěné konstrukce - sádrovláknité desky s malbou,
- železobetonové konstrukce - jednovrstvá omítka,
- vnější omítky – difuzně otevřená tenkovrstvá omítka.

### 2.2.5. Masivní dřevěný skeletový KS

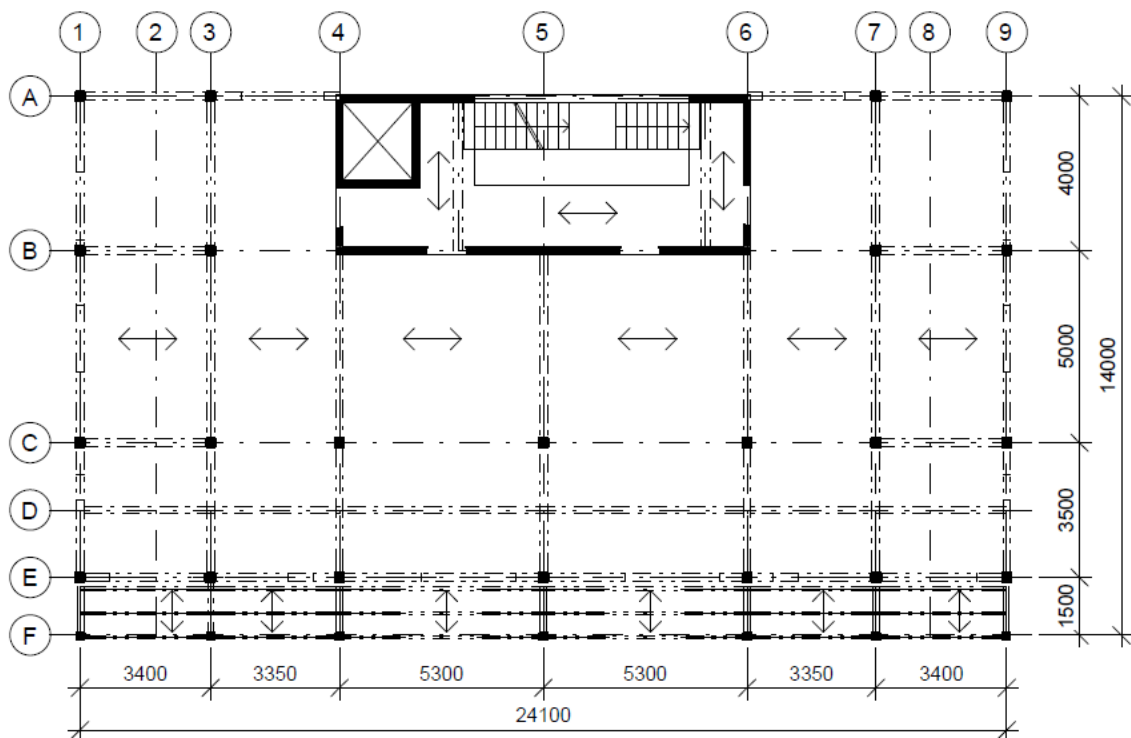
Poslední, pátou variantou je sloupový konstrukční systém ze dřeva se ztužujícím železobetonovým jádrem. Konkrétně se jedná o masivní dřevěný skelet. Konstrukční systém pro 2.-3. nadzemní podlaží je znázorněn na Obr. 26. Konstrukční systém 4.NP, který je odlišný oproti spodním podlažím je uveden na Obr. 27. Konstrukční systém pro ustupující páté podlaží je uveden na Obr. 28. Nosnou kostru tvoří sloupy, průvlaky a stropnice. Základové konstrukce jsou navrženy ve formě základových pasů o shodných rozměrech jako v případě varianty z CLT panelů. Sloupy ve druhém nadzemním podlaží jsou částečně předsazeny před železobetonovou stěnu prvního nadzemního podlaží na ocelovém úhelníku, kvůli zachování stejného součinitele prostupu tepla železobetonové stěny v 1.NP a zároveň zachování roviny fasády.



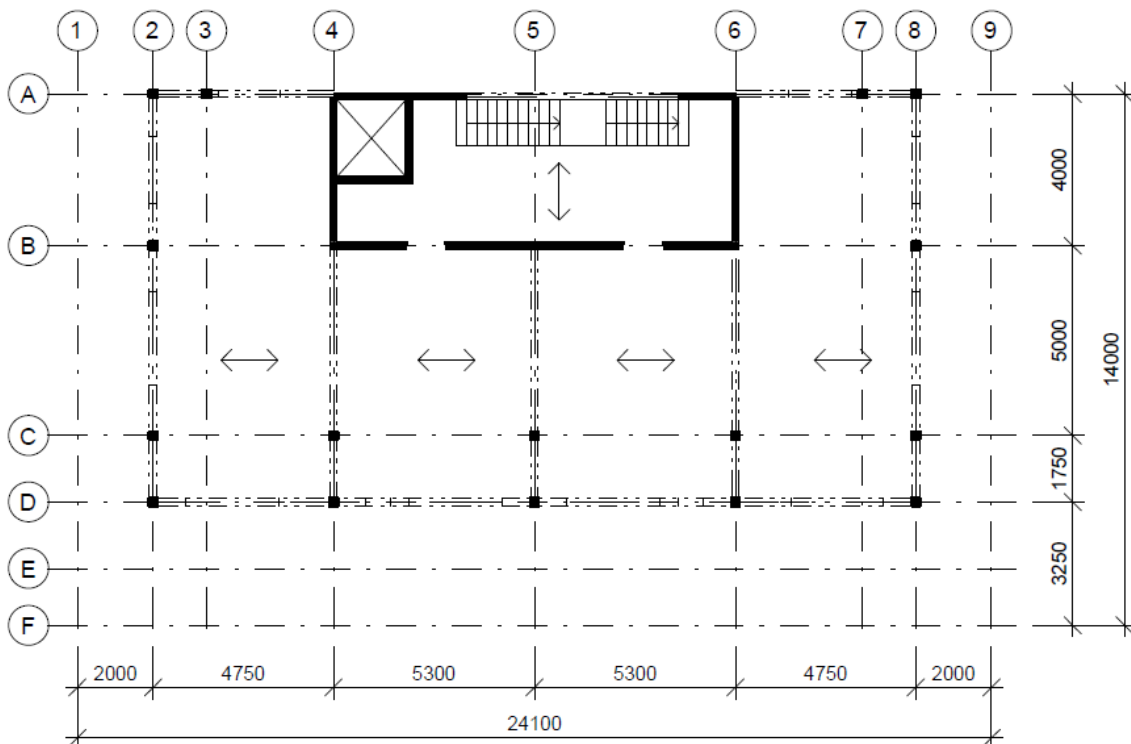
Obr. 25: Render nosného systému, var. 5



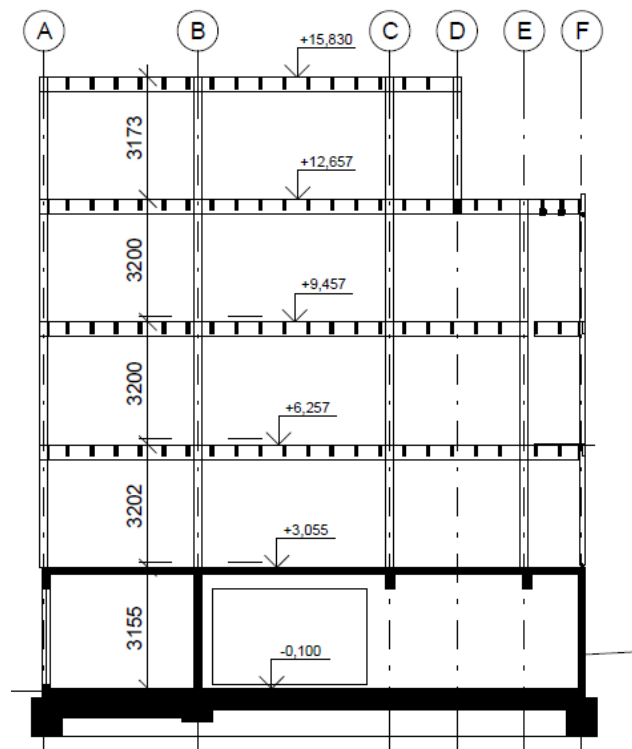
Obr. 26: Konstrukční systém 2.NP, 3.NP, varianta 5



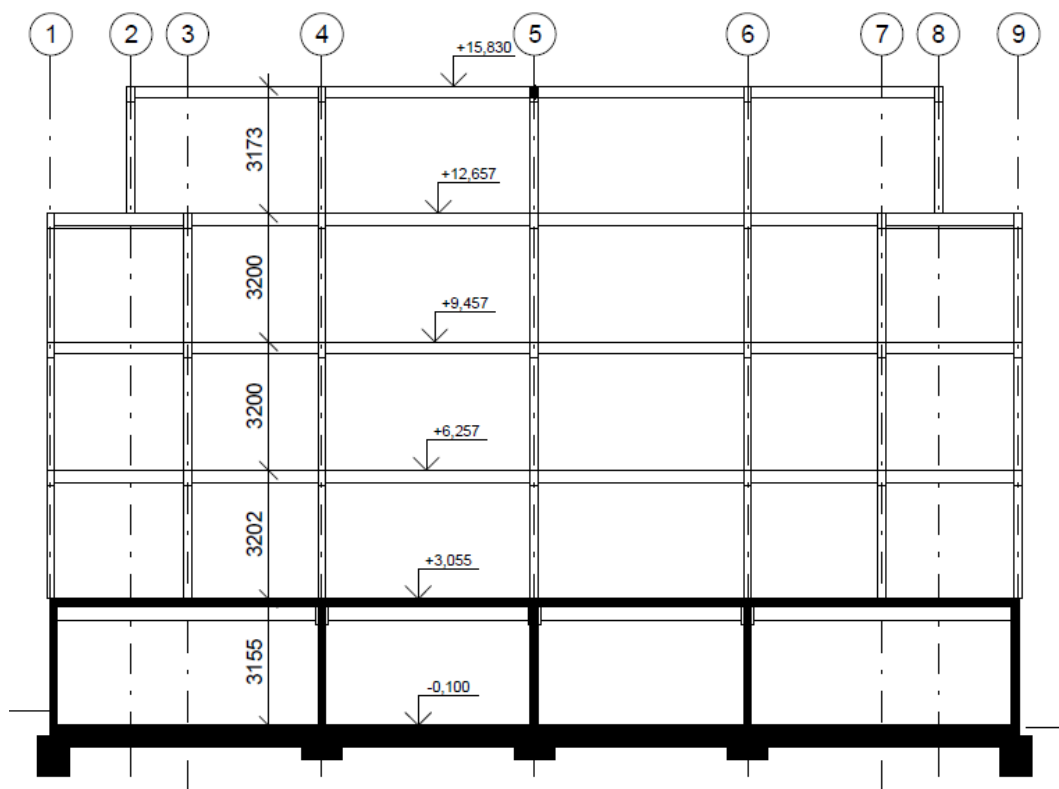
Obr. 27: Konstrukční systém 4.NP, varianta 5



Obr. 28: Konstrukční systém 5.NP, varianta 5



Obr. 29: Konstruktivní systém, řez příčný, varianta 5



Obr. 30: Konstruktivní systém, řez podélný, varianta 5



Svislé nosné konstrukce:

- sloupy z lepeného lamelového dřeva GL24h, čtvercový průřez 200 x 200 mm,
- sloupy kotveny pomocí ocelových patek do železobetonové desky,
- v místech stropních konstrukcí připojení průvlaku pomocí styčnickového plechu,
  
- mezibytové stěny řešeny dvojitou sloupkovou konstrukcí s akustickou izolací,
- 2x konstrukce z KVH o průřezu 60 x 40 mm s mezerou 80 mm,
- akustická izolace z čedičové vlny tloušťky 60 mm mezi roštem,
- akustická izolace tloušťky 80 mm v mezeře mezi sloupky,
- opláštění sádrovláknitými deskami,
- uložení mezibytových stěn na průvlaku.

Stropní konstrukce:

- průvlaky z LLD GL24h o průřezu 200 x 380 mm,
- stropnice z LLD GL24h o průřezu 80 x 300 mm, vzdálenost 625 mm,
- rozpětí stropní konstrukce 3,4 m – 5,3 m,
- stropnice kotveny přes ocelovou botku do průvlaků,
- v místě připojení k železobetonovému jádru spoj řešen vloženým plechem a svorníky,
- záklop stropní konstrukce pomocí OSB desek.

Střešní konstrukce:

- stropnice a průvlaky o stejných dimenzích jako stropní konstrukce,
- nad železobetonovým jádrem železobetonová stropní deska tloušťky 180 mm,
- jednoplášťová plochá střecha, přitěžující vrstva z praného říčního kameniva,
- zateplení z expandovaného polystyrenu, min. tloušťka 240 mm, uložení na bednění z OSB desek, spád řešen pomocí spádových klínů EPS,
- hydroizolace a parozábrany z PVC včetně ochranné geotextílie.

### Balkony a střešní terasy:

- terasa řešena vykonzolováním stropních průvlaků,
  - mezi průvlaků osazeny stropnice pomocí ocelových botek,
  - průřezy shodné jako u stropních konstrukcí,
  - mezi stropnicemi nad obytnou částí vložena čedičová tepelná izolace tl. 300 mm,
  - horní záklop tvořen pomocí OSB desek,
  - spodní záklop v exteriéru tvořen OSB deskami a KVH profily,
  - spádová vrstva řešena spádovými klíny z EPS,
  - tepelnou izolaci tvoří desky z vakuové izolace tloušťky 40 mm a PIR desky tloušťky 40 mm,
  - PVC hydroizolace,
  - mrazuvzdorná keramická dlažba na rektifikačních terčích,
- 
- balkony řešeny pomocí průvlaků a stropnic,
  - připojení průvlaků k budově řešeno pomocí oc. botek přes termoizolační profily,
  - na opačné straně průvlaků připojeny ke sloupům tvořícím podpůrnou konstrukci,
  - spojení průvlaků a sloupů zajištěno styčnickovým plechem a svorníky,
  - podlahové souvrství tvořeno latěmi.

### Obvodový plášť:

- celková tloušťka pláště 365 mm,
- dvojice dřevěných sloupků z KVH o průřezu 40 x 100 mm,
- vnitřní sloupky lícují s vnitřními hranami průvlaků, vnější sloupky lícují s vnějšími hranami průvlaků,
- nosnou konstrukci vnějších sloupků tvoří vnitřní sloupky, spojení OSB příločkami,
- dřevěný rošt včetně mezery vyplněn tepelnou izolací z čedičových vláken,
- vnější stranu opláštějí tuhé dřevovláknité desky tloušťky 30 mm,
- difuzně otevřená omítka,
- na vnitřní straně parozábrana z OSB desek tloušťky 15 mm s přelepenými spoji,
- na vnitřní straně instalační předstěna konstrukčně shodná jako u varianty CLT.

### Příčky:

- stejné jako u varianty 4.

### Podlahy:

- lehká plovoucí podlaha,
- na záklopu z OSB uložena akustická izolace z dřevovláknitých desek,
- na tepelné izolaci dvojice sádrovláknitých desek mezi kterými je umístěna systémová deska podlahového vytápění,
- separační fólie,
- nášlapná vrstva v podobě keramické dlažby/vinyly.

### Povrchové úpravy:

- stejné jako u varianty 4.

Prostorová tuhost objektu je zajištěna pomocí železobetonového jádra a ocelovými táhly o průřezu 22 mm. Ocelová táhla jsou umístěna v rovině tepelné izolace. Dimenze a posouzení táhel není součástí návrhu.

## **2.3. Popis systémů TZB**

Předmětem této kapitoly je popsat základní koncept řešení technického zařízení budov. Součástí práce jsou základní výpočty a zobrazení koncepce rozvodů TZB na schématických výkresech. Koncepce rozvodů TZB a základní výpočty jsou uvedeny v příloze F.

### **2.3.1. Zásobování teplem a příprava teplé vody**

Vytápění celého objektu a příprava teplé vody byla navržena jako centrální. Hlavním zdrojem pro přípravu teplé vody a vytápění objektu bylo zvoleno tepelné čerpadlo systém země-voda. V tomto případě je navržen systém se zemními tepelnými sondami (hlubinnými vrty). Jako doplňkový zdroj byl zvolen elektrický kotel, který je dimenzován na 30% celkové tepelné ztráty objektu. Využití kotle je předpokládáno hlavně v zimě v případě extrémních venkovních podmínek pro dohřátí vody na požadovanou teplotu. V případě zásobníku na teplou vodu je přímo v zásobníku umístěna elektrická patrona pro dohřev vody. V místnostech bytů je řešeno vytápění pomocí nízkoteplotní otopné soustavy s podlahovým vytápěním. Podlahové vytápění je řešeno umístěním systémových izolačních desek Dekperimeter PV NR-75 v podlahovém souvrství, které jsou vhodné pro rozvody teplovodního média. Ve společných vytápěných prostorech jako jsou chodby, kočárkárna/kolárna je vytápění řešeno pomocí otopných těles. Rozvody topného média do jednotlivých bytů jsou řešeny v šachtách příslušných bytů. V bytových jednotkách se napojují na rozdělovač/sběrač a jsou dále vedeny do jednotlivých místností. V případě teplé vody je vedení potrubí řešeno opět pomocí šachet. V jednotlivých bytech je vodovodní potrubí vedeno převážně v instalačních předstěnách.

- Celková potřeba tepla je 21,87 kW,
- tepelné čerpadlo ECOFOREST ecoGEO 5-22 kW,
- elektrokotel Bosch Tronic Heat 3500.

### **2.3.2. Větrání**

Větrání objektu bytového domu je řešeno decentrálně. Každá bytová jednotka disponuje vlastní lokální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací. Rekuperace má účinnost 84 % a zajišťuje větrání daného bytu. Umístění lokálních jednotek je vždy na chodbě příslušného bytu v podhledu.

V místnosti chodeb je kvůli umístění lokálních jednotek snížena světlá výška místnosti na 2,3 m. Přívod vzduchu do jednotek je řešen pomocí instalačních šachet. Nasávání vzduchu je v 1.NP na severní fasádě. To je výhodné hlavně v letních měsících, kdy vzduch není tak teplý jako např. v případě přívodu vzduchu ze střechy. Potrubí je v místě sání vzduchu na fasádě opatřeno mřížkou. Odvod vzduchu je opět řešen pomocí instalačních šachet a potrubí je vyvedeno nad střechu.

Distribuci vzduchu do jednotlivých místností bytů zajišťují distribuční elementy v podobě talířových ventilů umístěných ve zdech. Přívod vzduchu je řešen vždy do obytných místností, odvod vzduchu je pak z místností koupelen a WC. V momentě, kdy vzduchotechnické potrubí přechází do jednotlivých bytů, jsou na potrubí osazeny požární klapky. Větrání garáží je navrženo jako přirozené. Přívod a odvod vzduchu je zajištěn otvory ve stěnách. Otvory jsou opatřeny mřížkovaným plechem z tahokovu.

- Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu je 2140 m<sup>3</sup>/h,
- hlavní stoupačí potrubí o kruhovém průřezu, průměr 315 mm,
- lokální vzduchotechnické jednotky Atrea Duplex 175 EC5 a 370 EC5.

### 2.3.3. Hospodaření s vodou

V diplomové práci se předpokládá připojení na veřejný vodovodní řad. Vodovodní přípojka začíná napojením na hlavní vodovodní řad a končí u hlavního vodoměru. Vodoměrná sestava bude umístěna v technické místnosti 1.NP. Vnitřní část vodovodu bude provedena z plastových trubek PPR. Rozvody vody do jednotlivých bytů jsou řešeny pomocí instalačních šachet. Každé stoupačí potrubí je opatřeno uzávěrem a vypouštěcím ventilem. V jednotlivých bytech jsou rozvody vedeny v instalačních předstěnách, popřípadě za kuchyňskými linkami. Splaškové vody budou odvedeny do veřejné kanalizace a dešťové vody budou zachyceny v akumulární nádrži, která je umístěna na pozemku.

Z hlediska úspory pitné vody se předpokládá zpětné využití dešťových vod. Dešťová voda bude zachycena v akumulární nádrži, kde bude přečištěna a využita pro splachování WC v celém objektu. Spotřeba vody prostřednictvím WC je poměrně vysoká a dle některých průzkumů může dosahovat až 30 % z celkové spotřeby vody [7].

Dešťová voda bude prostřednictvím okapových svodů stékat do zemního filtru, kde bude voda přečišťována. Odfiltrované nečistoty budou odvedeny do kanalizačního potrubí a následně do veřejné kanalizace. Prostřednictvím nerezového síta se dostane přečištěná voda přepadem do nátokového hrdla akumulární nádrže. Akumulární nádrž bude opatřena přepadem do kanalizace v případě přeplnění nádrže. Odběr vody bude zajištěn pomocí sacího potrubí, které bude odebírat pouze čistou vodu z hladiny nádrže. Do akumulární nádrže bude zajištěn přívod vody z vodovodního řadu, a to z důvodu nedostatku dešťové vody.

- Průměrná denní potřeba vody je 3,8 m<sup>3</sup>/den.

## 3. Postup tvorby BIM modelu

Pro modelování objektu bytového domu byl použit software Revit 2021 [8] od společnosti Autodesk. Pro samotnou tvorbu modelu byla zvolena nekomerční šablona dostupná z webu [9]. V průběhu modelování byla instalována studentská licence doplňku CTools a CCLibrary od společnosti Cadconsulting, spol. s.r.o [10]. Doplňek CTools byl použit hlavně pro spojování jednotlivých konstrukcí, automatickému kótování otvorů a automatickému umístění překladů nad otvory. Tyto funkce doplňku velmi usnadnily práci a především čas. Doplňek CCLibrary disponuje knihovnou rovin, ze které byly použity některé prvky.

### 3.1. Stavebně architektonický model

#### 3.1.1. Tvorba variant

Pro tvorbu různých variant konstrukčních a materiálových řešení bylo před samotným modelováním nejprve promyslet strategický postup modelování jednotlivých variant. Nejprve bylo potřeba stanovit systém, jakým se budou jednotlivé varianty vytvářet. Revit 2021 nabízí několik možností. Jednou z možností bylo modelovat jednotlivé varianty v jednom souboru, což použitý software nabízí. Nicméně při modelování variant v jednom souboru pomocí variant návrhu by mohlo docházet k přetížení hardwarového vybavení, jelikož tato funkce má poměrně vysoké nároky na hardware. Další z možností bylo vymodelovat konstrukce, které jsou ve všech variantách stejné do jednoho modelu, a tento model načítat pomocí připojeného modelu do dalšího souboru, ve kterém by se modelovaly zbylé prvky určené pro danou variantu. Součástí připojeného modelu je i aktualizace připojeného modelu, když by tedy docházelo k úpravám stejných konstrukcí pro všechny varianty, aktualizoval by se tento model ve všech ostatních variantách. Uvedená metoda postupu je určitě zajímavá, ale pro tento projekt není moc výhodná z důvodu zarovnání k referenčním rovinám. Například stěny 1.NP nejsou zarovnávané k referenční rovině, ale vždy ke stěnám horních podlaží (které jsou k referenčním rovinám zarovnané), aby byla zachována rovina fasády. Další možností bylo vytvoření modelu jedné varianty a následné zkopírování souboru pro použití v ostatních variantách. Tato metoda byla v diplomové práci použita. V těchto zkopírovaných souborech byl pouze změněn materiál konstrukcí a následně zarovnání spodního podlaží. V případě skeletového systému (varianta 5) byla rozkopírována pouze část 1.NP a zbytek samostatně domodelován. [11, 12]

### 3.1.2. Referenční roviny

Pro modelování jednotlivých variant bylo nutné stanovit referenční roviny projektu. Jako vodorovné referenční roviny byly stanoveny úrovně čistých podlah v jednotlivých podlažích. Výšky těchto podlaží byly stanoveny s ohledem na zachování světlé výšky podlaží, která byla stanovena na 2,6 m, a také prostoru pro vedení elektroinstalací v podhledu. Výška podlaží byla stanovena podle varianty těžkého dřevěného skeletu, který má největší tloušťku stropní konstrukce. Výšky referenčních rovin jsou ve vzdálenosti 3,2 m. V případě svislých referenčních rovin bylo uvažováno nad třemi variantami. První možností bylo stanovení svislé roviny na vnějším líci železobetonové stěny. V tomto případě by byl stanoven stejný rozměr pro všechny varianty, ale docházelo by k rozdílným vnitřním podlahovým plochám. Tuto variantu by bylo vhodné použít při limitním požadavku na vnější rozměry budovy, což v tomto případě nebylo omezující. V druhé variantě bylo uvažováno umístění svislé roviny na hranici vnitřní nosné části železobetonové stěny v 1.NP. V tomto případě by docházelo k rozšiřování vnějších rozměrů budovy. Tato varianta se nejprve zdála jako použitelná, ale nastal problém v případě vnitřních nosných stěn, kdy nebylo jasné, kam svislou rovinu umístit. Nakonec byla zvolena varianta umístění na osu nosné části stěny v 2.NP. Objekt sice rozšiřuje svůj rozměr jak do exteriéru, tak interiéru, ale při modelování nenastali problémy například v případě vnitřních stěn. V tomto případě bylo nutné zarovnávat svislé nosné konstrukce v 1.NP vždy na vnější líc nosné části stěn ve vyšších podlažích, kromě varianty skeletu, kdy bylo nutné řešit tepelně technické požadavky. V tomto případě je nosná část mírně odsazena. V této použité metodě referenčních rovin dochází tedy k mírnému rozdílu vnitřních podlahových ploch.

### 3.1.3. Modelování dílčích konstrukcí a prvků

Další důležitou součástí před samotnou tvorbou modelu bylo nutné stanovit, jakým způsobem vytvářet jednotlivé konstrukce, zejména sendvičové stěny a skladby podlahových souvrství. Důležitým požadavkem bylo rozdělení na nosné a nenosné konstrukce, což přinášelo ulehčení v případě vykazování materiálů v dalších částech práce, ale také k zobrazení konstrukčních systémů. Stěny proto byly modelovány na několik vrstev. Zvláště byla modelována nosná konstrukce (zdivo, železobeton, nosné sloupy), tepelné izolace a omítky. Omítky jsou modelovány zvláště z důvodu skrytí pro stavební výkresy dle ČSN, ale zároveň bylo potřeba je vykázat pro další účely diplomové práce. Stěnové konstrukce kromě ztužujícího jádra byly vždy modelovány na výšku jednoho podlaží. V případě modelování dřevěných roštů (příčky v dřevěné variantě, opláštění obvodových konstrukcí) bylo využito architektonických sloupů a nosníků (bez konstrukční funkce), které byly jednotlivě modelovány dle osové vzdálenosti. Jednotlivé sloupky byly poté seskupeny pro snazší manipulaci v modelu. Tepelná izolace mezi roštem byla vytvořena pomocí architektonické stěny. Poté byly sloupky a výplň izolace vzájemně spojeny, aby nedocházelo k chybám při výkazu materiálů.

Bylo by možné tuto roštovou konstrukci modelovat pomocí obvodového pláště, ale při osazování výplní otvorů by musely být umísťovány výplně otvorů modelově vhodné do obvodového pláště (kategorie oken a dveří do obvodového pláště), což v práci nebylo žádoucí, jelikož bylo nutné použít stejné výplně otvorů jako v ostatních variantách. Navíc v případě otvorů bylo nutné modelovat konstrukční výměny, což by bylo v případě obvodového pláště časově náročnější z hlediska nastavení os. V případě skeletového systému byl ještě zvlášť modelovaný nenosný výplňový rošt. Pro rozlišení nosných a nenosných konstrukcí byla v panelu vlastností příslušné stěny zaškrtnuta položka nosná (nenosná). Toto nastavení pak umožňuje zobrazení například pouze konstrukčně nosných stěn. V případě stropů a podlahových souvrství jsou tyto konstrukce modelovány zvlášť opět z důvodu zobrazení pouze nosných částí. Úrovně nosné konstrukce stropu byly odsazovány o výšku podlahy tak, aby úroveň čisté podlahy byla v souladu s referenční vodorovnou rovinou. [12]

### 3.1.4. Podrobnost modelu

Modely jednotlivých variant, které slouží pro environmentální hodnocení, byly modelovány v úrovni LOD 300. Modely tedy obsahují konstrukce ve skutečném tvaru a rozměrech, nicméně nezahrnují například spojovací prvky. [13]

Pro účely environmentální analýzy patří mezi modelované objekty:

- základové konstrukce,
- hydroizolace a parozábrany,
- nosné svislé a vodorovné konstrukce bez vyztužení,
- nosná konstrukce střešního pláště a střešní plášť,
- konstrukce schodiště,
- vnitřní dělicí konstrukce (příčky),
- nenosné obvodové pláště,
- povrchové úpravy (bez malby a nátěrů),
- finální nášlapné vrstvy podlah,
- otvorové výplně,
- tepelné a akustické izolace.

Množství spojovacích prvků není součástí modelu, jelikož spojovací prvky nebyly přesně počítány. Množství odhadnutých spojovacích prvků je součástí předběžného statického výpočtu (příloha A).

V každém modelu byly nastaveny používané materiály. Použité materiály byly duplikovány z dostupné databáze a upravovány. U většiny materiálů byly vyplněny skutečné parametry objemových hmotností, URL odkazy na materiály a součinitele tepelné vodivosti. Tyto charakteristiky byly vyplněny pro snadnou orientaci v použitých materiálech a také pro požadavky environmentální analýzy (objemová hmotnost).



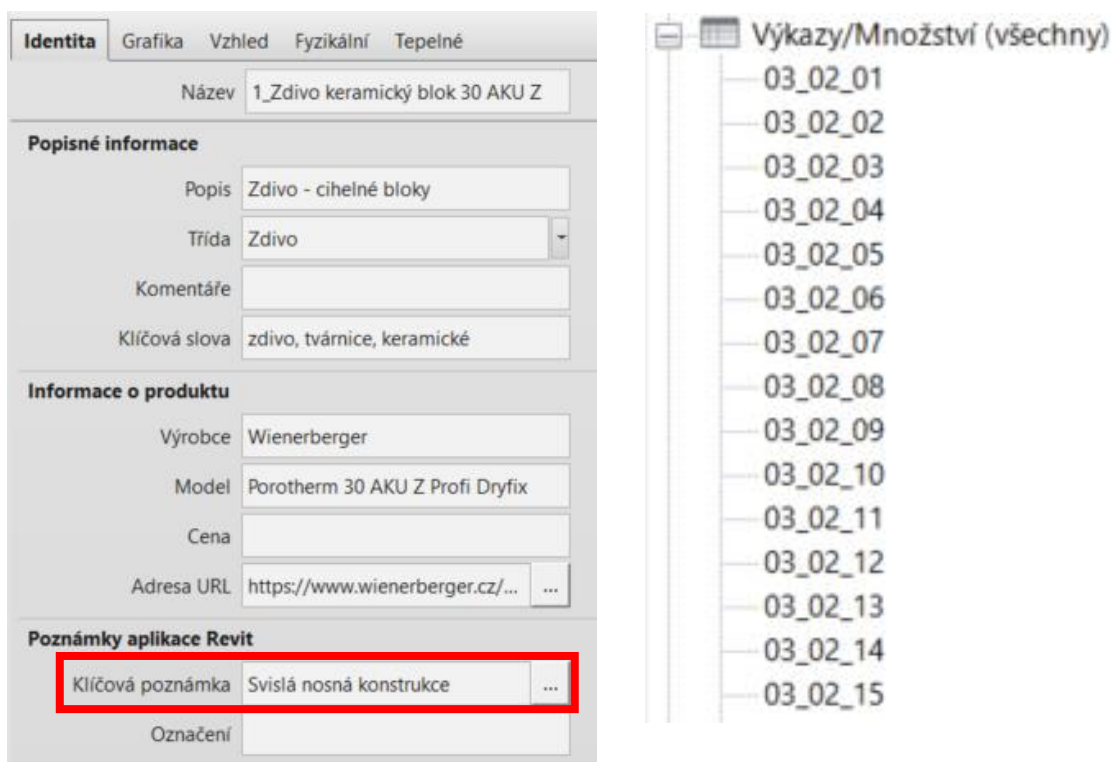
## 3.2. Úprava modelu pro environmentální analýzu

### 3.2.1. Generování dat

Jedním z důležitých vstupů k provedení této analýzy byl výkaz výměr všech materiálů v konstrukci. Pro provedení výkazu výměr bylo využito BIM softwaru velmi účinně. Většina položek ve výkazu výměr, které jsou uvedeny v příloze C, byla převzata právě z jednotlivých variant BIM modelu. Z výkazu výměr přímo z modelu nebylo možné převzít především množství výztuže a spojovacích prvků, jelikož tyto položky nebyly do modelů zaneseny. Jednotlivé položky byly do výkazů výměr zavedeny ručně v tabulkovém procesoru Excel. Cílem exportu výkazů výměr byl co nejmenší zásah lidského faktoru při následném zpracování a vyhodnocování environmentálního hodnocení.

Už před samotným modelováním jednotlivých variant bylo nutné přemýšlet nad tím, jakým způsobem se samotné výkazy výměr materiálů budou tvořit. Zejména byl kladen důraz na rozdělení do jednotlivých kategorií (základové konstrukce, hydroizolace apod.), jak je uvedeno v metodice SBToolCZ [14].

Rozdělení do jednotlivých kategorií bylo zajištěno přidáním klíčové poznámky (Obr. 31a) při tvorbě materiálu.



(a)

(b)

Obr. 31: (a) Kategorizace materiálu dle SBToolCZ; (b) Členění výkazů v Revitu



Každý materiál má tedy v klíčové poznámce údaj, o kterou kategorii se dle SBToolCZ jedná. V některých případech bylo nutné vytvořit i duplicitní materiály, které se lišily pouze v klíčové poznámce. Následně bylo nutné dávat při modelování pozor, kde jsou jaké materiály použity. Dále už bylo potřeba vytvořit jednotlivé kategorie výkazů (Obr. 31b) a vyfiltrovat položky v jednotlivých kategoriích podle požadavku. V jednotlivých výkazech jsou zahrnuty položky druh, typ konstrukce, ve které se daný materiál nachází, název samotného materiálu, plocha, objem materiálu a jeho objemová hmotnost. Hodnoty jednotlivých environmentálních hodnot z databáze Envimat nebyly přidělovány přímo v Revitu, ale až v Excelu z hlediska zjednodušení a automatickému nahrávání hodnot přímo z databáze.

### 3.2.2. Export dat

Pomocí softwaru Excel vytvořena tabulka (příloha C), do které se data z Revitu exportovala. Data ve sloupcích B - H byla exportována automaticky pro každou kategorii.

03_02 Výkazy materiálů, konstrukcí a prvků z hlediska environmentálního dopadu							
smazat importovaná data							
3_02_01 základové konstrukce							
Druh	Typ	Název materiálu	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Podlaží	
1	Základové konstrukce	Základový pas 900 mm (DP)	61,34	40,62	2380		
2	Základové konstrukce	Základový pas 1100 mm (DP)	20,28	19,28	2380		
Σ				59,9			

3_02_01	
Materiál (dle envimat)	Životnost [roky]
Beton prostý	100
Beton prostý	100
Beton prostý	100
Σ	

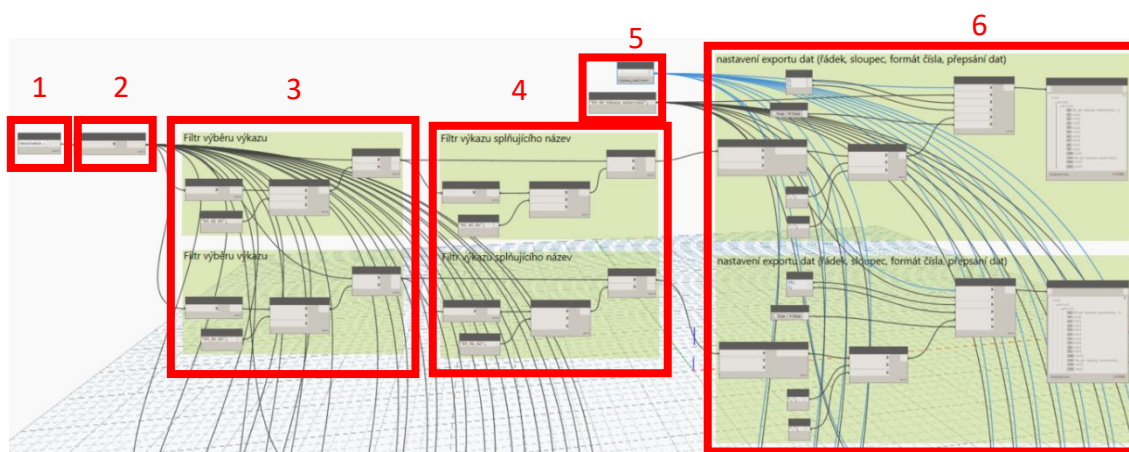
  

03_02 Výkazy materiálů, konstrukcí a prvků z hlediska environmentálního dopadu										
Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Výměra [m <sup>2</sup> ]	Jednotková svázaná spotřeba energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Svázaná spotřeba energie [MJ]	Životnost [roky]	Roční svázaná spotřeba energie [MJ/a]	Jednotková svázaná emise CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2,ekv</sub> /m <sup>2</sup> ]	Svázaná emise CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2,ekv</sub> ]	Životnost [roky]	Roční svázaná emise [kg CO <sub>2,ekv</sub> /a]	Jednotková svázaná emise SO <sub>2</sub> [g SO <sub>2,ekv</sub> /m <sup>2</sup> ]
2380	96675,6	0,574926	55581,31601	100	555,8131601	0,109891	10623,77836	100	106,2377836	0,18489
2380	45886,4	0,574926	26381,28441	100	263,8128441	0,109891	5042,502382	100	50,42502382	0,18489
0	0	0,574926	0	100	0	0,109891	0	100	0	0,18489
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142562			81962,60041		819,6260041		15666,28074		156,6628074	

Obr. 32: Struktura Excelu pro export dat (výšek)

1. Automatický export z prostředí Revit
2. Doplnění údaje z databáze Envimat
3. Automatický výpočet a doplnění hodnot
4. Funkce pro smazání všech materiálů

Dále bylo řešeno, jakým způsobem efektivně přenést jednotlivé výkazy do MS Excel [3] tak, aby celý proces exportu byl co nejjednodušší a hlavně nejrychlejší. Jednou z variant bylo jednotlivé kategorie výkazů exportovat do textového souboru a následně načítat do Excelu [3]. Tato varianta byla velmi nevýhodná a proces velmi zdouhavý. Další z variant bylo hromadné exportování výkazů pomocí doplňku CTools [10] přímo do Excelu [3]. Tato varianta se jevila jako velmi dobrá, ale doplněk exportoval výkazy do jednotlivých listů, navíc nebylo možné určit pozici v Excelu [3], kam se data mají exportovat, což v tomto případě bylo potřeba. Další variantou, která byla v této práci použita, bylo prostřednictvím vizuálního programovacího softwaru Dynamo [15] nastavit skript pro export všech výkazů do předem připraveného souboru. Software Dynamo je součástí aplikace Revit. Skript, který byl pro tento účel vytvořen, lze použít na aktuálně otevřeném projektu. [16]



Obr. 33: Skript pro export výkazů

5. Zvolení typu výběru-výkaz množství
6. Zvolení všech výkazů
7. Filtr výběru výkazu (03\_02\_01, 03\_02\_02,...)
8. Filtr výkazu, který splňuje název
9. Volba cílového souboru a názvu listu do kterého se budou data exportovat
10. Volba řádku a sloupce (levý horní roh) odkud se data začnou vypisovat. Dále volba formátu čísla a volba, zda je požadavek na přepsání dat.

Na obrázku (Obr. 33) je znázorněna pouze část skriptu. Celý skript je uveden v příloze C. Tento skript velmi ulehčuje práci při exportu jednotlivých výkazů, a navíc není nutný žádný zásah při exportování dalších výkazů, pokud budou dodrženy názvy a struktura výkazů v softwaru Revit dle Obr. 31b.

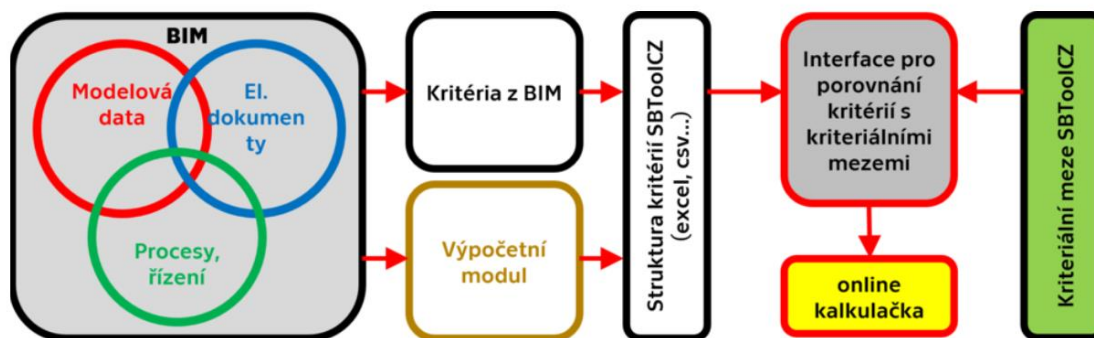
### 3.3. Úprava modelu pro komplexní hodnocení SBToolCZ

Cílem této podkapitoly bylo poukázat na problematiku využití dat pomocí BIM softwarů v rámci komplexního hodnocení budov. Snahou bylo zaměřit se na jednotlivé parametry komplexního hodnocení, které lze získat pomocí BIM softwaru Revit [8], aniž by musely být manuálně přepisovány, popř. počítány. Tato práce je zaměřena pouze na vybrané parametry, které jsou obsaženy v metodice SBToolCZ. Cílem diplomové práce není vyhodnocovat (přidělovat body) jednotlivá kritéria daná metodikou, ale přijít na jejich způsob exportu dat právě z BIM softwaru. V této práci bude využíváno některých podkladů z právě probíhajícího výzkumného projektu BIMIP. [17, 18]

#### 3.3.1. Obecný popis metodiky

Snahou aktuálně probíhajícího výzkumného projektu BIMIP je implementovat informační model budovy do hodnotících procesů životního cyklu stavby. Cílem projektu je vytvořit volně dostupný online software, který by měl usnadnit komplexní hodnocení obytných budov podle metodiky SBToolCZ. Jedním z dalších cílů výzkumného projektu je vytvoření dokumentu, který bude popisovat, jakým způsobem mají být data získávána pomocí BIM softwaru pro hodnocení podle metodiky SBToolCZ. [18]

Princip vyvíjené metodiky je znázorněn na Obr. 34. Data, která lze získat pomocí BIM budou exportována do struktury (vytvořené například pomocí softwaru Excel) kritérií dané metodikou SBToolCZ. Následně proběhne export do online aplikace, kde budou data vyhodnocena.



Obr. 34: Princip vyvíjené metodiky [8]

Dle dostupných podkladů, které byly poskytnuty pro účel této práce, je potřeba pro stanovení výsledků celkového hodnocení získat celkem kolem pěti set parametrů z různých zdrojů. Z toho lze přibližně 200 parametrů získat pomocí BIM modelu. Model samozřejmě musí být pro tento účel přizpůsoben. Předmětem této práce je právě samotná úprava modelu a specifikace generování dat [17].

Pro účely této práce byl poskytnut soubor .xls (verze 18.11.2020) [17], který má připravenou strukturu pro vstup do online aplikace. Nutno dodat, že tento soubor je pouze pracovní verzí a je stále vyvíjen. V této práci tedy nebudou získávány všechny získatelné parametry z BIM modelu, ale pouze parametry, které jsou uvedeny v tomto dokumentu.

Do tohoto souboru budou exportována data přímo ze softwaru Revit. Pro export jednotlivých parametrů bude použit doplňkový software aplikace Revit – Dynamo.

### 3.3.2. Úprava modelu

Pro účely této kapitoly musel být vybraný model bytového domu upravován tak, aby bylo možné získávat data pro komplexní hodnocení. Jednotlivé informace v modelu, které budou potřeba pro komplexní hodnocení, budou značeny kódovým označením, odpovídajícím struktuře poskytnutého souboru a kritériím SBToolCZ. [17, 18]

Ve zpracovávaném modelu byly pro export parametrů používány převážně výkazy. Popis generování dat jednotlivých kritérií je uveden v jedné z dalších částí.

### 3.3.3. Výběr kritérií

Jak již bylo napsáno, projekt BIMIP je stále vyvíjen a nelze tak generovat všechna kritéria, jelikož pro ně není připravena struktura pro export. V této práci jsou uvažována pouze tato kritéria:

- *00\_Výkaz místností,*
- *01\_01\_02\_Hrubá podlahová plocha,*
- *01\_02\_Plochy na budově a pozemku,*
- *01\_01\_03\_Plochy konstrukčního systému,*
- *01\_05\_Uživatelské prvky na pozemku,*
- *01\_05\_Uživatelské plochy na pozemku,*
- *01\_07\_Plochy dešťová voda,*
- *01\_08\_Plochy fasády,*
- *03\_01\_13\_Výkaz oken,*
- *03\_01\_13\_Prosklené stěny\_sloupky,*
- *03\_01\_13\_Prosklené stěny\_panely,*
- *03\_01\_Výkaz materiálů,*
- *04\_01\_Výkaz parkovacích stání,*
- *Výkaz parametrů budovy,*
- *Výkaz stromů,*
- *Výkaz dveří,*
- *Výkaz zvonkového tabla,*
- *Výkaz ZTI,*
- *Výkaz klempířských prvků.*

V případě posledních tří kategorií (*Výkaz zvonkového tabla, Výkaz ZTI, Výkaz klempířských prvků*) existuje sice záložka ve struktuře excelu, ale nejsou vypsané jednotlivé požadované parametry. Proto tyto kritéria nebudou zpracovávána.

### 3.3.4. Generování dat

Každé hodnotící kritérium je v této kapitole rozebráno a je podrobně popsáno získávání jednotlivých parametrů.

#### Výkaz místností

Metodika SBToolCZ má v oblasti výkazu místností požadavky na velké množství parametru. Pro přehlednost jsou všechny požadované parametry zobrazeny v tabulce. V tabulce je dále uveden způsob získání dat. [17]

Název parametru	Popis získání	Poznámka
Bytová jednotka	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Označení místnosti	Využit systémový parametr „Číslo“	
Název místnosti	Využit systémový parametr „Název“	
Kategorie dle SBTool	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Typ prostoru	Neřešeno, funkce Excelu	
Počet uživatelů	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Plocha	Využit systémový parametr „Plocha“	Aut. výpočet
Podlaží	Využit systémový parametr „Podlaží“	Aut. dle podlaží
Podlaží z hlediska ochrany proti radonu	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Nejvyšší teplota vzduchu	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Opatření pro dosažení letní tepelné pohody	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Číselné zadání dle nápovědy
Pokles teploty v zimním období	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Pokles dotykové teploty podlahy	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	
Rozměry záchodové kabiny	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
Prostor pro madla po stranách WC	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
Prostor před vanou	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
Prostor pro sprchování	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
Prostor vedle sprchového koutu	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
Otáčení vozíku	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
Světlá šířka komunikací v bytě	Sdílený instanční parametr pro kategorii místností	Typ Ano/ne
ZPKM		nezískáno
SPKM		nezískáno

Tab. 2: Přehled parametrů pro výkaz místností

Většina parametrů, které požaduje metodika SBToolCZ pro své hodnocení, musela být řešena pomocí sdílených parametrů. Pokud se zavede sdílený parametr, je možné jej vykazovat ve výkazech. Sdílené parametry je navíc možné přenášet i do jiných projektů. Veškeré parametry byly nastaveny jako instanční, z důvodu rozdílných hodnot u každé místnosti. Aby bylo na první pohled jasné, že se jedná o sdílený parametr, má parametr vždy zadán název velkým písmem.

V případě zadávání hodnot do jednotlivých připravených parametrů je nutná znalost metodiky SBToolCZ [14], jelikož u některých místností se nevyplňují všechny připravené parametry. Například u parametru počet uživatelů, se hodnoty vyplňují pouze u místností ložnic, dětských pokojů a v případě dispozic 1+KK i u obývacích pokojů, v ostatních případech jsou položky nulové. V některých případech je u parametru možné zobrazit nápovědu, aby bylo pro uživatele snadnější vyplňování údajů.

Parametry ZPKM (započitatelná plocha kritické místnosti) a SPKM (plocha se splněným požadavkem kritické místnosti) se nepodařilo získat, jelikož je nutné u těchto parametrů získávat část plochy místnosti, případně plochy, které splňují procenta činitele denní osvětlenosti.

Veškeré zavedené parametry byly ve výkazech přidány a následně exportovány do prostředí Excelu [3]. Hodnoty zadávané k jednotlivým parametrům nemusí vždy odpovídat skutečnosti.

### **Hrubá podlahová plocha**

Hrubá podlahová plocha je definována jako plocha od vnější strany obvodových stěn, směrem dovnitř objektu [19].

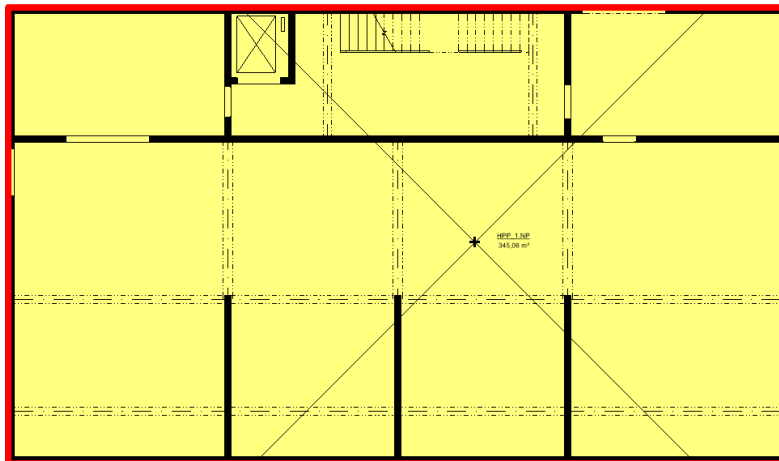
V rámci tohoto kritéria jsou požadavky na hrubé podlahové plochy v každém podlaží. Požadovanými parametry jsou název plochy, podlaží a plocha [17].

V tomto případě bylo využito funkce *Půdorys ploch*. Typ půdorysu plochy byl nastaven na *Hrubá podlahová plocha*. Následně byla požadovaná plocha obkreslena hranicí ploch a opatřena názvem včetně označení *01\_01\_02* pro snadnější orientaci. Ostatní požadované parametry se vyplňují automaticky. Tento postup byl dále opakován i v dalších podlažích. Na Obr. 36 můžeme vidět vzorové vykreslení půdorysné plochy v Revitu [8].

Místnosti (1)		Upravit typ
Neohraničená výška	2438,4	
Objem	14,280 m <sup>3</sup>	
Výpočtová výška	0,0	
<b>Identifikační data</b>		
Číslo	2A-3	
Název	Koupelna	
Obrázek		
Komentáře		
Obsazení		
Oddělení		
Povrchová úprava podkladu		
Povrchová úprava stropu		
Povrchová úprava stěny		
Povrchová úprava podlahy		
BYTOVÁ JEDNOTKA	2A	
KATEGORIE MÍSTNOSTI DLE SBTOOL	koupelna	
POČET UŽIVATELŮ	0,000000	
<b>Fázování</b>		
Fáze	Nová konstr...	
<b>Energetická analýza</b>		
NEJVYŠÍ TEPLOTA VZDUCHU	24,000000	
OPATŘENÍ PRO DOSAŽENÍ TEP. POHODY	6	
POKLES DOTYKOVÉ TEPLoty PODLAHY	4,500000	
POKLES TEPLoty V ZIMNÍM OBDOBÍ	4	
<b>Jiné</b>		
PODLAŽÍ Z HLEDISKA OCHRANY PROTI ...	podlaží bez...	
prázdný sloupec		
prázdný sloupec 2		
ROZMĚRY ZÁCHODOVÉ KABINY	<input checked="" type="checkbox"/>	
PROSTOR PRO MADLA PO STRANÁCH WC	<input checked="" type="checkbox"/>	
PROSTOR PŘED VANOU	<input checked="" type="checkbox"/>	
PROSTOR PRO SPRCHOVÁNÍ	<input checked="" type="checkbox"/>	
PROSTOR VEDLE SPRCHOVÉHO KOUTU	<input checked="" type="checkbox"/>	
OTÁČENÍ VOZÍKU	<input checked="" type="checkbox"/>	
SVĚTLÁ ŠÍRKA KOMUNIKACÍ V BYTĚ	<input checked="" type="checkbox"/>	

Obr. 35: Přidělené parametry pro místnosti





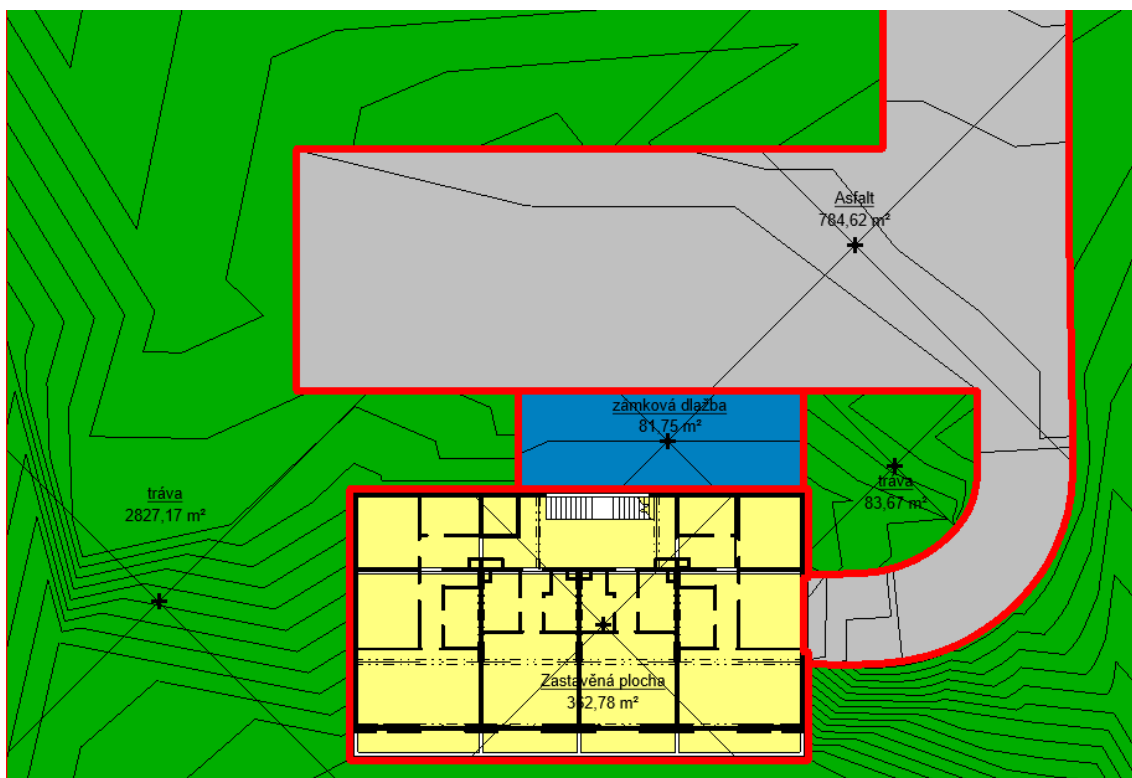
Obr. 36: Hrubá podlahová plocha 1.NP

Po vykreslení hrubých podlahových ploch byl sestaven výkaz s kategorií *Plochy (Hrubá podlahová plocha)*. Název výkazu byl pojmenován podle vykazovaného kritéria, tj. *01\_01\_02\_Hrubá podlahová plocha*. Jelikož byly plochy vykreslovány do jednotlivých kategorií, nebylo potřeba výkaz dále filtrovat. Výkaz byl opět exportován do souboru .xls.

### **Plochy na budově a pozemku**

V této části se objevují veškeré plochy na pozemku. Postup je identický jako v případě hrubé podlahové plochy. Opět se využívá funkce: *Půdorys ploch*. Je zde opět vytvořena kategorie, tentokrát s názvem: *Plochy na budově a pozemku*, která pomáhá k identifikaci ve výkazech.

Parametry, které se objevují v tomto kritériu jsou název plochy, typ plochy dle SBToolCZ a příslušná plocha [17]. V případě názvu plochy a velikosti plochy je využito systémových parametrů. V případě Typu plochy dle SBToolCZ byl zaveden sdílený instanční parametr pro kategorii *plochy*. V momentě, kdy byly vykresleny všechny plochy na budově a pozemku, byl vytvořen opět výkaz s názvem *01\_02\_Plochy na budově a pozemku* a mohl následovat export do tabulkového procesoru. Ukázka tvorby ploch je znázorněna na Obr. 37.



Obr. 37: Plochy na budově a pozemku 1.NP

### **Plochy konstrukčního systému**

Tento typ kritérií nebyl řešen, jelikož nebyla zjištěna přesná definice požadavku/využití pro tento typ kritéria.

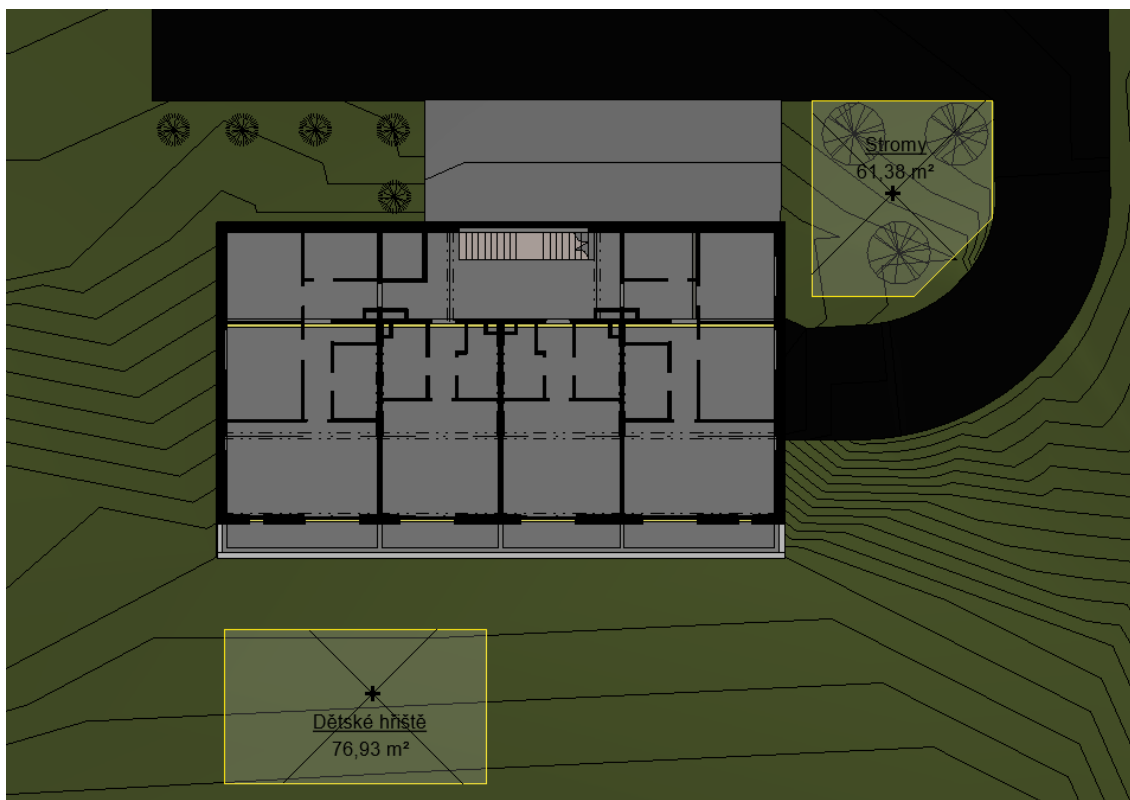
### **Uživatelské prvky na pozemku**

V této části jsou obsaženy všechny prvky nacházející se na pozemku, které mají specifický význam. Jedná se o prvky, kterými mohou být např.: vybavení pro děti, pergoly, jezírka, lavičky, vzrostlá zeleň atd.

Pro toto kritérium jsou požadovány parametry *název prvku* a *typ prvku* dle SBTToolCZ [17]. U tohoto kritéria se hodnotí pouze výskyt prvku, tudíž není potřeba získávat žádné další parametry.

Tyto parametry byly získány opět pomocí půdorysu ploch, kdy byl každý typ prvku zakreslen zvlášť a přidáním sdíleného instančního parametru *Typ plochy* (opět zadány hodnoty dle metodiky pro tento typ kritéria). Následně opět proběhlo složení výkazu kategorie *plochy* s názvem *01\_05\_Uživatelské prvky na pozemku*, kde se opět nastavily požadované vykazované položky. Poté proběhl export dat.





Obr. 38: Uživatelské prvky na pozemku

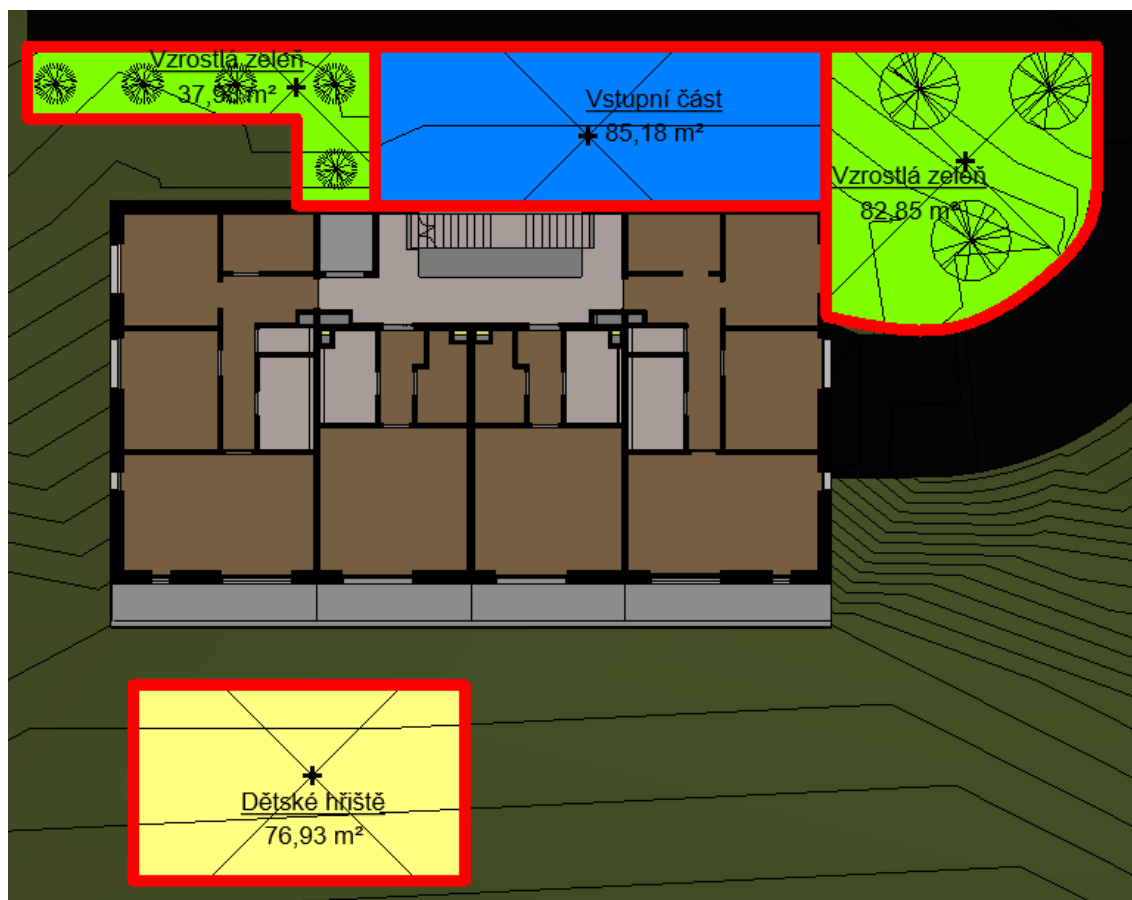
### **Uživatelské plochy na pozemku**

Toto kritérium je velmi podobné kritériu uváděnému v kapitole 5.4.3. V tomto případě se využívá téměř stejného postupu. Rozdíl mezi těmito dvěma kritérii je pouze ve specifikaci typu plochy. V případě hodnocení *Plochy na budově a pozemku* se řeší materiálová skladba povrchů. V tomto případě jde spíše o plochy z hlediska komfortu uživatelů (např. dětské hřiště, střešní terasa, ...)

Půdorysy ploch byly vytvořeny ve zvláštní kategorii *Uživatelské plochy na pozemku*. Byl přiřazen opět sdílený instanční parametr pro záznam typu plochy dle SBTToolCZ. Položky *název* a *plocha* byly zaznamenány pomocí systémového parametru.

Následovala opět tvorba výkazu, tentokrát s názvem *01\_05\_Uživatelské plochy na pozemku* a export dat.

Plochy, které byly nakreslené v rámci této práce, nejsou odpovídající skutečnosti a byly vymyšleny právě pro účel této kapitoly. Ukázka znázorněných ploch je uvedena na Obr. 39.



Obr. 39: Uživatelské plochy na pozemku

### **Plochy z hlediska hospodaření s dešťovou vodou**

V případě řešení tohoto kritéria lze využít kritéria *plochy na budově a pozemku*, které bylo řešeno v dřívější kapitole. Požadovanými parametry pro vykazování jsou název, koeficient odtoku a plocha, ze které voda odtéká. Bylo tedy nutno zavést nový sdílený parametr, a to koeficient odtoku. Parametr byl zaveden stejným způsobem jako ty předešlé, a to instančním sdíleným parametrem. Parametry *název* a *plocha* jsou opět systémovými parametry a jsou automaticky počítané.

V případě vykazování bylo nutné odfiltrovat pouze zastavěnou plochu, jelikož na této ploše se nebude produkovat dešťová voda. Ostatní položky lze pak ponechat pro toto kritérium. Výkaz byl vytvořen s názvem *01\_07\_Plochy z hlediska hospodaření s dešťovou vodou* a následně exportován do připraveného Excel [3] souboru.

## Plochy fasády

V této části je potřeba vykázat všechny plochy fasády dle těchto typů:

- neprůhledná část nestíněna,
- plocha popínavé zeleně na neprůsvitné části fasády,
- plocha popínavé zeleně stínící průhledné části fasády,
- plocha zeleně se substrátem na neprůsvitné části fasády,
- průhledná část.

Parametry v tomto kritériu jsou *typ plochy* (viz. výše), *orientace fasády* a *plocha příslušného typu plochy*.

V případě parametru *typ plochy* byl přidán sdílený parametr kategoriím stěna (včetně LOP), okna, dveře, jelikož tyto prvky se nacházejí na fasádě. Tento typ parametru byl vyplněn pouze u stěn (a LOP), které jsou nejbližší exteriéru. V tomto případě všem vnějším omítkám po celém obvodu budovy. Následně bylo nutné zohlednit orientaci fasády. Tento proces byl proveden pomocí systémového parametru *komentář*, kdy ke každé stěně nejbližší exteriéru, oknu, exteriérovým dveřím byl vepsán komentář s příslušnou orientací fasády. Tento krok by bylo možné provést i zavedením sdíleného parametru *orientace*. V případě parametru *plocha* bylo nutné u každé kategorie (stěna, dveře, okno) postupovat odlišným způsobem. V případě stěn je plocha systémovým parametrem a je automaticky vykazována ve výkazech. V případě oken a dveří je plocha vypočtena přímo ve výkazu přidáním vypočteného parametru. Tento výpočet je proveden vynásobením hrubé šířky a výšky příslušného otvoru.



Obr. 40: Specifikace stěny pro vykazování plochy fasády

Dalším krokem byl výkaz ploch fasády. Zde vzniká problém s vykazováním stěn, dveří a oken, jelikož tyto prvky nelze vykázat dohromady v jednom výkazu ani pomocí výkazu vícenásobné kategorie. Tyto prvky bylo tedy potřeba vykázat třemi jednotlivými výkazy (pro stěny a LOP, okna a dveře). Do jednotlivých výkazů byla přidána požadovaná pole (parametry Excelu). Výkazy bylo dále potřeba vyfiltrovat tak, aby se neobjevovaly např. všechny stěny modelu. Následně již stačilo pouze exportovat data jednotlivých výkazů do tabulkového procesoru Excel [3]. Výkazy byly opět pojmenovány podle kritéria *01\_08\_Plochy fasády*.

### Výkaz oken

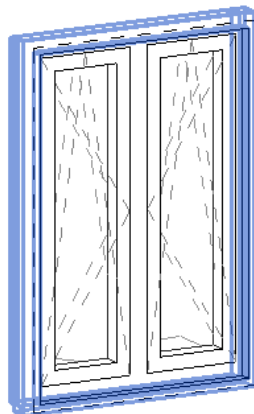
U výkazů oken je potřeba vykazovat velké množství parametrů. Vykazované parametry a způsob jejich získání je uveden v tabulce:

Název parametru	Popis získání	Poznámka
Označení	Využit systémový parametr „Označení“	
Bytová jednotka	Využit sdílený parametr „Bytová jednotka“	
Označení místnosti	Využit systémový parametr „Název místnosti“	
Dosažitelné i bez žebříku	Sdílený instanční parametr pro kategorii oken	Typ Ano/ne
Třída odolnosti	Sdílený instanční parametr pro kategorii oken	Typ číslo
Výška	Využit parametr rodiny „Výška rámu“	
Šířka	Využit parametr rodiny „Šířka rámu“	
Plocha skla	Sdílený instanční parametr rodiny	Vzorec
Délka rámu	Sdílený instanční parametr rodiny	Vzorec
Úhel a		Nezískáno
Úhel b		Nezískáno
Úhel c		Nezískáno
Úhel d		Nezískáno
Materiál rámu	Sdílený instanční parametr rodiny	
Materiál zasklení	Sdílený instanční parametr rodiny	

Tab. 3: Přehled parametrů pro výkaz oken

V případě vykazování parametru *bytová jednotka* a *označení místnosti* nebylo potřeba tyto parametry přidělovat kategorii oken. Výkazy oken umožňují přidávat i pole, které nespádají do kategorie okna (dostupná pole z *místnosti*, *do místnosti*, *informace o projektu*). Parametr tedy stačilo mít přidělený pouze pro kategorii místností. V případě *plochy skla* a *délky rámu* musely být sdílené parametry přidány přímo v rodině, jelikož bylo potřeba stanovit vzorec, kterým se tyto parametry počítají. Vzorec, který byl zadán, není univerzální pro všechny rodiny oken, ale záleží na typu použité rodiny. Délka rámu by se dala také vypočítat přímo ve výkazech funkcí vypočteného parametru, kdy by se spočítal obvod rámu z délky a šířky okna. Toto ale není možné provést v případě, kdy má okno například středový sloupek. Tyto dva parametry (*délka rámu* a *plocha skla*) je tedy potřeba definovat zvlášť pro každou použitou rodinu.

Na obrázku (Obr. 41) je uvedena část vzorce pro použitý typ okna v projektu. V případě plochy skla je vypočtena skutečná plocha skla bez rámu okna a rámu křídla.



Rozměry		
DÉLKA RÁMU (výchozí)	6500.0	= 2 * (Šířka rámu + Výška rámu) + Výška rámu
PLOCHA SKLA (výchozí)	0.877	=(Světlá šířka - 4 * (Výška průřezu křídla - 2 * Výška polodrážky) -

Obr. 41: Parametr délka rámu a plocha skla (výkaz oken)

Pro úhly  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  nebyl zjištěn způsob exportu dat. Úhly jsou vstupy pro kritéria osvětlení. Jedná se konkrétně o úhly, které okno svírá se sousední budovou. V případě vykazování materiálu rámu a materiálu zasklení musely být nahrazeny parametry rodiny sdílenými parametry, aby je bylo možné vykazovat.

Následně byl sestaven výkaz oken s požadovanými parametry. Výkaz byl opět pojmenován podle kritéria, a to s názvem *03\_01\_13\_Výkaz oken*.

### **Prosklené stěny – panely**

Pro kritérium prosklené stěny – panely je potřeba vykazovat parametry:

- *Označení,*
- *Dosažitelnost bez žebříku – typ ano/ne,*
- *Třída odolnosti,*
- *Plocha,*
- *Materiál zasklení.*

V případě parametrů *označení* a *plocha* lze využít systémových parametrů. V ostatních případech bylo opět potřeba zavést sdílený instanční parametr. U parametrů *dosažitelnost bez žebříku*, *třída odolnosti* a *materiál zasklení* stačilo přidat sdílený parametr pro požadovanou kategorii – tedy panely obvodového pláště.

Dále již stačilo sestavit pouze výkaz s požadovanými parametry a pojmenovat dle názvu kritéria v Excelu a to názvem *03\_01\_13\_Prosklené stěny\_panely*.

### **Prosklené stěny - sloupky**

V tomto kritériu jsou požadovanými parametry:

- *Označení,*
- *Délka rámu,*
- *Materiál rámu.*

Toto kritérium není pro export požadovaných dat z Revitu [8] nijak náročné. Pro parametry *označení* a *délka rámu* bylo využito systémových parametrů. Revit totiž sám dokáže spočítat veškerou délku příčlí obvodového pláště. V případě materiálu rámu byl zaveden sdílený parametr pro kategorii *příčle obvodového pláště*.

Poté již stačilo opět sestavit výkaz pro typ *příčle obvodového pláště*. Výkaz byl tentokrát opatřen názvem *03\_01\_13\_Prosklené stěny\_sloupky*.

### **Výkaz materiálů**

Pro kritérium vykazování materiálů je proces získávání dat z Revitu jednoduchý. Všechny požadované parametry (*název materiálu, rodina, typ, objem materiálu a plocha materiálu*) lze získat přímo z Revitu, aniž by bylo potřeba zavádět jakékoliv další parametry.

V tomto případě nebyl vytvořen výkaz množství, ale výkaz materiálů. Ten umožňuje získávat právě objemy a plochy materiálů. Ve výkazu stačilo již nastavit požadovaná pole a exportovat výkaz do Excelu s názvem *03\_01\_Výkaz materiálů*.

### **Výkaz parkovacích stání v garáži**

V tomto kritériu se zohledňují nejen parkovací stání v garážích, ale současně i plochy pro úschovnu kol a kočárků/chodítek. Parametry, požadující kritériem jsou:

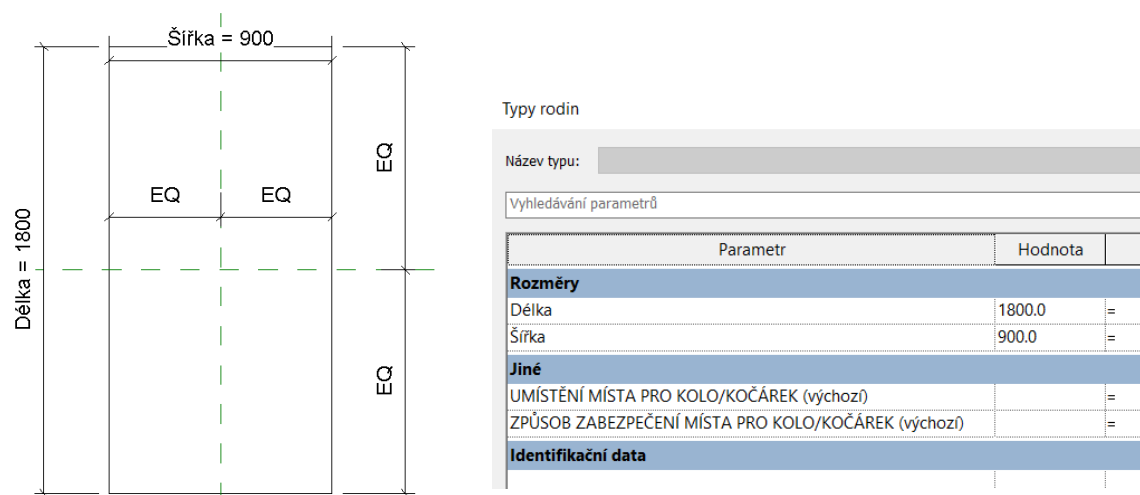
- *Typ (automobil, kolo, kočárek/chodítko),*
- *Umístění místa pro kolo/kočárek,*
- *Způsob zabezpečení místa pro kolo/kočárek,*
- *Počet kusů.*

V případě typu *automobil* se nezadávají hodnoty pro umístění místa pro kolo/kočárek a způsob zabezpečení. V případě parametru *umístění pro kolo/kočárek* a *způsob zabezpečení* se zadávají hodnoty uvedené v nápovědě parametrů pro zadání.

Toto kritérium bylo řešeno pomocí sdílených parametrů *umístění místa pro kolo/kočárek a způsob zabezpečení*. Parametry *typ* a *počet ks* bylo řešeno systémovými parametry. Pro účel tohoto kritéria byly vytvořeny 2D rodiny pro kategorii *Parkoviště*. Samostatné rodiny mají přiřazeny typové parametry *šířka* a *délka* pro změnu rozměrů (tyto parametry nejsou vykazatelné, jelikož byly řešeny jako parametr rodiny). Byly vytvořeny celkem 3 rodiny pro jednotlivé typy (automobil, kočárek, kolo). Ukázka vytvořené rodiny je vidět na obrázku (Obr. 42). Rodiny mají nastaveny parametry *délka* a *šířka* na tyto velikosti:

Typ	Délka	Šířka
Automobil [20]	5,0 m	2,5 m
Automobil-bezbariérové stání [20]	5,0 m	3,5 m
Kolo [17]	1,8 m	0,9 m
Kočárek [17]	1,2 m	0,6 m

Tab. 4: Rozměry stání pro jednotlivé typy



Obr. 42: Vytvořená rodina pro typ plochy: kolo

Jelikož byly všechny rodiny modelovány v kategorii *Parkoviště*, nebyl problém s jejich vykazováním. Pro sestavení výkazu stačilo přidat jednotlivá pole kritérií. Výkaz byl tentokrát pojmenován názvem *04\_01\_Výkaz parkovacích stání v garážích* a následně exportován.



### **Parametry budovy:**

Pro potřeby kritéria *Parametry budovy* je potřeba vykazovat tyto parametry:

Název parametru	Popis získání	Poznámka
Plocha pozemku dle katastru	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	
Počet bytů	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	
Chráněné byty – dveře bez prahů	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Typ Ano/ne
Chráněné byty – povrchy pochozích ploch rovné, pevné, protiskluzné	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Typ Ano/ne
Řešení bezbariérového přístupu	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Číselné zadání
Domovní komunikace – bezbariérové řešení	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Číselné zadání
Ohrožení technickou seismicitou	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Číselné zadání
Využití původní zástavby funkčně	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Typ Ano/ne
Využití původní zástavby symbolicky	Sdílený parametr pro kategorii informace o projektu	Typ Ano/ne

Tab. 5: Přehled parametrů pro parametry budovy

Všechny parametry byly zavedeny pomocí sdíleného parametru pro kategorii *Informace o projektu*. V případě některých parametrů se zadávají číselné hodnoty odpovídající textu v Excelu pro usnadnění zadávání. Přiřazení jednotlivých čísel k textu je uvedeno v Excelu. Jednotlivé položky (textové) nebylo možné zapsat do nápovědy parametru v Revitu, jelikož Revit umožňuje nápovědu pouze o 250 znacích. Jednotlivé hodnoty se vyplňují na kartě Správa – Informace o projektu.

Výkaz byl vytvořen pomocí výkazu vícenásobné kategorie, kde je možné vybrat pole právě pro informace o projektu. Výkaz byl tentokrát opatřen názvem *10\_OX\_Parametry budovy*. Číselná hodnota názvu je pouze informativní, jelikož číselné označení není ve vyhodnocovaném kritériu uvedeno.



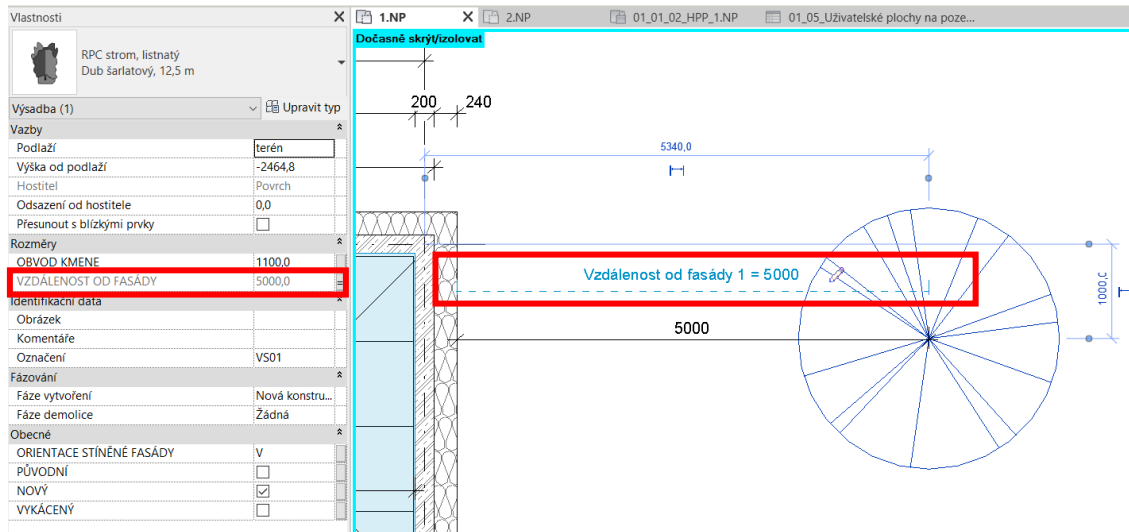
## Výkaz stromů

Pro kritérium výkazu stromů je potřeba vykazovat tyto parametry:

- Označení,
- Obvod kmene,
- Vzdálenost od fasády,
- Plocha vrženého stínu – neřešeno,
- Orientace stíněné fasády,
- Původní – typ ano/ne,
- Nový – typ ano/ne,
- Vykácený – typ ano/ne.

V tomto případě bylo kromě parametru *označení* (systémový parametr) potřeba zavést všechny ostatní parametry pomocí sdíleného parametru.

Sdílené parametry byly zavedeny jako instanční pro kategorii *Výsadba*. V případě parametru *vzdálenost od fasády* byl parametr asociován globálním parametrem. Tento globální parametr byl přiřazen vždy kótě, která ukazuje vzdálenost středu stromu od fasády. Globálních parametrů je tedy potřeba tolik, kolik je hodnocených stromů. Vždy je potřeba asociovat globální parametr pro každý strom zvlášť. Asociovaný globální parametr je ukázán na Obr. 43.



Obr. 43: Asociovaný globální parametr pro vzdálenost od fasády

V případě obvodu kmene, byl obvod přímo vpisován do příslušného pole. Řešením by také bylo vytvoření nové rodiny s přiděleným parametrem, který by umožňoval změnu obvodu (průměru) kmene. V případě parametru *plocha vrženého stínu* se nepodařilo získat exportovatelná data.

Výkaz byl vytvořen pro kategorii *Výsadba* a identifikován názvem *10\_0X\_Výkaz stromů*.

### Výkaz dveří

Metodika má v oblasti výkazu dveří požadavky na velké množství parametrů. Pro přehlednost jsou všechny požadované parametry a jejich způsob získávání zobrazeny v tabulce.

Název parametru	Popis získání	Poznámka
Označení	Využit systémový parametr <i>Označení</i>	
Umístění	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	
Dosažitelnost	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	
Třída odolnosti	Sdílený instanční parametr pro kategorii oken a dveří	
Světlá šířka dveří	Využit parametr rodiny <i>Světlá šířka</i>	
Ovládané čipově s dostatečnou kapacitou	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne
Vstup do objektu má šířku alespoň 1250 mm. Hlavní křídlo dvoukřídlých dveří umožňuje otevření nejméně 900 mm	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne
Otevíravá dveřní křídla jsou ve výši 800 až 900 mm opatřena vodorovnými madly přes celou jejich šířku nebo automaticky ovládané dveře s čidlem nebo tlačítkem	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne
Dveře jsou zaskleny od výšky 400 mm nebo jsou chráněny proti mechanickému poškození vozíkem	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne
Zámek dveří je umístěn nejvýše 1000 mm od podlahy	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne
Klika je umístěna nejvýše 1100 mm od podlahy	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne
Prosklené dveře, jejichž zasklení zasahuje níže než 800 mm nad podlahou, jsou ve výšce 800 až 1000 mm a zároveň ve výšce 1400 až 1600 mm kontrastně označeny	Sdílený instanční parametr pro kategorii dveří	Typ Ano/ne

Tab. 6: Přehled parametrů pro výkaz dveří

Většina položek byla řešena pomocí sdíleného instančního parametru.

Výkaz byl vytvořen pro kategorii dveří a obsahuje název *10\_0X\_Výkaz dveří*, jelikož číselné označení struktura metodiky opět neuvádí. [17]

### 3.3.5. Export dat

Pro usnadnění exportování velkého množství výkazů byl opět pro účely tohoto hodnocení vytvořen skript pomocí doplňkového softwaru Revit (Dynamo) [8, 15]. Tato rozpracovaná metodika obsahuje zatím 17 výkazů, v případě kopírování jednotlivých výkazů do jednotlivých listů v programu Excel, je tato práce velmi zdlouhavá a náročná z hlediska chyb. Pokud budou dodrženy názvy listů a struktura v souboru Excel a současně bude dodržena struktura a název výkazů v Revitu, nebude potřeba do tohoto skriptu nijak zasahovat a bude stačit pouhé jeho spuštění. Následně proběhne export dat do všech posuzovaných kritérií. Celý Dynamo skript je uveden v příloze D této práce. [16]

### 3.3.6. Vyhodnocení generovaných dat

Většinu parametrů, které požaduje metodika SBToolCZ je možné získat. Data byla získatelná většinou pomocí sdílených parametrů. Některé parametry se však nepodařilo získat, jelikož nebyla nalezena smysluplná cesta, jak na tyto parametry přijít (např. *Plocha vrženého stínu* u výkazu stromů). Je ale potřeba uvést, že nebyla získávána všechna data, jelikož metodika BIMIP ještě není dokončena a stále se vyvíjí. Struktura pro generování dat tedy nebyla kompletní. Proces exportu dat do prostředí Excel výrazně urychlil Dynamo skript.

## 3.4. Model TZB

Prostřednictvím BIM softwaru Revit [8] bylo modelováno veškeré vzduchotechnické potrubí včetně distribučních prvků a mechanických zařízení. V případě vytápění, vodovodu a kanalizace byla vymodelována hlavní stoupačí potrubí a ostatní rozvody zakresleny pouze schematicky, čárově.

Byl vytvořen nový soubor modelu, do kterého byl připojen soubor architektonického modelu. Veškeré vzduchotechnické potrubí má navrženo dimenze dle požadovaného průtoku vzduchu a rychlosti. V případě mechanických zařízení byly vytvořeny rodiny lokálních vzduchotechnických jednotek s příslušnými konektory a rozměry dle výrobce. Dimenze ostatních profesí byly odhadnuty.

## 4. Environmentální analýza

Součástí této kapitoly bylo provést vyhodnocení jednotlivých modelovaných variant z environmentálního hlediska. Cílem této části bylo porovnat jednotlivé navržené konstrukční a materiálové varianty. V této environmentální analýze bylo postupováno podle metodiky SBToolCZ. Metodika SBToolCZ je národním certifikačním nástrojem, který se nezabývá pouze environmentálním hodnocením, ale hodnotí budovu komplexně. Zabývá se posuzováním a certifikací v oblasti environmentální, sociální, ekonomické a lokality, ve které se objekt vyskytuje. Tato analýza se věnuje třem environmentálním kritériím z metodiky SBToolCZ. Konkrétně se jedná o tato kritéria [14]:

- E.01 – Spotřeba primární energie (výrobní fáze),
- E.02 – Potenciál globálního oteplování (výrobní fáze),
- E.03 – Potenciál okyselování prostředí (výrobní fáze).

Jelikož je hodnocení velmi složité hlavně ve fázi životního cyklu, která následuje po fázi výroby materiálu, jsou v této práci hodnoceny pouze dvě fáze, konkrétně fáze těžby surovin a fáze výroby materiálu. Vstupem pro hodnocení této fáze jsou především výkazy výměr jednotlivých typů konstrukcí.

Pro přiřazení jednotlivých environmentálních hodnot je využita databáze stavebních materiálů a konstrukcí Envimat. Cílem databáze Envimat je poskytovat environmentální údaje o českých výrobcích. [21]

### 4.1. Okrajové podmínky

Pro zpracování analýzy musely být stanoveny některé okrajové podmínky. Jedná se zejména o vykazované konstrukce/materiály. Metodika SBToolCZ rozděluje konstrukce do několika kategorií. V následující tabulce je uvedeno, které kategorie byly zahrnuty v analýze a které nikoliv. [14]

Kategorie, které nejsou součástí analýzy, jsou ve všech variantách téměř identické a není potřeba je mezi sebou porovnávat. Součástí analýzy není ani lehký obvodový plášť na severní fasádě (ve všech variantách stejný), jelikož lehký obvodový plášť nebyl do detailu navrhován a výsledky by byly zkreslující.

Z důvodu porovnání jednotlivých konstrukčních a materiálových variant bylo přistoupeno ke sjednocení materiálů tepelných izolací pro všechny varianty. Pokud by na každé variantě byl použit jiný materiál tepelné izolace, nebyly by výsledky konstrukčních variant porovnatelné. Typy tepelných izolací byly posuzovány až na vybrané konstrukční variantě v oddělené analýze.

Kategorie [14]	Zahrnuto v analýze?
Základové konstrukce	ANO
Hydroizolace	ANO
Podsypy, zásypy (dovezená z místa mimo stavbu)	NE
Nosná svislá a vodorovná konstrukce, včetně konstrukcí předsazených	ANO
Nosná konstrukce střešního pláště a střešní plášť	ANO
Konstrukce schodiště	ANO
Zábradlí	NE
Vnitřní dělicí konstrukce (příčky)	ANO
Nenosné obvodové pláště	ANO
Povrchové úpravy (bez malby a nátěrů)	ANO
Finální nášlapné vrstvy podlah	ANO
Otvorové výplně	ANO
Tepelné a akustické izolace	ANO
Systémy TZB	NE
Klempířské prvky	NE

Tab. 7: Hodnocené kategorie

V případě, že pro materiál neexistovala data dostupná z databáze Envimat, nebyl tento materiál do celkové analýzy zahrnut. Konkrétně se jedná například o některé druhy tepelných izolací nebo geotextilií, které mají ovšem ve všech modelech téměř stejný objem a nezakreslují tím výsledky analýzy. [21]

## 4.2. Hodnotící kritéria

- Vlastní hmotnost konstrukce [kg],  
celková hmotnost všech materiálů v celém objektu.
- Svázaná spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů [MJ] – PEI,  
v případě těžby surovin a následné výrobě materiálů dochází ke spotřebě určitého množství energie. Energie, která je přímo odebírána z přírody se nazývá primární energie. [22]
- Svázaná produkce emisí CO<sub>2</sub> [kg CO<sub>2,ekv</sub>] – GWP,  
zohledňuje produkci skleníkových plynů při těžbě dané suroviny a výroby stavebního materiálu. Důsledkem je zesilování skleníkového efektu a následné globální oteplování. [22]

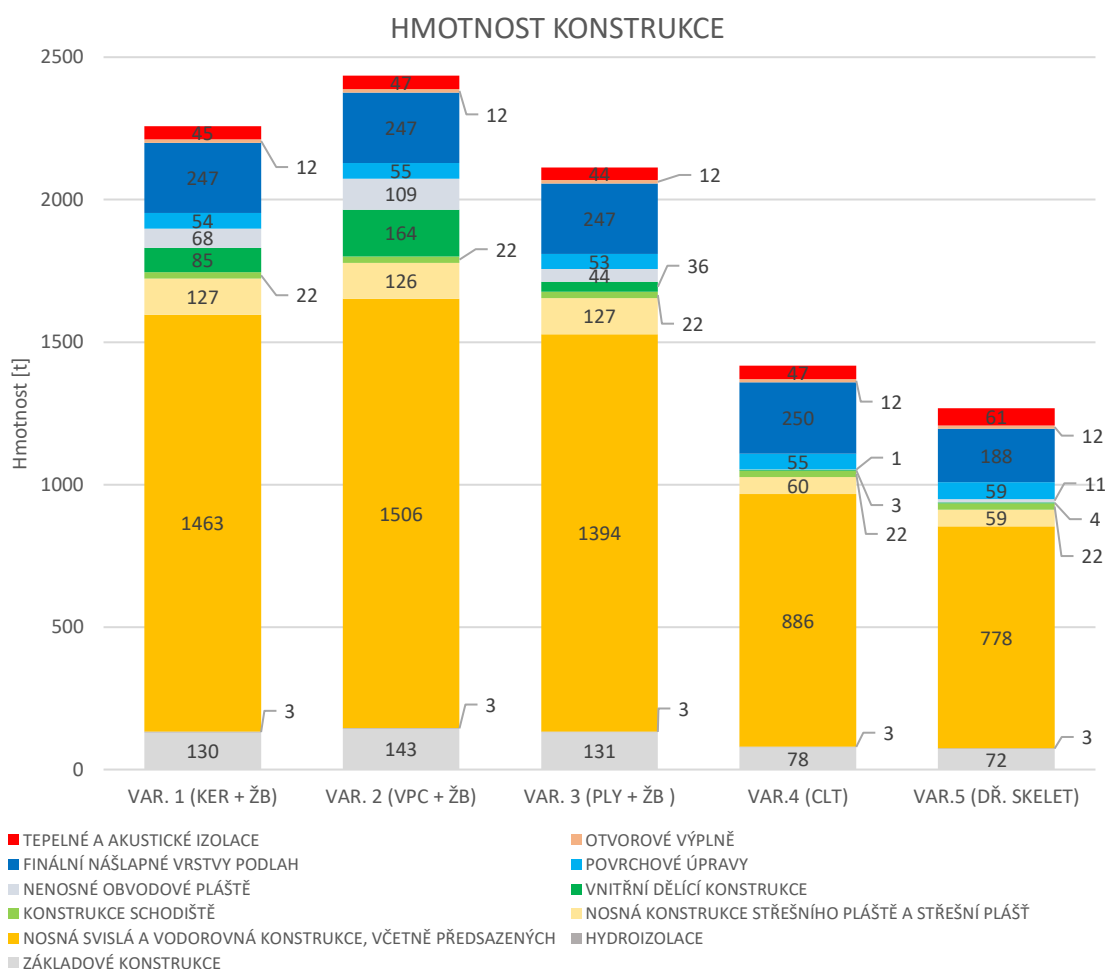


- Svázaná produkce emisí  $\text{SO}_2$  [ $\text{kg SO}_{2,\text{ekv}}$ ] – AP, zohledňuje produkci oxidu siřičitého vznikajícího při těžbě dané suroviny a výroby stavebního materiálu. Důsledkem je okyselování prostředí, které se projevuje kyselými dešti. [22]
- Obnovitelné a neobnovitelné materiály [kg], množství určující výskyt obnovitelných a neobnovitelných materiálů v celém modelu. [22]

### 4.3. Vyhodnocení variant

Po exportování výkazů výměr do softwaru Excel [3] všech variant došlo prostřednictvím Excelu k přiřazení environmentálních jednotkových hodnot ke každému materiálu. Excel byl naprogramován tak, že stačilo pouze do příslušné buňky zadat přesný název materiálu z databáze Envimat [21], a Excel sám přiřadil veškeré jednotkové environmentální parametry z databáze Envimat [21]. Pokud nebyl nalezen konkrétní materiál, byl použit materiál, u kterého je podobný proces výroby. Dále bylo nutné přidat životnost jednotlivých materiálů. To ovšem probíhalo ručně, jelikož ne vždy byla pro určitý materiál pouze jedna životnost. Následně došlo k přenásobení objemové hmotnosti materiálu a celkového objemu (případně plošné hmotnosti a plochy v případě hydroizolací), tak byla získána hmotnost, která je základní měrnou jednotkou pro přenásobení jednotkových environmentálních hodnot. Po automatickém vypočítání celkových environmentálních hodnot došlo k porovnávání dat pomocí vytvořených grafů.

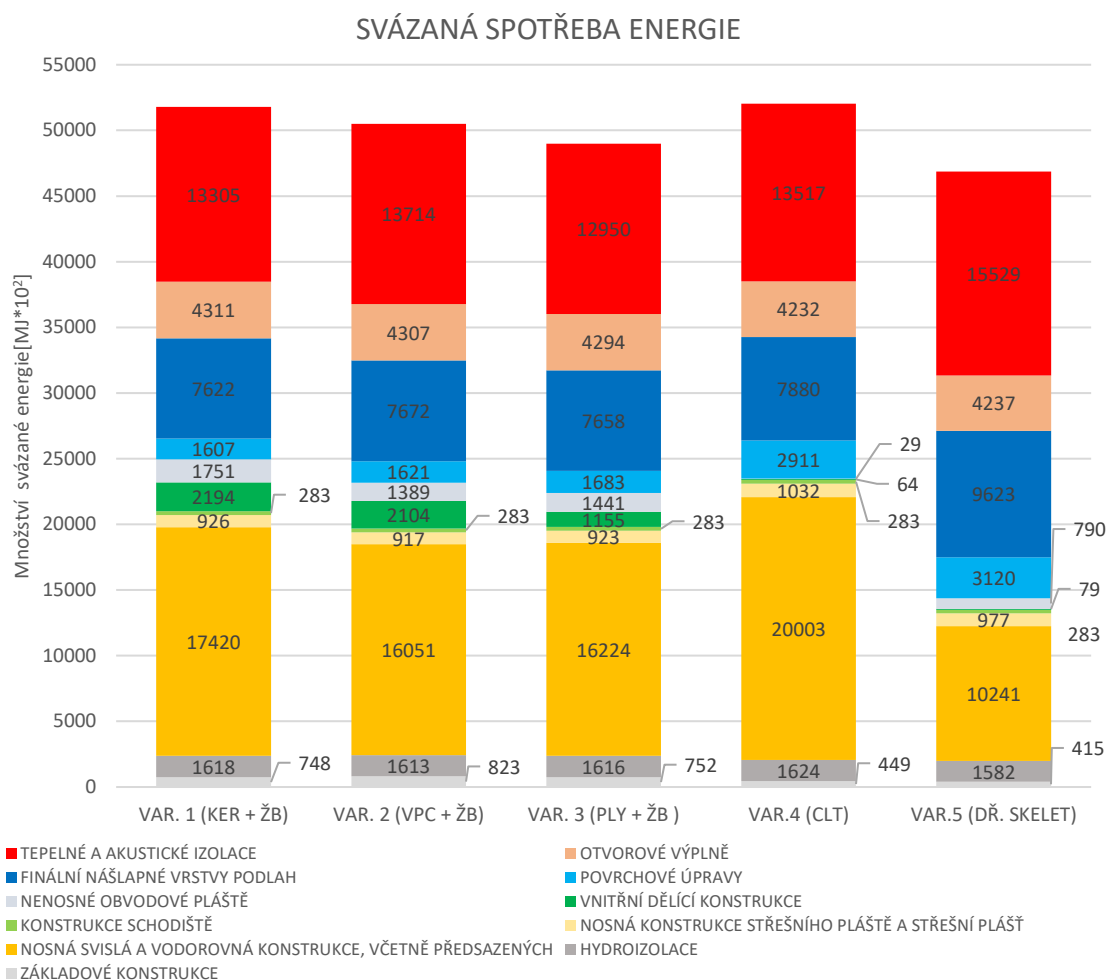
Pro přehlednost práce jsou v této kapitole uvedeny pouze výsledné grafy. Vždy jsou uvedeny dva grafy (kromě hmotností) pro určité hodnotící kritérium. První graf znázorňuje environmentální zatížení bez zohlednění životnosti a druhý graf už zahrnutou životnost materiálu. K tomuto systému bylo přistoupeno z důvodu možných chyb při určování životnosti jednotlivých materiálů. Oba grafy znázorňují vždy příslušnou environmentální zátěž rozdělenou do kategorií přesně podle metodiky SBToolCZ. Výkazy výměr a doplňkové grafy jsou uvedeny v příloze C. [14]



Graf 4: Celková hmotnost konstrukce

Na grafu hmotností (Graf 4) jednotlivých variant vidíme, že dřevěné varianty (varianta 4 a varianta 5) jsou zhruba o 40-45 % lehčí než ostatní zděné konstrukce. Rozdíl je způsoben hlavně kategorií nosných svislých a vodorovných konstrukcí a také konstrukcemi základů. U varianty CLT je to způsobeno nízkou objemovou hmotností dřeva a také celkovým objemem použitého dřeva pro nosné konstrukce. U varianty těžkého skeletu jsou nízké hodnoty způsobeny změnou konstrukčního systému ze stěnového na skeletový, kdy v případě svislých nosných konstrukcí jsou zde pouze nosné sloupy, a obvodový plášť je zde řešen jako nenosný a spadá do jiné kategorie.

U varianty těžkého dřevěného skeletu dochází ke snížení hmotnosti ještě v oblasti podlahových vrstev. To je dáno použitím lehké plovoucí podlahy oproti ostatním variantám, kde jsou podlahy klasifikovány jako plovoucí těžké. V případě variant 1-3 jsou všechny kategorie téměř stejné. K mírným rozdílům dochází v kategorii nosných svislých a vodorovných konstrukcí, kdy varianta z vápenopískových bloků má nejvyšší hmotnost vzhledem k objemové hmotnosti tohoto materiálu.

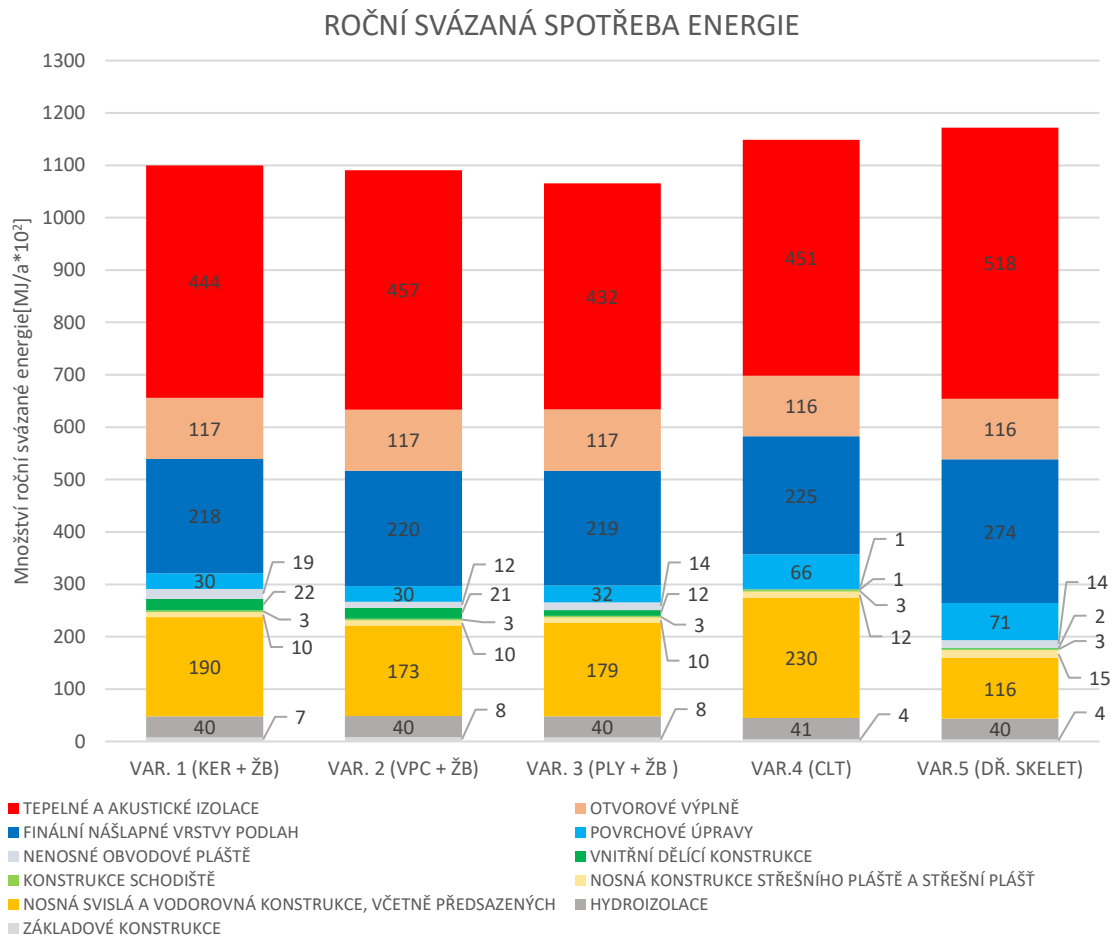


Graf 5: Svázaná spotřeba energie

Na dalším grafu (Graf 5) vidíme rozdíly všech konstrukčních a materiálových variant v případě hodnocení svázané spotřeby energie (bez zohlednění životnosti). O výsledcích lze říci, že mezi variantami neexistuje žádný extrémní rozdíl a lze je považovat za porovnatelné. Nejvyšší hodnoty svázané spotřeby energie bez zohlednění životnosti se projevují ve variantách 1 (keramika+žb) a 2 (CLT). Varianta CLT je sice navržena z přírodního obnovitelného materiálu, ale výroba samostatných panelů je doprovázena energeticky náročnými procesy, a proto není tato varianta až tak environmentálně šetrná.



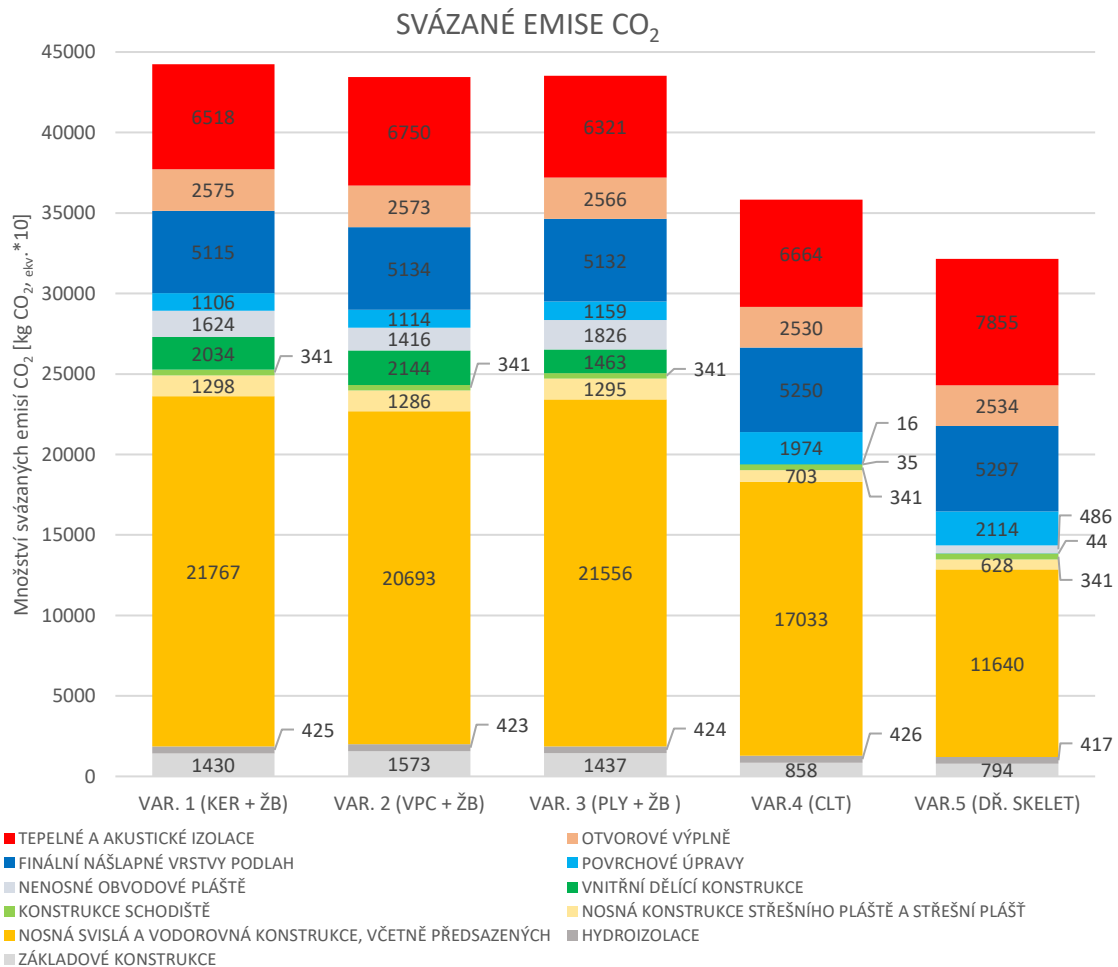
Nejmenší svázanou spotřebu primární energie můžeme vidět v případě dřevěného těžkého skeletu, kdy jsou hodnoty o téměř 10 % nižší než u variant 1 a 2. Velký podíl z hlediska kategorií zaujímají nosné konstrukce a tepelné izolace včetně akustických.



Graf 6: Roční svázaná spotřeba energie

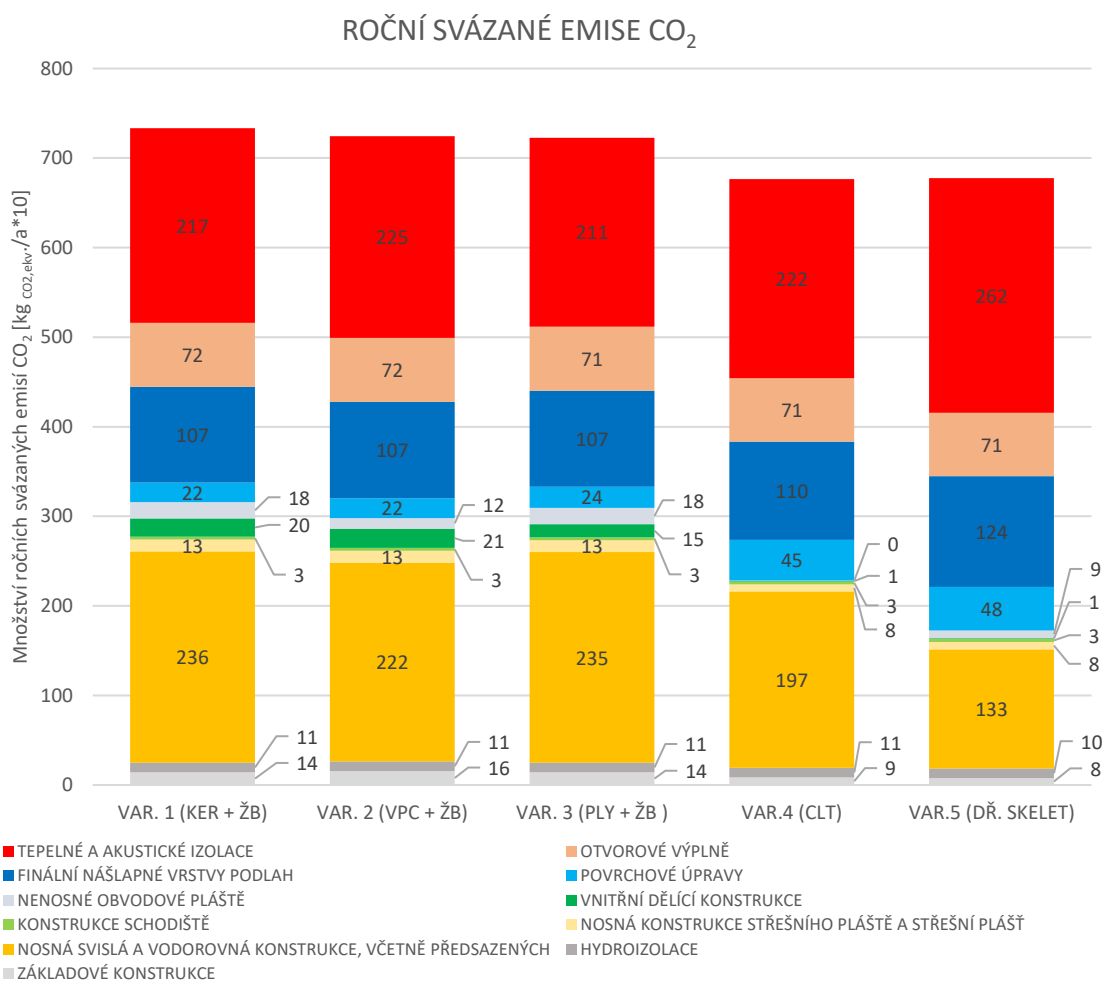
Pokud zohledníme životnosti všech použitých materiálů (Graf 6), můžeme pozorovat téměř podobný průběh jako u svázané spotřeby energie bez zohlednění životnosti. Jediným rozdílem je zde varianta těžkého skeletu, kdy nárůst hodnot způsobuje kategorie podlahového souvrství. To je způsobeno použitím lehké podlahy a záklopu z OSB. Materiál OSB má oproti betonové mazanině, která je použita v ostatních variantách, poloviční životnost a tím vyšší hodnoty. Rozdíly mezi jednotlivými variantami se pohybují kolem 6 %, což lze považovat za téměř shodné vyhodnocení.

Dalším hodnotícím kritériem jsou svázané emise CO<sub>2</sub> (Graf 7). V tomto případě můžeme vidět výhodu v použití dřevěných konstrukcí. Hodnoty u dřevěných variant jsou o téměř 20-30 % nižší než u klasických zděných konstrukcí z tradičních materiálů. Je to způsobeno především menším objemem nosných materiálů než samotnými jednotkovými parametry CO<sub>2</sub>. Například pokud porovnáme hodnoty jednotkové svázané spotřeby energie u CLT panelu a u plynosilikátových tvarovek, tak vidíme, že hodnoty jsou téměř shodné. Pokles můžeme pozorovat také v případě konstrukcí příček, kdy se opět používá menší množství materiálu (dřevěná kostra + tepelná izolace). V této kategorii ovšem mohou být výsledky zavádějící, jelikož například tepelná izolace mezi roštem a následné opláštění sádrovláknitými deskami jsou umístěny v jiné kategorii. První tři varianty jsou opět téměř shodné z hlediska svázaných emisí CO<sub>2</sub>. Největších hodnot dosahuje varianta z keramických bloků a železobetonových monolitických stropů.



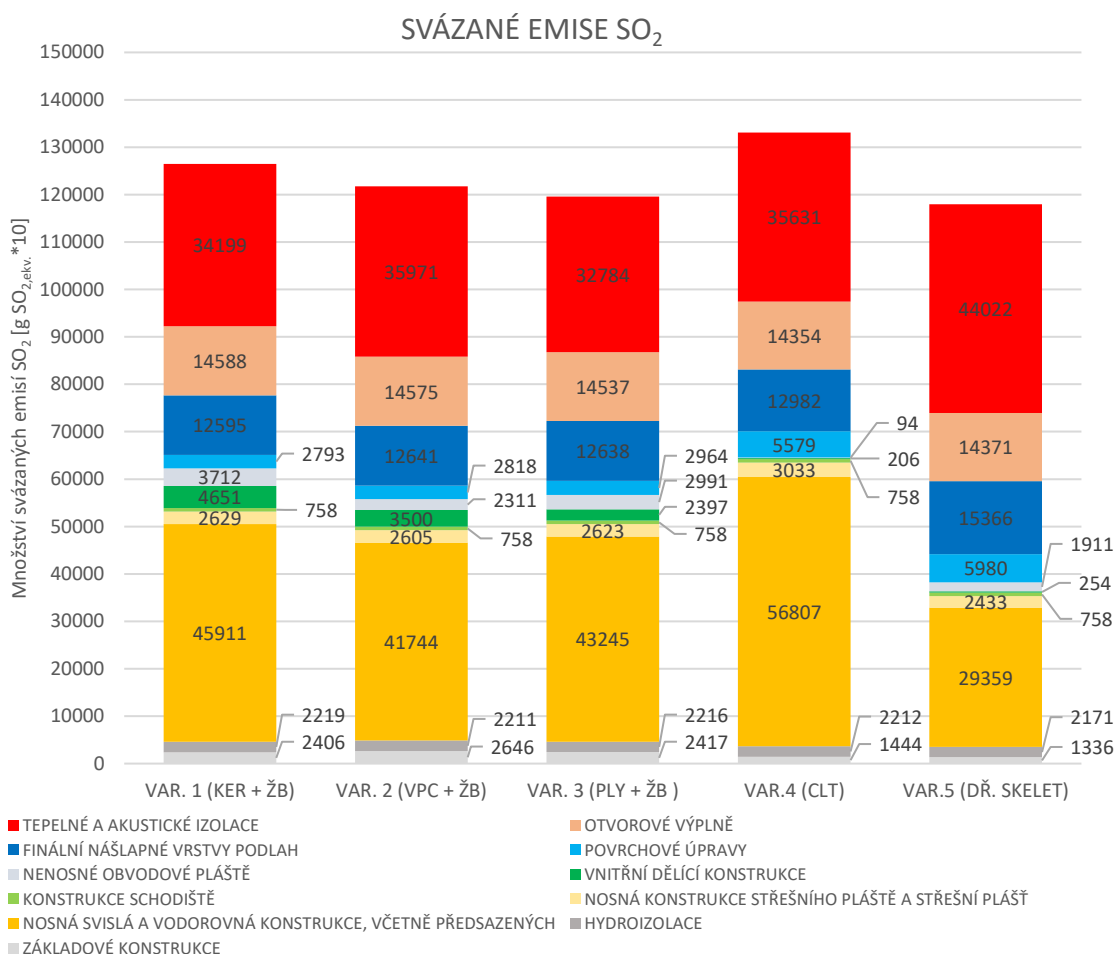
Graf 7: Svázané emise CO<sub>2</sub>

Pokud opět zohledníme životnost materiálů, už v tomto případě nejsou až tak velké rozdíly mezi variantami. Je to opět způsobeno materiály na bázi dřeva, především konstrukcí příček, povrchových úprav a v případě skeletového systému i podlahového souvrství, jelikož dřevěné materiály použité v těchto kategoriích mají někdy i poloviční životnost oproti klasickým zděným příčkám. Rozdíly v hodnotách u svázaných emisí CO<sub>2</sub> včetně zohlednění životnosti jsou maximálně 8 % oproti nejnepříznivější variantě. Výsledky můžeme vidět na grafu níže (Graf 8).



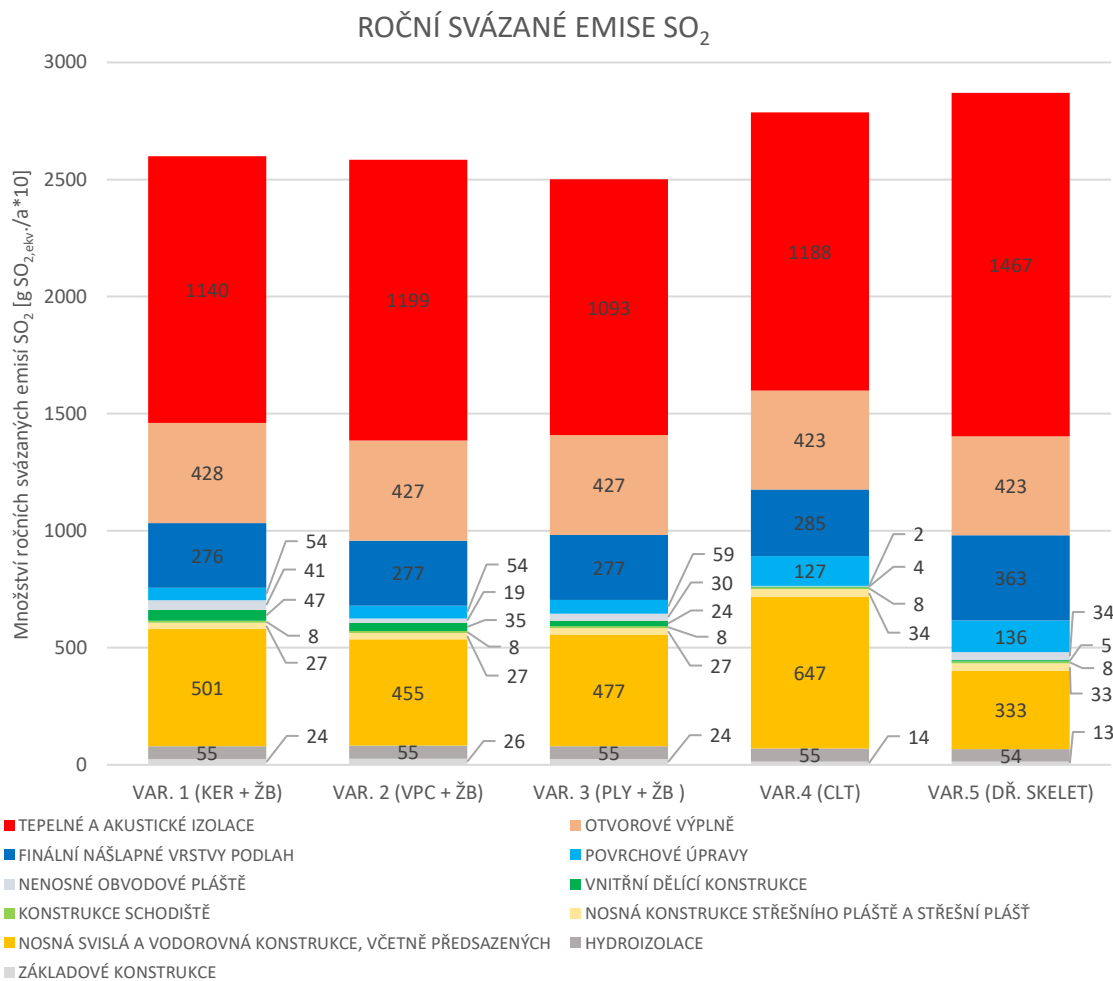
Graf 8: Roční svázané emise CO<sub>2</sub>

V případě hodnocení kritéria svázaných emisí SO<sub>2</sub> můžeme na grafu níže (Graf 9) vidět, že nejvyšších hodnot dosahuje varianta skládající se z dřevěných CLT panelů. Toto je způsobeno jednotkovými hodnotami svázaných emisí SO<sub>2</sub> právě u samotného CLT panelu, kdy oproti například keramickým blokům jsou jednotkové hodnoty 4x vyšší. Za poměrně vysoké hodnoty může náročná výroba lepených panelů. Rozdíly mezi jednotlivými variantami opět nejsou nijak extrémní a pohybují se v odchylce kolem 7 %. Nejlepší variantou v tomto případě je varianta dřevěného skeletu.



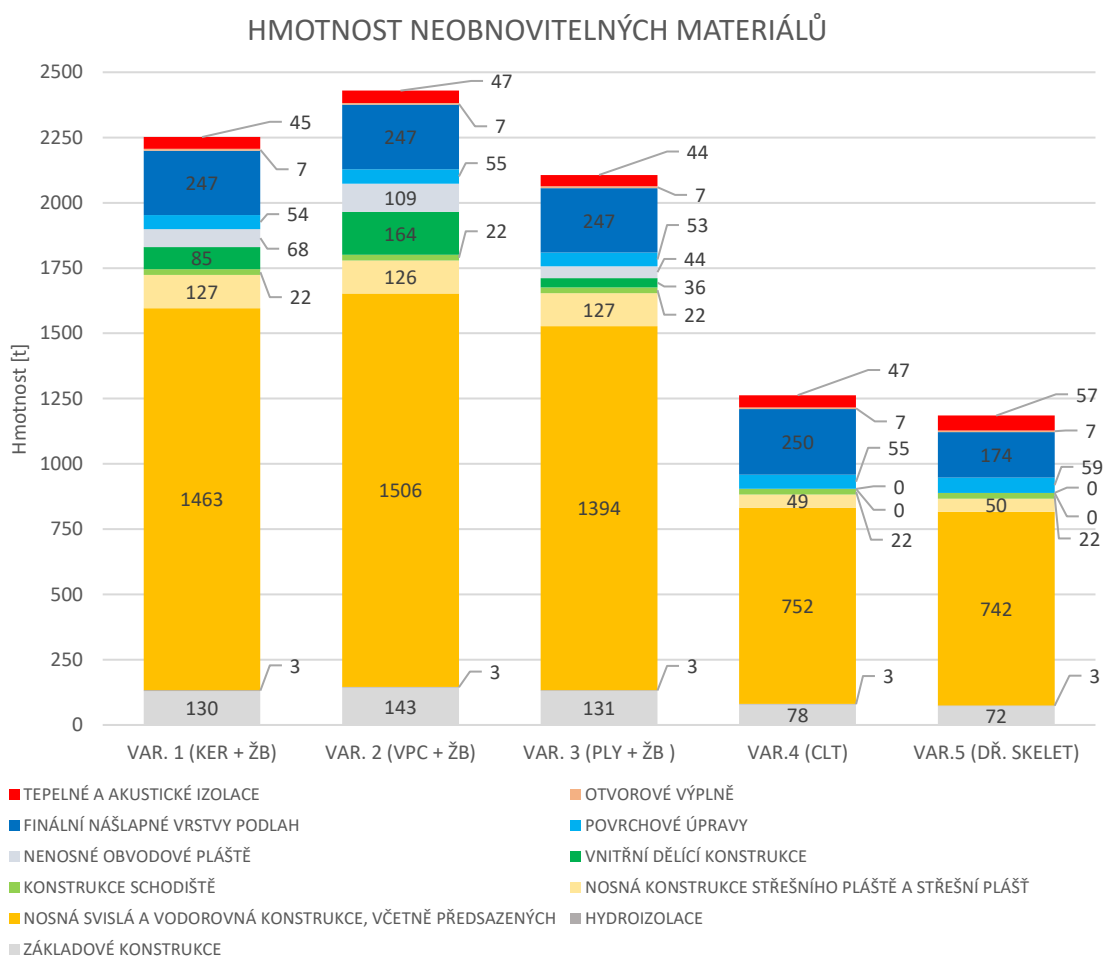
Graf 9: Svázané emise SO<sub>2</sub>

Při zohlednění životností všech použitých materiálů vidíme opět stejný případ jako v předchozím kritériu, kdy opět nejhůře vychází varianta těžkého dřevěného skeletu, a to opět ze stejných důvodů jako v předešlém kritériu. V tomto případě lépe vycházejí varianty z klasických zdicích materiálů. Rozdíly mezi variantami opět nejsou nijak extrémní a pohybují se opět do 10 %. Výsledné hodnoty jsou znázorněny na grafu dále (Graf 10).



Graf 10: Roční svázané emise SO<sub>2</sub>

V dalším kritériu bylo zohledňováno využití obnovitelných/neobnovitelných materiálů v konstrukci. Zde jsou logicky nižší hodnoty na straně dřevěných konstrukcí. Nejlépe vychází varianta z dřevěného těžkého skeletu, ovšem dá se říct, že je téměř shodná s variantou z CLT. Oproti zděným variantám je hmotnost použitých neobnovitelných materiálů skoro poloviční. Hodnoty se liší samozřejmě v kategorii nosných konstrukcí. Ostatní kategorie nejsou tak rozdílné. V případě porovnání pouze dřevěných variant, můžeme na grafu vidět, že rozdíl není v nosné konstrukci, ale především v podlahovém souvrství. To je dáno opět použitím lehké plovoucí podlahy a záklopu z OSB desek u varianty těžkého skeletu oproti těžké plovoucí podlaze ve variantě CLT. Hmotnosti neobnovitelných materiálů viz Graf 11.



Graf 11: Hmotnost neobnovitelných materiálů

#### 4.4. Výběr výsledné varianty

Z předchozích grafů lze usoudit, že rozdíly mezi jednotlivými navrženými variantami nejsou až tak extrémní. Větší rozdíly jsou vidět pouze v případě porovnávání variant z hlediska neobnovitelných materiálů, svázaných emisí CO<sub>2</sub> a hmotnosti konstrukce. V těchto kritériích se lépe jeví použití některého z dřevěných konstrukčních systémů, ovšem tyto varianty měly vyšší hodnoty v případě hodnocení svázaných emisí SO<sub>2</sub>. V případě porovnání pouze zděných variant nedochází k téměř žádným rozdílům.

Jako výsledná varianta, která bude dále zpracovávána je varianta 2, tedy stěnový konstrukční systém z vápenopískových bloků s železobetonovými monolitickými stropy. Tato varianta byla vybrána z několika důvodů. Bloky disponují vysokou pevností zdiva a je možné je použít i v menších tloušťkách, což je u bytových domů žádoucí z hlediska užité podlahové plochy.

Další výhodou je výborná akumulace tepla oproti ostatním navrhovaným variantám. Mezi důležité aspekty při návrhu tohoto typu objektu je důležité řešit akustické vlastnosti stěn. Z tohoto hlediska se jedná o ideální materiál a není potřeba řešit žádná další opatření. Bylo uvažováno i s variantou plynosilikátového zdiva, které se environmentálně jevílo lépe než vápenopískové bloky, ale z hlediska akustiky a únosnosti bylo od této varianty ustoupeno. Bylo uvažováno i nad variantou z CLT panelů, ale v tomto případě by musela být dodatečně řešena akustika mezibytových stěn a také instalační předstěny pro elektrické rozvody po celém plášti budovy. V případě těžkého skeletu, který vyšel environmentálně nejlépe, nebylo k této variantě přistoupeno z hlediska velkého množství spojovacích prvků a řešení systémů parozábran a hydroizolací. Největším nedostatkem u dřevěných variant bylo řešení balkonových konstrukcí, kdy nebylo možné zachovat stávající architektonický vzhled jižní fasády, a musela být navržena dodatečná podpůrná konstrukce.

#### 4.5. Optimalizace tepelné izolace

Jak můžeme vidět na předchozích grafech jednotlivých posuzovaných kritérií, tak tepelná izolace má na tvorbě svázaných emisí a energií značný podíl společně s nosnou konstrukcí. V předchozích variantách byla na fasádě vždy použita tepelná izolace ve formě čedičové vlny. V této části proběhne porovnání různých typů izolací pro zateplení fasády na vybrané variantě konstrukčního řešení.

Pro analýzu tepelných izolací bylo vybráno 7 materiálů, které lze použít ve formě tuhých desek jako kontaktní zateplovací systém. Konkrétně byly tepelné izolace analyzovány v těchto oblastech:

- hmotnost,
- svázaná spotřeba energie,
- svázané emise CO<sub>2</sub>,
- svázané emise SO<sub>2</sub>,
- hmotnost neobnovitelných materiálů,
- tloušťka tepelné izolace,
- cena.

Nejprve byly tepelné izolace posuzovány pouze se zohledněním environmentálních parametrů. Poté proběhla multikritériální analýza, kdy k jednotlivým kritériím byly přiřazovány body a váhy podle různých důležitostí.

Pro analýzu byly vybrány izolace od konkrétního výrobce kvůli určení objemových hmotností, součinitele tepelné vodivosti a ceny. Aby byly výsledky jednotlivých tepelných izolací mezi sebou porovnatelné, bylo nutné počítat se stejným součinitelem prostupu tepla, tudíž jednotlivé typy se liší v tloušťkách izolace. V tabulce níže (Tab. 8) je uveden materiál a současně obchodní název, součinitel tepelné vodivosti a objemová hmotnost jednotlivých typů materiálů.

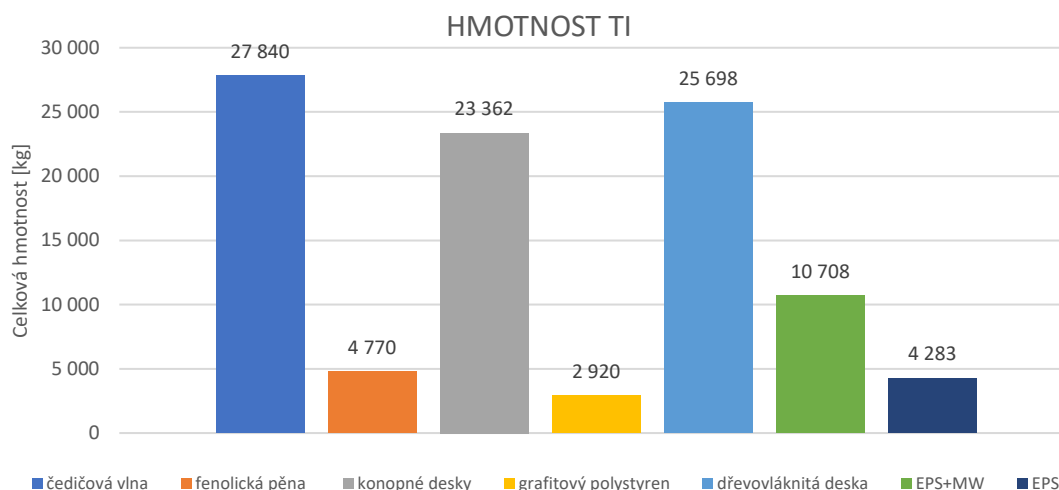
Typ materiálu	Obchodní název	Souč. tep. vodivosti [W/(m*K)]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čedičová vlna	Isover TF Profi	0,037	130
Fenolická pěna	Kingspan Kooltherm K5	0,021	35
Konopné desky	Hanf Wall	0,039	100
Grafitový polystyren	Isover EPS Greywall	0,033	15
Dřevovláknitá deska	Steico Protect Dry	0,039	110
Expandovaný polystyren s minerální vatou	Isover Twinner	0,035	50
Expandovaný polystyren	Styrotrade EPS 100F	0,037	20

Tab. 8: Přehled posuzovaných tepelných izolací

V případě hodnocení environmentálních parametrů byl problém se získáním jednotkových hodnot svázaných energií a emisí. V tomto případě nebylo možné použít databázi Envimat, která neobsahuje údaje například o konopných deskách a fenolické pěně. V tomto případě bylo přistoupeno k rakouské databázi výrobků *Baubook*. Hodnoty sice nejsou přesné pro Českou republiku, ale pokud byly porovnány např. tepelné izolace z expandovaného polystyrenu, nedocházelo mezi jednotkovými hodnotami energií a emisí téměř k žádným rozdílům. Současně databáze obsahuje všechny typy izolací, které jsou uvedeny v tabulce, kromě izolace složené z expandovaného polystyrenu a minerální vaty. Hodnoty v tomto případě byly zprůměrovány na základě podílu objemů. [23]

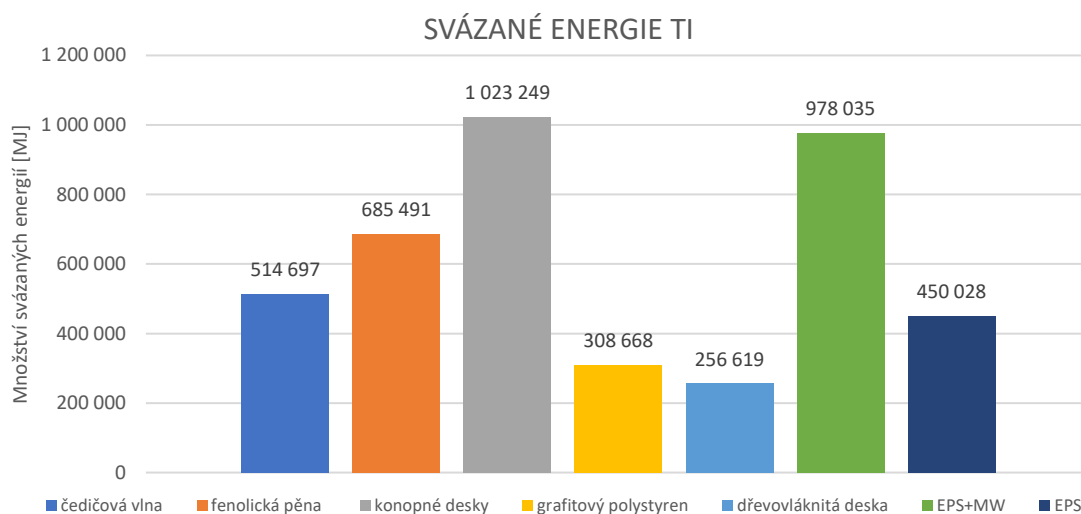


Jako prvním kritériem pro porovnání byla celková hmotnost tepelné izolace na fasádě. Nejvyšší hodnoty (Graf 12) můžeme vidět v případě čedičové vlny, konopných desek a dřevovláknité tuhé izolace. Je to dáno především vysokou objemovou hmotností a tloušťkou izolace. Z hlediska celkové hmotnosti se nejlépe jeví varianta z fenolické pěny, grafitového polystyrenu a expandovaného polystyrenu.



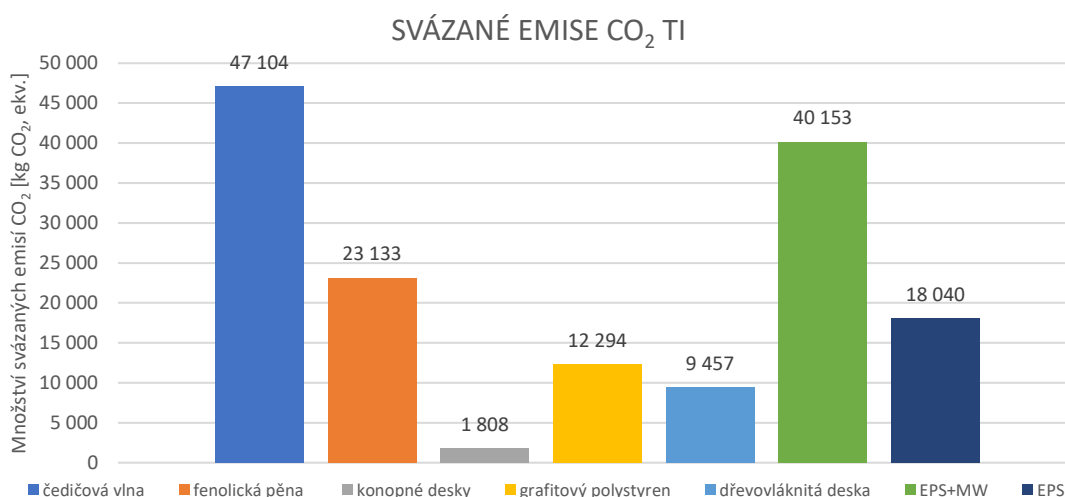
Graf 12: Hmotnosti tepelných izolací

Dalším posuzovaným kritériem je množství svázaných energií. V tomto případě není zohledněna životnost materiálů. Nejvyšších hodnot dosahují konopné desky a kombinace expandovaného polystyrenu a minerální vaty (obch. název Twinner). V případě konopných desek nezpůsobují příliš vysoké hodnoty jednotkové svázané energie, ale spíše vysoká celková hmotnost. V případě Twinneru mohou za vysoké hodnoty kombinace obou faktorů (celková hmotnost a poměrně vysoké jednotkové hodnoty). Mezi nejlepší varianty patří tepelná izolace z grafitového polystyrenu a dřevovláknitých desek. V případě grafitového polystyrenu se nejedná o příliš šetrnou variantu k životnímu prostředí, jelikož jednotkové hodnoty energií jsou jedny z nejvyšších. Tuto skutečnost kompenzuje nízká celková hmotnost. Jako environmentálně nejšetrnější lze brát izolaci z dřevovláknitých vláken, která dosahuje nejnižších jednotkových hodnot svázaných energií, ale je tu naopak vyšší celková hmotnost. Výsledky jsou uvedeny v grafu níže (Graf 13).



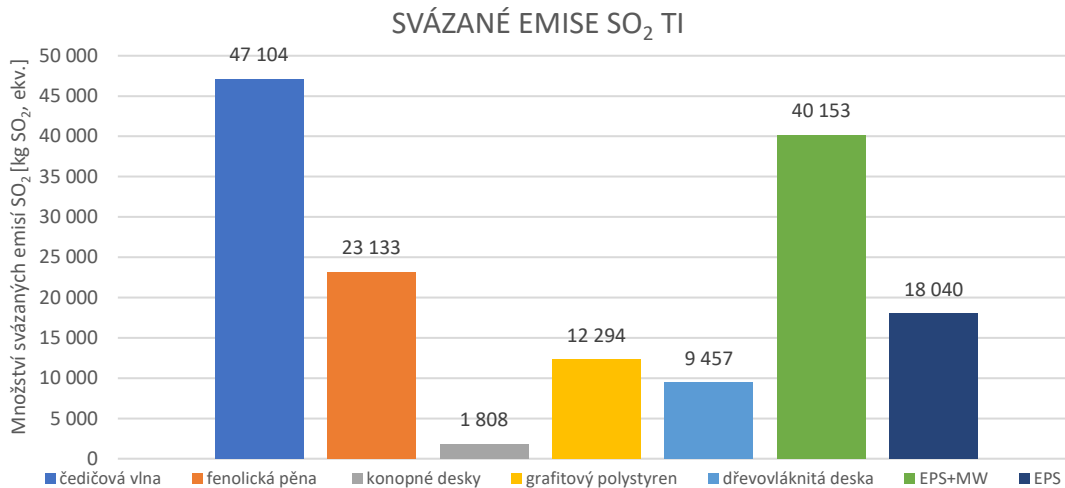
Graf 13: Svázaná spotřeba energie tepelných izolací

Mezi další environmentální kritérium patří množství svázaných emisí CO<sub>2</sub>. V tomto případě vidíme (Graf 14), že nejhůře vychází varianta tepelné izolace z čedičové vlny a kombinace minerální vlny s EPS. V případě čedičové vlny je to způsobeno celkovou hmotností izolace, v druhém případě celkovou hmotností a vyššími jednotkovými hodnotami emisí CO<sub>2</sub>. Nejlépe vychází varianta z konopných desek, která má sice jednu z nejvyšších celkových hmotností, ale její produkce emisí CO<sub>2</sub> ve výrobní fázi je téměř nulová (0,08 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg).



Graf 14: Svázané emise CO<sub>2</sub> tepelných izolací

V případě hodnocení svázaných emisí  $\text{SO}_2$  můžeme z výsledků vidět (Graf 15), že nejvyšší environmentální zátěž má v tomto porovnání tepelná izolace z čedičové vlny a kombinace minerální vaty s EPS. Důvody těchto vysokých hodnot jsou stejné jako v případě hodnocení emisí  $\text{CO}_2$ . Jako nejlepší varianta se v tomto případě jeví opět konopné desky.



Graf 15: Svázané emise  $\text{SO}_2$  tepelných izolací

Posledním environmentálním kritériem je množství obnovitelných a neobnovitelných materiálů. V tomto případě je jednoznačně nejlepší izolace z konopných a dřevovláknitých desek.

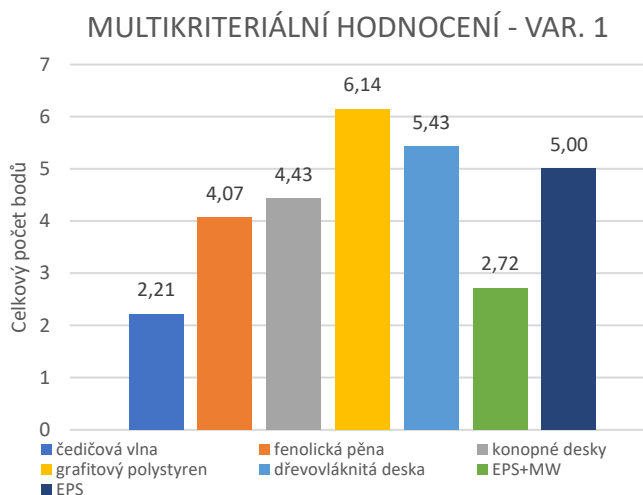
Pokud v hodnocení jednotlivých izolací zohledníme pouze environmentální parametry, jeví se jako nejlepší varianty izolace z konopných desek, dřevovláknitých desek, případně desky z grafitového polystyrenu. V případě grafitového polystyrenu se ovšem nejedná o environmentálně šetrnou variantu, ale pokud zahrneme i celkovou hmotnost, nejsou výsledky až tak špatné. Izolace z konopných a dřevovláknitých desek jsou nejlepší, protože proces výroby není tak složitý, a zároveň se jedná o obnovitelné materiály.

Součástí této kapitoly je kromě environmentálního hlediska pohled i na ostatní faktory, které byly vyjmenovány výše. Posouzení všech určených hledisek je zpracováno pomocí multikritériálního hodnocení. Princip spočívá v přidělování bodů každému materiálu podle jednotlivých kritérií. Mezi výrobky bylo rozděleno u každého kritéria celkem 30 bodů podle příznivého/nepříznivého výsledku. Dále bylo určeno několik variant vah pro jednotlivé oblasti.

V první variantě byla hodnota vah uvažována rovnoměrně mezi všemi kritérii (tzn. všem kritériím byla přiřazena stejná váha důležitosti). Hodnoty jednotlivých vah jsou uvedeny v tabulce (Tab. 9). Z výsledného grafu můžeme vidět, že nejlépe se ukazuje tepelná izolace z grafitového polystyrenu. Nejméně příznivou variantou je tepelná izolace z čedičové vlny a kombinace minerální vlny s EPS.

Hodnotící kritérium	váha
cena	0,14
tloušťka	0,14
celková hmotnost	0,14
svázané energie	0,14
svázané emise CO <sub>2</sub>	0,14
svázané emise SO <sub>2</sub>	0,14
obnovitelné/neobnovitelné materiály	0,14
	1

Tab. 9: Rozdělení vah, varianta 1

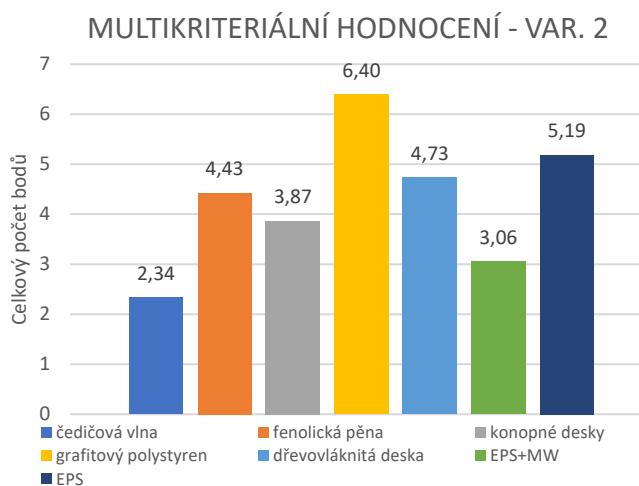


Graf 16: Multikriteriální hodnocení, varianta 1

V druhé variantě jsou váhy rozděleny podle pravděpodobné úvahy investora (Tab. 10), kterého by mohla zajímat hlavně cena materiálu, případně i tloušťka materiálu. Těmto kritériím je přiřazena vyšší váha než ostatním. Z tohoto pohledu je nejlepší variantou tepelná izolace z grafitového polystyrenu. Nejméně bodů opět získala izolace z čedičové vlny a také izolace s obchodním názvem *Twinner*.

Hodnotící kritérium	váha
cena	0,20
tloušťka	0,20
celková hmotnost	0,16
svázané energie	0,11
svázané emise CO <sub>2</sub>	0,11
svázané emise SO <sub>2</sub>	0,11
obnovitelné/neobnovitelné materiály	0,11
	1

Tab. 10: Rozdělení vah, varianta 2

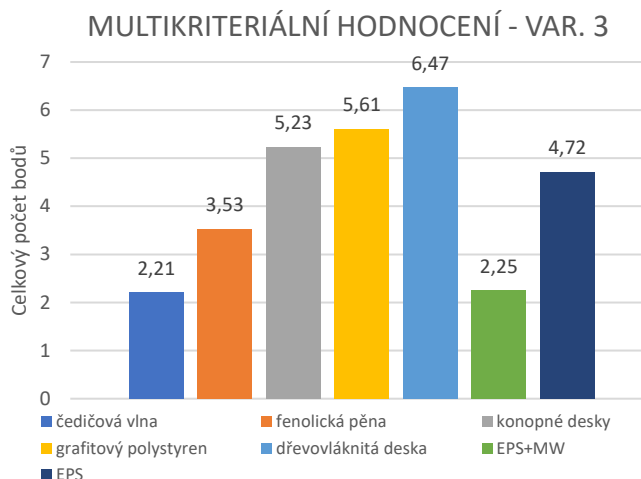


Graf 17: Multikriteriální hodnocení, varianta 2

Třetí variantou multikriteriálního hodnocení jsou vyšší váhy v případě environmentálních parametrů. Mezi nejlepší variantu patří tepelná izolace z dřevovláknitých desek s hodnocením 6,5 bodu. Nejhoršími variantami jsou opět čedičová vlna a kombinace minerální vlny s EPS.

Hodnotící kritérium	váha
cena	0,10
tloušťka	0,10
celková hmotnost	0,04
svázané energie	0,19
svázané emise CO <sub>2</sub>	0,19
svázané emise SO <sub>2</sub>	0,19
obnovitelné/neobnovitelné materiály	0,19
	1

Tab. 11: Rozdělení váh, varianta 3



Graf 18: Multikriteriální hodnocení, varianta 3

Finální variantou, která byla vybrána na fasádní zateplovací systém, je tepelná izolace z dřevovláknitých desek. Z environmentálního hlediska se jeví jako nejlepší variantou. V ostatních zohledněných kritériích však také nijak výrazně nepropadá. Alternativou by mohla být izolace z grafitového polystyrenu, která v prvních dvou posuzovaných variantách vychází nejlépe a ve variantě 3 je hodnocena jako druhá nejlepší.

#### 4.6. Porovnání finálního modelu

Po výběru varianty vápenopískového zdiva s železobetonovými monolitickými stropy a tepelnou izolací z dřevovláknitých desek byl model v některých částech upravován.

Ve 4.NP byla upravována geometrie průvlaků tak, aby průvlak nevyčníval z podhledu. Posouzení nového průvlaků je uvedeno ve statickém výpočtu.

Dále bylo upraveno souvrství terasy v 5.NP, kdy spádová vrstva betonové mazaniny byla nahrazena spádovými klíny z expandovaného polystyrenu.

V případě balkonů byla upravována jak změna souvrství, tak i výměna železobetonové monolitické desky za prefabrikovanou balkonovou deskou se spádem z výroby. V balkonovém souvrství byly odstraněny vrstvy betonové mazaniny a keramické dlažby. Obě vrstvy byly nahrazeny environmentálně šetrnější variantou, a to skladbou z dřevěných prvků. Na prefabrikované desce je asfaltový nátěr, který má funkci pojistné hydroizolace. Následně jsou umístěny dřevěné svlaky o rozměrech 60 x 40 mm. Tyto svlaky jsou uloženy na rektifikačních podložkách.

Následně jsou na svlaky přibita terasová prkna, která jsou pokládána rovnoběžně podél fasády.

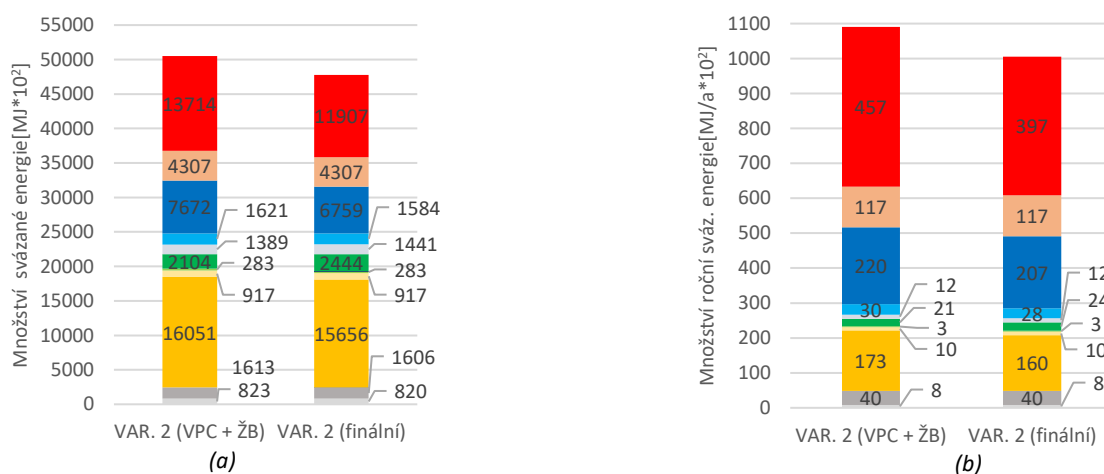
Dále byl nahrazen materiál atiky, kdy místo vápenopískových bloků, je stěna vylita z železobetonu současně se stropními konstrukcemi.

V případě modelování jednotlivých variant, nebyly modelovány jednotlivé instalační šachty ani předstěny. Ve finálním modelu už jsou tyto prvky zahrnuty.

Finální návrh je porovnán s původní variantou návrhu ze stejného materiálu.

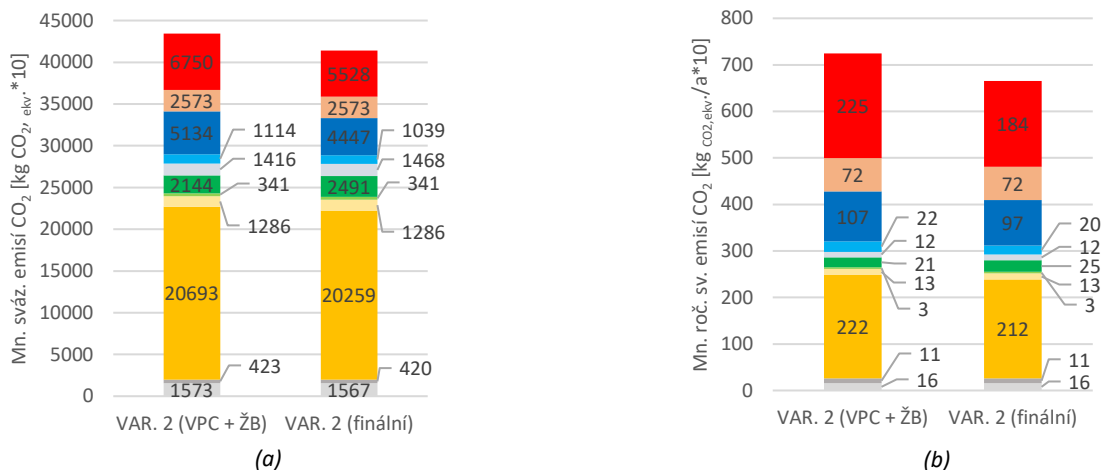
V případě hmotnosti celé konstrukce a hmotnosti neobnovitelných materiálů nemají provedené změny téměř žádný vliv, tyto grafy nejsou prezentovány.

Na grafu (Graf 19) můžeme vidět pokles celkového množství svázané energie jak v grafu bez zohlednění životnosti, tak v grafu se zohledněním životnosti. Pokud se zaměříme na jednotlivé kategorie, můžeme vidět vyšší pokles zejména v oblasti tepelných izolací. To způsobuje environmentálně šetrnější dřevovláknitá izolace použitá na fasádě místo čedičové vlny. Menší pokles vidíme také v oblasti finálních nášlapných vrstvách, kam patří i souvrství balkonů. Celkový pokles oproti původní variantě se pohybuje kolem 6 %, v případě zohlednění životností je rozdíl kolem 8 %. V tomto případě vidíme sice zlepšení, ale provedené změny nemají na toto kritérium zásadní vliv.



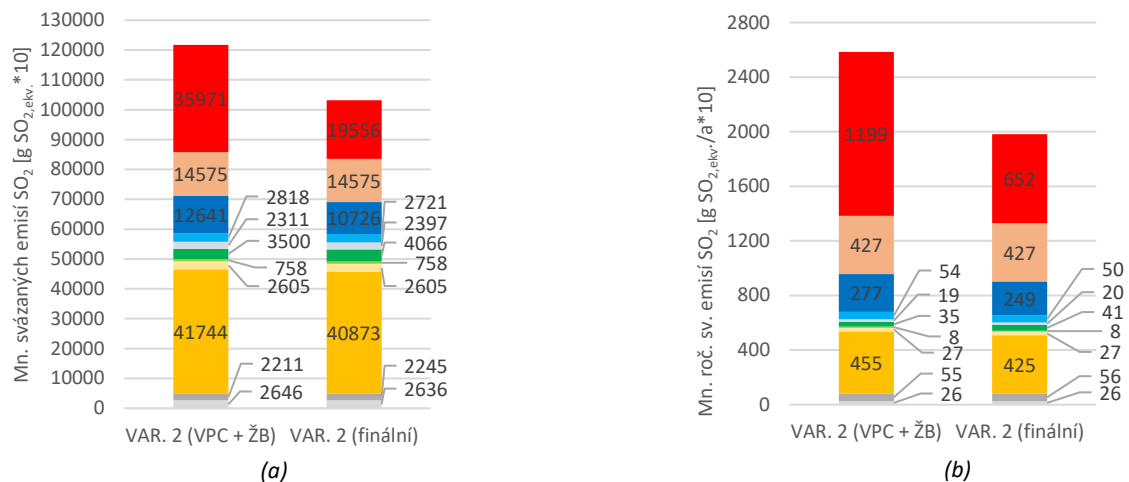
Graf 19: Porovnání výsledné varianty (a) Množství svázané energie; (b) Množství roční svázané energie

V případě hodnocení svázaných emisí CO<sub>2</sub> a ročních svázaných emisí CO<sub>2</sub> opět vidíme zlepšení výsledné varianty. V tomto hodnocení opět nejsou rozdíly mezi původní a finální variantou nijak extrémní. V případě, že nezohledníme životnost materiálů, je finální varianta pouze o necelých 5 % lepší. Pokud zohledníme životnost materiálů, je rozdíl ročních svázaných emisí CO<sub>2</sub> vyšší, a to kolem 8 %. Vylepšení opět vidíme v kategorii tepelných izolací a ve vrstvách podlah.

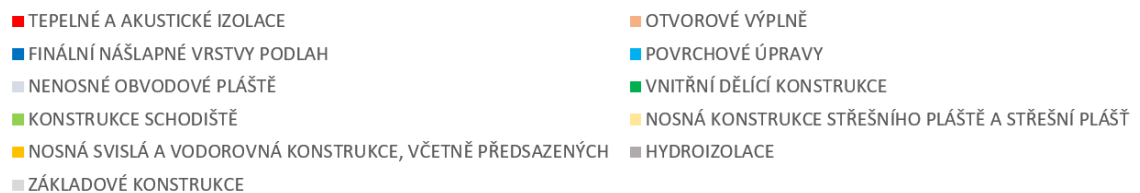


Graf 20: Porovnání výsledné varianty (a) Množství svázaných emisí CO<sub>2</sub>; (b) Množství ročních svázaných emisí CO<sub>2</sub>

Pokud se zaměříme na hodnocení svázaných emisí SO<sub>2</sub> a ročních svázaných emisí SO<sub>2</sub>, tak vidíme, že v tomto kritériu už jsou výsledky mnohem rozdílnější než u předchozích hodnotících parametrů. Rozdíl je způsobený především velmi rozdílnými jednotkovými hodnotami emisí mezi tepelnou izolací z čedičové vlny a dřevovláknitými deskami. Rozdíl těchto jednotkových svázaných emisí je skoro pětinnový. Velké rozdíly můžeme pozorovat také mezi betonovou mazaninou a dřevem. Tyto změny mají pozitivní vliv na hodnocení emisí SO<sub>2</sub>. V případě svázaných emisí je zlepšení o 15 %. V případě, že se zohlední životnost, jsou viditelné rozdíly ještě vyšší, a to přibližně 25 %. Výsledky jsou znázorněny na grafu dále (Graf 21).



Graf 21: Porovnání výsledné varianty (a) Množství svázaných emisí SO<sub>2</sub>; (b) Množství ročních svázaných emisí SO<sub>2</sub>



Obr. 44: Legenda pro Graf 19, Graf 20, Graf 21

Na předchozích grafech bylo ukázáno, jaký vliv má změna některých materiálů v konstrukci. V případě svázaných emisí a energií CO<sub>2</sub> nejsou změny příliš velké. V případě svázaných emisí SO<sub>2</sub> se jedná o nezanedbatelné změny.



## 5. Závěr

Pro studii bytového domu bylo navrženo 5 konstrukčních/materiálových variant. Jedná se konkrétně o stěnový systém z keramických bloků s železobetonovým monolitickým stropem, stěnový systém z vápenopískových bloků s železobetonovým monolitickým stropem, stěnový systém z plynosilikátových tvarovek s železobetonovým stropem, stěnový CLT systém a konstrukční systém dřevěného těžkého skeletu. Následně byla v Excelu vytvořena struktura pro exportování dat, dle kategorií, které požaduje metodika SBToolCZ. Dále pomocí výkazů v Revitu byly vytvořeny výkazy dle kategorií a celý proces exportu byl urychlen vytvořeným skriptem v aplikaci Dynamo. Pokud budou dodržena veškerá pravidla, která byla popisována v této práci, je možné využívat skript včetně struktury Excelu i pro další projekty. Dle provedené environmentální analýzy bylo zjištěno, že v některých environmentálních kritériích se jednotlivé varianty téměř neliší. Malé rozdíly byly mezi dřevěnými variantami a variantami z klasických zdicích prvků v případě hodnocení svázaných energií a svázaných emisí CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>. V případě hmotnosti konstrukce a kritéria hodnotícího obnovitelné materiály byly výsledky dřevěných variant mnohem přijatelnější. Vybranou variantou byla varianta vápenopískového zdiva a železobetonové monolitické stropní konstrukce. Na této variantě byla provedena multikriteriální analýza, která kromě environmentálních parametrů posuzovala i kritéria ceny, tloušťky materiálu atd. Výsledkem těchto dvou analýz je výběr finálního modelu.

Na výsledné variantě byl dále posuzován export parametrů pomocí BIM (v tomto případě software Revit) pro komplexní hodnocení kvality budov podle metodiky SBToolCZ. Bylo postupováno dle struktury kritérií, která byla poskytnuta na základě aktuálně probíhajícího výzkumného projektu BIMIP. Výsledkem této části je provedení exportu do struktury .xls souboru, kterou udává právě tato metodika. V některých případech se nepodařilo generovat všechna data, která byla požadována. To bylo způsobeno především nejasnostmi, co který parametr má označovat, případně neexistujícími parametry v záložkách struktury. Export dat z Revitu do Excelu byl zajištěn opět skriptem, který byl vytvořen v aplikaci Dynamo a významně urychlil proces v případě exportování dat. Nutno dodat, že výzkumný projekt není dokončen, a proto nebyly exportovány všechny možné parametry, které by se daly metodou BIM získat. Po dokončení projektu BIMIP vnímám velký přínos v podobě využívání právě informačního modelu budovy pro komplexní hodnocení kvality budov dle SBToolCZ. Tento proces by měl významně urychlit čas, a také omezit množství chyb vzniklé lidským faktorem, které by mohly vznikat při ručním doplňování parametrů do kritériálních listů metodiky SBToolCZ.

Poslední částí, která byla v této diplomové práci řešena, byla praktická část v podobě vybraných částí projektové dokumentace v podrobnosti DPS, především komplexního řezu v měřítku 1:20. Dále byly zpracovány výkresy konceptu vedení TZB.



Celkově využití informačního modelu budovy v tomto typu práce vnímám jako velmi přínosný z hlediska automatického vykazování materiálů a různých dalších parametrů. Problém nastal v případě vytváření 2D dokumentace. Například tvorba komplexního řezu musela být kompletně řešena dokreslováním jednotlivých detailů v Autocadu, jelikož model nebyl vypracován až do takové podrobnosti. Není tedy automaticky dáno, že v případě používání 3D modelů jsou automaticky generované 2D výkresy. Vždy je potřeba uživatelského zásahu v podobě nastavení šablon v Revitu, případně dokreslování některých komponent ručně do výkresů.

Tímto byly splněny všechny cíle stanové zadáním diplomové práce.

## Seznam obrázků

Obr. 1: severní pohled, studie [1] .....	10
Obr. 2: jižní pohled, studie [1] .....	11
Obr. 3: (a) východní pohled, studie; (b) západní pohled, studie [1] .....	11
Obr. 4: dispozice 1.NP, studie [1].....	11
Obr. 5: dispozice 2.-4.NP, studie [1] .....	12
Obr. 6: dispozice 5.NP, studie [1].....	12
Obr. 7: řez, studie [1] .....	12
Obr. 8: Zónování, 1.NP .....	13
Obr. 9: Zónování, 2.NP, 3.NP, 4.NP.....	13
Obr. 10: Zónování, 5.NP .....	13
Obr. 11: Zónování, 3D pohled .....	14
Obr. 12: Zónování, řez příčný.....	14
Obr. 13: konstrukční systém 1.NP .....	18
Obr. 14: Render nosného systému, var. 1, 2, 3 .....	19
Obr. 15: Konstrukční systém 2.NP, 3.NP, varianta 1,2,3 .....	20
Obr. 16: Konstrukční systém 4.NP, varianta 1,2,3 .....	20
Obr. 17: Konstrukční systém 5.NP, varianta 1,2,3 .....	21
Obr. 18: Konstrukční systém, řez příčný, varianta 1,2,3 .....	21
Obr. 19: Konstrukční systém, řez podélný, varianta 1,2,3.....	22
Obr. 20: Render nosného systému, var. 4 .....	25
Obr. 21: Konstrukční systém 2.NP, 3.NP, 4.NP varianta 4 .....	26
Obr. 22: Konstrukční systém 5.NP, varianta 4 .....	26
Obr. 23: Konstrukční systém, řez příčný, varianta 4 .....	27
Obr. 24: Konstrukční systém, řez podélný, varianta 4.....	27
Obr. 25: Render nosného systému, var. 5 .....	30
Obr. 26: Konstrukční systém 2.NP, 3.NP, varianta 5 .....	30
Obr. 27: Konstrukční systém 4.NP, varianta 5 .....	31
Obr. 28: Konstrukční systém 5.NP, varianta 5 .....	31
Obr. 29: Konstrukční systém, řez příčný, varianta 5 .....	32
Obr. 30: Konstrukční systém, řez podélný, varianta 5.....	32
Obr. 31: (a) Kategorizace materiálu dle SBToolCZ; (b) Členění výkazů v Revitu .....	40
Obr. 32: Struktura Excelu pro export dat (výsek) .....	41
Obr. 33: Skript pro export výkazů .....	42
Obr. 34: Princip vyvíjené metodiky [8] .....	43
Obr. 35: Přidělené parametry pro místnosti .....	46
Obr. 36: Hrubá podlahová plocha 1.NP .....	47
Obr. 37: Plochy na budově a pozemku 1.NP .....	48
Obr. 38: Uživatelské prvky na pozemku .....	49



---

Obr. 39: Uživatelské plochy na pozemku.....	50
Obr. 40: Specifikace stěny pro vykazování plochy fasády .....	51
Obr. 41: Parametr délka rámu a plocha skla (výkaz oken) .....	53
Obr. 42: Vytvořená rodina pro typ plochy: kolo .....	55
Obr. 43: Asociovaný globální parametr pro vzdálenost od fasády.....	57
Obr. 44: Legenda pro Graf 19, Graf 20, Graf 21.....	80



## Seznam grafů

Graf 1: Měrné tepelné ztráty .....	15
Graf 2: Tepelné zisky .....	16
Graf 3: Potřeba tepla na vytápění budovy.....	16
Graf 4: Celková hmotnost konstrukce .....	63
Graf 5: Svázaná spotřeba energie .....	64
Graf 6: Roční svázaná spotřeba energie .....	65
Graf 7: Svázané emise CO <sub>2</sub> .....	66
Graf 8: Roční svázané emise CO <sub>2</sub> .....	67
Graf 9: Svázané emise SO <sub>2</sub> .....	68
Graf 10: Roční svázané emise SO <sub>2</sub> .....	69
Graf 11: Hmotnost neobnovitelných materiálů.....	70
Graf 12: Hmotnosti tepelných izolací .....	73
Graf 13: Svázaná spotřeba energie tepelných izolací .....	74
Graf 14: Svázané emise CO <sub>2</sub> tepelných izolací.....	74
Graf 15: Svázané emise SO <sub>2</sub> tepelných izolací .....	75
Graf 16: Multikriteriální hodnocení, varianta 1 .....	76
Graf 17: Multikriteriální hodnocení, varianta 2 .....	76
Graf 18: Multikriteriální hodnocení, varianta 3 .....	77
Graf 19: Porovnání výsledné varianty (a) Množství svázané energie; (b) Množství roční svázané energie .....	78
Graf 20: Porovnání výsledné varianty (a) Množství svázaných emisí CO <sub>2</sub> ; (b) Množství ročních svázaných emisí CO <sub>2</sub> .....	79
Graf 21: Porovnání výsledné varianty (a) Množství svázaných emisí SO <sub>2</sub> ; (b) Množství ročních svázaných emisí SO <sub>2</sub> .....	80



## Seznam tabulek

Tab. 1: Součinitelé prostupu tepla obalových konstrukcí [4] .....	15
Tab. 2: Přehled parametrů pro výkaz místností .....	45
Tab. 3: Přehled parametrů pro výkaz oken .....	52
Tab. 4: Rozměry stání pro jednotlivé typy .....	55
Tab. 5: Přehled parametrů pro parametry budovy .....	56
Tab. 6: Přehled parametrů pro výkaz dveří .....	58
Tab. 7: Hodnocené kategorie.....	61
Tab. 8: Přehled posuzovaných tepelných izolací .....	72
Tab. 9: Rozdělení váh, varianta 1.....	76
Tab. 10: Rozdělení váh, varianta 2.....	76
Tab. 11: Rozdělení váh, varianta 3.....	77

## Literatura a použitý software

- [1] ING. ET. ING. JANOUT, Lukáš. *Studie bytového domu Rokycany*
- [2] SVOBODA SOFTWARE. *Teplo 2017 EDU* [online]. 2017. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/teplna-technika/teplo/>
- [3] MICROSOFT. *Microsoft Excel* [online]. C++. 2019. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>
- [4] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [5] ČSN EN ISO 52016-1 *Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [6] *Modulová fasáda USC 65 | Schüco - okna, dveře a fasády* [online]. Dostupné z: [https://www.schueco.com/web2/cz/architekti/vyroby/fasady/modulove\\_fasady/schueco\\_usc\\_65](https://www.schueco.com/web2/cz/architekti/vyroby/fasady/modulove_fasady/schueco_usc_65)
- [7] Úspora vody při splachování WC. *TZB-info* [online]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/koupelny-a-wc/16489-uspورا-vody-pri-splachovani-wc>
- [8] AUTODESK. *Revit 2021* [online]. 2021. education. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/>
- [9] DRAHOTUSKÝ, Jiří. Autodesk Revit - Knihovna rodin a šablona dle ČSN. *Revit 3D blog* [online]. Dostupné z: <https://www.revit3dblog.cz/autodesk-revit-knihovna-rodin-a-sablona-dle-csn/>
- [10] E-shop - CCapps. *CCapps* [online]. Dostupné z: <https://www.ccapps.cz/>
- [11] *Revit nápověda* [online]. Dostupné z: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2018/CSY/>
- [12] CIMALA, Lukáš, Jakub NOVOTNÝ, Josef REMEŠ a Rudolf VYHNÁLEK. *Revit ve stavební praxi* [online]. první vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. ISBN 978-80-214-4966-4. Dostupné z: [https://issuu.com/oktaedr/docs/oktaedr\\_revit\\_ve\\_stavebni\\_praxi](https://issuu.com/oktaedr/docs/oktaedr_revit_ve_stavebni_praxi)
- [13] *BIMForum* [online]. Dostupné z: <https://bimforum.org/lod/>
- [14] *Metodika SBToolCZ – SBToolCZ* [online]. Dostupné z: <https://www.sbtool.cz/ometodice/>
- [15] AUTODESK. *Dynamo* [online]. 2021. education. Dostupné z: <https://dynamobim.org/>
- [16] Visual scripting environment for designers | Dynamo. *Dynamo BIM* [online]. Dostupné z: <https://dynamobim.org/>
- [17] *Výstupy výzkumného projektu BIMIP - Implementace BIM v rámci procesů životního cyklu stavby, v rámci projektu TNO1000056, NCK CAMEB Centrum pokročilých materiálů a efektivních budov, poskytovatel TAČR ČR, program Národní centra kompetence 1*
- [18] BIMIP. *CAMEB* [online]. Dostupné z: <https://www.cameb.cz/bimip>
- [19] Podlahové plochy ve správě budov. *TZB-info* [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/facility-management/13143-podlahove-plochy-ve-sprave-budov>



- [20] ČSN 73 6056 *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [21] *Envimat.cz - Katalog fyzikálních a environmentálních profilů stavebních konstrukcí* [online]. Dostupné z: <http://envimat.cz/>
- [22] *Envimat.cz - Slovník pojmů* [online]. Dostupné z: <http://envimat.cz/metodika/pojmy/>
- [23] *baubook: Ökologische Bauprodukte* [online]. Dostupné z: <https://www.baubook.info/>