

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Budovy a prostředí

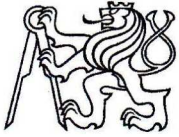
## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Energetická analýza referenční budovy  
s využitím BIM**

**Autor:** Filip Klimeš

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Růžička, Ph.D.

Praha, 2018



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Klimeš Jméno: Filip Osobní číslo: 395599  
Zadávací katedra: K124 - Konstrukce pozemních staveb  
Studijní program: Budovy a prostředí  
Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Energetická analýza referenční budovy s využitím BIM

Název diplomové práce anglicky: Energy Analysis whole reference building using BIM

Pokyny pro vypracování:

Výpočet potřeby tepla na vytápění a chlazení, výpočet přehřívání vybrané místnosti, vliv tepelné kapacity použitých materiálů.

Analýza významnosti vlivů s ohledem na výslednou roční potřebu energie.

Seznam doporučené literatury:

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

Datum zadání diplomové práce: 27.2.2018 Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_  
*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“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.  
Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 20. května 2018

.....  
Filip Klimeš

## Poděkování

Především bych chtěl poděkovat za návrhy, cenné rady, připomínky a v neposlední řadě za vynikající přístup vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Růžičkovi, Ph.D. A všem dalším, kteří se na vzniku této práce jakkoli podíleli.

Také bych rád poděkoval všem mým blízkým za veškerou podporu a trpělivost nejen při tvorbě této práce, ale i během celého mého studia.

## Abstrakt

Práce je zaměřena na využití BIM technologií při výpočtu měrné roční potřeby tepla na vytápění, včetně její analýzy, a na výpočet rizika přehřívání vybrané místnosti. Práce se tedy krom tepelně-technických a energetických posouzení referenční budovy RESBY zabývá možnostmi parametrického propojení modelu a výpočtů pro možnosti pozdějších geometrických úprav s automatickým přepočtem stávajících hodnot.

**Klíčová slova:** BIM, informační modelování, energetická analýza, přehřívání, tepelná stabilita, potřeba tepla, Autodesk Revit, Dynamo

## Abstract

The thesis is focused on the use of BIM technologies in calculating the specific annual heat demand for heating, including analysis, and calculation of the risk of overheating of the selected room. Thus, apart from the thermal, technical and energy assessments of the reference building RESBY, the work deals with the possibilities of parametric connection of the model and calculations for the possibilities of later geometrical modifications with automatic conversion of the existing values.

**Keywords:** BIM, information modeling, energy analysis, overheating, thermal stability, heat demand, Autodesk Revit, Dynamo

## Obsah

1.	Úvod .....	6
1.1.	Cíle .....	6
1.2.	Seznámení s myšlenkou BIM .....	6
2.	Metodika řešení a využití BIM .....	7
3.	BIM model automatizace přenosu informací .....	9
3.1.	Rozbor modelu aplikace Autodesk Revit .....	9
3.2.	Rozbor skriptů pro přenos informací aplikace Dynamo .....	10
3.2.1.	Soubor skriptů pro import informací do Excelu .....	10
3.2.2.	Soubor skriptů pro import informací do Revitu .....	15
3.2.3.	Soubor skriptů pro část přehřívání .....	16
4.	Případové studie .....	18
4.1.	Popis referenční budovy .....	18
4.2.	Potřeba tepla a analýza vlivů .....	21
4.2.1.	Výpočet potřeby tepla na vytápění .....	21
4.2.1.1.	Průměrný součinitel prostupu tepla .....	21
4.2.1.2.	Tepelné ztráty .....	24
4.2.1.3.	Tepelné zisky .....	27
4.2.1.4.	Potřeba tepla .....	32
4.2.1.5.	Vyhodnocení standardu referenční budovy .....	34
4.2.2.	Vliv plochy oken .....	35
4.2.3.	Vliv účelu budov .....	37
4.2.4.	Vliv součinitele prostupu tepla .....	38
4.2.5.	Vliv tepelné kapacity budovy .....	40
4.3.	Přehřívání a analýza vlivů .....	41
4.3.1.	Přehřívání vybrané místnosti .....	42
5.	Závěr .....	49
6.	Literatura .....	50

## Přílohy:

A1	Půdorys 1NP
A2	Půdorys 2NP
A3	Půdorys 3NP a 4NP
A4	Řez
A5	Pohledy S, V, Z, J
B1	Skripty DynamoBIM pro export z Revitu – měrná potřeba tepla na vytápění
B2	Skripty DynamoBIM pro import do Revitu – měrná potřeba tepla na vytápění
B3	Skripty DynamoBIM pro export z Revitu - přehřívání

## 1. Úvod

### 1.1. Cíle

Práce se zaměřuje na využití BIMu v rámci energetické analýzy objektu.

Vzhledem k tomu, že klasické vytvoření modelu a ruční přepsání hodnot do vhodného programu, či výpočtových tabulek by zcela nenaplněovalo myšlenku informačního modelování, snažím se v této práci celý proces zautomatizovat tak, aby při zpětné úpravě modelu již celý proces výpočtu pracoval automaticky, bez nutnosti dodatečných výpočtů, či přepisování a doplňování hodnot.

Dalším cílem této práce je posouzení referenčního objektu (obytná budova RESBY), z hlediska roční potřeby tepla na vytápění a s variantní analýzou jednotlivých vlivů na celkové vyhodnocení. A posouzení z hlediska přehřívání. Práce zde popisuje vliv plochy oken, vliv překlasifikování budovy na budovu administrativní, vliv součinitelů prostupu tepla a vliv změny tepelné kapacity konstrukcí.

BIM nástrojem je zvolen program Autodesk Revit a jako nástroj pro výpočty a analýzu je použit Excel, jež je doplněn o nástroj zprostředkující komunikaci mezi Revitem a Excelem. Tímto nástrojem jsou skripty vytvořené pomocí programu Dynamo.

### 1.2. Seznámení s myšlenkou BIM

BIM je pojem vyžívaný ve stavebnictví stále častěji. Pod touto zkratkou se ukrývá akronym anglického pojmu *Building Information Modelling* (či také *Building Information Model a dalších*), v českém prostředí obvykle překládaný jako *informační model budovy*.

Tato zkratka se obecněji používá teprve od roku 2002 <sup>[5]</sup> a má mnoho definic.

*„Informační modelování budovy (Building Information Modelling, zkráceně BIM) je proces vytváření a správy dat o budově během jejího životního cyklu.“*

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

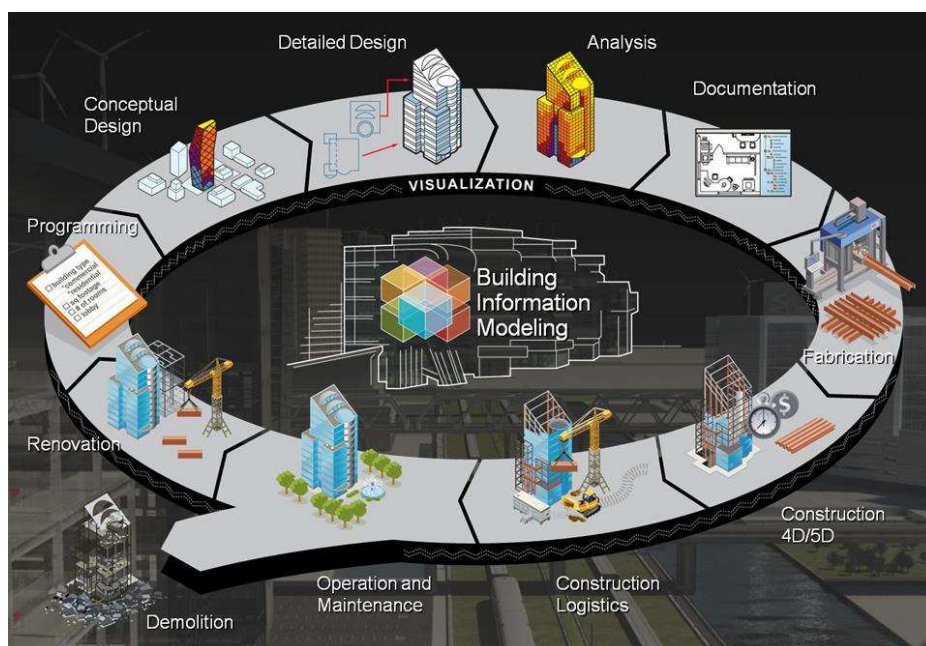
*„Digitální model reprezentuje fyzický a funkční objekt s jeho charakteristikami. Slouží jako otevřená databáze informací o objektu pro jeho zrealizování a provoz po dobu jeho užívání.“*

NIBS – National Institute of Building Science, USA

*„BIM je organizovaný přístup ke sběru a využití informací napříč projektem. Ve středu tohoto úsilí leží digitální model obsahující grafické a popisné informace o designu, konstrukcích a údržbě objektů.“*

*Strategy Paper for the Government Construction Client Group from the BIM Industry Working Group, UK*

Informační model budovy je tvořen databází informací, která může obsahovat data potřebná v rámci celé životnosti budovy, tzn. od jejího primárního návrhu, přes realizaci, správu, případné rekonstrukce, až po její likvidaci (viz obrázek 1-1). Jedná se tedy zároveň o nástroj spojující napříč (v ideálním případě) všechny profese, s budovou spjaté.



Obrázek 1: Životní fáze BIM modelu, Zdroj: [6]

Jednou z částí tohoto celku by nepochybně měl být i nástroj pro energetickou optimalizaci a analýzu budovy, který dokáže automaticky reagovat na změny prováděné na modelu. Takový nástroj splňující současné české normy a vyhlášky je součástí této práce.

## 2. Metodika řešení a využití BIM

Model je vytvářen v aplikaci Autodesk Revit, jež se právě s BIM modelováním ztotožňuje.

Model obsahuje většinu geometrických vstupních hodnot potřebnou pro výpočet. Ty je výhodné načítat právě odsud, nejen z důvodu přesnosti hodnot, ale také kvůli případné možnosti budoucí změny návrhu, kdy by se tato data jinak musela znovu pracně dopočítávat. Další výhodou je možnost zautomatizovaného posouzení variant návrhu.

Samotný výpočet energetické analýzy je počítán v Excelu, protože v Revitu sice je možné tyto výpočty simulovat, nicméně metodika se výrazně liší od českých norem a vyhlášek. Pro naše potřeby je tudíž nevhodný. To je způsobené například tím, že nepočítá s odpory na vnitřní a vnější straně konstrukce<sup>[15]</sup> a nepočítá se s tepelnými ztrátami skrze konstrukce v kontaktu se zemí<sup>[15]</sup>.

Pro přenos informací mezi Excelem a modelem je využito nástroje pro grafické programování Dynamo. Pomocí toho prvním skriptem z referenčního modelu přeneseme informace: o ploše oken a jejich orientaci, ploše a objemu vytápěné zóny, světové orientaci objektu, ploše



jednotlivých konstrukcí, objemu a ploše kritické místnosti a další. Celý na to navazující výpočet se odehraje v prostředí Excelu.

Dále je práce nad původní rozsah doplněna o možnost, využít získaná data z optimalizace ploch oken, které další připravený skript dokáže vytáhnout z Excelu a hromadně dle nich upravit výšky oken tak, aby co nejlépe odpovídaly optimálním plochám z hlediska roční potřeby tepla na vytápění.

Nástroj pro výpočet potřeby tepla a analýzu je navržen tak, aby byl v co nejvyšší míře použitelný pro jakýkoli model budovy vytvořený v aplikaci Autodesk Revit, jež má ortogonální systém obvodových stěn a splňuje základní zvyklosti pro modelování v tomto programu.

Obdobným způsobem pak funguje i výpočet letní tepelné stability kritické místnosti. Zde se po spuštění samostatného skriptu pro přenos informací potřebných k výpočtu doplní záložka *přehřívání* o vyhodnocení maximální teploty během modelového dne a čtyřdenní graf dalšího teoretického vývoje teplot.

Stručné shrnutí jakými částmi hodnocení se tato práce zabývá znázorňuje následující tabulka (*Tabulka 1-1*).

Fyzikální jev, požadavek	Způsob hodnocení	
	Podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330	Podle PHPP
Základní hodnocení		
Prostup tepla	a) součinitel prostupu tepla jednotlivé konstrukce b) součinitel prostupu tepla obálky budovy (průměrná hodnota)	součinitel prostupu tepla jednotlivé konstrukce
Měrný ztrátový tepelný výkon ( <i>heating load</i> )	Nehodnotí se, do určité míry je nahrazen průměrnou hodnotou součinitele prostupu tepla – veličinou nezávislou na klimatických datech	Atypický výpočet, uvažující nenormové kombinace zimních klimatických podmínek. Vhodnost pro české podmínky je sporná
Měrná potřeba tepla na vytápění	Výpočet měsíční metodou podle ČSN EN ISO 13790	Výpočet měsíční metodou podle ČSN EN ISO 13790, s možností modifikace
Měrná spotřeba primární energie na provoz budovy	Zahrnuje všechny energetické spotřeby kromě uživatelské elektrické energie	Zahrnuje všechny energetické spotřeby včetně uživatelské elektrické energie
Doplňkové hodnocení z hlediska komfortu		
Riziko přehřívání	Normový výpočet pro kritické místnosti podle ČSN EN 13 792	Výpočet (nenormový) stanovující celkovou dobu v roce (vyjádřenou v procentech), kdy není hygienické kritérium splněno. Budova se hodnotí vcelku.
Zajištění dostatečného přísunu čerstvého vzduchu	Slovní hodnocení souladu s předpisy (dostatečné množství čerstvého vzduchu do obytných místností)	Slovní hodnocení souladu s předpisy (dostatečné množství čerstvého vzduchu do obytných místností)

Tabulka 1: Přehled veličin charakterizujících pasivní budovu, Zdroj: [18]

Pozn.: norma ČSN EN ISO 13790 je v současné době nahrazena normou ČSN EN ISO 52016-1 a norma ČSN EN ISO 13792 je nahrazena normou ČSN EN ISO 52017-1. Tato práce postupuje dle současných norem.

### 3. BIM model automatizace přenosu informací

#### 3.1. Rozbor modelu aplikace Autodesk Revit

Pro správné fungování skriptů je potřeba dodržet několik zásad při modelování:

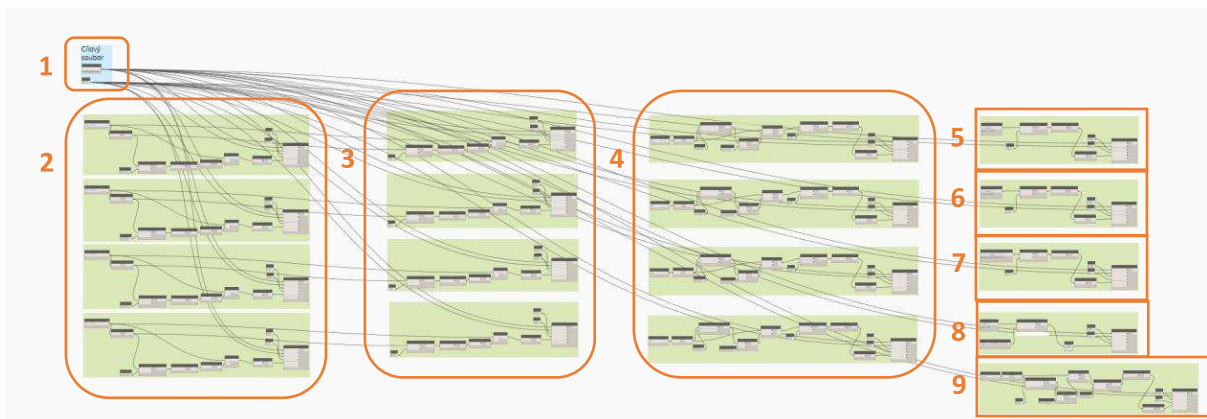
- Okna: každá strana modelu náleží projektové orientaci (přední, levá, zadní a pravá) a musí mít odlišený typ okna.  
Pro potřeby tohoto projektu je pro všechny okna použita rodina *Okno\_A.CC.rfa*. K přednímu pohledu je vytvořen typ okna *Okno J*, k pravému *Okno Z*, k zadnímu *Okno S* a k levému *Okno V*.
- Stěny ohraničující vytápěnou zónu: do *Komentáře* každé takové stěny je potřeba vepsat poznámku jednak odlišující stěnu od ostatních stěn a dále odlišující stěnu dle její orientace.  
Pro potřeby tohoto projektu jsou tyto stěny odlišeny následujícími komentáři. Ke stěnám orientovaným k přednímu pohledu *Orientace: pohled zepředu*, k pravému *Orientace: pohled zprava*, k zadnímu *Orientace: pohled zezadu* a k levému *Orientace: pohled zleva*.
- Plocha přilehlá k zemině, či nevytápěné zóně: je třeba aby model obsahoval rodinu, jejíž celková plocha odpovídá a je svázána s touto hodnotou. Většinou této hodnotě bude odpovídat plocha systémové rodiny *Podlaha*, kterou je tvořen podkladní beton, případně stěny mezi vytápěnou a nevytápěnou zónou včetně výplní otvorů. Ani u této budovy tomu není jinak a to i přes to, že tato konstrukce není konstrukcí celou plochou ohraničující vytápěnou zónu. Zdánlivě by se mohla vybízet varianta využití konstrukce stropu 1NP, to by bylo ale chybně, jelikož pak by byla plocha ochuzena o prostup schodišťového prostoru, výtahovou šachtu a instalační šachty.
- Plocha zastřešení: model musí obsahovat rodinu která této ploše odpovídá. K tomuto účelu je možné využít stropní konstrukci posledního patra, podhledy, střechu (ta nesmí mít přesahy), nebo vytvoříme pomocnou rodinu, která ploše bude odpovídat. Žádné konkrétní informace zde není třeba doplňovat. Rodina bude dále vybrána dle svého ID (identifikační číslo). Viz kapitola 3.2
- Plocha a objem vytápěné zóny: zde je třeba vytvořit *prostory* k jednotlivým místnostem v modelu a z těch pak utvořit *zónu* ve vytápěné části. Zóna bude pojmenována *Vytápěné prostory*. Pro zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění je vytvořena pouze tato jedna zóna, s průměrnou teplotou všech obsažených místností.
- Plocha a objem zvolené místnosti s kritickým rizikem přehřívání: je třeba vytvořit *místnost* (myšlena tím systémová rodina Revitu), ve vybrané místnosti u které předpokládáme nejvyšší riziko letního přehřívání.

## 3.2. Rozbor skriptů pro přenos informací aplikace Dynamo

### O aplikaci Dynamo

Aplikace Dynamo je open source s podporou Revitu. Nástroj je možné využívat jako doplněk pro Revit, nebo jako samostatnou aplikaci Dynamo Studio. Slouží jako grafický nástroj pro základní a uživatelsky přívětivé programování.

### 3.2.1. Soubor skriptů pro import informací do Excelu

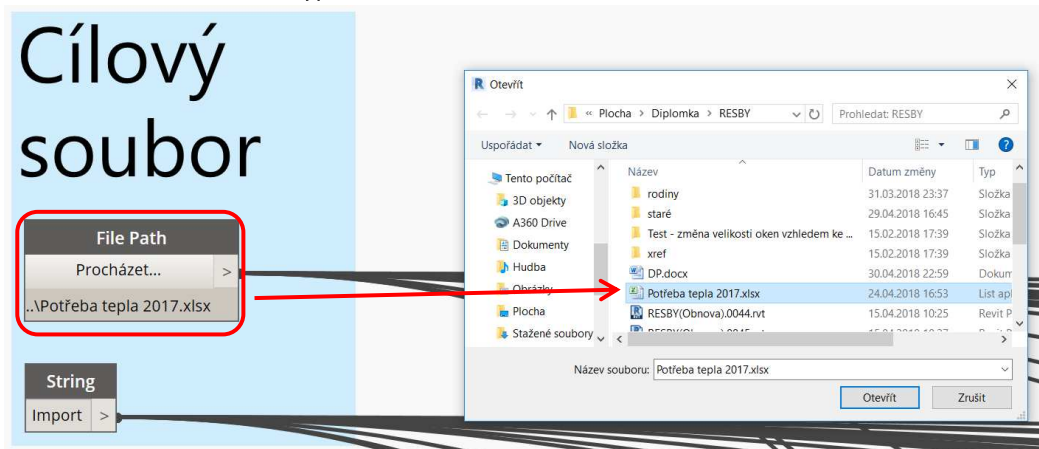


Obrázek 2

1. Cesta k cílovému souboru.
2. Skripty pro výpočet celkových ploch oken a jejich export do definovaného pole v Excelu. Každý ze čtyř uzlů počítá plochy oken náležící jiné světové straně.
3. Skripty pro výpočet souhrnných šířek oken, pro jednotlivé světové strany.
4. Skripty pro výpočet ploch obvodových stěn. Obdobně jako u předchozího bodu skripty přebírají plochy zdí, pro každou světovou stranu zvlášť.
5. Exportuje plochu k zemině (v případě podsklepení k nevytápěné zóně).
6. Exportuje plochu zastřešení.
7. Exportuje vytápěnou plochu objektu.
8. Exportuje hodnotu úhlu natočení objektu od severu.
9. Exportuje objem vytápěné zóny.

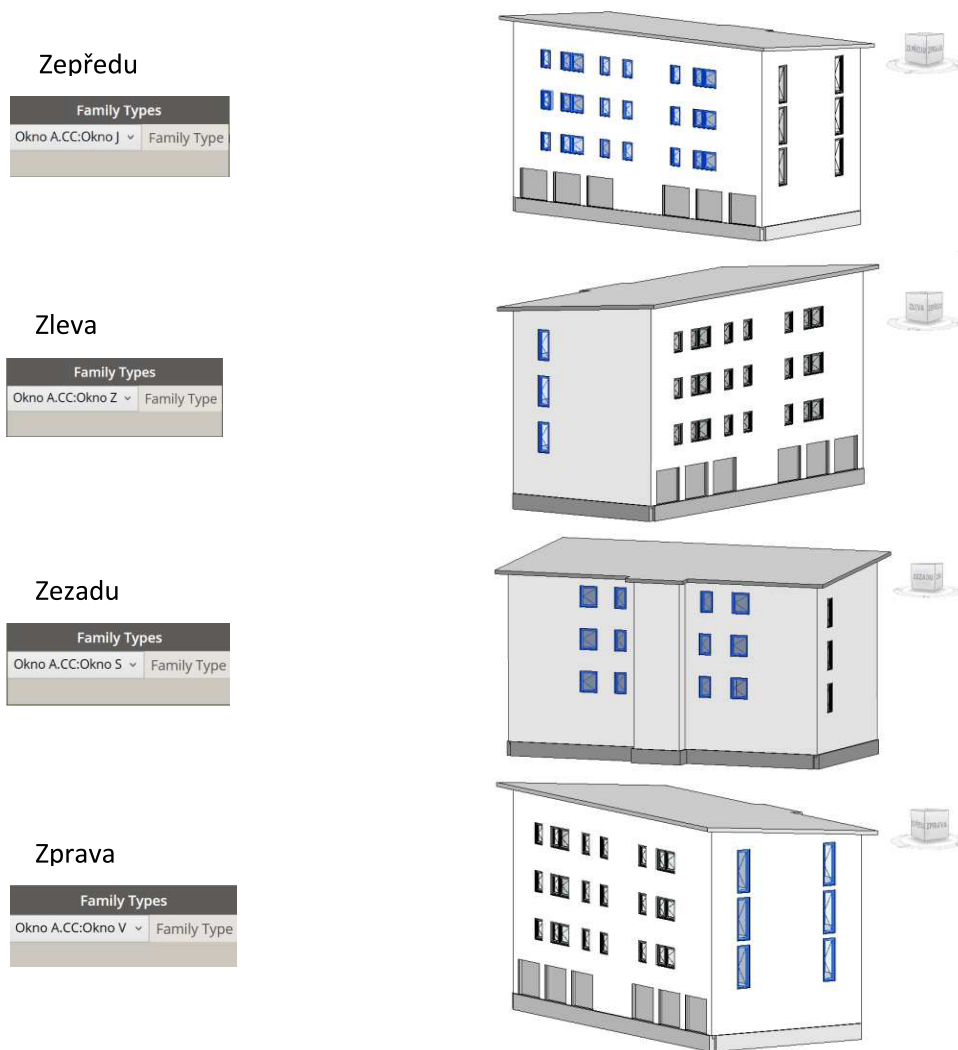
**Pro úspěšný import dat z Revitu do Excelu je třeba:**

- U referenčního modelu RESBY a případného dalšího modelu který chceme hodnotit
  - Přiřadit cestu k Excelu s výpočtem



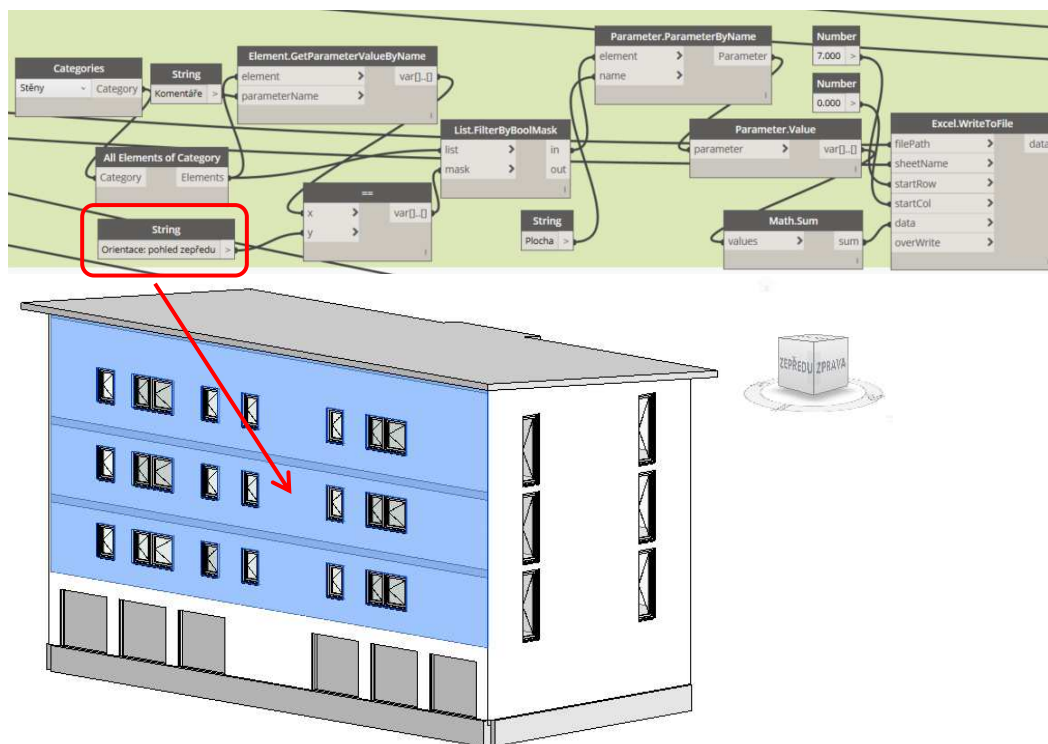
Obrázek 3

- Pouze u případného dalšího modelu který chceme hodnotit
  - Přiřadit okna vytápěné zóny dle orientace.



Obrázek 4

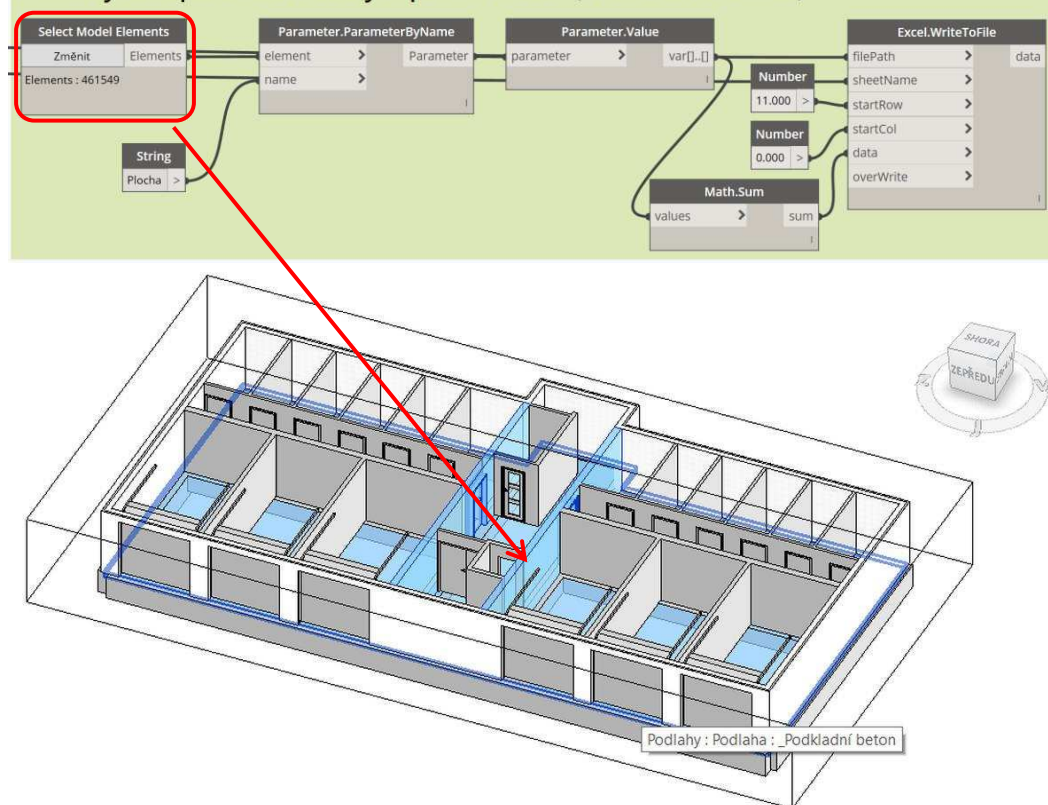
- Přiřadit názvy stěn, které jsme v předchozí kapitole (3.1) odlišili v parametru *Komentáře*.



Obrázek 5

- Přiřadit vhodné rodiny jejichž plocha odpovídá ploše konstrukcí ve styku se zemí, nebo s nevytápěnou zónou. Většinou se bude jednat o systémové rodiny *Podlaha* a *Strop*, případně *Stěna*.

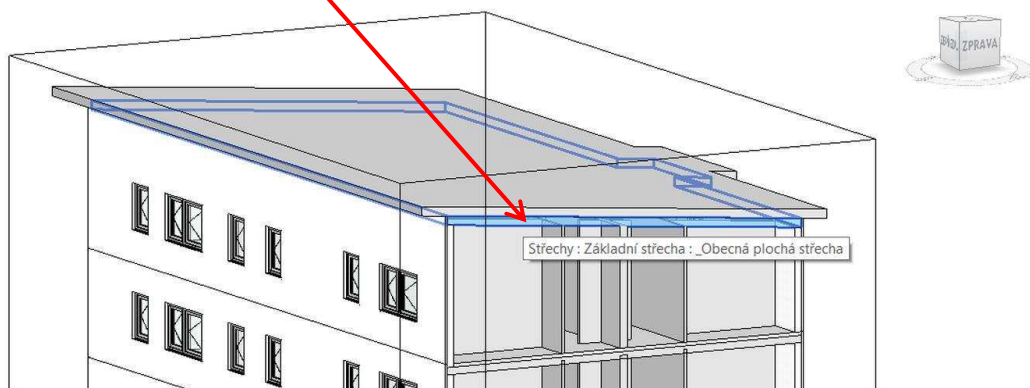
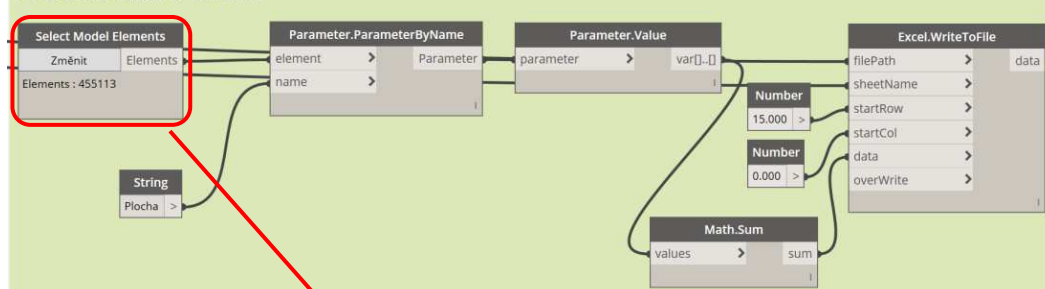
Půdorysná plocha k nevytápěné zóně (nebo k zemině)



Obrázek 6

- Přiřadit vhodné rodiny jejichž plocha odpovídá ploše zastřešení. Většinou se bude jednat o střešní plášť (běžně systémová rodina *Zastřešení*), podhledy (tady se můžeme běžně setkat se systémovými rodinami *Podlaha* a *Strop*), stropní konstrukce (běžně systémová rodina *Podlaha*).

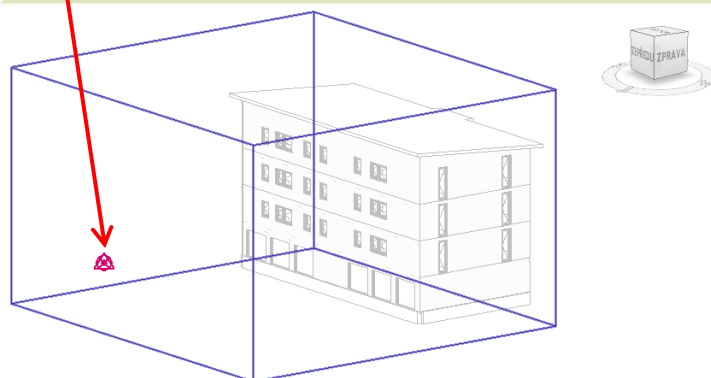
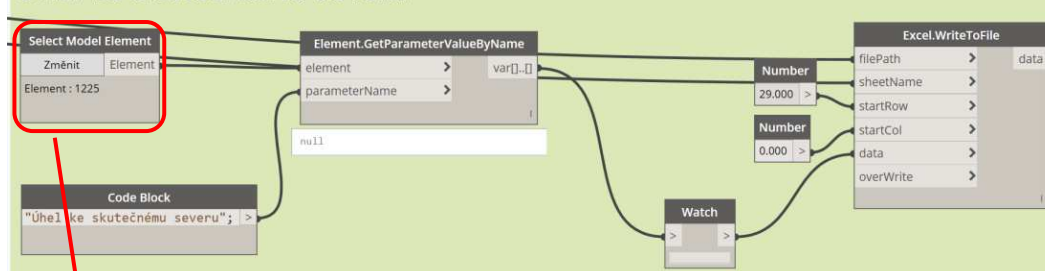
### Plocha zastřešení



Obrázek 7

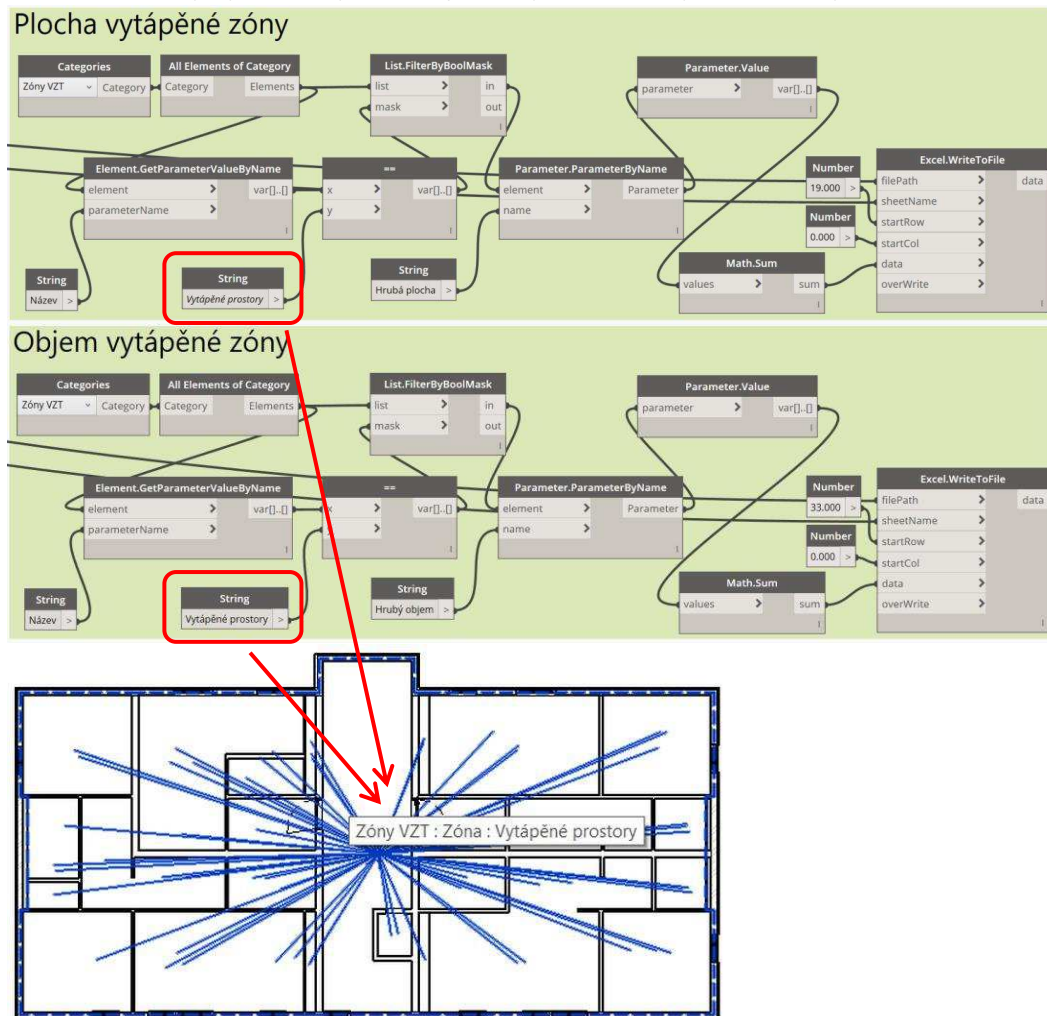
- Přiřadit základní bod projektu počátek projektu. Ten zobrazíme, když si v modelu zobrazíme libovolný půdorysný nebo 3D pohled, zapneme funkci *Zobrazit skryté prvky*. Zde budou vidět počátky dva, základní bod projektu je ten znázorněný kolečkem.

### Úhel ke skutečnému severu



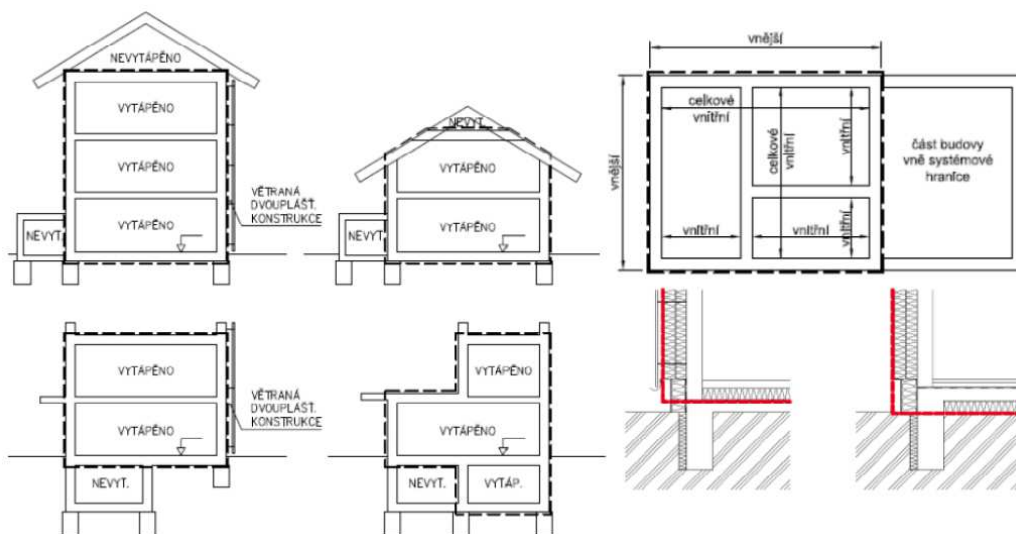
Obrázek 8

- Přiradit název vytápěné zóny, kterou jsme v předchozí kapitole (3.1) vytvořili.



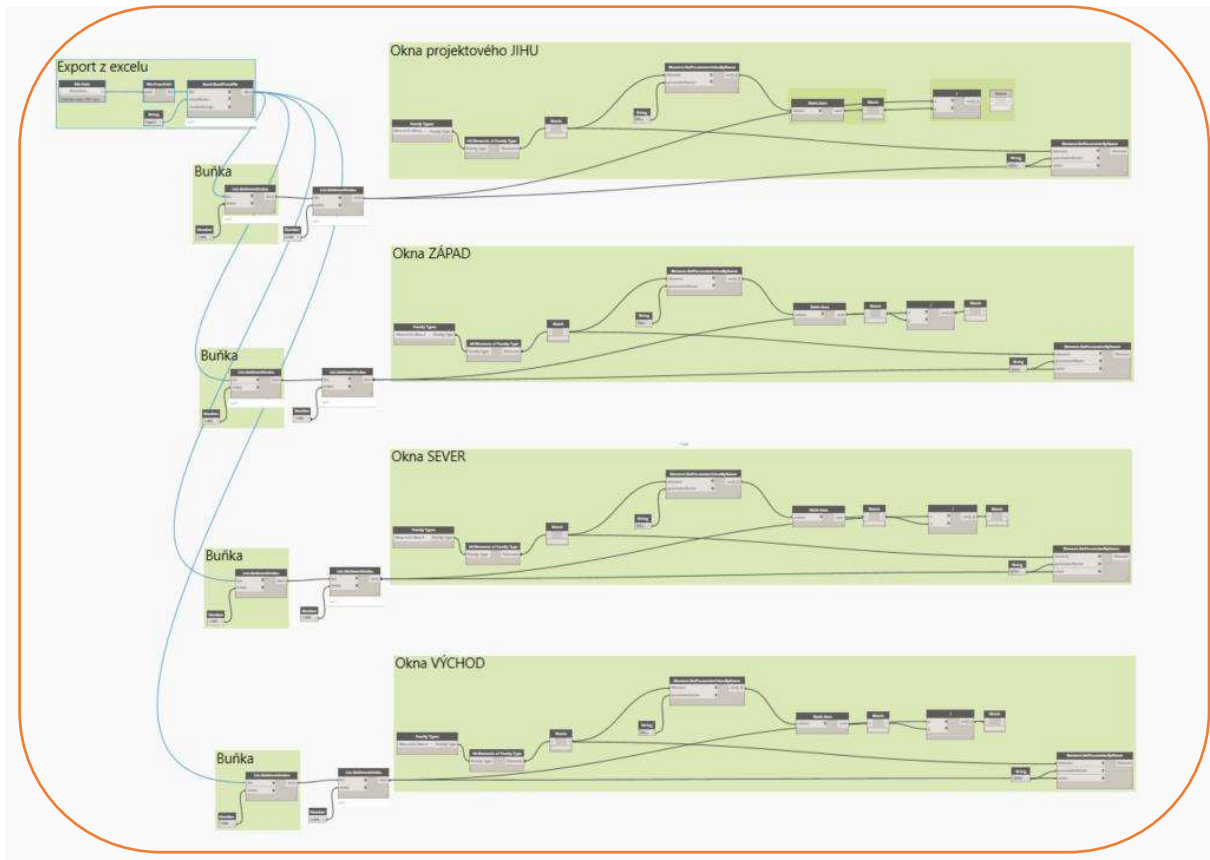
Obrázek 9

Objem zóny se dále liší na *vnitřní objem* a *vnější objem* (Obrázek 10: Vedení systémové hranice dle TNI 730330, kolem vytápěné zóny v řezech (vlevo), v půdoryse (vpravo nahoře) a u podlahy (vpravo dole). Zdroj: [8]Obrázek 10), jak uvádí TNI 730330.



Obrázek 10: Vedení systémové hranice dle TNI 730330, kolem vytápěné zóny v řezech (vlevo), v půdoryse (vpravo nahoře) a u podlahy (vpravo dole). Zdroj: [8]

### 3.2.2. Soubor skriptů pro import informací do Revitu

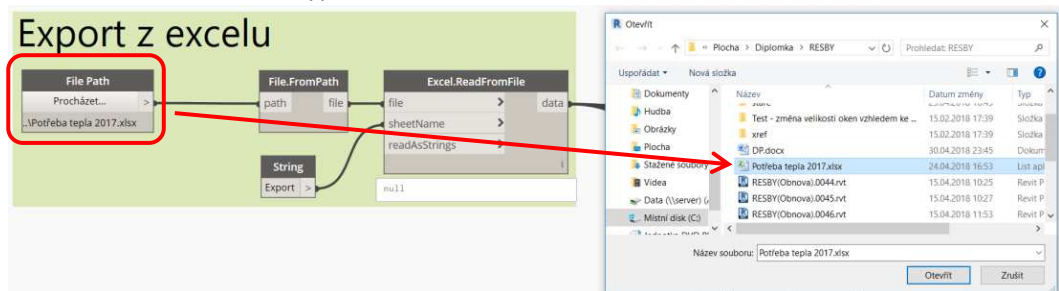


Obrázek 11

1. Změna výšek oken, na optimalizované hodnoty vzhledem k roční potřebě tepla.

#### Pro úspěšný import dat z Excelu do Revitu je třeba:

- U referenčního modelu RESBY a případného dalšího modelu který chceme hodnotit
  - Přiřadit cestu k Excelu s výpočtem.



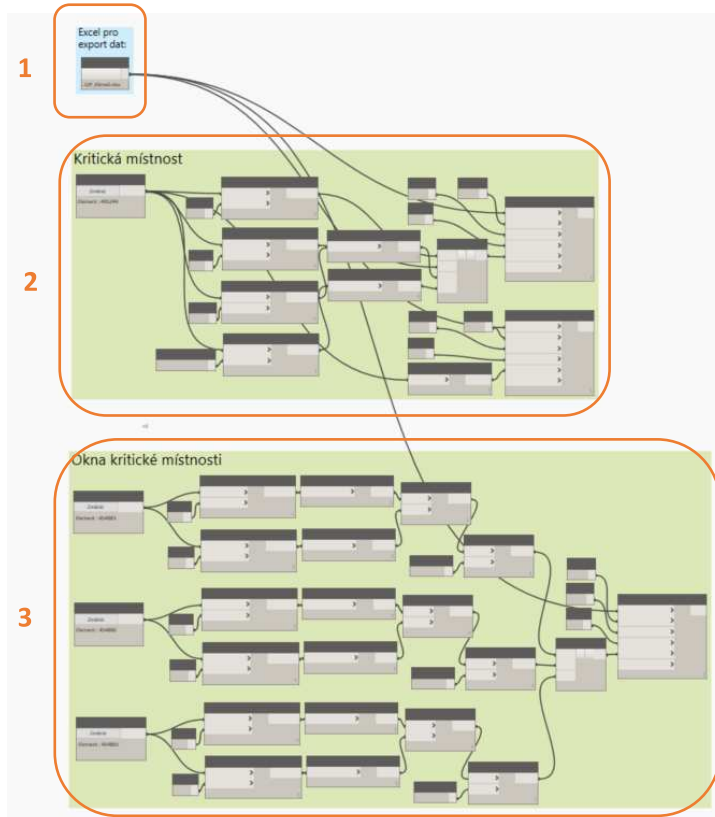
Obrázek 12

- Pouze u případného dalšího modelu který chceme hodnotit
  - Přiřadit okna vytápěné zóny dle světových stran, odpovídajících projektové orientaci (nikoli té skutečné).  
→ *Obdobně jako u předchozího skriptu (export z Revitu do Excelu)*



### 3.2.3. Soubor skriptů pro část přehřívání

Pro výpočet přehřívání kritické místnosti je oddělený soubor skriptů:

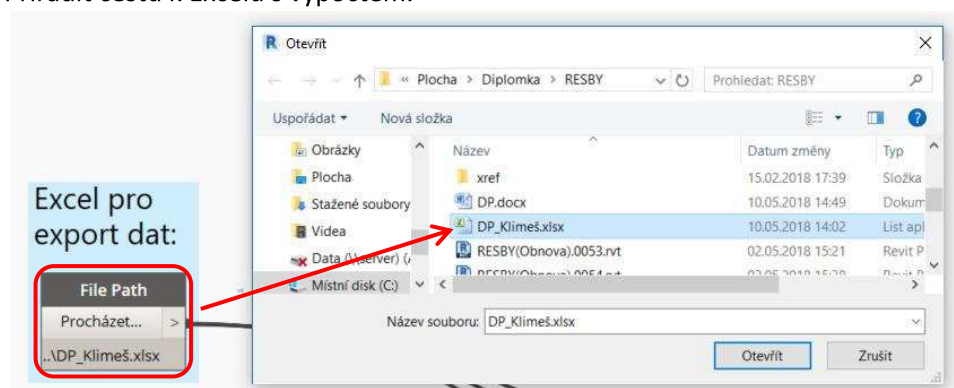


Obrázek 13

1. Cesta k cílovému souboru.
2. Skript pro výpočet celkového objemu a světlé výšky místnosti a jejich export do definovaného pole v excelu.
3. Skript pro výpočet celkových ploch vybraných oken a jejich export do definovaného pole v excelu.

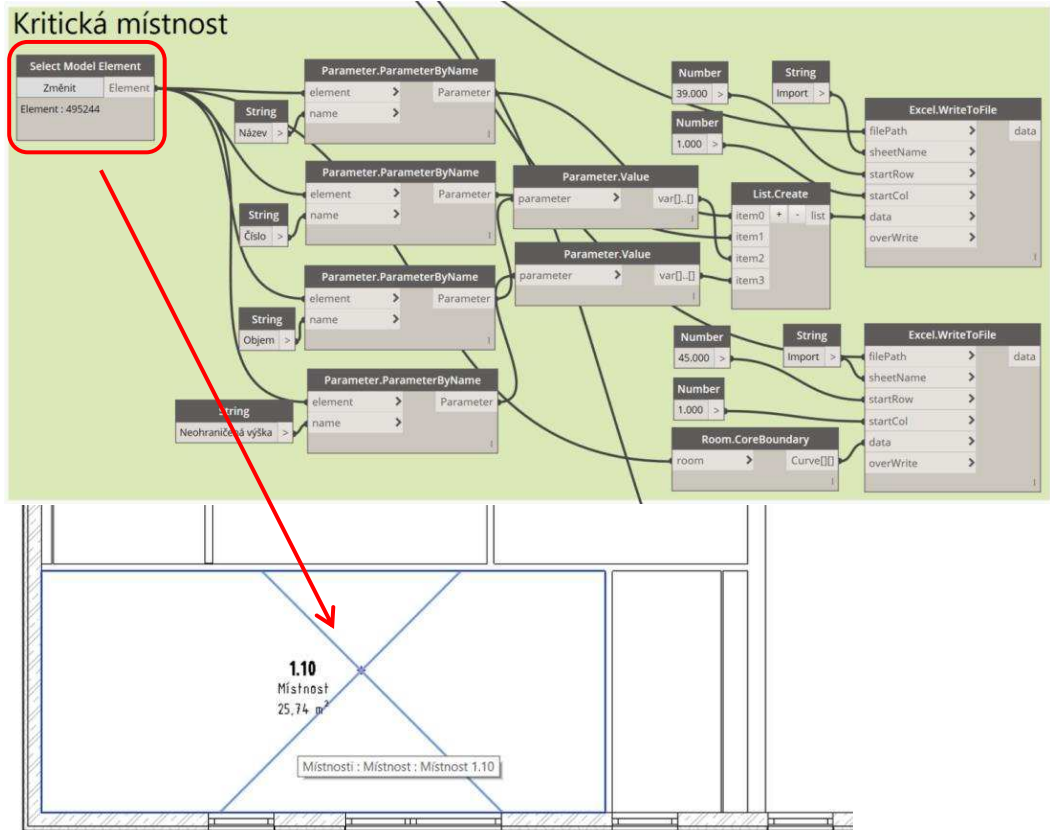
Pro úspěšný import dat z Excelu do Revitu je třeba:

- U referenčního modelu RESBY a případného dalšího modelu který chceme hodnotit
  - Přiřadit cestu k Excelu s výpočtem.



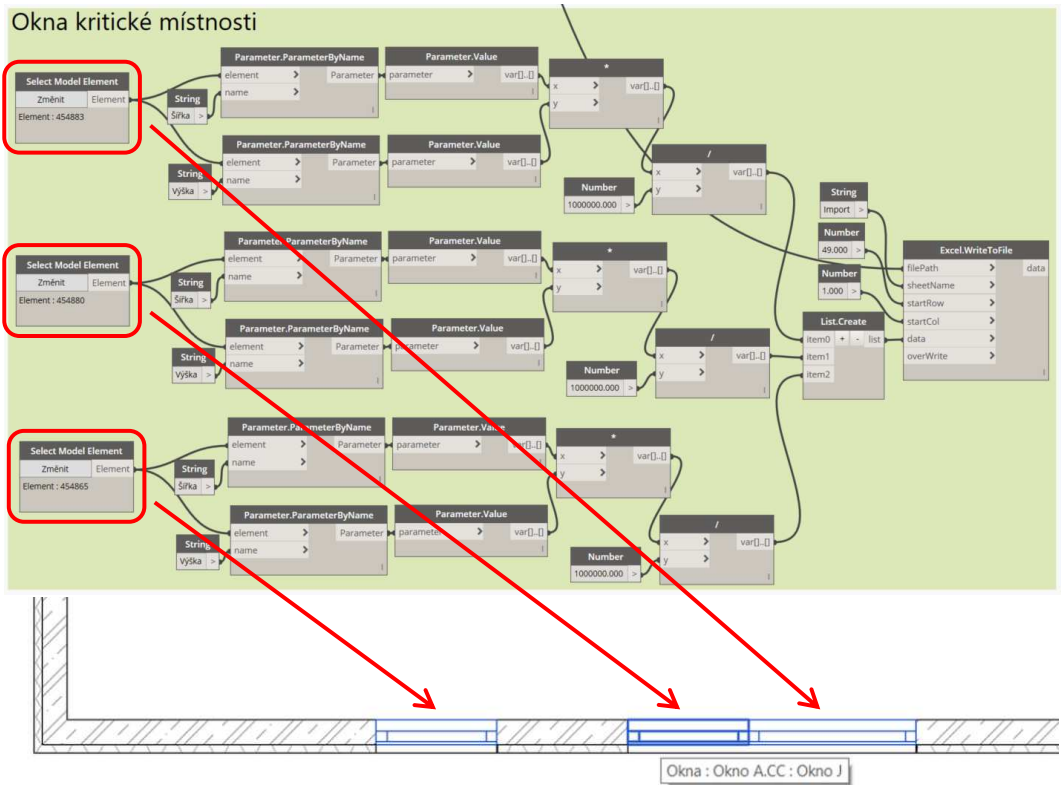
Obrázek 14

- Přřadit vybranou kritickou místnost (místnost bude rozpoznána dle svého ID).



Obrázek 15

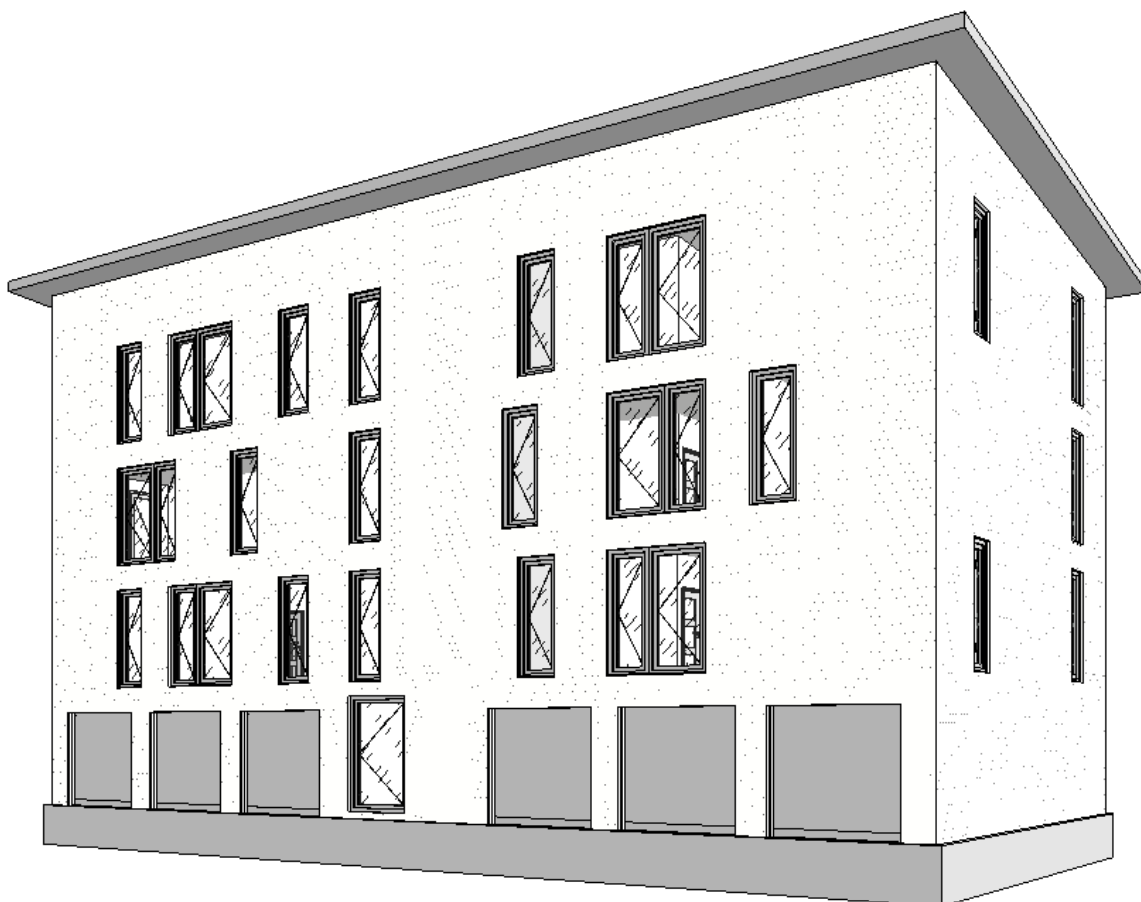
- Přřadit okna kritické místnosti (opět budou rozpoznány dle ID).



Obrázek 16

## 4. Případové studie

### 4.1. Popis referenční budovy



Obrázek 17: 3D pohled

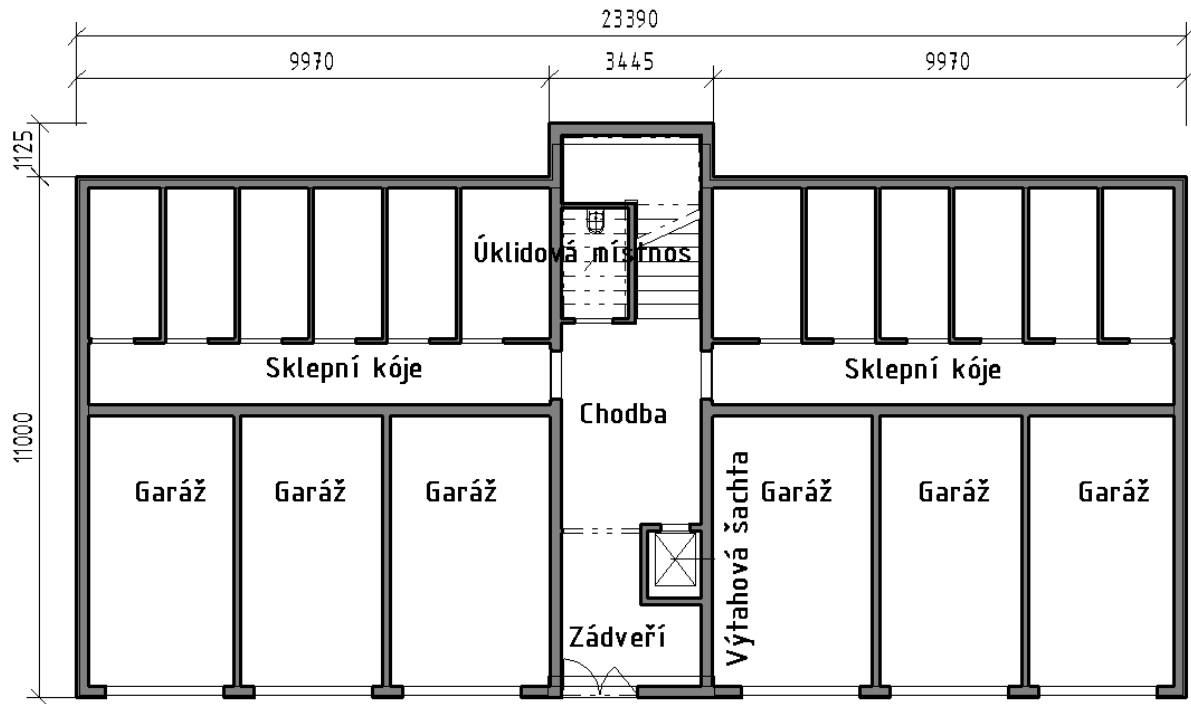
Primárním modelem je studie návrhu obytné budovy RESBY.

Budova je čtyřpodlažní, obdélníkového tvaru. Celková vnější rozloha činí cca 11 x 23,4 m. V přízemí budovy se nacházejí garáže a sklepní kóje. Zbylé tři nadzemní podlaží jsou obsazeny byty. Střecha je pultová jednoplášťová.

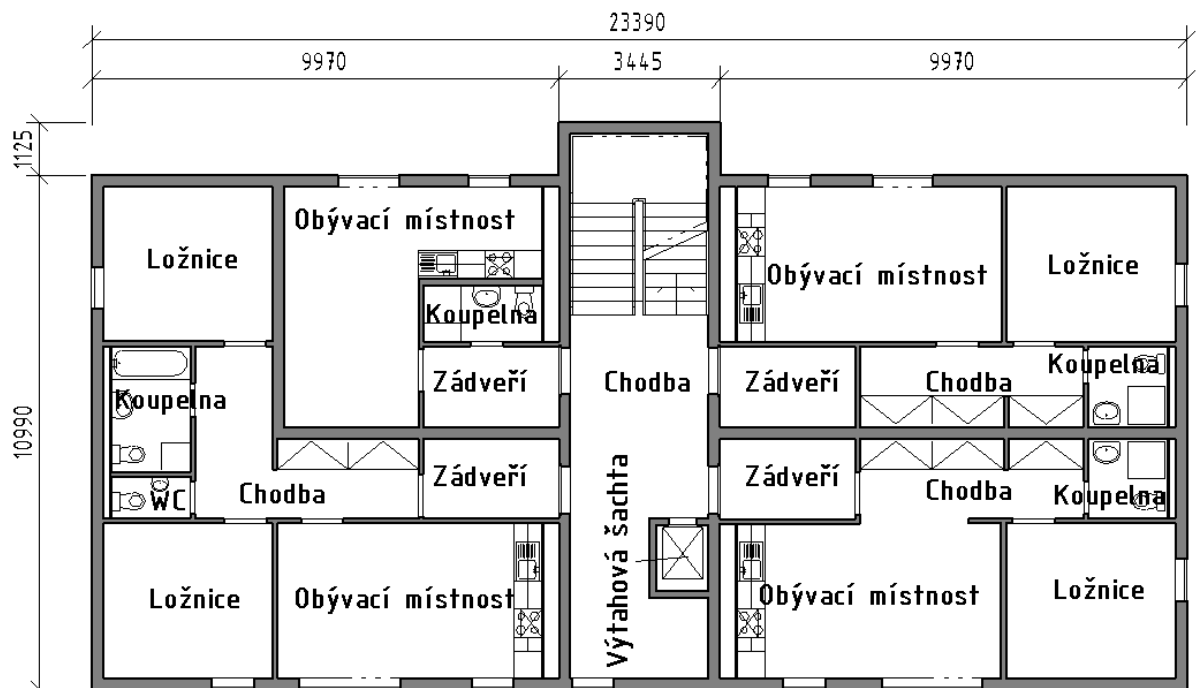
Celkem budova obsahuje 10 bytů pro celkovou kapacitu 34 osob, 6 soukromých garážových stání, 12 sklepních kójí, kočárkárnu a komunikační prostory včetně výtahu.

Budova neobsahuje žádný typ regulace větrání a tudíž ani jednotku pro zpětné získávání tepla. Systém chlazení též není součástí vybavení.

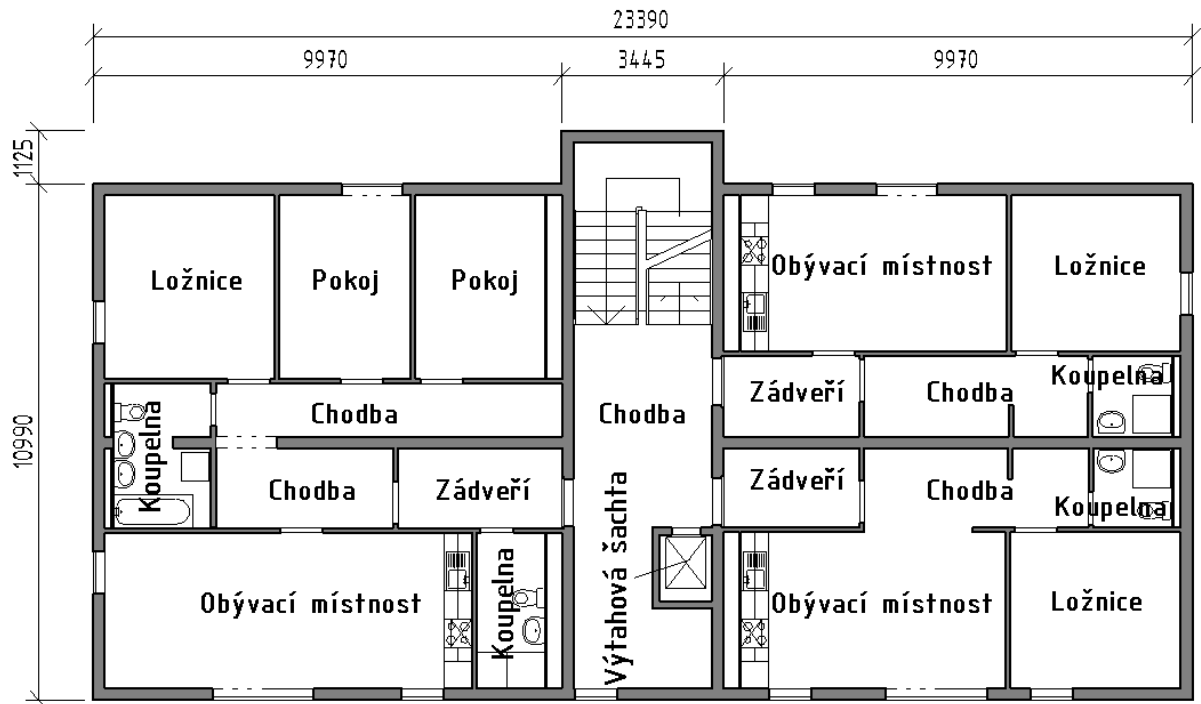
Specifikace budovy které nejsou zadány, jsou pro potřeby diplomové práce voleny buďto typické, popřípadě tak aby výsledky analýz vůči referenční budově byly co nejnázornější.



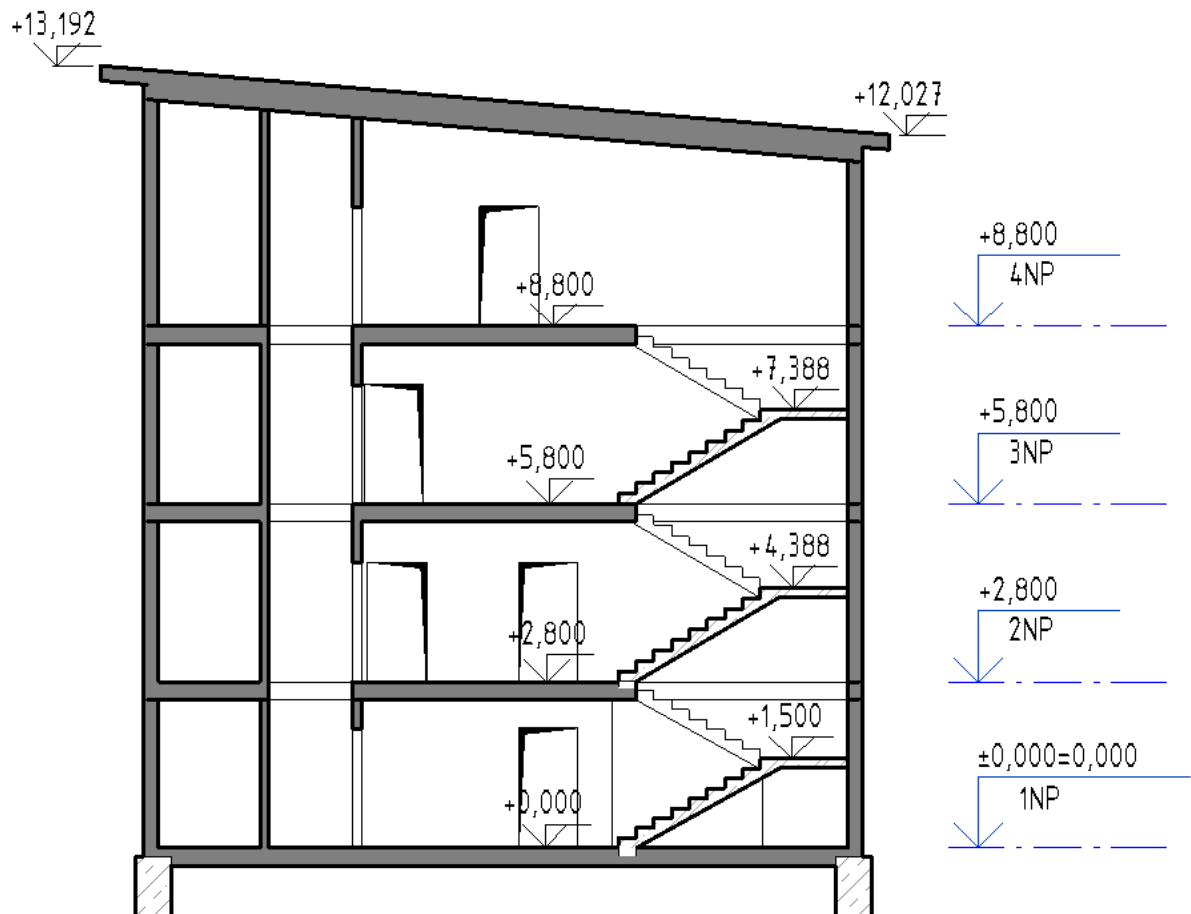
Obrázek 18: Půdorys 1.NP (garáže)



Obrázek 19: Půdorys 2.NP



Obrázek 20: Půdorys 3.NP a 4.NP



Obrázek 21: Řez

## 4.2. Potřeba tepla a analýza vlivů

### 4.2.1. Výpočet potřeby tepla na vytápění

Výpočet se řídí metodou ČSN EN ISO 52016-1<sup>[11]</sup>, odpovídající způsobu hodnocení dle TNI 73 0330<sup>[8]</sup>.

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění je třeba dopočíst tepelné ztráty a tepelné zisky během roku, v určitém časovém kroku. Tím je v tomto výpočtu jeden měsíc.

#### 4.2.1.1. Průměrný součinitel prostupu tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla se vztahuje k obálce celé budovy, nebo její vytápěné zóny a zahrnuje vliv všech obsažených konstrukcí.

Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  [W/(m<sup>2</sup>.K)]:

$$U_{em} = H_T / A \quad [W/(m^2.K)] \quad (1)$$

$A$  [m<sup>2</sup>] je podlahová plocha. Ta se uvažuje jako celková vnitřní plocha podle ČSN EN ISO 13789<sup>[17]</sup>. Redukce podlahové plochy se neuvažuje. Půdorysná plocha schodiště se započítává v každém vytápěném podlaží.

$$A = \sum_i A_i \quad [m^2] \quad (2)$$

$H_T$  [W/K] je měrný tepelný tok prostupem tepla.

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i + \sum_k l_k \cdot \psi_i \cdot b_k + \sum_j \chi_j \cdot b_j \quad [W/K] \quad (3)$$

První část rovnice zde charakterizuje vliv plošných konstrukcí, druhá část vliv lineárních tepelných mostů a třetí část vliv bodových tepelných mostů.

$A_i$  [m<sup>2</sup>] je plocha i-té konstrukce.

$U_i$  [W/(m<sup>2</sup>.K)] je součinitel prostupu tepla i-té konstrukce. Hodnoty výpočet referenčního modelu RESBY jsou stanoveny dle horních doporučených hodnot pro pasivní budovy dle ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.

$b_i$  [-] je činitel teplotní redukce v otopném období i-té konstrukce. Pro situace například v modelu RESBY (podlaha na zemině, podlaha a stěny na rozmezí vytápěné a nevytápěné zóny, apod.) lze hodnotu určit interpolací mezi hodnotami následující tabulky<sup>[12]</sup>.

tepelný odpor konstrukce	R [m <sup>2</sup> .K/W]	1	2	3	4	6	8	10
činitel teplotní redukce	b [-]	0,47	0,61	0,66	0,72	0,79	0,83	0,86

Tabulka 2: Hodnoty činitele teplotní redukce b, Zdroj: [12]

$l_k$  [m] je délka k-té lineární tepelné vazby.

$\psi_k$  [W/(m<sup>2</sup>.K)] je lineární činitel prostupu tepla k-té lineární tepelné vazby.

$b_k$  [-] je činitel teplotní redukce v otopném období k-té konstrukce.

$\chi_j$  [W/K] je bodový činitel prostupu tepla j-té bodové tepelné vazby.

$b_j$  [-] je činitel teplotní redukce v otopném období j-té konstrukce.

Vzhledem k tomu že se v referenčním modelu počítá s hraničními normovými hodnotami a nehodnotí se konkrétní řešení, výpočet je zjednodušen dle ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup> na vzorec:

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i + A \cdot \Delta U_{tb} \quad [\text{W/K}] \quad (4)$$

První část rovnice zde charakterizuje vliv plošných konstrukcí, druhá část průměrný vliv tepelných vazeb na systémové hranici budovy.

$\Delta U_{tb}$  [W/(m<sup>2</sup>.K)] je přírážka orientačně zohledňující vliv všech tepelných vazeb.

budovy s důsledně optimalizovanými tepelnými vazbami .....  $\Delta U_{tb} \approx 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  
 budovy s mírnými tepelnými vazbami (typové či opakované řešení) .....  $\Delta U_{tb} \approx 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  
 budovy s běžnými tepelnými vazbami (standardní řešení) .....  $\Delta U_{tb} \approx 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  
 budovy s výraznými tepelnými mosty (zanedbané řešení) .....  $\Delta U_{tb} \approx 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , a více.

Zdroj: [12][2]

Pro dosažení pasivního standardu je třeba dodržet hodnoty veličiny  $U_{em}$  předepsané v TNI 73 0330<sup>[8]</sup>.

konstrukce		A	b	$U_{em,N,rq}$	U	$A_i \cdot U_i \cdot b_i$	$U_{em}$
		m <sup>2</sup>	-	W/m <sup>2</sup> .K	W/m <sup>2</sup> .K	W/m <sup>2</sup> .K	W/m <sup>2</sup> .K
střecha		257,67	1,00	0,70	0,150	38,65	0,24
podlaha a stěna k nevytápěné zóně a k zemině		305,15	0,74		0,220	49,68	
stěna mezi vytápěnými zónami		0,00	0,00		0,000	0,00	
J	Fasáda	160,74	1,00		0,180	28,93	
	okna	56,88	1,00		0,800	45,50	
Z	Fasáda	87,81	1,00		0,180	15,81	
	okna	8,64	1,00		0,800	6,91	
S	Fasáda	169,31	1,00		0,180	30,48	
	okna	29,52	1,00		0,800	23,62	
V	Fasáda	87,81	1,00		0,180	15,81	
	okna	10,80	1,00		0,800	8,64	
		A= 1174,34 m <sup>2</sup>				H <sub>T</sub> = 287,51 W/K	

Tabulka 3: Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$ .

Objemový faktor budovy A/V se stanovuje v souladu s ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.

A [m<sup>2</sup>] je podlahová plocha. Ta se uvažuje jako celková vnitřní plocha podle ČSN EN ISO 13789<sup>[17]</sup>. Redukce podlahové plochy se neuvažuje. Půdorysná plochy schodiště se započítává v každém vytápěném podlaží.

V [m<sup>3</sup>] je vnější objem budovy.

Požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em,N}$  [ $W/(m^2.K)$ ] se udává v závislosti na výše uvedeném objemovém faktoru  $A/V$  dle ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.

Požadavek se dělí na požadované hodnoty  $U_{em,N,rq}$  [ $W/(m^2.K)$ ] a doporučené hodnoty  $U_{em,N,rc}$  [ $W/(m^2.K)$ ].

$$U_{em,N,rq} = 0,30 + 0,15 / (A/V) \quad [W/(m^2.K)] \quad (5)$$

$$U_{em,N,rc} = 0,75 \cdot U_{em,N,rq} \quad [W/(m^2.K)] \quad (6)$$

$U_{em} < U_{em,N}$
<b>VYHOVÍ</b>

$U_{em}$  **SPLŇUJE** limitní požadovanou hodnotu pro  $U_{em,N,rq}$  dle ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.

Zatřídění dle tepelně-izolační kvality obálky do tříd:

- A ... Velmi úsporná
- B ... Úsporná
- C ... Vyhovující

Klasifikační třídy		
A	$U_{em} < 0,3 \cdot U_{em,rq}$	<b>A – Velmi úsporná</b>
B	$0,3 \cdot U_{em,rq} < U_{em} < 0,6 \cdot U_{em,rq}$	
C	$0,6 \cdot U_{em,rq} < U_{em} < U_{em,rq}$	

Tabulka 4

$U_{em}$  **SPLŇUJE** klasifikační třídu **A - Velmi úsporná** dle s ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.

Dále je potřeba pro dosažení pasivního standardu splnit následující limitní hodnoty  $U_{em}$ , nezávisle na hodnotě  $A/V$ .

bytové domy a administrativní budovy	0,30	$W/(m^2 \cdot K)$
rodinné domy	0,22	

Tabulka 5: Limitující hodnoty  $U_{em}$ , Zdroj: [12]

Limitující hodnoty pro dosažení pasivního standardu			
$A/V =$	<b>0,28</b>	<b>&lt;</b>	<b>0,30</b>
<b>VYHOVÍ</b>			

$U_{em}$  **SPLŇUJE** obecné limitní hodnoty pro  $U_{em}$  pro bytové a administrativní domy dle s ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.



### 4.2.1.2. Tepelné ztráty

Účel budovy:	Obytná budova
Počet osob:	34
Počet bytových jednotek:	10

měsíc	Vstupní hodnoty		
	$\theta_e$	$\theta_{i,set}$	t
	°C	°C	h
červenec	19,2	20	744
srpen	17,6	20	744
září	11,6	20	720
říjen	7	20	744
listopad	1,8	20	720
prosinec	-1,5	20	744
leden	-2,7	20	744
únor	-1,7	20	696
březen	2,2	20	744
duben	6,6	20	720
květen	11,8	20	744
červen	15,5	20	720

Tabulka 6: Průměrné měsíční vnitřní a vnější teploty vybrané lokality.

Tepelné ztráty se vypočítají jako součet ztrát prostupem  $Q_T$  [kWh] a ztrát větráním  $Q_V$  [kWh]

$$Q_i = Q_T + Q_V \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

Tepelné ztráty prostupem  $Q_T$  [kWh]

$$Q_T = H_T \cdot (\theta_{i,set} - \theta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

$H_T$  [W/K] je měrný tepelný tok prostupem

→ je počítán v předchozí kapitole. Viz vzorec (3).

$\theta_{i,set}$  [°C] je požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny. Použitá teplota pro všechny měsíce během roku je 20°C.

$\theta_e$  [°C] je teplota exteriéru. Tyto hodnoty jsou vyčteny z průměrných klimatických dat pro danou lokalitu.

t [h] je délka časového kroku použitého pro výpočet. V tomto výpočtu je to délka konkrétního měsíce v hodinách.

měsíc	Tepelné ztráty prostupem $Q_t$	
	$H_t$	$Q_t$
	W/K	kWh
červenec	287,51	171,13
srpen	287,51	513,38
září	287,51	1738,86
říjen	287,51	2780,80
listopad	287,51	3767,54
prosinec	287,51	4599,02
leden	287,51	4855,71
únor	287,51	4342,33
březen	287,51	3807,56
duben	287,51	2773,90
květen	287,51	1754,04
červen	287,51	931,53

Tabulka 7: Tepelné ztráty prostupem.

Tepelné ztráty prostupem  $Q_V$  [kWh].

$$Q_V = H_V \cdot (\theta_{i,set} - \theta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

$H_V$  [W/K] je měrný tepelný tok větráním.

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot V_a' \quad [\text{W/K}] \quad (10)$$

$\rho_a$  [kg/m<sup>3</sup>] je objemová hmotnost vzduchu.

$$\rho_a = 1,2 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (11)$$

$c_a$  [J/(kg.K)] je měrná tepelná kapacita vzduchu.

$$c_a = 1000 \quad [\text{J}/(\text{kg.K})] \quad (12)$$

$V_a'$  [m<sup>3</sup>/h] je průměrný objemový tok větracího vzduchu.

$$V_a' = V_{a,d'} \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + V_x' \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (13)$$

$V_{a,d'}$  [m<sup>3</sup>/h] je průměrný návrhový objemový tok.

$\eta_{ZZT}$  [-] je účinnost systému zpětného získávání tepla. Vzhledem k absenci tohoto systému v budově je účinnost 0 [-].

$V_x'$  [m<sup>3</sup>/h] je přídatný tok vzduchu, který je třeba zohlednit v případě mechanického větrání, který zohledňuje netěsnosti obálky budovy.

$$V_x' = V_a \cdot n_{50} \cdot e \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (14)$$

$V_a$  [m<sup>3</sup>] je objem vzduchu ve vytápěné zóně.

$n_{50}$  [1/h] je násobnost výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 [Pa]. Ve výpočtu je uvažována hodnota  $n_{50} = 0,6$  [1/h]. Ta odpovídá hraniční hodnotě splňující standard pasivního domu dle Passivhaus Institutu v Darmstadtu<sup>[15]</sup>.

$e$  [-] je součinitel větrné expozice. Součinitel se pohybuje v hodnotách 0,02 [-] pro jednu exponovanou fasádu a 0,07 [-] pro více než jednu exponovanou fasádu. V tomto výpočtu je volena hodnota  $e = 0,07$  [-].

$\theta_{i,set}$  [°C] je požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny. Použitá teplota pro všechny měsíce během roku je 20°C.

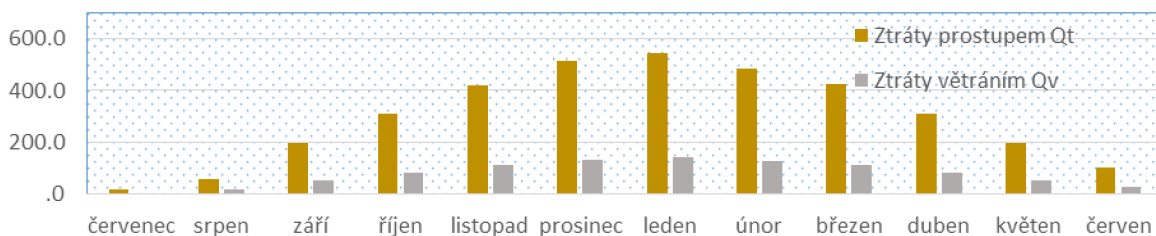
$\theta_e$  [°C] je teplota exteriéru. Tyto hodnoty jsou vyčteny z průměrných klimatických dat pro danou lokalitu.

měsíc	Tepelné ztráty větráním $Q_v$										
	n	occup	$V_{a,d}'$	$V_a$	e	$n_{50}$	$V_x'$	$\eta_{ztr}$	$V_a'$	$H_v$	$Q_v$
	osob	-	$m^3/h$	$m^3$	-	1/h	$m^3/h$	-	$m^3/h$	W/K	kWh
červenec	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	137,85
srpen	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	413,54
září	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	1400,70
říjen	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	2240,01
listopad	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	3034,86
prosinec	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	3704,64
leden	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	3911,41
únor	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	3497,87
březen	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	3067,09
duben	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	2234,45
květen	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	1412,93
červen	34	0,7	595	2051,66	0,07	0,6	86,17	0	681,17	231,60	750,38

Tabulka 8: Tepelné ztráty větráním  $Q_v$ .

Objemová hmotnost vzduchu  $\rho_a = 1,2$  [kg/m<sup>3</sup>]

Měrná tepelná kapacita vzduchu  $c_a = 1000$  [m<sup>3</sup>/h]



Obrázek 22: Tepelné ztráty prostupem a větráním.

### 4.2.1.3. Tepelné zisky

Účel budovy:	Obytná budova
Počet osob:	34
Počet bytových jednotek:	10

Tepelné zisky se vypočítají jako součet vnitřních zisků  $Q_{int}$  [kWh] a solárních zisků  $C_{sol}$  [kWh]

$$Q_g = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (15)$$

Vnitřní tepelné zisky  $Q_{int}$  [kWh]

$$Q_{int} = Q_{int}' \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (16)$$

$Q_{int}'$  [kW] je průměrný výkon vnitřních zisků.

$$Q_{int}' = n_{os} \cdot 100 \cdot occup + n_{bj} \cdot 100 \quad [\text{kW}] \quad (17)$$

$n_{os}$  [os] je počet obyvatel budovy. Pro tuto budovu uvažujeme 34 lidí.

100 [W/os] je tepelný výkon jedné osoby v budobě.

occup [-] je průměrná obsazenost budovy. Pro obytné budovy se uvažuje hodnota 0,7 [-]

$n_{bj}$  [-] je počet bytových jednotek. Těch budova RESBY obsahuje 10.

100 [W] je tepelný výkon jedné bytové jednotky.

$t$  [h] je délka časového kroku použitého pro výpočet. V tomto výpočtu je to délka konkrétního měsíce v hodinách.

měsíc	Vnitřní zisky						
	Af	qint	nos	occup	n <sub>bj</sub>	Q <sub>int</sub> '	Q <sub>int</sub>
	$m^2$	$W/m^2$	-	-	-	kW	kWh
červenec	709,1	6	34	0,7	10	3380	2514,72
srpen	709,1	6	34	0,7	10	3380	2514,72
září	709,1	6	34	0,7	10	3380	2433,6
říjen	709	6	34	0,7	10	3380	2514,72
listopad	709	6	34	0,7	10	3380	2433,6
prosinec	709	6	34	0,7	10	3380	2514,72
leden	709,1	6	34	0,7	10	3380	2514,72
únor	709,1	6	34	0,7	10	3380	2352,48
březen	709,1	6	34	0,7	10	3380	2514,72
duben	709,1	6	34	0,7	10	3380	2433,6
květen	709,1	6	34	0,7	10	3380	2514,72
červen	709,1	6	34	0,7	10	3380	2433,6

Tabulka 9: Hodnoty vnitřních zisků pro bytovou budovu.

**Solární tepelné zisky  $Q_{sol}$  [kWh]**

$$Q_{sol} = \sum_j H_j \sum_n A_{s,n,j} \quad (18)$$

$H_j$  [kWh/m<sup>2</sup>] je měsíční dávka ozáření na určitou orientaci

$A_{s,n,j}$  [m<sup>2</sup>] je účinná solární sběrná plocha n-tého transparentního prvku (okna) s určitou orientací.

$$A_s = A_w \cdot g_{\perp} \cdot F_w \cdot F_f \cdot F_c \cdot F_s \quad [m^2] \quad (19)$$

$A_w$  [m<sup>2</sup>] je celková plocha transparentního prvku.

$g_{\perp}$  [-] je celková energetická propustnost transparentního prvku při normálovém dopadu slunečních paprsků.

$F_w$  [-] je korekční součinitel pro zvýšené ztráty odrazem při větších úhlech dopadu slunečních paprsků. Pro model RESBY je uvažována hodnota 0,9 [-]

$F_f$  [-] je korekční součinitel rámu vyjádřený poměrem plochy zasklení  $A_{gl}$  [m<sup>2</sup>] a celkové plochy prvku  $A_w$  [m<sup>2</sup>].

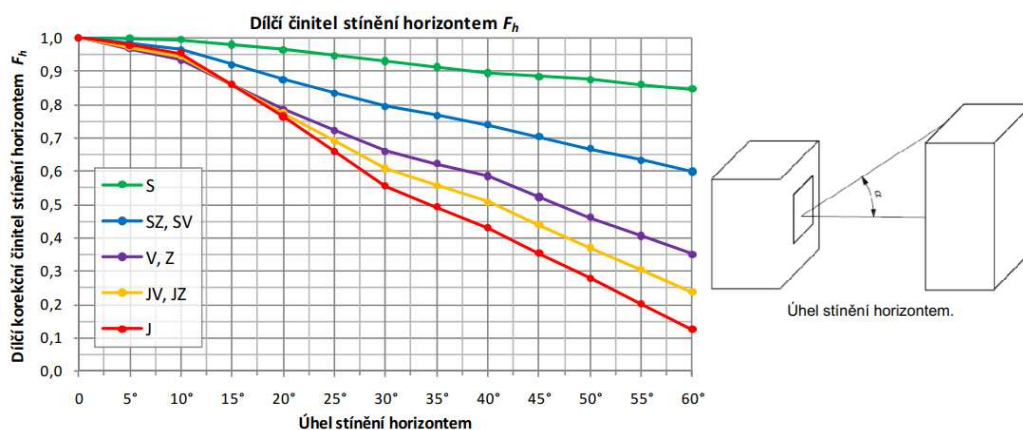
$$F_f = A_{gl} / A_w \quad [-] \quad (20)$$

$F_c$  [-] je korekční součinitel clonění. Zohledňuje případné prvky sluneční ochrany.

$F_s$  [-] je korekční činitel stínění bočními žebry.

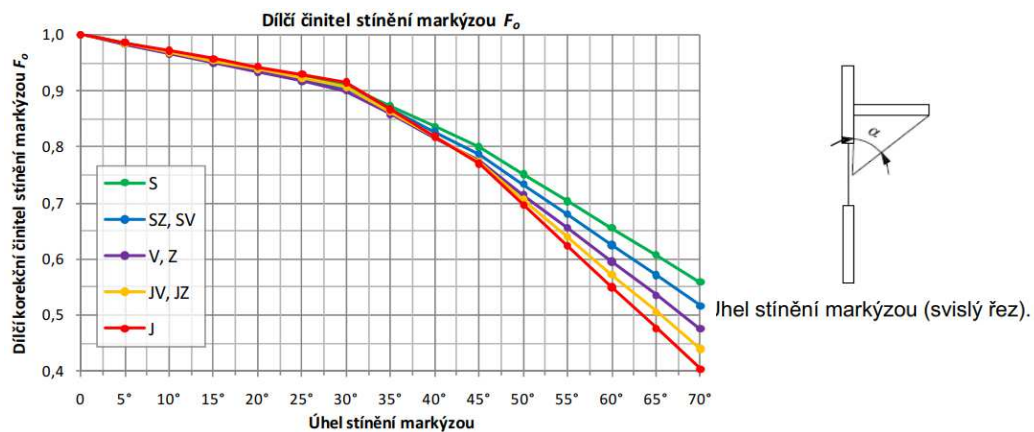
$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad [-] \quad (21)$$

$F_h$  [-] je dílčí součinitel stínění horizontem.



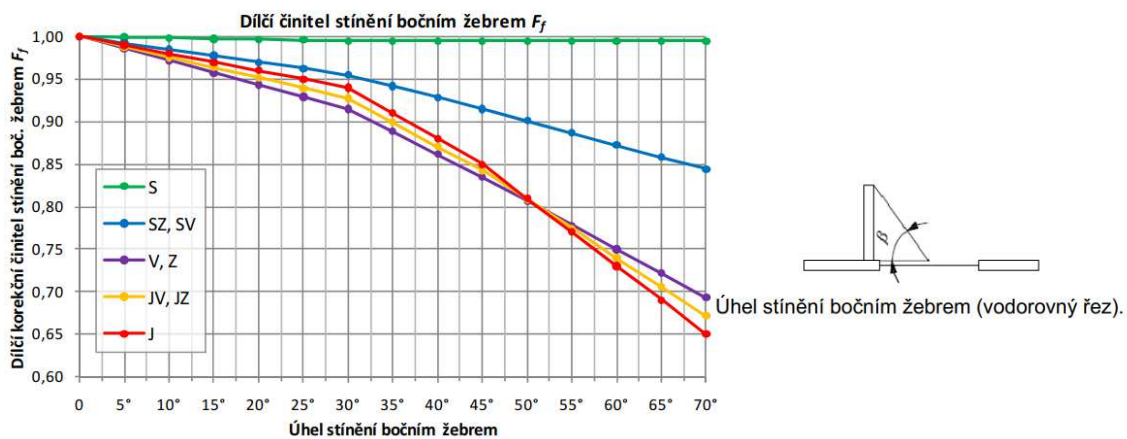
Obrázek 23: Dílčí činitel stínění horizontem  $F_h$ , Zdroj: [12]

$F_o$  [-] jedlíčí součinitel stínění markýzou.



Obrázek 24: Dílčí činitel stínění markýzou  $F_o$ , Zdroj: [12]

$F_f$  [-] je dílčí součinitel stínění bočními žebry.



Obrázek 25: Dílčí činitel stínění bočním žebrem  $F_f$ , Zdroj: [12]

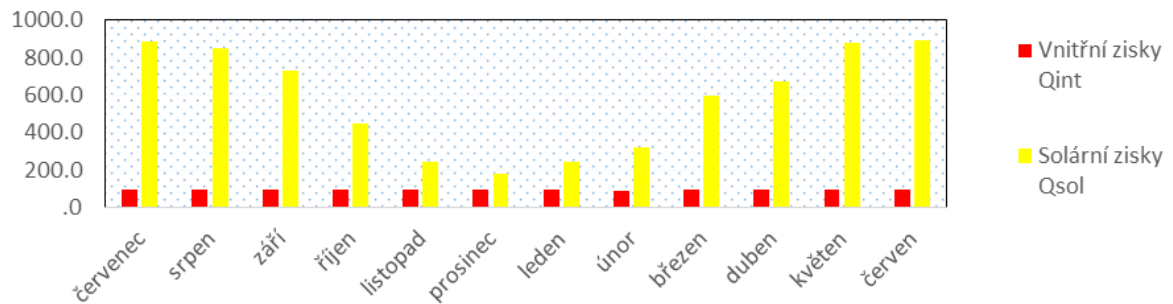
měsíc	Solární zisky										Celkem
		g	F <sub>w</sub>	F <sub>f</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>s</sub>	A <sub>w</sub>	A <sub>s</sub>	H <sub>i</sub>	Q <sub>sol</sub>	
		-	-	-	-	-	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh
červenec	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	90,31	3 315	5 829
	sever						9	3	53,11		
	východ						30	10	97,39		
	západ						11	4	97,39		
srpen	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	95,50	3 279	5 793
	sever						9	3	44,69		
	východ						30	10	89,31		
	západ						11	4	89,31		
září	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	95,19	2 918	5 352
	sever						9	3	30,19		
	východ						30	10	67,19		
	západ						11	4	67,19		
říjen	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	71,57	1 900	4 415
	sever						9	3	10,36		
	východ						30	10	32,23		
	západ						11	4	32,23		
listopad	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	41,07	1 052	3 486
	sever						9	3	5,52		
	východ						30	10	15,87		
	západ						11	4	15,87		
prosinec	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	30,95	782	3 297
	sever						9	3	4,03		
	východ						30	10	11,18		
	západ						11	4	11,18		
leden	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	41,91	1 056	3 571
	sever						9	3	5,21		
	východ						30	10	15,01		
	západ						11	4	15,01		
únor	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	53,31	1 389	3 741
	sever						9	3	7,26		
	východ						30	10	22,21		
	západ						11	4	22,21		
březen	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	89,73	2 510	5 024
	sever						9	3	15,60		
	východ						30	10	48,89		
	západ						11	4	48,89		
duben	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	88,42	2 747	5 181
	sever						9	3	24,04		
	východ						30	10	65,84		
	západ						11	4	65,84		
květen	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	92,39	3 325	5 840
	sever						9	3	50,39		
	východ						30	10	95,81		
	západ						11	4	95,81		
červen	jih	0,65	0,90	0,85	0,70	1,00	57	20	88,69	3 323	5 756
	sever						9	3	56,11		
	východ						30	10	99,61		
	západ						11	4	99,61		

Tabulka 10: Solární zisky a hodnoty korekčních činitelů.

## Celkové tepelné zisky

Tepelné zisky			
měsíc	Vnitřní zisky	Solární zisky	Celkem
	$Q_{int}$	$Q_{sol}$	$Q_g$
	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>
červenec	2514,72	3 315	5 829
srpen	2514,72	3 279	5 793
září	2433,6	2 918	5 352
říjen	2514,72	1 900	4 415
listopad	2433,6	1 052	3 486
prosinec	2514,72	782	3 297
leden	2514,72	1 056	3 571
únor	2352,48	1 389	3 741
březen	2514,72	2 510	5 024
duben	2433,6	2 747	5 181
květen	2514,72	3 325	5 840
červen	2433,6	3 323	5 756

Tabulka 11: Součet tepelných zisků.



Obrázek 26: Graf vnitřních a solárních zisků během měsíce.



#### 4.2.1.4. Potřeba tepla

Potřeba tepla na vytápění se vypočte:

$$Q_{nd} = Q_l - \eta_g \cdot Q_g \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

$Q_l$  [kWh] je celková tepelná ztráta vytápěné zóny.

$Q_g$  [kWh] jsou celkové tepelné zisky vytápěné zóny.

$\eta_g$  [-] je faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění.

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění  $\eta_g$  [-]

$$\eta_g = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad [-] \quad (23)$$

$\gamma$  [-] je poměr tepelných zisků  $Q_g$  [kWh] a tepelných ztrát  $Q_l$  [kWh].

$$\gamma = Q_g / Q_l \quad [-] \quad (24)$$

$a$  [-] je číselný parametr.

$$a = 1 + \tau/15 \quad [-] \quad (25)$$

$\tau$  [h] je časová konstanta vytápěné zóny budovy.

$$\tau = \frac{C_m}{\frac{3600}{H_T + H_V}} \quad [\text{h}] \quad (26)$$

$C_m$  [J/K] je účinná vnitřní tepelná kapacita zóny. Ta je určena přibližně v závislosti na třídě budovy. Pro budovu RESBY je volena hodnota střední, tedy  $165000 \times A_f$ , kde  $A_f$  [m<sup>2</sup>] vyjadřuje podlahovou plochu vytápěné zóny.

Třída	Měsíční a sezónní metoda
	$C_m$ [J/K]
velmi lehká	80000 x $A_f$
lehká	110000 x $A_f$
střední	165000 x $A_f$
těžká	260000 x $A_f$
velmi těžká	370000 x $A_f$

Tabulka 12: Účinná vnitřní tepelná kapacita zóny, Zdroj:[12]

$H_T$  [W/K] je měrný tepelný tok prostupem.

$H_V$  [W/K] je měrný tepelný tok větráním.

měsíc	$Q_i$	$\gamma$	$C_m$	$\tau$	$a$	$\eta_g$	$Q_{nd}$
	<i>kWh</i>	-	<i>J/K</i>	<i>h</i>	-	-	<i>kWh</i>
červenec	309	18,87	117 004 465	62,61	5,17	0,05	0
srpen	927	6,25	117 004 465	62,61	5,17	0,16	0
září	3 140	1,70	117 004 465	62,61	5,17	0,57	85
říjen	5 021	0,88	117 004 465	62,61	5,17	0,89	1 106
listopad	6 802	0,51	117 004 465	62,61	5,17	0,98	3 371
prosinec	8 304	0,40	117 004 465	62,61	5,17	0,99	5 024
leden	8 767	0,41	117 004 465	62,61	5,17	0,99	5 217
únor	7 840	0,48	117 004 465	62,61	5,17	0,99	4 142
březen	6 875	0,73	117 004 465	62,61	5,17	0,94	2 162
duben	5 008	1,03	117 004 465	62,61	5,17	0,82	742
květen	3 167	1,84	117 004 465	62,61	5,17	0,53	63
červen	1 682	3,42	117 004 465	62,61	5,17	0,29	2

Tabulka 13: Celková měsíční potřeba tepla na vytápění.

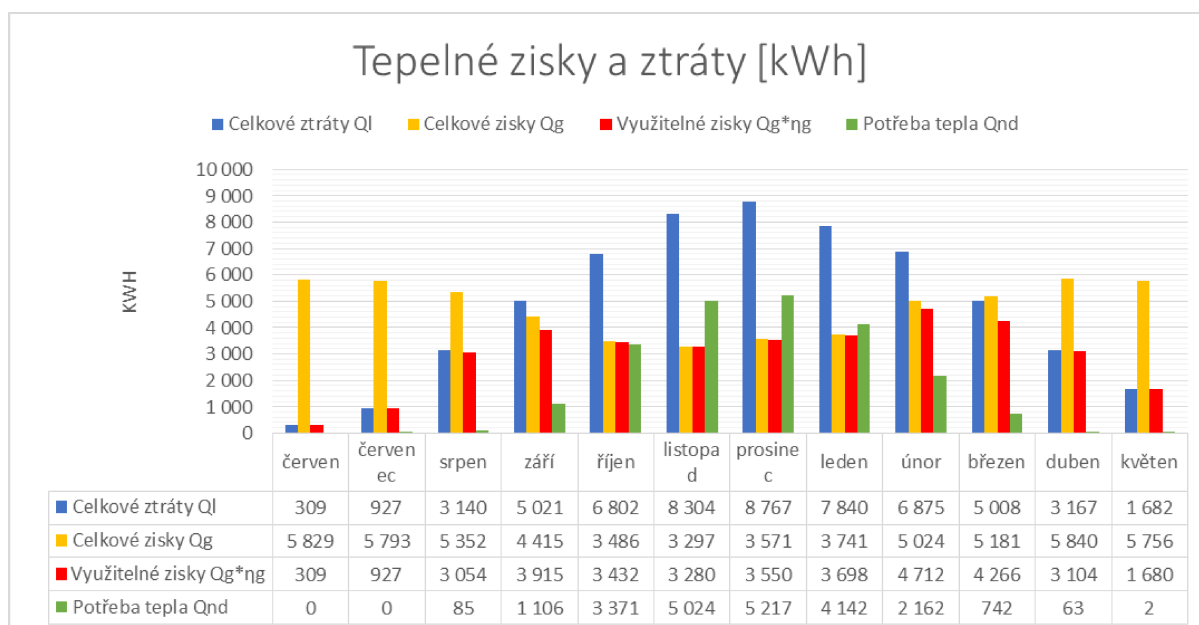
**Celková měrná potřeba tepla na vytápění:**

<b>Celkem:</b>	21 913	<i>kWh/rok</i>
<b>Průměrně:</b>	1 826	<i>kWh/měsíc</i>
<b>Na ploše:</b>	709,1179725	<i>m<sup>2</sup></i>
<b>Potřeba tepla:</b>	<b>30,90</b>	<i>kWh/(m<sup>2</sup>.rok)</i>

Tabulka 14: Celková potřeba tepla zóny

Jelikož hodnota 30,9 [kWh/(m<sup>2</sup>.rok)] převyšuje danou maximální hodnotu 15 [kWh/(m<sup>2</sup>.rok)], je již jasné že budovu z pohledu potřeby tepla na vytápění nelze zařadit do standardu *pasivní dům*. Tato hodnota splňuje mez pro následující standard *nízkoenergetický dům*.

Řádově vyšší hodnota je dána tím, že dům neobsahuje žádný druh regulace větrání a tím pádem ani nevyužívá žádného systému zpětného získávání tepla.



Obrázek 27: Souhrnný graf tepelných ztrát, zisků a potřeby tepla na vytápění

#### 4.2.1.5. Vyhodnocení standardu referenční budovy

Vzhledem k náplni práce se vyhodnocení zabývá pouze posouzením součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  a měrné potřeby tepla na vytápění.

Nezahrnuje tedy další součásti jako spotřebu elektrické energie, spotřebu primární energie, násobnost výměny vzduchu (pro výpočet zvolena hodnota  $n_{50} = 0,6$  [ $^{-1}/\text{hod}$ ], což odpovídá hraniční hodnotě splňující standard pasivního domu dle Passivhaus Institutu v Darmstadtu<sup>[15]</sup>), efektivnost ohřevu vody, hodnoty součinitelů prostupu tepla, systémy větrání a další.

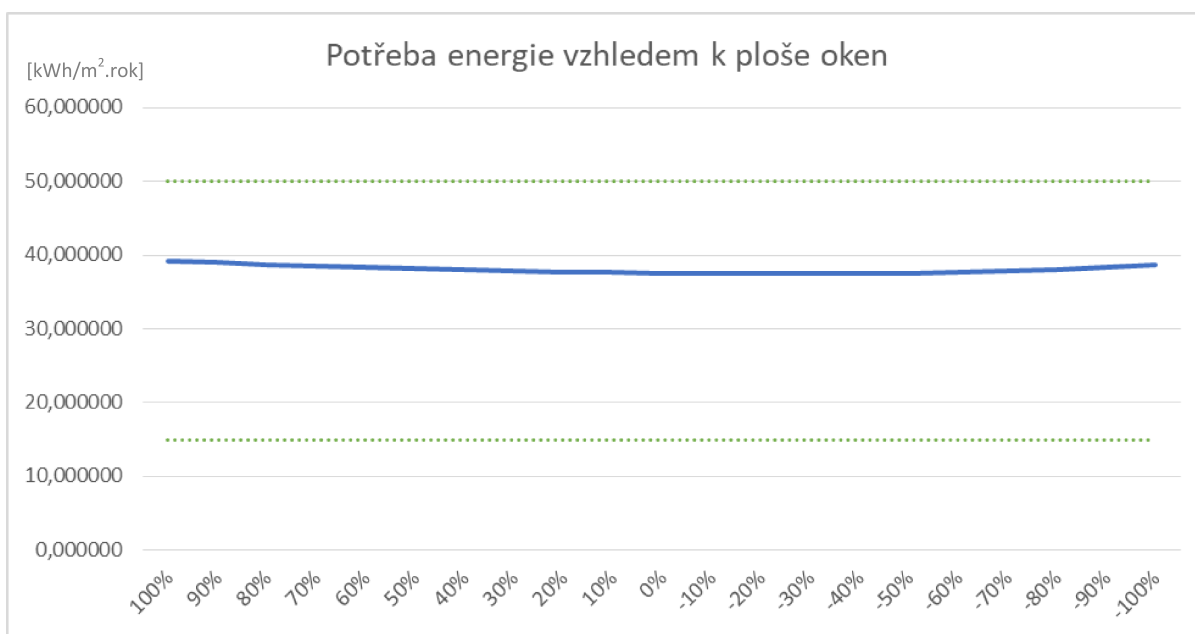
Kategorie	Potřeba tepla na vytápění
Starší budovy	často dvojnásobek hodnot pro obvyklé novostavby a více
Obvyklá novostavba (podle aktuálních závazných požadavků)	80 + 140 kWh/m <sup>2</sup> .rok v závislosti na faktoru tvaru A/V
Nízkoenergetický dům	≤ 50 kWh/m <sup>2</sup> .rok
Pasivní dům	≤ 15 kWh/m <sup>2</sup> .rok
Nulový dům	≤ 5 kWh/m <sup>2</sup> .rok

Tabulka 15: Základní rozdělení budov dle potřeby tepla na vytápění, Zdroj: [16]

Budova splňuje požadavek pro **nízkoenergetický dům** je podle ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>, který je definován jako: *budova s roční plošnou měrnou potřebou tepla na vytápění menší než 50 [kWh/m<sup>2</sup>.rok].*

Požadavek pro pasivní dům dle certifikace PHPP<sup>[16]</sup> převyšuje zhruba dvojnásobně (max. 15 [W/m<sup>2</sup>.K]). To je zapříčiněno především tím, že budova není vybavena žádným druhem nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, což je pro pasivní dům typické.

## 4.2.2. Vliv plochy oken



Obrázek 28: Změna potřeby energie vzhledem k ploše oken.

Nejnižší hodnota potřeby energie odpovídá ploše oken s o 30% menší plochou oproti stávající. Jak je ovšem z tvaru křivky vidět, nemají okna v případě budovy RESBY velký vliv na výsledky. Následující přepočty a úpravy oken jsou v tomto případě tedy spíše demonstrační povahy.

Ve výpočtové tabulce je možnost omezení maximální výšky oken. Případný zbytek omezené plochy se automaticky připočítá k plochám ostatních světových stran, za předpokladu že již také nedosáhli omezení maximální výškou.

Tím se částečně kompenzují tepelné zisky okny, vzhledem k původnímu návrhu. Zároveň se ale neeliminují nepřesnosti vzhledem k původnímu výpočtu a pro pozměněný model je vhodné aktualizovat potřebu tepla na vytápění. To je v tuto chvíli možné pouhým spuštěním prvního skriptu.

Opakováním celého cyklu výpočtu je možné získat přesnější výsledky.

## Úprava výšky oken modelu:

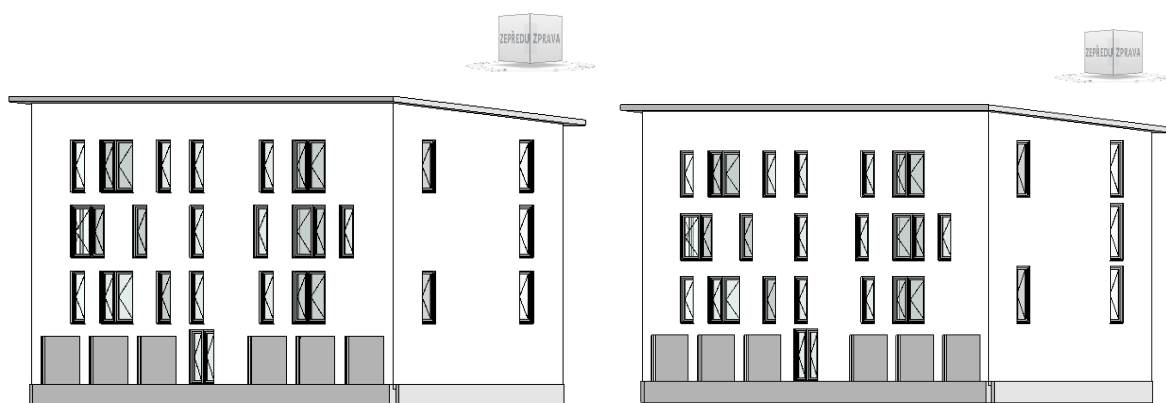
	Jih	Západ	Sever	Východ
Maximální výška oken [mm]	2700	2700	2700	2700
Minimální výška oken [mm]	500	500	500	500
Optimální plocha	25981622,94	19523458,8	9059459,465	19523458,8
Optimální procento k původní celkové ploše	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
Úhel projektového severu	20			
Optimální plocha projektového severu ortogonálně	25981622,94	19523458,8	9059459,465	19523458,8
Úhel projektového severu pomocný	20			
Optimální plocha k projektovému severu	31092155,53	21444567,79	15190523,38	27232288,57
Optimální výška okna	1311,905297	5956,824385	1235,001901	6051,619681
	Splňuje max. výšku	NESPLŇUJE max. výšku	Splňuje max. výšku	NESPLŇUJE max. výšku
Přepočítaná výška	2200	2700	2700	2700

Tabulka 16: Optimalizace výšky oken.

Po omezení *maximální výšky oken* na 2700 [mm], která odpovídá maximální konstrukčně možné výšce oken v modelu, se zbytek omezené plochy oken západní a východní strany připočítá k plochám oken strany jižní a severní, kde si Excel opět zkontroluje výšku a plochu dle potřeby přerozdělí. Ve výsledku jedinou výškově neomezenou plochou se stává plocha oken směřujících na jih.

*Pozn.: výpočet započítává natočení budovy vůči severu, označení dle světových stran je tedy orientační.*

Původní model (vlevo) má výšku všech oken 2400 [mm] s nulovým parapetem. Po spuštění připraveného skriptu se výšky oken změni na 2200 [mm] pro Jih a 2700 [mm] pro ostatní světové strany – nový model (vpravo).



Obrázek 29: Pohled na původní model (vlevo) a na nový model s upravenými výškami oken (vpravo).

### 4.2.3. Vliv účelu budov

- Hodnoty potřeby tepla pro referenční budovu

	Obytná budova	Administrativní budova	
<b>Celkem:</b>	21 913	11 573	kWh/rok
<b>Průměrně:</b>	1 826	964	kWh/měsíc
<b>Na ploše:</b>	709,1	709,1	m <sup>2</sup>
<b>Potřeba tepla:</b>	<b>30,90</b>	<b>16,32</b>	kWh/(m <sup>2</sup> .rok)

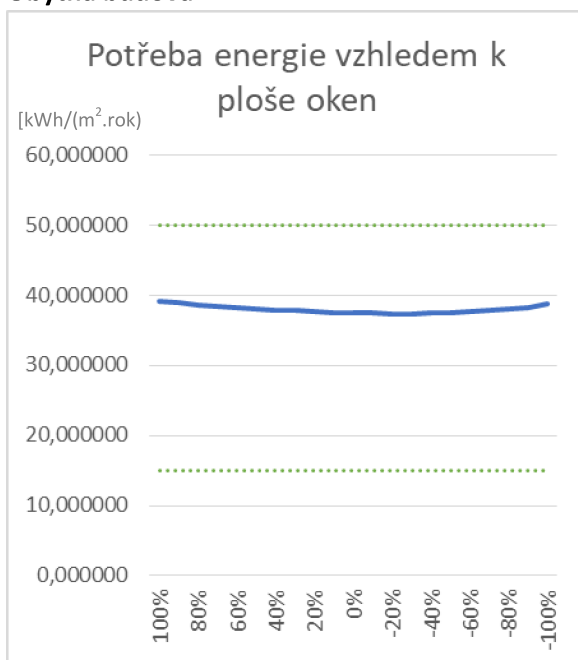
Tabulka 17

Ani v jednom případě nesplňuje z hlediska měrné roční potřeby tepla na vytápění maximální hranici 15 [kWh/(m<sup>2</sup>.rok)] pro splnění pasivního standardu.

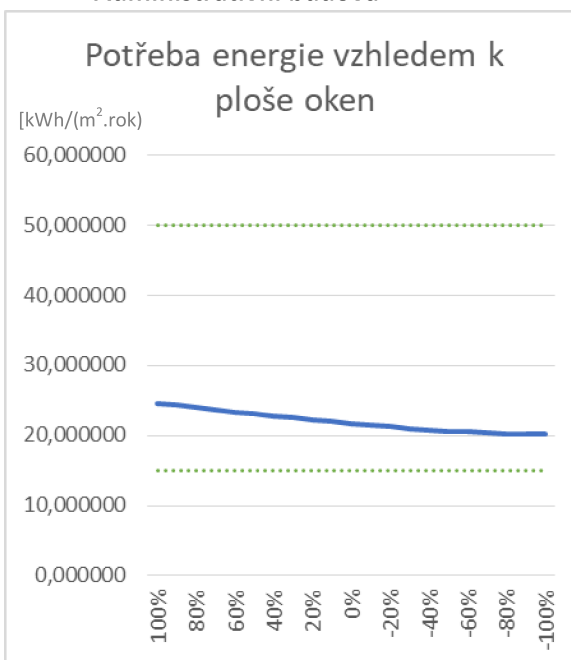
Při změně účelu budovy na administrativní budovu dojde k výraznému snížení roční potřeby tepla na vytápění, což je dáno předpokládanými vyššími vnitřními zisky.

- Srovnání vlivu změny oken při změně účelu budovy

#### Obytná budova



#### Administrativní budova



Obrázek 30: Srovnání vlivu plochy oken na potřebu tepla na vytápění u obytné a administrativní budovy.

Z grafů je patrný výrazný rozdíl zapříčiněný předpokládanou změnou množství tepelných zisků, při změně účelu budovy.

Zatímco u obytné budovy je minimum křivky v -30% oproti stávajícímu stavu, u administrativní budovy je minimum v -100%, tedy když budova má nulovou plochu transparentních prvků. To je dáno tím že vnitřní zisky stoupnou natolik, že pokryjí potřebu solárních zisků a naopak vzhledem k nižšímu součiniteli prostupu tepla jsou z hlediska tepelných ztrát slabým článkem.

#### 4.2.4. Vliv součinitele prostupu tepla

Tato analýza se zaměřuje na srovnání vlivu normových hodnot součinitelů prostupu tepla na průměrnou roční potřebu tepla na metr čtvereční vytápěné plochy.

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]			
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Horní doporučené hodnoty pro pasivní budovy	Spodní doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
Stěna vnější	0,3	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18	0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15	0,1
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22	0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8	0,6

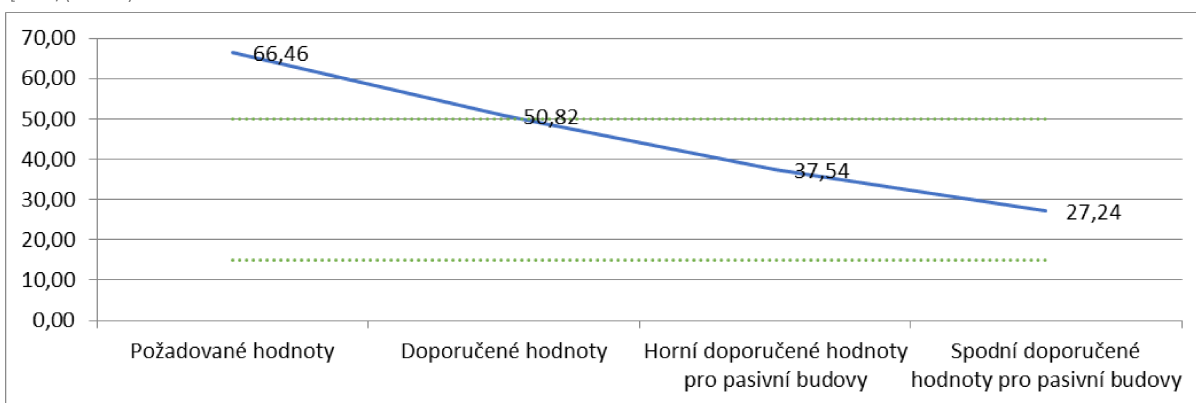
Tabulka 18: Požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla. Výsledné doporučené hodnoty vycházejí z normy ČSN 73 0540-2. Zdroj: [2][13]

Skladba konstrukce na systémové hranici (hranice vytápěné zóny) musí mít hodnoty odpovídající nebo lepší požadované tepelně izolační kvality dle ČSN 73 0540-2 <sup>[2]</sup> v současném znění. Tepelně izolační kvalita se vyjadřuje pomocí součinitele prostupu tepla U.

- **Hodnoty potřeby tepla pro referenční budovu**

	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Horní doporučené hodnoty pro pasivní budovy	Spodní doporučené hodnoty pro pasivní budovy	
<b>Celkem:</b>	47 125	36 039	26 624	19 316	kWh/rok
<b>Průměrně:</b>	3 927	3 003	2 219	1 610	kWh/měsíc
<b>Na ploše:</b>	709	709	709	709	m <sup>2</sup>
<b>Potřeba tepla:</b>	<b>66,46</b>	<b>50,82</b>	<b>37,54</b>	<b>27,24</b>	kWh/m <sup>2</sup> .rok
<b>Vyhodnocení:</b>	<b>Není v pasivním standardu</b>	<b>Není v pasivním standardu</b>	<b>Není v pasivním standardu</b>	<b>Není v pasivním standardu</b>	

Tabulka 19: Změna hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění, vzhledem k odlišným limitním hodnotám součinitele prostupu tepla konstrukcí.

[kWh/(m<sup>2</sup>.rok)

Obrázek 31: Změna hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění vzhledem k odlišným limitním hodnotám součinitele prostupu tepla konstrukcí.

Z dat je viditelný velice zásadní vliv součinitelů prostupu tepla konstrukcí na výslednou měrnou potřebu tepla na vytápění.



## 4.2.5. Vliv tepelné kapacity budovy

Účinná vnitřní tepelná kapacita zóny  $C_m$  [J/K] je přibližně určena v závislosti na třídě budovy podle následující tabulky.

Třída	Měsíční a sezónní metoda		
	$C_m$ [J/K]	x	$A_f$
velmi lehká	80000	x	$A_f$
lehká	110000	x	$A_f$
střední	165000	x	$A_f$
těžká	260000	x	$A_f$
velmi těžká	370000	x	$A_f$

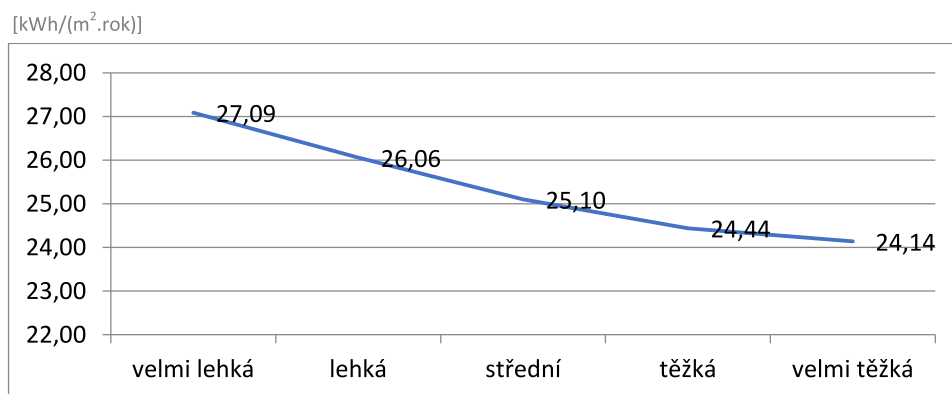
Tabulka 20: Orientační klasifikační třídy účinné tepelné kapacity. Zdroj: [12]

$A_f$  je užitná podlahová plocha vytápěné zóny [m<sup>2</sup>].

Souhrn vlivu změny účinné vnitřní tepelné kapacity na roční potřebu tepla na vytápění.

Konstrukce	Potřeba tepla [kWh/(m <sup>2</sup> .rok)]
velmi lehká	27,09
lehká	26,06
střední	25,10
těžká	24,44
velmi těžká	24,14

Tabulka 21: Potřeba tepla na vytápění v závislosti na  $C_m$ .



Obrázek 32: Graf vlivu tepelné kapacity na roční potřebu tepla na vytápění.

Z grafu je patrný postupně klesající trend, jasně mluvící ve prospěch konstrukcí s vyšší tepelnou kapacitou. Rozdíl mezi hodnotami roční potřeby tepla na vytápění jednotlivých tříd konstrukcí je znatelný, ale není zásadní. Velkou váhu může mít, až ve chvíli potřeby omezení denních výkyvů z hlediska letní (i zimní) tepelné stability.

### 4.3. Přehřívání a analýza vlivů

Norma ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup> připouští nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max} = 27$  [°C] (nevýrobní objekty, bez strojního chlazení). Jsou však omezeny i místnosti s navrženým chlazením, ty musejí prokázat, že bez chodu strojního chlazení nepřekročí teplota vzduchu v místnosti hodnotu  $\theta_{ai,max} = 32$  [°C].

Zároveň však norma<sup>[2]</sup> připouští za daných okolností teplotu  $\theta_{ai,max} = 29$  [°C] po dobu 2 hodin.

*„U bytových budov je možné připustit překročení požadované hodnoty nejvíce o 2 °C na souvislou dobu nejvíce 2 hodin během normového dne, pokud s tím investor (stavebník, uživatel) souhlasí.“*

*Citace z normy ČSN 73 0540-2, Zdroj: [2]*

Pro výpočet se běžně využívají dvě metody. Tou první je „klasická metoda“ a druhou „dynamická simulace“. Norma žádnou z metod neupřednostňuje.

Klasická metoda je obsažena v ČSN 73 0540-4 v příloze G<sup>[4]</sup>. Při použití této metody je výpočtem stanoven nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období  $\Delta\theta_{ai,max}$  [°C].<sup>[26][2]</sup> Nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu představuje, o kolik se zvýší teplota vzduchu v interiéru během jednoho dne vlivem solárních zisků.

Dynamická simulace vychází z normy ČSN EN ISO 52017-1<sup>[10]</sup>. Tato metoda počítá s nejvyšší denní teplotou vzduchu v místnosti v letním období  $\theta_{ai,max}$  [°C].<sup>[26][2]</sup> Dynamická simulace počítá s časově proměnnými okrajovými podmínkami a předpokládá dosažení kvazistacionárního stavu<sup>[26]</sup>, výpočet tedy počítá s nejvyšší dosaženou teplotou v cyklu.

Požadavky pro obě výpočtové metody vychází z ČSN 73 0540-2<sup>[2]</sup>.

### 4.3.1. Přehřívání vybrané místnosti

Výpočet letní tepelné stability dle normy ČSN EN ISO 52017-1.

Metoda zahrnuje obecnou metodiku pro přechodný výpočet vnitřní tepelné bilance v budově. Metoda je použita pro výpočet časové řady vnitřní teploty.

Výpočet může být hodinový, nebo s kratším intervalem výpočtu. Výpočet obsažený v této práci je hodinový.

#### **Podmínky výpočtu vycházející z požadavků normy:**

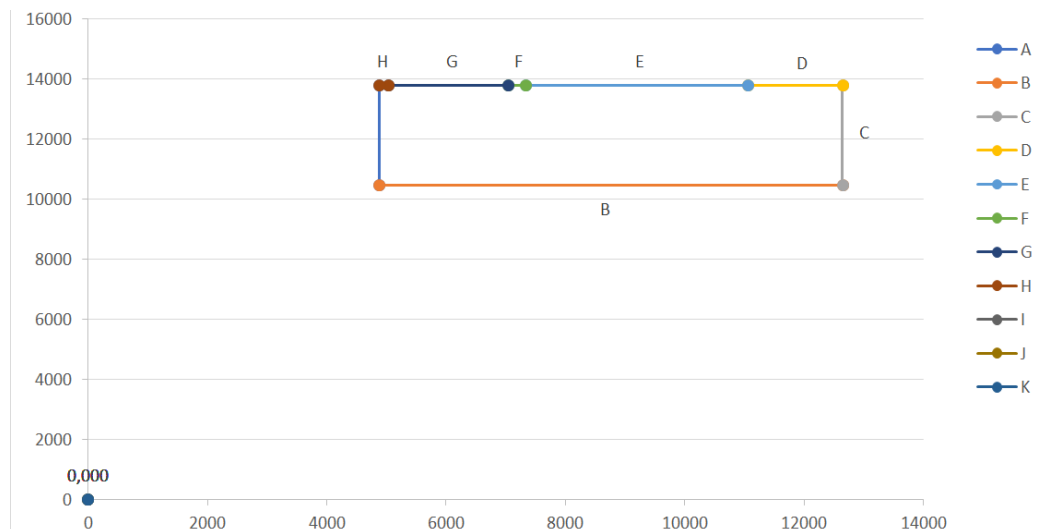
- Teplota vzduchu se v rámci zóny neliší.
- Povrchy stavebních prvků jsou izotermické.
- Vedení tepla stavebními prvky (vyjma země) je předpokládáno jednorozměrné.
- Vedení tepla stavebními prvky k zemině je definováno ekvivalentním jednorozměrným průtokem.
- Pozitivní vliv tepelných mostů (bodových a lineárních) je zanedbáván.
- (lineární a bodové) tepelné mosty přímo propojují vnitřní a vnější prostředí.
- Vzduchové prostory jsou definovány jako vzduchové vrstvy ohraničené dvěma izotermickými a rovnoběžnými povrchy.
- Dochází k zanedbání skladování tepla v různých rovinách prvku.

#### **Podmínky výpočtu vycházející z principů modelového výpočtu:**

- Výpočet dokáže počítat s místnostmi obsahující maximálně 3 okna.
- Model může obsahovat maximálně 8 stavebních konstrukcí vymežující její prostor.
- Místnost v Revitu musí být tvořena systémovou rodinou *místnost* (zde je třeba rozlišit od rodiny *prostor*, kterou nelze použít).

## Výpočet

Po exportu potřebných informací z modelu do excelu připraveným skriptem, se vykreslí místnost pomocí následujícího grafu:



Obrázek 33

Kde souřadnice [0;0] zobrazuje projektový počátek, a každá z vykreslených čar samostatnou konstrukci vymežující místnost.

Ke každé konstrukci v kontaktu s exteriérem je třeba doplnit její skladbu. Maximální počet typů těchto konstrukcí jsou 3.

Skladba 1 - exteriér								
Daná hodnota součinitele prostupu tepla	$U =$	0,18	[W/m <sup>2</sup> .K]					
Dopočítaná hodnota součinitele prostupu tepla	$U =$	0,175643887	[W/m <sup>2</sup> .K]					
	Tloušťka konstrukce	Součinitel tepelné vodivosti	Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Tepelný odpor	Tepelná kapacita	Kumulativní tloušťka	Vnitřní účinná tepelná kapacita
	d [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]	$c_p$ [J/(kg.K)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	R [W·m <sup>2</sup> /K]	$d_{cumul}$ [m]	$d_{cumul}$ [m]	$\kappa$ [J/(m <sup>2</sup> .K)]
Železobeton	0,16	1,58	1020	2400	0,101265823	391680	0,16	244800
Pěnový polystyren	0,2	0,037	1270	40	5,405405405	10160	0,36	0
Omítka	0,015	0,9	830	1800	0,016666667	22410	0,375	0
Vrstva 4					0	0	0	0
Vrstva 5					0	0	0	0
Vrstva 6					0	0	0	0
<b>Celkem</b>	<b>0,375</b>				<b>5,523337895</b>	<b>424250</b>		<b>244800</b>
Maximální kumulativní tloušťka	<b>0,1</b>	[m]						

Tabulka 22

Daná hodnota součinitele tepla je hodnota, jež je uvažována pro výpočet potřeby tepla na vytápění v předchozí části. V této části již je třeba znát konkrétní skladbu, pro výpočet tepelné kapacity. Dopočítaná hodnota součinitele prostupu tepla je již přesná hodnota, odpovídající zadané skladbě.

Obdobně jako u exteriérových konstrukcí se postupuje i v případě konstrukcí mezi vytápěnými zónami. Výpočet předpokládá mezi těmito zónami stejnou teplotu. Maximální počet typů těchto skladeb jsou 3.

<b>Skladba 1 - interiér</b>								
Dopočítaná hodnota součinitele prostupu tepla		$U = 0,20531662 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$						
	Tloušťka konstrukce	Součinitel tepelné vodivosti	Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Tepelný odpor	Tepelná kapacita	Kumulativní tloušťka	Vnitřní účinná tepelná kapacita
	d [m]	$\lambda$ [W/(m·K)]	$c_p$ [J/(kg·K)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	R [W·m <sup>2</sup> /K]	$d_{\text{cumul}}$ [m]	$d_{\text{cumul}}$ [m]	$\kappa$ [J/(m <sup>2</sup> ·K)]
Vrstva 1	0,02	0,1	400	240	0,2	1920	0,02	1920
Vrstva 2	0,16	0,038	10	30	4,210526316	48	0,18	24
Vrstva 3	0,02	0,1	400	240	0,2	1920	0,2	0
Vrstva 4					0	0	0	0
Vrstva 5					0	0	0	0
Vrstva 6					0	0	0	0
<b>Celkem</b>	<b>0,2</b>				<b>4,610526316</b>	<b>3888</b>		<b>1944</b>
Maximální kumulativní tloušťka	<b>0,1 [m]</b>							

Tabulka 23

Poslední konstrukcí jsou transparentní prvky oddělující vnější a vnitřní prostředí. K těm je třeba doplnit 3 parametry vlastností béžově zvýrazněné v následující tabulce.

<b>Okno 1 - exteriér</b>				
Měrný tepelný tok konstrukcí místnosti		$HT_{\underline{i}} = 0,819 \text{ [W/K]}$		
Plocha	Podíl zasklení	Plocha zasklení	Součinitel prostupu tepla	Energetická propustnost
$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	[-]	$A_g$ [m <sup>2</sup> ]	$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	g [-]
1,17	0,85	0,9945	0,7	0,65

Tabulka 24

V další tabulce jsou běžově zvýrazněné kolonky rozbalovacími nabídkami, přes které je třeba přiřadit jednotlivým stěnám dle obrázku (Obrázek 33) zadané skladby konstrukcí, okna jež obsahují a jejich orientaci dle obrázku (Obrázek 33).

Konstrukce	A	B	C	D	E	F	G	H	
Orientace:	LEVÁ	PŘEDNÍ	PRAVÁ	ZADNÍ	ZADNÍ	ZADNÍ	ZADNÍ	ZADNÍ	
Skladba:	Skladba 1 - exteriér	Skladba 1 - exteriér	Skladba 1 - interiéř	Skladba 1 - interiéř	Skladba 1 - interiéř	Skladba 1 - interiéř	Skladba 1 - interiéř	Skladba 1 - interiéř	
Okna v kci:	Žádné další okno	Okno 1 - exteriér	Žádné další okno	Žádné další okno	Žádné další okno	Žádné další okno	Žádné další okno	Žádné další okno	
Placha $A_w$	0,00	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Placha $A_g$	0,00	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Součinitel prostupu tepla $U$	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[W/m <sup>2</sup> .K]
Měrný tepelný tok $(A \cdot q_{ci})$	0,00	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[W/K]
Energetická propustnost $g$	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[-]
Placha $A_w$	0,00	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Placha $A_g$	0,00	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Součinitel prostupu tepla $U$	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[W/m <sup>2</sup> .K]
Měrný tepelný tok $(A \cdot q_{ci})$	0,00	1,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[W/K]
Energetická propustnost $g$	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[-]
Placha $A_w$	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Placha $A_g$	0,00	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Součinitel prostupu tepla $U$	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[W/m <sup>2</sup> .K]
Měrný tepelný tok $(A \cdot q_{ci})$	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[W/K]
Energetická propustnost $g$	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[-]
Délka	3,31	7,77	3,31	1,58	3,72	0,31	2,00	0,16	[m]
Sv. výška	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	[m]
Placha oken	0,00	7,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Placha zasklení $A_w$	0,00	6,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[m <sup>2</sup> ]
Placha stěny bez oken $A_j$	12,99	23,13	12,99	6,19	14,60	1,20	7,84	0,62	[m <sup>2</sup> ]
Součinitel prostupu tepla stěny $U_s$	0,18	0,18	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	[W/m <sup>2</sup> .K]
Vnitřní účinná tepelná kapacita $\kappa$	244800,00	244800,00	1944,00	1944,00	1944,00	1944,00	1944,00	1944,00	[J/(m <sup>2</sup> .K)]
Vnitřní účinná tep. kapacita kce $c_{i,j}$	3180167,42	5662361,09	25254,27	12034,87	28384,08	2332,01	15237,08	1207,85	[J/K]
Celkový měrný tepelný tok kce $(A \cdot h_{ci})$	2,28	9,19	2,67	1,27	3,00	0,25	1,61	0,13	[W/K]

Tabulka 25

V další tabulce je třeba vyplnit činitele stínění pro jednotlivé světové strany, násobnost větrání a předpokládané hodinové vnitřní zisky.

Model RESBY neobsahuje žádné stínící prvky, ani regulované větrání, jsou tedy voleny hodnoty konstantní po celý den.

#### Data

Modelový letní den (21. 8.) dle ČSN 730540

Čas $t$ [hod]	Venkovní teplota $T_e$ [°C]	Sluneční ozáření J $G_{sol}^{jih}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Sluneční ozáření Z $G_{sol}^{západ}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Sluneční ozáření S $G_{sol}^{sever}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Sluneční ozáření V $G_{sol}^{východ}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Činitel stínění J $F_{sh}^{jih}$ [-]	Činitel stínění Z $F_{sh}^{západ}$ [-]	Činitel stínění S $F_{sh}^{sever}$ [-]	Činitel stínění V $F_{sh}^{východ}$ [-]	Násobnost větrání $n$ [1/h]	Vnitřní zisky $Q_i$ [W]
1:00:00	16,9	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
2:00:00	16,2	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
3:00:00	16,0	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
4:00:00	16,2	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
5:00:00	16,9	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
6:00:00	18,1	37	37	63	265	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
7:00:00	19,5	103	69	69	549	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
8:00:00	21,2	259	95	95	656	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
9:00:00	23,0	420	116	116	637	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
10:00:00	24,8	553	132	132	526	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
11:00:00	26,5	640	142	142	353	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
12:00:00	27,9	670	145	145	145	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
13:00:00	29,1	640	353	142	142	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
14:00:00	29,8	553	526	132	132	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
15:00:00	30,0	420	637	116	116	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
16:00:00	29,8	259	656	95	95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
17:00:00	29,1	103	549	69	69	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	100
18:00:00	28,0	37	265	63	37	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	100
19:00:00	26,5	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	100
20:00:00	24,8	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	100
21:00:00	23,0	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	100
22:00:00	21,2	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	75
23:00:00	19,5	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50
0:00:00	18,1	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,2	50

Tabulka 26

#### Výpočet

Výpočet vychází z metody ČSN EN ISO 52017-1<sup>[10]</sup>, která vstoupila v platnost 04/2018.

Pozn.: Šedě označené části jsou nulové, nebo jsou pro potřeby výpočtu zanedbávány.

$\theta_{int,a}$  [°C] je vnitřní teplota vzduchu.

Rovnice rovnováhy citelného tepla a vnitřní teploty vzduchu:

$$\sum_{j=1}^N (A_j \cdot q_{c,i})_j + \Phi_V + \Phi_{int;c} + \Phi_{HC;ld;c} + \Phi_{sa} + \Phi_{va} + \Phi_{tbV} = c_a \cdot \rho_{int;a} \cdot \frac{d\theta_{int;a}}{dt} \quad (27)$$

$A_j$  [m<sup>2</sup>] je plocha vnitřních stavebních prvků.

$q_{c,i}$  [W/m<sup>2</sup>] je hustota tepelného toku konvekcí na vnitřních površích.

$c_a$  [J/(kg.K)] je specifická tepelná kapacita vzduchu.

$\rho_{int;a}$  [kg/m<sup>3</sup>] je objemová hmotnost vnitřního suchého vzduchu

$V_{\text{int};a}$  [ $\text{m}^3$ ] je objem vnitřního vzduchu.

$\theta_{\text{int};a}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] je vnitřní teplota vzduchu.

$t$  [s] je čas v sekundách.

$\Phi_V$  [W] je tepelný tok ventilací.

$\Phi_{\text{int};c}$  [W] je část tepelného toku konvekce, z vnitřních zdrojů.

$\Phi_{\text{HC};\text{id};c}$  [W] je část tepelného toku konvekce, složky citelné topné nebo chladicí zátěže prostoru.

$\Phi_{\text{sa}}$  [W] je solární tepelný tok.

$$\Phi_{\text{sa}} = f_{\text{sa}} \cdot (1 - f_{\text{sl}}) \cdot (\Phi_{\text{sol};\text{dir}} + \Phi_{\text{sol};\text{dif}}) \quad [\text{W}] \quad (28)$$

$f_{\text{sa}}$  [-] je součinitel solární vzdušné zóny.

$f_{\text{sl}}$  [-] je součinitel solární ztráty zóny.

$\Phi_{\text{sol};\text{dir}}$  [W] je tepelný tok v důsledku přímého solárního záření.

$$\Phi_{\text{sol};\text{dir}} = \sum_{j=1}^J (I_{\text{dir}} \cdot \tau_{\text{dir}} \cdot A_s)_j \quad [\text{W}] \quad (29)$$

$J$  [-] je číslo prvku zasklení.

$I_{\text{dir}}$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] je přímou složkou solárního záření působící na vnější povrch.

$\tau_{\text{dir}}$  [-] je propustnost přímého solárního záření.

$A_s$  [ $\text{m}^2$ ] je transparentní část plochy zasklení.

$\Phi_{\text{sol};\text{dif}}$  [W] je tepelný tok v důsledku difuze solárního záření.

$$\Phi_{\text{sol};\text{dif}} = \sum_{j=1}^J (I_{\text{dif}} \cdot \tau_{\text{dif}} \cdot A)_j \quad [\text{W}] \quad (30)$$

$J$  [-] je číslo prvku zasklení.

$I_{\text{dif}}$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] je difuzní složkou solárního záření působící na vnější povrch.

$\tau_{\text{dif}}$  [-] je propustnost difuzního solárního záření.

$A$  [ $\text{m}^2$ ] je celá část plochy zasklení (včetně rámu, apod.).

$\Phi_{\text{va}}$  [W] je tepelný tok v důsledku prostupu vzduchu skrze zónu konvekce.

$$\Phi_{\text{va}} = m_{\text{a};v} \cdot c_a \cdot (\theta_l - \theta_{\text{int};a}) \quad [\text{W}] \quad (31)$$

$m_{\text{a};v}$  [kg/s] je objem proudícího vzduchu.

$c_a$  [J/(kg/s)] je specifická tepelná kapacita vzduchu.

$\theta_l$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] je teplota odcházejícího vzduchu.

$\Phi_{\text{tb}}$  [W] je tepelný tok v důsledku tepelných mostů.

$$\Phi_{\text{tb}} = H_{\text{tb}} \cdot (\theta_l - \theta_{\text{e};a}) \quad [\text{W}] \quad (32)$$

$H_{\text{tb}}$  [W/K] je měrný tepelný tok.

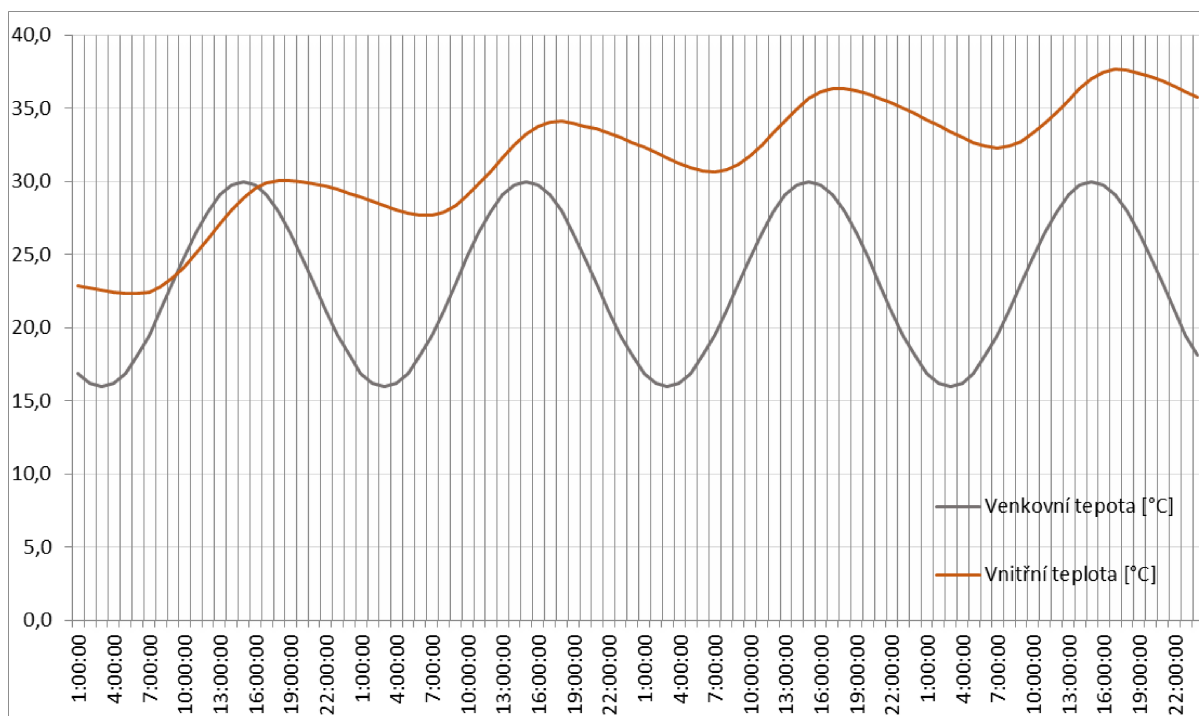
$$H_{\text{tb}} = \sum_k (l_k \cdot \Psi_k) + \sum_j \chi_j \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (33)$$

$l_k$  [m] je délka lineárního tepelného mostu  $k$ .



$\Psi_k$  [W/(m.K)] je lineární tepelná ztráta lineárního tepelného mostu k.

$\chi_j$  [W/K] je bodová tepelná ztráta bodového tepelného mostu j.



Obrázek 34: vývoj teploty ve čtyřech po sobě jdoucích modelových dnech odpovídajících 21. srpnu dle ČSN 730540-2<sup>[2]</sup>

Graf znázorňuje vývoj teploty vzduchu interiéru ve čtyřech po sobě jdoucích modelových dnech dle ČSN 730540-2<sup>[2]</sup>. Tento vývoj odpovídá situaci při které objekt není stíněn, nemá žádný typ slunečních clon, ani nemá nucené větrání (je počítáno s přirozeným větráním, které je po celý den konstantní).

Nejvyšší teplota vzduchu pro 21.srpen dle ČSN 73 0540-2	$\theta_{int,a} = 30,10$ [°C]
Nejvyšší přípustná teplota vzduchu pro 21.srpen dle ČSN 73 0540-2	$\theta_{ai,max} = 27$ [°C]
<b>Maximální teplota vzduchu v místnosti PŘEKRAČUJE nejvyšší dovolenou denní teplotu dle ČSN 73 0540.</b>	

Tabulka 27: Maximální teplota v průběhu modelového dne<sup>[2]</sup>.

Maximální teplota **NESPLŇUJE** dané podmínky ČSN<sup>[2]</sup>. Norma říká, že maximální teplota vzduchu může dosáhnout maximálně 27°C. Nebo ve specifických případech (se souhlasem investora) může po dobu 2 hodin tuto teplotu přesáhnout o 2°C.

Tato teplota by splňovala požadavky pouze za předpokladu doplnění strojního chlazení, kdy může dosahovat až 32°C.

Výsledky nejsou ovšem nijak kritické, jelikož započítáním stínění objektu, či vhodným doplněním protislunečních clon, lze bez problému tuto normovou hranici splnit.

## 5. Závěr

Model obytné budovy RESBY nesplnil požadavky z hlediska potřeby tepla na vytápění pro pasivní dům. Splňuje až požadavek na dům nízkoenergetický. To je zapříčiněno především tím, že model neobsahuje žádný systém zpětného získávání tepla, ani nuceného větrání. Což je jinak pro domy splňující hodnoty pasivního standardu typické.

Z analýz potřeby tepla na vytápění vyplývá že plocha oken má v tomto ohledu minimální vliv, nemá tedy v tomto případě valný smysl tuto plochu optimalizovat. Naopak hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukcí mají vliv zásadní a je třeba tomuto věnovat pozornost. Dalším zásadním vlivem je zvolený účel budovy, kde hrají velkou roli předpokládané vnitřní zisky. Poslední částí analýzy je vliv vnitřní tepelné kapacity, ten si zaslouží také zvýšenou pozornost, především v kombinaci s posouzením letní tepelné stability kritické místnosti.

Výsledkem této práce nad cíle zadání je automatická optimalizace oken, kdy tento nástroj (respektive soubor nástrojů) dle výsledných hodnot přepočítá neoptimalnější plochy oken z hlediska roční potřeby tepla na vytápění a automaticky dokáže v modelu upravit jejich výšky tak, aby jejich skutečná plocha co nejlépe odpovídala té optimální.

Výsledkem posouzení letní tepelné stability je hodnota nejvyšší denní teploty, která nesplňuje maximální hodnoty dané normou. Vzhledem k tomu že hodnoty jsou překročeny o zhruba 3°C a výpočet proběhl za předpokladu nulového zastínění objektu a bez jakýchkoli protislunečních clon. Dá se předpokládat, že právě po doplnění těchto činitelů kritická místnost s přehříváním problémy již mít nebude.

Jak bylo cílem této práce, výše popsaných výsledků je dosaženo způsobem, který umožňuje automatickou aktualizaci hodnot, při případných změnách na modelu. Další výhodou výpočtového nástroje je možnost aplikace i na další modely bytových a administračních budov.

## 6. Literatura

- [1] ČSN 73 0540-1 - Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie, 07/2005
- [2] ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Funkční požadavky, 11/2011
- [3] ČSN 73 0540-3 - Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin, 12/2005
- [4] ČSN 73 0540-4 - Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody, 07/2005
- [5] Odborná rada pro BIM: BIM Příručka, p13, 2013
- [6] DISPENZA, K.: The Daily Life of Building Information Modeling (BIM), 2010, Dostupné z: [buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-ofbuilding-information-modeling-bim](http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-ofbuilding-information-modeling-bim)
- [8] TNI 73 0330 (730330) - Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Bytové domy, srpen 2010
- [9] TNI 73 0331 (730331) - Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet, duben 2013
- [10] ČSN EN ISO 52017-1 - Energetická náročnost budov - Citelné a latentní tepelné zatížení a vnitřní teploty - Část 1: Obecné postupy výpočtu
- [11] ČSN EN ISO 52016-1 - Energetická náročnost budov - Energie potřebná pro vytápění a chlazení vnitřních prostor a citelné a latentní tepelné zatížení - Část 1: Postupy výpočtu
- [12] Staněk, K.: SPJ1 – Podklady pro cvičení: Potřeba tepla na vytápění budovy, 10/2010
- [13] Staněk, K.: SPJ1 – Podklady pro cvičení: Průměrný součinitel prostupu tepla, 10/2010
- [14] Horák, J.: BIM Forum 2016 – BIM & Tepelná technika – Tepelně-technické výpočty a Revit, 2016
- [15] Passivhaus Institut v Darmstadtu: Certifikace podle PHPP (Passive House Planning Package), [www.passivehouse.com](http://www.passivehouse.com)
- [16] Tywoniak J.: Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. Grada Publishing, a. s. Praha, 2005, ISBN: 80-247-1101-X
- [17] ČSN EN ISO 13789 (73 0568) Tepelné chování budov - Měrná ztráta prostupem tepla - Výpočtová metoda, 11/2000
- [18] Tywoniak J.: Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další., Grada Publishing, a. s. Praha, 2012, ISBN: 80-247-3832-X
- [20] Smola, J.: Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů, Grada Publishing, a. s. Praha, 2011, ISBN: 80-247-2995-X
- [21] Brotánek, A., Brotánková, K.: Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech, Grada Publishing, a. s. Praha, 2012, ISBN: 80-247-3969-X
- [22] Lévy, F.: BIM in small-scale sustainable design, John Wiley & Sons, Inc., 2011, ISBN: 0-470-59089-X
- [23] Klaschka, R.: BIM in Small Practices – Illustrated Case Studies, NBS, RIBA Enterprises Ltd, 2014, ISBN: 1-85946-499-X
- [24] Morávková, N.: Výpočet letní tepelné stability místnosti klasickou metodou a s využitím dynamické simulace, 2015, Dostupné z: [atelier-dek.cz/vypočet-letni-tepelne-stability-mistnosti-klasickou-metodou-s-vyuzitim-dynamicke-simulace-672](http://atelier-dek.cz/vypočet-letni-tepelne-stability-mistnosti-klasickou-metodou-s-vyuzitim-dynamicke-simulace-672)
- [25] Šteffek, L., Ostrý, M.: Vliv činitele oslunění na tepelnou stabilitu místnosti a jeho určení, 2013, Dostupné z: [stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/10294-vliv-cinitele-osluneni-na-tepelnou-stabilitu-mistnosti-a-jeho-urceni](http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/10294-vliv-cinitele-osluneni-na-tepelnou-stabilitu-mistnosti-a-jeho-urceni)
- [26] Mařík, D.: Tepelná stabilita v letním období, Časopis Dektrade 02-2008, 02/2008, Dostupné z: [stavebnikomunita.cz](http://stavebnikomunita.cz)