

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

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



**OPTIMALIZACE NÁVRHU NÁSTAVBY
STUDENTSKÝCH KOLEJÍ POMOCÍ BIM
SOFTWARE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Kateřina Davidová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kateřina Mertenová, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Davidová Jméno: Kateřina Osobní číslo: 468507

Zadávací katedra: K124

Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí

Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizace návrhu nástavby studentských kolejí pomocí BIM softwarů

Název diplomové práce anglicky: Optimization of the extension of student dormitory using BIM softwares

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je využití programů Revit a Design Builder k optimalizaci návrhu nástavby a jejich vzájemné porovnání. Dále budou vyhodnoceny možnosti využití těchto programů v praxi s ohledem na českou, ev. i mezinárodní metodiku výpočtu energetické náročnosti budovy.

Hodnocené parametry návrhu budovy:

- 1) Energetická náročnost
- 2) Letní stabilita
- 3) Posouzení životního cyklu

Seznam doporučené literatury:

- IBO: Details for Passive Houses: Renovations
- Gabriel, Ingo - Ladener, Heinz: Od staré stavby k nízkoenergetickému a pasivnímu domu
- Růžička, Martin: Moderní dřevostavba
- Tywoniak, Jan - kol.: Nízkoenergetické domy 1, 2, 3

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Kateřina Mertenová, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 22.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

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)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Kateřina Davidová

Název diplomové práce: Optimalizace návrhu nástavby studentských kolejí pomocí BIM softwarů

Základní část: Konstrukce pozemních staveb podíl: 60 %

Formulace úkolů: Cílem práce je využití programů Revit a DesignBuilder k optimalizaci návrhu nástavby a jejich vzájemné porovnání. Dále budou vyhodnoceny možnosti využití těchto programů v praxi.

Hodnocené parametry návrhu:

- 1) Energetická náročnost
- 2) Letní stabilita
- 3) Posouzení životního cyklu

Podpis vedoucího DP:..... Datum:

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

2. Část: Nastavení programu pro tvorbu energetických analýz podíl: 30 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Jakub Veselka (K124)

Formulace úkolů: Technická podpora v programu Revit

Podpis konzultanta:..... Datum:

3. Část: Nastavení programu pro tvorbu energetických analýz podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing.arch. Michala Lyszczas, Ph.D. (K125)

Formulace úkolů: Technická podpora v programu DesignBuilder

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)

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma optimalizace návrhu nástavby studentských kolejí pomocí BIM softwarů jsem vypracovala samostatně, za odborného vedení vedoucí diplomové práce Ing. Kateřiny Mertenové, Ph.D.. Zdroje, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Bc. Kateřina Davidová

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat za odborné rady, cenné připomínky a ochotu při konzultacích vedoucí mé diplomové práce Ing. Kateřině Mertenové, Ph.D.. Dále bych ráda poděkovala Ing. Jakubu Veselkovi za konzultace související s technickou podporou v programu Revit a Ing.arch. Michale Lyszczas, Ph.D. za konzultace související s technickou podporou v programu DesignBuilder.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na využití BIM softwarů pro navrhování budovy. Cílem mé práce je zjistit, jak je možné využít program Revit a DesignBuilder pro optimalizaci návrhu budovy a jejich vzájemné porovnání. Vyhodnotit, jaké jsou jejich limity, co od nich mohu očekávat a zda jsou výstupy z programů využitelné v praxi. Programy budu využívat pro hodnocení energetické náročnosti budovy, posouzení letní stability a životního cyklu budovy. V teoretické části je popsána problematika tvorby energetického modelu v programu Revit a jeho export do programu DesignBuilder. Také možnost práce s daty pomocí cloudové platformy od společnosti Autodesk. V praktické části využívám tyto programy pro optimalizaci návrhu budovy studentských kolejí, kde výstupy měrných toků a měrné potřeby tepla na vytápění porovnávám s výstupem z programu Energie počítaným podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2.

Abstract

The diploma thesis is focused on using BIM softwares for building design. The aim of my thesis is to find out how it is possible to use Revit and DesignBuilder to optimize the design of the building and their comparison. Evaluate what the limits of programs are, what I can expect from them and whether the outputs of the programs are usable in practice. I will use the programs to evaluate the energy performance of the building, assess the summer stability and life cycle of the building. The theoretical part describes the issues for setting up the energy model in Revit and its export to DesignBuilder. Also, the ability to work with data using a cloud platform from Autodesk company. In the practical part I use programs for optimizing the design of the student dormitory, where I put the outputs of specific heat flow and specific heating demand in comparison with the output from the program Energy calculated according to Decree No. 78/2013 Coll. and ČSN 730540-2.

Klíčová slova

Energetický model, Revit, DesignBuilder, One Click LCA, nástavba budovy, měrná potřeba tepla na vytápění, letní stabilita, environmentální porovnání.

Key words

Energy model, Revit, DesignBuilder, One Click LCA, building extension, specific heating demand, summer stability, environmental comparison.

Obsah

OBSAH	6
1 ÚVOD	9
1.1 VÝVOJ METODIKY ENERGETICKÝCH ANALÝZ POMOCÍ BIM SOFTWARE.....	9
1.2 MOJE ZVOLENÁ METODIKA.....	10
1.3 CÍL PRÁCE.....	11
1.4 POPIS ŘEŠENÉHO OBJEKTU.....	11
2 REVIT	12
2.1 DEMONSTRAČNÍ JEDNOTKA.....	12
2.2 NASTAVENÍ REVIT SOUBORU.....	13
2.2.1 Zjednodušení modelu.....	13
2.2.2 Nastavení sdílených souřadnic.....	14
2.2.3 Vytvoření terénu.....	14
2.2.4 Možnosti vytváření energetického modelu.....	15
2.2.4.1 Koncepční objem.....	15
2.2.4.2 Stavební prvky.....	16
2.2.4.3 Plochy a prostory.....	18
2.2.4.4 Jednoduchý export.....	20
2.2.4.5 Jednoduchý export se stínícími povrchy.....	20
2.2.4.6 Komplexní export.....	20
2.2.4.7 Komplexní export se stínícími povrchy.....	20
2.2.4.8 Komplexní export se sloupky a stínícími povrchy.....	20
2.2.5 Klimatická data.....	20
2.3 PRINCIP VÝPOČTŮ V PROGRAMU REVIT.....	21
2.3.1 Prostup tepla obálkou.....	21
2.3.2 Solární zisky.....	22
2.4 OPTIMALIZACE MODELU POMOCÍ AUTODESK CLOUDOVÝCH PLATFORM.....	22
2.4.1 Insight.....	23
2.4.1.1 Provoz budovy.....	24
2.4.1.2 Orientace budovy.....	24
2.4.1.3 Okenní konstrukce.....	24
2.4.1.4 Stěny a střešní konstrukce.....	25
2.4.1.5 Infiltrace.....	25
2.4.1.6 Umělé osvětlení a elektrické vybavení.....	25
2.4.1.7 Potenciál fotovoltaiky.....	25
2.4.1.8 Výhody, nevýhody.....	26
2.4.2 Green Building Studio.....	26
3 DESIGNBUILDER	26
3.1 KLIMATICKÁ DATA.....	27
3.2 NASTAVENÍ DVEŘÍ.....	27
4 PŘENOS ENERGETICKÉHO MODELU Z REVITU DO DESIGNBUILDERU	27
4.1 DOPLNĚK OD DESIGNBUILDERU DO REVITU.....	28
4.2 GBXML SOUBOR.....	29
4.3 EXPORTOVANÉ VLASTNOSTI.....	31
4.4 OKENNÍ KONSTRUKCE.....	32
4.5 PLOCHY A OBJEMY.....	33
4.6 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA.....	33
4.7 STÍNÍCÍ PRVKY.....	35
PRAKTICKÁ ČÁST: OPTIMALIZACE STUDENTSKÝCH KOLEJÍ NA VĚTRNÍKU	36
5 STÁVAJÍ STAV STUDENTSKÝCH KOLEJÍ NA VĚTRNÍKU	36
5.1 POSTUP PRÁCE.....	36
5.2 STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE.....	36

5.2.1	Exteriérová stěna	36
5.2.2	Interiérová stěna	36
5.2.3	Podlaha na terénu	37
5.2.4	Vnitřní podlaha.....	37
5.2.5	Střešní konstrukce	37
5.2.6	Okenní konstrukce.....	37
5.3	DEFINOVÁNÍ ZÓN.....	38
5.4	POROVNÁNÍ VNITŘNÍCH PLOCH/OBJEMŮ.....	40
5.5	POROVNÁNÍ MĚRNÝCH TOKŮ.....	41
5.6	MĚRNÁ ROČNÍ DODANÁ ENERGIE DO BUDOVY	42
6	DOPORUČENÉ OPATŘENÍ KE STÁVAJÍCÍMU STAVU.....	44
6.1	SIMULACE LETNÍHO PŘEHŘÍVÁNÍ	45
6.1.1	Kritická místnost	46
6.1.1.1	Varianty návrhu ke snížení letního přehřívání místností.....	47
6.1.1.1.1	Varianta 1	47
6.1.1.1.2	Varianta 2.....	47
6.1.1.1.3	Varianta 3.....	47
6.1.1.1.4	Varianta 4.....	47
6.1.1.1.5	Varianta 5.....	47
6.1.1.2	Výběr variant – kritická místnost.....	48
6.1.2	Typický studentský pokoj	49
6.1.2.1	Výběr varianty, typický studentský pokoj.....	51
6.2	SNÍŽENÍ MĚRNÉ POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	51
6.3	ZÁVĚR	51
7	NÁVRHOVÝ STAV STUDENTSKÝCH KOLEJÍ NA VĚTRNÍKU	52
7.1	POSTUP NÁVRHU.....	52
7.2	NÁVRHOVÉ KONSTRUKCE.....	53
7.2.1	Orientační hodnoty součinitelů prostupu tepla	53
7.3	DEFINOVÁNÍ ZÓN.....	54
7.4	POROVNÁNÍ VNITŘNÍCH PLOCH/OBJEMŮ.....	56
7.5	POROVNÁNÍ MĚRNÝCH TOKŮ.....	56
7.6	MĚRNÁ ROČNÍ DODANÁ ENERGIE DO BUDOVY	58
7.7	FOTOVOLTAICKÉ PANELE	60
7.8	SIMULACE LETNÍHO PŘEHŘÍVÁNÍ	62
7.8.1	Kritická místnost	64
7.8.1.1	Varianty návrhu ke snížení letního přehřívání místností.....	65
7.8.1.1.1	Varianta 1	65
7.8.1.1.2	Varianta 2.....	65
7.8.1.1.3	Varianta 3.....	66
7.8.1.1.4	Varianta 4.....	66
7.8.1.1.5	Varianta 5.....	66
7.8.1.1.6	Varianta 6.....	66
7.8.1.1.7	Varianta 7.....	66
7.8.1.1.8	Varianta 8.....	66
7.8.1.2	Výběr varianty	68
7.8.2	Kritická místnost pro orientaci okenních konstrukcí na jih a východ	68
7.8.2.1	Výběr varianty	71
7.9	SNÍŽENÍ MĚRNÉ POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	71
7.9.1	Opatření I – rovnotlaké větrání.....	72
7.9.2	Opatření II – výměna zasklení do stálých okenních rámu.....	73
7.9.3	Opatření III - výměna okenních konstrukcí.....	73
7.9.4	Opatření IV – zlepšení tepelných vlastností nástavby budovy	75
7.9.5	Doporučení ke snížení měrné potřeby tepla na vytápění.....	77
8	ONE CLICK LCA.....	77
8.1	DOPLŇKĚ OD ONE CLICK LCA DO REVITU.....	78
8.2	HODNOCENÝ OBJEKT	79
8.3	VARIANTY NÁVRHU.....	81

8.3.1	Varianta 1 – dřevitá izolace.....	82
8.3.2	Varianta 2 – foukaná celulóza.....	84
8.3.3	Varianta 3 – minerální vlákno.....	87
8.4	TVORBA MODELU V PROGRAMU REVITU.....	89
8.4.1	One Click LCA export modelu.....	89
8.5	POROVNÁNÍ VARIANT NÁVRHU DLE SOFTWARE ONE CLICK LCA.....	90
8.5.1	Potenciál globálního oteplování.....	90
8.5.2	Potenciál okyselování prostředí.....	92
8.5.3	Spotřeba primární energie.....	93
8.5.4	Porovnání produkce emisí/energie s dalšími kritérii.....	95
8.5.5	Výběr varianty.....	95
8.6	DALŠÍ MOŽNÉ VÝSTUPY Z PROGRAMŮ.....	96
9	SROVNÁNÍ PROGRAMŮ REVIT S PROGRAMEM DESIGNBUILDER.....	96
9.1	KLIMATICKÁ DATA, KROK VÝPOČTU.....	96
9.2	SKLADBY KONSTRUKCÍ (TEPELNÉ MOSTY, VAZBY).....	96
9.3	TVORBA MODELU, BIM VS BEM MODEL.....	96
9.4	DEFINOVÁNÍ ZÓN.....	98
9.5	VÝPOČTY, SIMULACE.....	99
9.6	SHRNUTÍ PRÁCE S PROGRAMY REVIT A DESIGNBUILDER.....	99
10	POROVNÁNÍ PROGRAMŮ S NORMOU.....	100
11	ZÁVĚR.....	101
11.1	ODPOVĚĎ NA POLOŽENÉ OTÁZKY.....	102
11.2	OPTIMALIZACE NÁVRHU NÁSTAVBY.....	103
11.3	SROVNÁNÍ PROGRAMŮ.....	103
	Použité zkratky.....	105
	Použité jednotky.....	106
	Bibliografie.....	106
	Seznam grafů.....	108
	Seznam obrázků.....	109
	Seznam tabulek.....	110
	Seznam rovnic.....	111

1 Úvod

Optimalizovat návrh budovy s ohledem na její energetickou náročnost je esenciální myšlenkou současnosti. Velké procento starší zástavby je energeticky neefektivní a má značnou spotřebu energetických zdrojů dodaných do budovy. Myšlenka více komponentního navrhování budov, například změnou parametrů, které se týkají orientace, materiálového řešení, vnitřního prostředí, vede k energeticky úspornějším stavbám a tím i ke snížení potenciálu globálního oteplování. Tyto parametry mohou mít také za následek snížení ročního rozpočtu na údržbu celé budovy.

Budovy v oblastech, kde se střídají roční období a bývá tuhá zima, přispívají k více než 1/3 celosvětové spotřebě energie. Z důvodu rostoucích hrozeb globálního oteplování je důležité navrhovat energeticky účinné budovy ve stavebnictví [1].

1.1 Vývoj metodiky energetických analýz pomocí BIM softwarů

V současnosti se vyvíjí mnoho metodik, dle kterých lze generovat simulace potřebné pro vytváření energetických analýz. Pro orientaci zde uvedu zásluhy některých lidí, kteří se zabírali využitím BIM softwarů, popřípadě jejím vývojem, pro integrované navrhování budov.

V roce 2013 Jrade a Jalaei integrovali do BIM modelu nástroj pro posouzení životního cyklu (LCA) a zjednodušily udržitelnost návrhu v propojení s 3D modelem. Propojený systém také umožňoval certifikaci dle BREEM a LEED ohodnocení od rané fáze návrhu projektu [1].

V roce 2014 Kota Haberl Clayton a Yan vytvořili model, který umožňoval simulaci denního osvětlení a tepelnou analýzu integrovanou do 3D programu Revit. Tento projekt zahrnoval přepis informací z architektonického modelu do modelu simulačního [1].

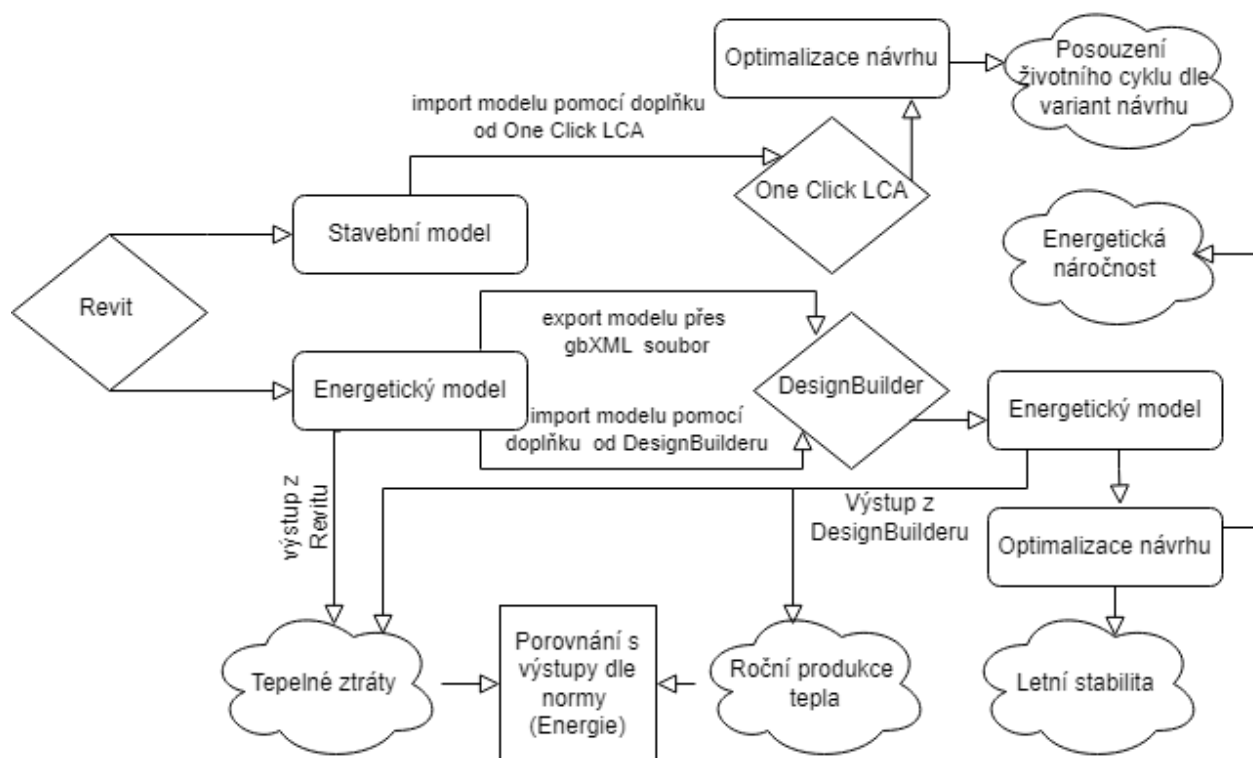
V roce 2015 Ham a Golparvar-Fard vytvořili program s 3D tepelným modelem. Výsledky jsou možné jak v digitální, tak grafické podobě [1].

V roce 2016 vyšla studie, která zkoumala pomocí webové platformy Green Building Studia od společnosti Autodesk závislost orientace budovy v dopadu na celkovou dodanou energii do budovy. Pomocí využití platformy od Green Building Studia vznikla ve stejném roce studie od Kurian, Milhoutra, & George simulující závislosti obálky budovy, dynamického stínění na vytápění a chlazení objektu a osvětlení. Studie optimalizovala poměr průsvitných k neprůsvitným konstrukcím [1].

1.2 Moje zvolená metodika

Ve své diplomové práci se budu věnovat BIM softwarům a jejich možnostem využití pro optimalizaci energetického návrhu budovy. Zvolila jsem si metodiku s využitím programu Revit (2020,2022) od společnosti Autodesk, ve kterém si vytvořím energetický model. Autodesk také nabízí za pomoci energetického modelu export na cloudové portály Green Building Studio a Insight, které napomáhají k optimalizaci návrhu budovy. Program Revit budu také využívat pro vytvoření stavebních modelů s odlišnými materiálovými řešeními a přes webový portál One Click LCA porovnávat jednotlivé varianty návrhu dle metodiky hodnocení životního cyklu budovy. Software One Click LCA ve spolupráci s 3D modelem z programu Revit vypočítává dopady použitých materiálů s ohledem na potenciál globálního oteplování, okyselování prostředí, spotřeby primární energie apod.

Dále budu vytvořený energetický model z programu Revit exportovat pomocí gbXML souboru do programu DesignBuilder. DesignBuilder je specializovaný program na energetické simulace budov. Proto po exportu modelu budu pokračovat s optimalizací návrhu budovy v tomto programu. Důvod, proč využívám dva programy od více společností je, že jedním z výsledků bude jejich vzájemné porovnání (výhody/nevýhody). Popřípadě, kde jsou jejich limity či úskalí.



Obrázek 1 Schéma postupu práce zvolené metodiky

1.3 Cíl práce

Využitím BIM softwarů pro optimalizaci návrhu budovy bych chtěla získat odpovědi na tyto otázky:

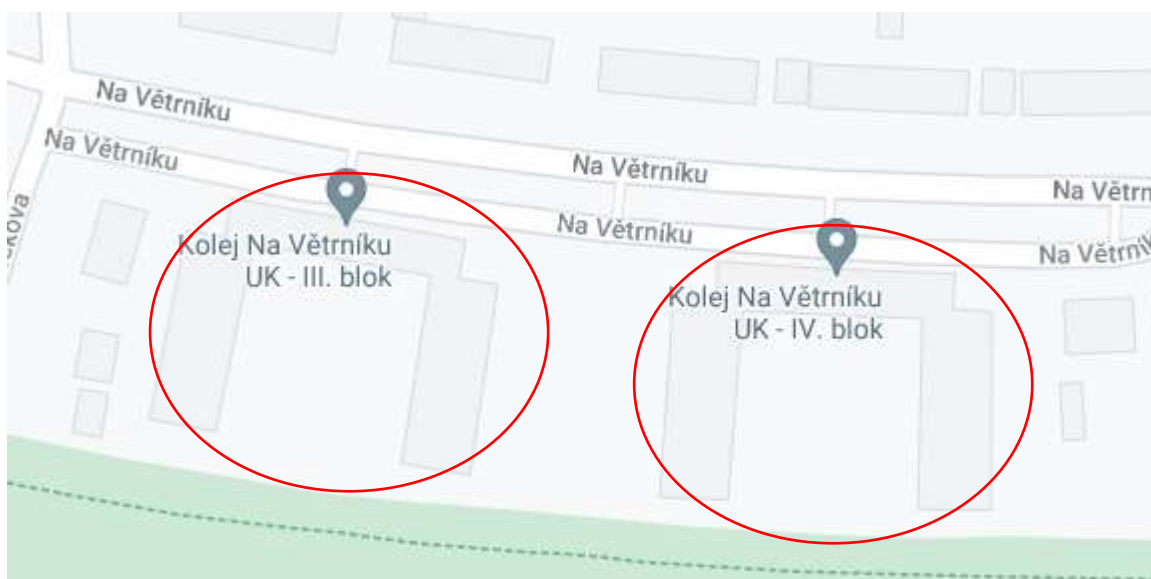
- jak s modely pracovat?
- jak modely nastavit?
- jaké jsou jejich možnosti a limity?
- jsou srovnatelné s českou normou?

1.4 Popis řešeného objektu

Hodnocený objekt, který jsem si pro mou práci vybrala, je nástavba studentských kolejí na Větrníku v Praze. Objekt byl vybrán z důvodu, že se principiálně opakuje a výsledek může být aplikován i na další sousedící objekty, popřípadě další nástavby o podobné půdorysné rozložení. Také z důvodu, že poptávka na studentské bydlení se stále zvyšuje a nástavbou studentských kolejí by nedocházelo k zastavování dalších pozemků. Objekt má půdorys do tvaru U, kde boční jádra mají 4 nadzemní podlaží a 1 podlaží částečně podsklepené. Střední trakt má 2 nadzemní podlaží a 1 podlaží částečně podsklepené. Vzhledem k tomu, že se jedná o nástavbu stávající budovy, tak navrhované konstrukce budou voleny z materiálů o nižší objemové hmotnosti.

Dispozici návrhu studentských kolejí přejímám ze studie vytvořenou studenty architektury ČVUT v rámci soutěže Solar Decathlon Europe [2].

Nástavba kolejí zahrnuje 2 patra na každém traktu stávající budovy.



Obrázek 2 Typově stejný půdorysný tvar kolejí Na Větrníku, www.googlemaps.com

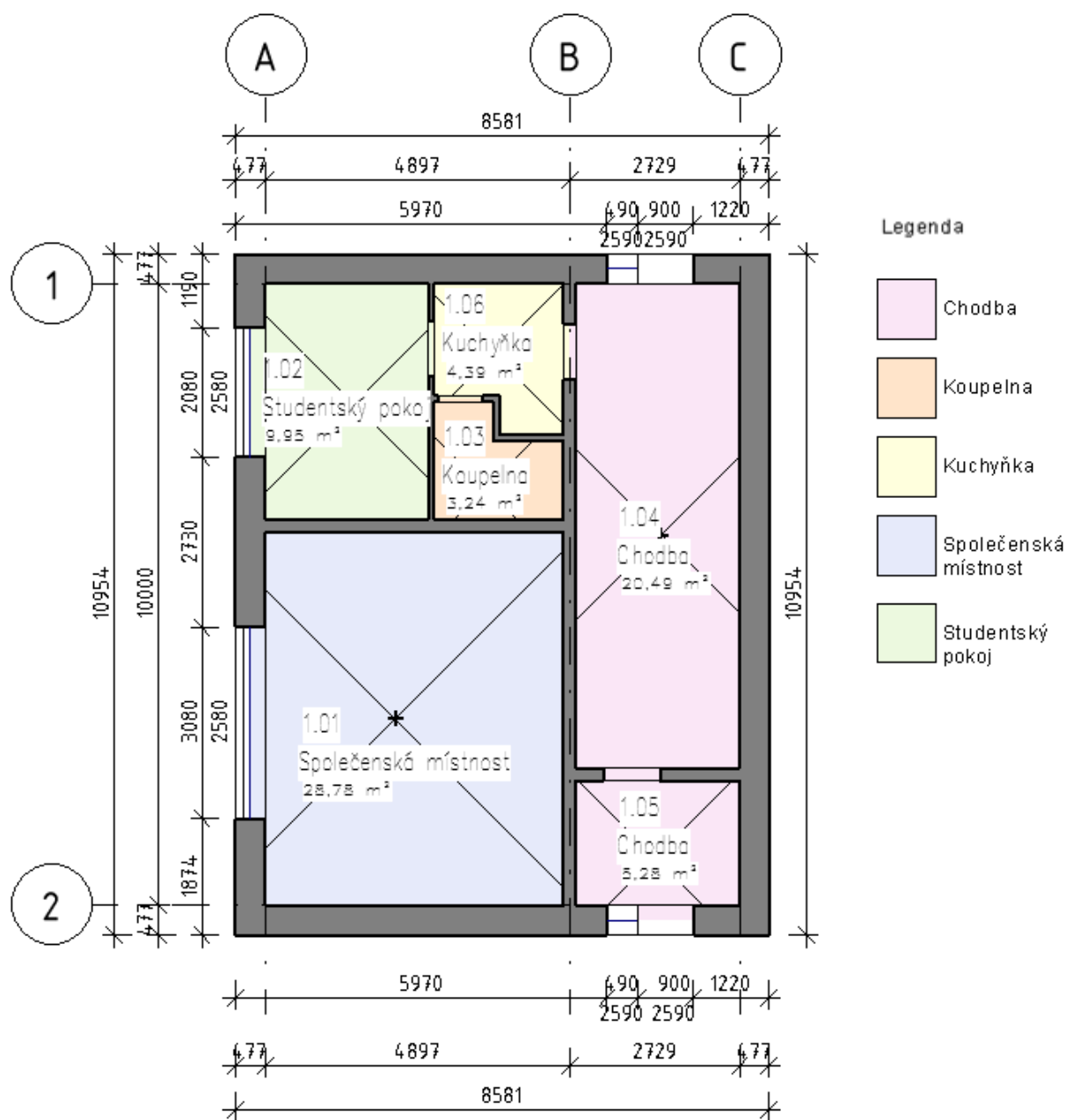
2 Revit

Revit je program od společnosti Autodesk umožňující 3D modelování pomocí stavebních prvků a následně k nim přiřazení informací, což dohromady vytváří BIM model. Dle specifikací profese je možné Revit rozdělit do několika kategorií. Základní model je architektonický. Dále je možné v Revitu vytvářet technické zařízení budov. Další specifický model je konstrukční, kde jsou v modelu zahrnuty i vyztužující prvky atd. Poslední model, který je možné v Revitu vytvořit, je energetický. A tím se budu v této kapitole zabírat.

2.1 Demonstrační jednotka

Pro lepší pochopení postupů při tvorbě energetických modelů, budu popisovat v některých z následujících kapitolách řešení na modelu menšího měřítka, ze kterého jde lépe pochopit jednotlivé rozdíly při různých postupech, popřípadě jejich úskalí.

Jedná se o demonstrační jednotku navrženou dle studie studenty architektury z fakulty ČVUT, která na malém modelu zjednodušeně znázorňuje nástavbu studentských kolejí na Větrníku. Demonstrační jednotka také vznikla v rámci projektu do soutěže Solar Decathlon Europe.



Obrázek 3 Dispoziční řešení demonstrační jednotky, Revit

2.2 Nastavení Revit souboru

Pro vytvoření energetického modelu v Revitu je žádoucí správné nastavení modelu. Je nutné dodržet posloupnost, aby program fungoval tak, jak má.

2.2.1 Zjednodušení modelu

Pro správnou funkčnost energetického modelu v Revitu je nutné dodržet, aby byl „očesaný“ na minimum. Přebytké prvky by mohly být problém při exportu stavebního modelu na model energetický. Například architektonický model pro energetický použit nemohu a naopak.

Práce s modelem – vyvarování se chybám

Při tvorbě modelu je dobré si dát pozor, aby dva stavební prvky byly vždy napojené přes funkci spoj (jinak by model mohl mít problém s exportem energetických analýz a generování energetických analýz). Dále aby ve vlastnostech nebylo zvoleno odsazení. Při odsazení stěn, popřípadě podlah by při generaci energetického modelu mohlo dojít ke spočtení špatných rozměrů objemu místnosti.

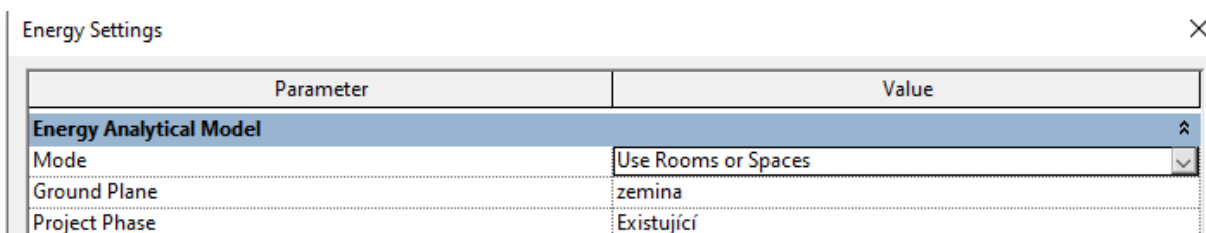
Také je důležité si dát pozor, aby u každého prvku, který rozděluje zóny energetického modelu, měl ve vlastnostech zaškrtnuto – ohraničení místnosti. Pokud by tomu tak nebylo, bude daný prvek v energetickém modelu ignorován.

2.2.2 Nastavení sdílených souřadnic

Do samostatného Revit souboru se nahraje katastrální mapa daného území se souřadným systémem dle S-JTSK a zároveň se do něj připojí vytvořený 3D model. Model se umístí na příslušnou adresu a pootočí se dle skutečného severu. Následně se nasdílí do připojeného souboru souřadnice. Tím je přesně definovaná zeměpisná šířka, délka a odklon 3D modelu od skutečného severu.

2.2.3 Vytvoření terénu

Na začátku vytváření modelu je vhodné si uvědomit, že v Revitu pro tvorbu energetického modelu lze vybrat pouze jednu úroveň terénu. Pokud vybraný objekt má proměnný okolní terén, je vhodné jeho úroveň aproximovat.¹



Obrázek 4 Nastavení úrovně terénu pro energetický model, Revit

Ve druhém kroku musí být terén vytvořen zeminou přes prvek – základová deska (building pad), který automaticky vykrojí terén kolem stavebních prvků pod úrovní terénu.

¹ Tvorba modelu studentských kolejí na Větrníku

Zvolení jednotné úrovně terénu bylo nutné upravit i pro model kolejí na Větrníku. Zde měl každý trakt jinou hloubku založení, tím pádem také i jinou výškovou úroveň okolního terénu. Hloubka založení byla nastavená na stejnou hodnotu, aby zvolená úroveň okolního terénu odpovídala realitě.

Práce s modelem – vyvarování se chybám

Správný postup, jak udržet Revit soubor čistý, je vytvářet jednotlivé profese do samostatných souborů. S tímto přístupem je docíleno, že výsledný soubor není zahlcen tolika informacemi, je menší a lépe se s ním pracuje.

Při tvorbě terénu v Revitu by se v praxi vytvořil samostatný soubor připojený k modelu budovy. Při vytváření energetického modelu nastává změna. Aby byly z modelu získány tepelné ztráty prostupem tepla zeminou, je klíčové, aby terén nebyl tvořen v externím souboru, ale ve stejném, jako je hlavní model. Protože bez vnořeného terénu v modelu, nelze vytvořit stavební podložku, díky které je docíleno spočtení tepelných ztrát zeminou.

2.2.4 Možnosti vytváření energetického modelu

Složitost exportu energetické analýzy mohou ovlivnit dvojím nastavením modelu.

První nastavení záleží na propracovanosti modelu. Energetický model lze vytvořit dle odpovídajícího objemu obálky budovy, pomocí stavebních prvků nebo definováním vlastností místností 3D modelu. V Revitu jsou dané 3 kategorie nazvány koncepční objem, stavební prvky a místnosti a prostory.

Druhá možnost nastavení je podrobnost, co vše má být v modelu zahrnuto neboli dle čeho se energetický model vytvoří. Zde Revit rozlišuje 5 kategorií exportu. Export jednoduchý, jednoduchý se stínícími povrchy, komplexní, komplexní se stínícími povrchy a komplexní se sloupky a stínícími povrchy.

2.2.4.1 Koncepční objem

Velmi rychle se v Revitu vytvoří objem odpovídající tvaru obálky, kde se zadá procentuální zasklení objektu (poměr zasklení ku povrchu obvodových stěn). Součinitel prostupu tepla pro obálku budovy je přednastavený dle výběru typu konstrukce. Konkrétní hodnotu součinitel prostupu tepla dle typu konstrukce lze najít na stránkách Autodesku [3]. Pokud navržená hodnota není vyhovující, lze ji přepsat ve složce generovaná programem.

Limity energetického modelu podle koncepčního objemu

Model lze rozdělit do ucelených zón pouze pomocí jednotlivých výškových úrovní podlaží. Nelze pracovat s více zónami na jednom podlaží.

Conceptual Types

Mass Model	Constructions
Mass Exterior Wall	Lightweight Construction – Typical Mild Climate Insulation
Mass Interior Wall	Lightweight Construction – No Insulation
Mass Exterior Wall - Underground	High Mass Construction – Typical Mild Climate Insulation
Mass Roof	Typical Insulation - Cool Roof
Mass Floor	Lightweight Construction – No Insulation
Mass Slab	High Mass Construction – No Insulation
Mass Glazing	Double Pane Clear – No Coating
Mass Skylight	Double Pane Clear – No Coating
Mass Shade	Basic Shade
Mass Opening	Air

Obrázek 5 Nastavení materiálových vlastností konstrukcí pro tvorbu energetického modelu pomocí funkce koncepční objem, Revit

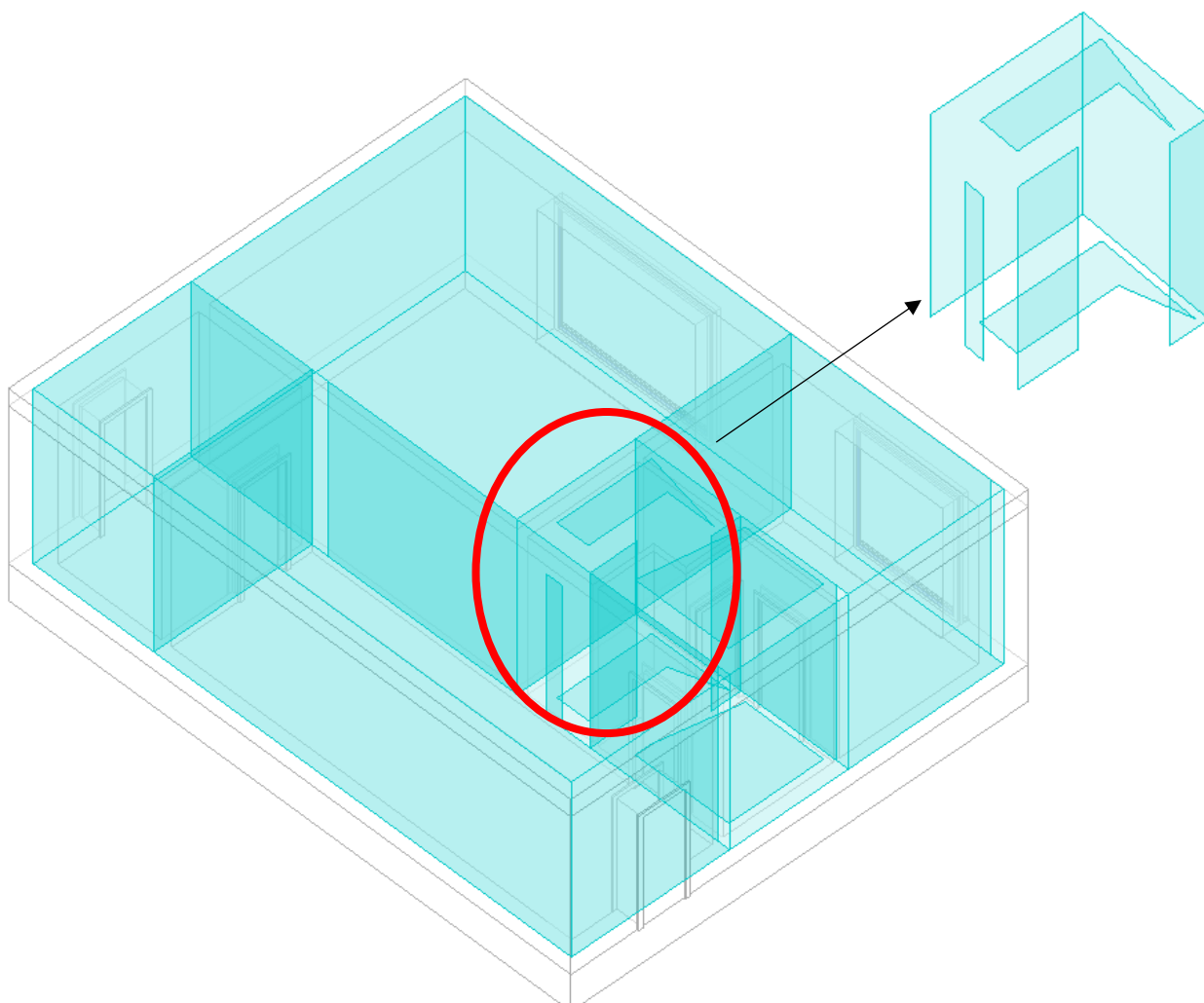
2.2.4.2 Stavební prvky

Další možností, jak lze vytvořit energetický model v Revitu, je pomocí stavebních prvků. Nutno dbát na to, že plocha, respektive objem místnosti se počítá na osu skladby stěny/střechy. Při použití energetického modelu pro simulace v programu DesignBuilder je dobré si uvědomit, že výpočty program provádí z vnitřních rozměrů. Tím pádem čím vyšší je tloušťka dané konstrukce, tím je odchylka od původního modelu vyšší. Přesnějších výsledků by bylo možno dosáhnout, pokud by se snížil součinitel tepelné vodivosti tak, aby stěna odpovídala ekvivalentnímu součiniteli prostupu tepla při její menší tloušťce. Minimální součinitel tepelné vodivosti lze v Revitu zadat na hodnotu 0,0100 W/(m·K). Tím tedy odchylku můžeme snížit, ale ne odstranit.

Limity energetického modelu podle stavebních prvků

Problém tvorby energetického modelu ze stavebních prvků v Revitu je takový, že dojde k mírné deformaci při generaci jednotlivých analytických prostor u těch, které nejsou obdélníkového půdorysu. Ve výpočtu v Revitu je u obdélníkových místností plocha, respektive objem spočítán špatně. Zbylé místnosti jsou spočítány s odchylkou na osu stěny. Také pokud bych chtěla daný prostor generovat do gbXML souboru, zde pak dochází k chybám v exportu, protože následně program, který čte gbXML soubory,

nedokáže dané prostory převzít jako uzavřené a není možné je použít pro další energetické analýzy.



Obrázek 6 Energetický model pomocí funkce stavební prvky, demonstrační jednotka, Revit

Číslo místnosti	Vnitřní plocha místnosti [m ²]		Odchylka [± %]	Vnitřní objem místnosti [m ³]		Odchylka [± %]
	Skutečná	Energetický model		Skutečný	Energetický model	
1.01	28,78	32,55	13,1	86,35	85,65	-0,8
1.02	9,95	12,03	20,9	29,86	27,92	-6,5
1.03	3,24	1,22	-62,3	9,71	8,09	-16,7
1.04	20,49	24,14	17,8	61,48	62,39	1,5
1.05	5,28	6,96	31,8	15,83	16,02	1,2
1.06	4,06	3,02	-25,6	13,17	10,16	-22,9
	<u>71,80</u>	<u>79,92</u>	<u>11,3</u>	<u>216,40</u>	<u>210,23</u>	<u>-2,9</u>

Tabulka 1 Porovnání ploch a objemů energetického modelu demonstrační jednotky vytvořené v programu Revit pomocí funkce stavební prvky se skutečnou vnitřní plochou a objemem místností

Číslo místnosti	příčina odchylky
1.01	výpočet plochy na osu stěny
1.02	výpočet plochy na osu stěny
1.03	nemá obdélníkový půdorys, výpočet plochy na osu stěny
1.04	výpočet plochy na osu stěny
1.05	výpočet plochy na osu stěny
1.06	nemá obdélníkový půdorys, výpočet plochy na osu stěny

Tabulka 2 Příčina odchylky energetického modelu demonstrační jednotky od skutečných ploch a objemů jednotlivých místností

2.2.4.3 Plochy a prostory

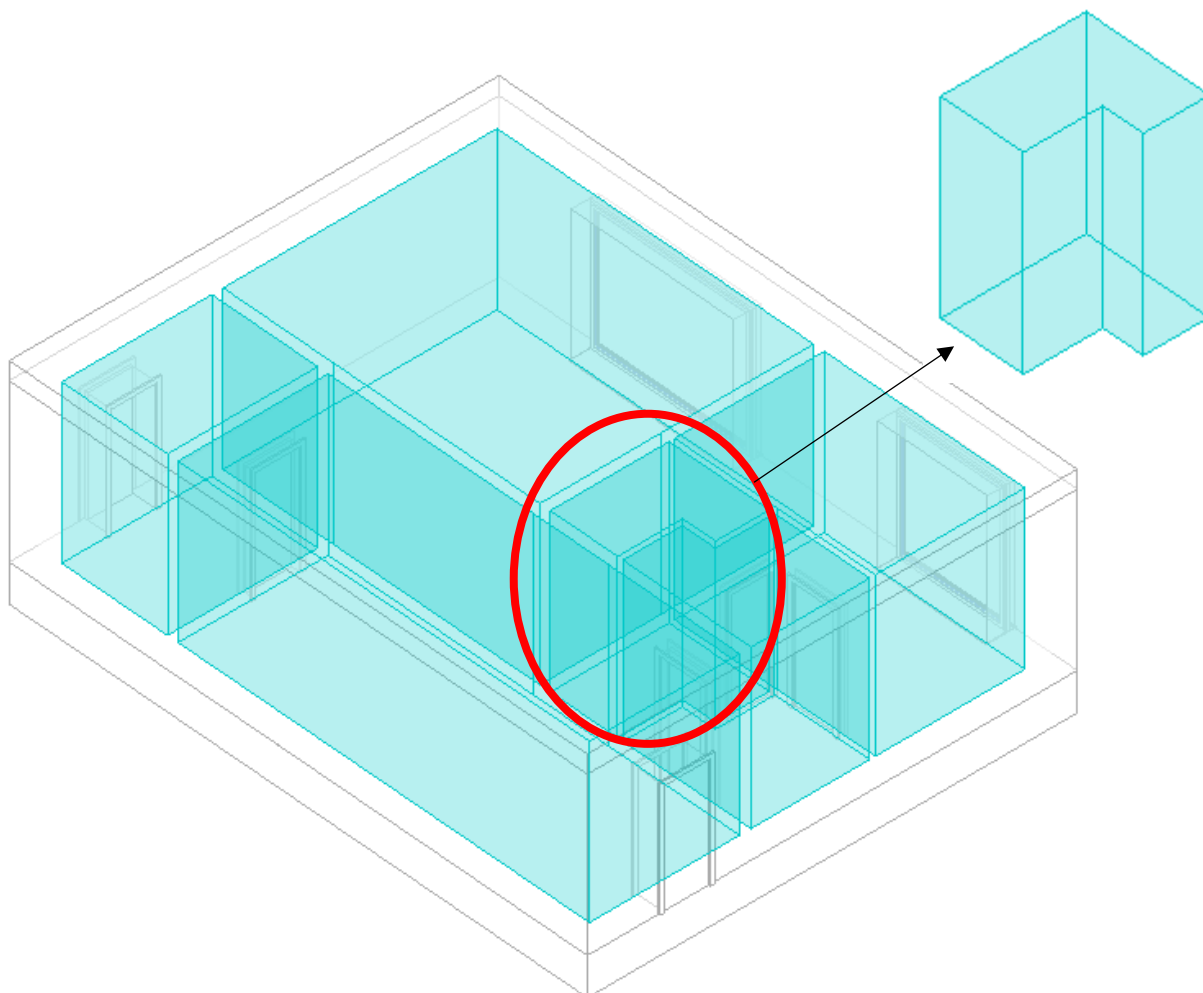
Pro nejpřesnější analýzu slouží v Revitu plochy a prostory. Tahle možnost pro tvorbu energetického modelu je integrovaná do programu od verze Revit 2022, v dřívějších verzích existují pouze zmíněné 2 předchozí možnosti. Nejprve ze stavebních konstrukcí vytvořím v Revitu místnosti, kde ve vlastnostech definuji, jak je daná místnost vysoká. Dále určím, zda je místnost obývána, či ne. Pro výpočty si mohu zvolit, aby se plocha počítala z vnitřních rozměrů, či opět na osu konstrukce. Zde je výhodné určit plochu z vnitřních rozměrů pro využití energetického modelu ve spolupráci s programem DesignBuilder, kde je výpočet opět počítán z vnitřních rozměrů. Dále se vytvoří pro každou místnost prostor, který umožňuje definovat energetické parametry návrhu. Jinými slovy nástroj prostor rozvíjí informace o typu místnosti.

Jeden z parametrů, který se vyplňuje je typ budovy. Ten je možný si vytvořit vlastní nebo použít typ dle knihovny, která je tvořena z dat ASHRAE 90.1-2010 [4], ASHRAE 90.2-2010 [5], ASHRAE 62.1, CBECS [6], kde jednotlivá data lze dále upravit dle uživatelské volby.

V typu budovy nastavím rozvrh užívání daného prostoru, citelné a latentní teplo od lidí (W/osoba), osvětlení prostoru (W/m²), elektrické vybavení prostoru (W/m²), infiltraci, čerstvý vzduch na osobu, minimální výměnu vzduchu za hodinu, potřebu čerstvého vzduchu na plochu a také vytápěnou teplotu místnosti, popřípadě teplotu chlazení místnosti. Dále si uživatel určí, dle jakého parametru se do daného prostoru bude přivádět čerstvý vzduch. Také počet osob – buď dle os/m² nebo defaultně se zadá konkrétní hodnota.

Další parametr k nastavení je pro určení vytápěné obálky budovy. Zde se určí, zda je prostor vytápěn, chlazen, či obojí nebo pouze přirozeně větrán, či nevětrán vůbec.

Po specifikaci prostoru je nutné objekt rozdělit do jednotlivých zón. Zóny jsou vhodné i pro vyfiltrování společných prostorů, které spadají do jedné zóny. Zde se opět určí teplota vytápění místnosti, popřípadě chlazení.



Obrázek 7 Energetický model pomocí funkce místnosti a prostory, demonstrační jednotka, Revit

Číslo místnosti	Vnitřní plocha místnosti [m ²]		Odchylka [± %]	Vnitřní objem místnosti [m ³]		Odchylka [± %]
	Skutečná	Energetický model		Skutečný	Energetický model	
1.01	28,78	28,78	0,0	86,35	86,35	0,0
1.02	9,95	9,95	0,0	29,86	29,86	0,0
1.03	3,24	3,24	0,0	9,71	9,71	0,0
1.04	20,49	20,49	0,0	61,48	61,48	0,0
1.05	5,28	5,28	0,0	15,83	15,83	0,0
1.06	4,06	4,06	0,0	13,17	13,17	0,0
	<u>71,80</u>	<u>71,80</u>	<u>0,0</u>	<u>216,40</u>	<u>216,40</u>	<u>0,0</u>

Tabulka 3 Porovnání ploch a objemů energetického modelu demonstrační jednotky vytvořené v programu Revit pomocí funkce místnosti a prostory se skutečnou vnitřní plochou a objemem místností

Práce s modelem – vyvarování se chybám

Ve článku od Autodesku se píše, že nastavení v zónách má větší váhu než jednotlivé prostory [7], při ověření výpočtu jsem zjistila, že přednost při výpočtu v Revitu 2022 má nastavení v prostorech, ne zónách.

2.2.4.4 Jednoduchý export

Obvodové pláště se exportují jako jedno velké okno/panel, bez jednotlivých dílčích rozdělovacích prvků konstrukce.

2.2.4.5 Jednoduchý export se stínícími povrchy

Obvodové pláště se exportují jako jedno velké okno/panel, bez jednotlivých rozdělovacích prvků konstrukce a dále se implementují do energetického modelu informace o stínících površích.

2.2.4.6 Komplexní export

Do energetického modelu je exportován obvodový plášť přes jednotlivé panely.

2.2.4.7 Komplexní export se stínícími povrchy

Do energetického modelu je exportován obvodový plášť přes jednotlivé panely a dále se implementují do energetického modelu informace o stínících površích.

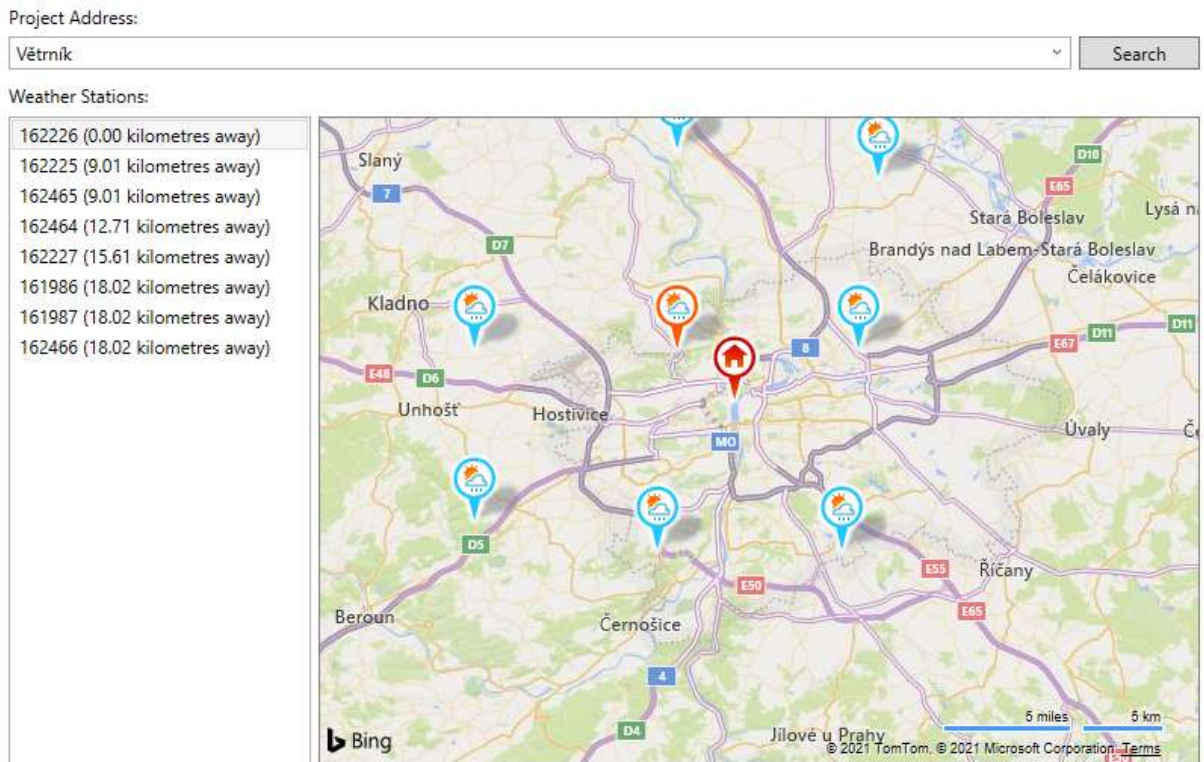
2.2.4.8 Komplexní export se sloupky a stínícími povrchy

Do energetického modelu je exportován obvodový plášť přes jednotlivé panely se sloupky a dále se implementují do energetického modelu informace o stínících površích.

2.2.5 Klimatická data

Pro výpočty je důležité umístění objektu. V programu je možné si vybrat z > 4400 stanic dle databáze ze světových meteorologických organizací (WMO) odvozených z příručky zásad 2005 ASHRAE [8]. Výběr nejbližší meteorologické stanice je možné v Revitu pomocí zadání adresy budovy. K definování vnějších podmínek jsou využita hodinová data o počasí. Souhrn klimatických dat je k nalezení na cloudové platformě Green Building Studia, kde jsou možné i ke stažení. Souhrn obsahuje teplotu suchého teploměru pro roční podmínky návrhu na chlazení a vytápění, venkovní teplotu, pro každý měsíc, výčet rychlostí větrů ročně, severka se s rychlostí větru (roční, pro zimní

období, pro letní období), procentuální roční výčet venkovní reaktivní vlhkosti, procentuální četnost ročního difúzního slunečního záření ve Wh/m².



Obrázek 8 Nastavení umístění objektu a následný výběr meteorologické stanice, Revit

2.3 Princip výpočtů v programu Revit

Výpočty jsou dle principů a postupů podle zapůjčené knihovny z ASHRAE 2005 Handbook of Fundamental [9]. Zde uvádím princip energetických výpočtů popsany na stránkách společnosti Autodesku.

2.3.1 Prostup tepla obálkou

Pro výpočet prostupu tepla obálkou (skrz stěnové a střešní konstrukce), Revit vychází z rovnice pro 1D vedení tepla.

$$q = U \cdot A \cdot (\theta_{int} - \theta_{ext})$$

Rovnice 1 Prostup tepla obálkou, Autodesk – Revit [10]

U součinitel prostupu tepla konstrukcí [W/(m²K)]

θ_{int} vnitřní návrhová teplota [°C]

θ_{ext} vnější návrhová teplota [°C]

A plocha konstrukce [m²]

2.3.2 Solární zisky

Pro výpočet tepelných zisků od oken a světlíků, Revit využívá následující rovnice.

$$Q_s = g_b + q_d + q_c$$

$$q_b = AE_D \cdot SHGC(\theta)$$

$$q_d = A(Ed + E_r)(SHGC)D$$

$$q_c = Uw \cdot A \cdot (\theta_{int} - \theta_{ext})$$

Rovnice 2 Solární zisky, Autodesk – Revit [10]

Q_s	celkový tepelný zisk okny
q_b	přímý solární zisk [W/m ²]
E_D	přímé sluneční záření
q_c	prostup tepla konstrukcí vedením [W/m ²]
A	plocha okna [m ²]
q_d	difúzní solární zisk [W/m ²]
E_d	difúzní sluneční záření
E_r	odražené sluneční záření od země
$SHGC(\theta)$	koeficient přímého slunečního záření dle úhlu dopadu
Uw	součinitel prostupu tepla oknem
θ_{int}	vnitřní návrhová teplota [°C]
θ_{ext}	vnější návrhová teplota [°C]
A	plocha okna [m ²]
$SHGC(D)$	koeficient difúzního slunečního záření

2.4 Optimalizace modelu pomocí Autodesk cloudových platform

Pro optimalizaci energetických modelů z Revitu slouží dvě cloudové platformy od společnosti Autodesk. První online platformou je Insight a druhou je Green Building Studio.

Online platformy výpočty provádějí dle softwaru DOE2.2. Software DOE 2.2 počítá hodinové simulace pro celkovou energii dodanou do budovy a také její náklady. Software DEO 2.2 byl vyvinut James J. Hirsch & Associates ve spolupráci s Lawrence Berkeley National Laboratory . Meteorologická data dle asociace 51 ASHARE [11].

Výsledky z portálu jsou vhodné pro orientaci, kde by se potenciálně energie dala snížit a naopak. Z energetického modelu z Revitu není možné zadat přesný profil užívání, a proto výsledky mohou být zkreslené. Tím pádem není vhodný pro přesné analýzy.

2.4.1 Insight

První možností je využití cloudové platformy Insight. Zde mohu tvořit jednotlivé varianty návrhu. Mám pouze ale určité kategorie, které mohu pomocí platformy ovlivnit. Veškeré změny oproti původní verzi se projeví ve snížení/zvýšení celkové dodané energie do budovy.

Výsledek je možný porovnat s projektem Architektura 30, který má za cíl dokázat, že nové budovy dosáhnou nulových uhlíkových emisí, což vyžaduje energeticky účinné budovy nepoužívající žádná fosilní paliva [12]. Budovy budou 100 % napájeny obnovitelnou energií na místě, či mimo něj.

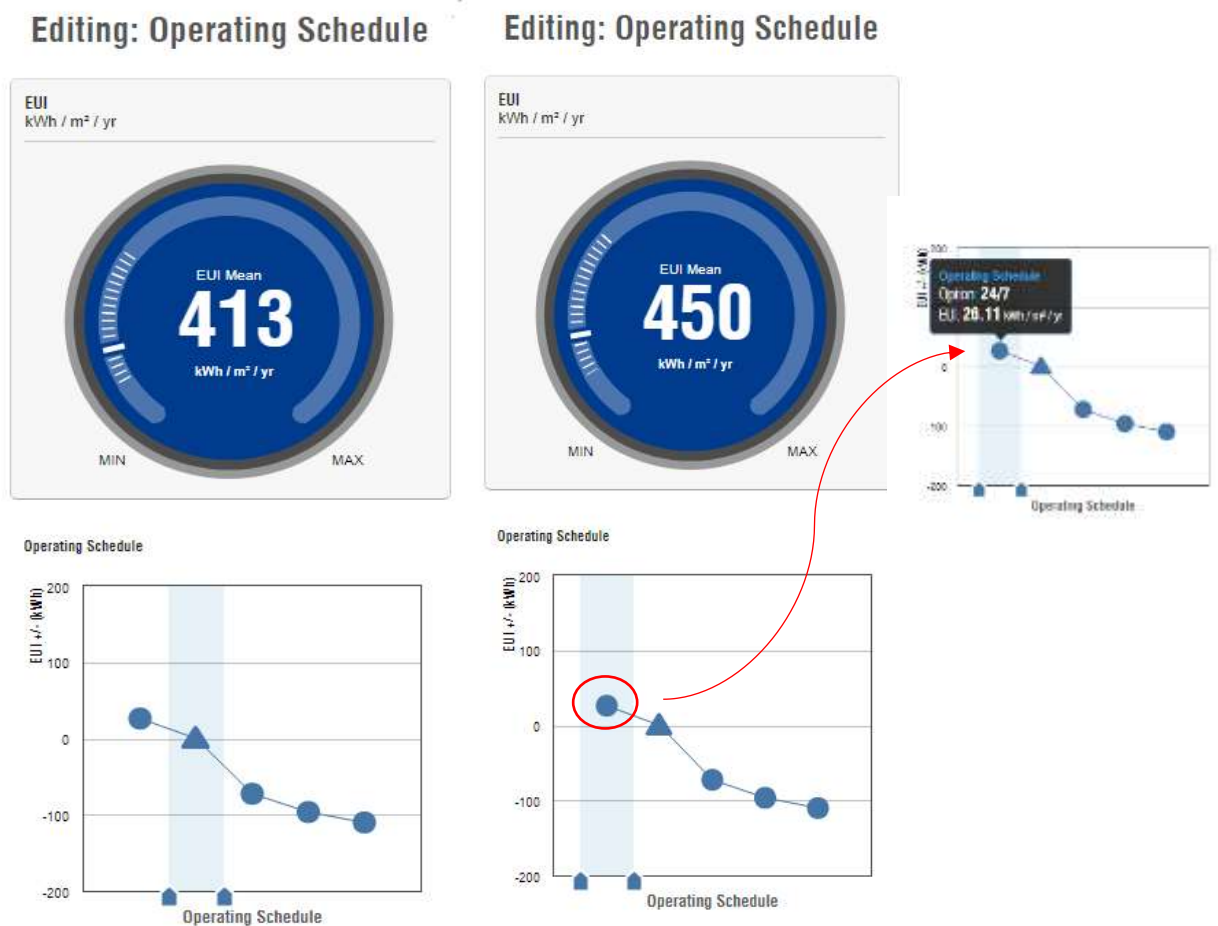
U kategorie, která se dá parametrizovat, je napsané, dle jakých vlastností je kritérium hodnoceno a ovlivňováno. Není jasně specifikována metoda. Z toho důvodu výsledky беру pouze jako orientační, potažmo doporučené řešení k optimalizaci.

Optimalizace v programu funguje na principu, že se vybírá z možností, které jsou již seřazeny podle výhodnosti. Zároveň je mezi nimi zařazena aktuální varianta modelu v Revitu, ze kterého byl vytvořen pro optimalizaci. Trojúhelník značí nastavenou hodnotu z modelu v programu Revit.

Na platformě nemohu změnit prvek na konkrétní hodnotu, ale pouze vybírám z přednastavené knihovny.

2.4.1.1 Provoz budovy

Jedním z možných optimalizačních parametrů je obsazenost objektu a její dopad na celkovou dodanou energii do budovy. Zde na obrázku je ukázáno, jak daná platforma funguje. Pokud je navýšena obsazenost oproti původnímu modelu na 24/7, graf ukáže hodnotu, o kolik se zvýší celkové dodané energie na provoz budovy za rok.



Obrázek 9 Optimalizace návrhu modelu pomocí změny profilu užívání, cloudová platforma Insight

2.4.1.2 Orientace budovy

Další věc, kterou mohu na stránce Insight optimalizovat je orientace objektu. Pracuje na principu solární energie v dopadu na tepelné zisky a ztráty, popřípadě potenciál fotovoltaických panelů umístěných na povrchu střechy [13].

2.4.1.3 Okenní konstrukce

U okenních konstrukcí je optimalizace řešena pro každou světovou stranu zvlášť. Dá se nastavit poměr neprůsvitných ku průsvitným konstrukcím. Dále je možné měnit součinitel prostupu tepla okny. Součinitele prostupu tepla nejsou přímo vypsané v

Insightu, ale jsou dohledatelné na cloudové platformě Green Building Studia v přehledu informací o projektu (zde si musím vytvořit novou variantu návrhu a vybrat si konstrukci stejného názvu, jako je zvolena na platformě Insight). Dále je možnost optimalizace stíněním, a to pouze pevnou markýzou (1/6, 1/4, 1/3, 1/2, 2/3 výšky okna). Stínění má vliv na snížení energií za chlazení objektu. Pokud chlazení není uvažováno, výška stínění nemá vliv.

2.4.1.4 Stěny a střešní konstrukce

U stěn a střešních konstrukcí je možnost parametrizace změnou součinitele prostupu tepla obálkou. Konkrétní hodnotu součinitelů prostupu tepla je možné opět dohledat přes cloudovou platformu Green Building Studia, jak bylo popsáno v předchozí kapitole *2.4.1.3 Okenní konstrukce*.

2.4.1.5 Infiltrace

Další možností je nastavení infiltrace objektu v jeho přirozeném chodu (výměna vzduchu za hodinu). Opět mohu vybírat z přednastavených hodnot.

2.4.1.6 Umělé osvětlení a elektrické vybavení

Jak pro umělé osvětlení, tak pro elektrické vybavení je možnost na platformě upravovat jejich spotřebu ve W/m^2 v dopadu na celkovou dodanou energii do budovy (vliv na interiérové zisky a spotřebu energie).

2.4.1.7 Potenciál fotovoltaiky

Platforma dále nabízí výpočet výroby elektrické energie z fotovoltaických panelů dle zvolení procentuálního využití střešní plochy. Dále si lze měnit efektivnost panelů. Pro zvolenou variantu návrhu je programem spočítána cenová návratnost řešení.

Limity cloudové platformy Insight

Platforma nenabízí možnost měnit sklon panelů. Proto, když v projektu uvažuji plochou střechu, program automaticky volí panely bez sklonu (s orientací na jih). Proto není výpočet příliš využitelný.

Výhoda modelu v programu Revit oproti cloudové platformě Insight

Stejně principy jde aplikovat přímo v modelu v Revitu, kde ale je možnost si určit přesné plochy panelů, jejich orientaci, účinnost a sklon, pro které bude výpočet proveden.

Výpočet je přesnější a orientačně využitelný i pro ploché střechy. Výsledkem je energetický potenciál (kWh/a) a cenová návratnost panelů. U analýzy finanční návratnosti panelů lze nastavit cenu elektrické energie ze sítě za 1 kWh a předpoklad ročního cenového růstu elektrické energie ze sítě v procentech.

2.4.1.8 Výhody, nevýhody

Výhodu a zároveň potenciál v programu vidím pro rychlé analýzy, kde si nemusím tvořit několik modelů a zároveň je porovnávat. V Insight platformě vidím hned, jak velký dopad bude mít daná změna na energetickou náročnost budovy. Zároveň si mohu tvořit jednotlivé varianty návrhu a porovnávat je oproti původnímu modelu.

Vzhledem k tomu, že je v platformě omezená škála možností parametrizace, není vhodný pro podrobné výsledky a simulace. Pouze nám může orientačně do začátku pomoci s výběrem, která cesta se jeví jako správná.

2.4.2 Green Building Studio

Green Building Studio je další možná platforma od společnosti Autodesk sloužící pro optimalizaci modelu z Revitu.

Green Building Studio funguje na podobném principu jako Insight. Hlavní rozdíl mezi programy spočívá v tom, že v Green Building Studiu jdou tvořit jednotlivé varianty návrhu nebo jejich kombinace, kde výsledky se ukážou pod sebou seřazené dle výhodnosti. Také v Green Building Studiu jde pracovat se zjednodušeným výpočtem pro využití šedé či dešťové vody a jakou finanční úsporu by dané opatření přineslo. Další výhodou Green Building Studia je výčet použitých klimatických dat modelu a přehled konstrukcí převzatý z energetického modelu z programu Revitu.

3 DesignBuilder

DesignBuilder je softwarový nástroj založený na výpočtech EnergyPlus [14] používaný pro měření energie, uhlíkové stopy, osvětlení a vnitřního komfortu. Program slouží k usnadnění procesu simulace budovy. U energetické náročnosti program počítá simulace pro vytápění, chlazení, osvětlení a větrání. Program umožňuje výpočetní krok menší než hodinový, simulaci zóny založené na rovnováze přenosu tepla a více zónový klimatizační systém, tepelný komfort a využití fotovoltaických panelů. Bohužel studentská verze neumožňuje výpočty využitím solární energie.

3.1 Klimatická data

DesignBuilder používá hodinová data počasí ve formátu EnergyPlus k definování vnějších podmínek během simulací. Každé místo má specifický samostatný soubor popisující vnější teplotu, sluneční záření, atmosférické podmínky atd. Hodinové soubory o počasí vychází z reálných měření na konkrétních místech ve spolupráci s národními meteorologickými službami [15]. Pokud nejsou k dispozici hodinová data pro dané místo, je nutné použít nejbližší meteorologickou stanici nebo místo s podobnými klimatickými podmínkami. Použitá hodinová data jsou ke stažení ve formátu epw.

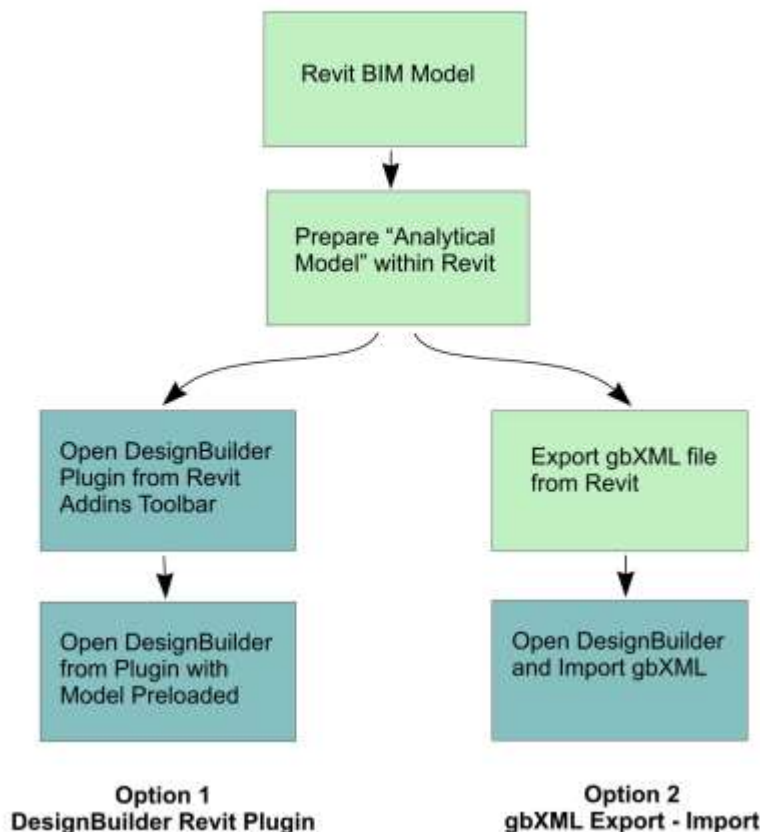
3.2 Nastavení dveří

Také je dobré si uvědomit, že do výpočtu nevstupují tepelné ztráty dveřmi. Exteriérové dveře mají dopad na tok vzduchu v simulačních výpočtech. Interiérové dveře slouží k namíšení vzduchu mezi dvěma místnostmi. Pokud by v modelu byly použity prosklené dveře, bylo by patřičné dveře rozdělit na dva celky. Prosklenou část modelovat přes funkci okno, zbytek jako dveře [16].

4 Přenos energetického modelu z Revitu do DesignBuilderu

Vzhledem k tomu, že oba programy fungují na principu 3D modelování, je možný export energetického modelu. Před exportem modelu jsou dvě možnosti, jak přenést energetický model z programu Revit do programu DesignBuilderu. První možnost je přes externí doplněk do Revitu vytvořený společností DesignBuilderu pro export energetického modelu, druhou možností je export pomocí gbXML souboru.

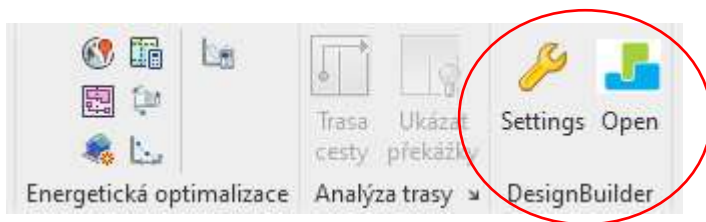
Exporting Revit Models to DesignBuilder



Obrázek 10 Schéma 2 možnosti přenosu energetického modelu z programu Revit do programu DesignBuilder [29]

4.1 Doplněk od DesignBuilderu do Revitu

DesignBuilder nabízí doplněk, který je možný si volně stáhnout na jejich oficiálních stránkách. Tento doplněk se zobrazí na výchozí kartě v programu Revit, kde se spolu s ním objeví tabulka s nastavením exportu energetického modelu. Důležité je si zde zvolit, jaké vlastnosti budou exportovány (stínící objekty, rozdělit objekt do více pater, převzít tepelně technické vlastnosti konstrukcí apod.). Doplněk do DesignBuilderu existuje zatím do verze Revitu 2020. I když Revit ve verzi 2020 nemá možnost vytvářet energetický model pomocí místností a prostorů, doplněk do DesignBuilderu nabízí vytvoření energetického modelu pomocí této možnosti.

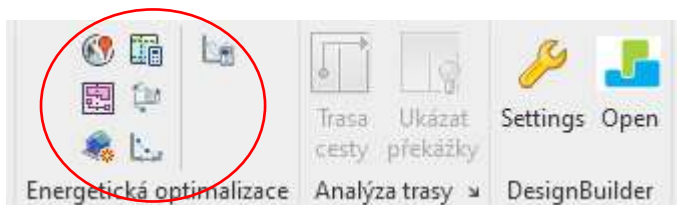


Obrázek 11 Rozšířený panel nabídek v programu Revit po stažení doplňku od DesignBuilderu a nastavení exportu energetického modelu

4.2 gbXML soubor

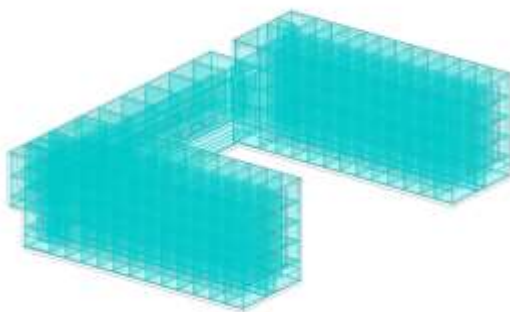
Druhou možností, jak exportovat model z Revitu do DesignBuilderu je pomocí gbXML souboru. GbXML soubor je formát pro přenos informací, který byl speciálně vyvinut pro 3D programy počítající energetickou náročnost budov. Neboli pro přenos informací z BIM modelu do modelu BEM.

Vlastnosti, které soubor gbXML obsahuje, jsou ty, které jsou vybrány přes nastavení energetického modelu v Revitu.

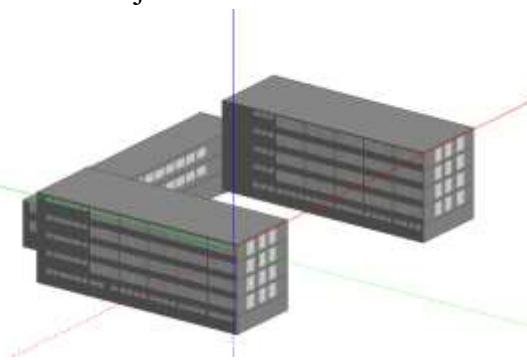


Obrázek 12 Nastavení exportu energetického modelu v Revitu pro přenos informací souborem gbXML

Výsledný export modelu přes obě možnosti vychází nastejno.



Obrázek 13 Energetický model Kolejí Větrník, stávající stav, Revit



Obrázek 14 Energetický model exportovaný pomocí doplňku, stávající stav, DesignBuilder

Pro ověření exportovaných informací z BIM do BEM programu mohou vždy otevřít gbXML soubor, což je ve skutečnosti textový dokument s jednotlivými informacemi.

Kategorie, dle kterých si model přejímá informace ohledně ploch, pracují na principu tří uzlů. První uzel, definuje vnitřní plochu/ prostor obálky budovy. Druhý uzel definuje

střed interiérové příčky/stěny a tím hranici mezi 2 místnostmi/zónami. Třetí uzel je pro definování prvků, které slouží ke stínění objektu.

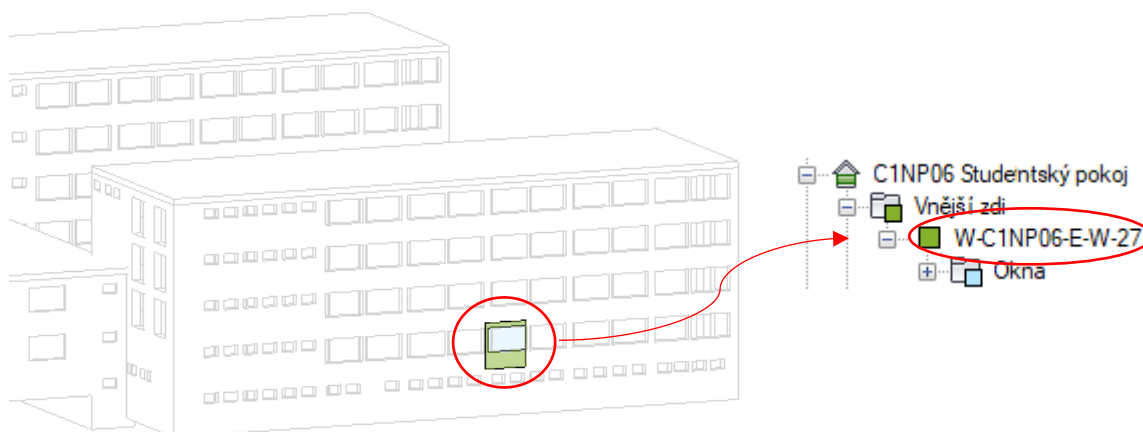
Ke každému povrchu energetického modelu najdu v gbXML souboru identifikační číslo a 3 koordinační souřadnice X, Y, Z. Tím je určen normálový vektor, který využívá pravidlo pravé ruky. X-ové kladné souřadnice směřují na východ, Y-ové kladné souřadnice směřují na sever, Z-ové kladné souřadnice směřují k obloze.

```
<PlanarGeometry>  
<Polygon>  
  <CartesianPoint>  
    <Coordinate>5.35</Coordinate>  
    <Coordinate>2.9</Coordinate>  
    <Coordinate>2.85</Coordinate>  
  </CartesianPoint>
```

Obrázek 15 Ukázka definování plochy povrchu, textový soubor gbXML

Obdobný princip kódu lze najít i v program Revit [17]. První prvek mi značí orientaci povrchu. Orientace prostoru se dělí po 22,5 stupních do 12 možností. Orientace sever/jih/východ/západ je dána prvním písmenkem z anglického jazyka. Horizontální konstrukce, které směřují nahoru mají písmenko T a ty, které směřují dolů mají písmenko B. Písmenka jsou opět převzata jako iniciály slov z anglického jazyka. Druhý prvek slouží k označení prostoru, do kterého povrch patří, popřípadě třetí prvek, který označuje prostor, pokud je povrch na hranici dvou místností/zón. Čtvrtý prvek nese informaci o tom, s čím je v kontaktu (se zeminou, exteriérem, interiérem). Písmenka jsou opět převzata z iniciál anglických slov. Pátý element nese informaci, zda obsahuje povrch otvor a pokud ano, tak o jaký otvor jde.

- 1.prvek – orientace [N/NE/E/SE/S/SW/W/NW/N/T/B/X]
- 2 prvek – označení prostoru
- 3. prvek – označení „hraničního“ prostoru
- 4. prvek – v kontaktu s exteriérem, interiérem, se zeminou [E/I/U]
- 5. prvek – okno, dveře, prostup (W/D/O)
- 6. prvek – pořadové číslo



Obrázek 16 Ukázka definování plochy povrchu, Revit

4.3 Exportované vlastnosti

Důležité si uvědomit, jaké vlastnosti jsou z 3D modelu z Revitu do DesignBuilderu možné přenést. I přes to, že program Revitu umožňuje pomocí prostorů vyplnit informace o každé místnosti např. typu užívání, tepelné zátěži, osvětlení, větrání, počtu osob atd., export zatím neumožňuje přenést energetické vlastnosti zadané v Revitu do informací v DesignBuilderu.

Modelem jsou přeneseny pouze jednotlivé objemy místností, jejich tepelné vlastnosti konstrukcí, stínící prvky a natočení modelu ke skutečnému severu.

Energetický model, který je do programu DesignBuilder exportován, bude mít počátek – podlahu na terénu umístěnou dle nejnižšího bodu budovy. Nastavením úrovně terénu v modelu v Revitu se docílí pouze toho, že do gbXML souboru se propíšou veškeré otvory umístěné nad úrovní terénu. Otvory (Anglické dvory, světlíky apod.), které jsou v modelu osazené níž, než je nastavení úrovně terénu v Revitu, nejsou do energetického modelu v programu DesignBuilderu exportovány. Výsledný exportovaný model je nutné v DesignBuilderu posunout ve směru osy Z dle potřebné výškové úrovně terénu.

Při exportu energetického modelu z programu Revitu do programu DesignBuilderu vznikají malé odchylky. Pro správnost výpočtu je dobré si ověřit, jak moc velké jsou rozdíly v modelech a jaký mají vliv na simulace.


```

<Location>
  <StationId IDType="WMO">162465_2006</StationId>
  <ZipcodeOrPostalCode>00000</ZipcodeOrPostalCode>
  <Longitude>14.4565001</Longitude>
  <Latitude>50.1058998</Latitude>
  <Elevation>253</Elevation>
  <CADModelAzimuth>0</CADModelAzimuth>
  <Name>Praha, Czech Republic</Name>
</Location>
<Building buildingType="Office" id="aim0013">
  <StreetAddress>Praha, Czech Republic</StreetAddress>
  <Area>2777.3071554</Area>

```

Obrázek 17 Ukázka přenesení informací o umístění objektu, textový soubor gbXML

4.4 Okenní konstrukce

V Revitu se pro velikost okna zadá přesný rozměr (zasklení + rám okna). Energetický model v Revitu si plochu zasklení vygeneruje samostatně dle naprogramovaných výpočtů, ne dle vlastností rodiny okna (každý stavební prvek v Revitu je takzvaně jiná rodina, rodiny mohou využít dle základní knihovny anebo si je uživatel může vytvářet vlastní). Naprogramovaná hodnota procentuálního zasklení od plochy okna činí přibližně 98 %.

Typ okna	Plocha okna [m ²]	Plocha skla [m ²]	Odchylka [± %]
	Celková (rám + sklo)	Energetický model – Revit	
okno_1800x2250	4,05	3,97	-1,98
okno_2560x1500	3,8	3,76	-2,08
okno_2240x1500	3,4	3,3	-2,08
okno_2400x1500	3,6	3,53	-1,94
okno_900x600	0,54	0,53	-1,85
okno_2380x1500	3,57	3,5	-1,96
okno_1800x2250	4,05	3,97	-1,98

Ø -1,98

Tabulka 4 Výpočet průměrné hodnoty plochy rámu ku ploše zasklení generovaná programem Revit

V DesignBuilderu si mohou defaultně navolit, jakou tloušťku by měl mít rám a z jakého materiálu je. Dle tloušťky rámu a materiálu se programem dopočítá součinitel prostupu tepla oknem. Tloušťku rámu mohou pak v DesignBuilderu upravit, aby získala stejné hodnoty, jak z energetického modelu v Revitu (pokud okno odpovídá procentuálnímu zasklení dle mé volby), či mohou v DesignBuilderu zpřesnit na konkrétní parametry. Z důvodu, že chci modely dále vzájemně porovnávat, upravila jsem v DesignBuilderu velikost rámu tak, aby odpovídala procentům zasklení oken v energetickém modelu v Revitu.

Číslo místnosti	Plocha okna [m ²] rám+sklo	Zasklení [m ²]	
		Energetický model – Revit	Energetický model – DesignBuilder
1.01	7,7	7,6	7,6
1.02	5,1	5,0	5,0

Tabulka 5 Úprava velikosti rámu okna v DesignBuilderu exportovaného modelu, aby procentuální zasklení byly stejně nastavené jako v energetickém modelu v programu Revit

4.5 Plochy a objemy

Vzhledem k tomu, že DesignBuilder nepracuje s tloušťkou stěn, popřípadě podlahou/střešní konstrukcí, v modelu se místo po stěně/podlaze v interiéru zaplní objemem. To má za následek zvětšení plochy místnosti/objemu na vnitřní osu mezi dvěma dělicími prvky.

Abych mohla bezpečně použít energetický model z Revitu i pro výpočet v DesignBuilderu, zjistím, o jakou odchylku se jedná.

Největší vliv zvětšení plochy/objemu bude v místnosti, která je ze všech stran krytá interiérovými příčkami. Místnosti, které ohraničují nejvíce stěn z exteriéru, nastane zvětšení od původního energetického modelu nejmenší.

Číslo místnosti	Vnitřní plocha místnosti [m ²]		Odchylka [± %]	Vnitřní objem místnosti [m ³]		Odchylka [± %]
	Revit	DesignBuilder		Revit	DesignBuilder	
1.01	28,78	29,28	1,7	86,35	87,85	1,7
1.02	9,95	10,58	6,3	29,86	30,17	1,0
1.03	3,24	3,24	0,0	9,71	11,47	18,1
1.04	20,49	20,97	2,4	61,48	62,92	2,3
1.05	5,28	5,49	4,0	15,83	16,48	4,1
1.06	4,06	4,74	16,7	13,17	14,23	8,1
	<u>71,80</u>	<u>74,31</u>	<u>3,5</u>	<u>216,40</u>	<u>223,12</u>	<u>3,1</u>

Tabulka 6 Porovnání ploch a objemů při exportu energetického modelu demonstrační jednotky z programu Revit modelu do programu DesignBuilder

Dle výsledků z tabulky je patrné, že vnitřní objem i plocha místnosti se zvýší. Vzhledem k tomu že výsledná odchylka tvoří 3,1 % vnitřního objemu, změna oproti původním rozměrům je minimální.

4.6 Součinitel prostupu tepla

S exportovaným modelem do DesignBuilderu se vytvoří knihovna exportovaných materiálů a skladby konstrukcí. Ty se dle pojmenování v Revitu propíší do DesignBuilderu. Při exportu energetického modelu do programu DesignBuilder se sice zobrazí všechny exportované typy konstrukcí, ale po většině se špatnými vrstvami.

Správně vrstvy se obvykle načtou pouze u stěnových konstrukcí. I když se exportují správně pouze stěnové konstrukce, opravit jednotlivé skladby podlah/střešních konstrukcí není tak složité. Důležité je, že exportem rozřadím konstrukce do kategorií dle modelu v Revitu. Pouze se pak musí opravit skladba dané konstrukce.

Pro správně importované skladby konstrukcí jsou odpory jednotlivých materiálů stejné, rozdíl ve výsledném součiniteli prostupu tepla je v tom, že Revit neuvažuje odpor při přestupu tepla na vnitřní/vnější stěně konstrukce (popřípadě střešní konstrukci, podlaze na zemině).

Pro přesnější analýzu v programu Revitu by bylo v modelu vhodné vytvořit fiktivní vrstvu, která by měla tloušťku, respektive součinitel tepelné vodivosti takový, aby odpovídal výslednému tepelnému odporu při přestupu tepla stěnou/střechou/podlahou konstrukce.

Součinitel prostupu tepla okny jde v Revitu zadat pouze celkový. Ten se propíše do energetického modelu do vlastností zasklení oken. Pokud chci, aby se mi propsaly tepelné vlastnosti zasklení do energetického modelu v DesignBuilderu, musím součinitel prostupu tepla oknem před exportem v Revitu opravit na součinitel prostupu tepla zasklením. Informaci o součinitel prostupu tepla rámem okna musím v DesignBuilderu nastavit zvlášť.

Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]	Výpočet dle normy	Výpočet v programu Revit	Odchylka od normy [%]	Výpočet v programu DesignBuilder	Odchylka od normy [%]
Exteriérová stěna	0,109	0,114	4,6	0,109	0,0
Střešní konstrukce	0,139	0,142	2,1	0,139	0,0
Podlaha na zemině	0,142	0,146	2,7	0,141	-0,7

Tabulka 7 Porovnání součinitelů prostupu tepla obálky budovy energetického modelu demonstrační jednotky modelu v programu Revitu a DesignBuilder s výpočtem dle normy ČSN 73 5040-2

Práce s modelem – vyvarování se chybám

Důležité je si dát pozor na energetické nastavení v programu Revitu (vlastnosti, dle kterých se model exportuje). Pro správný export tepelných vlastností (stěnových konstrukcí) musí být v nastavení zaškrtnuté, že export si přebírá vlastnosti dle stavebních prvků, a ne dle koncepčních objemů (pokud nechci vlastnosti konstrukcí dle defaultního nastavení – viz kapitola 2.2.4.1 *Koncepční objem*). Jednotlivé parotěsné/paropropustné vrstvy se exportem nepropíší do gbXML souboru. Vrstvy

nejsou exportovány z důvodu, že program Revit neumožňuje při definování skladby konstrukce zadat tloušťku membránovým vrstvám.

4.7 Stínící prvky

Pokud je můj záměr stínící elementy jako je zábradlí, přesazení konstrukce apod. do energetického modelu přenést, jedním způsobem je právě přes export energetického modelu z Revitu, kde jsou stínící elementy vytvořeny přes prvek podlaha/stěna.

Práce s modelem – vyvarování se chybám

I když je v nastavení exportu energetického modelu zaškrtnuto zachování stínících prvků, stínící prvky se do gbXML souboru nepropíší, pokud bude export proveden přes místnosti a prostory. Do gbXML souboru stínící prvky se propíší pouze exportem přes stavební prvky. Z toho důvodu je vhodné si vytvořit dva modely, jeden s objektem a druhý se stínícími prvky. Oba soubory se dále nahrají přes gbXML soubor do programu DesignBuilder.

Stejný problém nastává i pomocí doplňku do Revitu od DesignBuilderu. Jinými slovy, pokud chci zachovat stínící prvky, tvorbě dvou modelů v Revitu se zatím vyhnout nedá.

Praktická část: Optimalizace studentských kolejí na Větrníku

5 Stávající stav studentských kolejí na Větrníku

Pro návrh nástavby budovy jsem si nejdříve vytvořila model stávajícího stavu kolejí na Větrníku, který jsem si rozdělila do zón dle profilu užívání.

5.1 Postup práce

Nejprve jsem si vytvořila 3D model v programu Revit, který jsem následně pomocí definování místností a prostorů převedla na model energetický. Energetický model jsem exportovala do souboru gbXML a následně převedla do programu DesignBuilder. Pro vzniklý energetický model jsem nastavila profily užívání pro každou definovanou zónu. Výsledky tepelných ztrát energetického modelu stávajícího stavu z programu DesignBuilderu a Revit a měrnou roční dodanou energii na vytápění z programu DesignBuilder jsem porovnávala s výpočty z programu Energie 2019, který počítá podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2.

Z důvodu, že program Revit neumožňuje hlubší nastavení parametrů jednotlivých zón (například spotřebu teplé vody, tepelné mosty apod.), ve srovnání výsledku celkové měrné roční dodané energie na vytápění do budovy Revit nevyužívám. Programu Revit využiji pouze pro srovnání výsledků tepelných ztrát objektu.

5.2 Stávající konstrukce

Rekonstrukce objektu proběhla v roce 2002, kdy došlo k zateplení obvodových stěn tepelnou izolací o tl. 100 mm a střešní konstrukce tepelnou izolací o tl. 160 mm. Také proběhla výměna stávajících okenních konstrukcí za plastový rám s tepelně izolačním dvojsklem.

5.2.1 Exteriérová stěna

Exteriérová stěna se skládá z cihelných tvárnic o tl. 400 mm, popřípadě 250 mm ($\lambda=0,69$ W/(mK)) a zateplení pěnovým polystyrenem o tl. 100 ($\lambda=0,44$ W/(mK)).

5.2.2 Interiérová stěna

Nosná interiérová stěna se skládá z karmických tvárnic o tl. 400 mm ($\lambda=0,69$ W/(mK)), dělicí příčka ze stejného materiálu o tl. 100 ($\lambda=0,69$ W/(mK)).

5.2.3 Podlaha na terénu

Podlaha na terénu se od exteriéru skládá z vrstvy šterkopísku o tl. 250 mm ($\lambda=2$ W/(mK)), železobetonové základové desky o tl. 100 mm ($\lambda=1,74$ W/(mK)), hydroizolační vrstvy, tepelné izolace o tl. 100 mm ($\lambda=0,40$ W/(mK)), parotěsné fólie, roznášecí betonové vrstvy ($\lambda=1,43$ W/(mK)), lepidla na dlažby o tl. 5 mm ($\lambda=0,57$ W/(mK)) a keramické dlažby ($\lambda=1,01$ W/(mK)).

5.2.4 Vnitřní podlaha

Vnitřní skladba podlahy se skládá od spodu z prefabrikovaného železobetonového panelu o tl. 225 mm ($\lambda=1,74$ W/(mK)), kročejové izolace o tl. 20 mm ($\lambda=0,40$ W/(mK)), PVC fólie, roznášecí betonové vrstvy o tl. 60 mm ($\lambda=1,43$ W/(mK)) a PVC podlahy o tl. 10 mm ($\lambda=0,17$ W/(mK)).

5.2.5 Střešní konstrukce

Střešní konstrukce se od interiéru se skládá z prefabrikovaného železobetonového panelu o tl. 225 mm ($\lambda=1,74$ W/(mK)) a pěnového polystyrenu o t. 160 mm ($\lambda=0,035$ W/(mK)) a hydroizolační vrstvy.

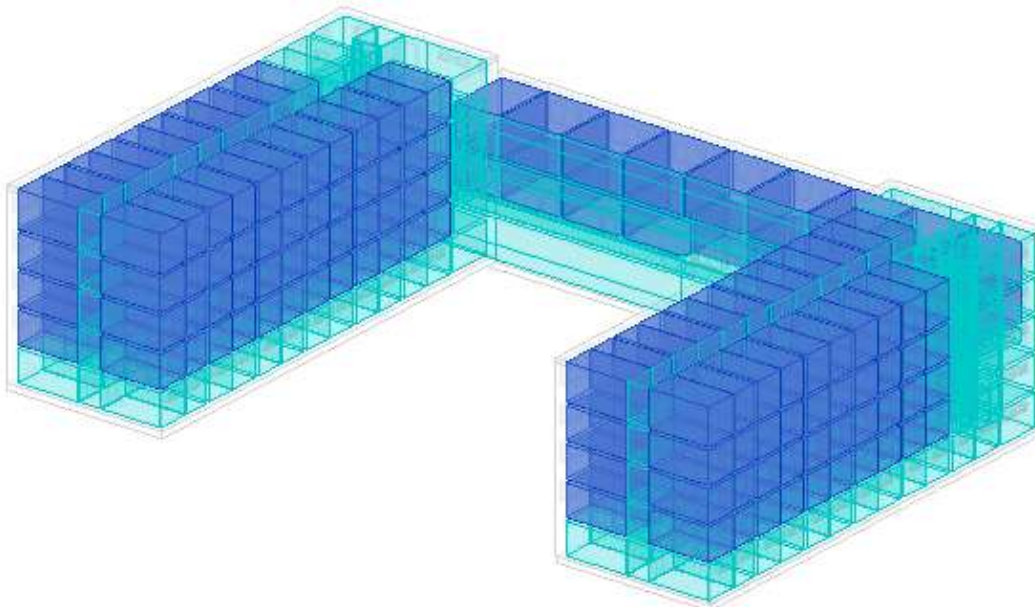
5.2.6 Okenní konstrukce

Izolační dvojsklo má součinitel prostupu tepla $1,1$ W/(m²K). Součinitel prostupu tepla rámu je $1,3$ W/(m²K). Dle konkrétních typů oken je do programů DesignBuilder a Energie vložena informace o počtu křídel. Propustnost solárního záření činí $0,75$.

5.3 Definování zón

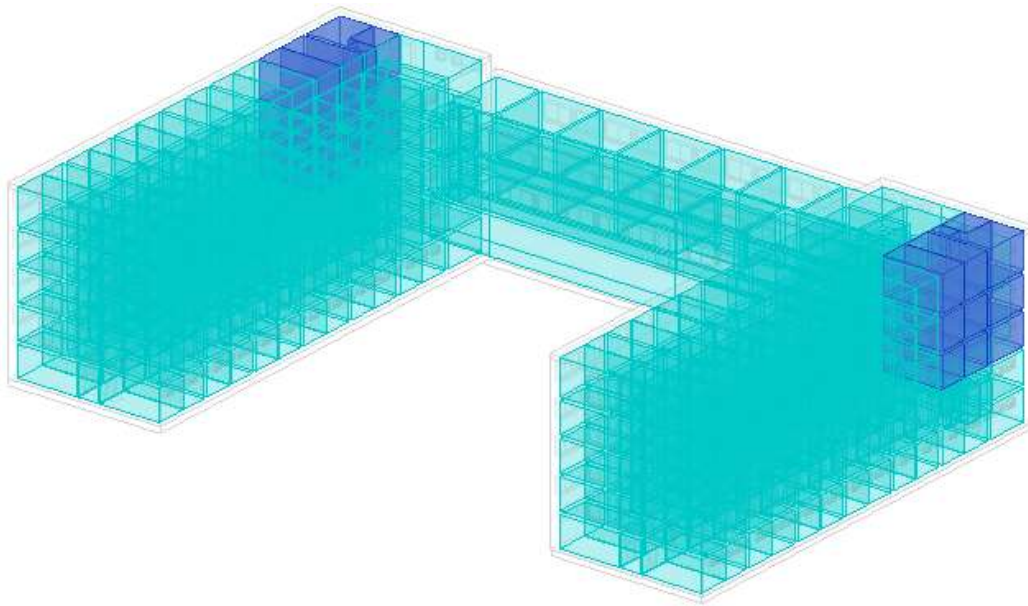
Pro stávající stav jsem si pro zjednodušení modelu rozdělila objekt do 4 zón z důvodu jiného profilu užívání.

První zónu uvažuji studentské pokoje, zde navrhuji vnitřní teplotu pro vytápění 20 °C. Vnitřní zisky jsou zadány od lidí, osvětlení, solárních zisků a od elektrických spotřebičů. Minimální intenzitu větrání uvažuji 0,5 h⁻¹ a intenzitu osvětlení 300 lx. Jeden studentský pokoj je obýván dvěma osobami.



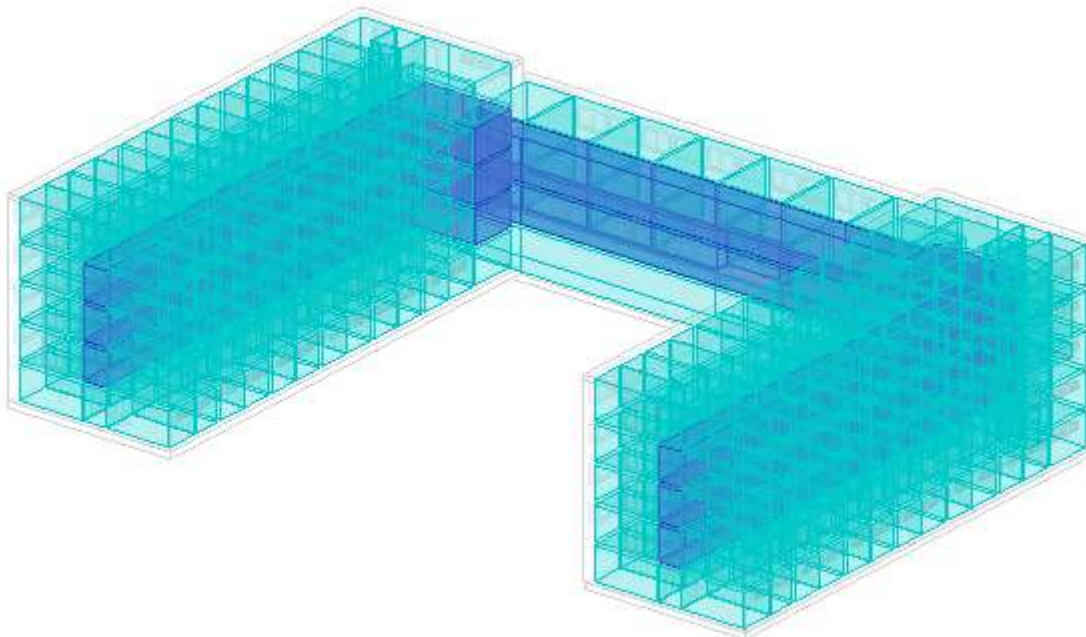
Obrázek 18 Energetický model – první zóna (studentské pokoje), stávající stav, Revit

Druhá zóna zahrnuje hygienické prostory. Návrhovou vnitřní teplotu na vytápění uvažuji 20 °C (průměrná hodnota z návrhové teploty na vytápění pro WC prostory 18 °C a sprchové prostory 24 °C). Vnitřní zisky jsou zadány od lidí, osvětlení a solárních zisků. Minimální intenzitu větrání uvažuji 0,5 h⁻¹ a intenzitu osvětlení 100 lx.



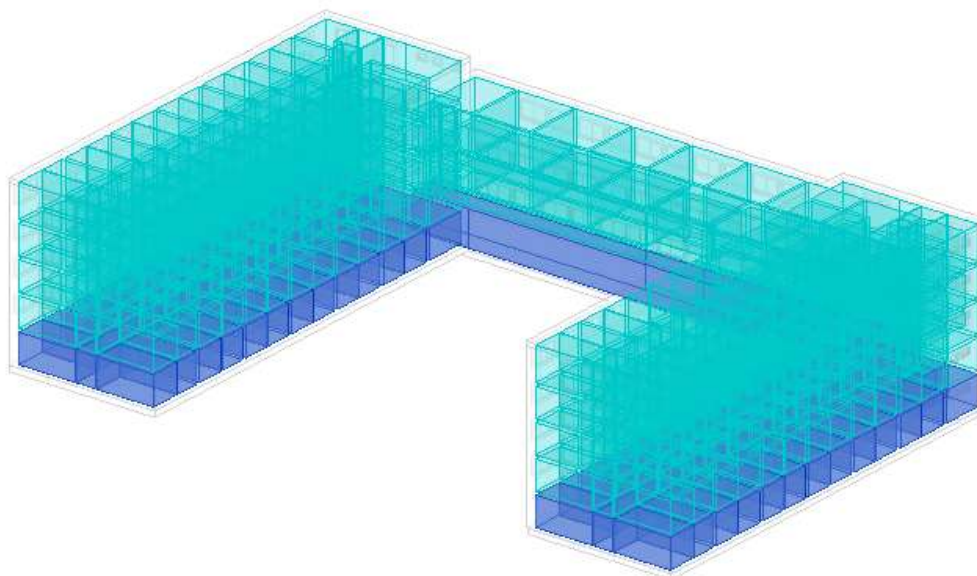
Obrázek 20 Energetický model – druhá zóna (hygienické prostory), stávající stav, Revit

Třetí zóna obsahuje prostory chodby, kde návrhová vnitřní teplota na vytápění je uvažovaná na 18 °C. Vnitřní zisky jsou zadány od lidí, osvětlení a solárních zisků. Minimální intenzitu větrání uvažují 0,1 h⁻¹ a intenzitu osvětlení 75 lx.



Obrázek 19 Energetický model – třetí zóna (chodba), stávající stav, Revit

Poslední čtvrtá zóna obsahuje podzemní podlaží, které slouží převážně jako sklepní kóje a prostory pro technické zařízení budov. Zde navrhuji vnitřní teplotu na vytápění na 15 °C. Vnitřní tepelné zisky jsou zadány od osvětlení a solárních zisků. Minimální intenzitu větrání uvažují 0,1 h⁻¹ a intenzitu osvětlení 75 lx.



Obrázek 21 Energetický model – čtvrtá zóna (podzemní podlaží), stávající stav, Revit

5.4 Porovnání vnitřních ploch/objemů

Jak už jsem na demonstrační jednotce znázornila odchylky v plochách, respektive objemech na jednotlivých energetických modelech, zde bych chtěla ukázat, jak velká je odchylka na energetickém modelu exportovaná z programu Revit do programu DesignBuilder u modelu většího měřítka. Vzhledem k tomu, že celkový model má přes 300 místností, odchylku v plochách/objemech uvádím pouze v celkovém součtu.

Energetický model – stávající stav	Vnitřní plocha místnosti [m ²]	Odchylka [± %]	Vnitřní objem místnosti [m ³]	Odchylka [± %]
Vnitřní plocha modelu (vnitřní konstrukce zahrnuty)	5156	0,0	14933	0,0
Energie	5156	0,0	14834	-0,7
Revit (bez vnitřních konstrukcí)	5043	-2,2	13390	-10,3
DesignBuilder	5283	2,5	15001	0,5

Tabulka 8 Porovnání skutečných ploch/objemů s energetickými modely, stávající stav

Rozdíl reálné vnitřní plochy modelu od Revit energetického modelu je dán tím, že v Revit modelu nejsou zahrnuty vnitřní konstrukce (Revit udává přesné vnitřní rozměry). Naopak energetický model exportovaný do DesignBuilderu je zvětšen o plochu/objem vnitřních konstrukcí (nulová tloušťka konstrukcí). Odchylka vnitřních ploch z programu DesignBuilderu od reálného modelu činí exportem 2,5 % a odchylka vnitřního objemu 0,5 %. Odchylka by neměla dominantním způsobem výsledky

ovlivnit. V energii vnitřní objem tvoří 80 % vzduchu ze zadaných vnějších rozměrů budovy.

5.5 Porovnání měrných toků

Výpočty měrných toků energetických modelů jsem porovnávala s výpočtem z programu Energie 2019, který počítá podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2. Porovnání dle měrných toků jsem vybrala z důvodu, že každý program používá trochu odlišná klimatická data pro výpočtovou venkovní teplotu. To má dopad na odlišné tepelné ztráty. Vzhledem k tomu, že Revit ani DesignBuilder neukazují měrné toky, ale pouze tepelné ztráty, výpočet ztrát jsem vydělila teplotním gradientem k získání měrného toku, který jsem následně porovnávala.

Největší rozdíl ve výpočtu měrného toku okenních konstrukcí od normy je z energetického modelu Revit, kde tepelná ztráta je dána zmenšením plochy okenních konstrukcí oproti reálným zadaným rozměrům. Revit z rozměru okna počítá pouze ztráty zasklením, ploše rámu okna automaticky přiřadí hodnotu 0. Z toho důvodu je vhodné zadat součinitel prostupu tepla pro celé okno, místo součinitele prostupu tepla zasklení pro přesnější anýzu. (zasklení v Revitu \cong 98% plochy okna).

Exterior Fenestration

	Construction	Glass Area [m2]	Frame Area [m2]	Divider Area [m2]	Area of One Opening [m2]	Area of Multiplied Openings [m2]	Glass U-Factor [W/m2-K]	Glass SHGC
AIM3328	WINDOWS : CS_JEDNOKRIDLE VARIABILNI PRICLE : 600X600MM_SEVER	0.32	0.00	0.00	0.32	0.32	1.710	0.761

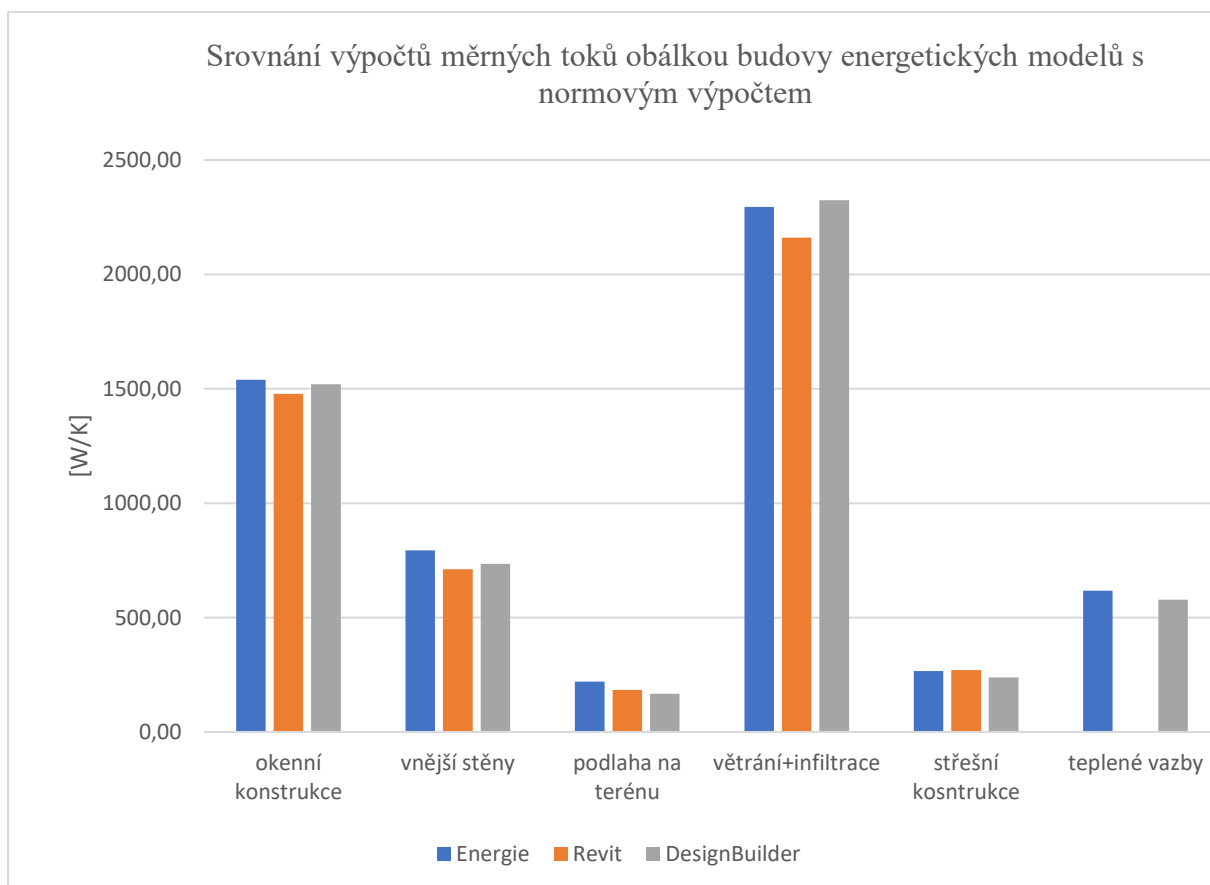
Obrázek 22 Ukázka reportu výkazu plochy okenních konstrukcí v energetickém modelu, Revitu

Zmenšení měrného toku obálkou budovy energetického modelu je dáno tím, že dle normy plocha konstrukcí je brána z vnějších rozměrů a energetický model bere plochy konstrukcí dle vnitřních rozměrů.

Tepelné ztráty větráním dle normy odpovídají průměrné intenzitě větrání pro obytné budovy $0,5 \text{ h}^{-1}$. Stejným způsobem jsou nastavené i energetické modely. Celková průvzdušnost obvodového pláště budovy pro hodnotu n50 (h^{-1}) je nastavena na hodnotu 2 (rekonstrukce obálky budovy a výměna oken) jak pro výpočet z programu Energie, tak z programu DesignBuilderu. V Revitu je možné nastavení infiltrace ze 4 možností

(těsná, středně těsná, netěsná, žádná). Případně je možno pro každý prostor definovat infiltraci dle vlastní volby. Objem větraných místností je dle normy uvažován 80 % z celkového vnějšího objemu budovy. V DesignBuilderu je zvětšený objem místnosti o vyplnění interiérových mezer konstrukcemi. Z toho důvodu je měrný tok větráním o trochu větší z DesignBuilderu (2,5 %), protože celkový objem modelu je 1,2 % větší oproti Energii. V Revitu je větraný objem místností nastaven na přesné hodnoty (přesný objem vzduchu místnosti), proto měrný tepelný tok větráním vyšel z programu nižší.

Tepelné vazby v energetickém modelu programu Revit se zadat nedají. Proto ve sloupci měrného toku tepelných vazeb konstrukcí má Revit hodnotu 0.



Graf 1 Srovnání výpočtů měrných toků energetického modelu s normovým výpočtem, stávající stav

5.6 Měrná roční dodaná energie do budovy

Pro srovnání celkové měrné roční dodané energie do budovy na vytápění, osvětlení a přípravu teplé vody jsem porovnála energetický model z DesignBuilderu oproti výpočtu z programu Energie.

Rozdíl v měrné energii dodané do budovy na vytápění vyšel z důvodu rozdílných tepelných zisků, popřípadě ztrát. Klimatická data pro globální sluneční záření byla jak v programu Energie, tak v programu DesignBuilder zvolena pro Prahu. Srovnání klimatických dat z obou programů vychází mírnější z programu Energie. Solární zisky vyšly o 1,0 % nižší v programu Energie (293 MWh za rok – Energie, 296 MWh za rok – DesignBuilder). Interiérové zisky vyšly o 3 % více z programu Energie než z programu DesignBuilderu (135 MWh za rok – Energie, 131 MWh za rok – DesignBuilder).

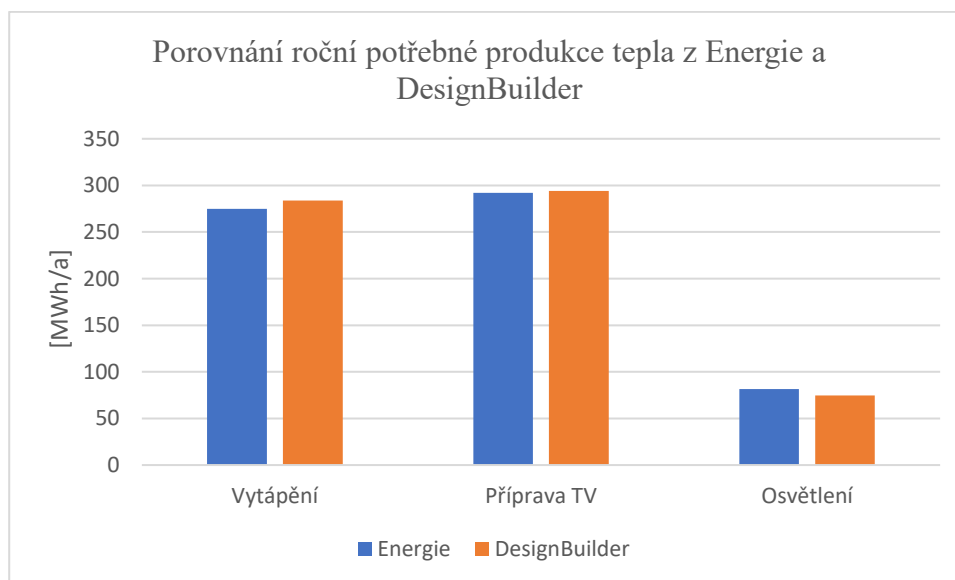
Klimatická měsíční data

venkovní teplota [°C] /měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Energie	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	14	8,3	3,2	0,5
DesignBuilder	-1,4	-2,1	3,5	7,9	13,0	15,6	17,3	17,6	13,3	8,4	2,2	0,8

Tabulka 9 Porovnání průměrných měsíčních hodnot klimatických data z programu Energie a DesignBuilder

Mírnější klimatická data a nižší tepelné ztráty přirozeným větráním mají za následek nižší potřeby produkce tepla na vytápění z programu Energie o 2,9 % oproti programu DesignBuilder.

Pro přípravu teplé vody uvažují shodně 40 l na osobu (s teplotním spádem 10-55°C). Osvětlení (popis viz kapitola 5.3 *Definování zón*) uvažují v obou modelech shodně.



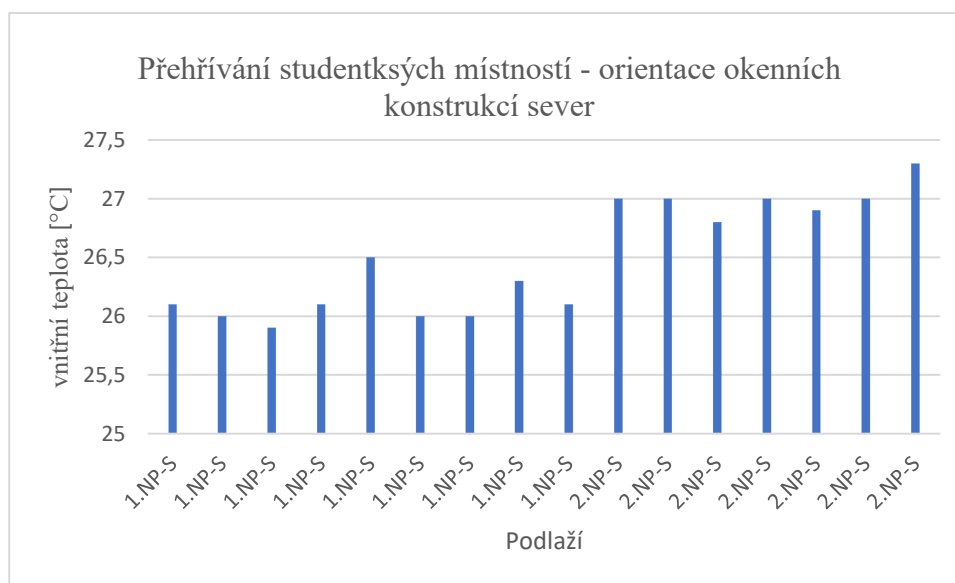
Graf 2 Srovnání roční produkce tepla energetického modelu s normovým výpočtem, stávající stav

6 Doporučené opatření ke stávajícímu stavu

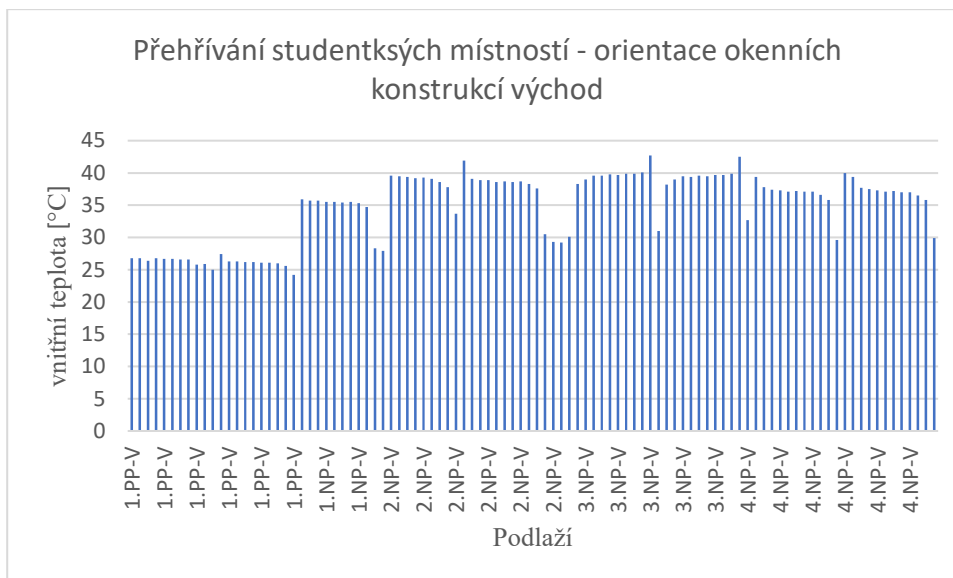
Z důvodu, že ve studentských pokojích bude docházet během letních měsíců k přehřívání místností, pomocí simulací v DesignBuilderu jsem volila opatření, která snižují vnitřní teplotu během kritického týdne.

V prvním kroku jsem si v programu ověřila, které místnosti se přehřívají během kritického letního návrhového týdne a jakou mají orientaci na světovou stranou. Ze simulace v DesignBuilderu jsem zjistila, že okna orientovaná na východ a západ se budou během kritického týdne přehřívát.

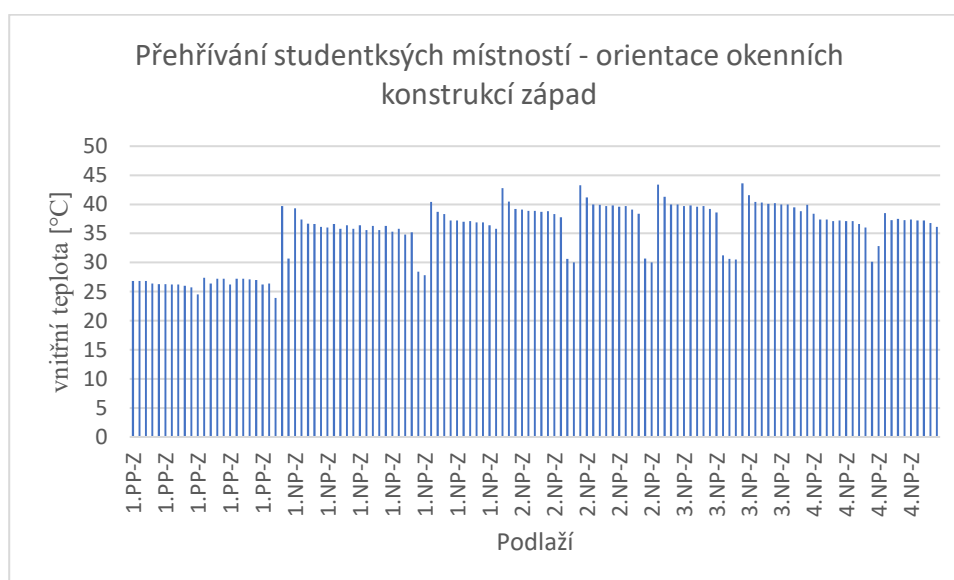
Vzhledem k tomu, že studentský pokoj na nejnižnější fasádě objektu, má okna jak ze západní/východní tak i z jižní strany, bude se místnost přehřívát nejvíce. Zbylé okenní konstrukce s orientací na jih jsou umístěny na chodbě, a proto ve výsledcích okenní konstrukce s orientací na jih nebudu dále analyzovat. U studentských místností, kde jsou okna převážně orientovaná na severní stranu (krajní místnosti mají i okno s orientací na západ a východ), nejvyšší tepelné zisky přijímají přes střešní konstrukci. Vzhledem k tomu, že se v další kapitole budu zabírat nástavbou, problém se tímto odstraní.



Graf 3 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – sever, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder



Graf 4 Výsledky přehřívání studentkých pokojů dle orientace okenních konstrukcí – východ, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder



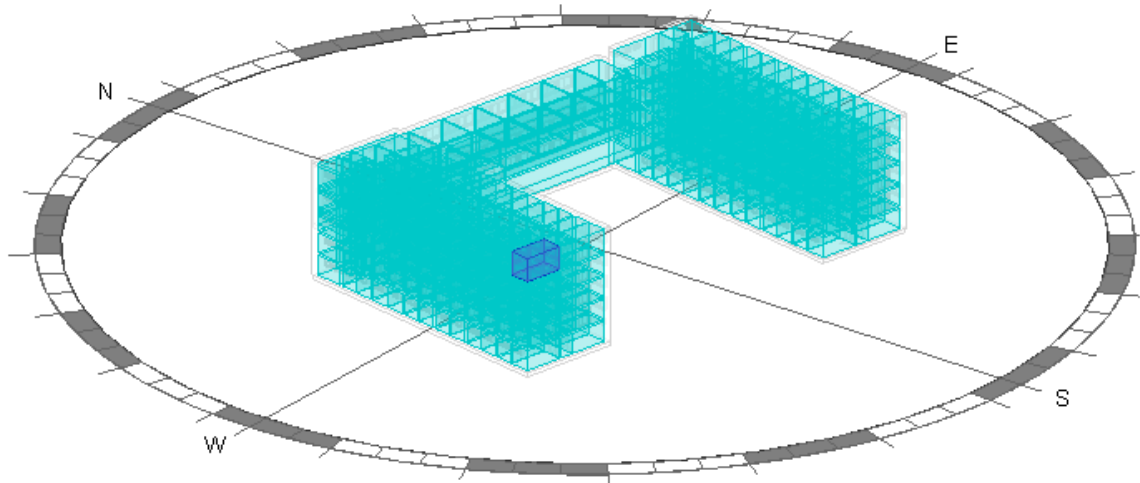
Graf 5 Výsledky přehřívání studentkých pokojů dle orientace okenních konstrukcí – západ, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder

6.1 Simulace letního přehřívání

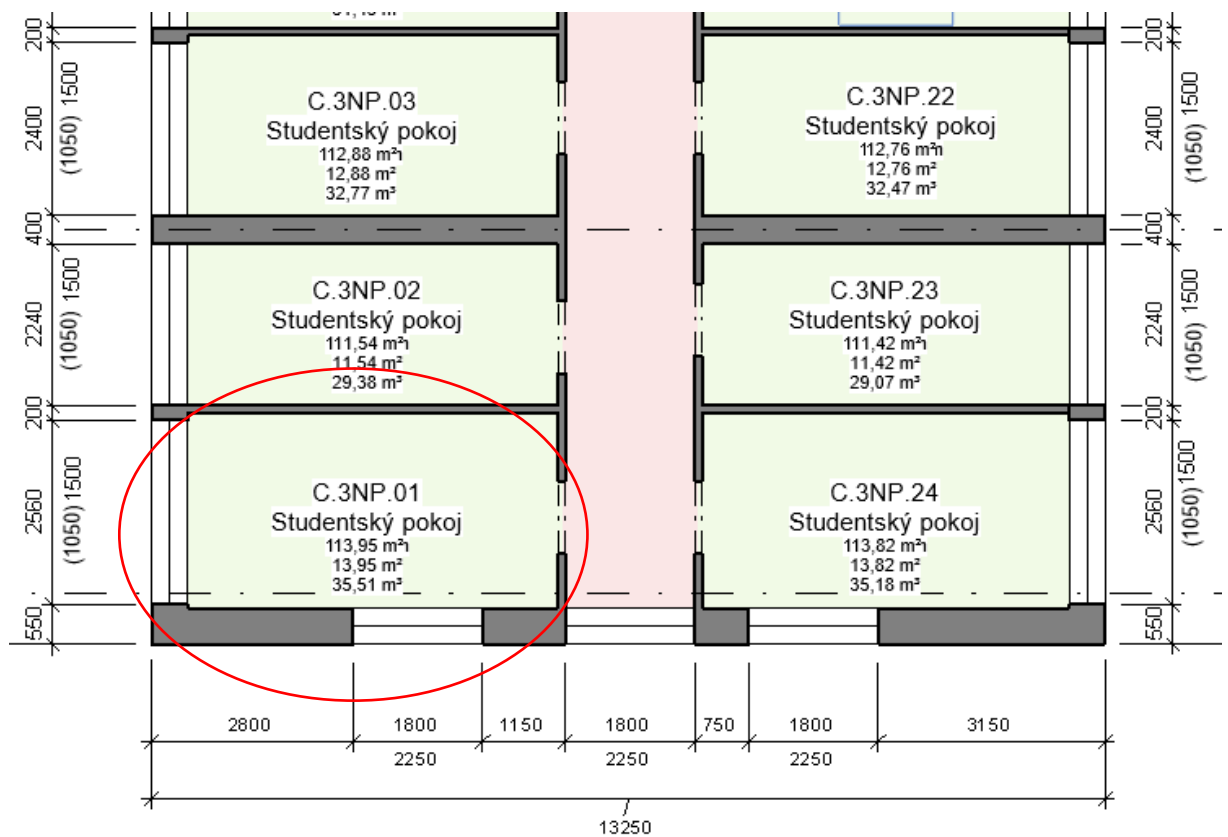
Přes nastavení simulace v DesignBuilderu – návrhový letní týden (simulace pro letní přehřívání objektu – vybrána data z nejteplejších dní v roce – průměrná denní špička návrhového týdne vychází na hodnotu 26,2 °C), jsem zjišťovala vnitřní teplotu přehřívané místnosti pro jednotlivé varianty návrhu.

6.1.1 Kritická místnost

Kritická místnost dle výpočtů vyšla ve 3. NP. Jde o studentský pokoj, který má jedno okno orientované na východ o velikosti 2,56 x 1,5 m a druhé okno orientované na jih o velikosti 1,8 x 2,25 m.



Obrázek 24 Kritická místnost, studentský pokoj 3. NP (jihozápadní orientace), stávající stav, Revit



Obrázek 23 Výřez půdorysu podlaží 3. NP, vyznačení kritické místnosti, stávající stav, Revit

6.1.1.1 Varianty návrhu ke snížení letního přehřívání místností

6.1.1.1.1 Varianta 1

První varianta představuje stávající stav objektu bez opatření vedoucí ke snížení vnitřní teploty během letních dnů.

6.1.1.1.2 Varianta 2

V druhé variantě jsem volila žaluzie na vnitřní straně. Pro simulace jsem uvažovala stínění manuální, kdy žaluzie budou zataženy ráno (než odejdou studenti do školy) a roztaženy večer (až se studenti vrátí na kolej).

Parametry interiérových žaluzií uvažuji s odrazivostí lamel 0,5, sklonem lamel 45 ° a solární propustností 0,05 a vzdáleností od skla 0,05 m.

6.1.1.1.3 Varianta 3

Ve třetí variantě uvažuji žaluzie na vnější straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění manuálně (rozvrh dle varianty 2).

Parametry exteriérových žaluzií uvažuji s odrazivostí lamel 0,5, sklonem lamel 45 ° a solární propustností 0,05 se vzdáleností od skla 0,05 m (parametry exteriérových žaluzií jsou shodné i pro další varianty návrhu).

6.1.1.1.4 Varianta 4

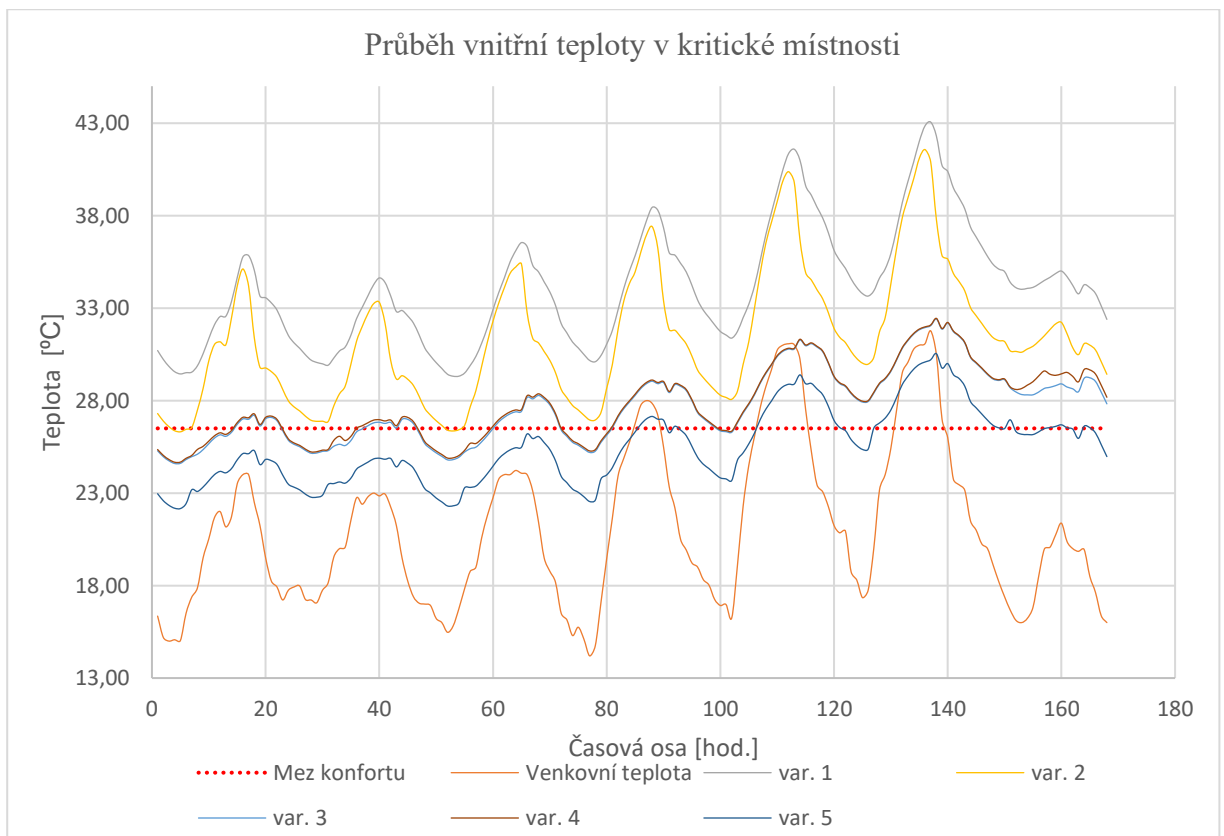
Ve čtvrté variantě uvažuji žaluzie na vnější straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění automatické při překročení hodnoty intenzity slunečního záření 120 W/m² dopadající na plochu okna.

6.1.1.1.5 Varianta 5

V páté variantě uvažuji žaluzie na vnější straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění manuálně (rozvrh dle varianty 2). Dále je navrženo noční chlazení s minimální intenzitou větrání 1 h⁻¹ a větrání přes den intenzitou 0,5 h⁻¹.

Varianta		var. 1	var.2	var.3	var.4	var.5
Stávající objekt	bez stínění	✓	✗	✗	✗	✗
	Interiérové žaluzie, manuální	✗	✓	✗	✗	✗
	Exteriérové žaluzie, manuální	✗	✗	✓	✗	✓
	Exteriérové žaluzie, automatické	✗	✗	✗	✓	✗
	Denní větrání s intenzitou 0,5 h ⁻¹	✓	✓	✓	✓	✓
	Noční větrání s intenzitou 0,5 h ⁻¹	✓	✓	✓	✓	✗
	Noční větrání s intenzitou 1 h ⁻¹	✗	✗	✗	✗	✓

Tabulka 10 Přehled variant návrhu vedoucí ke snížení letního přehřívání studentských pokojů, stávající stav



Graf 6 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místnosti dle jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder

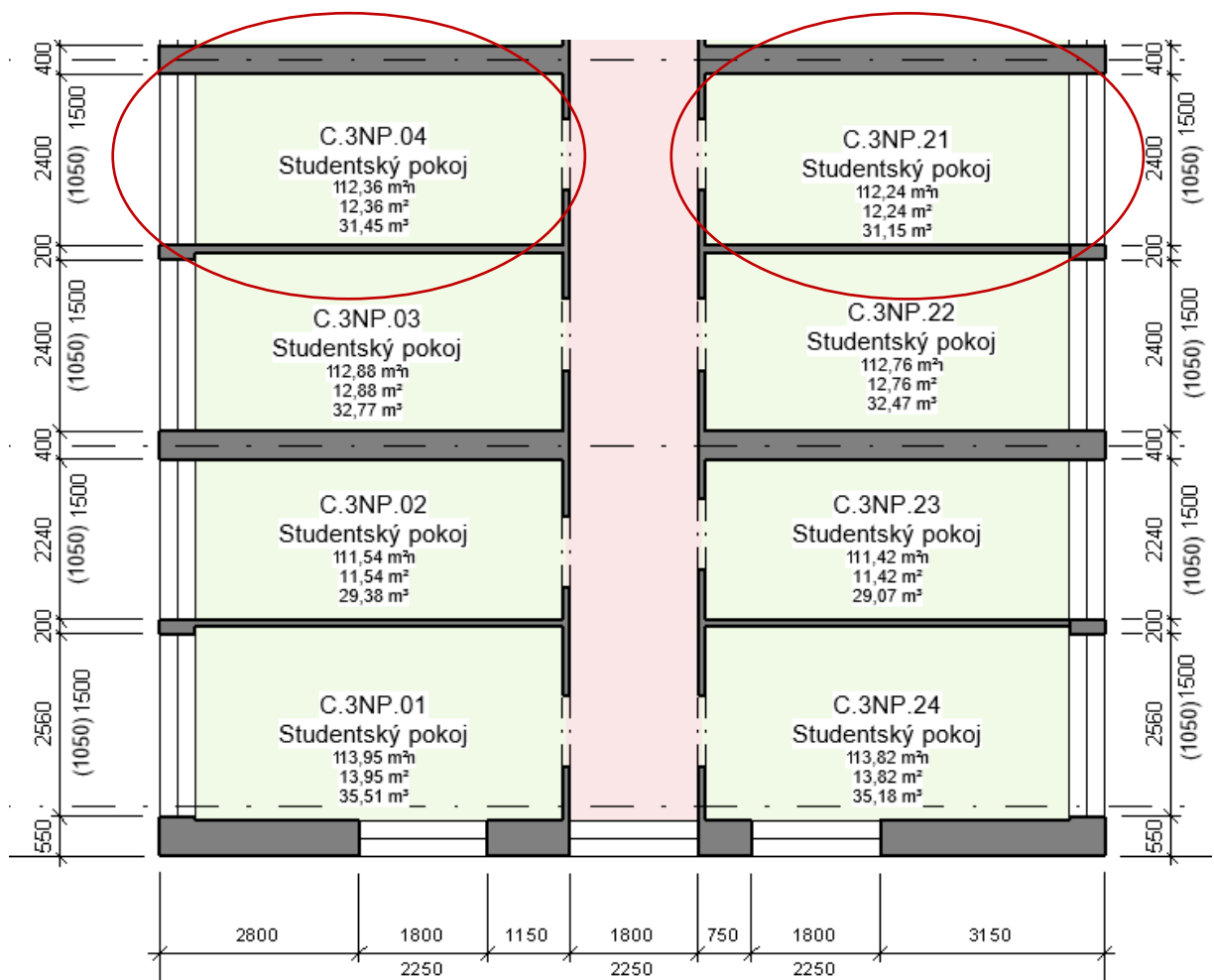
6.1.1.2 Výběr variant – kritická místnost

Dle výsledků nejlépe vyšla varianta č. 5, kdy se bude využívat nočního větrání s intenzitou 1 h⁻¹ a budou opatřeny venkovní žaluzie (stínění dle uživatelského rozvrhu – v době nepřítomnosti osob, žaluzie spuštěny). Protože studenti se vrací na koleje až ve večerních hodinách, kdy solární zisky nejsou tak vysoké, tak uživatelské ovládání

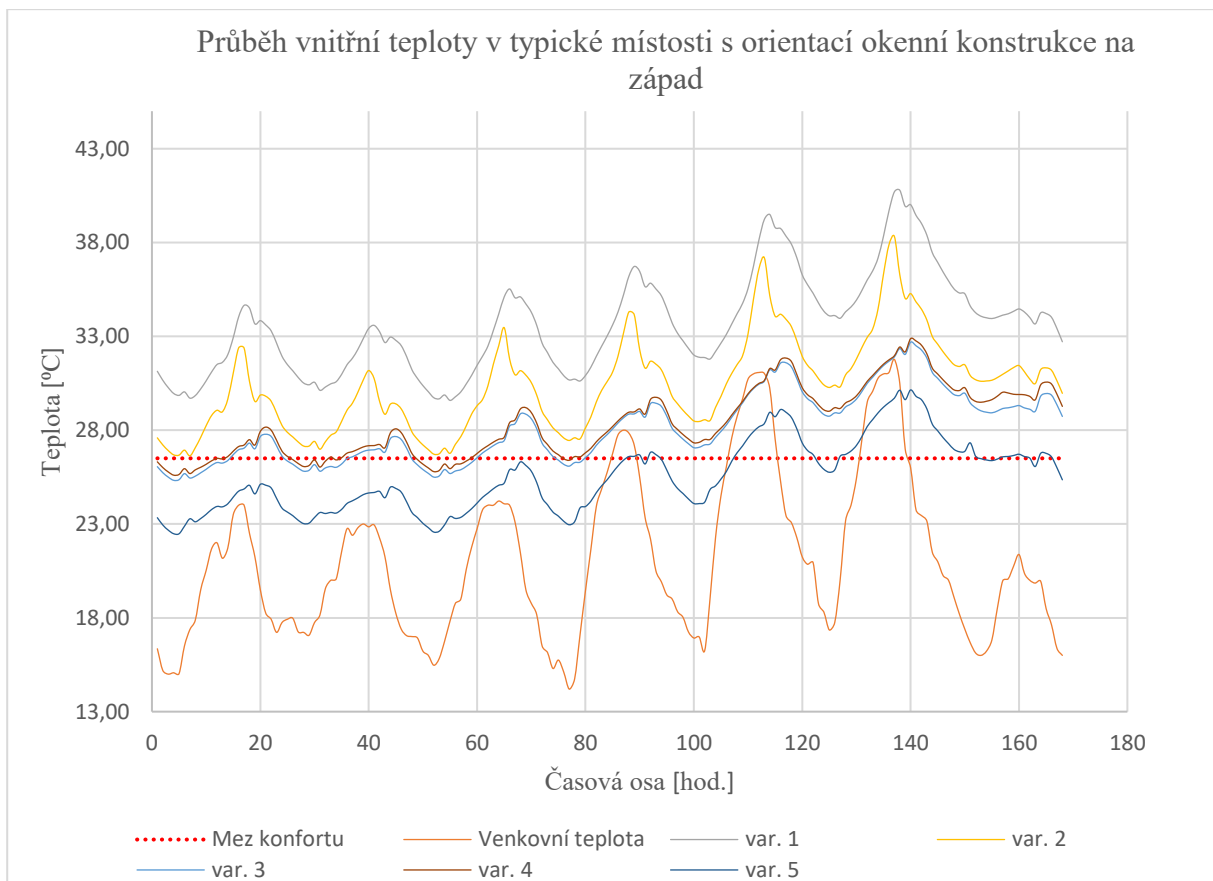
žaluzií je výhodnější než automatické stahování žaluzií dle dopadajícího solárního zisku na plochu okna.

6.1.2 Typický studentský pokoj

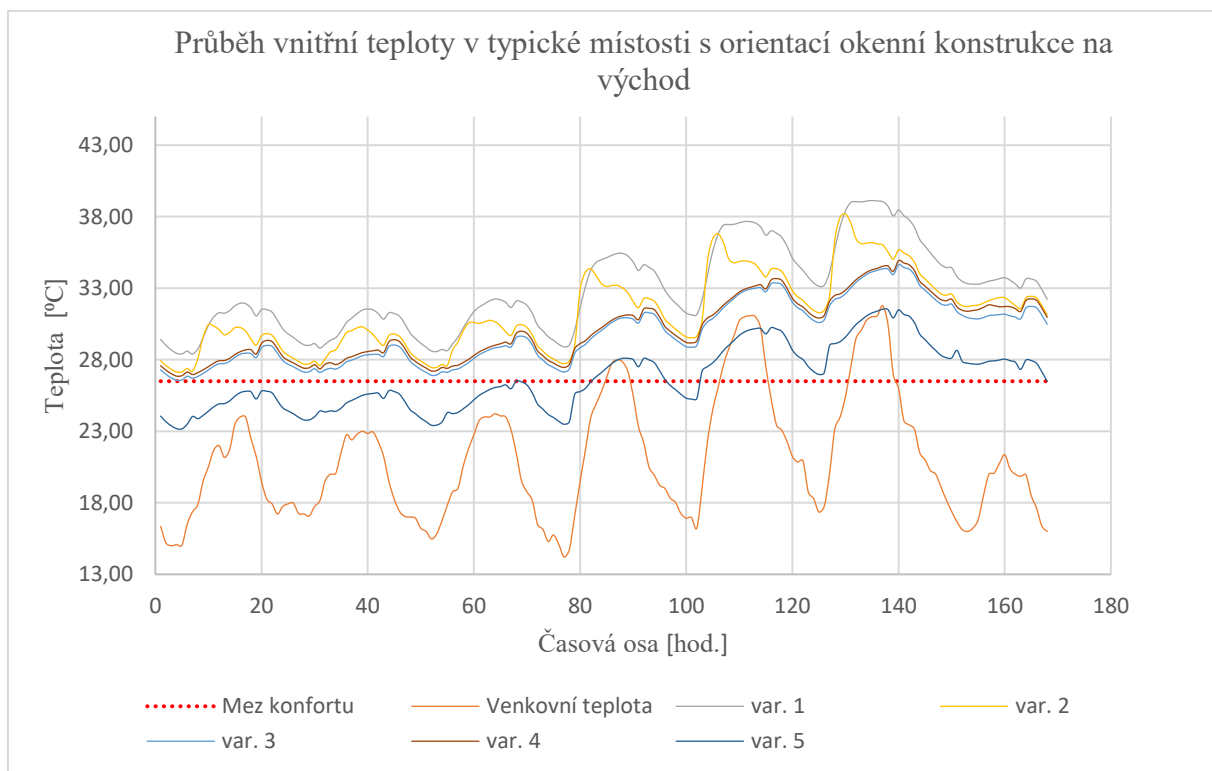
Vzhledem k tomu, že kritická místnost má dvě stěny, které disponují do exteriéru a dvě stěny směřující do interiéru, prověřila jsem přehřívání i v místnostech, které mají jednu stěnu ve styku s exteriérem a 3 stěny interiérové. I když v těchto místnostech vyšla vnitřní teplota během návrhového letního týdne nižší, zisky z interiéru mohou hrát vyšší roli po snížení solárních zisků žaluziemi. Analyzovala jsem místnosti pro stejné varianty návrhu s fasádou směřující na západ i východ.



Obrázek 25 Výřez půdorysu podlaží 3. NP, vyznačení typické studentské místnosti s orientací okenních konstrukcí na západ a východ, stávající stav, Revit



Graf 7 Výsledky simulací vnitřní teploty v typické místosti s orientací okenní konstrukce na západ dle jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder



Graf 8 Výsledky simulací vnitřní teploty v typické místosti s orientací okenní konstrukce na východ dle jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder

6.1.2.1 Výběr varianty, typický studentský pokoj

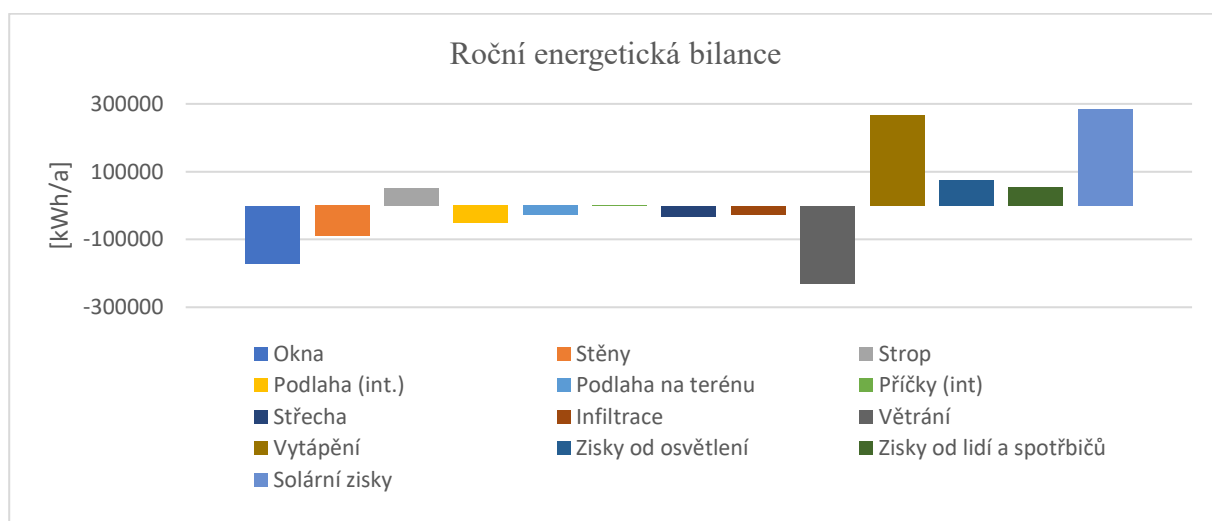
I když simulacemi typické studentské místnosti nevykazovaly za stávajícího stavu nejvyšší teploty, po přidání žaluzií je vnitřní teplota vyšší než teplota v kritické místnosti. Důvod je dán tím, že kritická místnost je rohová, má tudíž poloviční plochu ve styku s exteriérem a má tím pádem i vyšší účinnost nočním předchlazením. Navíc má pouze dvě interiérové stěny, které přispívají k vnitřním teplotním ziskům.

Pro obě místnosti (východ/západ) vyšla nejlépe varianta č.5, kde bude docházet k nočnímu předchlazení místnosti. Stínění exteriérovými žaluziemi je výhodnější pro orientaci oken na východ i na západ dle uživatelského ovládání.

6.2 Snížení měrné potřeby tepla na vytápění

Dle roční energetické bilance je nevyšší potenciál vedoucí ke snížení měrné dodané energie na vytápění ve zlepšení okenních konstrukcí a změnou větrání objektu.

Zmenšení tepelné ztráty okenními konstrukcemi je možné buď výměnou okenních skel, popřípadě celého okna (dle stávajícího stavu rámu). Snížení tepelných ztrát větráním lze docílit změnou přirozeného větrání na větrání nucené se zpětným získáváním tepla.



Graf 9 Energetická bilance, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder

6.3 Závěr

Pro zlepšení tepelného komfortu studentských místností je nutno přidat exteriérové žaluzie na východní a západní fasádu objektu, kde by docházelo k přehřívání studentských místností během horkých letních dní. Pro snížení měrné potřeby tepla na vytápění by bylo nejúčinnější zlepšit součinitel prostupu tepla okenním konstrukcím

(výměna skel či celých oken) a zavedením nuceného větrání se zpětným získáváním tepla rekuperací.

7 Návrhový stav studentských kolejí na Větrníku

Dle studie do studentů architektury ČVUT je navržena nástavba o 2 podlažích. Cílem mé práce bude navrhnout optimální řešení skladeb konstrukcí, které budou přispívat vnitřnímu komfortnímu užívání a snižovat celkovou spotřebu energie dodanou do budovy.

Nástavba podlaží zahrnuje předsazené balkónové konstrukce, kde vedle zábradelních prvků jsou rozmístěny truhlíky určené k zelené vertikální popínavé fasádě.

Pro návrh nástavby budovy jsem si nejdříve vytvořila návrhový model kolejí na Větrníku na model stávající, který jsem si rozdělila do zón dle profilu užívání.

7.1 Postup návrhu

Nejprve jsem si v Revitu vytvořila energetický model návrhového stavu kolejí na Větrníku a pomocí gbXML souboru exportovala model do DesignBuilderu. Vytvořila jsem si dva gbXML soubory, jeden s objemy jednotlivých zón, druhý se stínícími konstrukcemi. V DesignBuilderu jsem gbXML soubory propojila. Dále jsem pak v modelu nastavila profily užívání pro každou definovanou zónu. Pro stínící prvky jsem definovala jejich maximální propustnost. U vertikální stínící fasády jsem kromě maximální propustnosti nastavila rozvrh její propustnosti. Dále jsem nastavila propustnost balkonového zábradlí na hodnotu 0,5. Propustnost balkonové desky uvažuji hodnotou 0.

Propustnost zelené fasády, DB	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
[%]	100	100	100	100	100	70	70	70	100	100	100	100

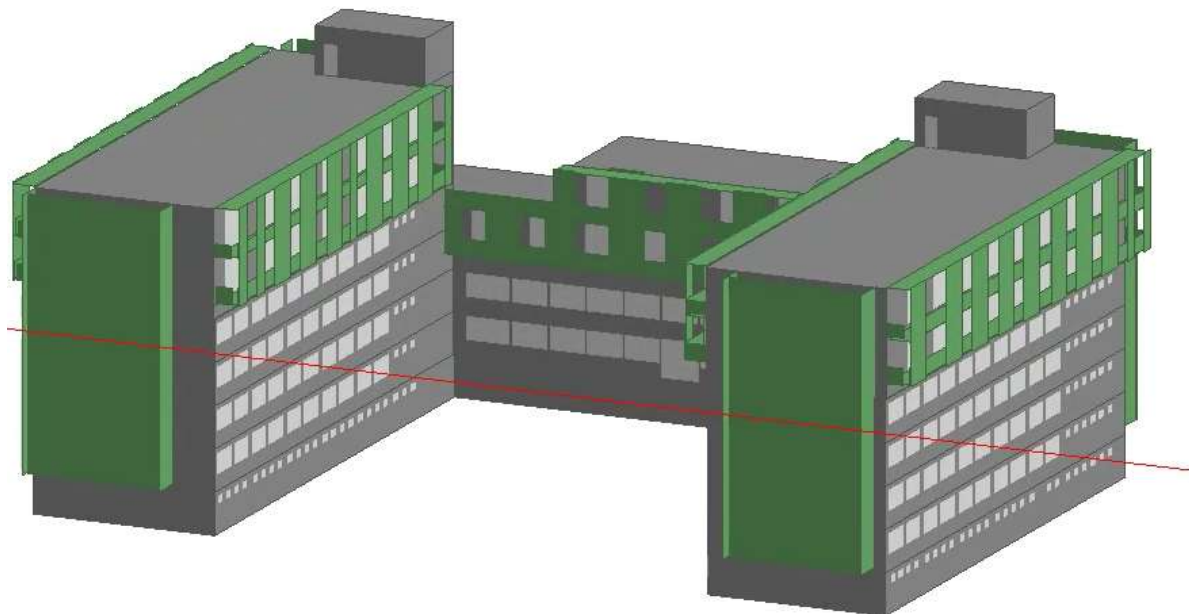
Tabulka 11 Propustnost zelené fasády, nastavení hodnot v DesignBuilderu pro jednotlivé měsíce, návrhový stav

Propustnost = maximální propustnost x rozvrh propustnosti

Rovnice 3 Propustnost prvku, DesignBuilder [18]

Navržené skladby konstrukcí nástavby budovy odpovídají součinitelům prostupu tepla pro pasivní domy. Energetické modely jsem porovnávala s výstupy z programu Energie pro měrné toky, popřípadě pro měrnou dodanou energii na vytápění budovy. Dle energetické bilance z programu DesignBuilder jsem navrhla opatření ke snížení měrné

dodané energie na vytápění. Z důvodu přehřívání studentských místností nástavby kolejí během letních horkých dní jsem navrhla opatření vedoucí k zachování vnitřního komfortu.



Obrázek 26 Energetický model po sloučení objemu budovy se stínícími prvky, návrhový stav, DesignBuilder

7.2 Návrhové konstrukce

Návrhové konstrukce volím o skladbě, aby součinitel prostupu tepla odpovídal hodnotám pro pasivní standard. Konkrétní skladby konstrukcí budou popsány v kapitole 8.3 *Varianty návrhu*. Solární propustnost okenních konstrukcí je uvažována 0,55.

7.2.1 Orientační hodnoty součinitelů prostupu tepla

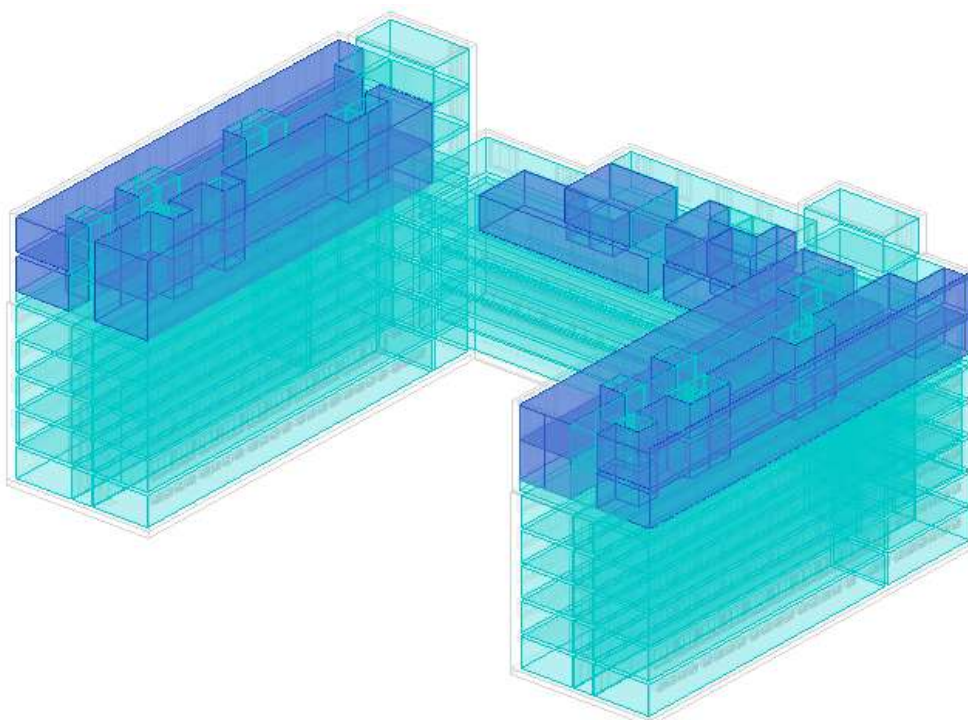
Konstrukce	U [W/(m ² K)]
Exteriérová stěna	0,165
Interiérová stěna	1,950
Vnitřní podlaha	0,200
Střešní konstrukce	0,144
Okenní konstrukce	0,810

Tabulka 12 Orientační součinitele prostupu tepla pro nástavbu budovy kolejí na Větrníku

7.3 Definování zón

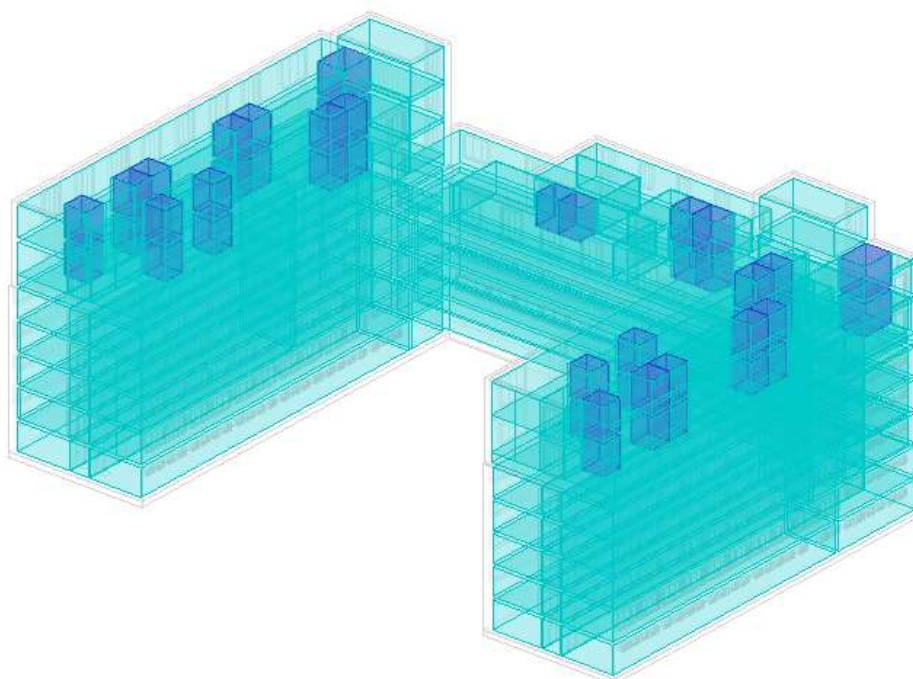
Dle profilu užívání jsem rozdělila objekt do 4 zón podle odlišnosti profilu užívání.

První zónou uvažuji studentské pokoje. Zde návrhová vnitřní teplota pro vytápění je 20 °C. Vnitřní zisky jsou zadány od lidí, osvětlení, solárních zisků a od elektrických spotřebičů. Větráný vzduch uvažuji na buňku (studentský pokoj) pro 1 osobu 50 m³/hod nuceně využitím zpětného získávání tepla vzduchotechnickou jednotkou z důvodu rovnotlakého větrání, kdy odtah z hygienických prostor činí také 50 m³/hod. Intenzitu osvětlení uvažuji 300 lx. Počet osob uvažuji dle architektonické studie od 1 osoby do 2 osob na pokoj.



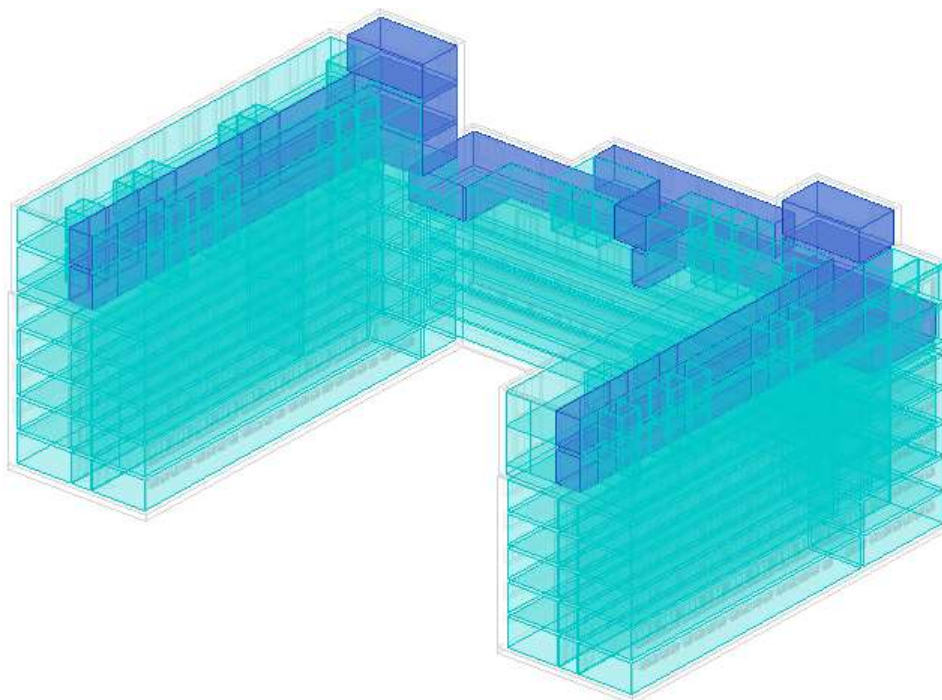
Obrázek 27 Energetický model – první zóna (studentské pokoje), návrhový stav, Revit

Druhá zóna zahrnuje hygienické prostory. Návrhovou vnitřní teplotu na vytápění uvažuji 24 °C. Vnitřní zisky jsou zadány od lidí a osvětlení. Větrání je navrženo podtlakově s odtahem 50 m³/hod na místnost. Intenzita osvětlení je 100 lx.



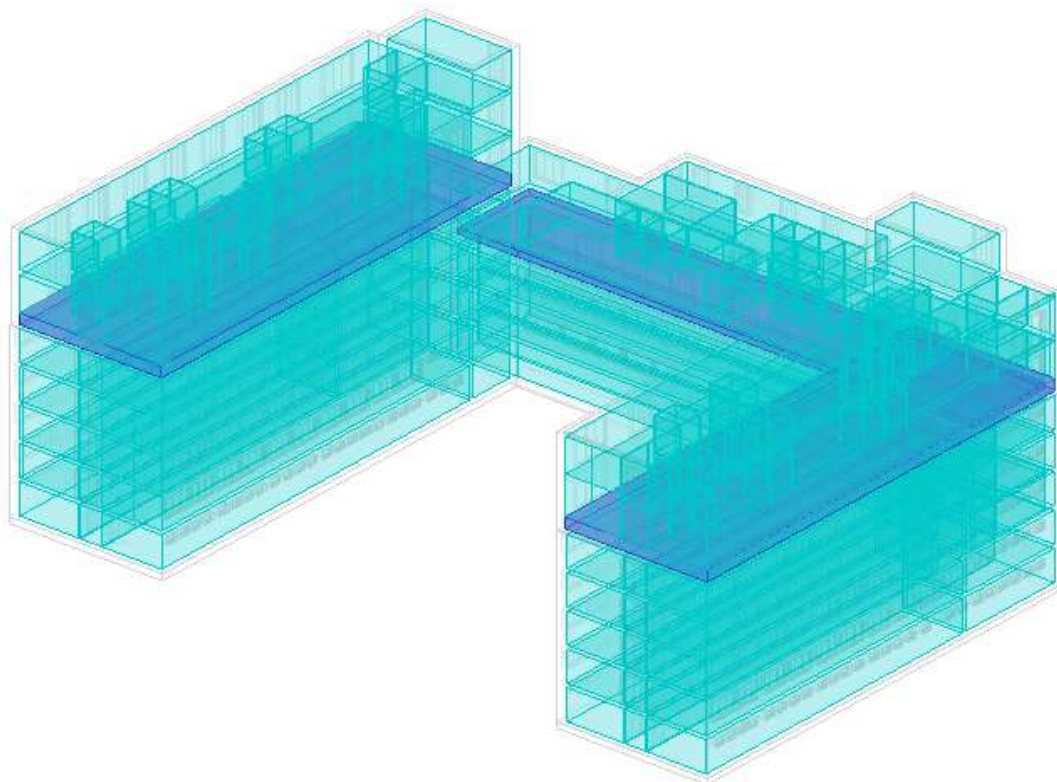
Obrázek 29 Energetický model – druhá zóna (hygienické prostory), návrhový stav, Revit

Třetí zóna obsahuje prostory chodby, kde návrhová vnitřní teplota na vytápění je uvažovaná na 18 °C. Vnitřní zisky jsou zadány od lidí, osvětlení a solárních zisků. Minimální intenzitu větrání uvažuji 0,1 h⁻¹. Větrání uvažuji nuceně se zpětným získáváním tepla. Intenzita osvětlení je 75 lx.



Obrázek 28 Energetický model – třetí zóna (chodba), návrhový stav, Revit

Čtvrtá zóna obsahuje prostor pro rozvody nových systémů technického zařízení budov. Neboli jde o volný prostor mezi stávající budovou a nástavbou pro umístění rozvodů. Prostor není speciálně větrán ani vytápěn.



Obrázek 30 Energetický model – čtvrtá zóna (volný prostor pro vedení technického zařízení budov), návrhový stav, Revit

7.4 Porovnání vnitřních ploch/objemů

Jak už jsem zmínila v předchozích kapitolách, je nutno vzít v úvahu odchylku plochy objemu energetického modelu exportovaného z programu Revit do programu DesignBuilder.

Energetický model – návrhový stav	Vnitřní plocha místnosti [m ²]	Odchylka [± %]	Vnitřní objem místnosti [m ³]	Odchylka [± %]
Vnitřní plocha/objem modelu (vnitřní konstrukce zahrnutý)	7645	0,0	22715	0,0
Energie	7449	-2,6	22096	-2,7
Revit (bez vnitřních konstrukcí)	7449	-2,6	20740	-8,7
DesignBuilder	7690	0,6	22795	0,4

Tabulka 13 Porovnání skutečných ploch/objemů s energetickými modely, návrhový stav

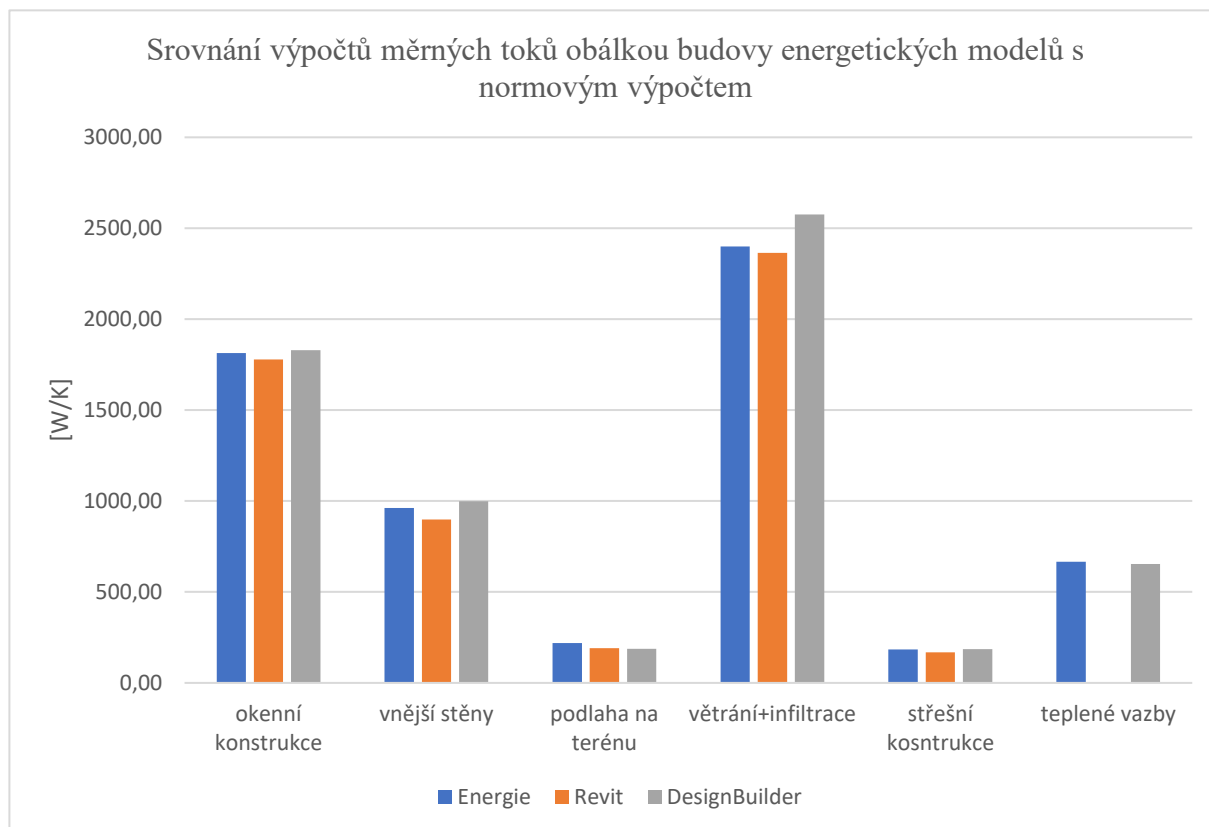
7.5 Porovnání měrných toků

Výpočty měrných toků energetických modelů jsem porovнала s výpočtem z programu Energie 2019, který počítá podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2.

Měrné tepelné toky skrze vnější stěny a střešní konstrukce vyšly dle programu Revit méně z důvodu, že do Revitu nelze zadat tepelné mosty složených vrstev konstrukcí. Což má za následek zlepšení součinitele prostupu tepla. Pro přesnější výpočet by bylo vhodné zadat přímo lambdu ekvivalentní místo lambdy materiálu, který má procentuální převahu. Druhým důvodem, proč vyšly měrné toky méně je, že plocha konstrukcí je brána z vnitřních rozměrů. Stejný důvod u mírného zmenšení měrného toku obálkou budovy je i z výpočtu DesignBuilderu.

Měrný tok přirozeným větráním byl vyšší z programu DesignBuilder z důvodu, že objem modelu vyšel větší. Tím pádem je i objem větraného vzduchu větší. Také je měrný tok nuceným větráním vyšší z důvodu, že do DesignBuilderu je zadán přesný objemový tok vzduchu, který je dále násoben rozvrhem užívání. Do programu Energie dávám objem vzduchu za hodinu násobený procentem užívání prostoru uživatelem. Jinými slovy je měrný tok nuceným větráním v DesignBuilderu o 55 % vyšší, než je měrný tok nuceným větráním z programu Energie. Po přenásobení měrného toku z programu DesignBuilderu procentuálním využitím dle rozvrhu, se výsledek měrného toku z programů shoduje. Měrný tok větráním z programu Revit byl nižší, protože do větraného objemu vzduchu neuvažuje objem interiérových stěn a podlahy. Tudíž je objem větraného vzduchu přesný. U nuceného větrání jsem musela zadat objem vzduchu už přezásobený dle účinností rekuperace, protože Revit zatím neumožňuje zadat její účinnost. Stejný princip měrného toku nuceného větrání se shoduje s programem DesignBuilder.

Měrné toky okenními konstrukcemi vyšly z výpočtu Revitu méně z důvodu, že program zmenšuje plochu celého okna o 2 %. Tepelné vazby v energetickém modelu programu Revit se zadat nedají. Proto ve sloupci měrného toku tepelných vazeb konstrukcí má Revit hodnotu 0.



Graf 10 Srovnání výpočtů měrných toků energetického modelu s normovým výpočtem, návrhový stav

7.6 Měrná roční dodaná energie do budovy

Pro srovnání celkové měrné roční dodané energie do budovy na vytápění, osvětlení a přípravu teplé vody jsem srovnala energetický model z DesignBuilderu oproti výpočtu z programu Energie.

Nejprve jsem si zkontrolovala solární zisky pro návrhový stav z obou programů bez stínících prvků, abych porovnála o kolik se případně liší zisky od solárního záření. Tento krok jsem dodělala z důvodu, že do programu Energie nejdou s takovou přesností zadat stínící překážky, takže jsem si chtěla ověřit, zda se modely bez stínících prvků shodují. Solární zisky bez stínících prvků vyšly o 3 % více z programu DesignBuilder oproti výsledkům z programu Energie.

Ve druhém kroku jsem ověřila vliv stínících kontraktů vymodelované v DesignBuilderu na dodanou roční měrnou potřebu tepla na vytápění. Stínění vertikální zelenou fasádou má dopad na solární zisk v letním období. Což je ve výsledku spotřeby tepla na vytápění

zanedbatelné. Pouze stínění zábradlím, které je stejné celoročně, by mohlo mít dopad na měrnou potřebu tepla na vytápění. Ověřila jsem přes program DesignBuilder o kolik procent se mi zvýší roční solární zisky. Solární zisky bez zábradlí se zvýšily o 0,5 %. Měrná potřeba tepla na vytápění se snížila o 0,55 %. Tudíž dá se říct, že vliv stínění zábradlím je zanedbatelný. Výsledné solární zisky z programu DesignBuilder (se zanedbáním stíněním zábradlím a zelenou fasádou) vyšly o 2,2 % vyšší než z programu Energie. (332 MWh/a – DesignBuilder, 228 MWh/a – Energie).

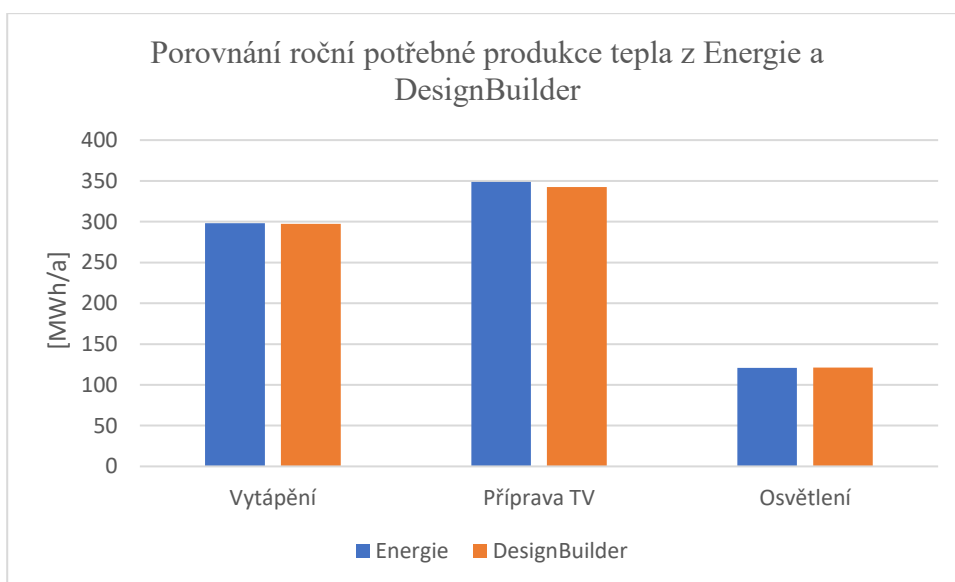
Tepelné interiérové zisky od osob a spotřebičů vychází vyšší z DesignBuilderu o 8 %, z důvodu, že je přesněji definovaný profil užívání – obsazenost, spotřebiče (210 MWh/a – DesignBuilder, 193 MWh/a – Energie).

Vzhledem k tomu, že nucené větrání funguje v přítomnosti osob, kdy studenti přijdou navečer domů a ráno odejdou do školy, tepelné ztráty větráním vyjdou vyšší, protože jsou počítány z hodinových nočních teplot.

Měrná potřeba tepla na vytápění vyjde o 0,3 % nižší z programu DesignBuilder (kompenzace vyšších interiérových zisků tepelnou ztrátou větráním při nočních teplotách).

Pro přípravu teplé vody uvažuji 40 l na osobu s teplotním spádem 45 °C.

Osvětlení uvažuji v obou programech shodně dle popisu zón.

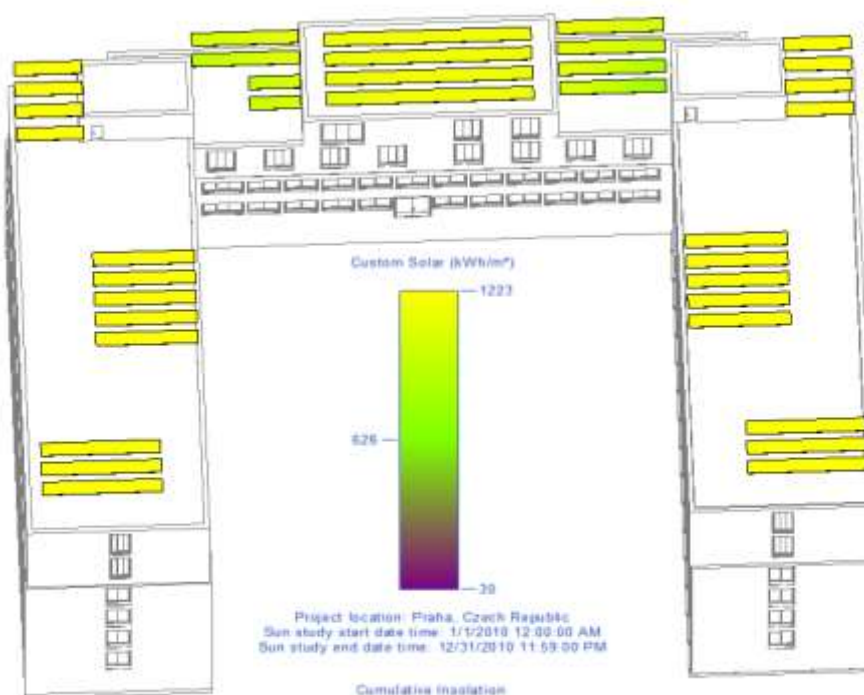


Graf 11 Srovnání roční produkce tepla energetického modelu s normovým výpočtem, návrhový stav

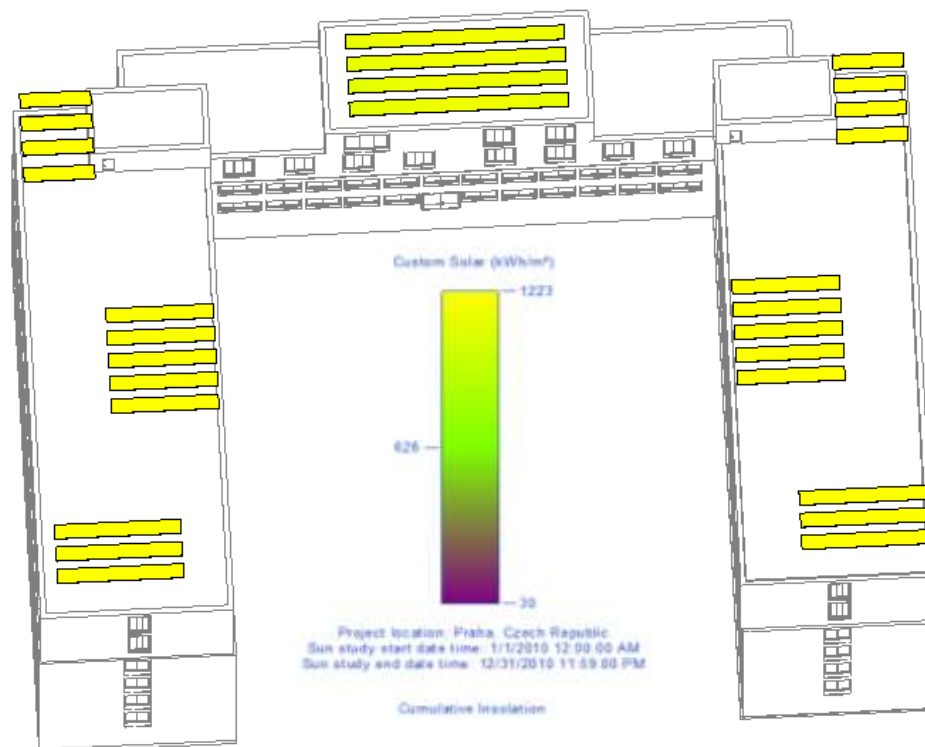
7.7 Fotovoltaické panely

Program Revit jsem využila pro výpočet výroby elektrické energie za rok pomocí fotovoltaických panelů. Pro model jsem si udělala dvě simulace, dle kterých jsem si ověřila roční ozáření dopadající na zvolenou plochu a následně varianty mezi sebou porovnávala.

V první variantě uvažuji fotovoltaické panely osazené na všech pergolách na pochozích střešních konstrukcích a na středu střechy středního traktu nástavby budovy. Ve druhé variantě uvažuji fotovoltaiku pouze na pergolách, které nejsou křídly budovy stíněny a na středu střechy středního traktu nástavby budovy. Pro simulace uvažuji fotovoltaiku ve sklonu 15 % směřující vždy na jižní stranu. Účinnost fotovoltaických panelů lze vybrat v programu 16,0 %, 18,6 % a 20,4 %. Ve výpočtech jsem volila účinnost 20,4 %. Dle ceny elektrické energie (uvažuji 4 Kč za 1 kWh) a také dle typu panelu (účinnost 20,4 % = 81 Kč/ instalovaný Watt) se programem spočítá ekonomická návratnost fotovoltaických panelů.



Obrázek 31 Uspořádání fotovoltaických panelů– varianta 1, návrhový stav, Revit



Obrázek 32 Uspořádání fotovoltaických panelů– varianta 2, návrhový stav, Revit

Cumulative Insolation

294,019 kWh

1.130 kWh/m²

Study Settings

260 m² selected

1/1 to 12/31 sunrise to sunset



Cumulative Insolation

243,263 kWh

1.159 kWh/m²

Study Settings

210 m² selected

1/1 to 12/31 sunrise to sunset



PV Energy Production

61,818 kWh/Year

\$12,364 energy savings

Building Energy Offset

260 m² PV panel area

14.6 years payback



PV Energy Production

51,377 kWh/Year

\$10,275 energy savings

Building Energy Offset

210 m² PV panel area

14.1 years payback



Obrázek 36 Roční produkce el. energie a finanční návratnost – varianta 1, návrhový stav, Revit

Obrázek 35 Roční produkce el. energie a finanční návratnost – varianta 2, návrhový stav, Revit

Dle výpočtu o ploše panelů 210 m² vyšla programem ekonomická návratnost za 14,1 roku s roční výrobou energie 51 377 kWh. Dle varianty číslo 2 s fotovoltaikou o ploše 260 m² vyšla ekonomická návratnost 14,6 let s roční výrobou energie 61 818 kWh.

Vzhledem k tomu, že rozdíl finanční nenávratnosti pro obě varianty činí pouze půl roku, výhodnější varianta je č. 1 s větší plochou fotovoltaických panelů

V případě, že objekt nebude využíván, energie z fotovoltaických panelů bude dodána do distribuční sítě.

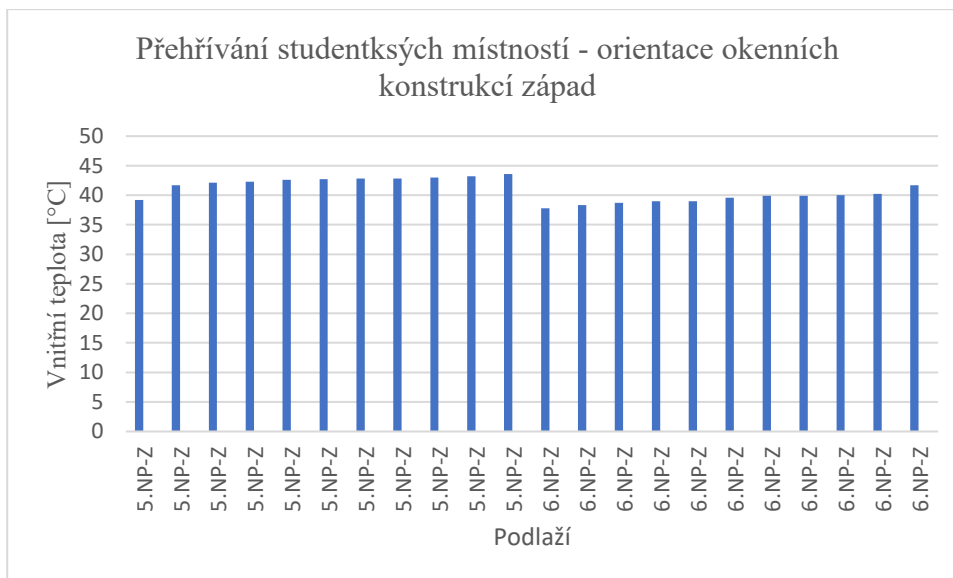
7.8 Simulace letního přehřívání

Z důvodu, že by docházelo k letnímu přehřívání obytných místností orientovaných na jih, východ a západ, provedla jsem simulace v programu DesignBuilder pro letní návrhový týden (simulace pro letní přehřívání objektu – vybrána data z nejteplejších dní v roce – průměrná denní špička návrhového týdne vychází na hodnotu 26,2 °C). Dále jsem navrhla jednotlivé varianty ke zlepšení vnitřního komfortu během horkých letních dní.

Pro zjednodušení modelu jsem ve studentských pokojích, které mají dvě místnosti, zanedbala interiérovou dělící příčku.

V bočních traktech nástavby objektu dochází k přehřívání nejvíce 5. NP, kdy během letních měsíců tepelné zisky z 4. a 6. NP přispívají k vyšším teplotám. V šestém nadzemním podlaží ke snížení teploty přispívá noční chlazení exteriérovou obálkou.

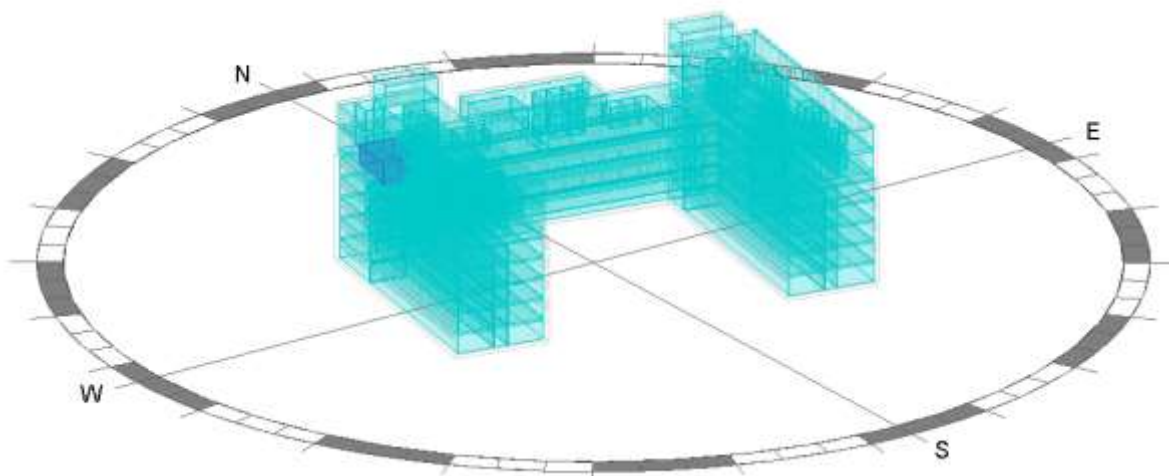
Ve středním návrhovém traktu objektu pomáhá k nižším teplotám stávající objekt, kde nedochází k tak velkému přehřívání. Prvním důvodem je stínění jižní strany fasády okolními trakty. Druhým důvodem je orientace fasády studentských pokojů na severní



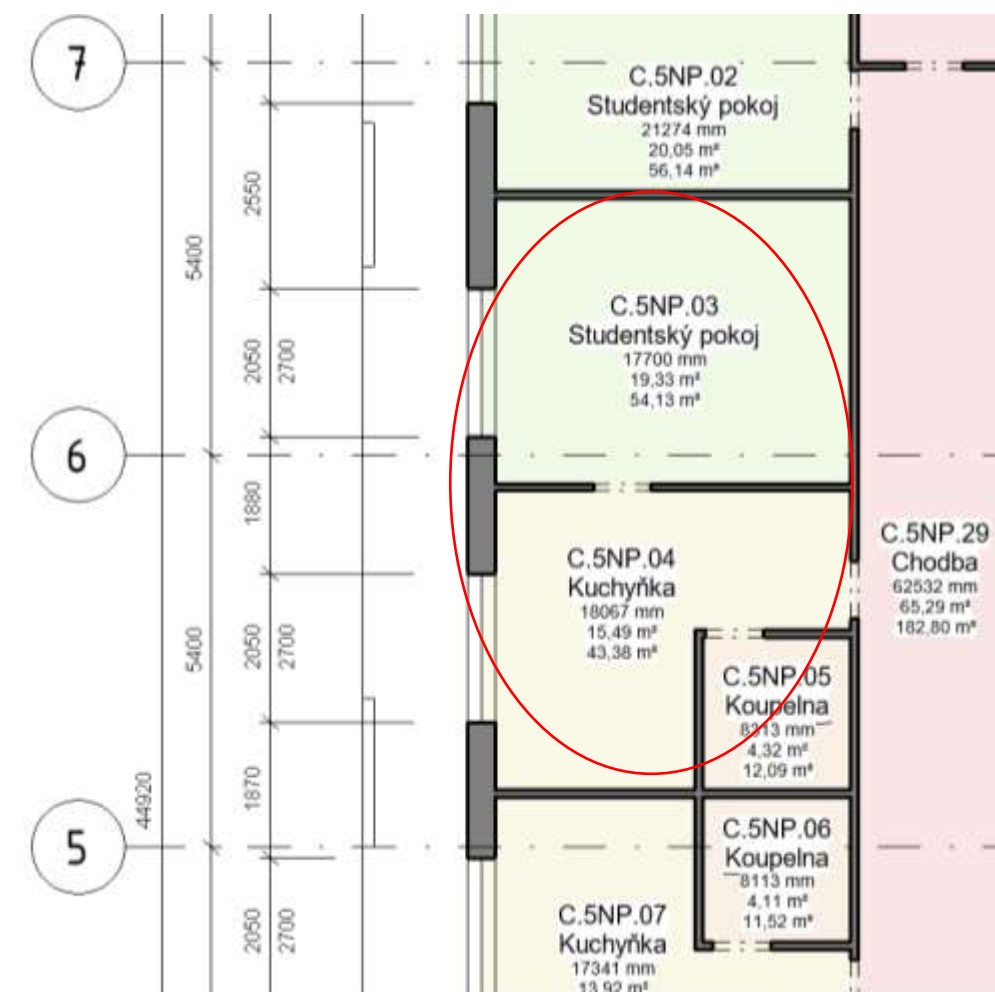
Graf 14 Výsledky přehřívání studentkých pokojů dle orientace okenních konstrukcí – západ, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

7.8.1 Kritická místnost

Kritická místnost dle výpočtů vyšla ve 5. NP. Jde o studentský pokoj, který má dvě okna o velikosti 2,05x2,7 m orientované na západ.



Obrázek 37 Kritická místnost, studentský pokoj 5. NP (západní orientace), návrhový stav, Revit



Obrázek 38 Výřez půdorysu podlaží 5. NP, vyznačení kritické místnosti, návrhový stav, Revit

7.8.1.1 Varianty návrhu ke snížení letního přehřívání místností

7.8.1.1.1 Varianta 1

První varianta představuje návrhový stav objektu bez přidání stínících prvků na okenních konstrukcích.

7.8.1.1.2 Varianta 2

V druhé variantě jsem volila žaluzie na vnitřní straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění manuálně, kdy žaluzie budou zataženy ráno (než odejdou studenti do školy) a roztaženy večer (až se studenti vrátí na kolej).

Parametry interiérových žaluzií uvažuji s odrazivostí lamel 0,5, sklonem lamel 45 ° a solární propustností 0,05. Vzdáleností od skla 0,015 m.

7.8.1.1.3 Varianta 3

Ve třetí variantě uvažuji žaluzie na vnější straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění manuálně (rozvrh dle varianty 2).

Parametry exteriérových žaluzií uvažuji s odrazivostí lamel 0,5, sklonem lamel 45 ° a solární propustností 0,05 a vzdáleností od skla 0,015 m (parametry exteriérových žaluzií jsou shodné i pro další varianty návrhu).

7.8.1.1.4 Varianta 4

Ve čtvrté variantě uvažuji žaluzie na vnější straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění automatické při překročení hodnoty intenzity slunečního záření 120 W/m² dopadající na plochu okna.

7.8.1.1.5 Varianta 5

V páté variantě uvažuji žaluzie na vnější straně objektu. Pro simulace jsem uvažovala stínění manuálně (rozvrh dle varianty 2). Pro nastavbu studentských místností uvažuji dvojnásobný objem větraného vzduchu v nočním režimu oproti běžnému režimu (noční režim = 100 m³/hod na buňku).

7.8.1.1.6 Varianta 6

V šesté variantě navíc od předchozí varianty uvažuji zelenou střechu.

7.8.1.1.7 Varianta 7

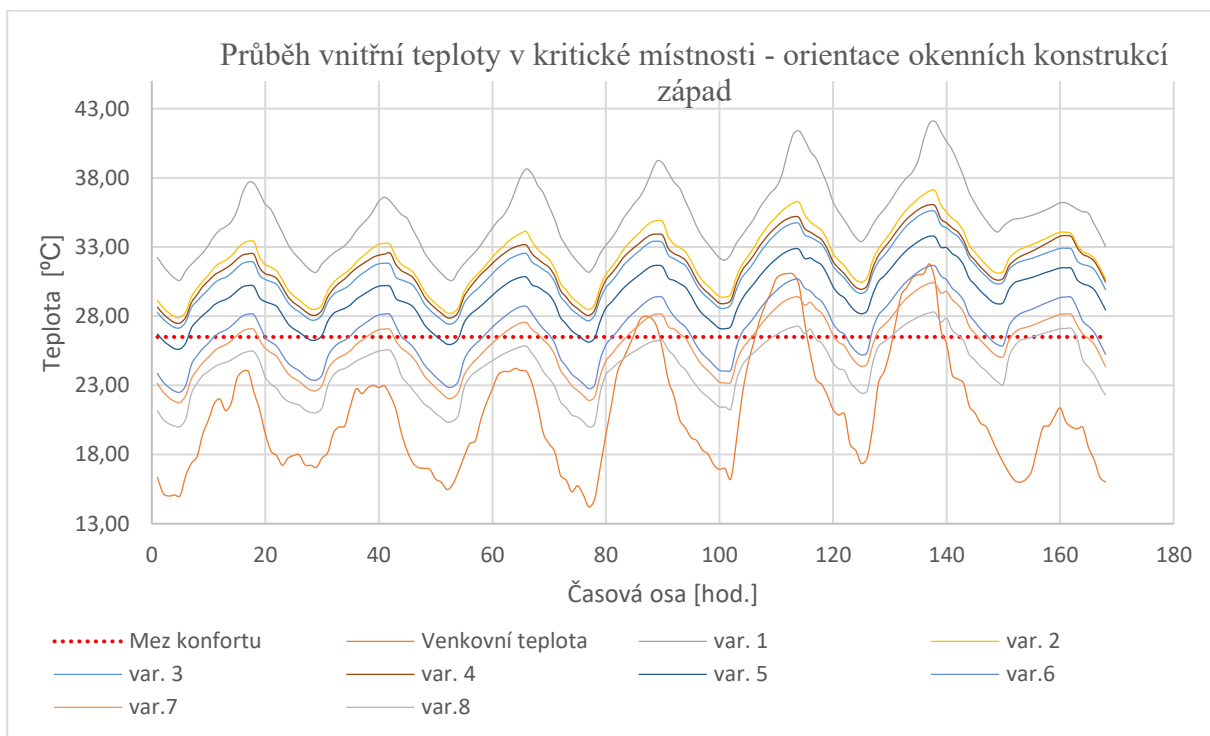
V sedmé variantě uvažuji režim stínění i typ žaluzií dle páté varianty, zelenou střechu dle varianty šesté. Pro nastavbu studentských místností uvažuji čtyřnásobný objem větraného vzduchu v nočním režimu oproti běžnému režimu (noční režim = 200 m³/hod na buňku).

7.8.1.1.8 Varianta 8

V osmé variantě uvažuji objem větraného vzduchu z varianty č. 7, zelenou střechu a místo roznášecí suché podlahy uvažuji 60 mm litého betonu.

Varianta		var. 1	var.2	var.3	var.4	var.5	var.6	var.7	var.8
Nástavba	bez stínění	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Interiérové žaluzie, manuální	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Exteriérové žaluzie, manuální	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
	Exteriérové žaluzie, automatické	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
	Zelená střecha	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
	Roznášecí vrstva z betonu	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
	Denní větrání 50 m ³ /h na pokoj	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Noční větrání 50 m ³ /h na pokoj	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
	Noční větrání 100 m ³ /h na pokoj	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗
	Noční větrání 200 m ³ /h na pokoj	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

Tabulka 14 Přehled variant návrhu vedoucí ke snížení letního přehřívání studentských pokojů, návrhový stav



Graf 15 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místnosti jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

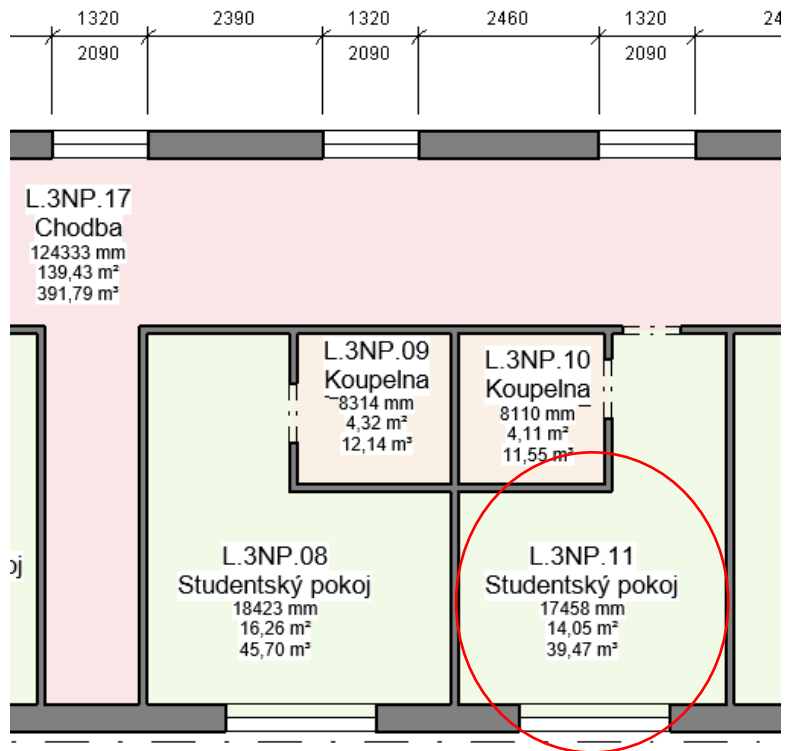
7.8.1.2 Výběr varianty

Nejúčinnější je varianta č. 8. Ve variantě je uvažováno s exteriérovými žaluziemi, stíněním v době nepřítomnosti uživatelů, zelenou střechou, roznášecí vrstvou podlahy z litého betonu a zvýšeným objemem větraného vzduchu během nočního režimu na 200 m³/hod na pokoj. Zde je nutno dbát na to, aby přiváděný noční vzduch nevytvářel diskomfort během spánku. Vzhledem k tomu, že se jedná o nástavbu z materiálů s malou měrnou tepelnou kapacitou, předchlazení nočním vzduchem je nejučinnější v případě, pokud by bylo možné technicky provést roznášecí vrstvu z betonu.

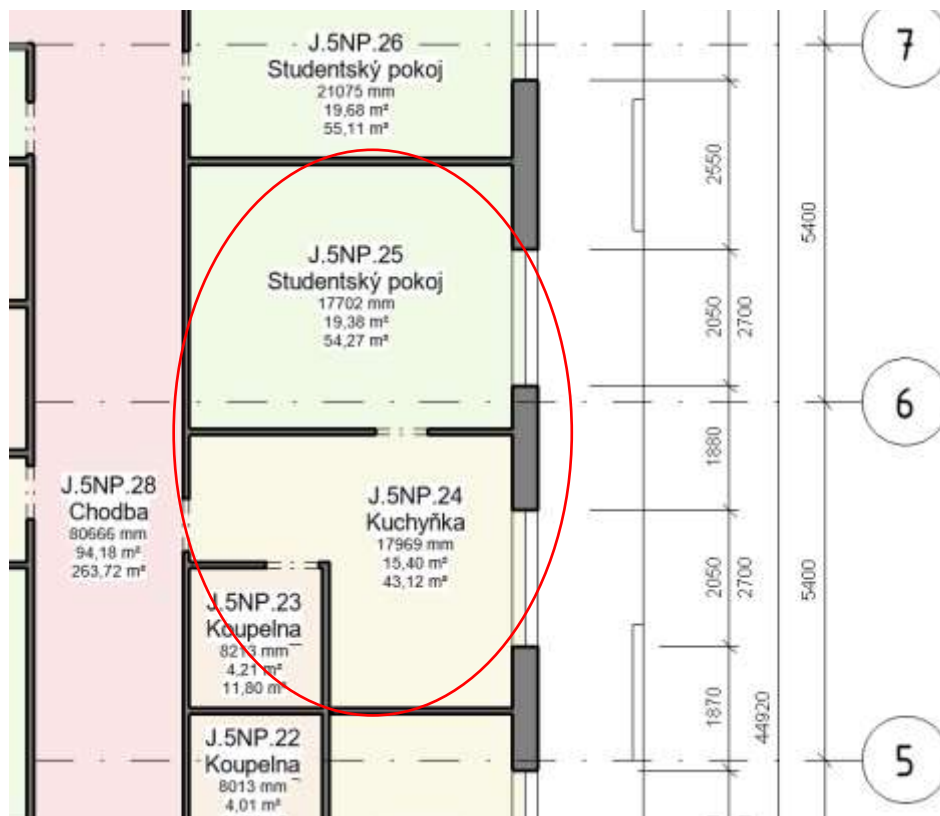
Popřípadě by snížení vnitřní teploty by mohlo být zajištěno vodním podlahovým chlazením, přiváděním chladnějšího vzduchu vzduchotechnikou nebo využitím PCM materiálu na bázi látkové přeměny. Vodní podlahové chlazení by mohlo být, popřípadě nahrazeno předstěnou z hliněných panelů (ProCrea), které zaberou prostorově 5 cm stěny, do nichž jsou připravené prefabrikované otvory pro vodní okruh, kterým by se vyhlazoval prostor. Alternativní možnost chlazením prostoru předstěnou navržena z důvodu, že lépe přispívá vnitřnímu komfortu užívání a dává architektonickou svobodu návrhu.

7.8.2 Kritická místnost pro orientaci okenních konstrukcí na jih a východ

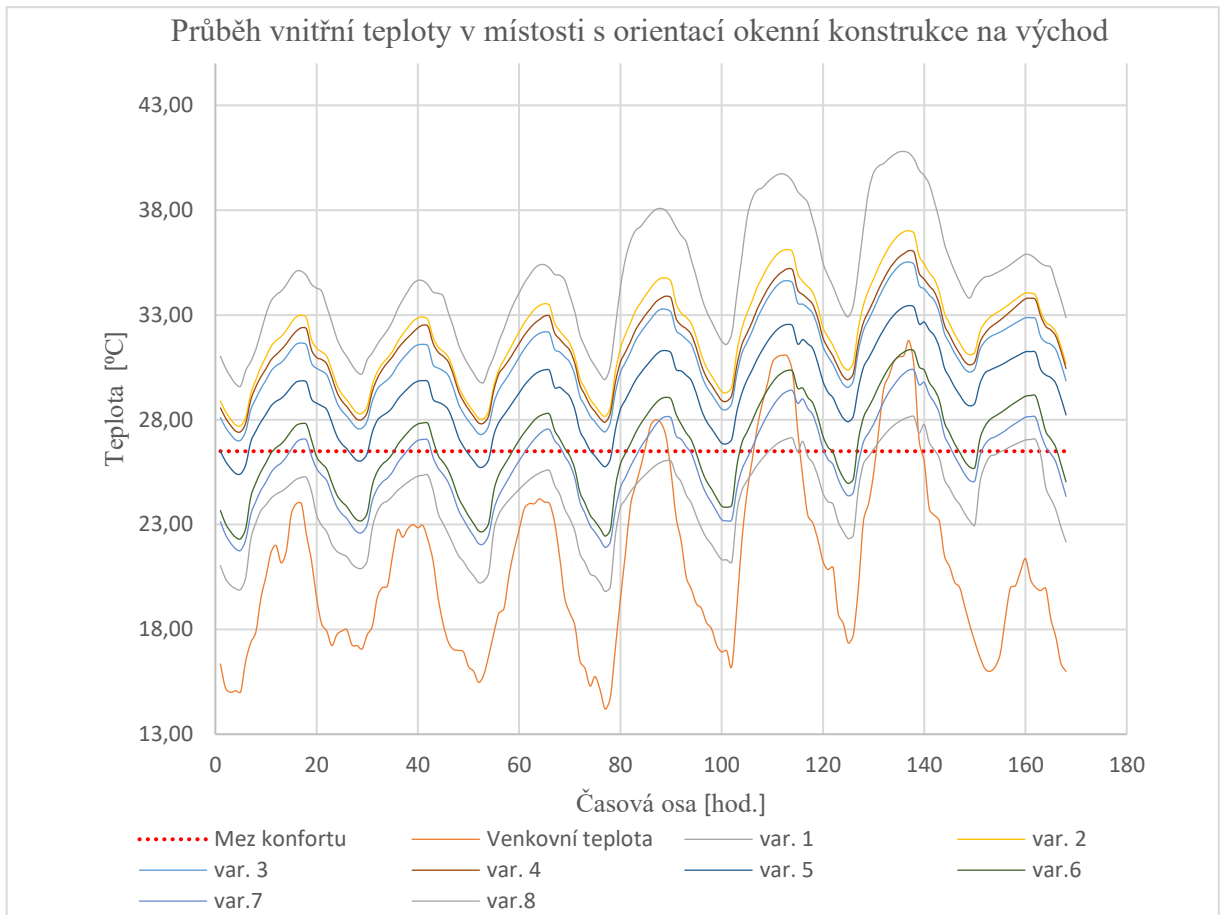
Simulaci letního přehřívání jsem prověřila i pro studentské pokoje s orientací na jižní a východní stranu pro pokoje dosahující nejvyšší vnitřní teploty. Varianty vedoucí ke snížení vnitřní teploty jsem uvažovala stejně jako pro kritickou místnost návrhového stavu.



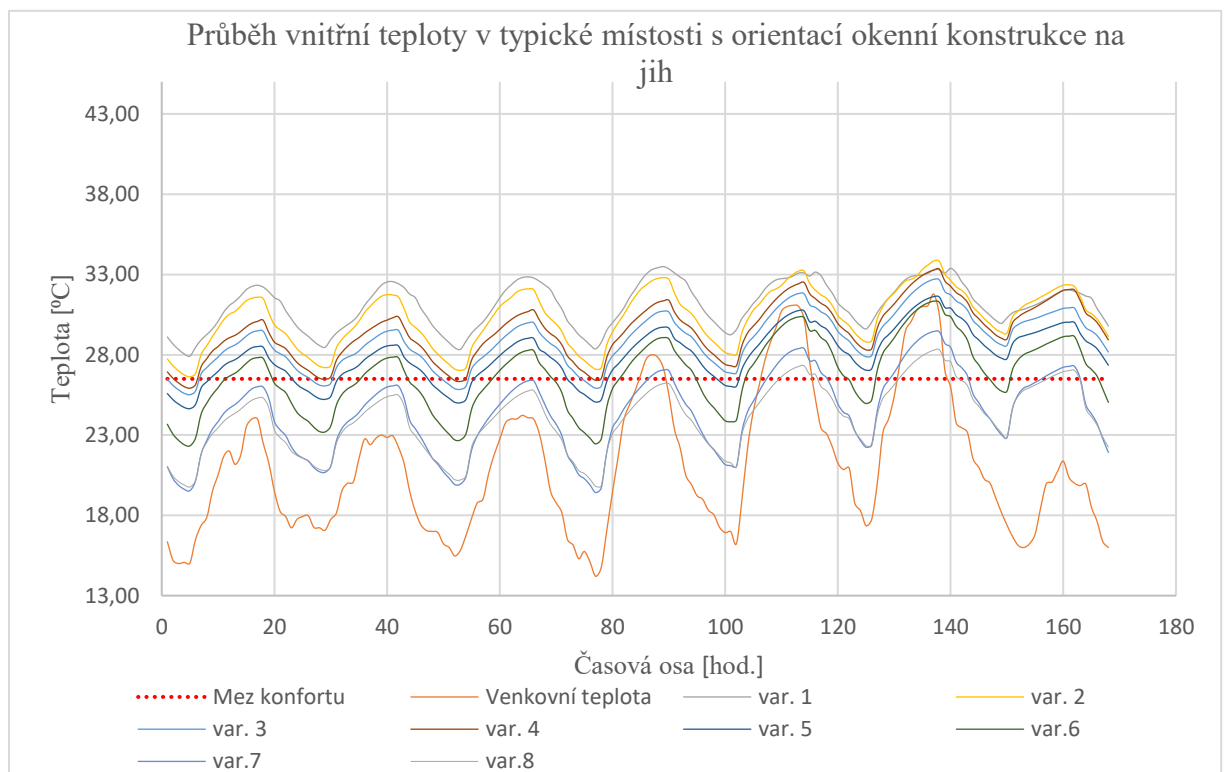
Obrázek 39 Výřez půdorysu podlaží 3. NP, vyznačení kritické místnosti s orientací okenních konstrukcí na jih, Revit



Obrázek 40 Výřez půdorysu podlaží 5. NP, vyznačení kritické místnosti s orientací okenních konstrukcí na východ, Revit



Graf 16 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místosti s orientací okenních konstrukcí na východ jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder



Graf 17 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místosti s orientací okenních konstrukcí na jih jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

7.8.2.1 Výběr varianty

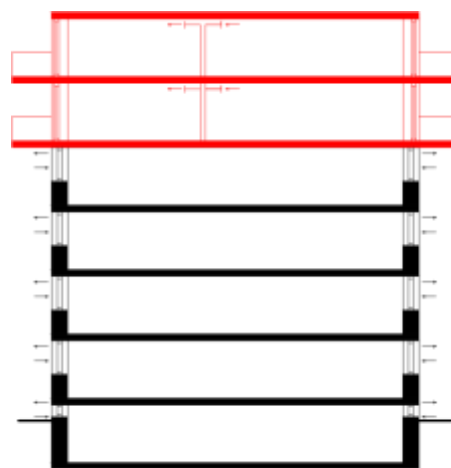
Dle výsledků pro jižně orientované studentské pokoje je varianta č. 7 dostačující pro první čtyři po sobě jdoucí horké letní dny. Pátý den vnitřní pokojová teplota vystoupá nad 26,5 °C. I pro orientaci na jih vyšlo, že zatažení žaluzií v době nepřítomnosti osob je více vyhovující než automatické stínění dle dopadajícího slunečního záření na plochu okenních konstrukcí.

Pro východně orientované studentské pokoje vyšly vnitřní teploty podobně, jako pro kritickou místnost orientovanou na západ. I zde by bylo potřeba pro zajištění vnitřního komfortu využít chlazení pokojů nástavby budovy, pokud by nebyla možná realizace roznášecí vrstvy o tl. 60 mm litého betonu (varianta č. 8).

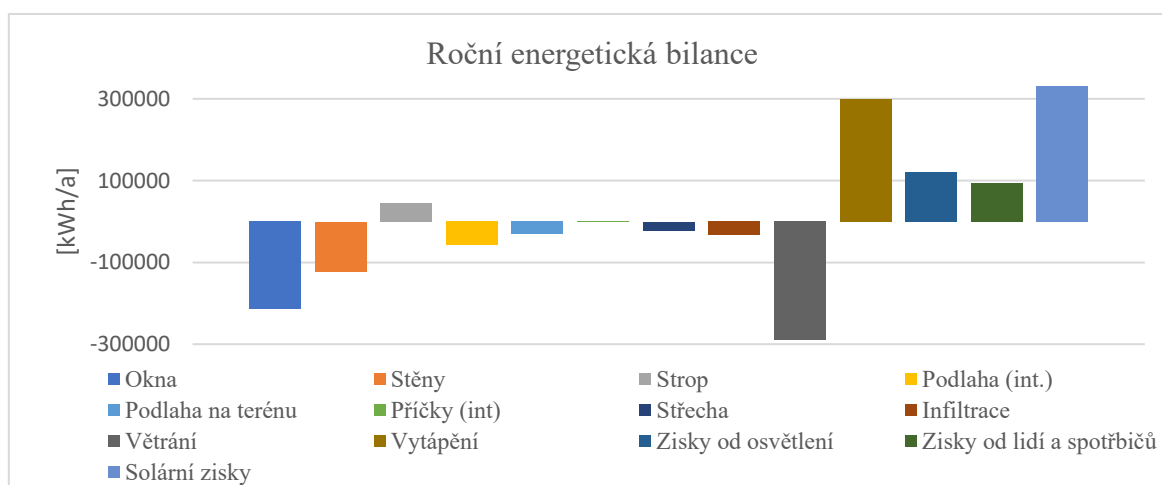
7.9 Snížení měrné potřeby tepla na vytápění

Aby celková budova fungovala jako nízkoenergetická, je nutno provést opatření, která budou vest ke snížení měrné potřeby tepla na vytápění.

První výpočet potřeby tepla na vytápění je pro variantu, pokud by se stávající stav budovy nezměnil, pouze by se k němu přidala nástavba s obálkou budovy se součiniteli prostupů tepla dle kapitoly 7.2.1 *Orientační hodnoty součinitelů*



Obrázek 41 Schéma kolejí na Větrníku, bez opatření, návrhový stav



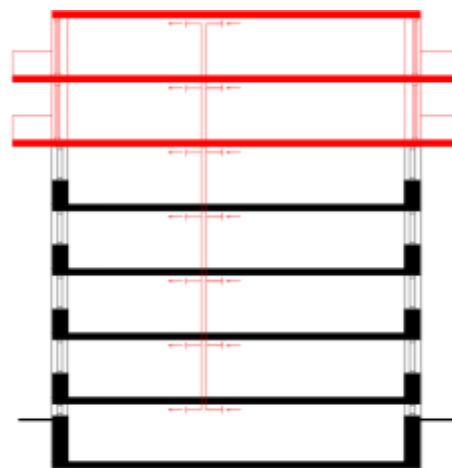
Graf 18 Energetická bilance, bez opatření, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

prostupu tepla a profilu užívání dle kapitoly 7.3 Definování zón.

Roční měrná potřeba tepla na vytápění k vytápěné ploše činí 36,3 kWh/(m²a).

7.9.1 Opatření I – rovnotlaké větrání

Dle energetické bilance nejvyšší tepelné ztráty vycházejí přirozeným větráním stávajícího stavu budovy. Protože současné studentské kóje jsou velmi malé k obývání 2 osob, pro zlepšení komfortu budu pro stávající stav budovy uvažovat pouze 1 osobu na místnost. Přívod čerstvého vzduchu na jednu kóji uvažuji 25 m³/hod. Větrání chodeb navrhuji nuceně se ZZT s intenzitou větrání 0,1 h⁻¹. Pro hygienické prostory uvažuji odtah vzduchu 216 m³/hod (3x WC + 2x umývárna).

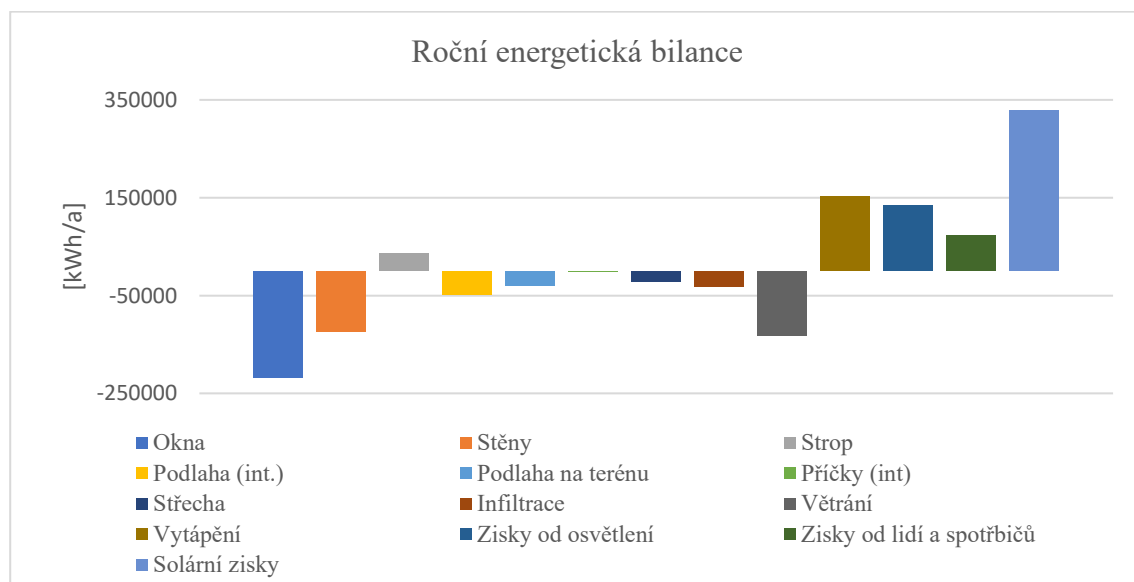


Obrázek 42 Schéma kolejí na Větrníku, opatření I, návrhový stav

Protože musí být každá kóje samostatný požární

úsek, přívod a odvod vzduchu musí být zajištěný do každého úseku samostatně.

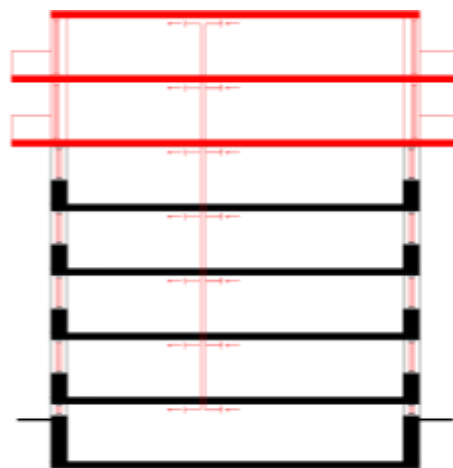
Roční měrná potřeba tepla na vytápění k vytápěné ploše se sníží na 18,4 kWh/(m²a).



Graf 19 Energetická bilance, opatření I, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

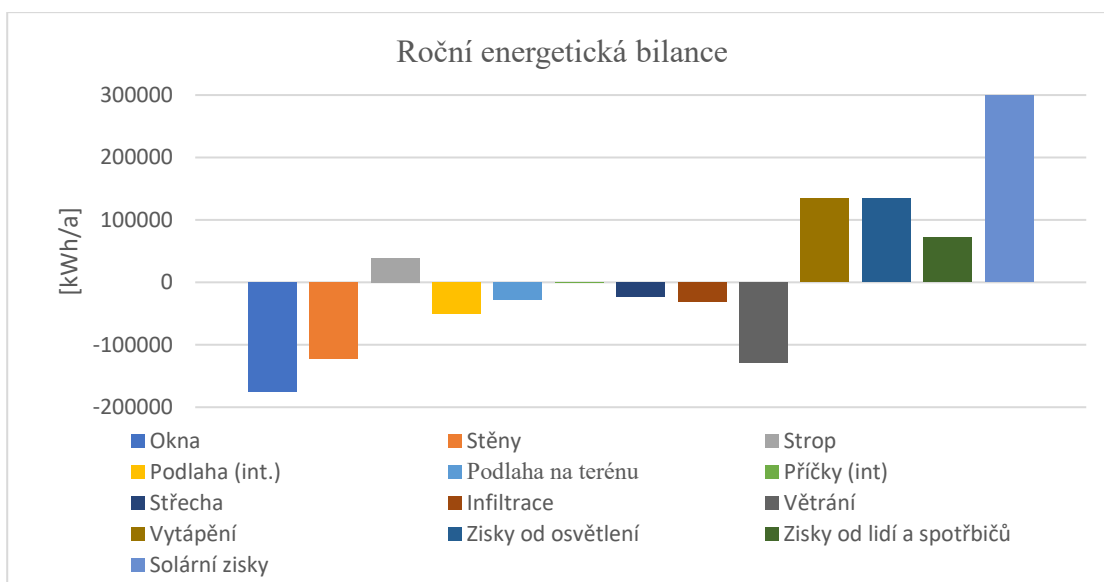
7.9.2 Opatření II – výměna zasklení do stálých okenních rámu

Snížení potřeby tepla na vytápění dle energetické bilance z *grafu 19* je nejvyšší tepelná ztráta objektu okenními konstrukcemi. Další úpravu objektu zvolím výměnu okenního zasklení do stávajícího okenního rámu (přidání fólie mezi skleněné tabule vyplněné plynem kryptonem a argonem). Stávající okenní konstrukce byly vyměněné v rámci rekonstrukce v roce 2002. Novou hodnotu pro součinitel prostupu tepla zasklením uvažuji $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (standardní součinitel prostupu tepla pro složení izolačního dvojskla Heat Mirror). Fólie také napomáhá ke snížení propustnosti slunečního záření na hodnotu $0,66$ (stávající stav – propustnost slunečního záření $0,75$). Větrání uvažuji pro celou budovu nuceně se ZZT dle opatření I.



Obrázek 43 Schéma kolejí na Větrníku, opatření II, návrhový stav

Roční měrná potřeba tepla na vytápění k vytápěné ploše se sníží $16,3$ na $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

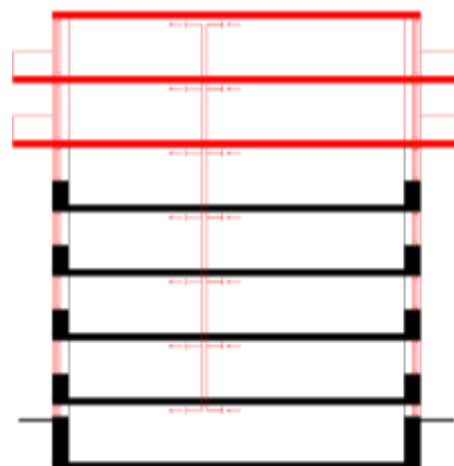


Graf 20 Energetická bilance, opatření II, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

7.9.3 Opatření III - výměna okenních konstrukcí

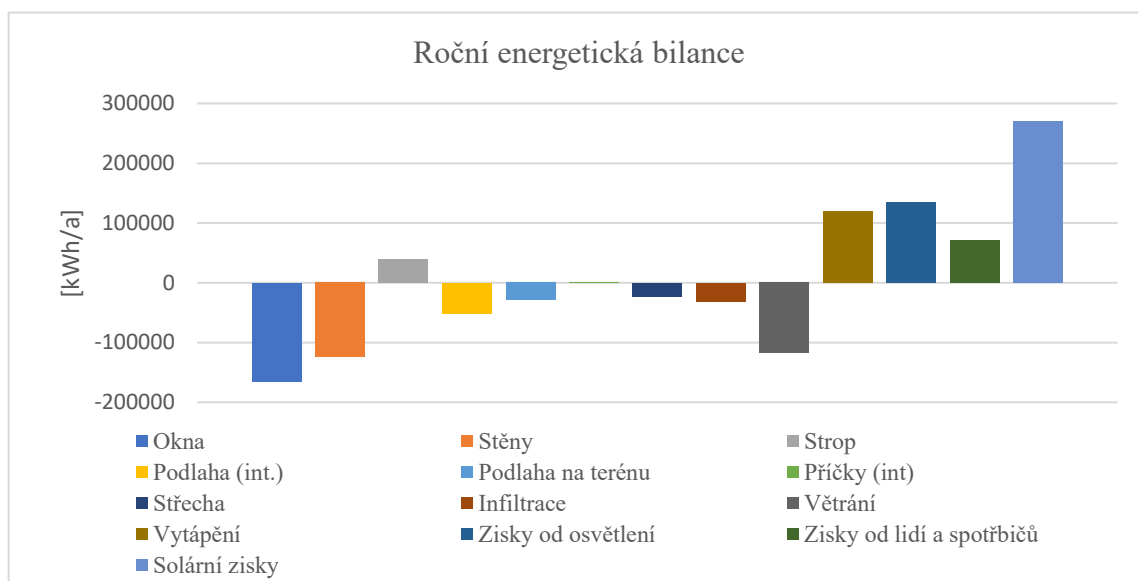
V případě, že stávající okenní rámy nevyhovují, další variantou je výměna celé okenní konstrukce (předsazenou montáží). Tato varianta obnáší i lehké stavební úpravy kolem

nového okna. Výměnou oken se dá předpokládat, že dojde k poklesu tepelných vazeb. Pro zónu 1, 2 a 3 je uvažováno s novou přírážkou na vliv tepelných vazeb na hodnotu 0,05 W/(m²K). Ve čtvrté zóně je přírážka na vliv tepelných vazeb ponechána na hodnotě 0,1 W/(m²K) z důvodu, že nedošlo k zateplení podlahy na terénu a dá se předpokládat, že tepelné vazby budou vyšší. Pro nová okna uvažují stejný součinitel prostupu tepla jako pro návrhový stav (trojsklo). Vyšší hodnotu solární propustnosti pro sklo oproti návrhovým okenních skel uvažují z důvodu (g=0,6), že se jedná těžký skelet, kde nedochází tak k vysokým teplotám během letních horkých dní, a naopak bude docíleno vyšších solárních zisků během topného období. Větrání uvažují pro celou budovu nuceně se ZZT dle opatření I.



Obrázek 44 Schéma kolejí na Větrníku, opatření III, návrhový stav

Roční měrná potřeba tepla na vytápění k vytápěné ploše se sníží na 14,6 kWh/(m²a).



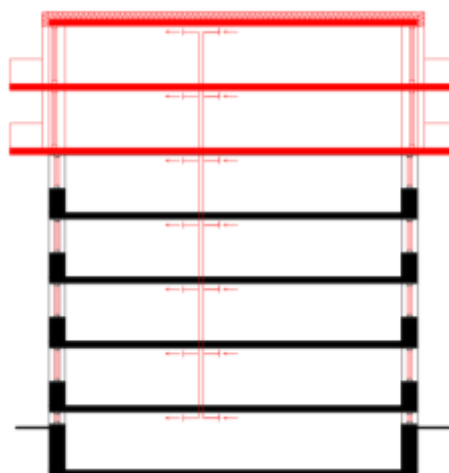
Graf 21 Energetická bilance, opatření III, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

7.9.4 Opatření IV – zlepšení tepelných vlastností nástavby budovy

Ve čtvrté variantě jsem snížila součinitel tepelné vodivosti dřevovláknitých měkkých desek z 0,41 W/mK na hodnotu 0,38 W/mK.

Také jsem přidala ke stávající skladbě exteriérové stěny 60 mm tepelné měkké dřevovláknité izolace a do střešní konstrukce 40 mm navíc měkké dřevovláknité izolace. Dále uvažuji nucené větrání z opatření č. 1 a také výměny zasklení oken do stávajícího rámu dle opatření č. 2.

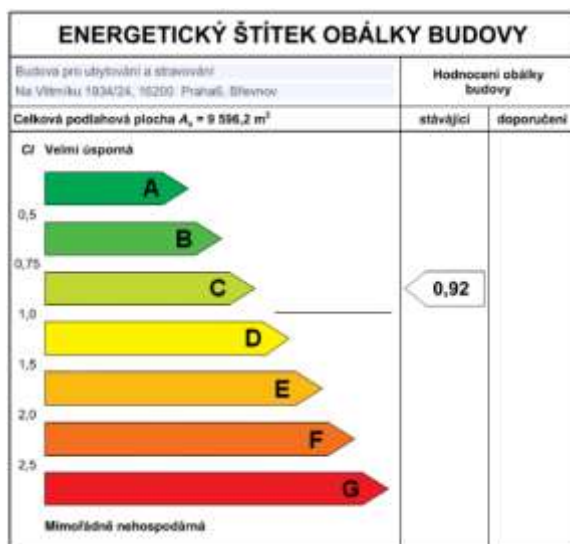
Roční měrná potřeba tepla na vytápění k vytápěné ploše se sníží na 15,0 kWh/(m²a).



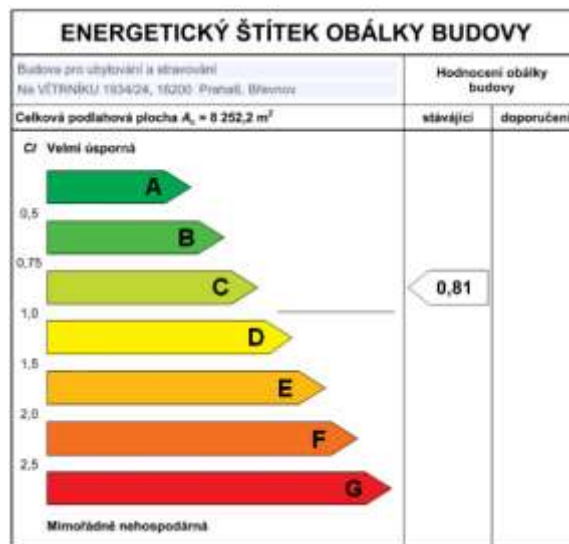
Obrázek 45 Schéma kolejí na Větrníku, opatření IV, návrhový stav

Konstrukce	Původní hodnota NS, U [W/(m ² K)]	Nová hodnota NS, U [(W/m ² K)]
Exteriérová stěna	0,165	0,132
Střešní konstrukce	0,144	0,125

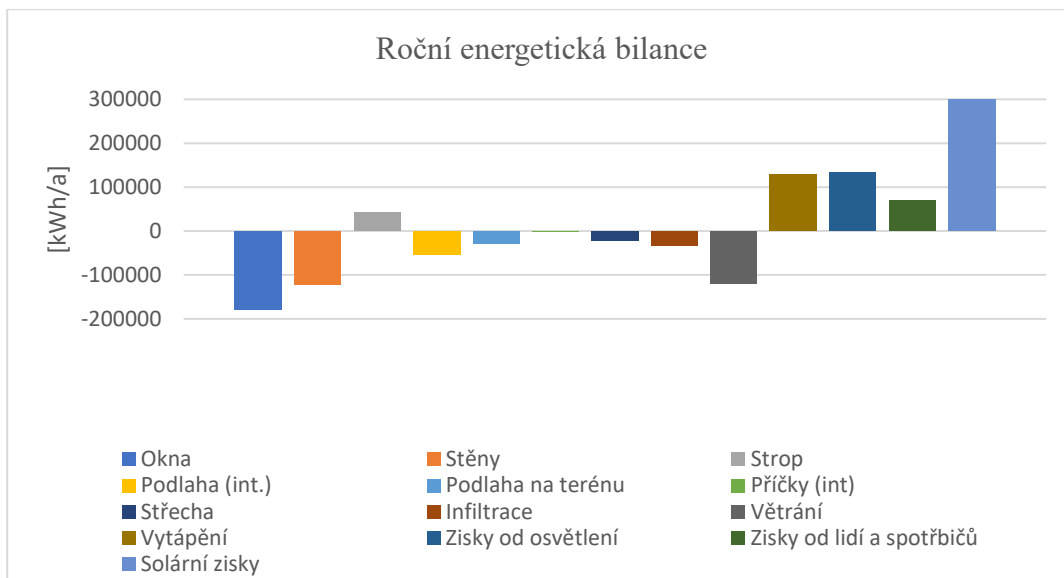
Tabulka 15 Nové součinitele prostupu tepla pro nástavbu budovy kolejí na Větrníku



Obrázek 46 Energetický štítek, bez opatření, návrhový stav, Energie



Obrázek 47 Energetický štítek, opatření IV, návrhový stav, Energie



Graf 22 Energetická bilance, opatření IV, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder

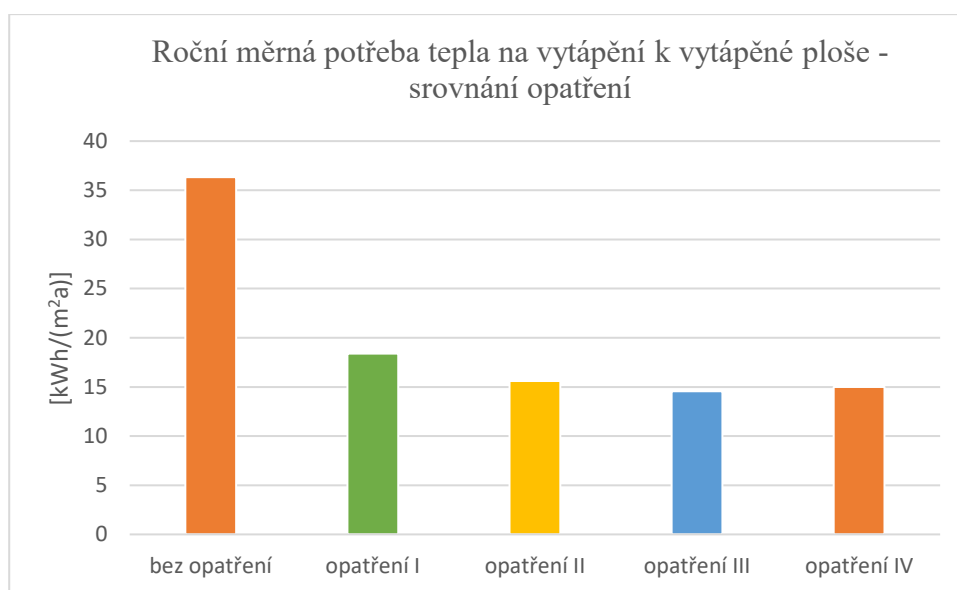
Opatření		Návrhový stav (bez opatření)	Opatření I	Opatření II	Opatření III	Opatření IV
Stávající objekt	Přirozené větrání	✓	✗	✗	✗	✗
	Nucené větrání – vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla	✗	✓	✓	✓	✓
	Výměna zasklení do stávajícího rámu	✗	✗	✓	✗	✓
	Výměna okenní konstrukce	✗	✗	✗	✓	✗
Nástavba	Nucené větrání – vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla	✓	✓	✓	✓	✓
	Zlepšení navrženého součinitele prostupu tepla obvodové stěny	✗	✗	✗	✗	✓
	Zlepšení navrženého součinitele prostupu tepla střešní konstrukce	✗	✗	✗	✗	✓

Tabulka 16 Souhrn opatření návrhu budovy vedoucí ke snížení měrné potřeby tepla na vytápění

7.9.5 Doporučení ke snížení měrné potřeby tepla na vytápění

Nejlepších výsledků docílím opatřením III, kde měrná potřeba tepla na vytápění vychází 14,6 kWh/(m²a). Dosažení hodnot odpovídající pasivnímu standardu vychází dle opatření III a IV, kde měrná potřeba tepla na vytápění je ≤ 15 kWh/(m²a).

Pro minimální zásah do stávající stavby a zároveň dosažení nízké měrné potřeby tepla na vytápění je nejvhodnější varianta IV, kde by došlo k výměně zasklení oken do stávajícího rámu, zlepšily by se parametry obálky budovy návrhového stavu a celý objekt by byl nuceně větrán. Výsledná měrná potřeba tepla na vytápění by byla 15,0 kWh/(m²a) (dle Energie 14,9 kWh/(m²a)).



Graf 23 Srovnání opatření dle měrné roční potřeby tepla na vytápění vztážené k vytápěné ploše, návrhový stav

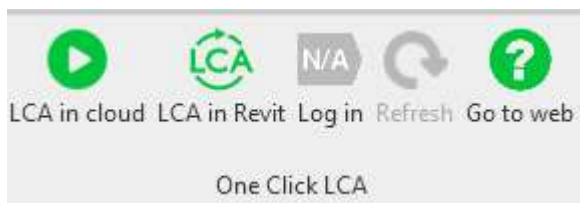
8 One Click LCA

Poslední část optimalizace návrhu studentských kolejí se budu věnovat skladbám konstrukcí dle dopadu na životní prostředí.

One Click LCA je software pro hodnocení životního cyklu, který vypočítává dopady projektů a produktů na životní prostředí. Software slouží pro spolehlivé hodnocení celého životního cyklu budovy. Nabízí propojení analýzy s BIM a BEM modely. Výstupy splňují normy EN, ISO, LEED, BREEM a další. Nástroj pro hodnocení fází životního cyklu budovy je počítán softwarem podle příručky EN-15978.

8.1 Doplněk od One Click LCA do Revitu



One Click LCA se instaluje jako doplněk pro Revit. Podobný princip jako již zmíněný doplněk od DesignBuilderu pro Revit pro export modelu. Instalace doplňku pro Revit existuje zatím do verze 2020. Na kartě doplněk po vytvoření modelu po kliknutí načtení modelu na Cloudovou platformu LCA se model propojí se softwarem One Click LCA.



Obrázek 48 Ukázka doplňku One Click LCA na kartě v programu Revit

Po synchronizování dat modelu se softwarem One Click LCA se načtou na webový portál, kde se následně určí, o jakou stavbu se jedná a podrobnost hodnoceného modelu (hodnocen pouze stavební prvek, celá budova bez TZB systémů, celá budova bez TZB systému a okenních konstrukcí/dveřmi, celá budova s TZB systémy, celá budova s TZB systémy a okolním pozemkem).

V dalším kroku se jednotlivé prvky rozřadí dle materiálu do skupin, kde se softwarem spočítá jejich objem. Každé materiálové skupině se přiřadí materiál dle knihovny databáze. Pro každý zvolený materiál je možné si prohlédnout jeho parametry.

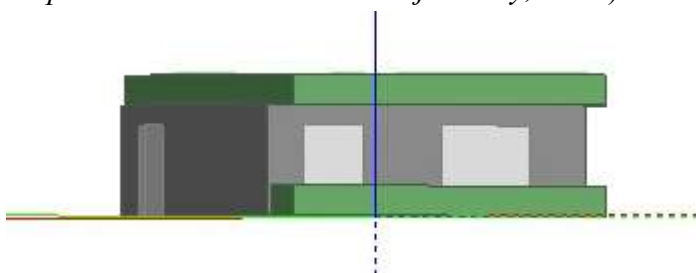
▼ General information	
Country	Czech Republic 
Manufacturer	Rigips
Commercial name	RB (A)
▼ Technical characteristics	
Technical specification	12.5mm, 8.8 kg/m ² , 680 kg/m ³
Density	680.0 kg/m ³
Default thickness	 12.5 mm
Available units	kg, ton, m ³ , m ²
▼ Environmental profile	
Global warming potential (A1-A3)	0.19 kg CO ₂ e / kg 131.36 kg CO ₂ e / m ³ 1.64 kg CO ₂ e / m ²
Performance in group	Regular gypsum board

Obrázek 49 Ukázka přehledu informací dle knihovny materiálů, One Click LCA

Dále se pro každý materiál určí vzdálenost transportu na stavbu, popřípadě jeho životnost. Také se určí roční energetická náročnost provozu budovy a spotřeba kohoutkové vody. V předposledním kroku se určí plocha hodnocené budovy (vnitřní podlahová plocha). Nakonec se určí doba, na kterou je daná budova stavěna.

8.2 Hodnocený objekt

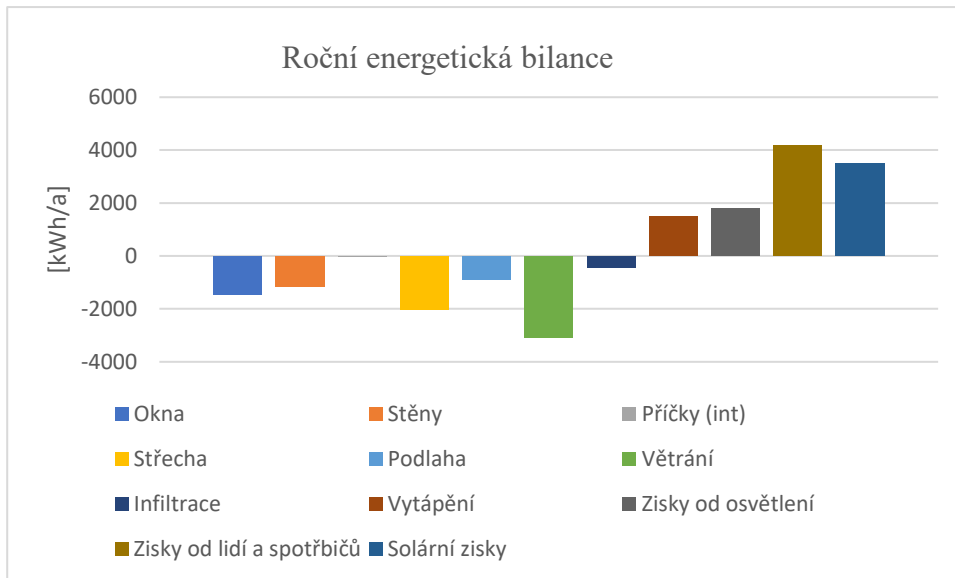
Pro zmenšení objemu dat, jsem si pro práci vybrala hodnocení životního cyklu stavby demonstrační jednotky studentských kolejí na Větrníku. Jedná se o demonstrační jednotku dle studie navržené studenty architektury z fakulty ČVUT, která na malém modelu zjednodušeně znázorňuje nástavbu studentských kolejí (viz *obrázek 3 Dispoziční řešení demonstrační jednotky, Revit*).



Obrázek 50 Energetický model, demonstrační jednotka, DesignBuilder

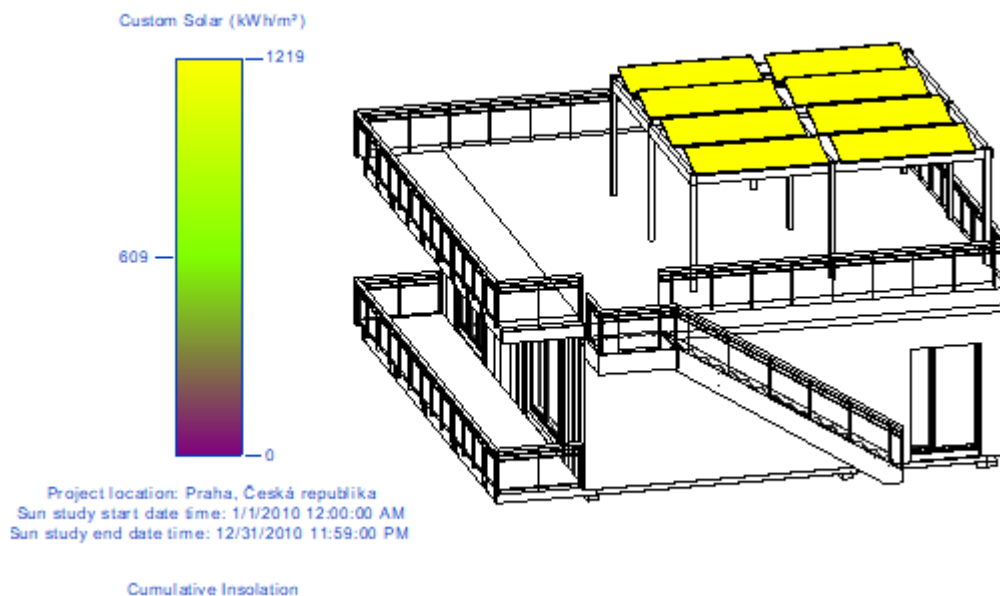
Pro demonstrační jednotku jsem si v programu DesignBuilder roční spočítala energii na celý chod budovy. Zónování jednotlivých prostor a jejich profily užívání uvažuji shodně dle kapitoly 7.3 *Definování zón*. Zóna chodby se od nástavby kolejí na Větrníku bude lišit tím, že obsahuje technické zařízení budov. Proto pro zónu chodby uvažuji

interiérové zisky navíc od technologií. Klimatická data jsou volena pro Prahu, stejná data jako pro koleje Větrník. Životnost návrhu stavby uvažují pro model 50 let.



Graf 24 Energetická bilance, demonstrační jednotka, výpočet z programu DesignBuilder

Sklon a orientaci fotovoltaických panelů uvažují shodně s návrhem jako kolejích Větrník. Účinnost panelů jsem zvolila 16,0 % vzhledem ke spotřebě elektrické energie demonstrační jednotky. Plocha panelů opět odpovídá ploše dřevěné pergoly, na kterých budou umístěny. Rozteč panelů je navržena, aby si navzájem nestínily.



Obrázek 51 Uspořádání fotovoltaických panelů, demonstrační jednotka, Revit

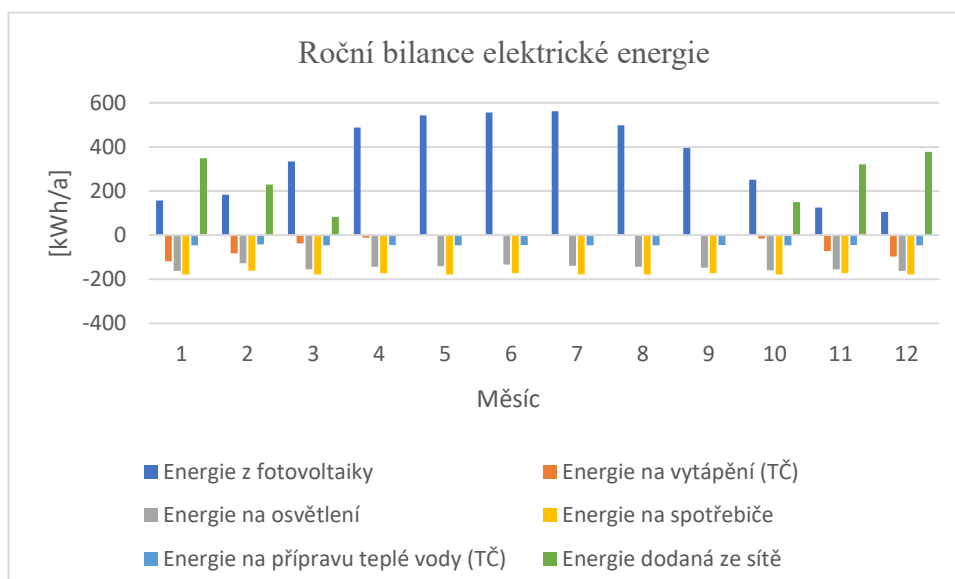


Obrázek 53 Roční ozáření panelů, Revit



Obrázek 52 Roční produkce el. energie a finanční návratnost, Revit

Vzhledem k tomu, že zdroj tepla pro přípravu teplé vody a vytápění objektu je tepelné čerpadlo vzduch-voda (příkon tepelného čerpadla uvažuji 2,92 kW), elektrická energie je dodaná i zde. Dle roční bilance elektrické energie je potřeba dodat ročně 1160 kWh energie ze sítě na chod demonstrační jednotky.



Graf 25 Roční bilance elektrické energie, demonstrační jednotka

8.3 Varianty návrhu

Pro zvolení optimálního materiálového řešení jsem porovnávala 3 varianty návrhu demonstrační jednotky v programu One Click LCA. Varianty se od sebe liší především volbou izolačního materiálu, se kterým je svázaná lehká obměna skladby konstrukcí. Skladbu exteriérové stěny, střešní konstrukce a podlahy na terénu jsem volila tak, aby měly podobný součinitel prostupu tepla konstrukcí.

Navržená skladba konstrukce	Varianta 1 U [W/(m ² K)]	Varianta 2 U [W/(m ² K)]	Varianta 3 U [W/(m ² K)]
Exteriérová stěna	0,134	0,133	0,136
Střešní konstrukce	0,126	0,126	0,128
Podlaha na terénu	0,134	0,135	0,133

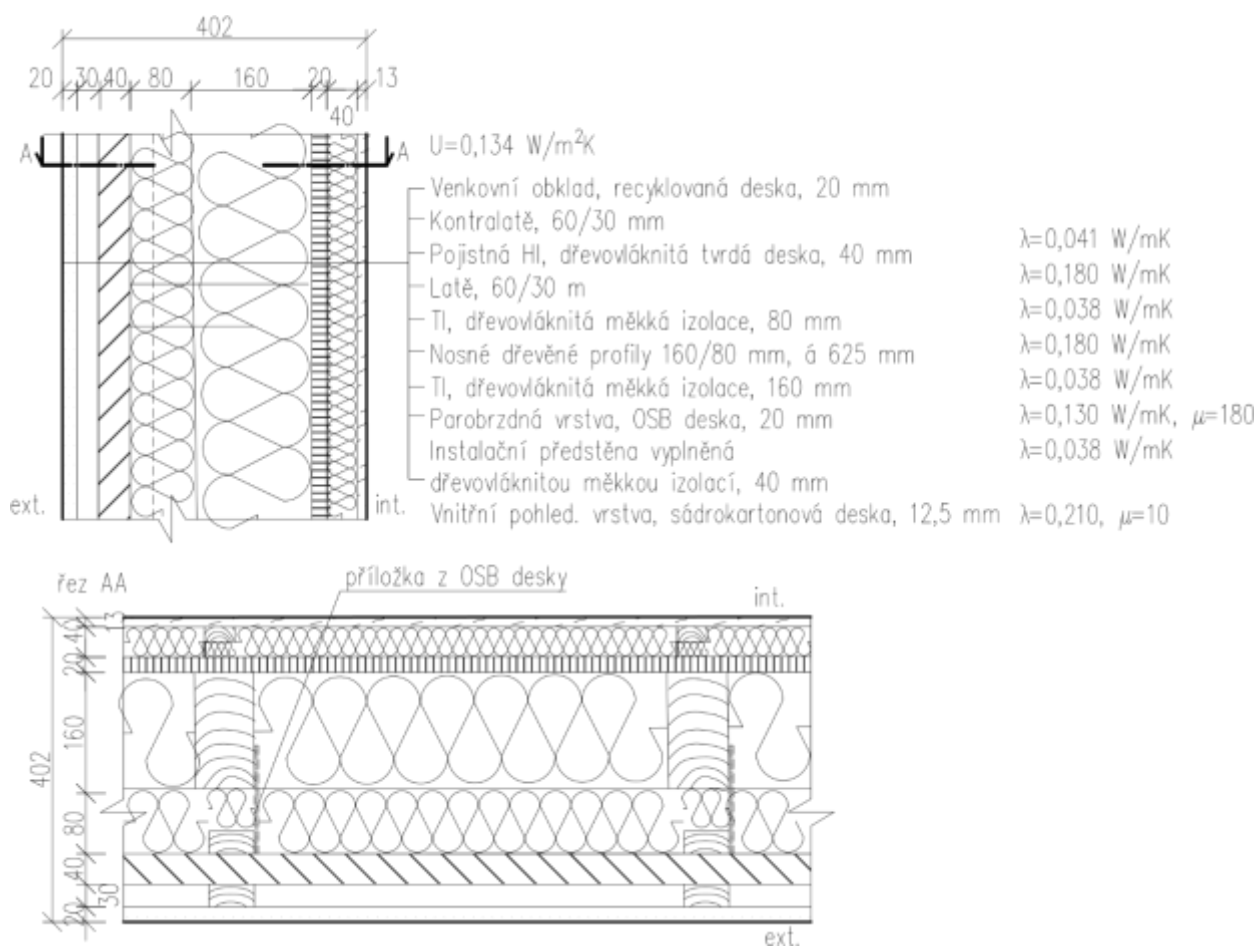
Tabulka 17 Porovnání součinitelů prostupu tepla pro nástavbu budovy kolejí na Větrníku

U všech skladeb je využita schopnost izolantu pracovat s vlhkostí (přijímat jí a distribuovat) a proto jsou navrženy jako difúzně otevřené, kde množství vodní páry je regulováno pouze parobrzdnou vrstvou (OSB deskou).

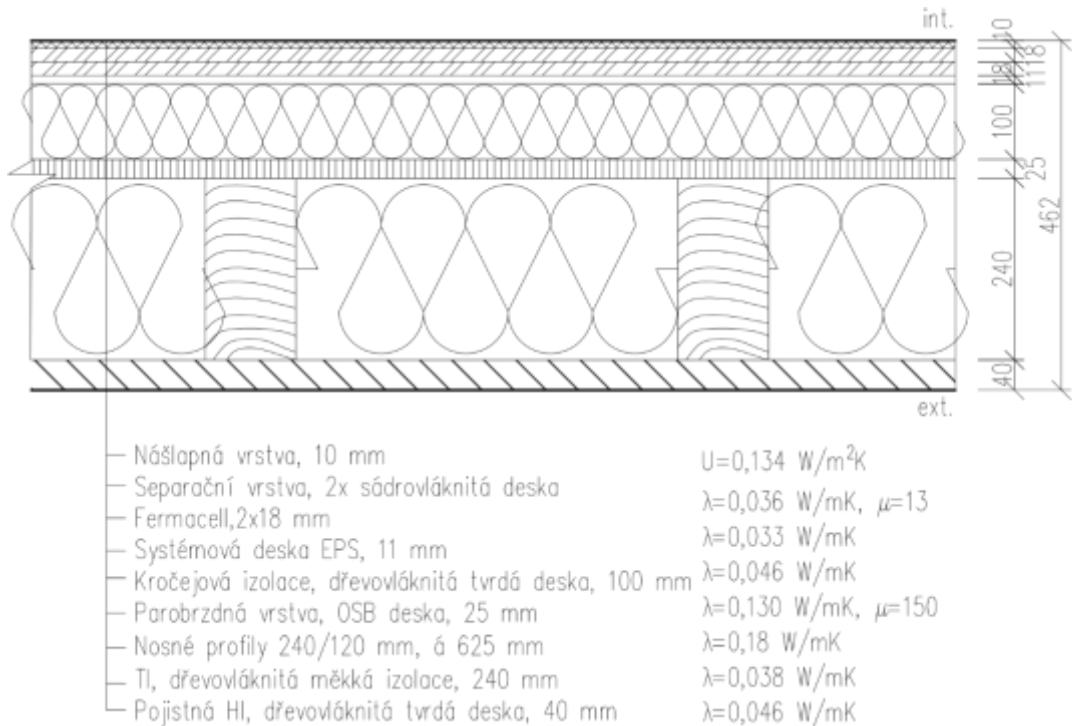
Střešní konstrukce je navržena jako dvouplášťová, pochozí. Povrchovou úpravu střešní konstrukce tvoří buď kačírek z recyklovaného kameniva (9,5% střešní plochy), recyklovaná betonová dlažba (48% střešní plochy) nebo extenzivní zeleň (36% střešní plochy). Stejně materiálové řešení finální úpravy střešní konstrukce je navrženo i pro nástavbu kolejí na Větrníku.

8.3.1 Varianta 1 – dřevitá izolace

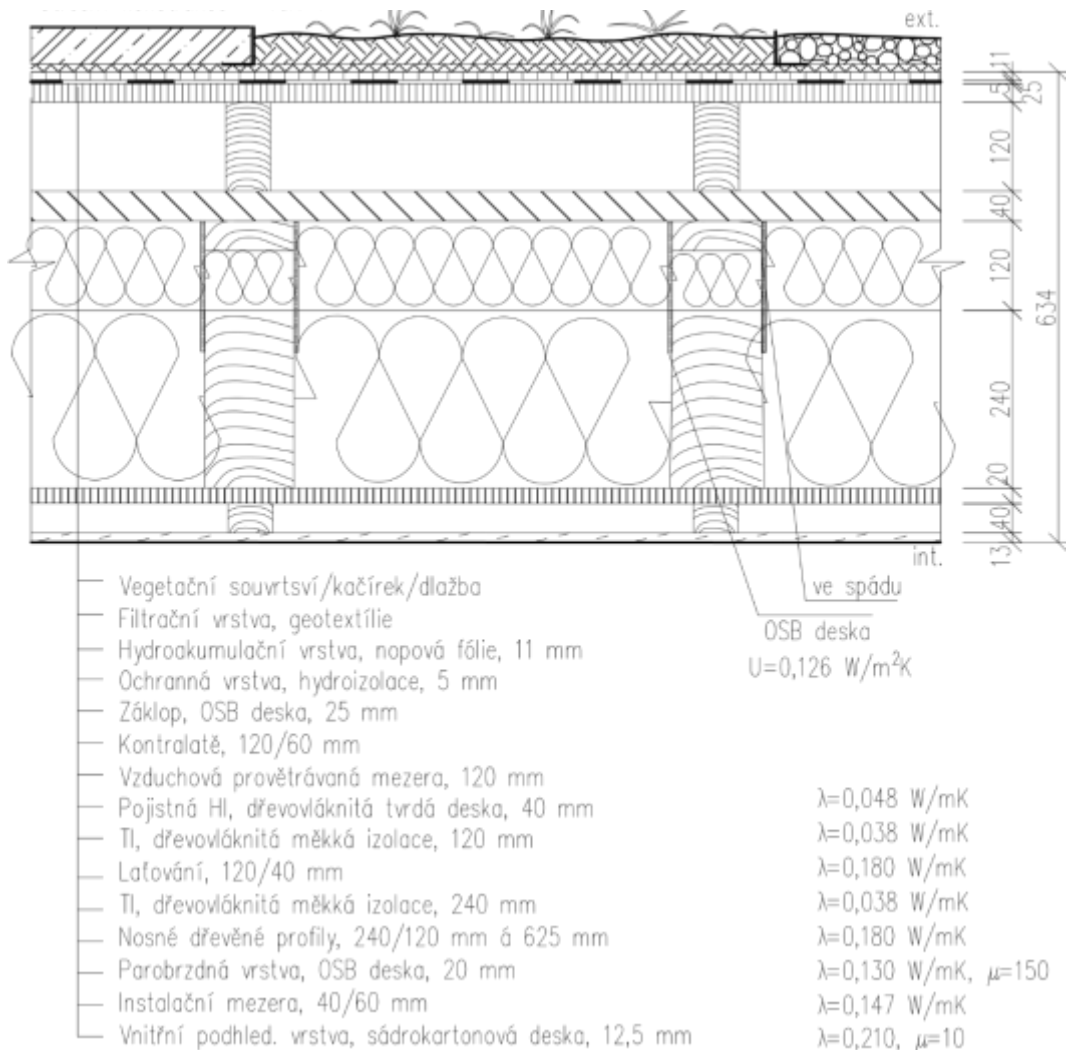
V první variantě demonstrační jednotku tvoří lehký dřevěný skelet na principu two by four, kde je izolant zvolen z dřevovláknna. Výhodami izolantu je akustický útlum, schopnost dobře odolávat požáru, práce s vlhkostí, vyšší měrná tepelná kapacita (cca 2300 Jkg/K) a výroba vycházející z přírodního a obnovitelného materiálu. Její nevýhoda je vyšší cena a také horší zpracovatelnost při aplikaci.



Obrázek 54 Skladba obvodové stěny, varianta 1



Obrázek 55 Skladba podlahy na terénu, varianta 1



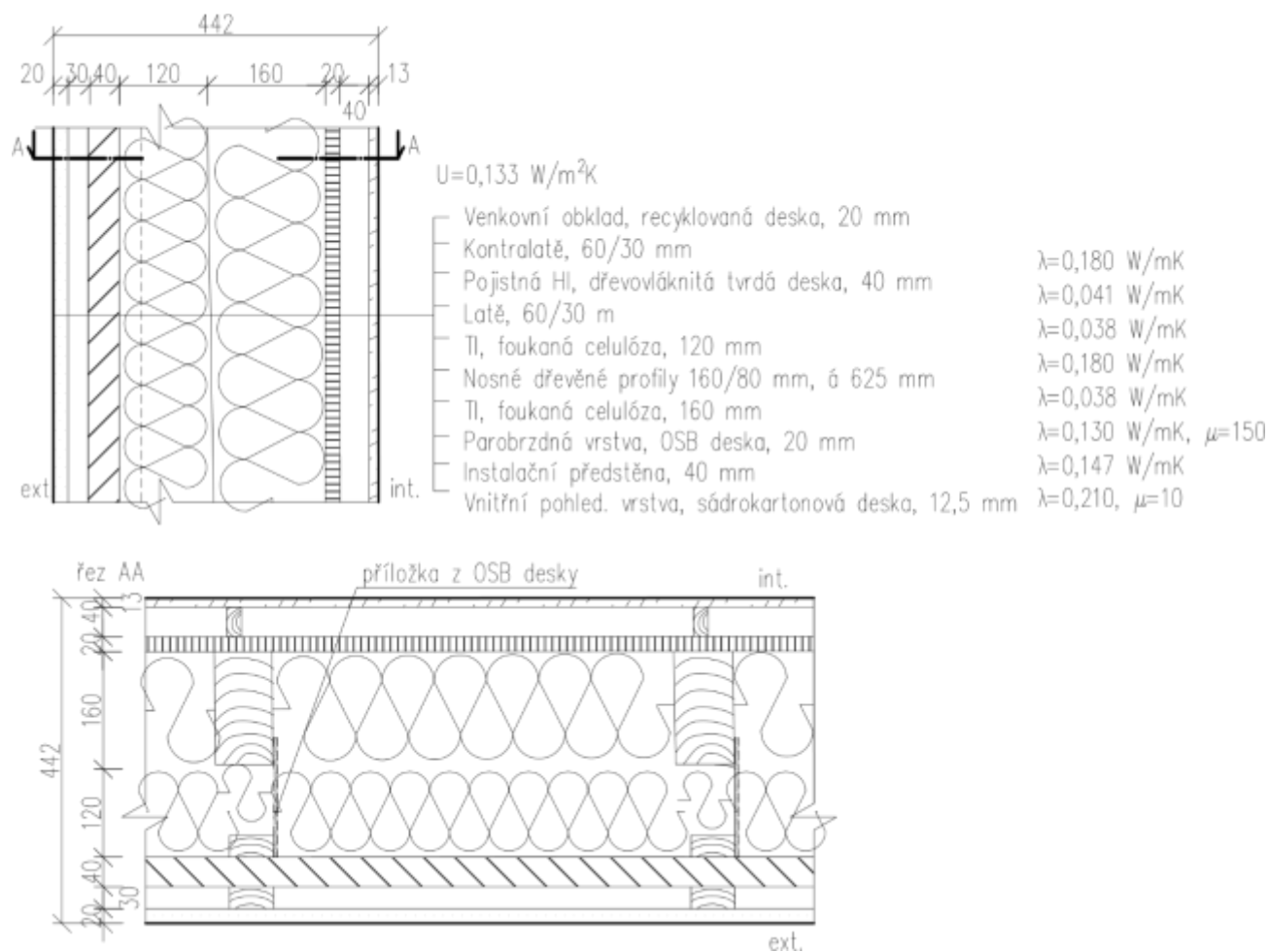
Obrázek 56 Skladba střešní konstrukce, varianta 1

8.3.2 Varianta 2 – foukaná celulóza

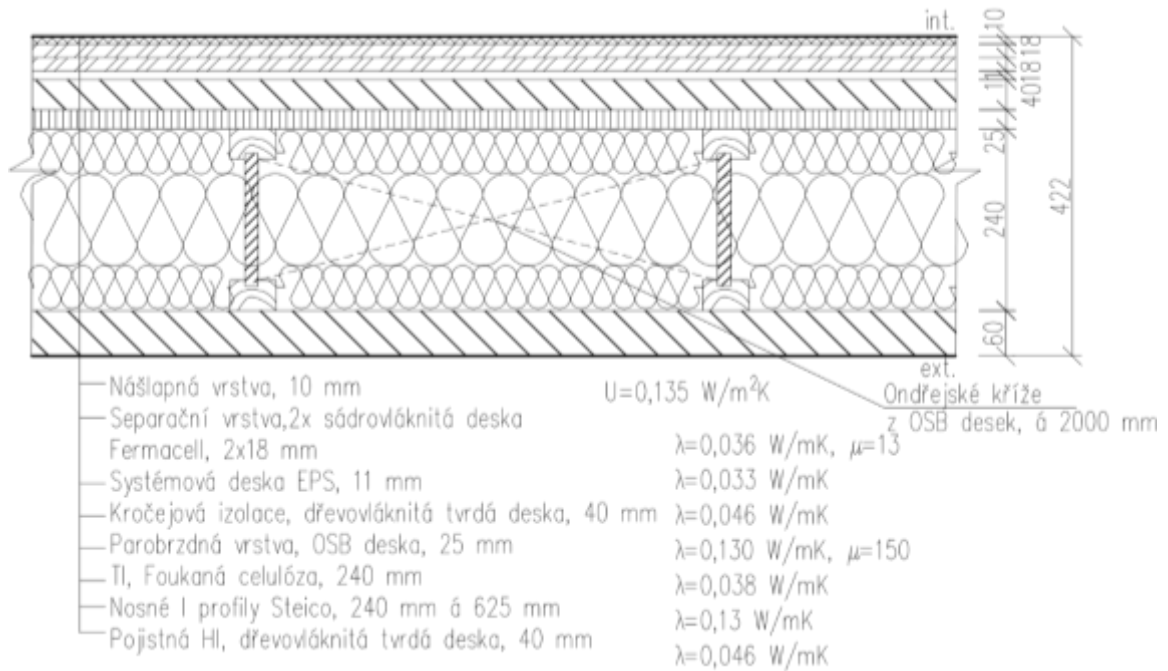
Ve druhé variantě je demonstrační jednotka sestavena z nosných vertikálních sloupků na bázi lehkého dřevěného skeletu a horizontálních nosných I nosníků od firmy Steico (pásnice tvořena KVH hranoly, stojna je z tvrdých dřevovláknitých desek). Hlavní výplňový izolant je zvolen z foukané celulózy. I nosníky jsou navrženy z důvodu eliminace tepelných mostů a zároveň možností foukání izolantu mezi ztužující Ondřejské kříže mezi jednotlivé I nosníky.

Výhoda použití foukané celulózy je podobná jako využití dřevovláknité izolace. Navíc k především výhodám (měrná tepelná kapacita je cca 2100 Jkg/K), které byly popsány u dřevovlákná, celulóza má výhodu, že se dobře dostává do špatně přístupných míst. Velkou nevýhodou foukané izolace bývá špatné provedení. Pokud by byla vystavena vysoké vlhkosti, izolace zmenší objem (scvrkne se) a vzniknou prázdná místa. Po vyschnutí se objem izolace do původního stavu nevrátí. Špatným návrhem také hrozí problém spojený se sedáním materiálu. Další nevýhodou je vyšší cena, vzhledem k tomu, že roste požadavek na vyšší objemové hmotnosti izolace na m² [19].

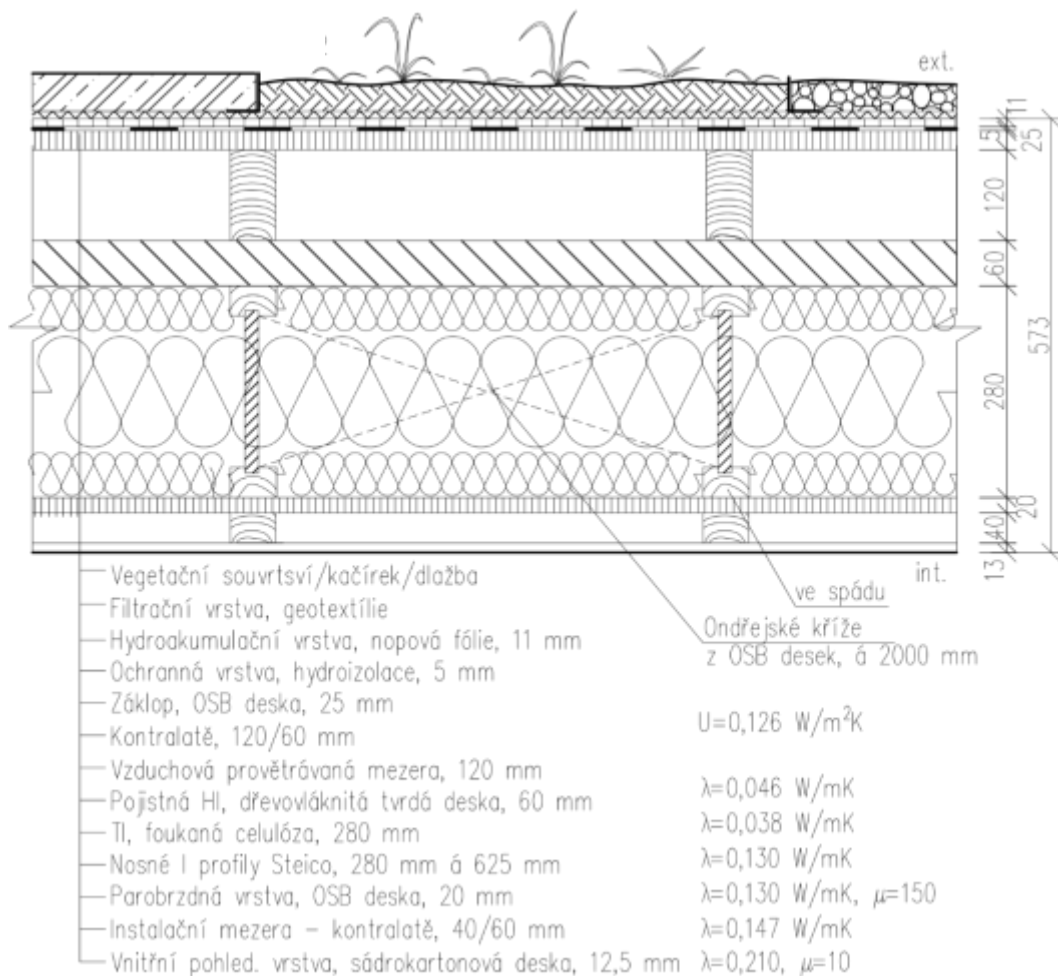
Celulóza bude foukaná do obvodové stěny otvorem vytvořeným pomocí dřevovláknitých desek z exteriéru. Tak se přejde vyřezáním dutiny do vnitřní OSB desky.



Obrázek 57 Skladba obvodové stěny, varianta 2



Obrázek 58 Skladba podlahy na terénu, varianta 2



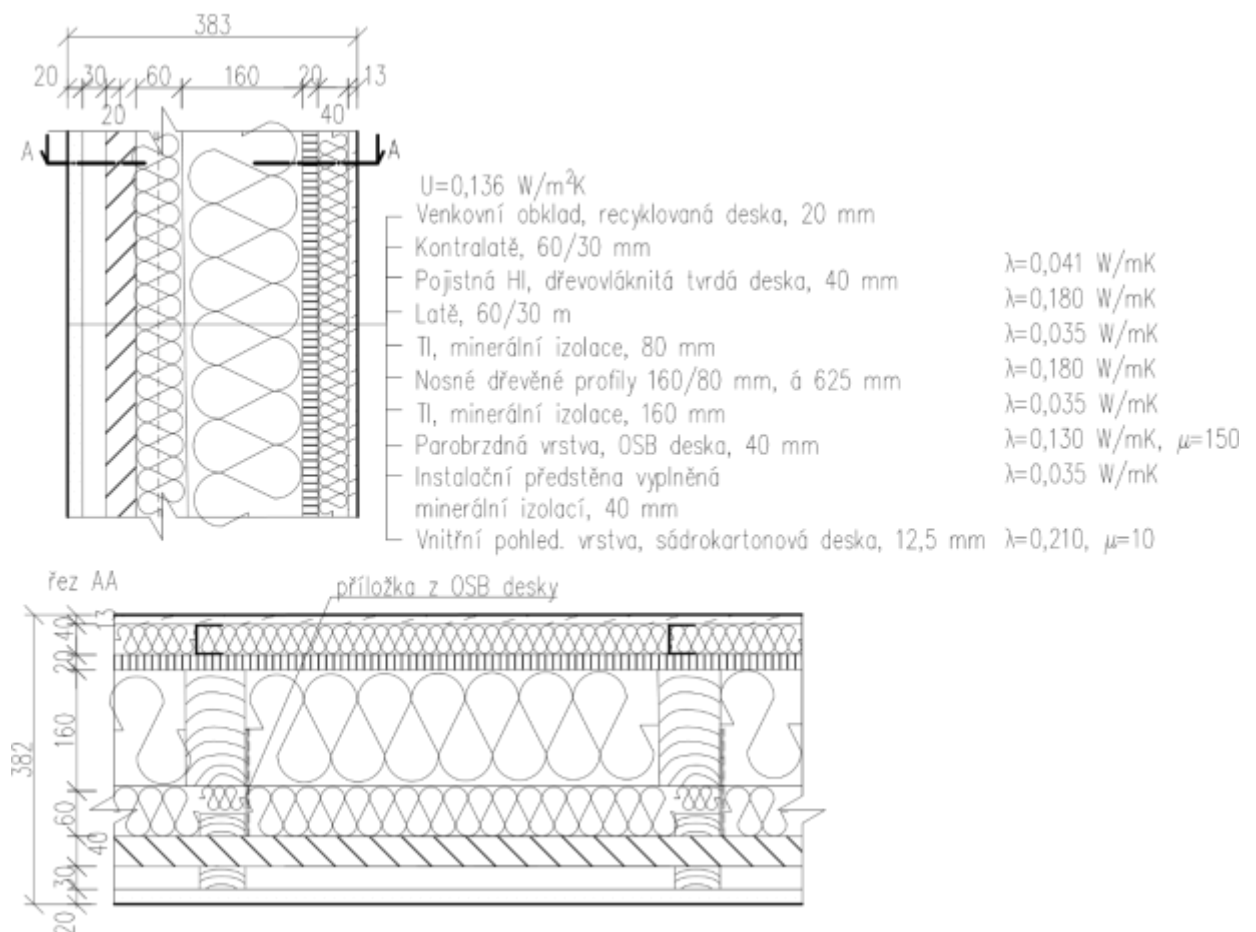
Obrázek 59 Skladba střešní konstrukce, varianta 2

8.3.3 Varianta 3 – minerální vlákno

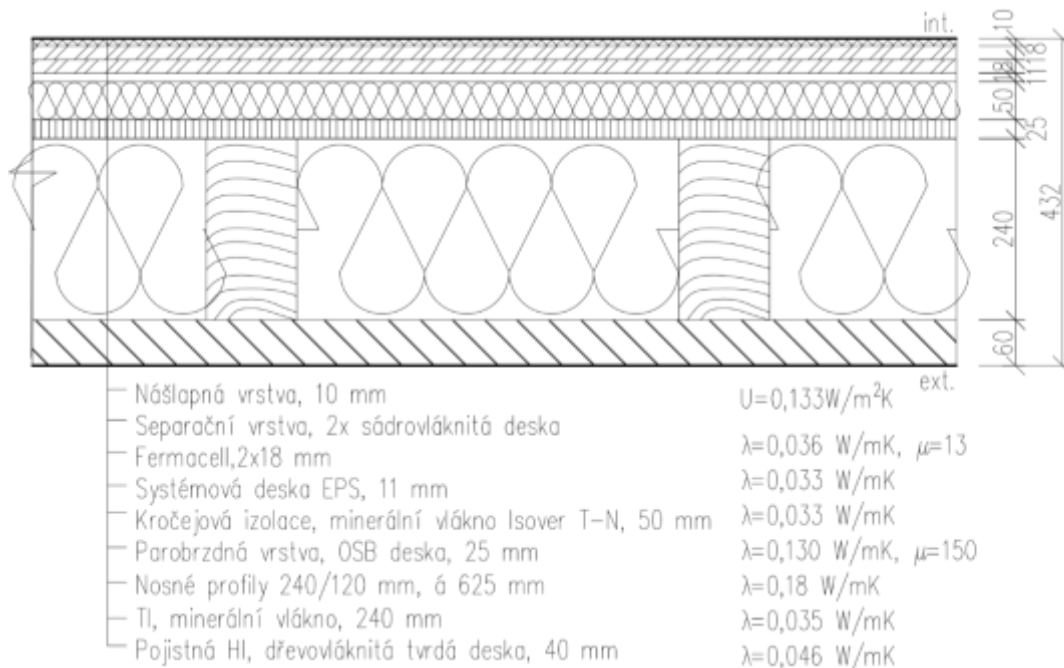
Ve třetí variantě je demonstrační jednotka na bázi lehkého dřevěného skeletu two by four, kde prostor mezi sloupky na nosníky je vyplněn izolací z minerálního vlákna. Minerální vlákno se řadí mezi dosud nejběžnější a nejpoužívanější materiály pro zateplení dřevostavby.

Výhodou materiálu je cenová a pořizovací dostupnost (téměř libovolné tloušťky materiálu), požární odolnost, dobré tepelné vlastnosti a snadná zpracovatelnost.

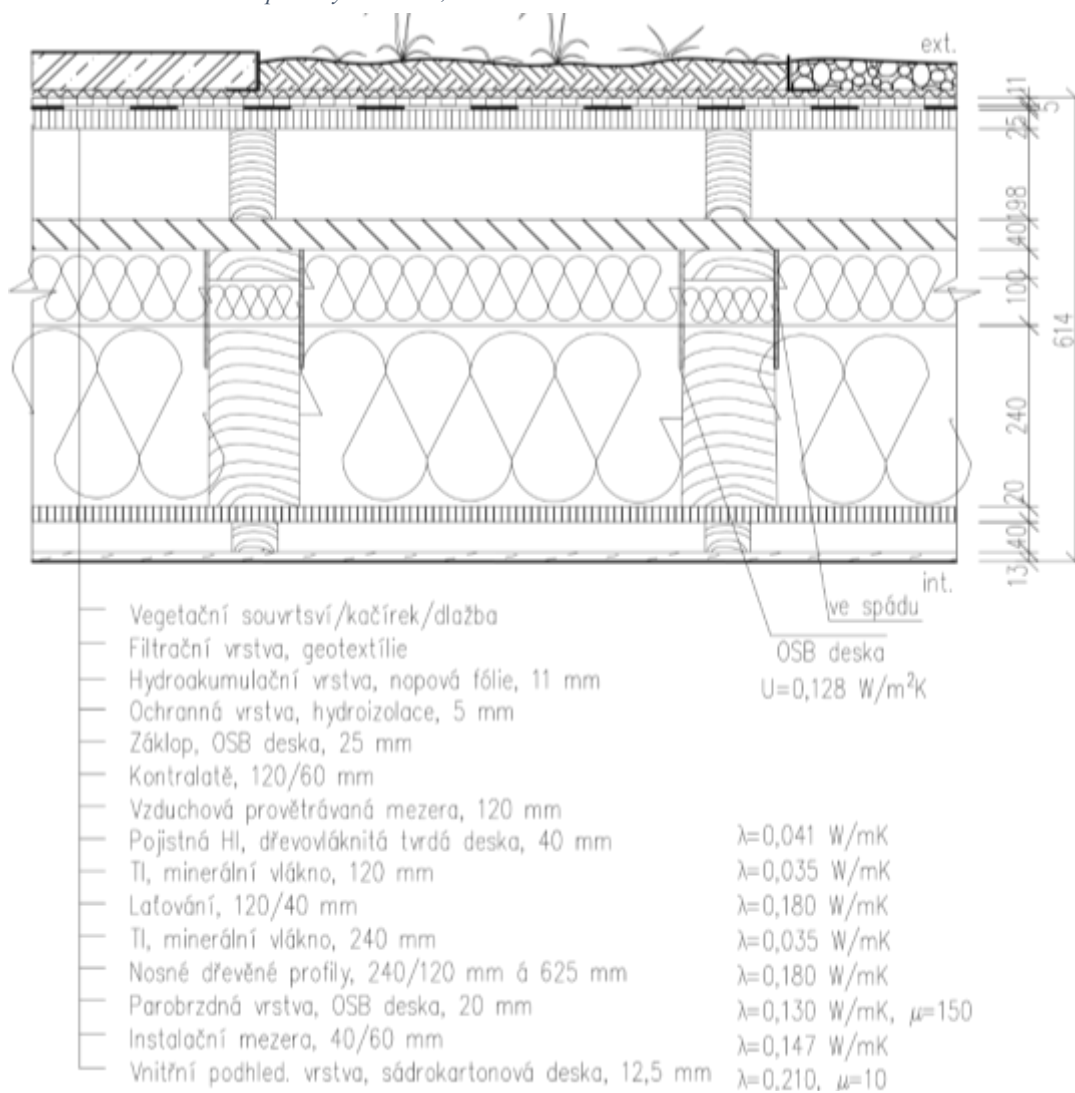
Nevýhodou minerálních vláken je, že nepochází z obnovitelného zdroje, výroba je spojena s vysokou energetickou náročností a také nižší měrná tepelná kapacita (cca 920 Jkg/K), což vede k rychlejším reakcím vnitřního prostředí na teploty prostředí venkovního.



Obrázek 60 Skladba obvodové stěny, varianta 3



Obrázek 62 Skladba podlahy na terénu, varianta 3

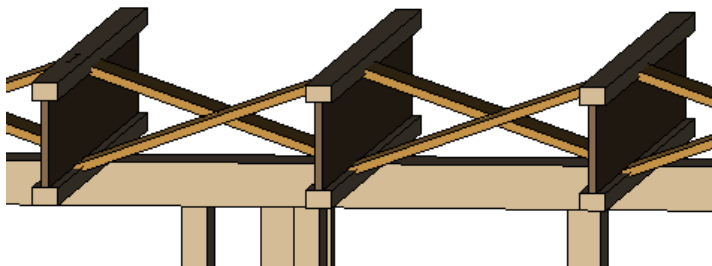


Obrázek 61 Skladba střešnı́ konstrukce, varianta 3

8.4 Tvorba modelu v programu Revitu

Pro přípravu analýzy pomocí softwaru One Click LCA jsem si v programu Revit připravila 3D model ve třech variantách dle zmíněných skladeb konstrukcí.

V prvním kroku při založení modelu jsem si vytvořila potřebné rodiny dle navržených konstrukčních prvků (rodiny = knihovna stavebních prvků v programu Revit) a vytvořila si skelet s nosnými prvky, popřípadě latěmi.



Obrázek 63 Výřez z 3D modelu konstrukčních prvků, rodina I nosníku, demonstrační jednotka – varianta 2, Revit

Ve druhém kroku jsem si vytvořila skladby stěnových, podlahových a střešních konstrukcí a jejich příslušné objemy. Ve třetím kroku jsem konstrukční prvky se skladbami konstrukcí propojila přes funkci spoj. Tím jsem docílila, že přebytečný materiál ze skladby stěny/podlahy/střechy v místě křížení s konstrukčním prvkem se oříznul a výsledný objem skladby konstrukcí (stěny/podlahy/střechy) je přesný.

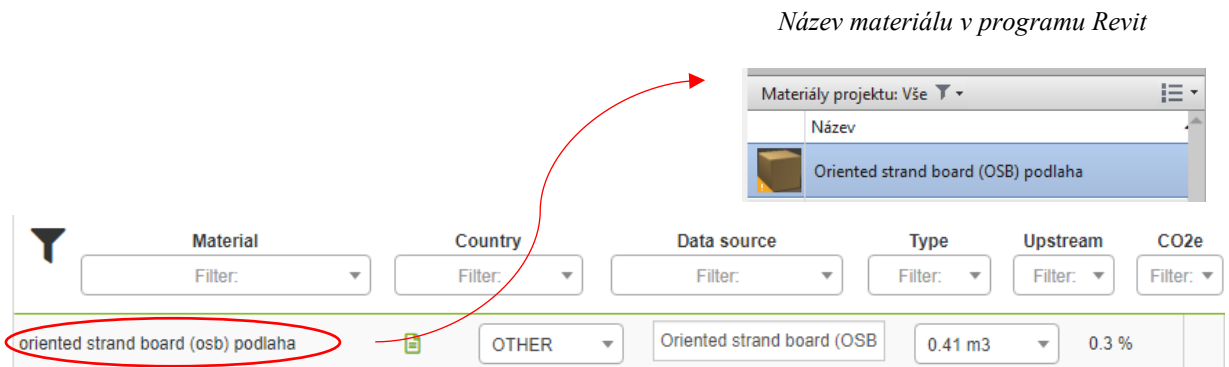


Obrázek 64 Spojení skladby střešní konstrukce s I nosníky, demonstrační jednotka – varianta 2, Revit

8.4.1 One Click LCA export modelu

Před exportem modelu je vhodné materiály pojmenovat i dle zatřídění kategorie konstrukce (obvodová stěna, interiérová stěna, podlaha, střecha, schodiště, okenní konstrukce, interiérové dveře, exteriérové dveře, ostatní) pro přehlednější práci s daty v softwaru One Click LCA. V programu všechny stěnové konstrukce se automaticky přiřadí jako exteriérové a je nutné položky opravit. Také veškeré konstrukční prvky,

okenní konstrukce a dveře se přiřadí automaticky do kategorie ostatní. Pokud budu mít v názvu materiálu napsané o jaký prvek se jedná, jednoduše v softwaru zatřídím prvek do správné kategorie.



Obrázek 65 Automatické zařídění konstrukčního prvku do kategorie ostatní, One Click LCA

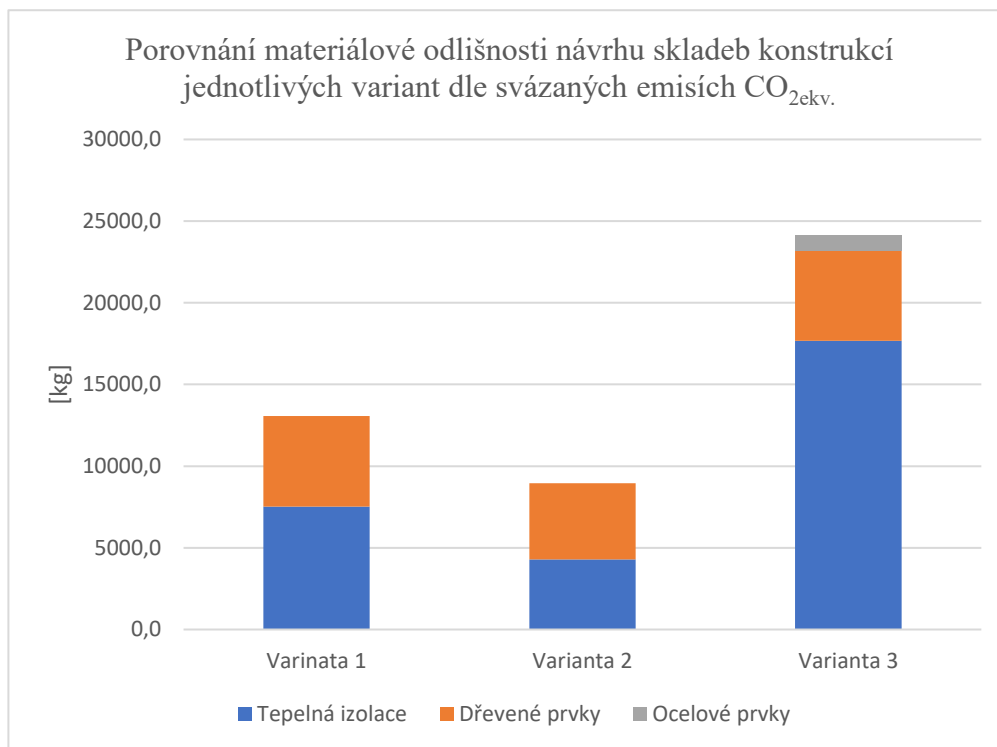
8.5 Porovnání variant návrhu dle software One Click LCA

V současné době jsou 3 nejvýznamnější kritéria, dle kterých se posuzuje environmentální dopad. První z nich je potenciál globálního oteplování, druhým je potenciál okyselování prostředí a poslední je celková spotřeba primární energie. Pro zmíněná 3 kritéria jsem zpracovala porovnání materiálového řešení jednotlivých variant demonstrační jednotky. Vzhledem k tomu, že spotřeba primární energie a celková spotřeba vody je během životnosti budovy pro všechny varianty stejná, pro porovnání jednotlivých variant není do výsledku zahrnuta. Neboli výsledky pro porovnání materiálového návrhu demonstrační jednotky jsou zaměřeny pouze na svázanou produkci emisí.

8.5.1 Potenciál globálního oteplování

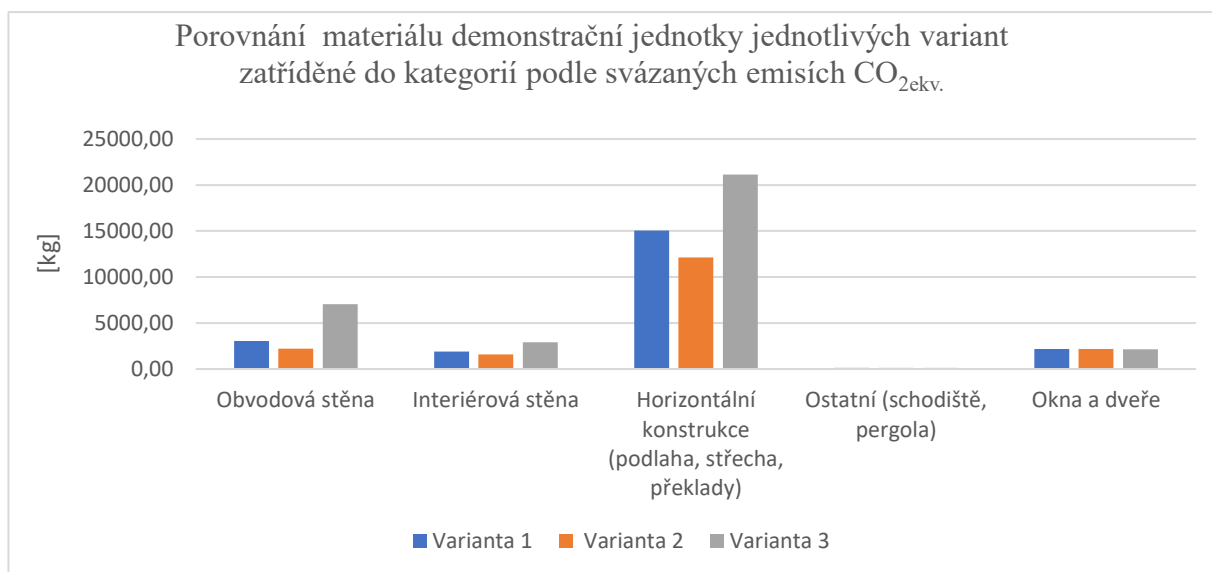
První kritérium je zaměřeno na svázané emise spojené s potenciálem globálního oteplování (svázané emise CO_{2ekv} = ekvivalentní emise vyprodukované během celého životního cyklu nebo jeho části daného výrobku způsobující skleníkový efekt [20]). V prvním kroku jsem porovnávala svázané emise CO_{2ekv} vyprodukované po dobu životnosti budovy pro odlišnost návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant. V návrhu skladeb konstrukcí se liším objemem tepelného izolantu, použitím dřevěných

nosných prvků a ve variantě č. 3 pro obvodovou konstrukci je použita ocelová lišta pro vymezení instalační mezery místo dřevěné lišty, jak má varianta 1 a 2.



Graf 26 Porovnání materiálové odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant dle svázaných emisí CO_{2ekv.}, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA

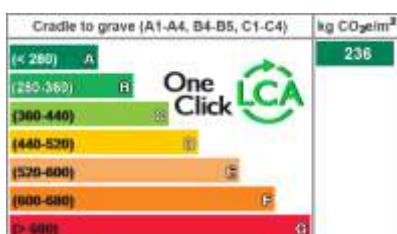
Ve druhém kroku jsem porovnávala varianty mezi sebou rozdělením všech použitých materiálů do kategorií (obvodová stěna, interiérová stěna, podlaha, střecha, schodiště, okenní konstrukce, interiérové dveře, exteriérové dveře, ostatní) dle svázaných emisí CO_{2ekv.} v průběhu životnosti budovy.



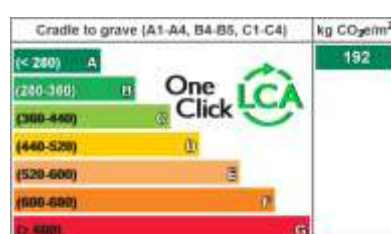
Graf 27 Porovnání materiálu demonstrační jednotky jednotlivých variant zaříděné do kategorií dle svázaných emisí CO_{2ekv.}, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA

Varianta, která nejvíce přispívá potenciálu globálního oteplování, je varianta číslo 3. Minerální vlákno má nejvyšší svázané emise $\text{CO}_{2\text{ekv.}}$. Naopak nejlépe vychází varianta číslo 2 při použití tepelného izolantu z foukané celulózy. Suma celkových emisí varianty číslo 1, respektive číslo 2, je nižší od varianty číslo 3 o 33,0 %, respektive o 45,3 %.

Vzhledem k tomu, že uhlíková stopa z budov tvoří 11 % všech uhlíkových emisí [21], software vyvinul štítek zaměřující se na uhlíkovou stopu dle typu používání budovy za účelem uhlíkové redukce. Budova je posouzena dle databáze sestavené z tisíce anonymizovaných projektů pomocí softwaru One Click LCA [22]. Do štítku je zahrnuta i spotřeba primární energie budovy a celková spotřeba vody.



Obrázek 67 Štítek uhlíkové stopy budovy, demonstrační jednotka – varianta 1, One Click LCA



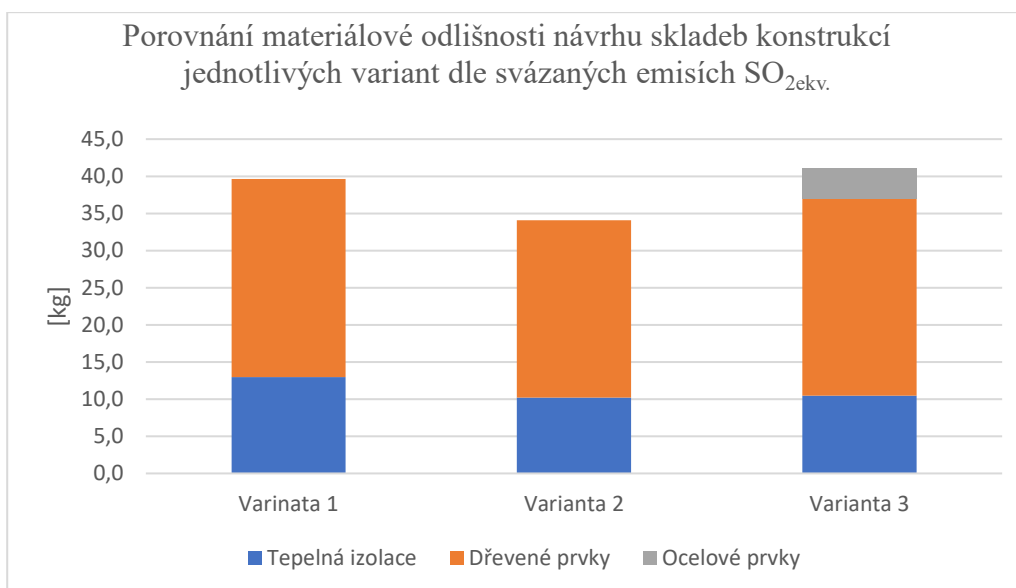
Obrázek 68 Štítek uhlíkové stopy budovy, demonstrační jednotka – varianta 2, One Click LCA



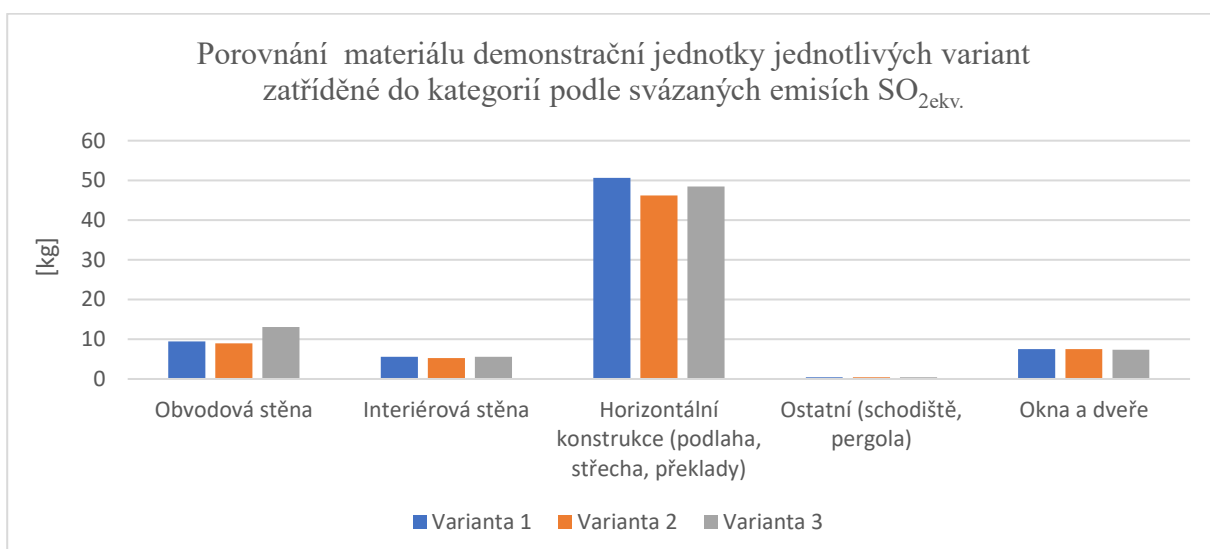
Obrázek 66 Štítek uhlíkové stopy budovy, demonstrační jednotka – varianta 3, One Click LCA

8.5.2 Potenciál okyselování prostředí

Druhé kritérium je zaměřeno na svázané emise spojené s potenciálem okyselování prostředí (svázané emise $\text{SO}_{2\text{ekv.}}$ = ekvivalentní emise vyprodukované během celého životního cyklu nebo jeho části daného výrobku způsobující acidifikaci prostředí [20]). Pro analýzu potenciálu okyselování prostředí jsem opět v prvním kroku porovnávala svázané emise $\text{SO}_{2\text{ekv.}}$ dle odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí (tepelná izolace, dřevěné prvky, ocelové prvky) po dobu životnosti budovy a ve druhém kroku jsem porovnávala varianty návrhu dle rozdělení všech materiálů do kategorií ve srovnání množství svázaných emisí $\text{SO}_{2\text{ekv.}}$ v průběhu životnosti budovy.



Graf 28 Porovnání materiálové odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant dle svázaných emisí SO_{2ekv.}, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA



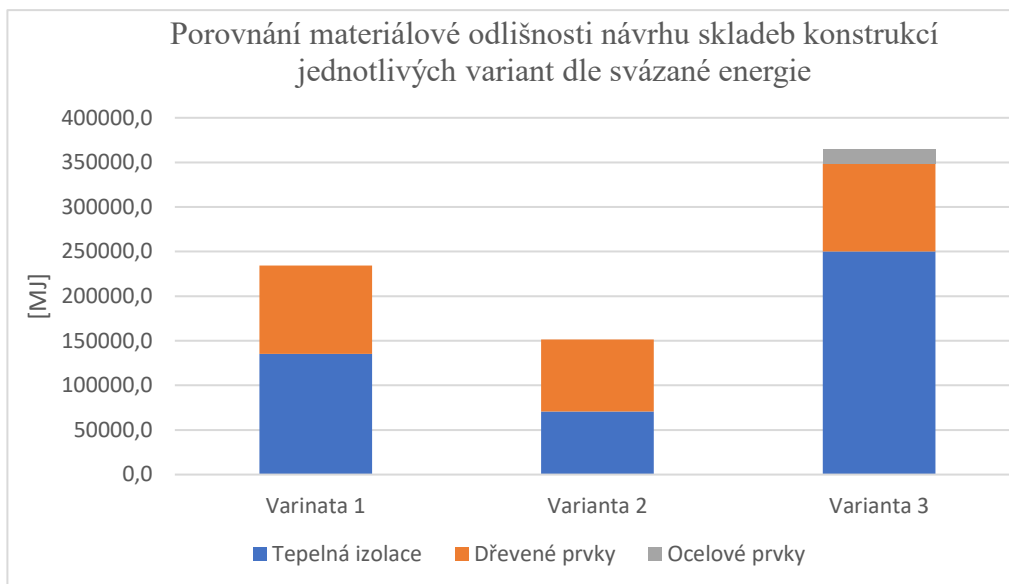
Graf 29 Porovnání materiálu variant zaříděné do kategorií podle svázaných emisí SO_{2ekv.}, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA

Varianta, která nejvíce přispívá k potenciálu okyselení prostředí, je v součtu emisí varianta číslo 3. Nejnižších emisí opět dosahuje varianta číslo 2. Suma celkových emisí varianty číslo 1, respektive číslo 2, je nižší od varianty číslo 3 o 1,8 %, respektive o 8,8 %.

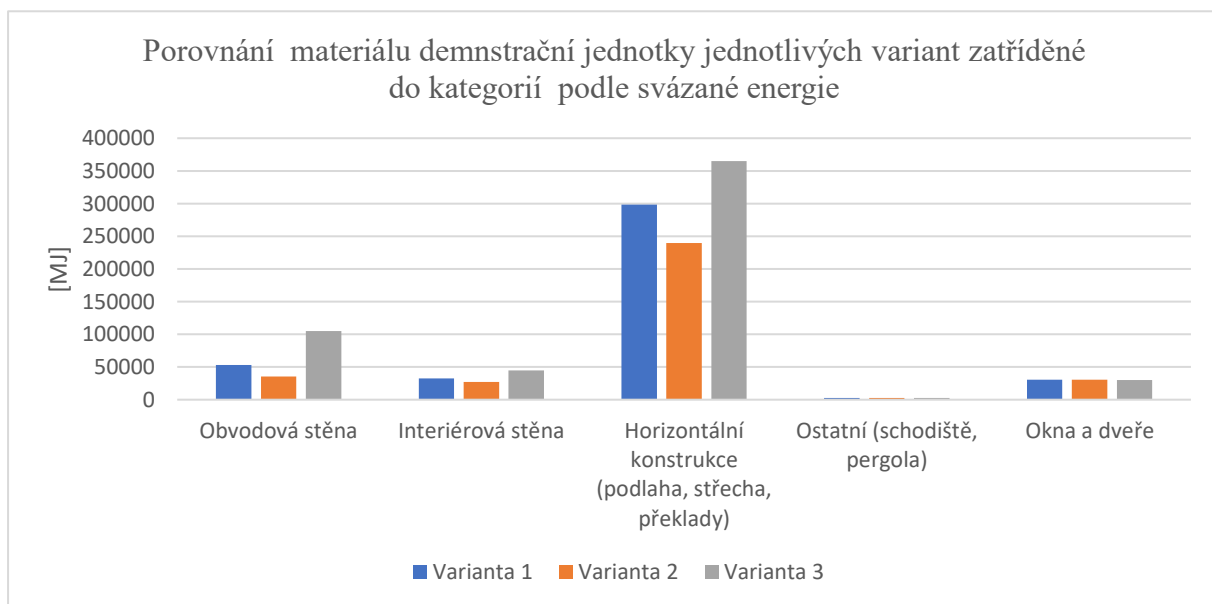
8.5.3 Spotřeba primární energie

Třetí kritérium je zaměřeno na svázané emise spojené se spotřebou primární energie (svázané energie MJ= celková spotřeba energie přírodních zdrojů během životního

cyklu výrobku [20]). Pro porovnání spotřeby primární energie jsem opět v prvním kroku porovnávala svázanou energii dle odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí (tepelná izolace, dřevěné prvky, ocelové prvky) po dobu životnosti budovy a ve druhém kroku jsem porovnávala varianty návrhu dle rozdělení všech materiálů do kategorií ve srovnáním množstvím svázané energie v průběhu životnosti budovy.



Graf 30 Porovnání materiálové odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant dle svázané energie, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA



Graf 31 Porovnání materiálu jednotlivých variant podle svázané energie, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA

Varianta, která má největší spotřebu primární energie je varianta číslo 3. Nejnižší spotřebu primární energie má varianta číslo 2. Suma celkové spotřeby primární energie

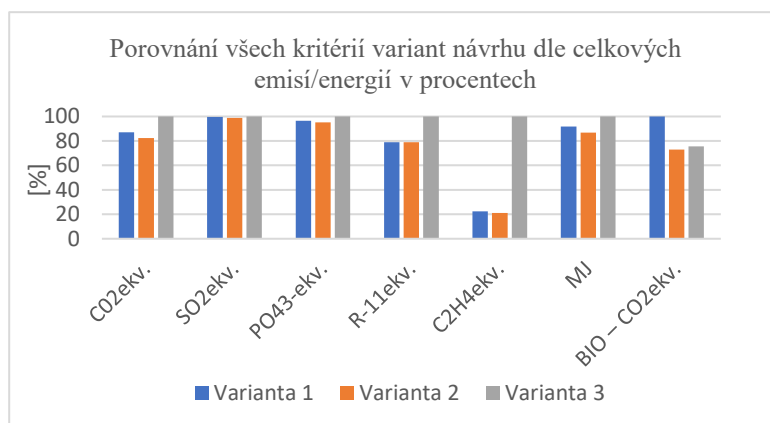
varianty číslo 1, respektive číslo 2, je nižší od varianty číslo 3 o 27,7 %, respektive o 38,7 %.

8.5.4 Porovnání produkce emisí/energie s dalšími kritérii

V této kapitole se budu zabývat nejen svázanými emisemi/energiemi, ale i emisemi z potřebné energie na chod budovy během všech fází životního cyklu budovy. Zde jsem do výsledků zahrнула i zbylá kritéria, a to eutrofizaci prostředí (svázané emise PO_4^{3-} ekv.), ničení ozonové vrstvy (svázané emise R-11 ekv.), tvorbu přízemního ozonu (svázané emise C_2H_4 ekv.) a snížení úrovně oxidu uhličitého v atmosféře (uložení biogenního uhlíku v materiálu BIO – CO_2 ekv.) [23] a již tři zmíněná. Kritéria jsem porovnávala mezi sebou pro jednotlivé varianty návrhu.

Kritérium	100 %	jednotka
CO_2 ekv.	85179,4	kg
SO_2 ekv.	538,4	kg
PO_4^{3-} ekv.	134,7	kg
R-11 ekv.	$2,5 \cdot 10^{-3}$	kg
C_2H_4 ekv.	123,3	kg
MJ	1597512,0	MJ
BIO – CO_2 ekv.	32497,9	kg

Tabulka 18 Celkové emise/energie v průběhu životnosti budovy dle jednotlivých kritérií v variantách, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA



Graf 32 Porovnání všech kritérií variant návrhu dle emisí/energií v procentech, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA

Ve všech kritériích až na množství uložení biogenního uhlíku v materiálu nejlépe vyšla variant číslo 2. Biogenní uhlík naopak nejlépe vyšel ve variantě číslo 1 a to z důvodu, že nosné dřevěné prvky měly větší objem na rozdíl od varianty 2 a také měkká dřevěná izolace dokáže lépe ukládat biogenní uhlík. Množství uložení biogenního uhlíku je pouze v programu počítána jako doplňková informace, tudíž není v analýze odečtené od svázaných emisí CO_2 ekv..

8.5.5 Výběr varianty

Dle výsledků nejlépe vyšla varianta č. 2, kde tepelná izolace byla zvolena z foukané celulózy. Pouze v kategorii uložení biogenního uhlíku do biologických materiálů byla výhodnější varianta s dřevovláknitou izolací.

8.6 Další možné výstupy z programů

Pro jednotlivé varianty návrhu je možné z program získat výkaz hmotnosti použitých materiálů. Dále jsou použité materiály seřazeny podle přispívání k potenciálu globálního oteplování a k nim nabídka alternativního výběru udržitelného materiálu pro zvolené území objektu a jeho sousední země. Déle je možné programem získat dopady svázaných emisí i energií pro všechna kritéria roztríděná do fází životního cyklu (výrobní fáze, údržba a opravy, konec životnosti). Dalším výstupem je zobrazení svázaných emisí a energií od výrobní fáze materiálu až po konec životnosti stavby. Veškeré informace jsou dostupné jak v procentech, tak v tabulkách s konkrétními hodnotami a možností stažení tabulky s výstupy do programu Excel.

9 Srovnání programů Revit s programem DesignBuilder

9.1 Klimatická data, krok výpočtu

Oba programy používají klimatická data dle meteorologických národních stanic a pro výpočet využívají hodinový krok. DesignBuilder má tu výhodu, že pomocí epw souboru lze použít i data vlastní. V Revitu lze vybrat pouze nejbližší místo s klimatickými daty.

9.2 Skladby konstrukcí (tepelné mosty, vazby)

V Revitu nelze zadat tepelné mosty či tepelné vazby. Při součiniteli prostupu tepla v programu Revit ve skladbě, kde nejsou homogenní vrstvy, by bylo vhodné zadat lambdu ekvivalentní. Jak už jsem zmínila v kapitole 4.6 *Součinitel prostupu tepla* v Revitu, není možno zadat součinitel při přestupu tepla konstrukcí se vzduchem.

V DesignBuilderu lze zadat procentuální zastoupení tepelných mostů pro skladby konstrukcí a také tepelné vazby pro konkrétní napojení konstrukcí.

Další rozdíl je v zadání tepelných parametrů okenním konstrukcím. V programu Revitu lze zadat pouze jeden součinitel prostupu tepla pro celé okno. Tudíž nelze definovat zvlášť součinitel prostupu tepla pro zasklení a okenní rám. Součinitel prostupu tepla, který je v energetickém modelu v Revitu exportován přes gbXML soubor do DesignBuilderu, se propíše do vlastností zasklení okenní konstrukce. Informace o okenním rámu musí uživatel vyplnit zvlášť.

9.3 Tvorba modelu, BIM vs BEM model

Pro tvorbu energetického modelu je jednodušší práce s daty v programu Revitu. Ten má výhodu, že lze vybírat hromadně prvky a následně upravovat jejich vlastnosti.

Například, pokud bych měnila světlou výšku v Revitu, tak bych pouze změnila výšku mezi jednotlivými patry a konstrukce by se dle zadané hodnoty zmenšily/zvětšily.

V DesignBuilderu po zadání konstrukční výšky objektu nelze objem energetického modelu dále měnit.

Také pro analýzu životního cyklu je vhodnější použít model z programu Revit, a to z důvodu, že v Revitu snadněji a přesněji lze vymodelovat objemy použitých materiálů. Tato výhoda přetrvává především při použití komplikovanějších skladeb konstrukcí (složené z více prvků – bez homogenních vrstev). Obecně platí, že v energetickém modelu lze objemy materiálu definovat pouze do skladby konstrukcí přes jednotlivé vrstvy, popřípadě přes objemy tepelných mostů jednotlivých vrstev. Čímž je možné částečně docílit stejných objemů, ale je nutné provést přesný výpočet a zadat správné procentuální zastoupení tepelných mostů, pokud je vrstva složená z více prvků. V Revitu nemusím nic dopočítávat, pouze musím konstrukční prvky spojit se skladbou podlahy/stěny/střechy a objemy jednotlivých vrstev skladby konstrukce se „oříznou“ dle protlého konstrukčního prvku.

Jinými slovy tvorba modelu v Revitu je jednodušší z důvodu, že Revit je především program pro tvorbu BIM modelů, zatímco DesignBuilder je program pouze pro tvorbu BEM modelů. Energetický model se zaměřuje na informaci o objemu jednotlivých prostorů, jeho tepelné propustnosti (popřípadě vlhkostní) a definici profilu užívání. Informační model v programu Revit se zaměřuje na tvorbu jednotlivých prvků budovy do úplných detailů, proto práce s tvorbou modelu a jejími informacemi je jednodušší skrze BIM model.

Hlavní přednostmi BIM modelů je pak koordinace všech profesí a transparentnost dat (generace výkazů, přehledný soupis informací apod.). BIM je metoda vedoucí k digitální budoucnosti ve stavebnictví umožňující vyšší efektivitu práce. V současné době práce s BIM programy se zavádí do praxe, i když zákon o informačním modelu stavby dle očekávání měl být schválen v roce 2022 [24] (kde povinnost BIM modelu by se týkala veřejných stavebních zakázek přesahující cenu 150 milionů korun). Lze předpokládat, že poptávka po využití BIM modelu pro výstavby jakýchkoliv projektů bude čím dál tím víc stoupat za potenciálem zvýšení efektivnosti práce.

Výsledkem efektivního postupu v praxi může být právě cesta kombinací informačního modelu Revit pro vytvoření energetického modelu a jeho export do programu DesignBuilder.

9.4 Definování zón

V Revitu je obecně méně možností, jak vyplnit profil užívání prostoru/zón.

Parametr, který v Revitu vyplnit nelze, je spotřeba teplé vody a přírážka tepelnými vazbami konstrukcí. Další parametry vyplnit jdou, ale oproti DesignBuilderu v omezeném množství.

Například, při vytápění/chlazení prostoru lze v obou programech nastavit hodnotu vytápění/chlazení, ale v DesignBuilderu mám ještě možnost nastavit hodnotu pro zapnutí vytápění/chlazení v době nepřítomnosti uživatelů (nastavená teplota, pod kterou teplota nesmí klenout/stoupnout v době, kdy není prostor užíván).

Při nastavení množství čerstvého vzduchu v Revitu lze určit, zda objem přiváděného vzduchu je řízen intenzitou větrání, dle počtu osob nebo podle čerstvého vzduchu na plochu místnosti. V DesignBuilderu je navíc možnost si nastavit, do které venkovní max./min. teploty bude daný prostor větrán (popřípadě rychlosti větru). U nuceného větrání v Revitu chybí možnost zadat účinnost rekuperace. Problém mohu obejít tím, že snížím objem větraného vzduchu dle účinnosti rekuperace.

Při výpočtu tepla od osob, v Revitu vyplňují parametry citelného a vázaného tepla. V DesignBuilderu metabolické teplo. V obou programech se hodnoty volí dle knihovny ASHRAE. V DesignBuilderu se navíc vyplňuje metabolický faktor, který podle pohlaví a věku určí výsledné teplo od osob (1=muž, 0,75=žena, 0,65=dítě). Tato možnost v Revitu není.

$$q_m = q_{cit} + q_{vaz} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Rovnice 4 Metabolický tok [25]

q_m metabolický tok

q_{cit} citelný tepelný tok

q_{vaz} vázaný tepelný tok

Interiérové zisky v Revit jsou rozděleny do 3 kategorií. Od osob, osvětlení a spotřebičů. Pro každou kategorii si volím rozvrh užívání. V DesignBuilderu lze zadat tepelné zisky

dohromady (dle odhadu ve W/m^2) nebo přesně podle kategorií počítače, kancelářského vybavení, smíšená, procesní a catering. V kategorii procesní a catering je možno zvlášť určit, jaký má spotřebič zdroj energie. Zde je finální teplo zmenšené ztrátovým činitelem (zmenšené o teplo odváděné do exteriéru apod.).

U zdrojů tepla je rozdíl v tom, že v DesignBuilderu mohu zvolit pro každý zdroj tepla jeho účinnost. Revit pracuje s přednastavenou knihovnou účinností dle zdroje tepla. Tuto knihovnu nelze dál upravovat. Zde si uživatel musí vybrat z nabídky dle nejvhodnějšího dopovídajícího systému.

9.5 Výpočty, simulace

Jak už jsem popsala v předchozí kapitole 9.4 *Definování zón*, v DesignBuilderu lze lépe definovat užívání jednotlivých zón. Také dle kapitoly 9.2 *Skladby konstrukcí (tepelné mosty, vazby)* jdou v DesignBuilderu definovat přesné součinitele prostupu tepla konstrukcí a přidat tepelné ztráty lineárními vazbami. Proto výsledky jsou přesnější a také přehlednější. Z výstupů z DesignBuilderu mohu získat mnohem více informací (týkající se energetických analýz). Jeden z častých výstupů, který jsem v diplomové práci využila, byla simulace letního přehřívání během návrhového týdne. Z DesignBuilderu jdou vygenerovat grafické výstupy či export dat do excelu.

Časový výkon pro provedení simulace je velmi zdlouhavý z programu Revit (vygenerování tepelných ztát/ energetického reportu pro model velikosti Větrník v řádu několika hodin). V DesignBuilderu výsledky tepelných ztát i u větších modelů jsou zpravidla velmi rychlé. Roční simulace generace výsledků trvá v řádu desítek minut (záleží na zvolení délky kroku výpočtů – měsíce/dny/hodiny/půl hodiny...) a také na množství stínících prvků.

V Revitu také bývá občas problém s generováním výstupů. Například pokud 2 stavební prvky (stěna, podlaha) nejsou napojeny přes funkci spoj, v některých případech simulace neproběhne. Chyb, dle kterých simulace neproběhne, je více (kombinací různě vytápěných částí objektu – zóny systému, nastavením vytápěné teploty, připojením externího souboru apod.). Nyní se společnost Autodesk tímto problémem zabývá. Revit bohužel negeneruje soubor, kde by bylo specifikováno, proč simulace neproběhla, a proto proces hledání, v čem je chyba, bývá velmi zdlouhavý.

9.6 Shrnutí práce s programy Revit a DesignBuilder

Pro tvorbu energetického modelu je pro mne jednodušší práce a úpravy modelu v programu Revit. Zde pomocí filtru mohu rychleji a přehledněji měnit vlastnosti

konstrukcí. Popřípadě pomocí kopie mohu docílit rychlé modelace shodných podlaží. Naopak pro energetické simulace je vhodnější program DesignBuilder z důvodu, že má více možností, jak nastavit daný model a také více výstupů a celkově přesnějších. Další výhodou je, že výpočty z programu DesignBuilder jsou při stejném objemu dat mnohem rychlejší.

Vhodný postup při tvorbě energetického modelu většího měřítka je za mne přes vytvoření modelu v programu Revit a následně přenesení energetického modelu do programu DesignBuilder, který použiji pro energetické simulace.

I když jsem pro výpočet energie z fotovoltaických systémů a hodnocení životního cyklu použila model z programu Revit, podobné výstupy je možné získat i z programu DesignBuilder, ale v plné verzi, ne studentské.

Vhodnější pro analýzu životního cyklu budovy je program Revit, kde je možné si vymodelovat s přesností každý použitý prvek (nosníky, překlady, schodiště, latě, zábradlí apod.). Je to dané tím, že Revit není program přednostně pro energetické analýzy, ale především pro modelování jednotlivých prvků do maximální přesnosti přes možnost tvorby vlastních rodin (BIM vs BEM). Jak už jsem zmínila v kapitole 2.2.1 *Zjednodušení modelu* stavební/konstrukční model, který použiji pro analýzy životního cyklu, nemohu zároveň použít jako energetický model pro další výpočty. To naopak energetický model z DesignBuilderu jde použít i pro One Click LCA analýzu, ale pouze oproti Revitu zjednodušeně.

10 Porovnání programů s normou

Jedním z cílů diplomové práce bylo zjistit, zda jsou výstupy z programů porovnatelné s normou, kde jsou jejich limity a úskalí.

Při výpočtu tepelných ztrát se výsledky od normy z obou programů liší o ± 1 %. Rozdíl odchylek je popsán v kapitole 5.5, 7.5 *Porovnání měrných toků*. Pouze tepelná ztráta tepelnými vazbami je v Revitu v obou případech nulová, protože se nedá do programu přiřádko zadat. Pokud bych porovnávala pouze tepelné ztráty objektu, který by byl celý nuceně větraný, tepelné ztráty z programu DesignBuilderu by byly vyšší, a to z důvodu, že v Energii je suma objemu větraného vzduchu za den rozpočítaná kontinuálně po dobu 24 h. V DesignBuilderu je množství větraného vzduchu za hodinu zadáno přesně. Tudiž objem větraného vzduchu za hodinu je v DesignBuilderu vyšší a pro tepelné ztráty větráním není objem vzduchu za hodinu redukován dle rozvrhu užívání nuceného větrání. Z toho důvodu vzniká rozdíl v tepelné ztrátě větráním mezi programem

DesignBuilder a Energií (odchylka se rovná procentuálnímu obsazení objektu = provozu vzduchotechniky). Vzhledem k tomu, že uvažuji účinnost zpětného získávání tepla 88 %, na celkovém součtu tepelných ztrát, potažmo měrných toků, není rozdíl příliš rapidní. Celkový objem větraného vzduchu za den je ve výsledku pro oba programy stejný. Hodnota tepelných ztrát z DesignBuilderu lépe odpovídá potřebnému výkonu zdroje tepla dle daného profilu užívání. Stejný princip vyšších tepelných ztrát jako je v programu DesignBuilder je i v programu Revit, ale s tím rozdílem, že Revit zatím neumožňuje zadání účinnosti rekuperace. Tím pádem jsem větraný vzduch zadávala snížený o účinnost zpětného získávání tepla.

Roční produkci tepla na vytápění, osvětlení a přípravu teplé vody jsem porovnávala od normy pouze hodnoty z programu DesignBuilder, a to z důvodu, že v programu Revit nelze zadat přírážku za tepelné ztráty, účinnost rekuperace a také z důvodu, že v programu Revit zatím nelze spočítat potřebou energie na přípravu teplé vody (vytvořením TZB systému množství teplé vody zadat lze, ale do výpočtů energií se teplá voda nezapočítá). Výsledky z programu Energie se od programu DesignBuilder v prvním případě lišily o 0.3 % (stávající stav), ve druhém případě o 2 % (návrhový stav). Přesné důvody odchylky viz kapitola 5.6, 7.6 *Měrná dodaná energie do budovy*.

Výstupy pro energetické analýzy, které získám programem Revit nejsou úplné, a proto nejsou pro použití do praxe zatím nejvhodnější. Nicméně možnosti simulací energetických analýz se každým rokem vylepšují a rozsah výpočtů programu se rozšiřuje. Naopak využití modelu pro hodnocení životního cyklu pro výkazy prvků, je Revit velice přesným nástrojem.

Energetické výstupy z programu DesignBuilder jsou srovnatelné s českou normou. Jsou zadané pouze s vyšší přesností (ať jde o hodinová klimatická data, možnost přesněji zadání profilu užívání apod.). Navíc z modelu v programu DesignBuilder získám více výstupů, například simulaci letního přehřívání (určení kritické místnosti).

11 Závěr

Diplomovou prací jsem analyzovala postup při tvorbě energetického modelu v programu Revit a jeho export do programu DesignBuilder, kde jsem model optimalizovala. Také jsem využila BIM model pro import dat do softwaru One Click LCA pro výběr vhodného materiálového řešení nástavby budovy.

Práci jsem se naučila zvolení vhodného postupu při tvorbě energetického modelu, popřípadě modelu stavebního, na co si dát pozor a jaké jsou limity programů.

V návaznosti na práci by bylo vhodné prověřit výsledky cloudové platformy Insight, popřípadě Green Building Studia s českou normou a v čem jsou hlavní odchylky a limity výsledků. Dalším krokem by mohlo být také ověření doplňku Insight analýza osvětlení do programu Revit s programem DesignBuilder, popřípadě srovnatelnost s českou normou.

11.1 Odpověď na položené otázky

Nejlepší způsob, jak pracovat s energetickým modelem v programu Revit, je tvorbou modelu bez zbytečných případných elementů a následným exportem stavebního modelu na model energetický přes funkci plochy a prostory. Tím docílím, že plochy a objemy odpovídají vnitřním rozměrům, ze kterých výpočty provádí i program DesignBuilder.

Energetickým modelem z programu Revit do programu DesignBuilder se přenesou pouze informace dle nastavení exportu energetického modelu. Tudiž pouze omezené množství informací se propíše do energetického modelu v programu DesignBuilder (3D model, tepelné vlastnosti, stínící konstrukce, světová orientace, umístění budovy). Pokud bych energetický model v programu Revit využívala pouze pro jeho přenos do programu DesignBuilder, nastavovat všechny parametry o dané zóně/prostoru je zbytečné. Stačí nastavit pouze parametry, které mohu exportem zachovat.

Možnosti výstupů, které jdou programem Revit získat ohledně energetických analýz je výpočet elektrické energie fotovoltaickými panely, protokol tepelných ztrát a zisků a roční energetická analýza. Limity programu jsou především ty, že v programu nelze definovat teplé mosty nehomogenním vrstvám, součinitel při přestupu tepla, přírážku za tepelné vazby, množství tepelné vody a nemožností vybírání zdroje tepla, popřípadě více zdrojů a jejich účinností. Vzhledem k tomu, že program DesignBuilder je určen pro tvorbu energetických analýz, je přesným nástrojem pro měření energie, vnitřního komfortu a osvětlení. Limity programu pro energetické simulace jsou omezené pouze studentskou licenci.

Vzhledem k tomu, že program Revit má ještě své mezery při tvorbě energetických analýz, výstupy roční energetické náročnosti budovy nejsou srovnatelné s českou normou. Naopak program DesignBuilder se osvědčil jako velmi přesný nástroj srovnatelný s českou normou.

11.2 Optimalizace návrhu nástavby

Dle energetických simulací jsem dospěla k výsledkům, že v nástavbě objektu by docházelo k letnímu přehřívání s okenními konstrukcemi orientovanými na jih, východ a západ. Varianta, která by napomohla snížení interiérové teploty pod 26,5 °C během horkých letních dní, doporučuje následující opatření. Instalaci exteriérových žaluzií s manuálním řízením (zatažení v době nepřítomnosti studentů, kteří jsou přes den ve škole), předchlazení místností využitím zelené střechy a skladbou podlahy s roznášecí vrstvou z betonu (60 mm) a nočním větráním (200 m³/hod na studentský pokoj). U stávajícího stavu objektu jsou nosné horizontální prvky ze železobetonu, a proto nebude přehřívání tak vysoké. Zde by ke snížení interiérové teploty stačily venkovní žaluzie s manuálním ovládáním a noční předchlazení s intenzitou výměny vzduchu 1 h⁻¹ (≈36 m³/hod na studentský pokoj).

Pro snížení měrné potřeby tepla na vytápění a zároveň dosažení hodnot splňujících pasivní standard (měrná potřeba tepla na vytápění je $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$), by se muselo u stávajícího stavu budovy zavést nucené větrání se zpětným získáváním tepla a vyměnit stávající zasklení okenních konstrukcí za lepší tepelně izolační sklo do stávajícího rámu okenní konstrukce (Heat Mirror-eliminace většího zásahu do stávající budovy a zároveň využití zchovalého stávajícího rámu okenní konstrukce, tepelně izolační sklo $U_g=0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Pro návrhový stav by bylo potřeba minimálně dosáhnout součinitelů prostupu tepla pro obálku budovy 0,132 W/(m²K) pro obvodovou stěnu a 0,125 W/(m²K) pro střešní konstrukci a také nástavbu nuceně větrat se zpětným získáváním tepla.

V analýze životního cyklu jsem mezi sebou porovnávala 3 varianty skladeb konstrukcí obálky budovy, které se od sebe lišily především obměnou tepelného izolantu. Z výsledků nejlépe vyšla varianta č. 2, kde hlavní tepelný izolant byl navržen z foukané celulózy.

11.3 Srovnání programů

Dle výsledků vyšlo, že energetické analýzy z programu DesignBuilder jsou vhodné pro použití v praxi. Energetické analýzy z programu Revit mají ještě své mezery, ale využití tvorby modelu přes program Revit a následné exportování energetického modelu do programu DesignBuilder nabízí rychlejší a snadnější postup.

Pro analýzy životního cyklu je vhodnější program Revit, který poskytuje přesné výkazy objemů použitých materiálů pro návrh budovy. Umožňuje přes vytváření vlastních rodin (stavebních prvků) modelaci všech prvků o různých rozměrech a tvarech. Z toho důvodu je vhodným nástrojem pro synchronizaci dat se softwarem One Click LCA.

Použité zkratky

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Americká organizace odborníků pro topení, chlazení a klimatizaci)
BEM	Building Energy Model (Informační model budovy)
BIM	Building Information Modeling (Energetický model budovy)
BREEM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Stavební výzkumné zařízení, metoda hodnocení environmentální analýzy)
ČSN	Česká technická norma
ČVUT	České vysoké učení technické
DB	DesignBuilder
epw	EnergyPlus Weather Data File (EnergyPlus klimatická data)
GBS	Green Building Studio (Studio zelené budovy)
gbXML	Green Building eXtensible Markup Language (Rozsáhlé informace pro přenos energetických dat zelených budov)
HDU	House demonstration unit (demonstrační jednotka)
KVH	Konstruktionsvollholz (konstrukční stavební dřevo)
LCA	Life Cycle Assessment (analýza životního cyklu)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Vedení v energetickém a environmentálním návrhu)
NP	nadzemní podlaží
NS	návrhový stav
OSB	Oriented Strand Board (velkoplošné orientované třísky)
S-JTSK	System jednotné trigonometrické sítě katastrální
SS	stávající stav
NS	návrhový stav
TČ	tepelné čerpadlo
TZB	technické zařízení budov
WMO	World Meteorological Organization (Světová meteorologická organizace)

Použité jednotky

a	za rok
cm	centimetr
°C	stupeň Celsia
h	hodina
J	Joule
K	Kelvin
k	kilo
lx	lux
kg	kilogram
M	mega
m, m ² , m ³	metr, metr čtvereční, metr krychlový
mm	milimetr
W	Watt

Bibliografie

- [1] S. P. Sadhu Ayan, "Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling," *Sustainable Cities and Society*, 2019.
- [2] SDE, "solar decathlon europe," 2017. [Online]. Available: <https://solardecathlon.eu/>.
- [3] AutodeskHelp, "Material Thermal Properties - Conceptual Types," AUTODESK, 11 listopad 2021. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-004A470D-675B-4CB0-96AE-D4A6852BDDA3-htm.html>.
- [4] ASHRAE, "Standard 90.1-2019 (I-P Edition) -- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ANSI Approved; IES Co-sponsored)," 2019.
- [5] ASHRAE, "Standard 90.2-2007 -- Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings (ANSI Approved)," 2007.
- [6] ASHRAE, "INTERPRETATION IC 62.1-2010-6 OF ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1-2010 VENTILATION FOR ACCEPTABLE INDOOR AIR QUALITY," 2014.
- [7] AutodeskHelp, "Zones," 21 Srpen 2021. [Online]. Available: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/ENU/?guid=GUID-C4115E01-4FD5-406E-B738-5AB927235240>.
- [8] AutodeskHelp, "Weather Data," AUTODESK, 22 Srpen 2020. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn->

explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-CE607F67-D169-4E6D-9B7F-35BEE9101BEC-htm.html.

- [9] A. Engineers, 2005 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, 2005.
- [10] AutodeskHelp, “Fenestration Heat Gain,” AUTODESK, 30 květen 2021. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-D6D2D780-C926-44F1-BED0-B757474AF457-htm.html>.
- [11] Marjoriestein, “blogs.autodesk.com,” AUTODESK, 18 únor 2014. [Online]. Available: <https://blogs.autodesk.com/insight/autodesk-green-building-studio-adopts-the-newest-doe-22-version-48n-in-64-bit-for-our-february-2014-release/>.
- [12] S. Sharifi, “Using Revit and Insight to achieve Architecture 2030 Challenge goals,” 5 květen 2018. [Online]. Available: <https://blogs.autodesk.com/revit/2018/03/05/revit-and-insight-to-achieve-architecture-2030-goals/>.
- [13] ExpertsAEC, “Building Orientation in BIM,” 5 květen 2018. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/getting-started/caas/simplecontent/content/building-orientation-bim-0.html>.
- [14] ENERGYPLUS™, “The Reference to EnergyPlus Calculations,” 1 Říjen 2013. [Online]. Available: <https://wem.lbl.gov/sites/all/files/engineeringreference.pdf>.
- [15] SoftwareDesignBuilder, DesignBuilder 2.1, Simulation Hourly Weather Data, © 2009 DesignBuilder Software, 2009.
- [16] SoftwareDesignBuilder, DesignBuilder 2.1, Doors, © 2009 DesignBuilder Software, 2009.
- [17] AutodeskHelp, “Opening Element,” 14 duben 2015. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-DocumentsPresent/files/GUID-B98B799E-EDCD-43B7-BAB3-953856BE43D0-htm.html>.
- [18] DesignBuilderHelp, “Component Block,” 2009. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv5.2/Content/Component_Block_Material.htm.
- [19] M. Růžička, Moderní dřevostavba, Praha: Garda Publishing, 2014.
- [20] Envimat, “Slovník pojmů,” 2010. [Online]. Available: <http://www.envimat.cz/metodika/pojmy/>.
- [21] A. Howarth, “New report: the building and construction sector can reach net zero carbon emissions by 2050,” *Marketing Communications Director, World Green Building Council*, 2019.
- [22] P. P. a. R. Castro, “Carbon Heroes Benchmark Program – whole building,” *Journal of Physics*, 2019.
- [23] Shaun, “Biogenic Carbon,” 12 leden One Click LCA. [Online]. Available: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015036640-Biogenic-Carbon>.

- [24] J. Lodal, "Odpovědi na nejčastější dotazy (FAQ) v souvislosti s Konceptí zavádění metody BIM," 15 červenec 2021. [Online]. Available: <https://www.koncepcebim.cz/975-odpovedi-na-nejcastejsi-dotazy-faq-v-souvislosti-s-koncepci-zavadeni-metody-bim>.
- [25] V. Zmrhal, "vetrani.tzb-info.cz," 11 únor 2019. [Online]. Available: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/18622-produkce-tepla-osob-jako-podklad-pro-energeticke-simulacni-vypocty>.
- [29] SoftwareDesignBuilder, DesignBuilder Revit – gbXML Tutorial, © 2018 DesignBuilder Software, 2018.
- [30] J. Hodková, "Slovník pojmů," 2010. [Online]. Available: <http://www.envimat.cz/metodika/pojmy/>.
- [31] BIMkoncepte, "Co je BIM," 2021. [Online]. Available: <https://www.koncepcebim.cz/831-co-je-bim>.

Seznam grafů

Graf 1 Srovnání výpočtů měrných toků energetického modelu s normovým výpočtem, stávající stav	42
Graf 2 Srovnání roční produkce tepla energetického modelu s normovým výpočtem, stávající stav	43
Graf 3 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – sever, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder	44
Graf 4 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – východ, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	45
Graf 5 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – západ, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder	45
Graf 6 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místnosti dle jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder	48
Graf 7 Výsledky simulací vnitřní teploty v typické místnosti s orientací okenní konstrukce na západ dle jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder....	50
Graf 8 Výsledky simulací vnitřní teploty v typické místnosti s orientací okenní konstrukce na východ dle jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder....	50
Graf 9 Energetická bilance, stávající stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	51
Graf 10 Srovnání výpočtů měrných toků energetického modelu s normovým výpočtem, návrhový stav	58
Graf 11 Srovnání roční produkce tepla energetického modelu s normovým výpočtem, návrhový stav	59
Graf 12 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – jih, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder	63
Graf 13 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – východ, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	63
Graf 14 Výsledky přehřívání studentských pokojů dle orientace okenních konstrukcí – západ, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	64
Graf 15 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místnosti jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder	67
Graf 17 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místnosti s orientací okenních konstrukcí na východ jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder..	70
Graf 18 Výsledky simulací vnitřní teploty v kritické místnosti s orientací okenních konstrukcí na jih jednotlivých variant v průběhu návrhového letního týdne, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	70
Graf 19 Energetická bilance, bez opatření, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder	71
Graf 20 Energetická bilance, opatření I, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	72
Graf 21 Energetická bilance, opatření II, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder	73
Graf 22 Energetická bilance, opatření III, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder	74
Graf 23 Energetická bilance, opatření IV, návrhový stav, výpočet z programu DesignBuilder.....	76

Graf 24 Srovnání opatření dle měrné roční potřeby tepla na vytápění vztažené k vytápěné ploše, návrhový stav	77
Graf 25 Energetická bilance, demonstrační jednotka, výpočet z programu DesignBuilder	80
Graf 26 Roční bilance elektrické energie, demonstrační jednotka	81
Graf 27 Porovnání materiálové odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant dle svázaných emisí CO _{2ekv.} , demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	91
Graf 28 Porovnání materiálu demonstrační jednotky jednotlivých variant zaříděné do kategorií dle svázaných emisí CO _{2ekv.} , demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	91
Graf 29 Porovnání materiálové odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant dle svázaných emisí SO _{2ekv.} , demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	93
Graf 30 Porovnání materiálu variant zaříděné do kategorií podle svázaných emisí SO _{2ekv.} , demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	93
Graf 31 Porovnání materiálové odlišnosti návrhu skladeb konstrukcí jednotlivých variant dle svázané energie, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	94
Graf 32 Porovnání materiálu jednotlivých variant podle svázané energie, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	94
Graf 33 Porovnání všech kritérií variant návrhu dle emisí/energií v procentech, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	95

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma postupu práce zvolené metodiky	10
Obrázek 2 Typově stejný půdorysný tvar kolejí Na Větrníku, www.googlemaps.com	11
Obrázek 3 Dispoziční řešení demonstrační jednotky, Revit	13
Obrázek 5 Nastavení úrovně terénu pro energetický model, Revit	14
Obrázek 6 Nastavení materiálových vlastností konstrukcí pro tvorbu energetického modelu pomocí funkce koncepční objem, Revit	16
Obrázek 7 Energetický model pomocí funkce stavební prvky, demonstrační jednotka, Revit	17
Obrázek 8 Energetický model pomocí funkce místnosti a prostory, demonstrační jednotka, Revit	19
Obrázek 9 Nastavení umístění objektu a následný výběr meteorologické stanice, Revit	21
Obrázek 10 Optimalizace návrhu modelu pomocí změny profilu užívání, cloudová platforma Insight	24
Obrázek 11 Schéma 2 možností přenosu energetického modelu z programu Revit do programu DesignBuilder [29]	28
Obrázek 12 Rozšířený panel nabídek v programu Revit po stažení doplňku od DesignBuilderu a nastavení exportu energetického modelu	29
Obrázek 13 Nastavení exportu energetického modelu v Revitu pro přenos informací souborem gbXML	29
Obrázek 14 Energetický model Kolejí Větrník, stávající stav, Revit	29
Obrázek 15 Energetický model exportovaný pomocí doplňku, stávající stav, DesignBuilder	29
Obrázek 16 Ukázka definování plochy povrchu, textový soubor gbXML	30
Obrázek 17 Ukázka definování plochy povrchu, Revit	31
Obrázek 18 Ukázka přenesení informací o umístění objektu, textový soubor gbXML	32
Obrázek 19 Energetický model – první zóna (studentské pokoje), stávající stav, Revit	38
Obrázek 20 Energetický model – třetí zóna (chodba), stávající stav, Revit	39
Obrázek 21 Energetický model – druhá zóna (hygienické prostory), stávající stav, Revit	39
Obrázek 22 Energetický model – čtvrtá zóna (podzemní podlaží), stávající stav, Revit	40
Obrázek 23 Ukázka reportu výkazu plochy okenních konstrukcí v energetickém modelu, Revitu	41
Obrázek 24 Výřez půdorysu podlaží 3. NP, vyznačení kritické místnosti, stávající stav, Revit	46
Obrázek 25 Kritická místnost, studentský pokoj 3. NP (jihozápadní orientace), stávající stav, Revit	46
Obrázek 26 Výřez půdorysu podlaží 3. NP, vyznačení typické studentské místnosti s orientací okenních konstrukcí na západ a východ, stávající stav, Revit	49
Obrázek 27 Energetický model po sloučení objemu budovy se stínícími prvky, návrhový stav, DesignBuilder	53
Obrázek 28 Energetický model – první zóna (studentské pokoje), návrhový stav, Revit	54
Obrázek 29 Energetický model – třetí zóna (chodba), návrhový stav, Revit	55

Obrázek 30 Energetický model – druhá zóna (hygienické prostory), návrhový stav, Revit.....	55
Obrázek 31 Energetický model – čtvrtá zóna (volný prostor pro vedení technického zařízení budov), návrhový stav, Revit.....	56
Obrázek 32 Uspořádání fotovoltaických panelů– varianta 1, návrhový stav, Revit.....	60
Obrázek 33 Uspořádání fotovoltaických panelů– varianta 2, návrhový stav, Revit.....	61
Obrázek 34 Roční ozáření panelů, varianta 2, Revit.....	61
Obrázek 35 Roční ozáření panelů, varianta 1, Revit.....	61
Obrázek 36 Roční produkce el. energie a finanční návratnost – varianta 2, návrhový stav, Revit.....	61
Obrázek 37 Roční produkce el. energie a finanční návratnost – varianta 1, návrhový stav, Revit.....	61
Obrázek 38 Kritický místnost, studentský pokoj 5. NP (západní orientace), návrhový stav, Revit.....	64
Obrázek 39 Výřez půdorysu podlaží 5. NP, vyznačení kritické místnosti, návrhový stav, Revit.....	65
Obrázek 40 Výřez půdorysu podlaží 3. NP, vyznačení kritické místnosti s orientací okenních konstrukcí na jih, Revit.....	69
Obrázek 41 Výřez půdorysu podlaží 5. NP, vyznačení kritické místnosti s orientací okenních konstrukcí na východ, Revit.....	69
Obrázek 42 Schéma kolejí na Větrníku, bez opatření, návrhový stav.....	71
Obrázek 43 Schéma kolejí na Větrníku, opatření I, návrhový stav.....	72
Obrázek 44 Schéma kolejí na Větrníku, opatření II, návrhový stav.....	73
Obrázek 45 Schéma kolejí na Větrníku, opatření III, návrhový stav.....	74
Obrázek 46 Schéma kolejí na Větrníku, opatření IV, návrhový stav.....	75
Obrázek 47 Energetický štítek, bez opatření, návrhový stav, Energie.....	75
Obrázek 48 Energetický štítek, opatření IV, návrhový stav, Energie.....	75
Obrázek 49 Ukázka doplňku One Click LCA na kartě v programu Revit.....	78
Obrázek 50 Ukázka přehledu informací dle knihovny materiálů, One Click LCA.....	78
Obrázek 51 Energetický model, demonstrační jednotka, DesignBuilder.....	79
Obrázek 52 Uspořádání fotovoltaických panelů, demonstrační jednotka, Revit.....	80
Obrázek 53 Roční produkce el. energie a finanční návratnost, Revit.....	81
Obrázek 54 Roční ozáření panelů, Revit.....	81
Obrázek 55 Skladba obvodové stěny, varianta 1.....	82
Obrázek 56 Skladba podlahy na terénu, varianta 1.....	83
Obrázek 57 Skladba střešní konstrukce, varianta 1.....	83
Obrázek 58 Skladba obvodové stěny, varianta 2.....	85
Obrázek 59 Skladba podlahy na terénu, varianta 2.....	86
Obrázek 60 Skladba střešní konstrukce, varianta 2.....	86
Obrázek 61 Skladba obvodové stěny, varianta 3.....	87
Obrázek 62 Skladba střešní konstrukce, varianta 3.....	88
Obrázek 63 Skladba podlahy na terénu, varianta 3.....	88
Obrázek 64 Výřez z 3D modelu konstrukčních prvků, rodina I nosníku, demonstrační jednotka – varianta 2, Revit.....	89
Obrázek 65 Spojení skladby střešní konstrukce s I nosníky, demonstrační jednotka – varianta 2, Revit.....	89
Obrázek 66 Automatické zařazení konstrukčního prvku do kategorie ostatní, One Click LCA.....	90
Obrázek 67 Štítek uhlíkové stopy budovy, demonstrační jednotka – varianta 3, One Click LCA.....	92
Obrázek 68 Štítek uhlíkové stopy budovy, demonstrační jednotka – varianta 1, One Click LCA.....	92
Obrázek 69 Štítek uhlíkové stopy budovy, demonstrační jednotka – varianta 2, One Click LCA.....	92

Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání ploch a objemů energetického modelu demonstrační jednotky vytvořené v programu Revit pomocí funkce stavební prvky se skutečnou vnitřní plochou a objemem místností.....	17
Tabulka 2 Příčina odchylky energetického modelu demonstrační jednotky od skutečných ploch a objemů jednotlivých místností.....	18

Tabulka 3 Porovnání ploch a objemů energetického modelu demonstrační jednotky vytvořené v programu Revit pomocí funkce místnosti a prostory se skutečnou vnitřní plochou a objemem místností.....	19
Tabulka 4 Výpočet průměrné hodnoty plochy rámu ku ploše zasklení generovaná programem Revit.....	32
Tabulka 5 Úprava velikosti rámu okna v DesignBuilderu exportovaného modelu, aby procentuální zasklení byly stejně nastavené jako v energetickém modelu v programu Revit.....	33
Tabulka 6 Porovnání ploch a objemů při exportu energetického modelu demonstrační jednotky z programu Revit modelu do programu DesignBuilder	33
Tabulka 7 Porovnání součinitelů prostupu tepla obálky budovy energetického modelu demonstrační jednotky modelu v programu Revitu a DesignBuilder s výpočtem dle normy ČSN 73 5040-2.....	34
Tabulka 8 Porovnání skutečných ploch/objemů s energetickými modely, stávající stav	40
Tabulka 9 Porovnání průměrných měsíčních hodnot klimatických data z programu Energie a DesignBuilder ...	43
Tabulka 10 Přehled variant návrhu vedoucí ke snížení letního přehřívání studentských pokojů, stávající stav ...	48
Tabulka 11 Propustnost zelené fasády, nastavení hodnot v DesignBuilderu pro jednotlivé měsíce, návrhový stav	52
Tabulka 12 Orientační součinitele prostupu tepla pro nastavbu budovy kolejí na Větrníku	53
Tabulka 13 Porovnání skutečných ploch/objemů s energetickými modely, návrhový stav	56
Tabulka 14 Přehled variant návrhu vedoucí ke snížení letního přehřívání studentských pokojů, návrhový stav ..	67
Tabulka 15 Nové součinitele prostupu tepla pro nastavbu budovy kolejí na Větrníku	75
Tabulka 16 Souhrn opatření návrhu budovy vedoucí ke snížení měrné potřeby tepla na vytápění.....	76
Tabulka 17 Porovnání součinitelů prostupu tepla pro nastavbu budovy kolejí na Větrníku	81
Tabulka 18 Celkové emise/energie v průběhu životnosti budovy dle jednotlivých kritérií ve variantách, demonstrační jednotka, výpočet ze softwaru One Click LCA	95

Seznam rovnic

Rovnice 1 Prostup tepla obálkou, Autodesk – Revit [10]	21
Rovnice 2 Solární zisky, Autodesk – Revit [10]	22
Rovnice 3 Propustnost prvku, DesignBuilder [18].....	52
Rovnice 4 Metabolický tok [25].....	98