

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Optimalizace spotřeby energie stávajícího
rodinného domu s přirozeným větráním
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:
Vedoucí práce:

Bc. Anna Smolíková
Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Smolíková Jméno: Anna Osobní číslo: 438424
 Zadávající katedra: Katedra techných zařízení budov
 Studijní program: Budovy a prostředí
 Studijní obor/specializace: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizace spotřeby energie stávajícího RD s přirozeným větráním
 Název diplomové práce anglicky: Optimization of energy consumption of an existing family house with natural ventilation

Pokyny pro vypracování:

Vytvořte model stávajícího RD s přirozeným větráním v softwaru Design Builder s využitím dat z provozu RD. Navrhněte možné úpravy snižující energetickou náročnost objektu a tyto porovnejte a vyhodnoťte s cílem optimalizovat spotřebu energie RD při zachování zdravého vnitřního prostředí pro člověka a minimalizovat zátěž na životní prostředí.

Seznam doporučené literatury:

Příslušné normy a vyhlášky

<https://designbuilder.co.uk>

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 26. 9. 2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 9. 1. 2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[Redacted Signature]
 Podpis vedoucího práce

[Redacted Signature]
 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“.

26. 9. 2022

Datum převzetí zadání

[Redacted Signature]
 Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

Praha, 9. 1. 2023

.....

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Veverkové za cenné rady, a především za její přístup a vstřícnost.

Obsah

Úvod.....	- 7 -
Cíl práce.....	- 8 -
1. Popis objektu	- 9 -
1.1. Základní údaje	- 9 -
1.2. Stavebně – konstrukční řešení	- 9 -
1.3. Technické zařízení budovy.....	- 10 -
2. Analýza aktuálního stavu vnitřního prostředí.....	- 11 -
2.1. Měření parametrů vnitřního prostředí.....	- 11 -
2.1.1. Naměřené parametry vnitřního prostředí	- 11 -
2.1.2. Průběhy teplot v interiéru	- 14 -
2.1.3. Průběh koncentrace oxidu uhličitého v interiéru.....	- 18 -
2.1.4. Výpočet infiltrace	- 21 -
2.2. Spotřeba elektřiny	- 22 -
2.2.1. Dostupné údaje	- 22 -
2.2.2. Koncové spotřeby	- 22 -
3. Tvorba modelu.....	- 24 -
3.1. Lokalita, meteorologické podmínky.....	- 24 -
3.2. Geometrie a vlastnosti konstrukcí.....	- 24 -
3.3. Zóny.....	- 26 -
3.3.1. Aktivita.....	- 27 -
3.3.2. Obsazenost.....	- 27 -
3.4. Osvětlení.....	- 28 -
3.5. Spotřebiče	- 28 -
3.6. Vytápění.....	- 28 -
3.7. Teplá užitková voda.....	- 29 -
3.8. Větrání	- 29 -
3.9. Model vizualizace.....	- 33 -
3.10. Vyhodnocení modelu	- 34 -
4. Varianta 1 – Zlepšení tepelně-technických vlastností obálky budovy	- 36 -
5. Varianta 2 – Instalace vzduchotechnického zařízení	- 38 -
5.1. Návrh systému větrání.....	- 38 -

5.2.	Model DesignBuilder	- 40 -
5.3.	Detailní model systému tzb	- 41 -
6.	Varianta 3 – Instalace fotovoltaické elektrárny na střechu objektu	- 43 -
7.	Vyhodnocení navržených variant – provoz.....	- 45 -
8.	Kvalita vnitřního prostředí a komfort uživatelů.....	- 47 -
8.1.	Teploty interiéru	- 47 -
8.2.	Intenzita větrání	- 47 -
8.3.	PMV, PPD.....	- 52 -
9.	Dopad na životní prostředí se zohledněním celého životního cyklu	- 54 -
9.1.	Kategorie dopadu	- 54 -
9.2.	Fáze životního cyklu	- 55 -
9.3.	Vstupní data	- 56 -
9.4.	Výsledky	- 58 -
10.	Ekonomického hledisko.....	- 59 -
10.1.	Investice	- 59 -
10.2.	Provozní náklady	- 61 -
10.3.	Návratnost investice.....	- 61 -
11.	Shrnutí a multikriteriální vyhodnocení.....	- 63 -
12.	Závěr	- 68 -
	Zdroje.....	- 69 -
	Seznam tabulek.....	- 70 -
	Seznam obrázků.....	- 71 -
	Příloha A – Výpočet infiltrace	- 72 -
	Příloha B – Zjednodušené výpočty – spotřeba elektrické energie.....	- 75 -
	Příloha C – Návrh dimenzí VZT potrubí, výkaz výměr a množství přiváděného vzduchu.....	- 77 -
	Příloha D – „Schedules“	- 80 -
	Příloha E – Výsledky DesignBuilder	- 84 -
	Příloha F – Výsledky LCA.....	- 87 -

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi optimalizace spotřeby energie již existujícího rodinného domu s přirozeným větráním. Nezbytnou součástí práce je vytvoření modelu v softwaru DesignBuilder na základě naměřených parametrů vnitřního prostředí a údajů o aktuální spotřebě energie řešeného objektu, který byl použit k vyhodnocení navržených opatření. Cílem práce je vybrat nejvhodnější opatření z pohledu environmentálního, ekonomického, uživatelského komfortu a kvality vnitřního prostředí.

Klíčová slova:

Energetické modelování, optimalizace spotřeby energie, přirozené větrání, řízené větrání se zpětným získáváním tepla, vyhodnocení životního cyklu

Abstract

This diploma thesis deals with the possibilities of optimizing the energy consumption of an existing family house with natural ventilation. Essential part of this thesis is the creation of a model in DesignBuilder software using measured parameters of the indoor environment and data on the current energy consumption of the building, which was later used to evaluate the proposed measures. The aim of this thesis is to select the most suitable optimizing measures in terms of environmental, economic, user comfort and indoor environmental quality.

Key words:

Energy modelling, optimisation of energy consumption, natural ventilation, mechanical ventilation with heat recovery, life cycle assessment

Úvod

Spotřeba energie, naléhavé téma již delší dobu kvůli klimatické krizi, se poslední dobou stává tématem ještě palčivějším kvůli politické situaci a jejímu vlivu na trh s energiemi.

Domácnosti v Evropské unii spotřebují kolem 27 % z celkové spotřebované energie (1). Požadavky na energetickou náročnost novostaveb se sice zpřísní, avšak značná část již existujících objektů by dle daných kritérií byla hodnocena jako nevhodná. Tato práce se zabývá možnostmi optimalizace spotřeby energie právě u jednoho z nich – nezatepleného, přirozeně větraného rodinného domu z roku 2000.

K posouzení navržených variant optimalizace spotřeby energie je použit software DesignBuilder a v něm provedené komplexní dynamické simulace. Model je vytvořen na základě údajů z projektové dokumentace a naměřených parametrů vnitřního prostředí, které byly zaznamenávány po dobu jednoho roku ve vybraných obytných místnostech budovy. Pro simulaci přirozeného větrání byly stanoveny hodnoty intenzity výměny vzduchu metodou poklesu značkovacího plynu. V modelu jsou také zohledněny uživatelské zvyky obyvatelů domu.

Posuzované varianty optimalizace spotřeby energie vychází z běžně navrhovaných a realizovaných opatření: zateplení obálky domu, výměna okenních výplní, instalace systému větrání a instalace fotovoltaické elektrárny na střechu objektu.

U variant je posuzován negativní vliv na životní prostředí nejen během provozní životnosti budovy, ale i se zohledněním celého životního cyklu všech použitých produktů a komponentů. K vyhodnocení dopadu na životní prostředí je použit software One Click LCA (life cycle assessment).

Dalším kritériem hodnocení je komfort uživatelů a kvalita vnitřního prostředí. Bude zkoumán tepelný komfort, intenzita výměny vzduchu a množství přiváděného čerstvého vzduchu.

Posledním aspektem při výběru vhodné varianty je ekonomická výhodnost. Budou stanoveny investiční náklady, provozní náklady a doba návratnosti jednotlivých variant. Budou zohledněny rapidně se měnící ceny energií použitím tří možných scénářů vývoje cen.

Cíl práce

Cílem práce je navrhnout a vybrat vhodnou možnost, jak optimalizovat spotřebu energie řešeného objektu, a zároveň eliminovat negativní dopady na životní prostředí a zajistit adekvátní kvalitu vnitřního prostředí.

1. Popis objektu

1.1. Základní údaje

Objekt, kterým se zabývá tato práce, je rodinný dům v okrese Kladno vyprojektovaný v roce 2000. Dům se nachází na pozemku mírně svažitém směrem k severu. Základní koncepce domu je založena na půdoryse ve tvaru písmene „L“. Objekt má dvě nadzemní podlaží a je částečně podsklepený. Celková zastavěná plocha je 190 m², obestavěný prostor je 1110 m³.

Ze západní strany je hlavní vstup vedoucí do zádveří, suterénu domu, pracovny, obytné části a přes požární dveře také do garáže. Obytný prostor je navržen jako otevřený halový, spojující funkce obývacího pokoje, jídelny a kuchyně. Část vyčleněna pro obývací pokoj zasahuje až do podkrovní části objektu, zde je také schodiště spojující obě nadzemní podlaží. V přízemí se krom výše jmenovaného nachází také sociální zázemí.

V první nadzemní podlaží jsou situovány čtyři pokoje (ložnice), koupelna a WC. Vše je přístupné z centrální chodby.

1.2. Stavebně – konstrukční řešení

Objekt je založen na základových pasech. Svislé nosné obvodové zdivo je provedeno z cihel Porotherm převážně tl. 450 mm., vnitřní nosné zdivo je z cihel Porotherm tl. 300 mm. Na nosných stěnách jsou provedeny ztužující věnce profilu 200x200 mm s výztuží ze 4 ocelových prutů, pod obezdívku věnce je vložena tepelná izolace z polystyrenu tl. 80 mm.

Vodorovné konstrukce jsou z ocelových válcovaných „I“ profilů s keramickými deskami Hurdis. Na keramických deskách je uložena tepelná izolace z extrudovaného polystyrenu tl. 80 mm a dorovnávací vrstva z perlitbetonu. Střecha je valbová se střešními okny a vikýři, tvořena vaznicovým krovem, dvojítm laťováním a pojistnou paropropustnou fólií. Profil krokví 160/100 mm, vaznice 120/120 mm, laťování 50/35 mm. Jako střešní krytina jsou použity střešní tašky Bramac. Podhled střechy – strop podkroví je ze sádrokartonu na kovovém roštu s parotěsnou fólií a tepelné izolace Orsil tl. 160 mm.

Nenosné příčky v přízemí jsou vyžděny z tvárnic Porotherm tl. 125 mm, v podkroví jsou příčky sádrokartonové na kovových roštích s akustickou izolací tl. 100 a 150 mm.

Vnitřní omítky jsou vápenné štukované natřené vápenným pačokem a krycím nátěrem Primalex. Vnější omítky jsou vápenné, opatřena barevným nátěrem.

Okenní výplně jsou izolační dvojskla v dřevěném rámu, mající hodnotu součinitele prostupu tepla $U=1,2-1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Úzké přisvětlovací pruhy do koupelny a spižírny v přízemí jsou vyžděny ze skleněných tvarovek. Střešní okna jsou značky Velux, hodnota součinitele prostupu tepla $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1.3. Technické zařízení budovy

Vodovod a kanalizace

Objekt je zásobován vodou z místní vodovodní sítě. Za objektem je také vlastní lokální zdroj pro účely zalévání zahrady. Objekt je napojen na obecní kanalizační síť.

Vytápění

Zdrojem tepla je tepelné čerpadlo IVT Greenline C9 země/voda s vestavěným zásobníkem teplé užitkové vody. Provoz čerpadla je regulován automaticky dle venkovní teploty. Topný faktor (COP – Coefficient of performance) při $0 \text{ }^\circ\text{C}/35 \text{ }^\circ\text{C}$ je 4,6, při $0 \text{ }^\circ\text{C}/50 \text{ }^\circ\text{C}$ je 3,2, maximální výstupní teplota je $65 \text{ }^\circ\text{C}$.

V přízemí je podlahové vytápění v kombinaci s přidanými otopnými tělesy v pracovně 1.05 a koupelně. V prvním patře jsou pouze otopná tělesa.

Větrání

Přívod čerstvého vzduchu je zajištěn pouze otevíráním otvorových výplní a infiltrací netěsnostmi obálky budovy. Koupelny, WC a kuchyně jsou větrány podtlakově nárazově dle potřeby.

2. Analýza aktuálního stavu vnitřního prostředí

Za účelem vytvoření modelu odpovídajícího co nejvíce realitě byly po dobu jednoho roku měřeny teploty interiéru, exteriéru a koncentrace oxidu uhličitého (CO₂) ve vybraných místnostech.

V průběhu roku byl také několikrát použit značkovací plyn v různých místnostech domu a změřen pokles jeho koncentrace pro stanovení hodnot infiltrace vzduchu při zavřených i (po)otevřených oknech.

Dále byly majiteli a zároveň obyvateli domu poskytnuty roční faktury za elektrickou energii za poslední čtyři roky a stavební dokumentace včetně souhrnné technické zprávy.

2.1. Měření parametrů vnitřního prostředí

Měření probíhalo od 16. 7. 2021 do 6. 7. 2022. Bylo použito celkem pět senzorů, z toho jeden v exteriéru měřící teplotu vzduchu a čtyři v interiéru, všechny měřící teplotu vzduchu, koncentraci oxidu uhličitého (CO₂) a relativní vlhkost vzduchu, dva senzory měřily rovněž hluk a tlak. Nicméně pro účely této práce budou použity především naměřené hodnoty teploty vzduchu v interiéru, exteriéru a koncentrace CO₂.

Čidla byla umístěna v obytných místnostech: ložnice 2.05, pokoj 2.02, pokoj 2.03, pokoj 2.08, obývací pokoj 1.04, pracovna 1.05. Interval zaznamenávání naměřených hodnot je pět minut.

2.1.1. Naměřené parametry vnitřního prostředí

Průměrné naměřené hodnoty jednotlivých senzorů, teplotní minima a maxima pro každý měsíc a umístění senzorů jsou uvedeny v tabulkách níže.

t_i – teplota vzduchu interiér

RH – relativní vlhkost vzduchu interiér

CO₂ – koncentrace oxidu uhličitého v interiéru

t_e – teplota vzduchu exteriér

Větrání, min, max, ppm

Z výsledků je patrné, že průměrné teploty vzduchu v místnosti 2.05 jsou nižší oproti ostatním pokojům. Je to způsobeno dvěma faktory, jednak je v této místnosti větráno častěji než v ostatních obytných místnostech vyjma pokoje 2.02, okno je částečně otevřeno i během zimních měsíců, a jednak je požadovaná teplota interiéru (dána nastavením termostatické hlavičky) nižší.

Poměrně časté větrání i během zimního období má za následek výkyvy teplot v interiéru, minima dosahují hodnot kolem 15 °C. V pokoji 2.02 jsou obdobné uživatelské zvyky, co se týče větrání, avšak požadovaná teplota interiéru je zde nastavena vyšší, proto jsou i průměrné hodnoty vyšší. Teplotní minima se však také pohybují nížko – kolem 16 °C.

Teplotní minima a maxima v obývacím prostoru 1.04 nejsou příliš odchýlena od teplotního průměru. Jedná se o velký prostor a vnitřní prostředí je tudíž stabilnější a méně ovlivnitelné větráním či tepelnými zisky. Také solární zisky zde jsou menší díky stínění, umístění a typu oken. Pokoje v 2NP mají větší solární zisky střešními okny.

Relativní vlhkost vzduchu (RH) je dle očekávání vyšší v letním období. V zimním období je RH pokoji 2.05 vyšší než v ostatních měřených místnostech, což je pravděpodobně způsobeno tím, že pokoj obývají dvě osoby, zatímco ostatní pokoje pouze jedna.

Průměrná měsíční koncentrace oxidu uhličitého je zhruba o 200 ppm větší v pokojích v 2NP než v místnostech v 1NP, což je způsobeno kombinací menšího prostoru a delšího souvislého pobytu osob. Průměrné měsíční hodnoty v pokoji 2.05 (2 osoby, více větráno) jsou srovnatelné s hodnotami v pokoji 2.03 (1 osoba, méně větráno).

Naměřené hodnoty senzor 6.0								
senzor 6.0		průměrná hodnota				místnost	min t _i	max t _i
		t _i	RH	CO ₂	t _e			
		(C°)	(%)	(ppm)	(C°)			
2021	červenec	23,1	58,7	506,7	23,0	2.05	19,5	28,4
	srpen	21,4	59,0	568,1	18,5		18,7	26,4
	září	20,8	58,6	614,0	15,6		17,7	23,2
	říjen	19,7	49,2	747,3	8,5		17,3	21,8
	listopad	19,1	44,5	720,8	4,8		15,8	21
	prosinec	18,3	43,0	753,9	2,2		15,8	19,8
2022	leden	18,9	43,5	732,4	2,3		16,8	20,3
	únor	18,7	40,4	715,2	4,2		14,4	20,6
	březen	20,0	35,2	735,3	4,5	18,2	22,7	
	duben	19,8	40,2	737,4	7,7	17,2	22	
	květen	21,1	46,5	568,6	15,9	16,4	27	
	červen	23,8	50,1	603,8	20,0	19,6	31,7	
	červenec	24,1	53,1	566,5	20,1	20,7	26,4	

Tabulka 1 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.0

Naměřené hodnoty senzor 6.1								
senzor 6.1		průměrná hodnota				místnost	min t _i	max t _i
		t _i	RH	CO ₂	t _e			
		(C°)	(%)	(ppm)	(C°)			
2021	červenec	24,7	52,9	531,4	23,0	2.03	21,5	26,8
	srpen	23,1	53,7	589,3	18,5		20,4	28
	září	22,3	54,0	660,9	15,6		20,3	25
	říjen	21,4	44,2	718,1	8,5		19,2	23,7
	listopad	20,9	40,5	738,2	4,8		17,9	23,6
	prosinec	21,0	36,1	629,2	2,2		16,6	22,9
2022	leden	21,4	37,6	524,6	2,3	kuchyně	20,6	22,6
	únor	21,2	34,8	490,5	4,2	2.08	20	22,8
	březen	21,5	29,8	761,4	4,5	2.03	16,6	24
	duben	21,3	35,4	763,7	7,7		18,7	23,2
	květen	22,5	42,4	658,0	15,9		18,2	27
	červen	24,6	47,4	594,6	20,0		20,2	30,3
	červenec	24,4	51,8	538,4	20,1		22,6	26,5

Tabulka 2 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.1

Naměřené hodnoty senzor 6.2								
senzor 6.2		průměrná hodnota				místnost	min t _i	max t _i
		t _i	RH	CO ₂	t _e			
		(C°)	(%)	(ppm)	(C°)			
2021	srpen	22,4	55,6	565,6	18,5	1.05	20,4	26,1
	září	22,2	55,3	544,7	15,6		20,2	26
	říjen	22,1	42,2	505,0	8,5		20,4	26,2
	listopad	22,0	38,0	533,5	4,8		20,3	23,3
	prosinec	21,8	34,2	547,9	2,2		20,6	24
2022	leden	21,6	35,3	523,9	2,3	1.04	20,2	24,6
	únor	21,3	34,4	519,8	4,2		19,3	23,8
	březen	21,8	29,2	518,5	4,5		19,5	23,5
	duben	21,4	35,6	526,1	7,7		20	24,5
	květen	21,5	46,2	493,0	15,9		19,6	23,8
	červen	23,0	53,1	531,3	20,0		20,4	26,5
	červenec	23,4	57,5	505,6	20,1		21,8	24,2

Tabulka 3 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.2

Naměřené hodnoty senzor 6.3								
senzor 6.3		průměrná hodnota				místnost	min t _i	max t _i
		t _i	RH	CO ₂	t _e			
		(C°)	(%)	(ppm)	(C°)			
2021	červenec	23,8	56,8	581,9	23,0	1.05 (2.08)	22,0	25,8
	srpen	22,5	57,5	522,2	18,5	2.05	19,9	26,9
	září	21,2	59,1	528,4	15,6		16,3	23,9
	říjen	21,2	46,9	770,2	8,5	2.02	15	22,7
	listopad	21,3	41,0	770,1	4,8		19	22,8
	prosinec	21,1	36,7	734,8	2,2		18,8	23,6
2022	leden	21,4	37,5	734,0	2,3		19,5	23,8
	únor	21,1	36,3	747,1	4,2		18,5	22,8
	březen	20,8	31,5	794,5	4,5		16,7	22,9
	duben	20,2	37,0	687,9	7,7		16,3	22
	květen	22,3	43,3	655,4	15,9		19,8	27,8
	červen	24,5	48,2	581,0	20,0		20,5	33,1
	červenec	24,3	51,9	552,7	20,1		21,2	27,2

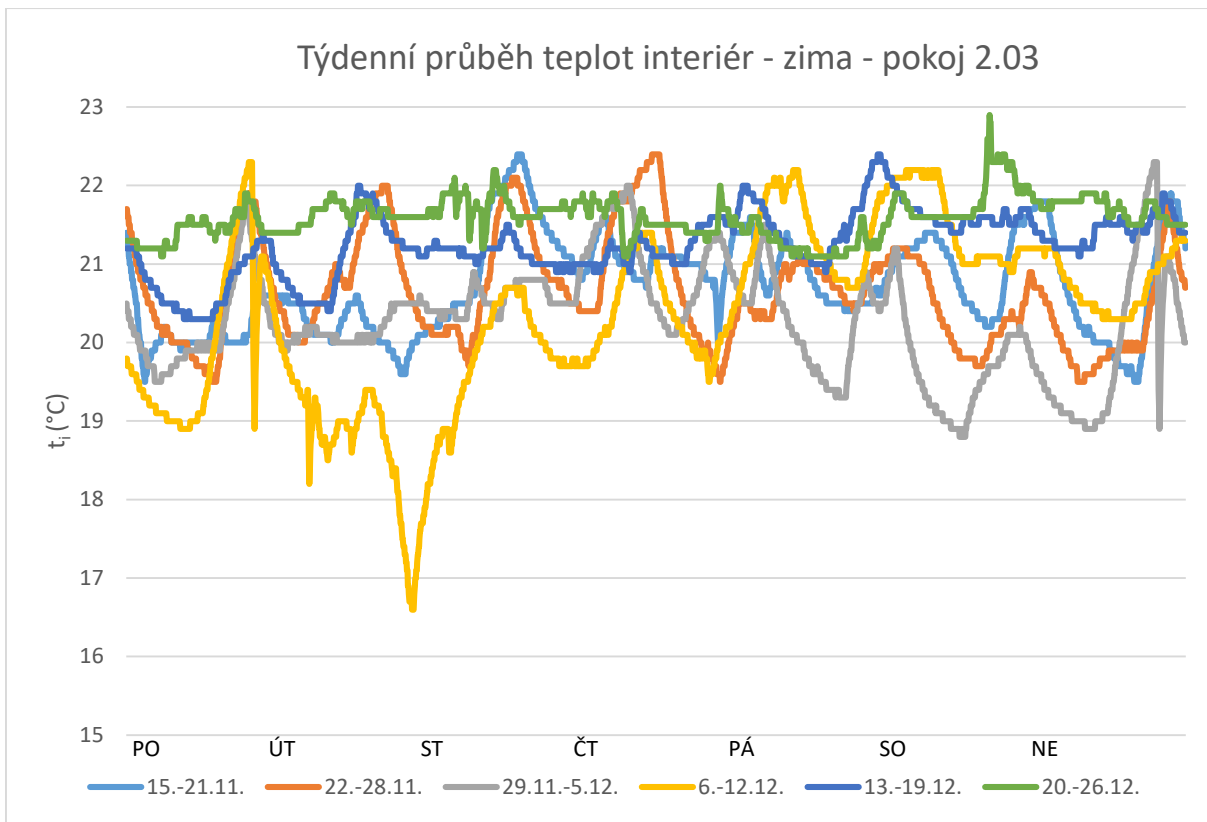
Tabulka 4 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.3

2.1.2. Průběhy teplot v interiéru

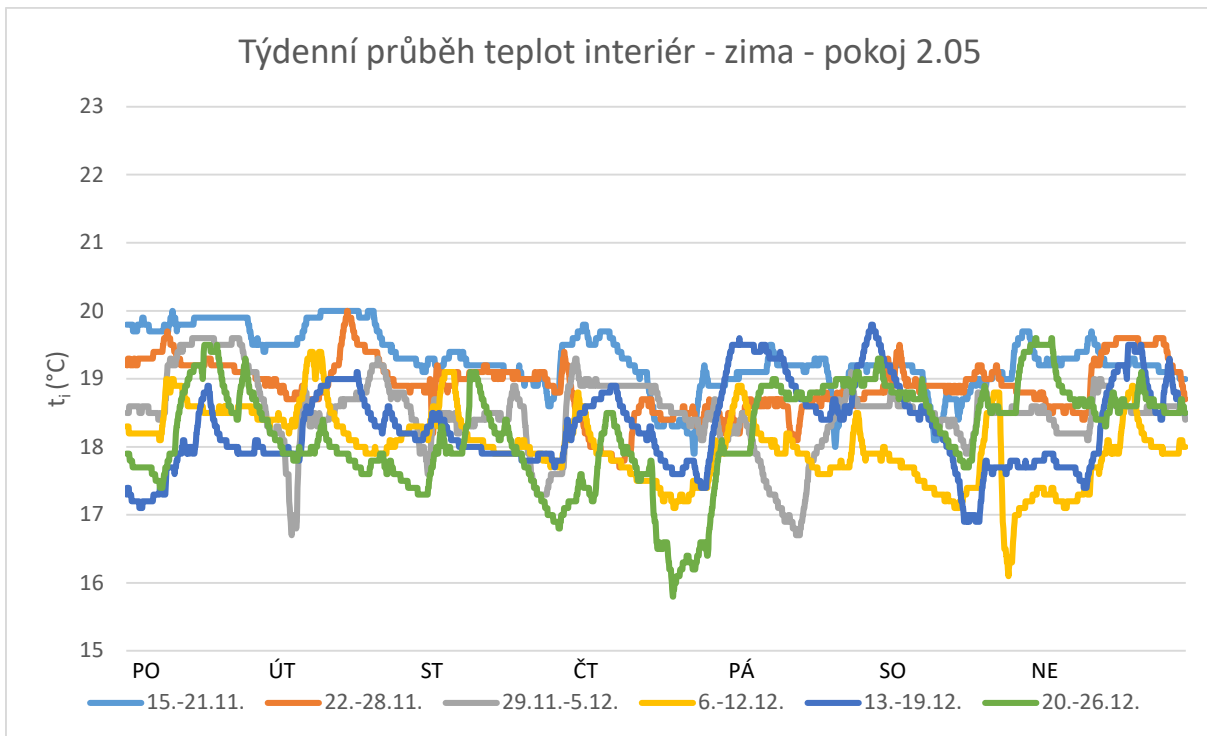
V následujících grafech jsou zobrazeny týdenní průběhy teplot vzduchu v interiéru, které byly naměřeny v období od 15. 11. 2021 do 26. 12. 2021 v místnostech 2.05 a 2.03, kvůli porovnání místností s menší a větší frekvencí větrání, a v pracovně 1.05.

V pokoji 2.03 jsou v průměru vyšší teploty, hodnota jen výjimečně klesá pod 19 °C. V pokoji 2.05 jsou výrazně nižší průměrné teploty, teplota interiéru je převážně nižší než 19 °C. Průběh teplot v 2.03 se zdá uspořádanější co se týče periodicity výchylek, pravděpodobně je to způsobeno pravidelným nárazovým provětráváním oproti stálému nočnímu větrání v 2.05 a tím způsobené nepravidelné fluktuaci teplot interiéru. V pokoji 2.03 jsou také oproti pokoji 2.05 občasné výkyvy i směrem nahoru, což může být způsobeno solárními zisky střešním oknem, v 2.05 je pouze vikýřové okno.

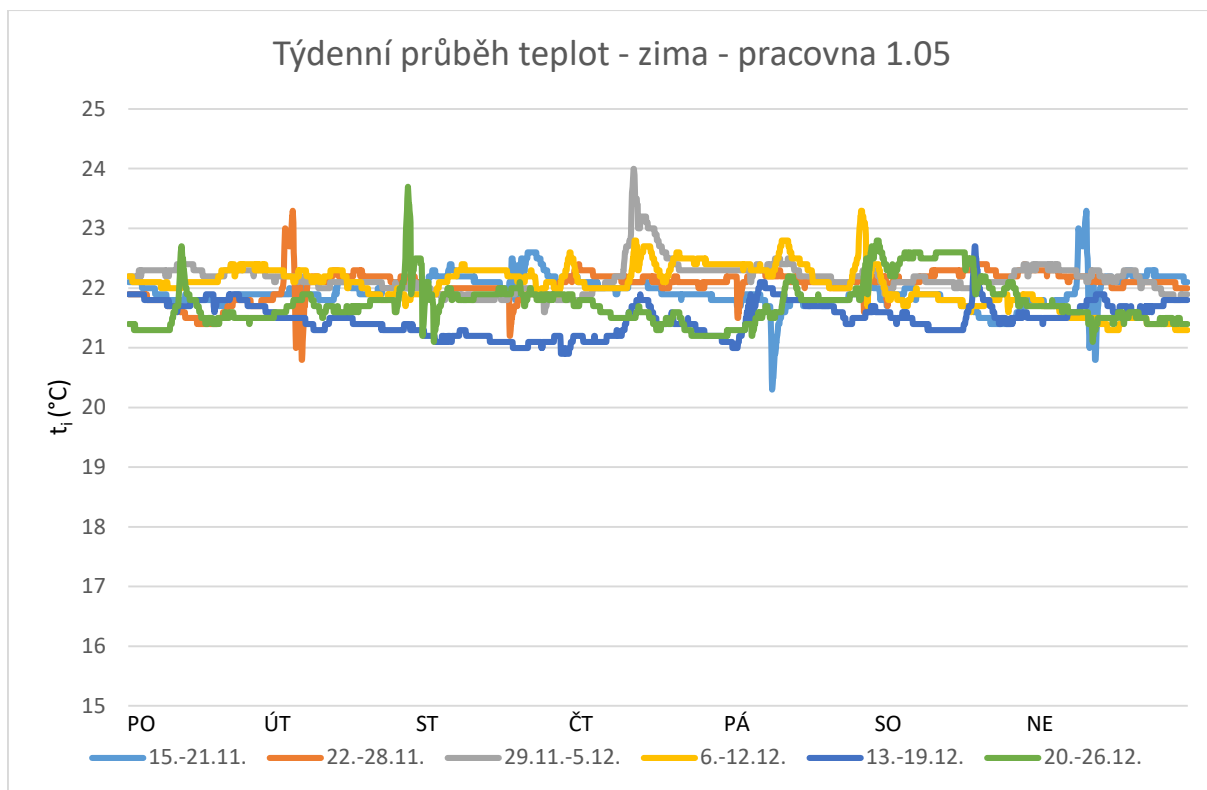
Pro porovnání jsou také ukázány průběhy teplot v pracovně 1.05, kde je oproti pokojům ve 2NP stabilnější teplota vzduchu s minimálními odchylkami od průměrné teploty, neboť intenzita výměny vzduchu je tu ještě menší než v pokoji 2.03.



Obrázek 1 Týdenní průběh teplot vzduchu v zimě v pokoji 2.03

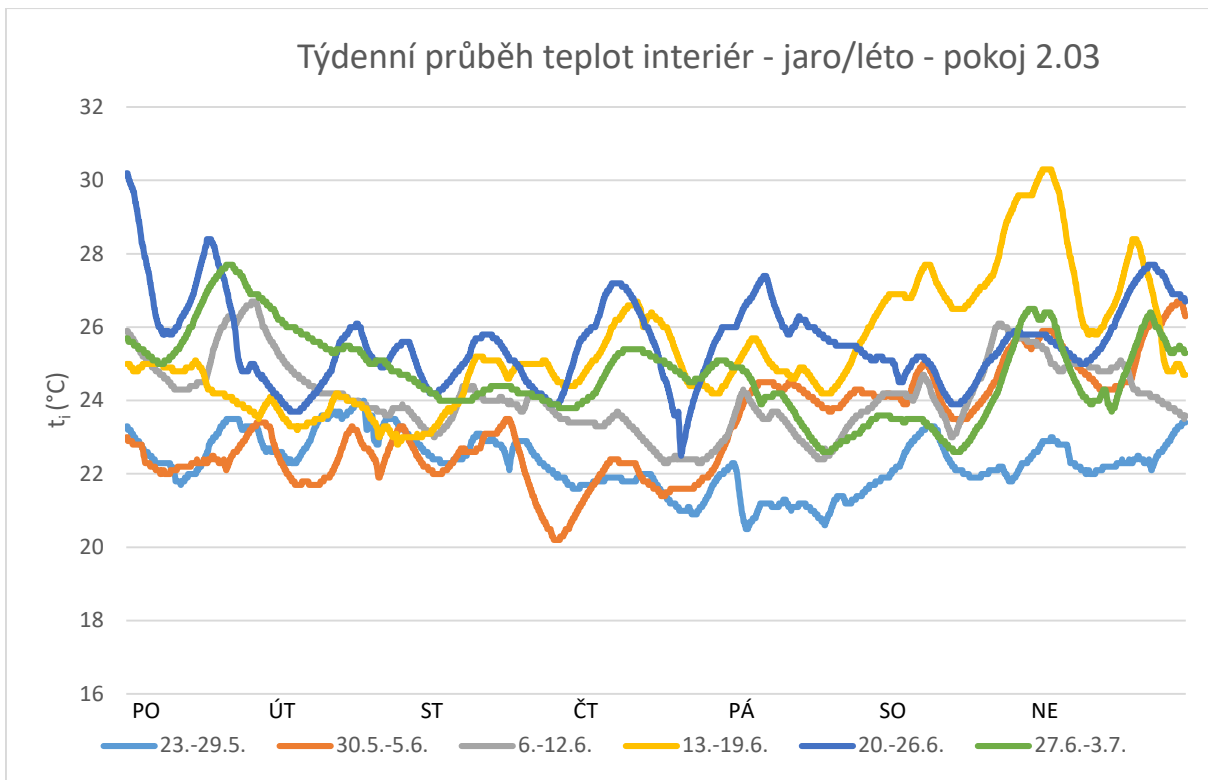


Obrázek 2 Týdenní průběh teplot vzduchu v zimě v pokoji 2.05

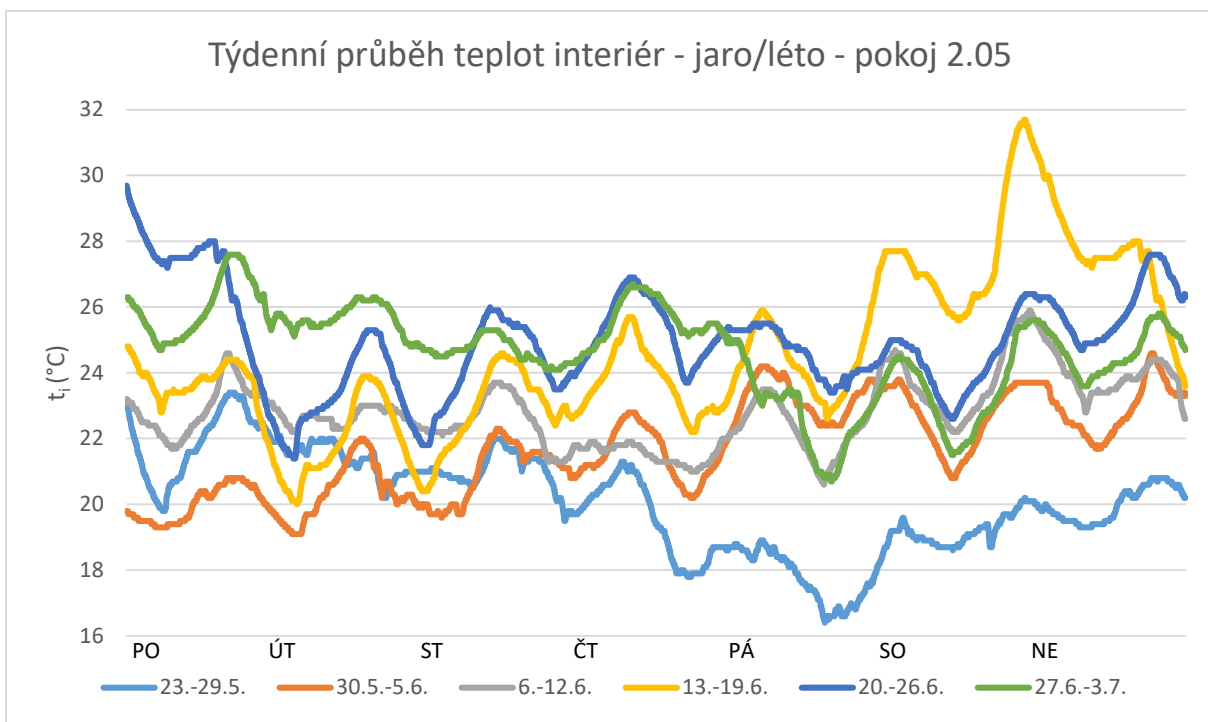


Obrázek 3 Týdenní průběh teplot vzduchu v zimě v pokoji 1.05

V následujících grafech jsou zobrazeny týdenní průběhy teplot vzduchu v interiéru v období od 23. 5. 2022 do 27. 6. 2022 v místnostech 2.05 a 2.03. Oproti průběhům v zimním období jsou si průběhy teplot v interiéru v letním období podobnější. Teploty v 2.05 jsou nižší oproti 2.03 vlivem intenzivnějšího nočního větrání a menších solárních zisků. Vliv větrání je patrný především u průběhu teplot v týdnu 23. až 29.5., kdy byly teploty exteriéru ještě poměrně nízké, v pokoji 2.05 teplota klesá k 16 °C, zatímco v 2.03 se drží nad 20 °C.



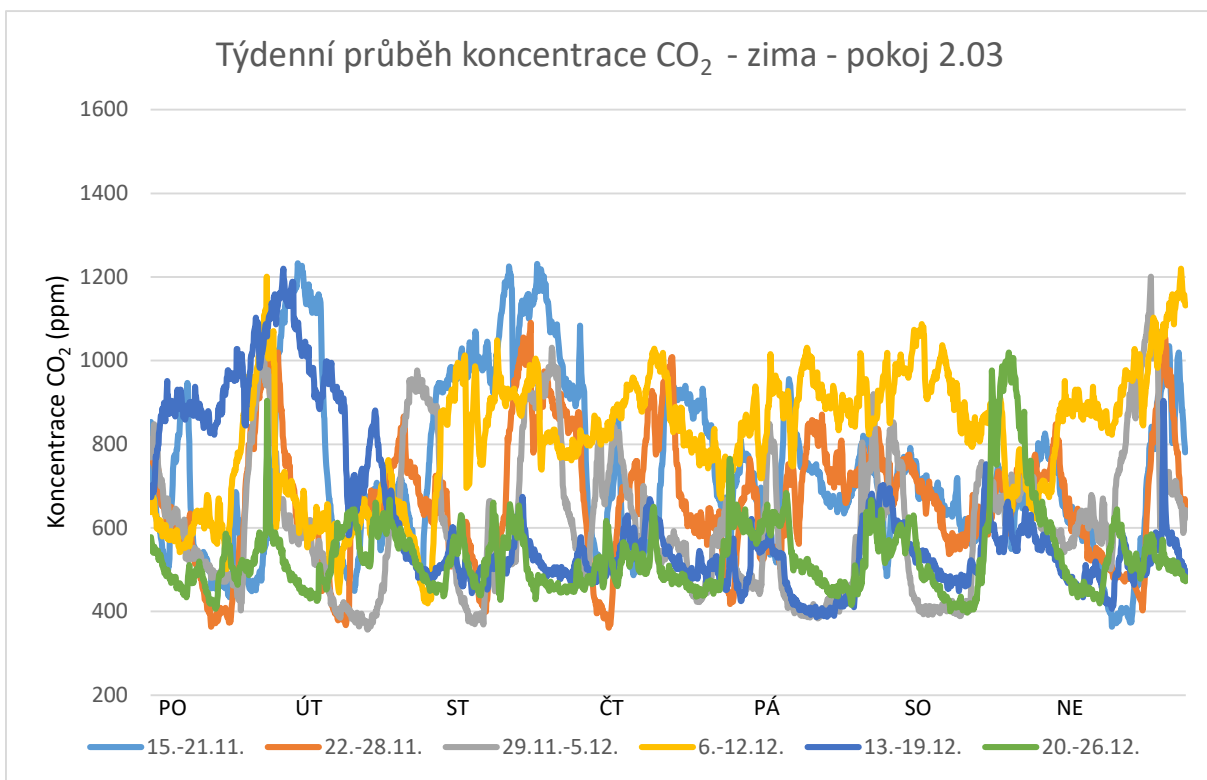
Obrázek 4 Týdenní průběh teplot vzduchu v pokoji 2.03 – období jaro/léto



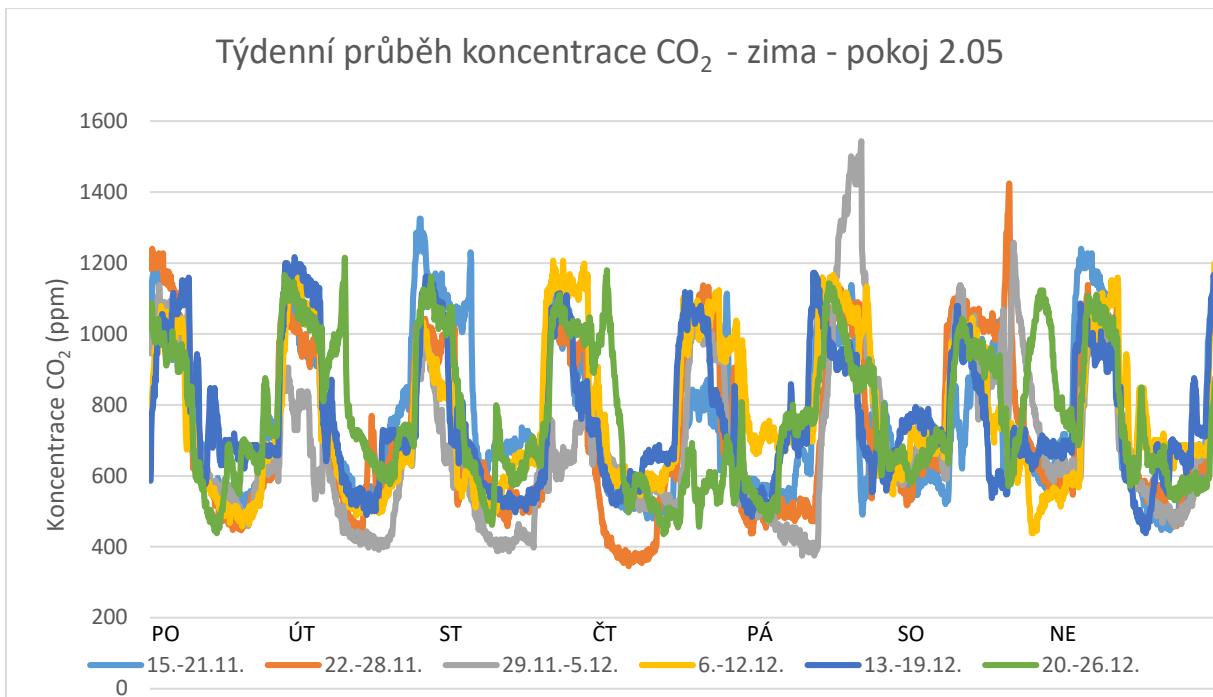
Obrázek 5 Týdenní průběh teplot vzduchu v pokoji 2.05 – období jaro/léto

2.1.3. Průběh koncentrace oxidu uhličitého v interiéru

Na grafech níže jsou znázorněny týdenní průběhy naměřené koncentrace oxidu uhličitého v pokojích 2.03 obývaného jednou osobou a v pokoji 2.05 obývaného dvěma osobami. Uživatelé pokoje 2.05 mají ve zvyku větrat celoročně, přesto hodnoty koncentrace CO₂ v zimním období běžně dosahují hodnot 1200 ppm při pobytu osob v místnosti. Uživatel místnosti 2.03 větrá méně, v zimě velmi omezeně, ale vzhledem k menší produkci CO₂ v místnosti jsou hodnoty koncentrace nižší než v pokoji 2.05. V době nepřítomnosti osob se hodnoty pohybují kolem 400 ppm.

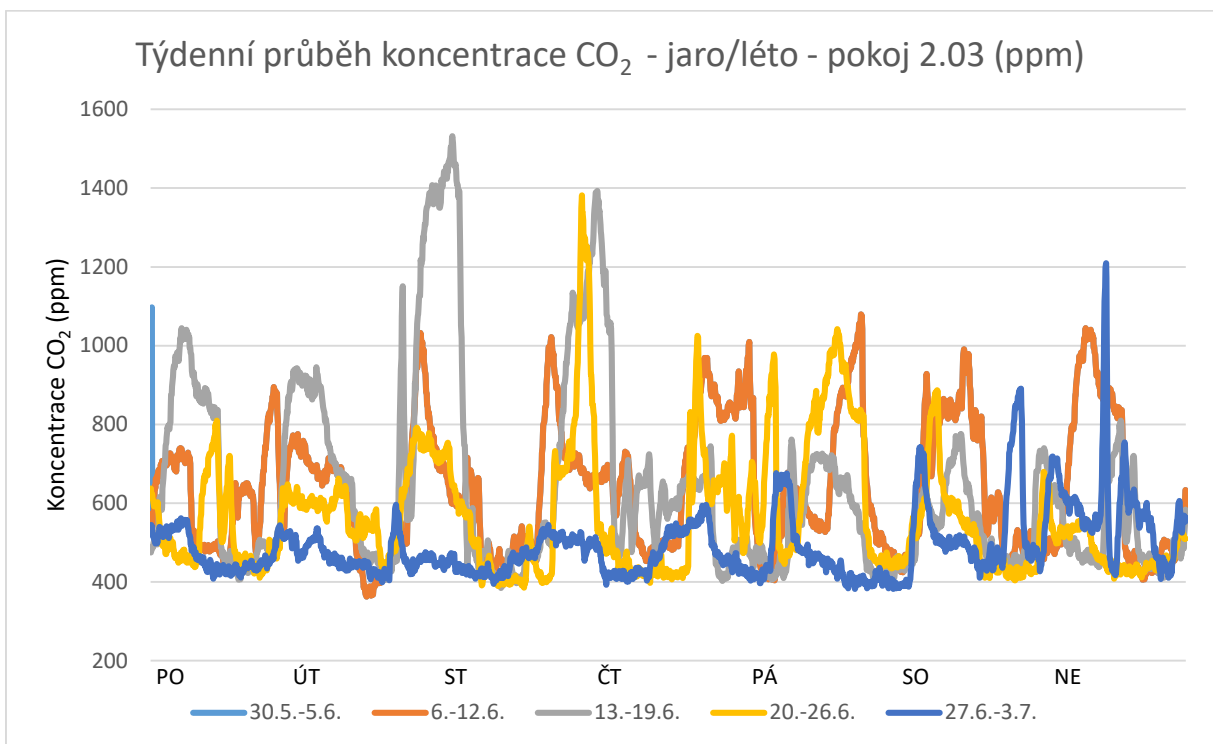


Obrázek 6 Týdenní průběh koncentrace CO₂ v pokoji 2.03 – období zimy

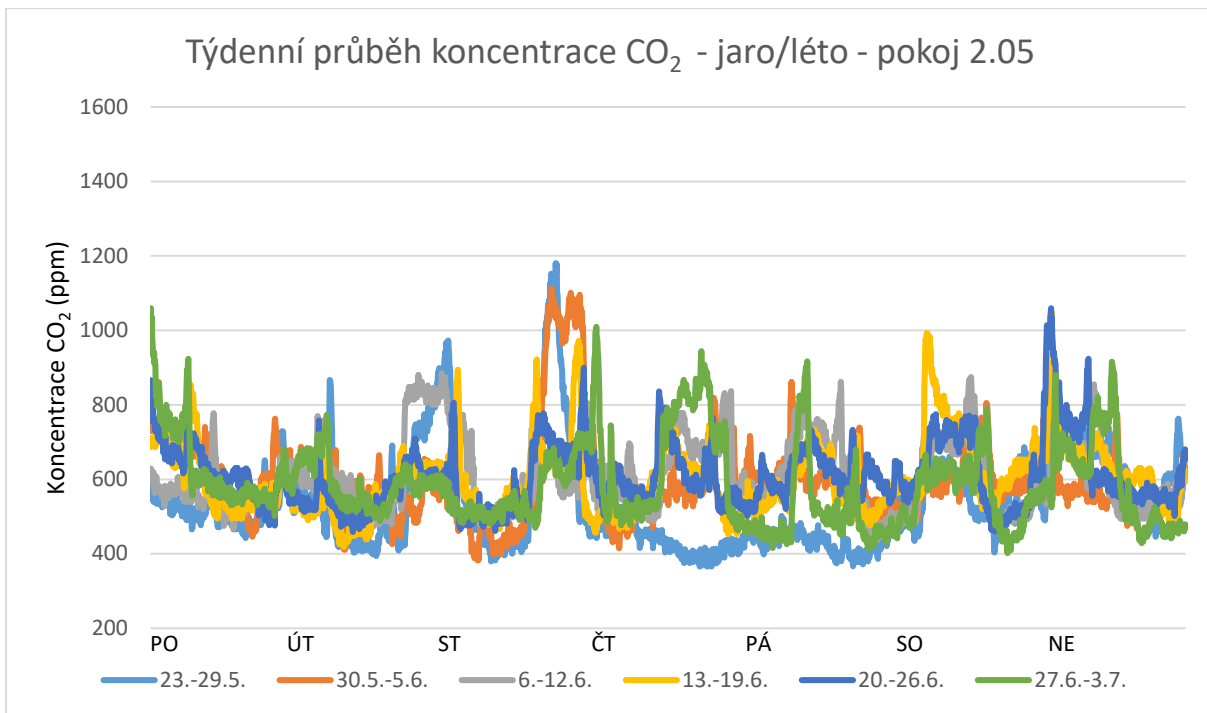


Obrázek 7 Týdenní průběh koncentrace CO₂ v pokoji 2.05 – období zimy

V létě je zřejmý pokles koncentrace CO₂ v obou místnostech jako následek zvýšeného přirozeného větrání. V obou místnostech se koncentrace CO₂ většinu času drží pod limitní hodnotou 1000 ppm.

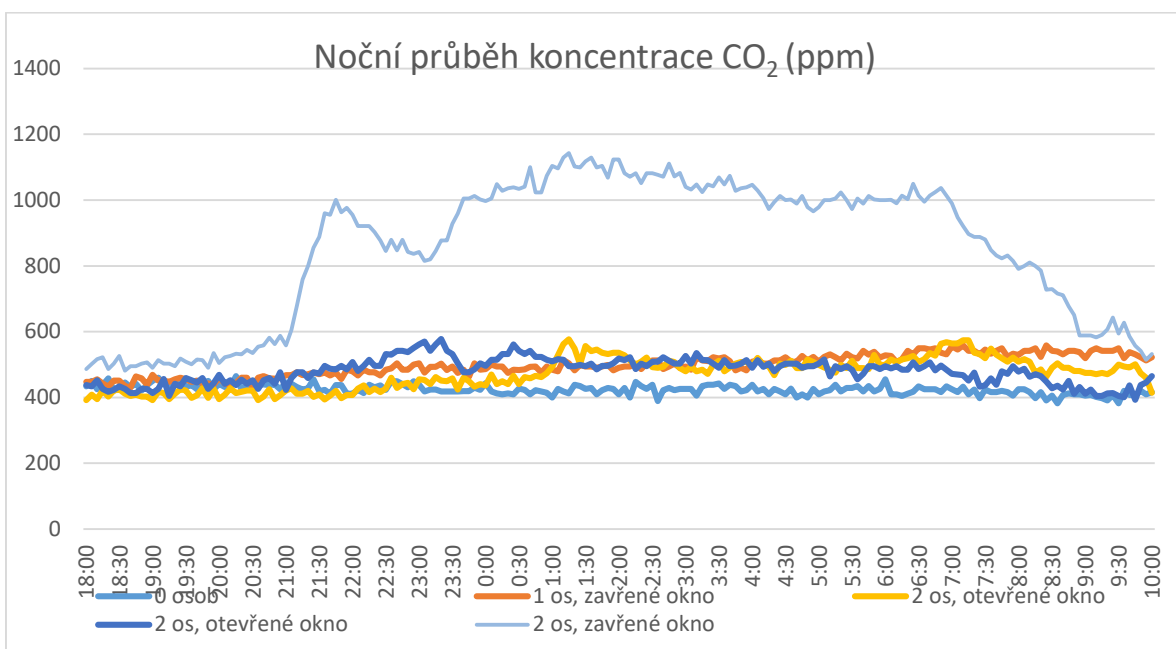


Obrázek 8 Týdenní průběh koncentrace CO₂ v pokoji 2.03 – období jaro/léto



Obrázek 9 Týdenní průběh koncentrace CO₂ v pokoji 2.05 – období jaro/léto

Z naměřených hodnot koncentrace CO₂ v pokoji 2.05 při různé obsazenosti a intenzitě větrání je zřejmý vliv uživatelských zvyků na kvalitu vnitřního prostředí při přirozeném větrání. Při otevřených oknech se hodnoty koncentrace pohybují kolem 500 ppm, pouze o 100 ppm vyšší než hodnota v době nepřítomnosti osob. Při zavřeném okně je hodnota nad limitem 1000 ppm.



Obrázek 10 Noční průběh koncentrace CO₂ v pokoji 2.05

2.1.4. Výpočet infiltrace

Pro stanovení hodnot infiltrace vzduchu byla použita metoda poklesu koncentrace značkovacího plynu CO₂. Značkovací plyn byl rozptýlen v prostoru a poté byla místnost uzavřena zatímco senzory měřily pokles jeho koncentrace. Z naměřených hodnot koncentrace a časového údaje o poklesu byly poté dopočteny hodnoty infiltrace vzduchu (1/hod) dle normy ČSN EN ISO 12569 (730311) Tepelné vlastnosti budov a materiálů – Stanovení výměny vzduchu v budovách – Metoda poklesu koncentrace značkovacího plynu.

Měření probíhalo v místnostech 1.05, 2.02, 2.03, 2.05 a 2.08. Po dobu měření byly místnosti neobývané. Měření bylo prováděno v některých místnostech opakovaně pro zpřesnění výsledku a omezení vnějších vlivů. Intenzita výměny vzduchu byla stanovena pro zavřená, částečně otevřená a plně otevřená okna.

V tabulce níže jsou uvedené hodnoty použity v DB, jedná se o průměr z vypočtených hodnot. Výpočty viz Příloha A. Hodnota 0,2 1/hod pro zavřená okna je použita v místnostech s větším počtem oken, hodnota 0,1 je použita ve spíži, koupelně a WC v 1NP, v pracovně je použita hodnota 0,15 1/hod.

Hodnoty výměny vzduchu (1/hod)	
Zavřená okna	0,2 – 0,1
Částečně otevřené okno	0,45
Plně otevřené okno	0,72

Tabulka 5 naměřené hodnoty výměny vzduchu

2.2. Spotřeba elektřiny

2.2.1. Dostupné údaje

Tabulka níže uvádí údaje o spotřebě elektrické energie za poslední čtyři roky vzaté z faktur. Vzhledem k netypickému provozu od roku 2020 kvůli pandemii, bude za běžnou roční spotřebu považována hodnota kolem 11 000 kWh.

Pro účely výpočtu návratnosti investice byla spočtena průměrná cena 2,9 Kč za kWh váženým průměrem ze spotřeb nízkého (NT) a vysokého tarifu (VT) a jejich cen.

Roční spotřeby elektrické energie							
	VT	NT	Celkem spotřeba	Cena VT	Cena NT	Cena	Cena včetně DPH
	(kWh/rok)	(kWh/rok)	(kWh/rok)	(Kč/kWh)	(Kč/kWh)	(Kč/rok)	(Kč/rok)
2018	1081	10317	11398			28468	34446
2019	984	9602	10586			29357	35521
2020	958	11484	12442	3,16	2,96	37019,9	44794
2021	1065	11408	12473	2,98	2,81	35230,1	42628

Tabulka 6 Roční spotřeby elektrické energie (údaje z faktur)

2.2.2. Koncové spotřeby

Z poskytnutých faktur známe celkovou roční spotřebu elektrické energie. V budově není instalované žádné podružné měření, proto je nutné určit koncové spotřeby elektřiny z dostupných statistik a zjednodušených výpočtů.

Odhad průměrné spotřeby elektřiny v domácnosti je 1100 kWh ročně na osvětlení a provoz spotřebičů, 200 kWh ročně na osobu na vaření, 1000 kWh ročně na osobu na ohřev vody a přibližně 110 kWh na m² na vytápění. (2)

Dle Eurostatu byla průměrná koncová spotřeba v evropských domácnostech v roce 2017 následující: vytápění 64,1 %, ohřev teplé užitkové vody 14,8 %, osvětlení a spotřebiče 14,4 %, vaření 5,6 %, klimatizace 0,3 %, ostatní 0,9 %. (3)

Dle European environment agency byla průměrná koncová spotřeba v českých domácnostech v roce 2008 následující: vytápění 70,4 %, ohřev teplé užitkové vody 14,8 %, osvětlení a spotřebiče 10,3 %, vaření 4,5 %. (4)

Dle dat dostupných z Research gate je průměrná koncová spotřeba v domácnostech v Evropské unii následující: vytápění 67 %, ohřev teplé užitkové vody 13 %, osvětlení a spotřebiče 13 %, vaření 6 %. (5)

Koncové spotřeby energie dle statistik							
Koncová spotřeba	data 2008 (4)		data 2017 (3)		RG 2016 (5)		průměr
	(%)	(kWh)	(%)	(kWh)	(%)	(kWh)	
TV	14,8	1629,0	14,8	1626,8	13	1428,9	1561,5
Vytápění	70,4	7735,7	64,1	7045,8	67	7364,6	7382,0
Vaření	4,5	498,1	5,6	615,5	6	659,5	591
Spotřebiče a osvětlení	10,3	1129,1	14,4	1582,8	13	1428,9	1380,3

Tabulka 7 Koncové spotřeby elektrické energie-odhad dle statistik

Jedná se o průměrné hodnoty z velkého vzorku dat s rozličnými uživatelskými zvyky a s různými způsoby vytápění a přípravy teplé vody, tedy i různými účinnostmi systémů. Proto z dostupných údajů o provozu řešeného objektu byla odhadnuta spotřeba elektrické energie spotřebiči, na osvětlení a na ohřev TV. Spočtené hodnoty i statistiky budou použity ke kalibraci modelu v DesignBuilderu.

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody byla stanovena jako

$$Q_W = 4,182 \times V_{W,day} \times (T_{W,del} - T_{W,o})$$

Kde

$V_{W,day}$ je denní spotřeba teplé vody (m³/den)

$T_{W,del}$ je výstupní teplota teplé vody (°C)

$T_{W,o}$ je teplota studené vody přiváděné do ohřívače (°C)

Pro denní spotřebu teplé vody 50 litrů, výstupní teplotu vody 55 °C, teplotu přiváděné vody 13,5 °C je roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody 4575 kWh včetně zohlednění ztráty 30 %.

Ohřev teplé vody je zajištěn tepelným čerpadlem s topným faktorem 3,2, roční spotřeba elektrické energie na ohřev vody je tudíž 1429,7 kWh. Výpočet viz příloha B.

Zásuvkové spotřebiče

Spotřeba elektrické energie na provoz zásuvkových spotřebičů byla stanovena jako součin jejich příkonu a doby provozu. Údaje o spotřebičích a době jejich používání byly zjištěny od obyvatelů domu. Roční spotřeba elektrické energie byla stanovena jako 3870,9 kWh, výpočet viz příloha B.

Osvětlení

Obdobně jako pro spotřebiče byla stanovena roční spotřeba elektrické energie na osvětlení 202 kWh, výpočet viz příloha B.

3. Tvorba modelu

Model byl vytvořen v softwaru DesignBuilder (DB) verze 7.0.2.004. Veškeré údaje v této kapitole o možnostech modelování, podrobnosti o výpočtech aj. jsou převzaty z uživatelské příručky softwaru. (6)

3.1. Lokalita, meteorologické podmínky

Řešený objekt se nachází v obci Velká Dobrá, zeměpisná šířka 50,10° a délka 14,25°, nadmořská výška 409 m. n. m., vystavení větru normální. Orientace ke světovým stranám zadána jako 25°.

Dostupná meteorologická hodinová data v DB jsou z oblasti letiště Ruzyně u Prahy (WMO (World Meteorological Organization) 115180) a z Ostravy (WMO 17820). Objekt se nachází zhruba 15 km od měřicího místa Praha – Ruzyně, proto byla zde měřená data vyhodnocena jako adekvátně přesná a pro účel projektu dostačující. Rozdíl v nadmořské výšce je cca 50 metrů, proto se hodnoty naměřené přímo u objektu liší od dat k dispozici v softwaru DesignBuilder, avšak rozdíl není nijak markantní, viz tabulka níže.

Porovnání teplot exteriéru naměřených a dat dostupných v DesignBuilderu				
		naměřeno	DB	ROZDÍL
		t_e	t_e	Δt_e
		(C°)	(C°)	(C°)
2021	srpen	18,5	17,1	1,4
	září	15,6	13	2,6
	říjen	8,5	10,3	-1,8
	listopad	4,8	6,7	-1,9
	prosinec	2,2	4,9	-2,7
2022	leden	2,3	5,4	-3,1
	únor	4,2	4,9	-0,7
	březen	4,5	6,2	-1,7
	duben	7,7	9,7	-2
	květen	15,9	13	2,9
	červen	20	16,6	3,4
	červenec	20,1	18	2,1

Tabulka 8 Porovnání teplot – naměřené hodnoty a data DB

3.2. Geometrie a vlastnosti konstrukcí

Geometrie budovy byla modelována dle skutečnosti, rozměry byly převzaty z projektové dokumentace. Vlastnosti konstrukcí byly rovněž vzaty z technické zprávy, skutečnost jejich provedení a jejich aktuální stav byly konzultovány s majiteli objektu, především výplně otvorů a umístění tepelné izolace ve střeše. Přehled jednotlivých konstrukcí viz tabulka níže, hodnoty součinitele prostupu

tepla byly spočteny v DesignBuilderu po vytvoření všech konstrukcí a zadání jejich vlastností dle projektové dokumentace. Okna byla vybrána z nabídky v DB.

Přehled konstrukcí, jejich skladeb a součinitelů prostupu tepla U				
Označení kce v DB	Druh konstrukce	Skladba	Tloušťka	U
			(mm)	(W/m ² K)
Stěny				
STN_1	obvodová nosná stěna	cihly Porotherm 44 P+D, vápenné omítky	450	0,248
STN_2	obvodová nosná stěn suterén	cihly Porotherm 30 P+D, izolační přizdívka z plných cihel, vápenná omítky	400	0,341
STN_3	vnitřní nosná stěna	cihly Porotherm 30 P+D, vápenné omítky	300	0,344
STN_4	vnitřní příčka sdk	sdk na kovovém roštu, izolace	100	0,783
STN_5	vnitřní příčka sdk	sdk na kovovém roštu, izolace	150	0,556
STN_6	vnitřní příčka zděná	cihly Porotherm 11,5 P+D, vápenné omítky	125	0,771
STN_7	vnitřní příčka sdk	sdk na kovovém roštu, izolace	200	0,442
Střecha				
STR_1	šikmá střecha	krokve 160/100 mm, Orsil 160 mm, vaznice 120/120 mm, laťování 50/35 mm, Bramac tašková krytina	350	0,261
STR_2	strop podkroví	sdk na kovovém roštu, parotěsná fólie, Orsil 160 mm	160	0,286
Podlaha				
PDL_1	podlaha na země	podkladní beton (prostý) 100 mm, cem. potěr 50 mm, skladba podlahy dle místnosti	250	1,575
PDL_2	podlaha nad suterénem	válcované I profily 200 mm, keramické desky 80 mm, EXP 80 mm, perlitbeton, skladba podlahy	300	0,321
Výplně otvorů				
OKNA_1	okna izolační dvojsklo	dřevěný rám, dvojsklo		1,323
OKNA_2	střešní okna	velux		1,493
OKNA_3	vikýř	dřevěný rám, dvojsklo		1,323
OKNA_4	přisvětlovací pruh	skleněné tvarovky		2,4
DV_1	vstupní dveře	plné dřevěné		2,3
DV_2	dveře terasa	prosklené viz OKNA_1		1,323
DV_3	vrata garáž			3,5

Tabulka 9 Přehled konstrukcí a jejich vlastností

U prosklených ploch je uvažováno s vnitřními stínícími prvky se střední odrazivostí slunečního záření, jejich ovládání je spjato s časovým rozvrhem obsazenosti, tedy předpokládá se uživatelské ovládání dle potřeby.

3.3. Zóny

Objekt byl rozdělen na zóny po místnostech, aby bylo umožněno simulovat různorodý provoz a zvyky uživatelů jednotlivých obytných místností. Obývací prostor je schodištěm propojen s chodbou v prvním patře, tyto prostory byly proto spojeny do jedné zóny.

Přehled zón				
č. m.	Název	Zóna DB	Plocha	Objem vnitřní
			A	V
(-)	(-)	(-)	(m ²)	(m ³)
01.01	sklad	sklad	10,7	28,19
01.02	schodišťová hala	chodba	4,5	52,6
01.03	kotelna	kotelna	14,4	60,79
1NP				
1.01	kuchyně	OP	13,9	268,01
1.02	jídlna		22,0	
1.04	obývací pokoj		27,8	
1.05	pracovna	pracovna	14,4	39,53
1.06	zádveří, chodba	zádveří-suterén	18,6	26,04
1.07	garáž, dílna	garáž	31,7	88,09
1.08	WC	WC	2,1	5,69
1.09	koupelna	koupelna	3,1	10
1.10	spíž	Spíž	2,8	7,5
2.NP				
2.02	pokoj	pokoj 2.02	20,6	33,26
2.03	pokoj	pokoj 2.03	25,0	41,05
2.05	ložnice	pokoj 2.05	23,7	38,51
2.06	WC	WC	4,5	7
2.07	koupelna	koupelna	8,7	13,3
2.08	pokoj	pokoj 2.08	20,8	25,4

Tabulka 10 Přehled zón DB

3.3.1. Aktivita

Data na záložce „Activity“ umožňují definovat způsob užívání zóny a s tím spojené údaje jako obsazenost, zisky metabolického tepla od osob, rozlišení všedních dnů, víkendů a svátků, potřebu teplé vody, tepelné zisky od spotřebičů, potřebu přiváděného čerstvého vzduchu a ovládání vytápění a větrání pomocí „set points“ (hodnot teplot vzduchu v interiéru a exteriéru při kterých se systém spíná či vypíná).

Aktivita byla zadána z dostupných možností v softwaru ze sekce „residential“ (obytné budovy) a byl přidělen příslušný typ místnosti ke každé zóně. „Set points“ byly upraveny dle známé skutečnosti, viz sekce větrání a vytápění. Obsazenost, potřeba teplé vody a tepelné zisky od spotřebičů a počítačů byly spočteny a zadány rovněž dle skutečnosti, viz následující sekce.

3.3.2. Obsazenost

Objekt je trvale obýván čtyřmi osobami. Hustota obsazenosti („occupancy“) byla spočtena jako maximální běžný počet osob v místnosti vydělen podlahovou plochou dané místnosti. Mění se výskyt osob v čase byl zohledněn vytvořením „schedules“ (časové rozvrhy) pro všechny relevantní zóny. „Schedules“ byly vytvořeny dle běžného chování obyvatelů budovy, rozdílně jsou uvažovány všední dny a víkendy. Některé místnosti jsou vymodelovány bez pobytu osob (suterén a spíž), „schedules“ pro pokoje 2NP byly zadány z nabídky DB pro rezidenční objekty. Vytvořené „schedules“ viz příloha D.

Obsazenost zón			
Zóna	Plocha	Max běžný počet osob v místnosti	Obsazenost
	(m ²)	(-)	(os/m ²)
chodba	8,44	4	0,4739
OP	63,68	4	0,0628
pracovna	14,35	1	0,0697
WC	2,08	1	0,4808
koupelna	3,11	1	0,3215
pokoj 2.02	20,6	1	0,0485
pokoj 2.03	25	1	0,0400
pokoj 2.05	23,65	2	0,0846
WC	4,5	1	0,2222
koupelna	8,7	1	0,1149
pokoj 2.08	20,82	1	0,0480

Tabulka 11 Obsazenost zón

3.4. Osvětlení

Hodnoty intenzity osvětlení (lx) jednotlivých zón jsou převážně vzaty z normy ČSN EN 12464-1 – Světlo a osvětlení. Konkrétní zadané hodnoty viz tabulka níže. Časové rozvrhy osvětlení kopírují časové rozvrhy obsazenosti v koupelnách a WC, pro pokoje 2NP byl vytvořen „schedule“ viz příloha D, pro obývací prostor by přiřazen „schedule“ z nabídky pro rezidenční objekty.

Intenzita osvětlení – zadané hodnoty	
Prostor Zóna	Intenzita osvětlení (lx)
Garáže, Chodby, komunikační prostory	75
Koupelny, toalety, jídelny, ložnice	100
Obývací pokoj	150

Tabulka 12 Intenzity osvětlení – hodnoty zadané do DB

3.5. Spotřebiče

Celková spotřeba a příkony spotřebičů byla stanovena v kapitole 2, výpočet viz příloha B. Příkony poté byly rozpočteny na podlahovou plochu místností, kde se většina spotřebičů vyskytuje, viz tabulka níže.

K počítačům byly vytvořeny „schedules“ simulující zvyklosti obyvatel při jejich užívání, viz příloha D.

Příkony spotřebičů rozděleny do zón					
Patro	Zóna	Plocha	Příkon celkem	Příkon PC	Zásuvkové spotřebiče příkon
		(m ²)	(W)	(W/m ²)	(W/m ²)
1NP	OP	63,68	15073,4		236,7
	pracovna	14,35	540	3,48	37,6
	koupelna	3,11	17		5,5
	WC	2,08	17		8,2
2NP	pokoj 2.08	20,82	54	2,40	2,6
	pokoj 2.02	20,6	4	2,43	0,2
	koupelna	8,7	4017		461,7
	WC	4,5	17		3,8

Tabulka 13 Příkony spotřebičů – hodnoty zadané do DB

3.6. Vytápění

System vytápění byl modelován jako „simple“, detailně byl system tzb modelován později, viz kapitola 5 Varianta 2. Jako zdroj tepla bylo zadáno tepelné čerpadlo země-voda, distribuce tepla simulována pomocí podlahového vytápění.

Ovládání systému vytápění je modelováno pomocí „set points“, které definují cílenou teplotu interiéru (lze chápat jako teplota nastavena na termostatu). Jsou

zadány různé podle místností v závislosti na naměřených teplotách interiéru, neboť v některých místnostech jsou průměrné teploty vzduchu v interiéru výrazně nižší, viz kapitola 2.

„Set points“ mohou být zadány jako teploty vzduchu či operativní teploty, naměřené údaje teplot interiéru jsou teploty vzduchu, proto byla použita tato možnost. Ve všech obytných místnostech, koupelnách a WC jsou hodnoty nastaveny na 19-21 °C.

Dalším ovládacím prvkem je „heating setback point“, který udává minimální teplotu v interiéru. U většiny místností je hodnota nastavena na 19-20 °C, v pokoji 2.05. je nastavena na 16.5 °C.

3.7. Teplá užitková voda

Teplá voda (TV) je v DB funkcí zadané aktivity v zóně, je vázaná i na zóny, kde nejsou instalovány zařizovací předměty a výtokové armatury. Potřeba teplé vody vyvstává z přítomnosti lidí a typu provozu – aktivity v místnosti. Protože spotřeba teplé vody v řešeném objektu byla stanovena, viz kapitola 2, budou použity tyto hodnoty přepočteny na plochu zón, kde dochází i ke spotřebě vody, viz tabulka níže. Procentuální rozložení spotřeby TV bylo odhadnuto dle zvyků uživatelů a typu zařizovacích předmětů instalovaných v příslušných zónách.

Zdroj tepla pro přípravu TV byl zadán stejný jako pro vytápění, teplota vody byla zadána 55 °C. „Schedule“ spotřeby TV kopíruje „schedules“ obsazenosti koupelen.

Spotřeba TV					
Zóna	Plocha	Spotřeba TV			Denní průměrná spotřeba TV
	(m ²)	(%)	(l/rok)	(l/m ²)	(l/m ²)
koupelna 1NP	3,11	25	18250	5868	16,1
koupelna 2NP	8,7	60	43800	5034	13,8
OP – kuchyně	63,68	15	10950	172	0,5

Tabulka 14 Spotřeba TV – hodnoty zadané do DB

3.8. Větrání

Přirozené větrání je možné modelovat jako „scheduled“, kde jsou hodnoty intenzity výměny vzduchu zadány konkrétní hodnotou (1/hod) a časovým údajem o provozu, či jako „calculated“, kde je intenzita výměny vzduchu spočtena z údajů o povětrnostních podmínkách zadané lokality, vlastností výplní otvorů a jejich provozem. Díky naměřeným údajům, spočteným hodnotám infiltrace a známým zvykům uživatelů budovy lze poměrně přesně vymodelovat přirozené větrání pomocí metody „scheduled“.

U této metody lze definovat množství přiváděného čerstvého vzduchu dle následujících možností:

1. „By zone“ – dle zóny, hodnota výměny vzduchu (1/hod) zadána pro každou zónu
2. „Min fresh air per person“ – množství přiváděného čerstvého vzduchu je stanoveno dle počtu přítomných osob a požadavku na čerstvý vzduch zadaný v záložce „Activity“
3. „Design flow rate“ – hodnota výměny vzduchu zadaná přímo hodnotou (m^3/s)

Z naměřených hodnot byly vypočteny hodnoty infiltrace při zavřených, částečně a plně otevřených oknech, viz. předešlá kapitola, které jsou použity jako vstupní údaje pro „scheduled“ přirozené větrání „by zone“. Chování uživatelů – otevírání oken je vymodelováno vytvořením časových rozvrhů, je vytvořen rozvrh zvláště pro pracovnu, spojený obývací pokoj s kuchyní a pokoje ve vrchním patře ve dvou variantách, neboť intenzity větrání se zde především v zimním období výrazně liší. V časovém rozvrhu jsou také zohledněny různé zvyky větrání během roku. V časovém rozvrhu je jako hodnota „1“ (maximum výměny vzduchu (1/hod)) nastavena hodnota výměny vzduchu při otevřeném oknu, hodnota výměny vzduchu při částečně otevřeném okně je poté spočtena jako 0,6. Hodnota „0“ je uvažována jako zavřené okno. Infiltrace vzduchu skrze obálku budovy je zadána ve vlastnostech konstrukcí – obálky budovy jako konstantní hodnota 0,2 1/hod. „Schedules“ větrání viz příloha D.

Dále je v modelu nastaveno mechanické větrání koupelen, WC a kuchyně, hodnoty objemu vzduchu jsou nastaveny dle doporučených normových hodnot (150 m^3/hod , 90 m^3/hod , 50 m^3/hod). Časový rozvrh je vytvořen dle uživatelských zvyků.

Kromě časového rozvrhu lze přirozené větrání řídit také pomocí nastavení minimální a maximální teploty exteriéru, při kterých dojde k omezení přirozeného větrání. V tomto případě to znamená ponechání zavřených oken navzdory časovému rozvrhu při překročení maximální zadané venkovní teploty či nedosažení zadaného minimálního limitu venkovní teploty. Tyto hodnoty byly ponechány tak, aby přirozené větrání neovlivňovalo, neboť venkovní teploty nemají výrazný vliv na zvyky větrání uživatelů.

Skutečná intenzita infiltrace a větrání je v softwaru DesignBuilder dopočtena pro každý časový krok simulace ze zadaných hodnot (V_{design}) dle následujícího vzorce:

$$Ventilation = V_{design} \times F_{schedule} (A + B(T_{in} - T_{out}) + C \times wind\ speed + D \times (wind\ speed^2))$$

Kde

V_{design} je zadaná maximální výměna vzduchu (1/hod)

$F_{schedule}$ je hodnota mezi 0–1 zadaná v časovém rozvrhu upravující hodnotu V_{design} v čase (-)

T_{in} je teplota interiéru (°C)

T_{out} je teplota exteriéru (°C)

Koeficient A („constant term coefficient“) je konstantní hodnota zohledňující environmentální vlivy (-)

Koeficient B („temperature term coefficient“) je hodnota zohledňující environmentální vlivy proměnlivá v závislosti na rozdílu teplot interiéru a exteriéru (°C)

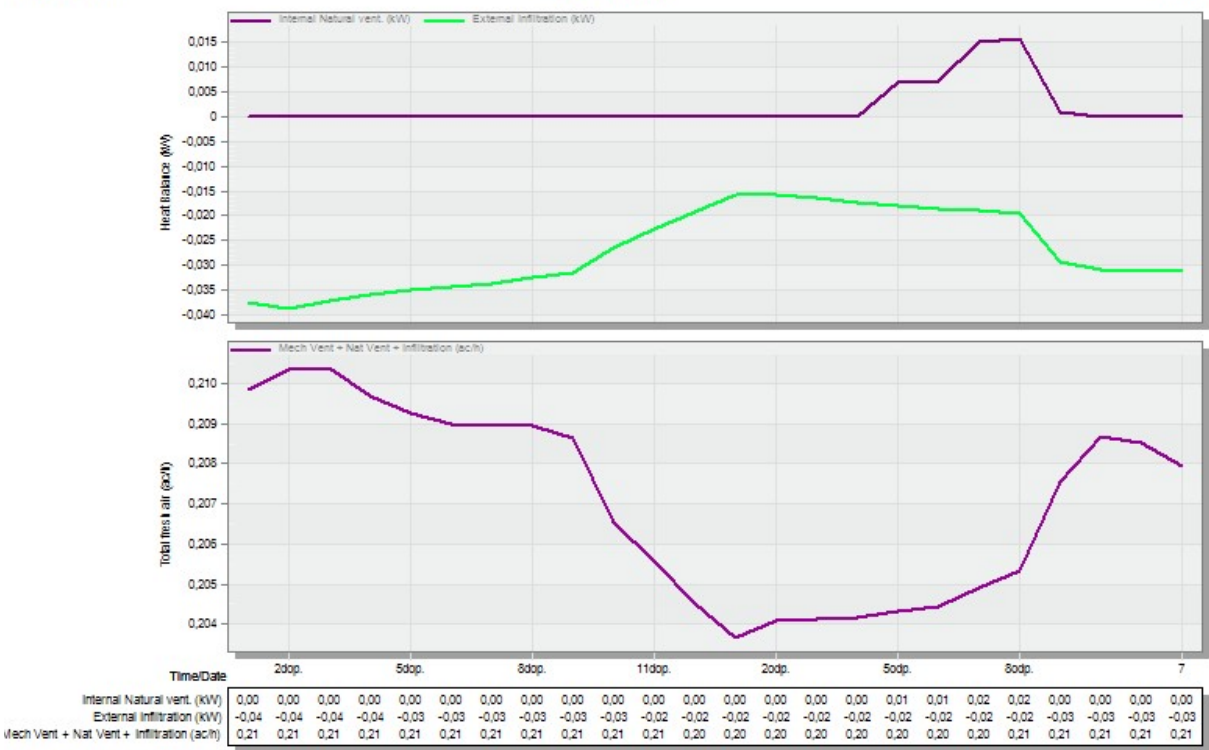
Koeficient C („velocity term coefficient“) je hodnota zohledňující environmentální vlivy proměnlivá v závislosti na rychlosti větru (s/m)

Koeficient D („velocity squared term coefficient“) je hodnota zohledňující environmentální vlivy proměnlivá v závislosti na druhé mocnině rychlosti větru (s^2/m^2)

Z výše uvedeného vyplývá, že zadané hodnoty V_{design} nejsou shodné s hodnotami vypočtenými z naměřených údajů, proto bylo nutné provést kalibraci modelu a ověřit výsledné intenzity větrání a infiltrace a případně upravit zadávané hodnoty V_{design} .

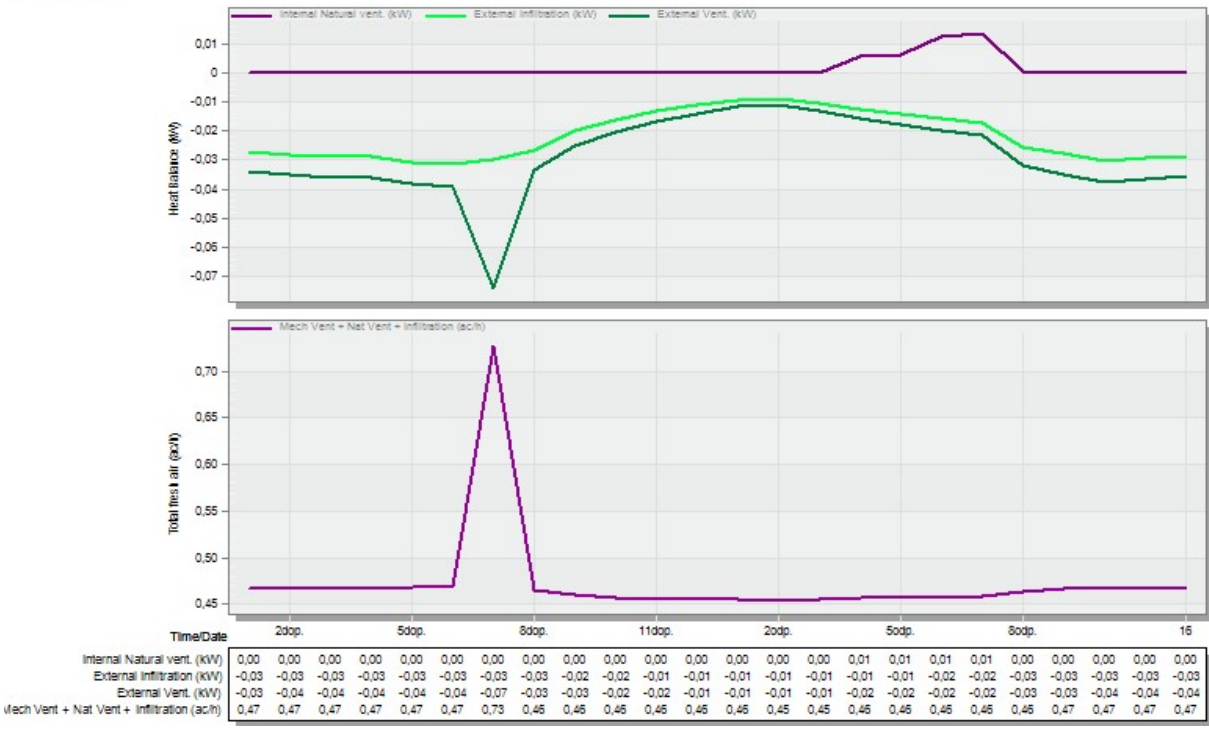
Obrázky níže ukazují výsledky simulace, na prvním grafu je zřejmé, že při zavřených oknech se hodnota infiltrace pohybuje kolem 0,2 1/hod (zadaná hodnota pro infiltraci obálkou budovy). Druhý graf ukazuje zvýšenou výměnu vzduchu na hodnotu 0,7 1/hod při ranním otevření okna a nárazovém vyvětrání (hodnota spočtena metodou poklesu značkovacího plynu, viz kapitola 2 a příloha A), a hodnotu mezi 0,4 – 0,5 1/hod pro částečně otevřené okno.

Fabric and Ventilation - 2NP, pokoj 2.05



Obrázek 11 Průběh infiltrace při zavřeném okně pokoj 2.05

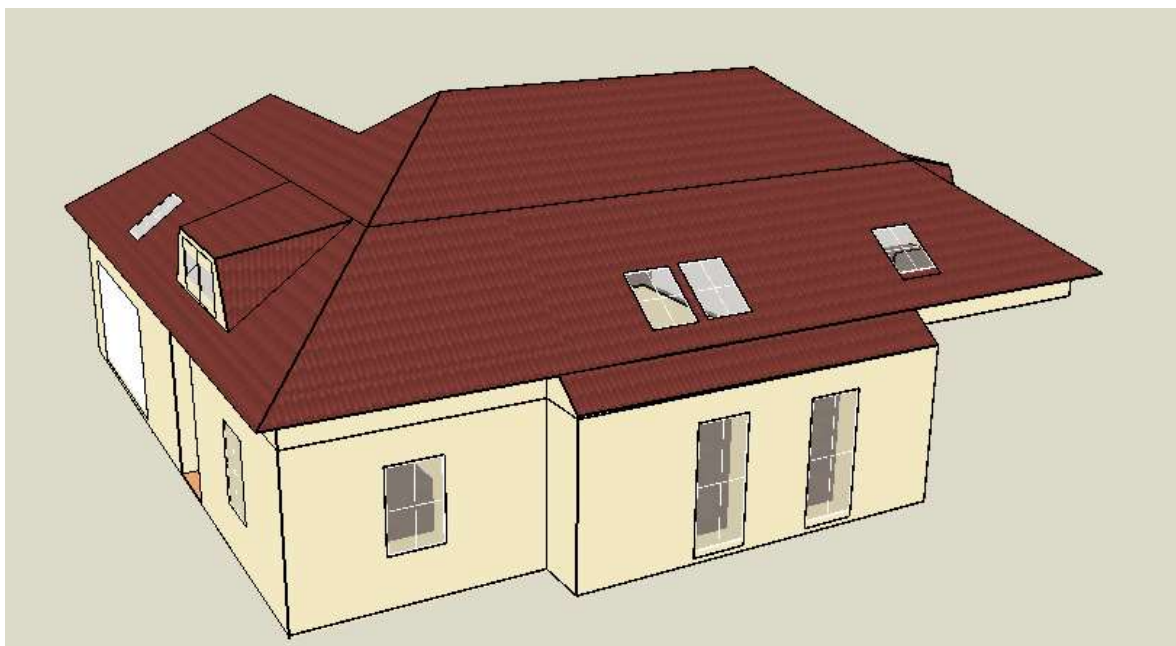
Fabric and Ventilation - 2NP, pokoj 2.05



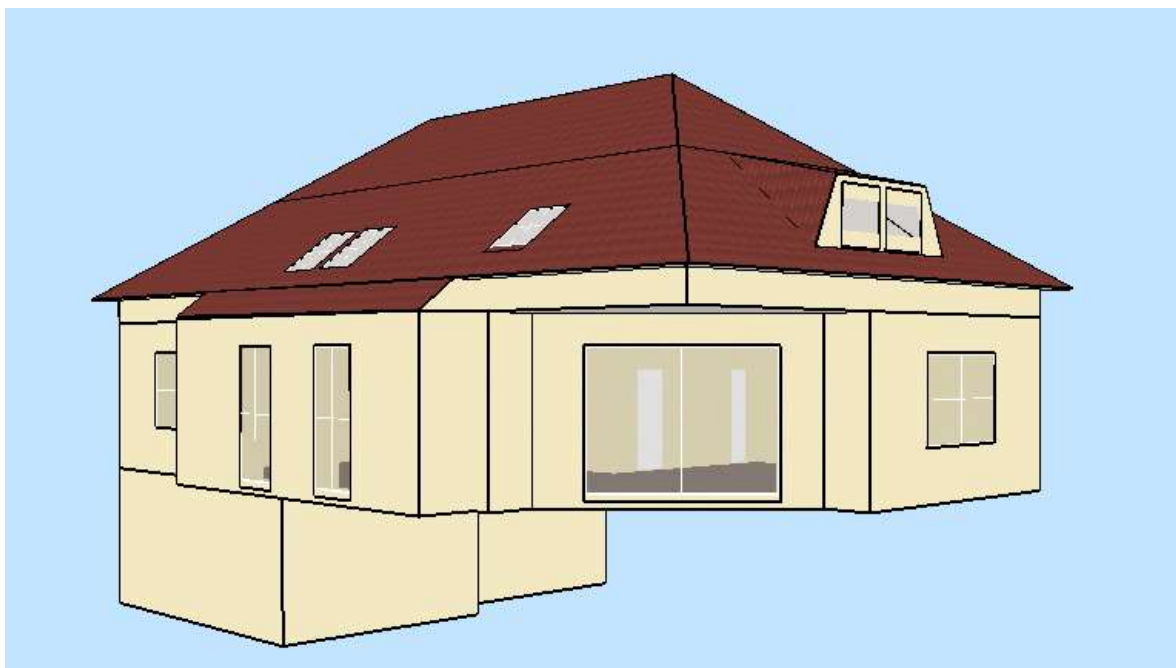
Obrázek 12 Průběh infiltrace částečně a plně otevřené okno pokoj 2.05

3.9. Model vizualizace

Na obrázcích níže je vidět výsledný model ze dvou pohledů, jižní pohled ukazuje západní stranu objektu, kde se nachází hlavní vchod, vjezd do garáže, vikýřové okno do pokoje 2.05 a okno vedoucí do pracovny 1.05. Na východním pohledu je vidět suterén objektu, krytá terasa vedoucí do velkého spojeného obytného prostoru s kuchyní a vikýřová okna vedoucí do pokojů 2.02 a 2.03.



Obrázek 13 Jižní pohled – vizualizace modelu DB



Obrázek 14 Východní pohled – vizualizace modelu DB

3.10. Vyhodnocení modelu

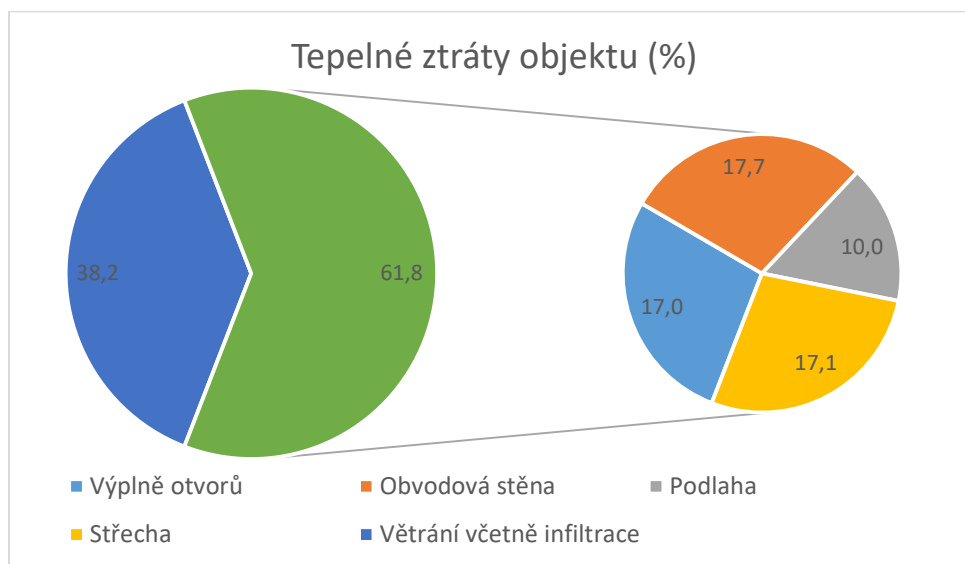
3.10.1. Spotřebovaná energie

V tabulce níže jsou uvedeny výsledné hodnoty koncových spotřeb elektrické energie, celkové spotřebované sumy energie a tepelných zisků modelu V0 – aktuální stav objektu, výsledky z DB viz příloha E. Hodnoty koncových spotřeb se blíží dříve odhadnutým hodnotám a pohybují se i v rozmezí uvedených statistických údajů. Celková spotřeba elektrické energie téměř odpovídá spotřebě v roce 2019.

Spotřeby (kWh/rok)	
Spotřebiče	3513,99
Osvětlení	376,16
Čerpadla a ventilátory	6,54
TV	1402,69
Větrání	6376,29
Vytápění (včetně tepelné ztráty větráním)	16993,7
Vytápění spotřeba elektrické energie	5310,53
Spotřeba elektrické energie CELKEM	10609,91
Tepelné zisky (kWh/rok)	
Lidé	2887,62
Solární zisk	5024,5
Spotřebiče	3513,99
Osvětlení	376,16
Zisky celkem	11802,27

Tabulka 15 Výsledky V0 DB

Z provedené simulace byly také stanoveny tepelné ztráty objektu prostupem po jednotlivých konstrukcích a větráním, viz graf níže.



Obrázek 15 Graf tepelné ztráty objektu

3.10.2.Vnitřní prostředí

V tabulce níže je porovnání průměrných měsíčních teplot vzduchu naměřených v interiéru a výsledných hodnot z provedené simulace. Hodnoty se výjimečně liší o více než 1 °C.

Teploty vzduchu v interiéru (°C)								
	Zóna OP		pokoj 2.02		pokoj 2.03		pokoj 2.05	
	DB	změřeno	DB	změřeno	DB	změřeno	DB	změřeno
Leden	20,87		20,81	21,4	20,81		18,44	18,9
Únor	20,87	21,3	20,81	21,1	20,81		18,43	18,7
Březen	20,93	21,8	20,84	20,8	20,85	21,5	18,67	20
Duben	21,09	21,4	21,17	20,2	21,19	21,3	19,23	19,8
Květen	21,71	21,5	22,23	22,3	22,14	22,5	20,49	21,1
Červen	22,03	23	22,85	24,5	22,61	24,6	21,04	23,8
Červenec	22,45	23,4	23,63	24,3	23,36	24,4	22,1	23,1
Srpen	22,46		23,27		23,19	23,1	22,09	21,4
Září	21,21		21,22		21,27	22,3	19,75	20,8
Říjen	20,94		20,83	21,2	20,82	21,4	18,93	19,7
Listopad	20,88		20,81	21,3	20,81	20,9	18,5	19,1
Prosinec	20,88		20,81	21,1	20,81	21	18,47	18,3

Tabulka 16 Porovnání teplot vzduchu v interiéru – výsledky simulace v DB a naměřené hodnoty

Dále byly z provedené simulace stanoveny průměrné roční hodnoty intenzity větrání pro jednotlivé obytné místnosti, je patrný vliv různých uživatelských vlivů v pokojích v 2NP. Podrobněji se kvalitě vnitřního prostředí včetně intenzity větrání věnuje kapitola 8.

Intenzita větrání	
Zóna	VO
	(1/hod)
OP	0,44
pracovna	0,2
pokoj 2.02	0,41
pokoj 2.03	0,37
pokoj 2.05	0,41
pokoj 2.08	0,37
Budova	0,36

Tabulka 17 Intenzita výměny vzduchu

4. Varianta 1 – Zlepšení tepelně-technických vlastností obálky budovy

Nyní 50 % celkové spotřebované elektrické energie je spotřebováno na vytápění objektu, k největším tepelným ztrátám dochází prostupem stěnami, výplněmi otvorů a střechou, viz graf na obrázku 15.

Varianta 1 uvažuje se zateplením obvodových stěn objektu a výměnou výplní okenních otvorů. Jsou uvažovány dvě varianty, které patří mezi běžná řešení: V1a – tepelná izolace z minerální vaty tl. 160 mm (součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$) a dřevěné okenní rámy s izolačním trojsklem a V1b – tepelná izolace z pěnového polystyrenu (EPS) tl. 160 mm (součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) a plastová okna s trojsklem stejných vlastností jako ve variantě V1a. Vliv obou variant na potřebu tepla na vytápění bude obdobný, varianty budou porovnány především ohledně jejich vlivu na životní prostředí. Zlepšení tepelně-technických vlastností viz tabulka níže.

Přehled původních (V0) a nových (V1) součinitelů prostupu tepla U				
Konstrukce		V0	V1a	V1b
		cihly 44 P+D	MW 160 mm	EPS 160 mm
		U	nové U	nové U
		(W/m ² K)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
STN_1	obvodová stěna	0,248	0,118	0,116
OKNA_1	okna	1,323	0,78	0,78
OKNA_2	střešní okna	1,493	1,058	1,058
OKNA_3	okna vikýř	1,323	0,78	0,78

Tabulka 18 Přehled součinitelů prostupu tepla

Vlastnosti skel výplní otvorů, vyjma tepelně-technických vlastností, jsou uvažovány obdobné, kde to bylo vzhledem k nabídce možné, jako u původní Varianty 0, aby nedošlo k přílišnému zkreslení výsledků výraznou změnou solárních zisků v interiéru. Okna_1 a Okna_3 jsou uvažována totožná.

Vlastnosti oken				
	V0		V1	
	OKNA__1	OKNA__2	OKNA__1	OKNA__2
Propustnost slunečního záření celková (-)	0,428	0,745	0,474	0,579
Propustnost přímého slunečního záření (-)	0,322	0,635	0,358	0,458
Světelná propustnost (-)	0,634	0,752	0,661	0,698
Součinitel prostupu tepla (W/m ² K)	1,323	1,493	0,78	1,058

Tabulka 19 Vlastnosti oken

Lze předpokládat, že zateplením obálky budovy dojde také ke snížení tepelných ztrát způsobených tepelnými mosty, proto jsou hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla styků konstrukcí zlepšeny na hodnoty doporučené normou ČSN 73 0540-2 (730540) Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Je také snížena hodnota infiltrace skrze obálku budovy z původní hodnoty 0,2 1/hod na 0,1 1/hod, což je odhad vycházející ze spočtených hodnot infiltrace z naměřených údajů, které vycházely mezi 0,07 až 0,23 1/hod (viz příloha A), s průměrem kolem 0,2 1/hod. Po zateplení obálky budovy a výměně otvorových výplní se předpokládá zlepšení této hodnoty ve všech místnostech.

Přehled lineárních činitelů prostupu tepla		
Styk konstrukcí	V0	V1
	ψ	ψ
	(W/mK)	(W/mK)
STN-STR	0,18	0,1
STN-PDL zemina	0,24	0,2
STN-STN (roh)	0,14	0,1
STN-PDL	0,11	0,1
překlad OK/DV	0,45	0,03
parapet	0,08	0,03
zárubeň	0,09	0,09

Tabulka 20 Přehled lineárních činitelů prostupu tepla

Ostatní údaje zadané v softwaru DesignBuilder včetně přirozeného větrání zůstávají stejné.

Logickým následkem utěsnění obálky budovy, jsou nižší intenzity výměny vzduchu v interiéru způsobené infiltrací, proto byla vytvořena také varianta V1a+. V této variantě jsou upraveny časové rozvrhy větrání tak, aby bylo dosaženo stejných hodnot výměny vzduchu (1/hod) jako u varianty V0 za účelem dosažení stejné kvality vzduchu na kterou jsou nyní uživatelé zvyklí.

5. Varianta 2 – Instalace vzduchotechnického zařízení

K výrazným tepelným ztrátám (38 %) dochází také větráním, proto je dalším uvažovaným opatřením instalace vzduchotechnického zařízení včetně systému zpětného získávání tepla.

5.1. Návrh systému větrání

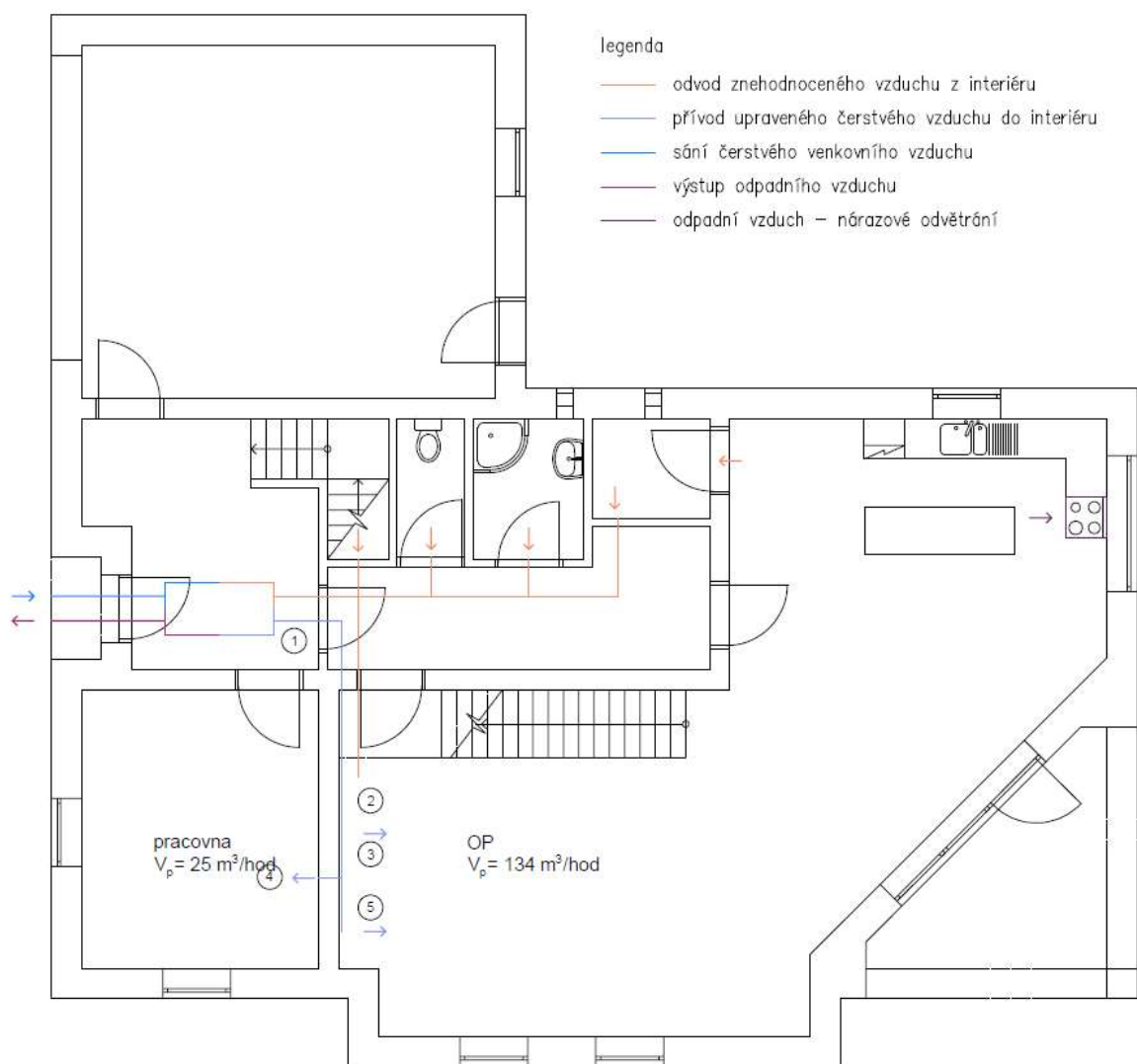
Před samotnou simulací této varianty je nutno ověřit realizovatelnost navržené možnosti. Byl vytvořen koncepční návrh systému větrání s přívodem čerstvého vzduchu do obytných místností a odvodem znehodnoceného vzduchu z koupelen, WC, spižírny a chodby, viz. obrázek níže. Vzduchotechnická jednotka je v podstropním provedení umístěna ve vstupní místnosti, rozvody vzduchu jsou instalovány převážně v komunikačních prostorech budovy. Sání čerstvého vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu je skrze fasádu na straně hlavního vchodu. Počítá se zde s vhodným umístěním koncových prvků a jejich dostatečnou vzdáleností, aby nedocházelo k sání znehodnoceného vzduchu.

Potřebné objemy přiváděného vzduchu byly stanoveny jako maximum z doporučených normových hodnot potřeby čerstvého vzduchu na osobu 25 m³/osoba a intenzity výměny vzduchu v místnosti 0,5 1/hod.

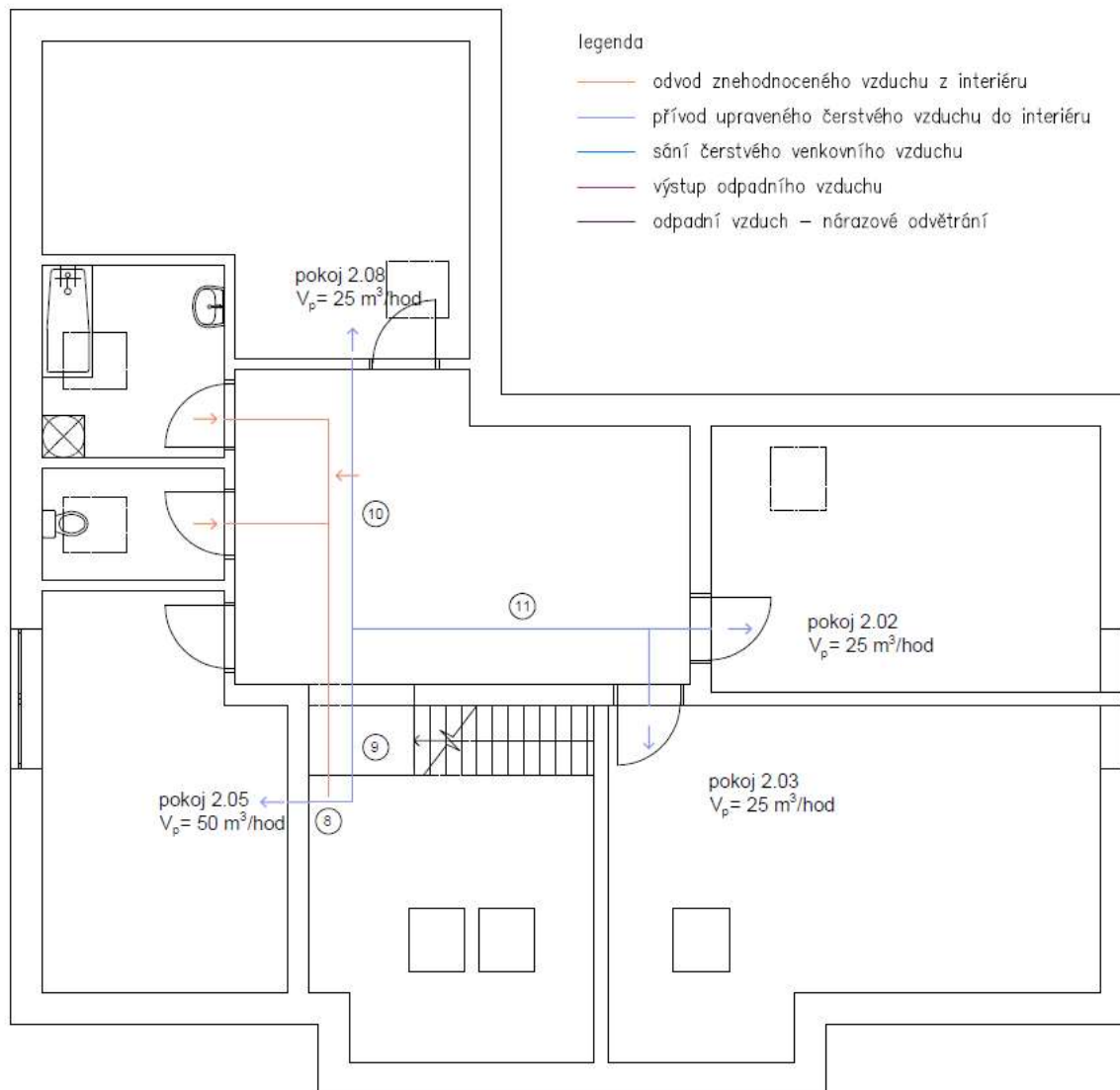
Návrh množství přiváděného vzduchu						
Zóna DB	Objem vnitřní	Min přiváděného vzduchu 0,5 1/hod	Max počet osob v místnosti	Min přiváděného vzduchu 25 m ³ /os	Návrh množství V _p	Min odváděného vzduchu 0,5 1/hod
	V	min V _p	p	min V _{p,os}	návrh V _p	min V _o
(-)	(m ³)	(m ³ /hod)	(-)	(m ³ /hod.os)	(m ³ /hod)	(m ³ /hod)
sklad	28,19	14	-	0		14
chodba	52,6	26	-	25		26
kotelna	60,79	30	-	0		30
				0		
OP	268,01	134	4	100	134	
pracovna	39,53	20	1	25	25	
zádveří-suterén	26,04	13	-			13
garáž	88,09	44	-			
WC	5,69	3	-			3
koupelna	10	5	-			5
Spíž	7,5	4	-			4

		min V_p	p	min $V_{p,os}$	návrh V_p	min V_o
pokoj 2.02	33,26	17	1	25	25	
pokoj 2.03	41,05	21	1	25	25	
pokoj 2.05	38,51	19	2	50	50	
WC	7	4	-			4
koupelna	13,3	7	-			7
pokoj 2.08	25,4	13	1	25	25	
Celkem					286	105,6

Tabulka 21 Návrh množství přiváděného vzduchu



Obrázek 16 Návrh systému vzduchotechniky 1NP



Obrázek 17 Návrh systému vzduchotechniky 2NP

5.2. Model DesignBuilder

Způsob větrání je změněn z přirozeného na mechanické, přirozené větrání je ponecháno pouze jako otevírání dveří.

Vzduchotechnická jednotka je uvažována typu Duplex Multi EC5 či obdobná. Hodnoty použité v simulaci jsou následující: účinnost systému zpětného získávání tepla je při objemu vzduchu $300 \text{ m}^3/\text{hod}$ 80 %, maximální elektrický příkon je 0,3 kW, příkon ventilátorů je max $0,45 \text{ W}/\text{m}^3/\text{hod}$.

Přívod vzduchu je zadán do všech obytných místností, odvod vzduchu se předpokládá z místností bez trvalého pobytu osob: koupelen, WC a komunikačních prostorů. Požadavek na množství přiváděného vzduchu je zadán jako maximum z požadavku na čerstvý vzduch pro osoby ($25 \text{ m}^3/\text{hod.os} =$

6,9 l/s.os) a minimální výměnu vzduchu v místnosti (0,5 1/hod přepočteno na podlahovou plochu jednotlivých zón, viz příloha C).

Měnící se požadavek na množství přiváděného vzduchu v čase byl zohledněn vytvořením „schedule“ kopírující „schedule“ obsazenosti jednotlivých zón. Ve „schedules“ je jako hodnota 1 zadán maximální možný požadovaný objem přiváděného vzduchu, což je u všech místností kromě spojeného obývacího prostoru požadavek vyplývající z přítomnosti osob (počet osob x 25 m³/hod). Hodnota zadaná do „schedules“ pro druhý požadavek je dopočtena, viz tabulka níže.

Hodnoty použité pro simulaci v DesignBuilderu			
Zóna DB	DB hodnota "1"	Vp při požadavku 0,5 1/hod	DB hodnota pro požadavek 0,5 1/hod
(-)	(m ³ /hod)	(m ³ /hod)	(-)
OP	134	134	1
pracovna	25	20	0,8
pokoj 2.02	25	17	0,7
pokoj 2.03	25	21	0,8
pokoj 2.05	50	19	0,4
pokoj 2.08	25	13	0,5

Tabulka 22 Hodnoty zadané do DB – přiváděný vzduch

5.3. Detailní model systému tzb

Tato varianta byla za účelem získání přesnějších výsledků, co se týče energie potřebné na provoz systému větrání, modelována i detailně.

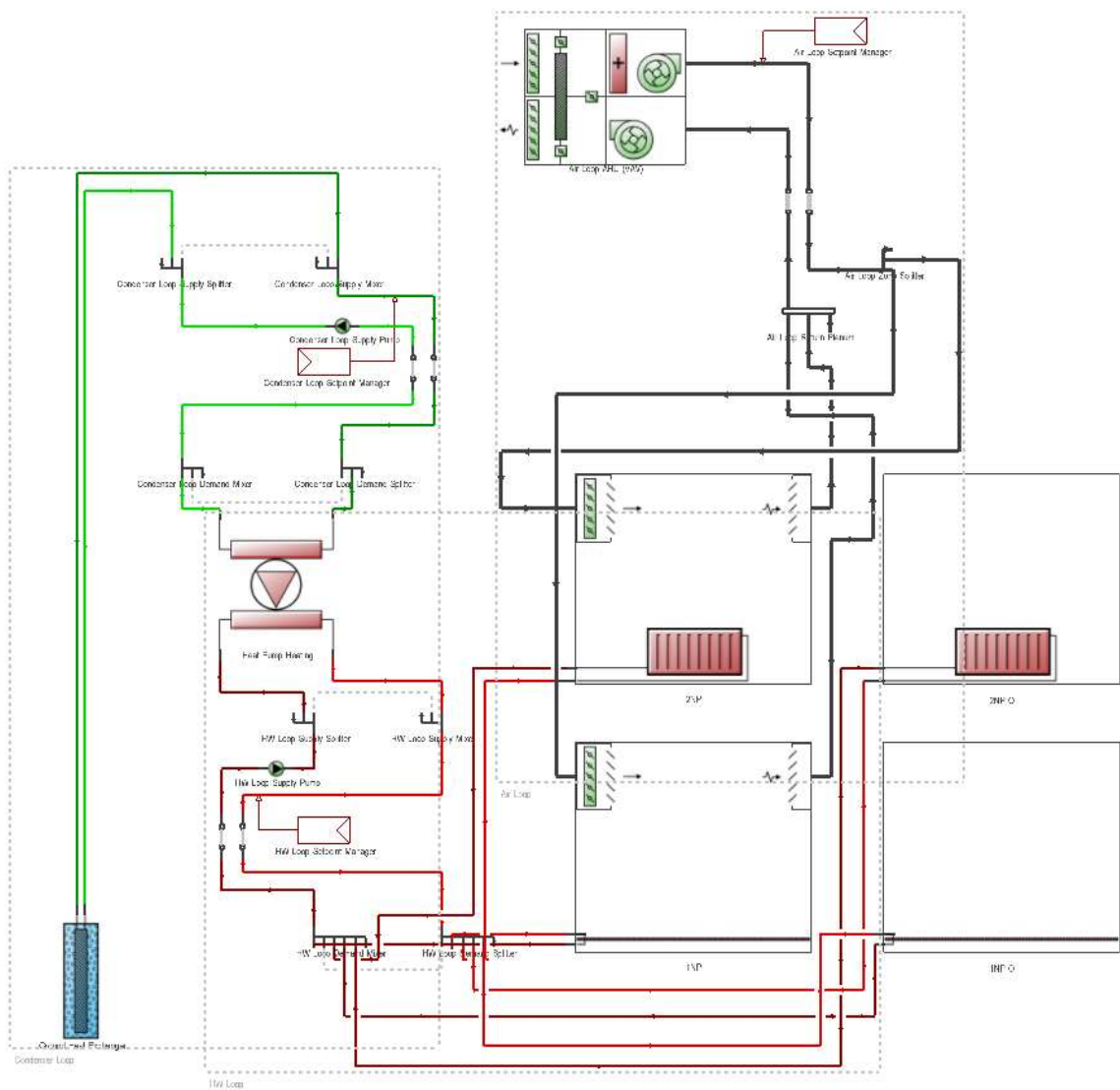
Bylo vymodelováno tepelné čerpadlo s otopnou soustavou rozdělenou na dvě hlavní části: otopná tělesa a podlahové vytápění. Byla vymodelována vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla s hlavní funkcí zajištěním přívodu čerstvého vzduchu, jednotka má elektrický ohříváč, ale nekryje celou tepelnou ztrátu větráním. Teplota přívodního vzduchu je nastavena na 18 °C. Ventilátory jsou s proměnnými otáčkami, reagují na aktuální požadavek na přívod čerstvého vzduchu dle dat zadaných v záložce Aktivita (obsazenost a požadavek na množství přiváděného čerstvého vzduchu na osobu/plochu).

Zóny byly rozděleny do čtyř skupin – kombinace otopné těleso, podlahové vytápění, přívod a odvod vzduchu, viz obrázek níže.

Model je omezen požadavkem na přívod a odvod vzduchu ze stejné místnosti. Odvod vzduchu přes jinou zónu je umožněn pouze označením dotčené zóny „plénem“, avšak plénem nemá možnost jakkoli upravovat vnitřní prostředí a

může být pouze jedno v celém modelu. Z těchto důvodů nebylo možné přesně modelovat danou situaci a výsledné spotřeby nejen u ventilátorů jsou zkreslené.

Proto, aby bylo možné porovnat jednotlivé varianty, budou použity výsledky z modelů se zjednodušeným modelováním systému tzb.

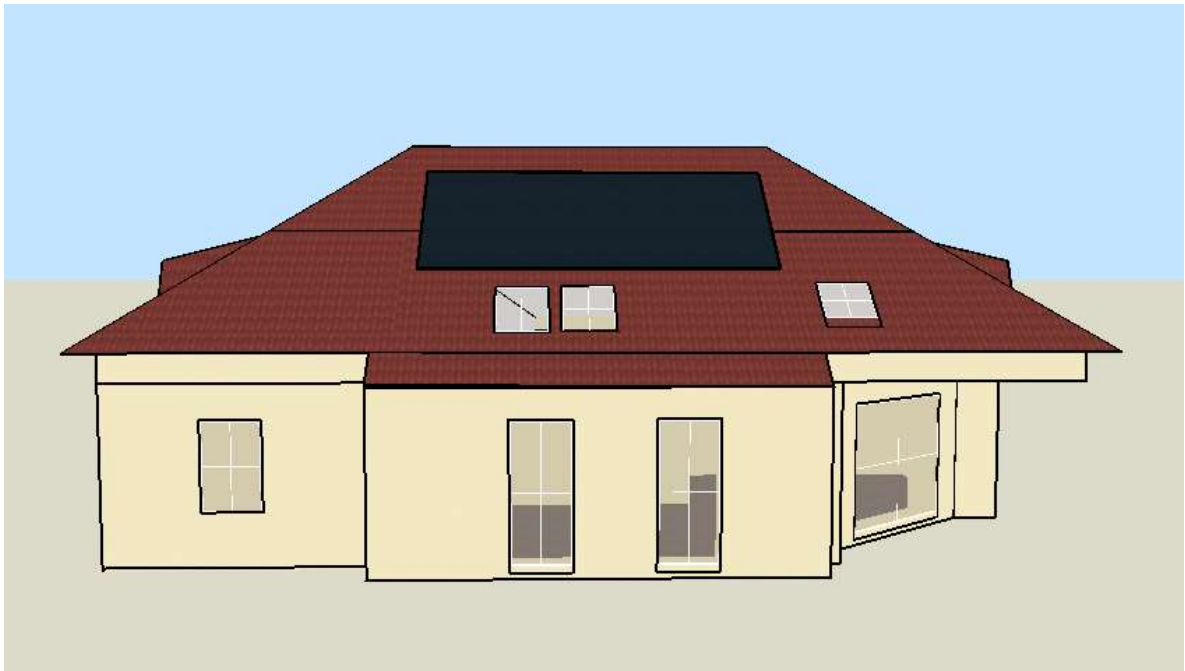


Obrázek 18 Detailní model TZB

6.Varianta 3 – Instalace fotovoltaické elektrárny na střechu objektu

Varianta 3 uvažuje kvýše uvedeným opatřením instalaci fotovoltaické elektrárny (FVE) na střechu objektu. Cílem tohoto opatření je snížit spotřebu neobnovitelné primární energie. Objekt již nyní využívá energii prostředí díky tepelnému čerpadlu. K jeho provozu, provozu záložního zdroje a provozu spotřebičů je však potřebná elektrická energie brána nyní z veřejné distribuční sítě. Energetický mix v České republice a s tím související faktor neobnovitelné primární energie má výrazný negativní vliv na konečnou sumu spotřebované primární neobnovitelné energie, proto je snaha snížit závislost na veřejné síti.

Předpokládá se umístění fotovoltaických (FV) panelů na střechu orientovanou na JV. Typ uvažovaných FV panelů je DM455M6-B72HSW. Aktivní plocha panelů je stanovena jako plocha solárních článků (buňek) x počet článků v panelu = $144 \times 0,24 \times 0,06 = 2,07 \text{ m}^2$. Celkem je na JV střechu umístěno 9 panelů seskupených do jednoho celku, počet panelů je poté zadán jako 9 modulů v sérii.



Obrázek 19 FVE vizualizace

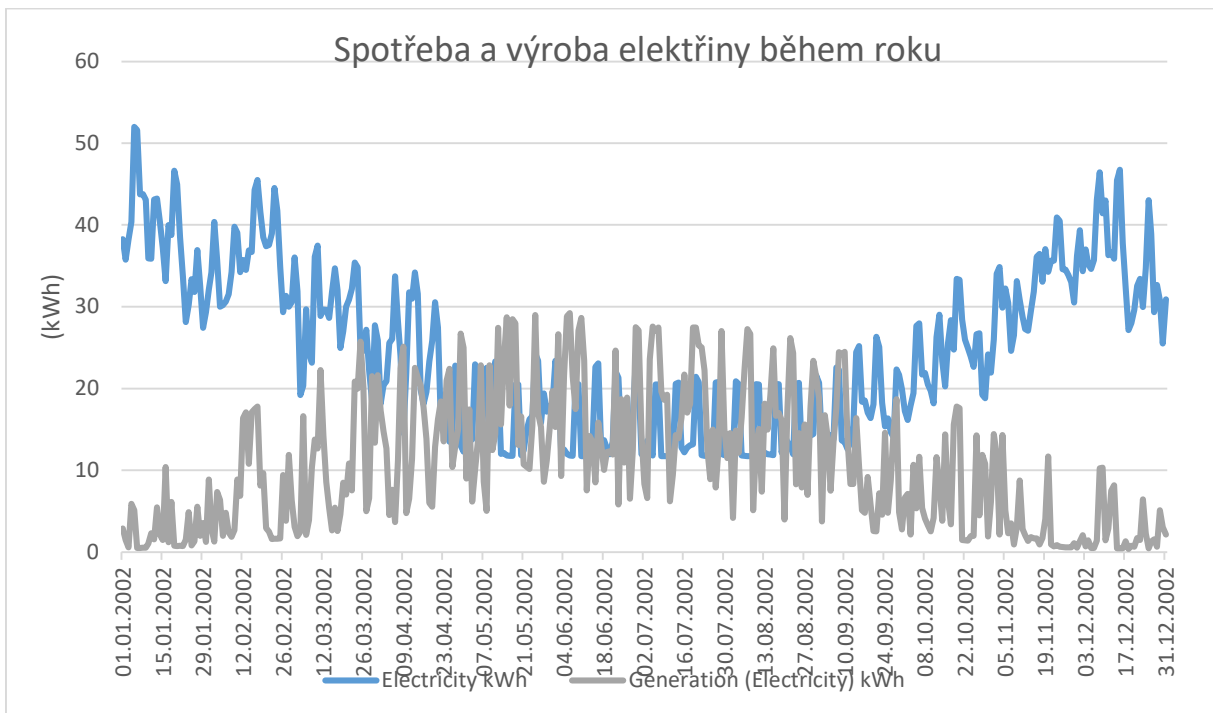
Výkon panelů je zadán jako „equivalent one diode“ zohledňující rozdílné venkovní podmínky a solární radiaci. Panely nejsou součástí obálky budovy – „decoupled heat transfer integration mode“.

Následující údaje zadané do DB jsou z technického listu FV panelu, hodnoty STC (standard test conditions):

- Rated electric output power (jmenovitý elektrický výkon): 455 W
- Short circuit current (zkratový proud): 11,51 A
- Modul current at max power (max proud při zatížení): 11,1 A
- Temperature coefficient of short circuit current: 0,005605 A/K
- Temperature Coefficient of Isc: +0.0487 %/°C
 - Přepočteno a zadáno do DB jako: $11,51 * 0,0487 / 100$
- Open circuit voltage (napětí naprázdno): 50,42 V
- Module voltage at max power: 41,04 V
- Temperature coefficient of open circuit voltage: V/K
- Temperature Coefficient of Voc: -0.256 %/°C
 - Přepočteno a zadáno do DB jako: $50,42 * (-0,256) / 100$
- Nominal operating cell temperature NOCT (jmenovitá provozní teplota článku): 42+3 °C

Po vymodelování panelů a zadání jejich vlastností je na záložce „Generation“ přidána a připojena FVE elektrárna (jako „load centre DC with inverter“), je přidán měnič napětí s konstantní účinností 0,95.

Kvůli nesoučasnosti výroby a spotřeby elektrické energie, viz graf níže, je uvažováno také s úložištěm – baterií o kapacitě 12 kWh. Celková suma vyrobené elektřiny je 3853 kWh ročně, viz výsledky DB v příloze E.



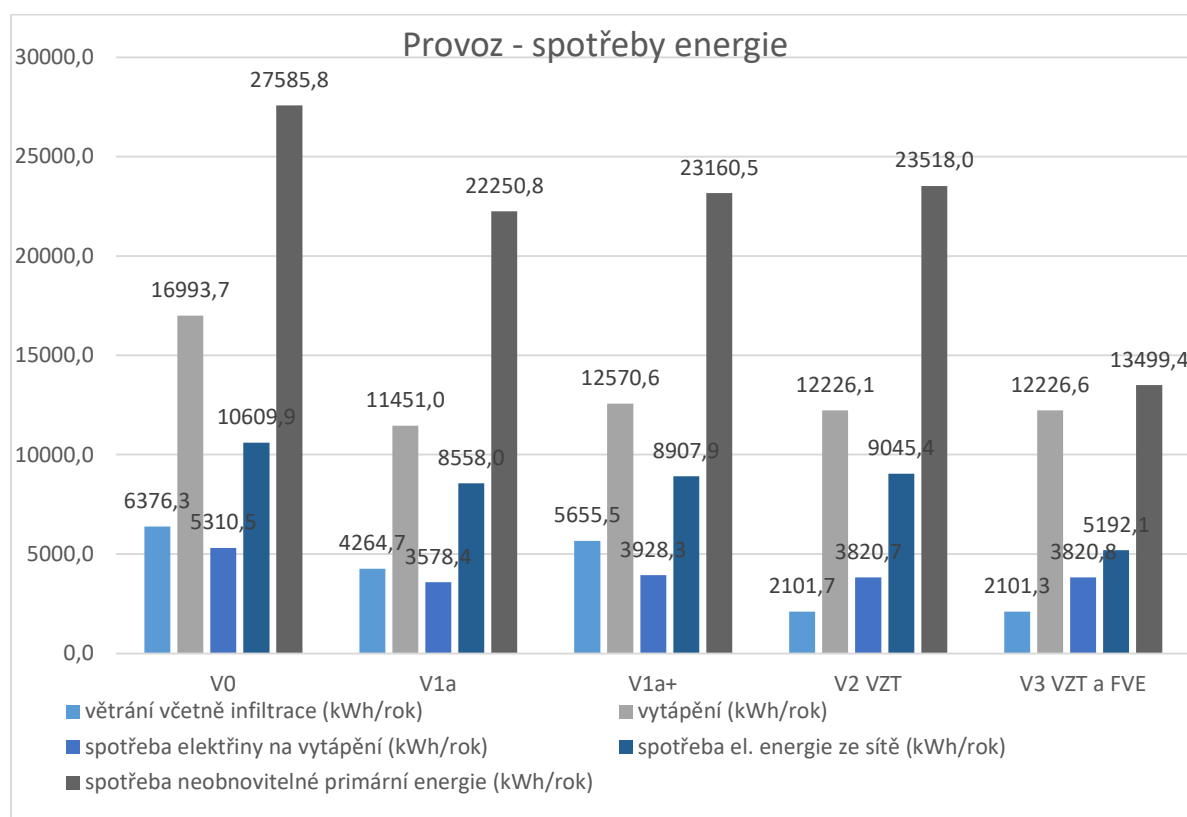
Obrázek 20 Graf porovnání elektřiny – spotřeba a výroba na místě (FVE)

7. Vyhodnocení navržených variant – provoz

Graf níže ukazuje roční spotřeby elektrické energie na vytápění a na celkový provoz objektu. Energie na provoz je vyjádřena také jako primární neobnovitelná energie. Dále graf ukazuje roční potřebu energie na vytápění, jejíž součástí je i krytí tepelné ztráty větráním. Pro názornost účinnosti opatření je energie potřebná na krytí tepelné ztráty přirozeným větráním a infiltrací znázorněna i samostatně. Výsledky simulací v DB viz příloha E.

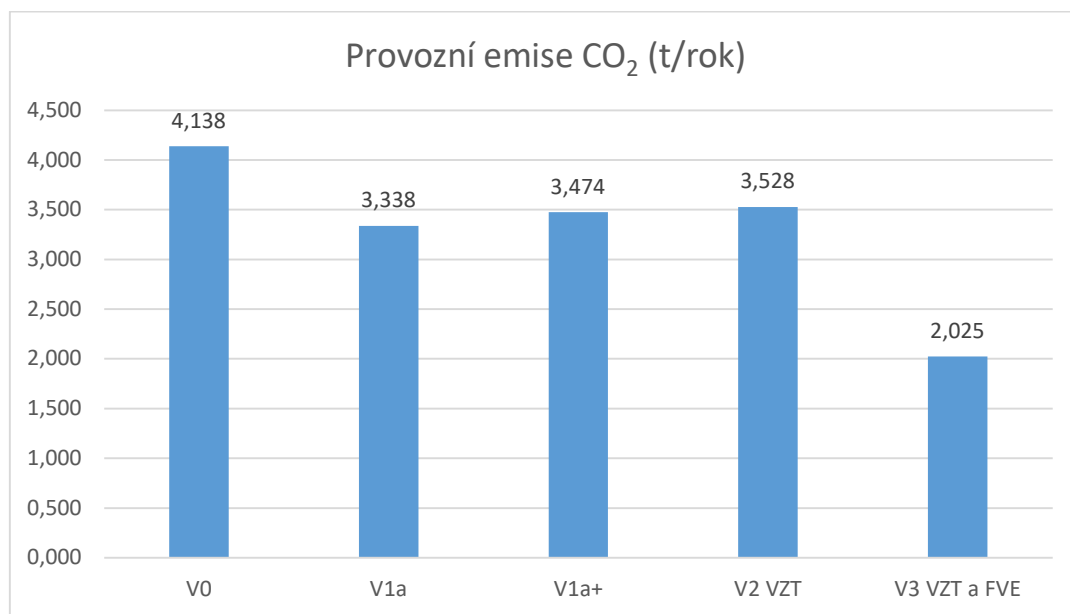
Zcela dle očekávání se u varianty 1 po zateplení obálky budovy všechny hodnoty snižují. U varianty 2 je po instalaci systému větrání se zpětným získáváním tepla s účinností 80 % spotřeba elektrické energie na vytápění podobná jako u varianty 1a a téměř shodná jako u varianty 1a+, přestože tepelná ztráta přirozeným větráním je nyní způsobena pouze infiltrací obálkou budovy. U varianty 2 je dokonce lehce vyšší celková spotřebovaná elektrická energie na provoz objektu, a tedy i primární neobnovitelná energie. Důvodem je energie potřebná na provoz systému větrání a vyšší intenzita větrání.

U varianty 3 po instalaci fotovoltaické elektrárny výrazně klesá spotřeba elektrické energie z veřejné sítě a s tím související spotřeba primární neobnovitelné energie.

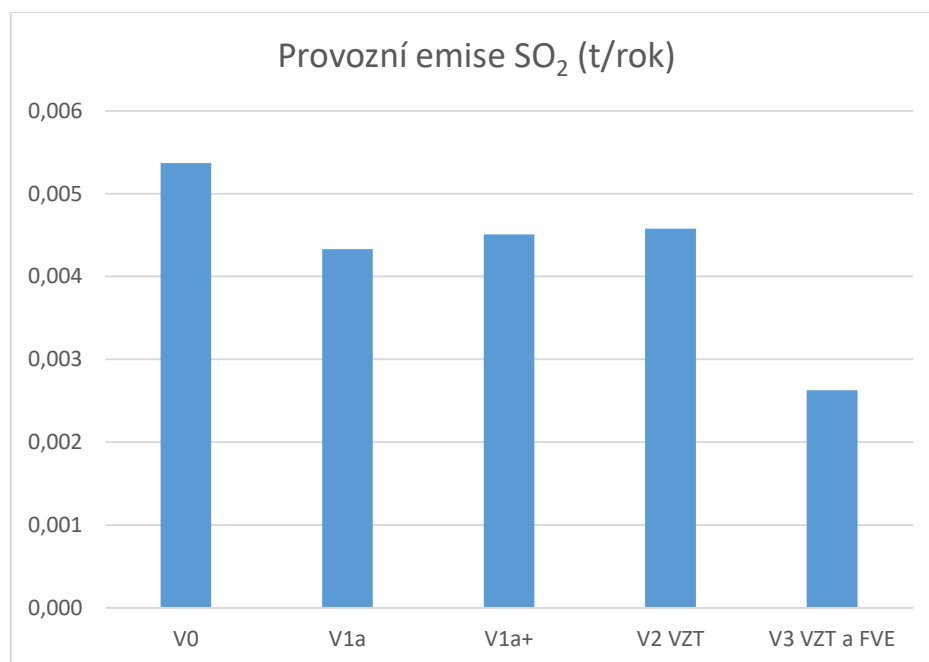


Obrázek 21 Porovnání všech variant – provoz – energie

Emise oxidu uhličitého byly dopočteny vynásobením spotřebované elektrické energie emisním faktorem 0,39 t CO₂/MWh (7). Emise oxidu siřičitého byly dopočteny obdobně s použitím emisního faktoru pro SO₂ – 0,506 kg/MWh (8). Hodnoty emisí jednotlivých variant jsou tedy u provozu závislé pouze na spotřebované energii, jak ukazují i grafy níže.



Obrázek 22 Provozní emise oxidu uhličitého

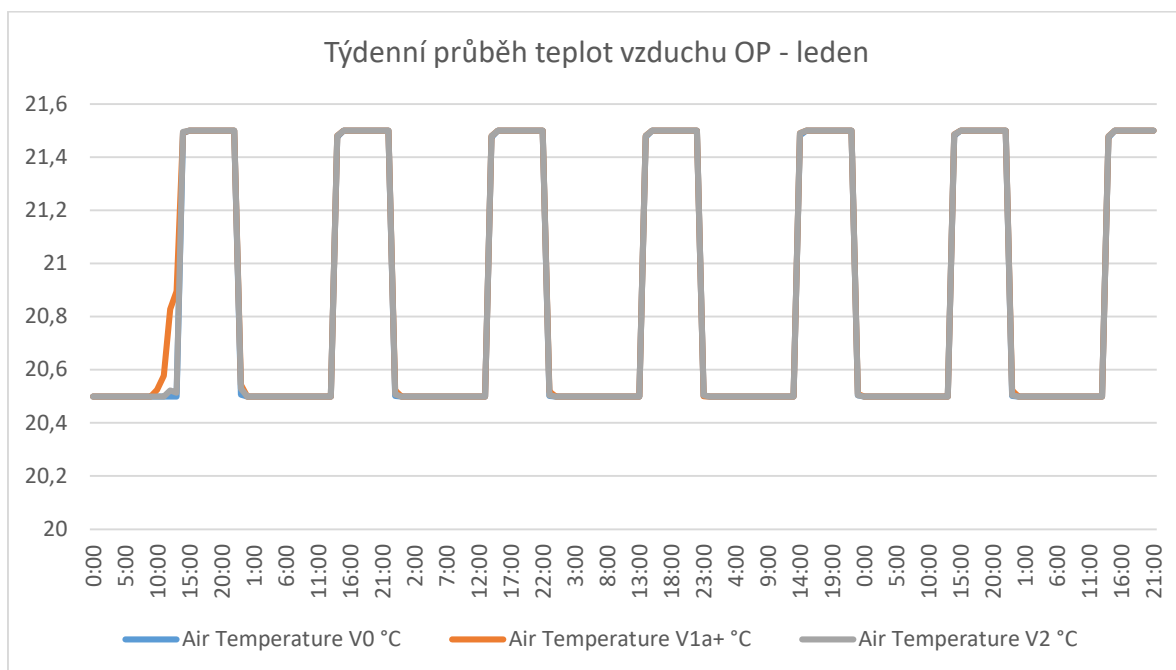


Obrázek 23 Provozní emise oxidu siřičitého

8. Kvalita vnitřního prostředí a komfort uživatelů

8.1. Teploty interiéru

Teploty vzduchu interiéru jsou u všech variant skoro totožné, neboť „set points“ jsou nastaveny u všech simulací stejně, což vychází z předpokladu, že uživatelé budou regulovat otopná tělesa v místnostech dle svých dosavadních zvyků, viz graf níže. Jediný rozdíl je, že u variant s instalovaným systémem vzduchotechniky nedochází k chvilkovému tepelnému diskomfortu při nárazovém provětrávání otevřenými okny v zimě.



Obrázek 24 Graf – teploty vzduchu interiéru zóna OP

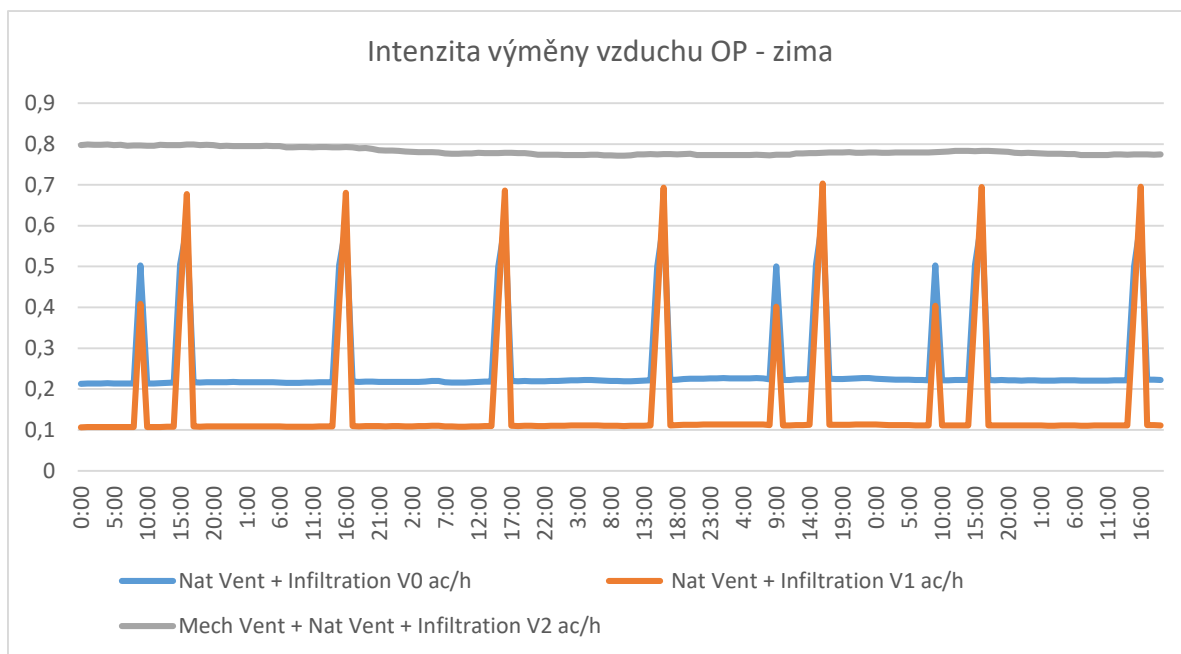
8.2. Intenzita větrání

Z průměrných měsíčních hodnot uvedených v tabulce níže se zdá, že všechny varianty kromě V1a splňují v obytných místnostech hygienický požadavek na výměnu vzduchu (min 0,3 1/hod). Jedná se ovšem o celoroční průměr, k ověření dostatečné intenzity větrání budou proto vyhodnocena data z běžného zimního týdne, kdy je intenzita větrání nižší než ve zbytku roku. Pro ověření dostatku přiváděného čerstvého vzduchu budou vyhodnocena data i pro běžný letní týden. Týdenní průběhy viz grafy níže. Výsledky varianty 3 jsou totožné s variantou 2.

Intenzita větrání – průměrná roční hodnota				
Zóna	V0	V1a	V1a+	V2
	(ac/h)	(ac/h)	(ac/h)	(ac/h)
OP	0,44	0,33	0,44	0,78
pracovna	0,2	0,15	0,3	0,61
pokoj 2.02	0,41	0,3	0,41	0,73
pokoj 2.03	0,37	0,26	0,37	0,67
pokoj 2.05	0,41	0,3	0,41	0,93
pokoj 2.08	0,37	0,26	0,37	0,77
budova	0,36	0,27	0,35	0,67

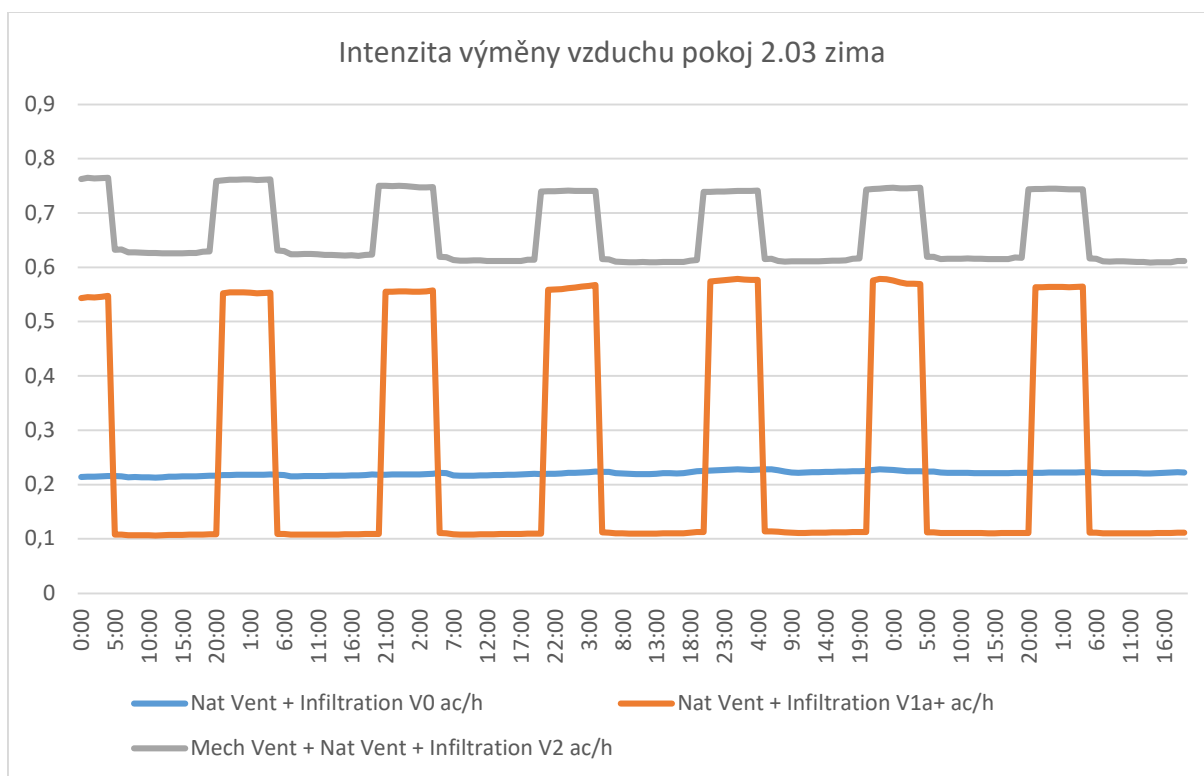
Tabulka 23 Intenzita větrání obytné místnosti

V zóně spojeného obytného prostoru (OP) vychází požadavek na přívod vzduchu z normového požadavku na doporučenou výměnu vzduchu (0,5 1/hod), z výsledků z DB znázorněných v grafu níže je zřejmé, že aktuální stav V0 ani varianta V1a+ (zateplení obálky budovy a zvýšení intenzity přirozeného větrání) požadavek nesplňují. Při provětrávání otevřenými okny se intenzita výměny vzduchu blíží k požadované hodnotě, avšak většinu času se pohybuje kolem 0,2 1/hod, respektive 0,1 1/hod.

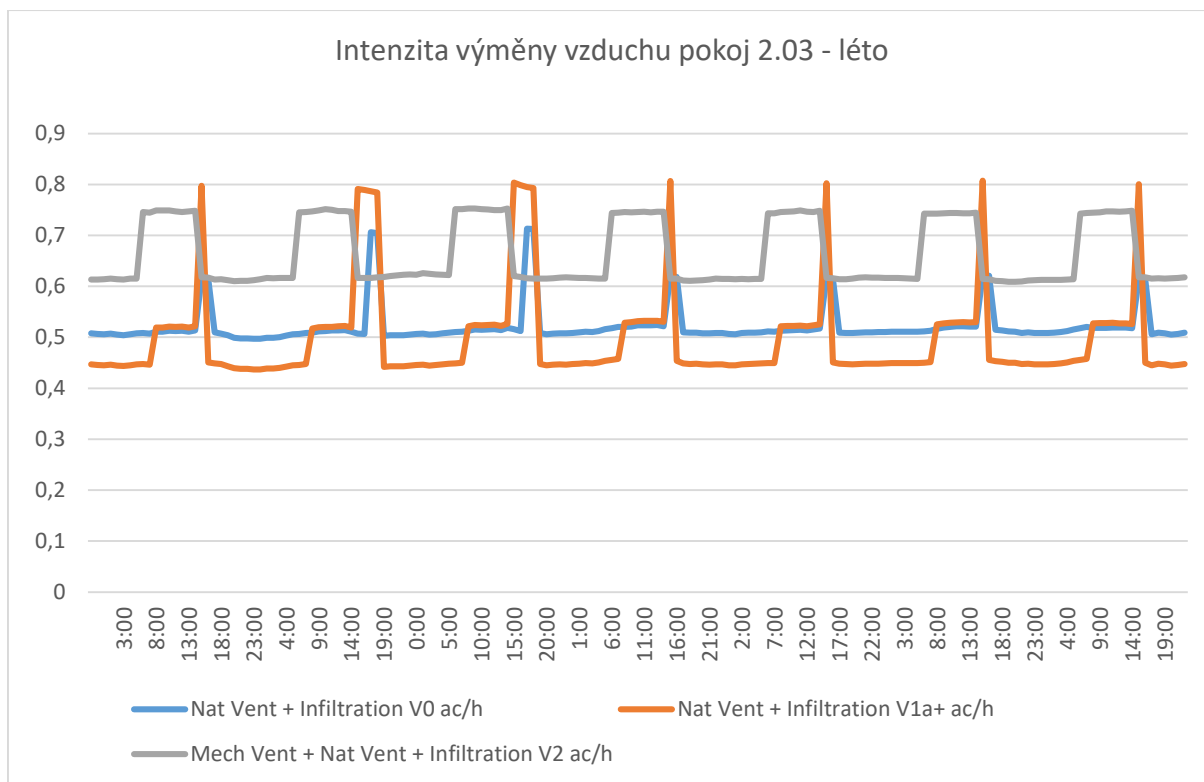


Obrázek 25 Intenzita výměny vzduchu zóna OP zima

U ostatních obytných místností se požadavek na množství přiváděného vzduchu mění v čase dle přítomnosti osob, jak je zřetelné z fluktuace průběhu intenzity větrání na grafech níže. Závěry jsou podobné jako u zóny spojeného obytného prostoru. V pokoji 2.03 je v zimním období omezeno přirozené větrání pouze na infiltraci obálkou budovy, intenzita větrání se pohybuje kolem 0,2 1/hod, požadovaná hodnota se pohybuje mezi 0,6 až 0,8 1/hod v závislosti na přítomnosti osob. Při předpokladu zvýšeného přirozeného větrání při pobytu osob v místnosti (varianta V1a+) dojde ke zvýšení intenzity až na 0,55 1/hod, stále nedostačující, ale přijatelná hodnota. V létě při vyšší intenzitě přirozeného větrání se hodnoty u variant V0 (aktuální stav) i V1a+ blíží k doporučeným hodnotám zadaným v V2.



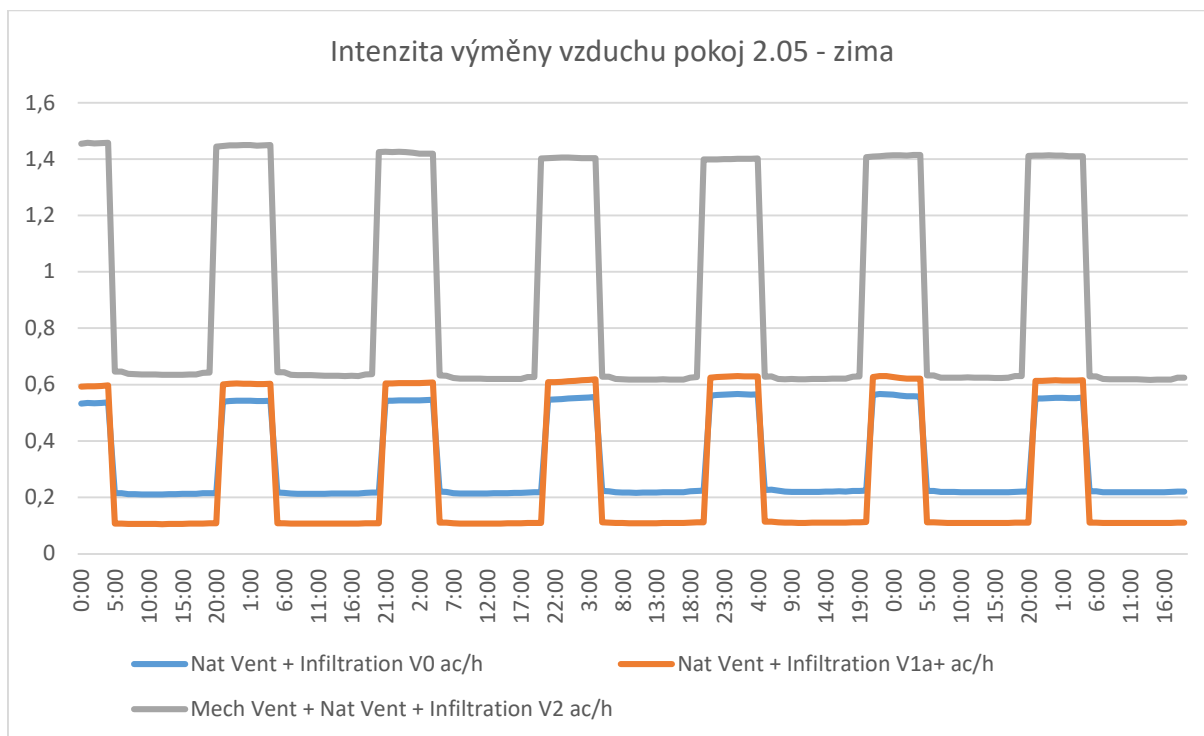
Obrázek 26 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.03 zima



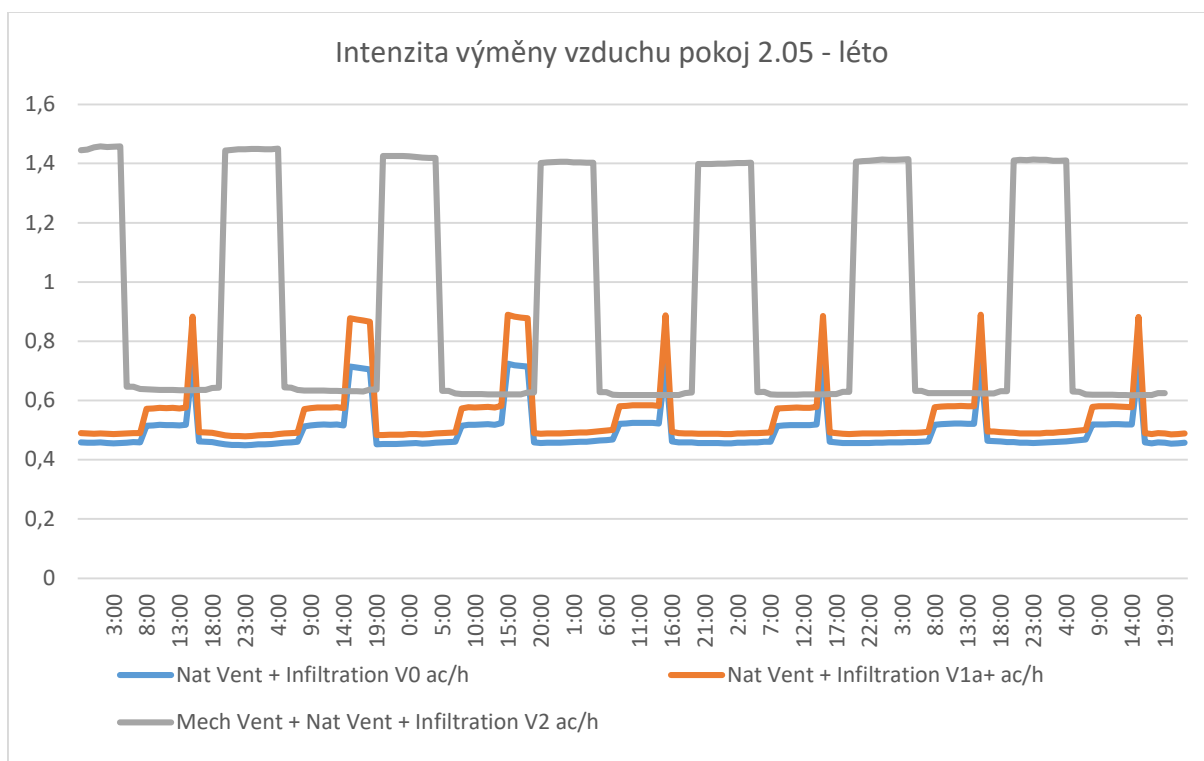
Obrázek 27 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.03 léto

V pokoji 2.05 je přirozeně větráno během přítomnosti osob v místnosti celoročně, přesto není v zimě zajištěna dodatečná intenzita výměny vzduchu ani z pohledu požadavku na výměnu vzduchu v místnosti, ani z pohledu potřebného množství čerstvého vzduchu pro osoby. V létě je zajištěna hygienicky nutná výměna vzduchu v místnosti, avšak přívod dostatku čerstvého vzduchu pro osoby přítomné v místnosti nelze pouze přirozeným větráním ani při plně otevřeném okně spolehlivě zajistit, viz grafy níže. (Pozn. Výsledky ze simulací prezentované v grafech níže jsou v rozporu s naměřenými hodnotami vyhodnocenými v kapitole 2 v části 2.1.3 Průběh koncentrace oxidu uhličitého v interiéru. Z naměřených hodnot vyplývá, že přirozené větrání při plně otevřeném okně je v této místnosti dostatečné, neboť hodnoty koncentrace CO₂ jsou po většinu času pod limitní hodnotou 1000 ppm. Rozdílnost výsledků může být způsobena tím, že systém vzduchotechniky je navržen na požadavek čerstvého vzduchu 25 m³/hod na osobu a reálná potřeba pro člověka v klidu (spícího) je pravděpodobně nižší. Avšak i výrobce VZT jednotky doporučuje na základě dlouhodobých měření a zkušeností z realizací větracích systémů v obytných budovách dimenzovat dle doporučení normy, tedy 25 m³/hod.os. Otázkou tedy je, zda by k regulaci systému byla použita čidla kvality vzduchu (CO₂), či nikoli. Nicméně se toto týká pouze jedné místnosti, pokoj 2.05, a proto by regulace výsledky zásadně neovlivnila. U ostatních místností není rozdíl mezi

požadavky na přívod čerstvého vzduchu a na výměnu vzduchu v místností tak výrazný.)



Obrázek 28 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.05 zima



Obrázek 29 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.05 léto

8.3. PMV, PPD

PMV (predicted mean vote – předpověď středního tepelného pocitu) a PPD (% people dissatisfied – procentuální podíl nespokojených)

Tepelná pohoda vyjádřena indexem PMV je dána rychlostí proudění vzduchu, teplotou vzduchu, radiační teplotou, a relativní vlhkostí vzduchu, tělesnou aktivitou a tepelným odporem oblečení jedince.

DesignBuilder stanovuje PMV dle ISO 7730 (ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu). Zadané vstupní hodnoty jsou index oblečení léto 0,5 clo, index oblečení léto 1 clo, rychlost proudění vzduchu defaultně v m/s. Produkované metabolické teplo je závislé na údajích zadaných v záložce Aktivita, pro účely simulace PMV byla ve všech obytných zónách zadána aktivita TM59 (130 W/os) používaná pro termální analýzy rezidenčních objektů. Výsledné hodnoty viz tabulka níže.

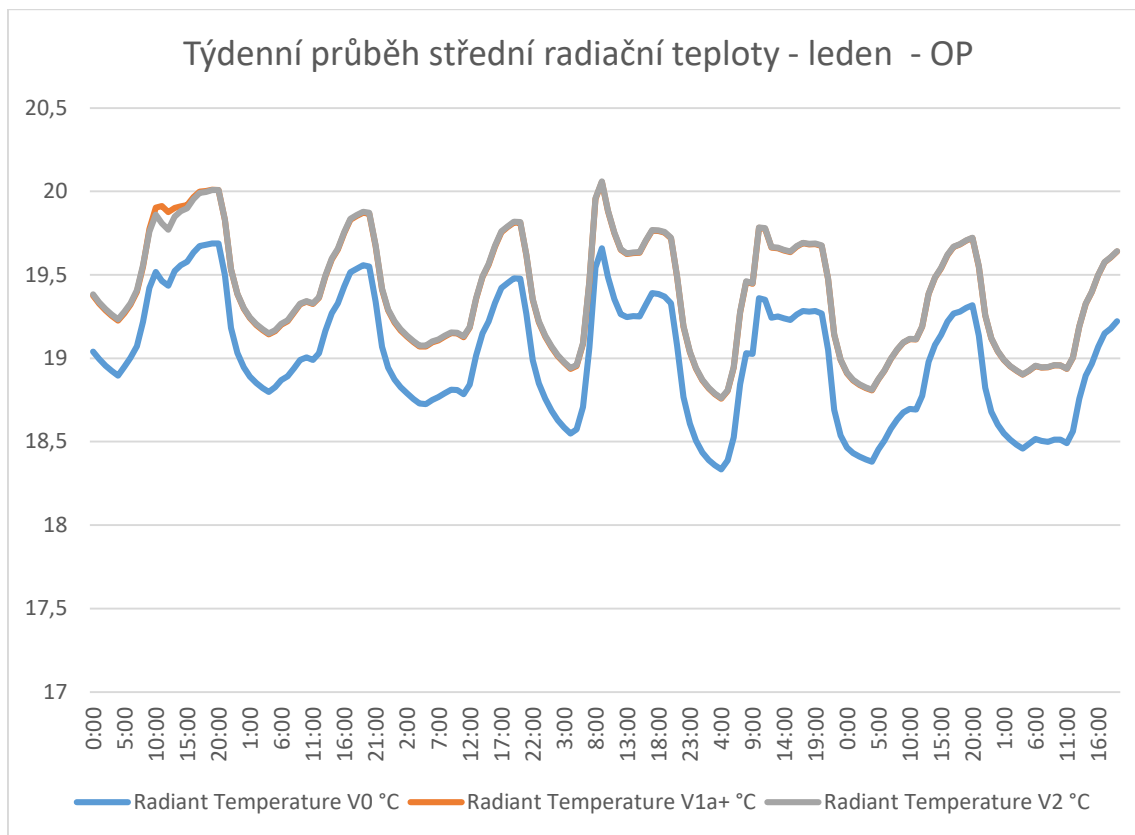
Výsledné hodnoty jsou v rozmezí +3 až -3, kladné hodnoty definují teplé prostředí, záporné chladné prostředí, neutrální prostředí má index PMV roven 0.

Index PMV a PPD – výsledky simulace DB								
Zóna	V0		V1		V1+		V2	
	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD
	(-)	(%)	(-)	(%)	(-)	(%)	(-)	(%)
OP	-0,85	26	-0,77	23	-0,81	25	-0,86	26
pracovna	-0,57	16	-0,43	13	-0,51	14	-0,57	15
pokoj 2.02	-0,75	24	-0,71	22	-0,76	24	-0,81	25
pokoj 2.03	-0,88	30	-0,86	28	-0,91	29	-0,95	31
pokoj 2.05	-1,15	39	-1	33	-1,08	35	-1,22	40
pokoj 2.08	-0,77	25	-0,76	23	-0,82	25	-0,88	27
budova	-0,81	26	-0,74	23	-0,79	25	-0,84	26

Tabulka 24 Index PMV a PPD obytné místnosti

V DesignBuilderu nelze zohlednit rychlost, teplotu a způsob distribuce přiváděného vzduchu do místností, faktory, které mají zásadní vliv na index PMV, proto výsledky v tabulce výše nemají vypovídající hodnotu o skutečném stavu. S jistotou lze říci, že po zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy dojde ke zvýšení povrchové teploty stěn v interiéru a střední radiační teploty, viz graf níže. Při vhodném umístění přívodních prvků vzduchotechniky a vzhledem k menším objemům přiváděného vzduchu a menší rychlosti proudění lze také předpokládat, že po instalaci vzduchotechnického zařízení

dojde k omezení lokálního tepelného diskomfortu způsobeného u přirozeného větrání nárazově přiváděným vzduchem o vnější teplotě.



Obrázek 30 Střední radiační teplota zóna OP

9. Dopad na životní prostředí se zohledněním celého životního cyklu

K vyhodnocení dopadu na životní prostředí se zohledněním celého životního cyklu použitých komponentů byl použit software One Click LCA (Life cycle assessment).

9.1. Kategorie dopadu

Software hodnotí vliv na životní prostředí v několika kategoriích:

9.1.1. Potenciál globálního oteplování (kg CO₂e – ekvivalentní – zohledňuje i ostatní relevantní emise, např. metan)

Zvyšování množství skleníkových plynů v atmosféře, vedoucí k ohřevu vrstev atmosféry blízko zemského povrchu a způsobující změnu klimatu.

9.1.2. Acidifikace (kg SO₂e)

Okyselování půdního a vodního prostředí, mající za následek mimo jiné rozklad kořenových systémů a vyluhování živin z rostlin.

9.1.3. Eutrofizace (kg PO₄e)

Obohacování vod o nežádoucí živiny (dusík, fosfor) způsobující přemnožení planktonu a sinic negativně ovlivňující ekosystém.

9.1.4. Ztenčování ozonové vrstvy (kg CFC11e)

Ztenčování ozonové vrstvy ochraňující faunu a flóru před škodlivým efektem ultrafialového záření.

9.1.5. Vznik troposférického ozonu (kg Ethylene)

Zvýšený výskyt přízemního ozonu („letní“ smog, „suchý“ smog) nebezpečného pro zdraví – dýchací cesty aj.

9.1.6. Spotřeba primární neobnovitelné energie (MJ)

Celková spotřeba primární neobnovitelné energie, nezapočítává se energie vázaná v nezpracovaných materiálech.

9.1.7. Biogenní uhlík (kg CO₂e bio)

Biogenní uhlík vázaný v materiálech nebo v rostoucí vegetaci, vyjádřený jako ekvivalent CO₂. Tento biogenní uhlík může, ale nemusí být zachován po skončení životnosti aktiva v závislosti na procesu ukončení životnosti uvedených materiálů. Tato kategorie dopadu je oddělena od započítávání fosilního GWP (Global warming potential – Potenciál globálního oteplování).

9.2. Fáze životního cyklu

Životní cyklus je rozdělen do následujících etap:

9.2.1. Vytěžení a zpracování materiálů

Zahrnuje vytěžení materiálů, jejich dopravu na místo zpracování, zpracování a s tím spojené emise. Pokud jsou použité materiály recyklované či znovupoužité lze tyto emise považovat za nulové.

9.2.2. Doprava

Zahrnuje dopravu na místo použití včetně mezikroků například v podobě dopravy od výrobce k prodejci. Pokud je dopravní prostředek využit pro přepravu jiného zboží na zpáteční cestě, započítává se cesta pouze v jednom směru, v opačném případě se započítává i cesta prázdného vozidla zpět.

9.2.3. Údržba a případná výměna některých částí

Zohledňuje dopady na životní prostředí pramenící z nutných výměn částí či celých produktů po skončení jejich životnosti. Zahrnuté emise pramení z těžby materiálů, jejich transportu a výrobu nového produktu. Dále zahrnují emise spojené s odvezením odpadu (vysloužilého produktu) a jeho recyklací či zneškodnění.

9.2.4. Konec životnosti výrobku

Zahrnuje dopady zpracování stavebních odpadů. Dle možností jsou odpady likvidovány, uloženy na skládku či recyklovány a znovu použity. V případě energetického využití odpadu jsou započítány vzniklé emise.

9.2.5. Externí dopady a vlivy

Obsahuje environmentální přínosy a zátěže přesahující životní cyklus produktů vyplývající z opakovaně použitelných výrobků, recyklovatelných materiálů a/nebo efektivní využití energie, např. druhotné materiály či paliva.

9.3. Vstupní data

Byla použita data dostupná v softwaru One Click LCA. Data byla poskytnuta výrobcí jednotlivých produktů, podrobnosti viz tabulka níže.

Seznam hodnocených produktů – zadané údaje do One Click LCA			
	Množství	Popis	Doprava (km)
Tepelná izolace	198 m ²	EPS ISOVER 70S (ČR) KNAUF ECOSE GMW 035-034 (ČR)	110
Okna	16 ks	Dřevěný rám, trojitě zasklení (NTech Villa, Polsko)	50
Balkonové dveře	4 ks	PVC-U rám, trojitě zasklení (REHAU, Německo)	
VZT jednotka	1 ks	KMDT ECOWATT 12 DB (Francie)	150
Koncové prvky	14 ks	Koncové prvky z pozinkované oceli (RUUKKI, EU)	
VZT potrubí Ø 160 mm	19 m	Kruhové potrubí z pozinkované oceli (ČR)	
VZT potrubí Ø 125 mm	10 m		
VZT potrubí Ø 100 mm	7 m		
VZT potrubí Ø 80 mm	17 m		
FV panely	9 ks	Monokrystalické FV panely DM455M6-B72HSW 575 (Čína)	21 000
Měnič napětí	1 ks	DONNEE PAR DEFAULT (DED, Francie)	320
Kabeláž	30 m	Kabely, PVC izolace (Německo)	100
Baterie	1 ks	LiFePO ₄ baterie 12 kWh (Německo)	320
Systém přichycení	19,5 m ²	Pozinkovaný ocelový systém přichycení FV panelů DONNEE PAR DEFAULT (DED, Francie)	650

Tabulka 25 Údaje zadané v One Click LCA

Pokud byly dostupné údaje v softwaru One Click LCA o českých produktech uvažovaných v simulacích v DB, byly použity, u některých produktů bylo nutné najít výrobek ekvivalentních vlastností z jiné evropské země. Dopravní vzdálenosti jsou vztaženy k prvkům a produktům vymodelovaným v DesignBuilderu.

Dopravní vzdálenosti jsou uvažovány zjednodušeně bez mezizastávek přímo z místa výroby do místa instalace; minerální vata Knauf z výrobního závodu v Kupce, okna značky Bram vyrobeny v Kolečovicích, pěnový polystyren značky Isover vyroben v Českém Brodu, vzduchotechnický systém se předpokládá dodaný jako celek od společnosti Atrea z Jablonce nad Nisou. Jako dopravní prostředek je zadáno větší dodávkové vozidlo. Doprava fotovoltaických panelů se předpokládá nákladní lodí z Číny, kde se nyní většina panelů vyrábí. U ostatních komponentů fotovoltaické elektrárny byla ponechána defaultní hodnota.

Hodnocené období je dáno předpokládanou životností objektu jako 80 let. Životnost prvků je garantována v EPD certifikátech (Environmentální prohlášení o produktu), u některých produktů se liší životnost dle EPD a životnost započtena do hodnocení LCA softwarem: okna a balkonové dveře 40 let, VZT potrubí 60 let, VZT jednotka 17 let dle EPD – 25 uvažováno softwarem One Click LCA, baterie 10 let dle EPD – 45 let dle One Click LCA, měnič napětí 20 let, FV panely 5 let dle EPD – 25 let dle One Click LCA, životnost koncových prvků vzduchotechnického systému a tepelná izolace se předpokládá shodná s životností budovy.

Varianta 3 byla vyhodnocena se dvěma sadami vstupních dat – ve V3a byly zadány jednotlivé komponenty, jak je uvedeno v tabulce výše, ve V3b byl použit soubor dat zprůměrovaných z různých typů fotovoltaických systémů a vztažen na jednotku plochy instalovaných panelů.

9.4. Výsledky

Varianta V1a (dřevěné rámy oken, tepelná izolace z minerální vaty) je příznivější pro životní prostředí z pohledu globálního oteplování, eutrofizace, ztenčování ozonové vrstvy a spotřeby primární neobnovitelné energie. Naopak varianta V1b (plastové rámy oken, tepelná izolace EPS) je příznivější co se týče acidifikace a vzniku troposférického ozonu, viz tabulka níže. Varianta V1a může být považována za ekologicky šetrnější možnost, proto, a také vzhledem k aktuálně instalovaným okenním rámcům, které jsou rovněž dřevěné a jedná se o preferenci majitelů objektu, je u navazujících variant uvažováno s variantou V1a.

Z výsledků u variant V3 je zřejmé, že zvolené komponenty fotovoltaické elektrárny, jejich vlastnosti a životnost, mají zásadní vliv na míru negativního dopadu na životní prostředí. Jedná se minimálně o dvojnásobný rozdíl ve všech kategoriích kromě spotřeby primární neobnovitelné energie. Obě tyto varianty budou vyhodnoceny komplexně i se zohledněním provozu v kapitole 11.

Hodnoty biogenního uhlíku jsou u všech variant zanedbatelné.

Podrobné výsledky po hodnocených kategoriích viz příloha F.

Shrnutí výsledků LCA							
Kategorie	Globální oteplování	Acidifikace	Eutrofizace	Ztenčování ozonové vrstvy	Vznik troposférického ozonu	Spotřeba primární neobnovitelné energie	Biogen uhlík
	(kg CO ₂ e)	(kg SO ₂ e)	(kg PO ₄ e)	(kg CFC11e)	(kg Ethylene)	(MJ)	(kg CO ₂ e bio)
V1a	6546,1	33,9	4,6	0,000269	6,87	121982,0	0
V1b	7350,3	29,4	7,3	0,000381	2,47	147964,2	0
V2	9448,4	55,9	8,9	0,000487	8,12	167969,1	0
V3a	43227,3	211,6	63,2	0,002947	26,95	661043,7	0
V3b	20675,9	98,8	12,2	0,000492	11,91	356772,8	0

Tabulka 26 Shrnutí výsledků One Click LCA

10. Ekonomického hledisko

10.1. Investice

10.1.1.V1 – Zateplení obálky budovy a výměna okenních výplní

Byla poptána cena oken s dřevěným rámem včetně žaluzií a parapetů a montážních prací (9) a cena oken s plastovým rámem včetně žaluzií a parapetů a montážních prací (10), nabídky viz tabulka níže.

V1 – Investice okenní výplně		
Položka	V1a	V1b
	(Kč)	
Cena výrobků	175 833	94704
Doprava a montáž	29 524	
Demontáž stávajících oken	7 680	
Žaluzie celkem	13 656	
Parapety vnitřní celkem	4 124	
Parapety vnitřní celkem	4 696	
Cena celkem s DPH	235 513	154 384

Tabulka 27 Investice V1 okenní výplně

Pro stanovení ceny zateplení byly použity dva zdroje, online kalkulátor (11), kde byly zadány parametry fasády a druh tepelné izolace, a obecné orientační ceny (12), z kterých byla celková cena dopočtena.

Orientační cena pro rok 2022 zahrnující kompletní provedení zateplení (penetrace podkladu, nalepení izolantu, hmoždinkování, stěrka s tkaninou, druhá stěrka, probarvená penetrace, omítka, úklid stavby, zneškodnění odpadu):

- od 950–1150 Kč bez DPH za 1 m² u fasádního polystyrenu
- od 1100–1500 Kč bez DPH za 1 m² u minerální vaty s podélným vláknem

Ceny uvedené v tabulce jsou dopočtené včetně DPH.

V1 – Investice zateplení obálky budovy			
		V1a MW s dřevo	V1b EPS a plast
Tepelná izolace (11)	198 m ²	327 391,39 Kč	234 989,02 Kč
Tepelná izolace (12)	198 m ²	263 538 – 368 280 Kč	233 244 – 282 348 Kč

Tabulka 28 V1 investice tepelná izolace

10.1.2.V2 – Instalace vzduchotechniky

V2 – Investice systém větrání		
VZT jednotka	1 ks	140 000- 220 000 Kč (13)
Koncové prvky	14 ks	
VZT potrubí	53 m	

Tabulka 29 V2 investice

V tabulce výše je uvedena orientační cena za pořízení systému větrání s rekuperací. Cena pro tento konkrétní projekt byla stanovena s použitím dvou online kalkulátorů:

- Vstupní parametry do kalkulátoru: rodinný dům, 4 osoby, 6 obytných místností, 2 patra.

Cena s DPH 132 642 Kč bez montáže a dopravy. (14)

- Vstupní parametry do kalkulátoru: rodinný dům, podlahová plocha, objem přiváděného vzduchu, typ regulace, typ potrubí, vzdálenost doprava, montáž VZT jednotky a rozvodů, projekční práce.

Cena včetně DPH 190 469 Kč. (15)

10.1.3.V3 – Instalace FVE

V3 – Investice fotovoltaická elektrárna		
FV panely	9 ks	341 605 Kč
Měnič napětí	1 ks	
Kabeláž	30 m	
Baterie	1 ks	
Systém přichycení		

Tabulka 30 V3 investice

Cena za FVE byla stanovena pomocí online kalkulátoru, cena zahrnuje projekt a revizi, žádost o připojení k distribuční síti, instalaci a dopravu.

- Vstupní údaje do kalkulátoru: aktuální spotřeba elektřiny, způsob vytápění a ohřevu teplé vody, orientace střechy a její typ, lokalita, způsob nakládání s vygenerovanou elektřinou – použití baterie.

Cena včetně DPH 341 605 Kč. (16)

10.2. Provozní náklady

Vzhledem k nynější nestabilní a těžko předvídatelné situaci na trhu s energiemi budou provozní náklady uvažovány v několika variantách: průměrná cena energie za poslední dva roky vzata z faktur přepočtena váženým průměrem zohledňujícím použití nízkého a vysokého tarifu 2,9 Kč/kWh, aktuální (leden 2023) cena na trhu 5,2 Kč/kWh a vzhledem k cenám za poslední rok byla vyhodnocena i úspora pro cenu energie 10 Kč/kWh.

Provozní náklady, respektive ušetřené částky na provozních nákladech, byly spočteny jako rozdíl spotřebované elektrické energie z distribuční sítě vynásobené uvažovanou cenou energie.

Úspory na provozních nákladech								
Varia nta	Spotřeba el. energie (kWh/rok)	Energie úspora	Cena energie (Kč/kWh)	Úspora (Kč/rok)	Cena energie (Kč/kWh)	Úspora (Kč/rok)	Cena energie (Kč/kWh)	Úspora (Kč/rok)
V0	10609,9							
V1a	8558,0	2051,9	2,9	5950	5,2	10669	10	20519
V1b	8757,5	1852,4		5371		9632		18523
V1a+	8907,9	1702,0		4935		8850		17020
V2	9045,4	1564,5		4537		8135		15645
V3	5192,1	5417,8		15711		28172		54178

Tabulka 31 Úspory energie a financí - provoz

10.3. Návratnost investice

Z cenových nabídek byly stanoveny hodnoty investic a naceněny jednotlivé varianty, viz tabulka níže. U variant V2 a V3 je počítáno s cenou za zateplení obálky budovy z Varianty V1a, protože byla vyhodnocena jako environmentálně šetrnější a také jako preferovaná možnost majiteli objektu.

Investice			
Položka	Jednotlivé položky	Varianta	Kompletní ceny uvažovaných variant
	(Kč)		(Kč)
MW	320 000	V1a	555 513
Okna dřevo	235 513		
EPS	240 000	V1b	394 384
Okna plast	154 384		
VZT	190 000	V2	745 513
FVE	341 605	V3	1 087 118

Tabulka 32 Přehled investic -V1a, V1b, V2 a V3

Na základě úspor stanovených v předchozí části byly dopočteny doby návratnosti ve třech variantách pro tři možné ceny elektrické energie.

Doba návratnosti investice						
	Ušetřeno (2,9 Kč/kWh)	Doba návratnosti	Ušetřeno (5,2 Kč/kWh)	Doba návratnosti	Ušetřeno (10 Kč/kWh)	Doba návratnosti
	(Kč/rok)	(roky)	(Kč/rok)	(roky)	(Kč/rok)	(roky)
V1a	5950	93,4	10669	52,1	20519	27,1
V1b	5371	73,4	9632	40,9	18523	21,3
V1a +	4935	112,5	8850	62,8	17020	32,6
V2	4537	164,3	8135	91,6	15645	47,7
V3	15711	69,2	28172	38,6	54178	20,1

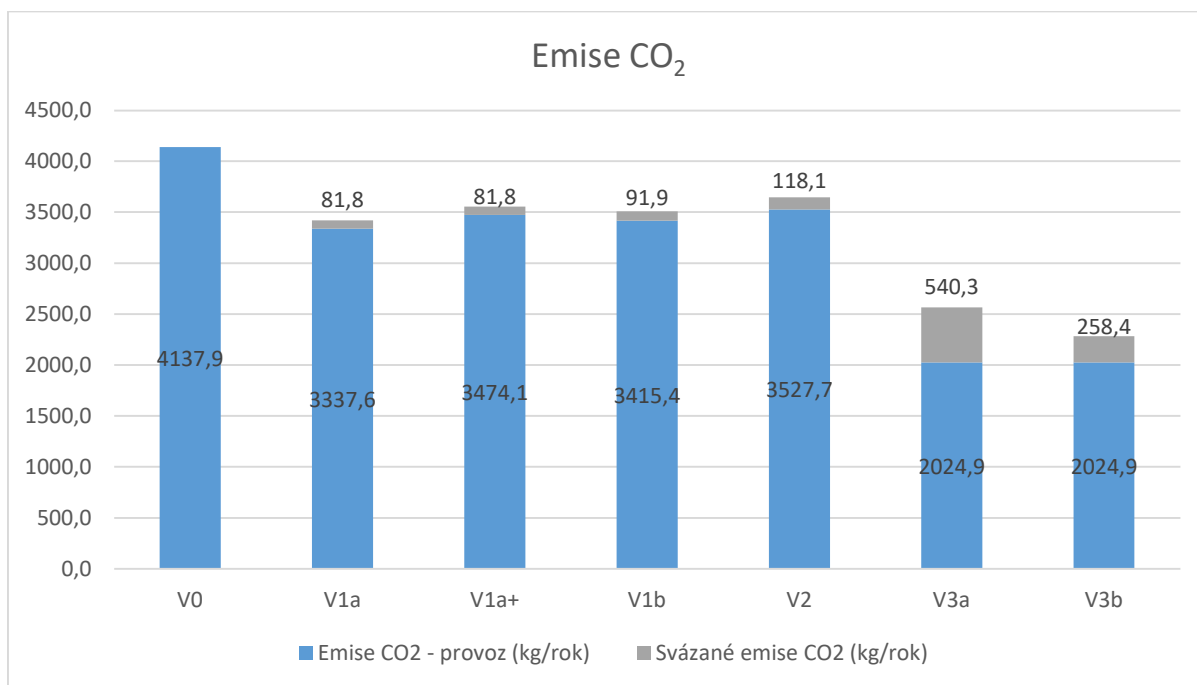
Tabulka 33 Doby návratnosti investic -V1a, V1b, V1a+, V2 a V3

11. Shrnutí a multikriteriální vyhodnocení

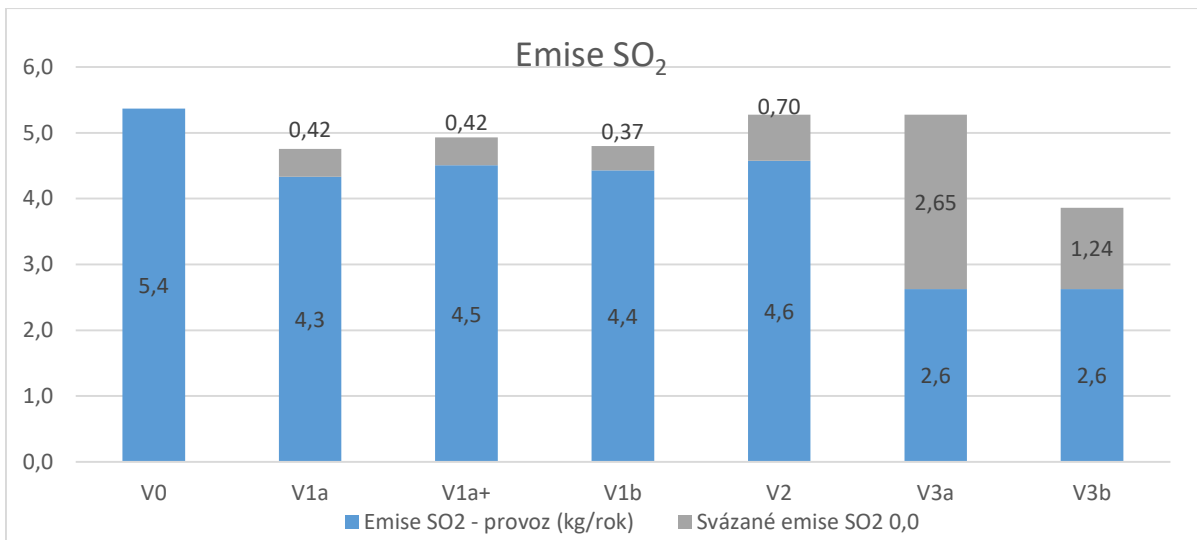
Varianty budou porovnány z pohledu spotřebované provozní energie, provozních nákladů, investičních nákladů a doby návratnosti investice, kvality vnitřního prostředí, komfortu uživatelů a dopadu na životní prostředí se zohledněním celého životního cyklu.

Výsledky LCA byly přepočteny na roční hodnoty (vyděleno hodnoceným obdobím – předpokládanou životností objektu 80 let), výpočet viz příloha F. Tyto hodnoty byly připočteny k ročním vyprodukovaným provozním emisím a spotřebované energii na provoz objektu po dobu jednoho roku.

V následujících grafech jsou znázorněny emise včetně svázaných emisí stanovených v kapitole 9. Z grafů je zřejmé, že všechna opatření vedou ke snížení emisí oxidu uhličitého oproti výchozímu stavu. Samotná instalace vzduchotechniky (V2) nevede ke snížení emisí, neboť s ní roste spotřeba elektrické energie potřebná k provozu vzduchotechnické jednotky a také dojde k navýšení intenzity větrání a s tím související tepelné ztráty, respektive spotřeby energie na vytápění. Přestože prvky fotovoltaické elektrárny (V3) mají poměrně vysoké svázané emise, po rozpočítání na dobu životnosti systému je tato varianta z pohledu emisí CO₂ environmentálně nejšetrnější, avšak z pohledu emisí SO₂ je dopad na životní prostředí variant V0, V2 a V3a srovnatelný. Zde se ukazuje, jak velký vliv mají konkrétní použité prvky FVE a jejich vlastnosti, především účinnost a životnost.

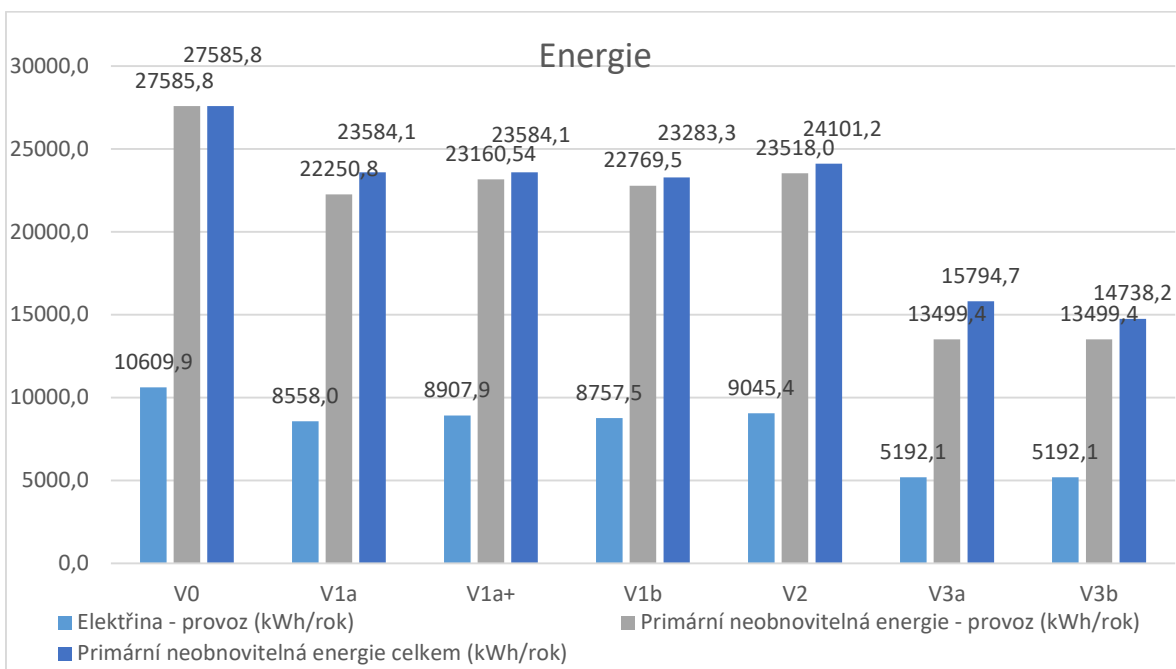


Obrázek 31 Emise CO₂ jednotlivých variant včetně svázaných emisí



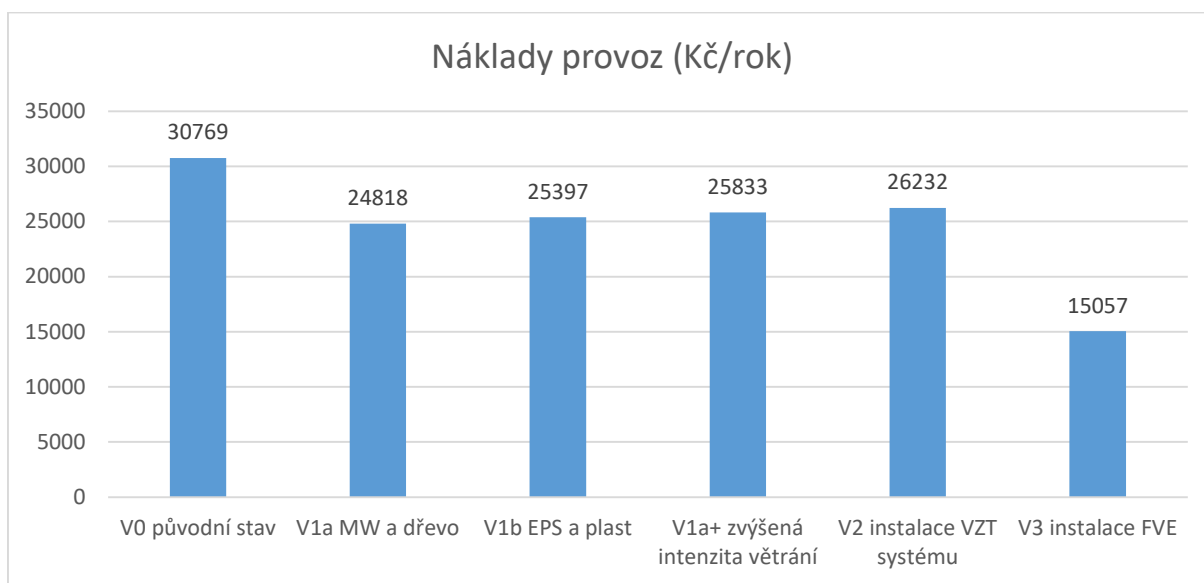
Obrázek 32 Emise SO₂ jednotlivých variant včetně svázaných emisí

Z pohledu spotřebované elektrické energie na provoz objektu se jednoznačně vyplatí zlepšit tepelně technické vlastnosti obálky budovy a instalovat fotovoltaickou elektrárnu na střechu objektu, instalace vzduchotechniky je z tohoto pohledu nevýhodná, kvůli již výše zmiňovaným důvodům. Provozní spotřeba primární neobnovitelné energie je násobkem spotřebované elektrické energie, hodnoty se příliš nemění ani po započítání svázané energie, jediný větší rozdíl je u varianty V3a, varianta je ale stále výrazně environmentálně šetrnější oproti zbylým variantám vyjma V3b.

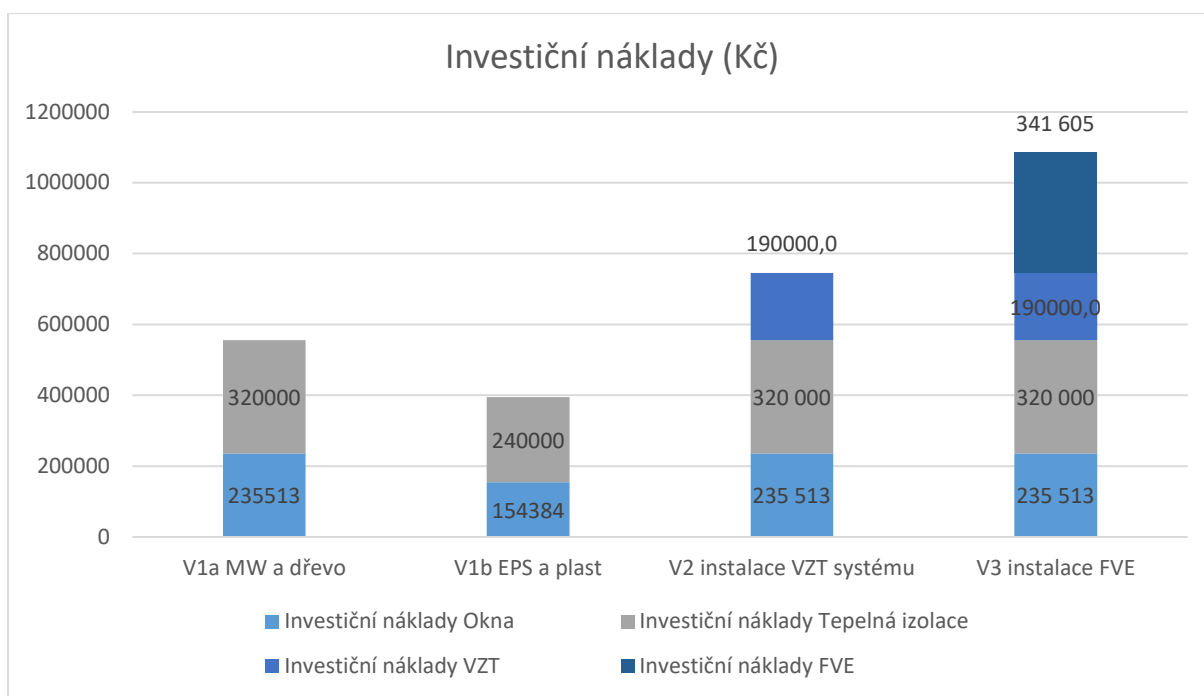


Obrázek 33 Energie

Náklady na provoz byla stanoveny pro průměrnou cenu z posledních dvou let vzatou z faktur. Z grafu níže je zřejmé, že opatření uvažovaná ve variantě V3 (kombinace zateplení obálky budovy, instalace vzduchotechnického zařízení a fotovoltaické elektrárny) vede až k polovičnímu snížení nákladů na provoz objektu. Varianta 1 díky snížení tepelné ztráty objektu sníží i provozní náklady, a to o zhruba 20 %. Instalace vzduchotechniky způsobí lehké zvýšení provozních nákladů kvůli vyšší spotřebě elektrické energie.



Obrázek 34 Roční provozní náklady



Obrázek 35 Investiční náklady

Z pohledu investičních a provozních nákladů a z toho pramenící doby návratnosti investice je nejvýhodnější varianta V1b a V3, kde se doba návratnosti pohybuje kolem 70 let (při ceně energie 2,9 Kč/kWh). U ostatních variant doba návratnosti investice překračuje uvažovanou dobu životnosti 80 let, u V2 dokonce dvojnásobně.

Přestože je varianta V2 nejméně výhodná ze všech výše zmiňovaných úhlů pohledu, je instalace vzduchotechniky nezbytná pro zajištění adekvátní kvality vnitřního prostředí po utěsnění obálky budovy, a to obzvláště v zimním období, jak bylo vyhodnoceno v části 8.2 Intenzita větrání. Zároveň V2 zajištěním potřebné výměny vzduchu a přívodu požadovaného čerstvého vzduchu bez nutnosti uživatelského zásahu jako jediná výrazně zvyšuje komfort obyvatel.

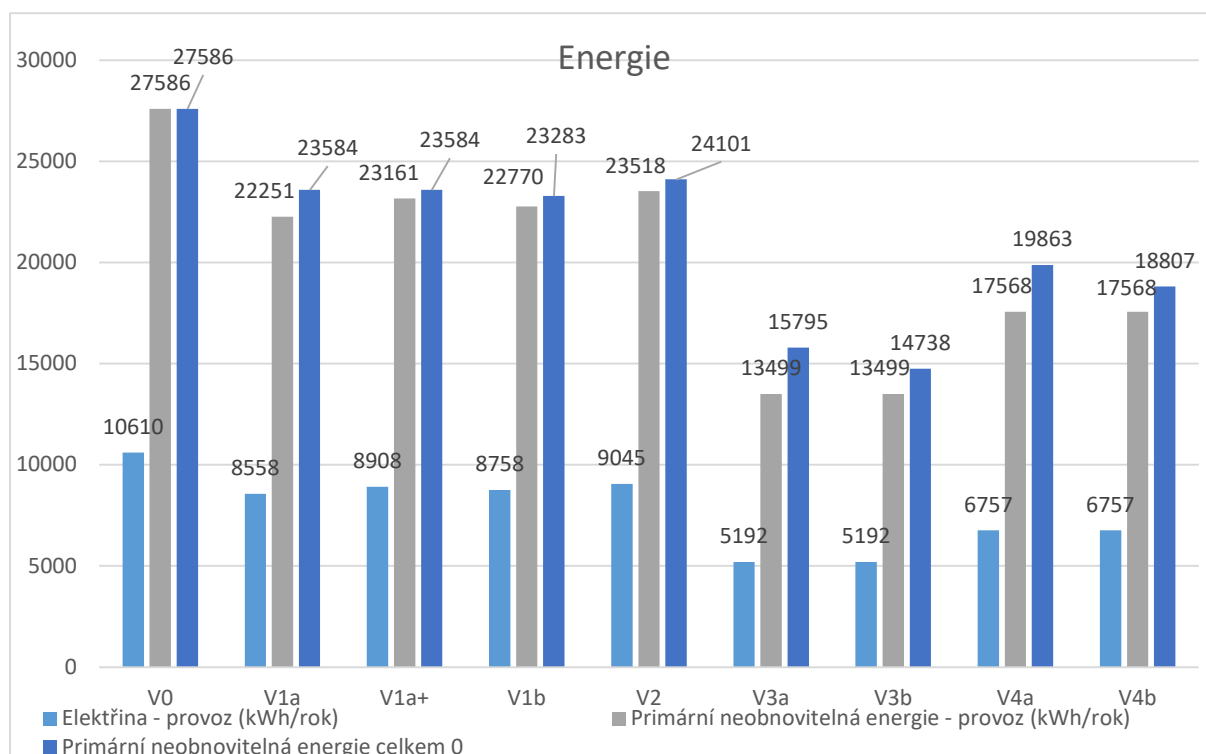
Varianta 3 uvažuje všechna navržená opatření dohromady, neboť jak je popsáno výše instalace systému větrání ve V2 je nevyhnutelným následkem V1. Avšak instalace FVE nezávisí na typu objektu ani druhu provozu, jedná se o univerzální opatření, a z porovnání v této kapitole vychází jako velmi efektivní, co se týče úspory energie i nákladů. Proto zde bude ještě dodatečně vyčíslena FVE samostatně. Při vyrobených 3853 kWh ročně a ceně elektřiny 2,9 Kč/kWh je úspora 11 173 Kč ročně, při pořizovací ceně 341 605 Kč je návratnost investice do samostatné FVE 30 let.

V grafu níže je znázorněno porovnání všech variant z pohledu spotřebované energie (provozní – elektrická energie z distribuční sítě, provozní primární neobnovitelné energie a primární neobnovitelná energie včetně svázané energie).

Přehled hodnocených variant:

- V0 – aktuální stav objektu
- V1a – zateplení MW a výměna okenních výplní (dřevěné rámy a trojsklo)
- V1a+ - V1a se zvýšenou intenzitou přirozeného větrání na úroveň ve V0
- V1b – zateplení EPS a výměna okenních výplní (plastové rámy a trojsklo)
- V2 – V1a a instalace vzduchotechniky
- V3a – V2 a instalace FVE (LCA zadáno po jednotlivých komponentech)
- V3b – V2 a instalace FVE (LCA použita průměrná hodnoty na plochu)
- V4a – V0 a instalace FVE (LCA zadáno po jednotlivých komponentech)
- V4b – V0 a instalace FVE (LCA použita průměrná hodnoty na plochu)

Z výsledků je patrné že instalace FVE vede k výraznému snížení spotřeby primární neobnovitelné energie i při ponechání stávajících tepelně technických vlastností obálky (varianta 4). Zároveň je tato varianta nejpříznivější z pohledu výše investice a doby její návratnosti. Nevýhodou zůstává nemožnost zajistit dostatečnou výměnu vzduchu a přívod čerstvého vzduchu pouze přirozeným větráním.



Obrázek 36 Energie v.2

12. Závěr

Z uvedených dat a výsledků v této práci je zřejmé, že řešený problém optimalizace spotřeby energie se zohledněním dopadu na životní prostředí a kvality vnitřního prostředí je komplexní a při výběru vhodných opatření nelze nepřihlídnout k uživatelským zvykům a požadavkům, finančním možnostem majitelů, ale i k předpokládanému vývoji cen energie a s tím související politické situaci či národní energetické politice přímo ovlivňující spotřebu primární neobnovitelné energie jednotlivých odběratelů energie z distribuční sítě.

Přestože je logickou snahou snižovat energetickou náročnost objektů zlepšováním tepelně technických vlastností obálky budovy, bývá někdy opomíjen dopad tohoto opatření na kvalitu vnitřního prostředí snížením infiltrace vzduchu skrze obálku objektu. Nutným souvisejícím opatřením je tedy instalace vzduchotechnického systému pro zajištění dostatku čerstvého vzduchu přítomným osobám a hygienického limitu výměny vzduchu v interiéru. Instalace vzduchotechniky i přes použití systému zpětného získávání tepla ale nutně nevede ke snížení energetické náročnosti objektu, neboť objekty větrané pouze přirozeným větráním nikdy nespĺňují normou dané požadavky na objemy přiváděného vzduchu, a to obzvláště v zimním období, jak i v této práci prokázalo vyhodnocení naměřených dat v řešeném objektu. Instalace vzduchotechniky tedy paradoxně nemusí vést ke snížení tepelné ztráty větráním a může vést ke zvýšení provozních nákladů.

Jestliže by měla být vybrána nejvhodnější z navržených variant s přihlédnutím ke všem kritériím, tedy environmentální a ekonomické hledisko a kvalita vnitřního prostředí, je jí rozhodně varianta V3 kombinující všechna zvažovaná opatření: zateplení obálky budovy, instalaci vzduchotechnického zařízení a fotovoltaické elektrárny. Jedinou výraznou nevýhodou této možnosti jsou vysoké investiční náklady přes jeden milion korun, které činí tuto možnost nedostupnou pro značnou část společnosti. Vzhledem k nynějším klesajícím tendencím ceny elektrické energie na trhu je i doba návratnosti investice ne příliš příznivá, jen o málo kratší než uvažovaná životnost použitých produktů.

Varianta V3 byla vybrána jako nejvhodnější s přihlédnutím k typu objektu a jeho provozu, obecněji lze doporučit také variantu V4 – samostatnou instalaci fotovoltaické elektrárny, která však nebude mít pozitivní efekt na kvalitu vnitřního prostředí.

Zdroje

1. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220617-1>. [Online]
2. <https://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-elektriny>. [Online]
3. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190620-1>. [Online]
4. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/households-energy-consumption-by-end-uses-3>. [Online]
5. https://www.researchgate.net/figure/Figure-Breakdown-of-household-energy-consumption-by-end-use-in-the-EU-for_fig5_312174655. [Online]
6. http://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf. [Online]
7. https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/emisni-faktor-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010_2021--260559/. [Online]
8. <http://emise.cz/wp-content/uploads/2020/11/Emisni-factory-elektrina.pdf>. [Online]
9. https://www.oknostyl.cz/poptavkovy-formular/#drevena_okna.
10. https://www.oknostyl.cz/poptavkovy-formular/#plastova_okna. [Online]
11. <https://www.weber-kalkulator.cz/fasady/>. [Online]
12. <https://www.pekstav.cz/cenik-zatepleni/#:~:text=Orienta%C4%8Dn%C3%AD%20cena%20za%20zateplen%C3%AD%20fas%C3%A1dy,miner%C3%A1ln%C3%AD%20vaty%20s%20pod%C3%A9ln%C3%BDm%20vl%C3%A1knem>. [Online]
13. <https://www.artprofi.cz/kolik-stoji-rekuperace>. [Online]
14. <https://www.rekuperace-lindab.cz/kalkulacka>. [Online]
15. <https://www.thermwet.cz/kalkulacka-ceny/>. [Online]
16. <https://www.solaring.cz/kalkulacka-solarni-elektrarny/>. [Online]

Normy

ČSN EN ISO 12569 (730311) Tepelné vlastnosti budov a materiálů – Stanovení výměny vzduchu v budovách – Metoda poklesu koncentrace značkovacího plynu

ČSN EN 12464-1 – Světlo a osvětlení

ČSN 73 0540-2 (730540) Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky

ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfort

Seznam tabulek

Tabulka 1 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.0.....	- 12 -
Tabulka 2 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.1	- 13 -
Tabulka 3 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.2.....	- 13 -
Tabulka 4 Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí – senzor 6.3.....	- 14 -
Tabulka 5 naměřené hodnoty výměny vzduchu.....	- 21 -
Tabulka 6 Roční spotřeby elektrické energie (údaje z faktur).....	- 22 -
Tabulka 7 Koncové spotřeby elektrické energie-odhad dle statistik.....	- 23 -
Tabulka 8 Porovnání teplot – naměřené hodnoty a data DB.....	- 24 -
Tabulka 9 Přehled konstrukcí a jejich vlastností	- 25 -
Tabulka 10 Přehled zón DB	- 26 -
Tabulka 11 Obsazenost zón.....	- 27 -
Tabulka 12 Intenzity osvětlení – hodnoty zadané do DB	- 28 -
Tabulka 13 Příkony spotřebičů – hodnoty zadané do DB.....	- 28 -
Tabulka 14 Spotřeba TV – hodnoty zadané do DB	- 29 -
Tabulka 15 Výsledky V0 DB	- 34 -
Tabulka 16 Porovnání teplot vzduchu v interiéru – výsledky simulace v DB a naměřené hodnoty.....	- 35 -
Tabulka 17 Intenzita výměny vzduchu.....	- 35 -
Tabulka 18 Přehled součinitelů prostupu tepla	- 36 -
Tabulka 19 Vlastnosti oken	- 37 -
Tabulka 20 Přehled lineárních činitelů prostupu tepla.....	- 37 -
Tabulka 21 Návrh množství přiváděného vzduchu	- 39 -
Tabulka 22 Hodnoty zadané do DB – přiváděný vzduch	- 41 -
Tabulka 23 Intenzita větrání obytné místnosti.....	- 48 -
Tabulka 24 Index PMV a PPD obytné místnosti	- 52 -
Tabulka 25 Údaje zadané v One Click LCA	- 56 -
Tabulka 26 Shrnutí výsledků One Click LCA.....	- 58 -
Tabulka 27 Investice V1 okenní výplně	- 59 -
Tabulka 28 V1 investice tepelná izolace	- 59 -
Tabulka 29 V2 investice	- 60 -
Tabulka 30 V3 investice	- 60 -
Tabulka 31 Úspory energie a financí - provoz	- 61 -
Tabulka 32 Přehled investic -V1a, V1b. V2 a V3.....	- 61 -
Tabulka 33 Doby návratnosti investic -V1a, V1b. V1a+, V2 a V3.....	- 62 -

Seznam obrázků

Obrázek 1 Týdenní průběh teplot vzduchu v zimě v pokoji 2.03	- 15 -
Obrázek 2 Týdenní průběh teplot vzduchu v zimě v pokoji 2.05	- 15 -
Obrázek 3 Týdenní průběh teplot vzduchu v zimě v pokoji 1.05	- 16 -
Obrázek 4 Týdenní průběh teplot vzduchu v pokoji 2.03 – období jaro/léto	- 17 -
Obrázek 5 Týdenní průběh teplot vzduchu v pokoji 2.05 – období jaro/léto	- 17 -
Obrázek 6 Týdenní průběh koncentrace CO ₂ v pokoji 2.03 – období zimy	- 18 -
Obrázek 7 Týdenní průběh koncentrace CO ₂ v pokoji 2.05 – období zimy	- 19 -
Obrázek 8 Týdenní průběh koncentrace CO ₂ v pokoji 2.03 – období jaro/léto.....	- 19 -
Obrázek 9 Týdenní průběh koncentrace CO ₂ v pokoji 2.05 – období jaro/léto.....	- 20 -
Obrázek 10 Noční průběh koncentrace CO ₂ v pokoji 2.05.....	- 20 -
Obrázek 11 Průběh infiltrace při zavřeném okně pokoj 2.05	- 32 -
Obrázek 12 Průběh infiltrace částečně a plně otevřené okno pokoj 2.05.....	- 32 -
Obrázek 13 Jižní pohled – vizualizace modelu DB.....	- 33 -
Obrázek 14 Východní pohled – vizualizace modelu DB	- 33 -
Obrázek 15 Graf tepelné ztráty objektu.....	- 34 -
Obrázek 16 Návrh systému vzduchotechniky 1NP	- 39 -
Obrázek 17 Návrh systému vzduchotechniky 2NP	- 40 -
Obrázek 18 Detailní model TZB.....	- 42 -
Obrázek 19 FVE vizualizace	- 43 -
Obrázek 20 Graf porovnání elektřiny – spotřeba a výroba na místě (FVE)	- 44 -
Obrázek 21 Porovnání všech variant – provoz – energie	- 45 -
Obrázek 22 Provozní emise oxidu uhličitého	- 46 -
Obrázek 23 Provozní emise oxidu siřičitého.....	- 46 -
Obrázek 24 Graf – teploty vzduchu interiéru zóna OP	- 47 -
Obrázek 25 Intenzita výměny vzduchu zóna OP zima.....	- 48 -
Obrázek 26 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.03 zima.....	- 49 -
Obrázek 27 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.03 léto	- 50 -
Obrázek 28 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.05 zima.....	- 51 -
Obrázek 29 Intenzita výměny vzduchu pokoj 2.05 léto	- 51 -
Obrázek 30 Střední radiační teplota zóna OP.....	- 53 -
Obrázek 31 Emise CO ₂ jednotlivých variant včetně svázaných emisí.....	- 63 -
Obrázek 32 Emise SO ₂ jednotlivých variant včetně svázaných emisí.....	- 64 -
Obrázek 33 Energie.....	- 64 -
Obrázek 34 Roční provozní náklady.....	- 65 -
Obrázek 35 Investiční náklady	- 65 -
Obrázek 36 Energie v.2	- 67 -

Přílohy

Příloha A – Výpočet infiltrace

ložnice 2.05 - zavřené okno						
20.08.2021						
t ₁	10:58:23	10:58:23	10:58:23	10:58:23	10:58:23	
t ₂	16:15:19	16:45:36	17:15:52	17:46:09	18:21:28	
t ₂ -t ₁	5,28	5,79	6,29	6,80	7,38	
C (t ₁)	3025	3025	3025	3025	3025	
C (t ₂)	651	646	630	607	586	
N (1/hod)	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,26
t _e	20,2					
t _i	20,6	20,7				

ložnice 2.05 -zavřené okno						
21.08.2021						
t ₁	10:02:49	10:02:49	10:02:49	10:02:49	10:02:49	
t ₂	15:40:55	16:11:11	16:41:28	17:21:49	17:52:06	
t ₂ -t ₁	5,64	6,14	6,64	7,32	7,82	
C (t ₁)	2037	2037	2037	2037	2037	
C (t ₂)	543	521	522	523	504	
N (1/hod)	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,21
t _e	20,5					
t _i	20,6	20,7				

ložnice 2.05 -zavřené okno						
07.03.2022						
t ₁	9:00:48	9:00:48	9:00:48	9:00:48	9:00:48	
t ₂	13:43:21	14:13:38	14:54:00	15:24:18	15:54:25	
t ₂ -t ₁	4,71	5,21	5,89	6,39	6,89	
C (t ₁)	1849	1849	1849	1849	1849	
C (t ₂)	636	586	574	579	531	
N (1/hod)	0,23	0,22	0,20	0,18	0,18	0,20
t _e	13,3					
t _i	19,1	19,2				

ložnice 2.05 - otevřené okno					
10.03.2022					
t ₁	9:32:36	9:32:36	9:32:36	9:32:36	
t ₂	11:08:27	11:23:35	11:38:43	11:53:51	
t ₂ -t ₁	1,60	1,85	2,10	2,35	
C (t ₁)	2017	2017	2017	2017	
C (t ₂)	540	529	463	467	
N (1/hod)	0,82	0,72	0,70	0,62	0,72
t _e	12,5				
t _i	19,5				

ložnice 2.05 - "ventilačka" 1 okno						
16.09.2021						
t ₁	10:34:50	10:34:50	10:34:50	10:34:50	10:34:50	
t ₂	12:15:42	12:20:44	12:25:47	12:30:50	12:35:52	
t ₂ -t ₁	1,68	1,77	1,85	1,93	2,02	
C (t ₁)	999	999	999	999	999	
C (t ₂)	433	433	466	441	420	
N (1/hod)	0,50	0,47	0,41	0,42	0,43	0,45
t _e	21,1					
t _i	21,6	21,6				

	zavřené okno		
	pokoj 2.03	pokoj 2.08	pokoj 2.08
	05.08.2021	04.03.2022	04.03.2022
t ₁	1:12:29	21:52:25	21:52:25
t ₂	5:55:19	9:19:26	7:48:00
t ₂ -t ₁	4,71	12,55	14,07
C (t ₁)	1193	2463	2463
C (t ₂)	602	468	507
N (1/hod)	0,15	0,13	0,11
t _e	22,9	0,1	
t _i	22,7	19,5	19,6

	zavřené okno	
	pokoj 2.03	pokoj 2.03
	12.03.2022	12.03.2022
t ₁	19:05:08	19:05:08
t ₂	2:54:15	1:44:11
t ₂ -t ₁	16,18	17,35
C (t ₁)	1715	1715
C (t ₂)	543	563
N (1/hod)	0,07	0,06
t _e	-1,2	
t _i	19,9	19,9

	zavřené okno		zavřené okno		zavřené okno	
	pokoj 2.08		pracovna 1.05		pokoj 2.05	
	23.07.2021		24.07.2021		08.10.2021	
t ₁	23:41:23	23:41:23	23:08:44	23:08:44	0:01:18	0:01:18
t ₂	15:12:47	14:02:43	17:54:04	18:29:09	9:46:37	12:17:52
t ₂ -t ₁	8,48	9,64	5,24	4,66	9,76	12,28
C (t ₁)	2287	2287	1567	1567	1671	1671
C (t ₂)	549	611	700	693	706	648
N (1/hod)	0,17	0,14	0,15	0,18	0,09	0,08
t _e	22,4		23,1		11,4	
t _i	23,57		23,78	23,78	22,88	23,10

	pootevřené střešní okno		„ventilačka“	
	pokoj 2.05		pokoj 2.02	
	12.08.2021		10.03.2021	10.03.2021
t ₁	17:58:39	17:58:39	9:06:37	9:06:37
t ₂	8:51:35	7:26:08	11:33:36	12:24:00
t ₂ -t ₁	9,12	10,54	2,45	3,29
C (t ₁)	4004	4004	1386	1386
C (t ₂)	939	999	438	431
N (1/hod)	0,16	0,13	0,47	0,36
t _e	18,7		2,9	
t _i	23,51	23,53	20,65	20,57

Příloha B – Zjednodušené výpočty – spotřeba elektrické energie

Příprava TV

Potřeba tepla a elektrické energie na ohřev TV								
Spotřeba TV	Počet osob	Počet dní v roce	Spotřeba TV	Spotřeba TV	Potřeba tepla pro přípravu TV		Potřeba tepla + ztráta 30 %	Potřeba elektrické energie na ohřev TV (COP 3,2)
(os/l.den)	(-)	(-)	(l/rok)	(m3/rok)	(MJ)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
40	4	365	58400	58,4	10135,5	2815,4	3660,0	1143,762
50	4	365	73000	73	12669,37	3519,3	4575,0	1429,703
60	4	365	87600	87,6	15203,24	4223,1	5490,1	1715,644

Zásuvkové spotřebiče

Odhad spotřeby elektrické energie – spotřebiče					
Spotřebič	Počet	Příkon	Denní provoz průměr	Spotřeba energie	
	ks	(W)	(h)	(kWh/den)	(kWh/rok)
Pračka	1	2200	0,5	1,1	401,5
Myčka	1	1800	1	1,8	657
Ventilátor	2	17	0,027	0,00093	0,34
TV	2	50	3	0,3	109,5
Varná konvice	1	1900	0,1	0,19	69,35
Trouba	1	3000	0,2	0,6	219
Sporák	1	4000	1	4	1460
Lednice	1	80	24	1,92	700,8
Digestoř	1	140	0,027	0,0038	1,4
Žehlička	1	1100	0,027	0,0301	11
Hi-fi	3	23	2	0,138	50,37
Router	1	7	24	0,168	61,32
Mikrovlnná trouba	1	1000	0,2	0,2	73
Mixér	2	300	0,029	0,017	6,2
Topinkovač	1	1200	0,029	0,0342	12,5
Vysavač	1	1000	0,033	0,0328	12
Šicí stroj	1	70	0,274	0,0191	7
Mobily	4	4	1	0,016	5,84
Holící strojek	1	5,4	0,066	0,00035	0,12

Nabíjení fotoaparát	1	2	0,066	0,00013	0,048
Vrtačka apod	1	1250	0,027	0,0342	12,5
Tiskárna	1	540	0,027	0,0147	5,4
PC	3	50	2	0,3	109,5
CELKEM					3870,9

Osvětlení

Osvětlení odhad spotřeby elektrické energie				
Místnost	Příkon	Doba provoz	Spotřeba energie	Doba provoz
	(W)	(hod/rok)	(kWh/rok)	(hod/den)
Vchod	10	182,5	1,825	0,5
Terasa	15	182,5	2,73	0,5
Chodba/kotelna/sklad	10	73	0,73	0,2
	10	73	0,73	0,2
	10	73	0,73	0,2
Vstupní místnost	10	91,25	0,91	0,25
Chodba	7	182,5	1,27	0,5
Koupelna	10	547,5	5,47	1,5
Pracovna	7	1095	7,66	3
	7	730	5,11	2
WC	7	365	2,55	1
Kuchyň	11	1095	12,04	3
	11	730	8,03	2
	14,5	365	5,29	1
	7	182,5	1,27	0,5
Jídelna	10	730	7,3	2
Obývací pokoj	20	1460	29,2	4
	3	1825	5,47	5
Terasa	10	365	3,65	1
Schodiště	10	365	3,65	1
Chodba	7	365	2,55	1
WC	7	365	2,55	1
pokoj 2.02	3	1825	5,47	5
	3	730	2,19	2
	7	182,5	1,27	0,5
pokoj 2.03	7	1460	10,22	4
	10	730	7,3	2
pokoj 2.05	40	365	14,6	1
	25	547,5	13,68	1,5
pokoj 2.08	7	1095	7,66	3
	14	1460	20,44	4
Koupelna	7	730	5,11	2
	10	365	3,65	1
CELKEM	346,5	20932,75	202,3	

Příloha C – Návrh dimenzí VZT potrubí, výkaz výměr a množství přiváděného vzduchu

Návrh dimenzí VZT potrubí – přiváděný vzduch										
Úsek	Místnost	Množství přiváděného vzduchu		Délka úseku	Rychlost proudění vzduchu	Plocha potrubí	Průměr potrubí	Průměr návrh	Návrh plocha potrubí	Návrh w
		V _p	V							
		(m ³ /hod)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ²)	(mm)	(mm)	(m ²)	(m/s)
1		286	0,079	3,5	5	0,0159	142	160	0,02	3,95
2		159	0,044	1	3	0,0147	137	160	0,02	2,20
3	OP	92	0,025	0,5	3	0,0085	104	100	0,01	3,26
4	pracovna	25	0,006	0,4	3	0,0023	54	100	0,01	0,88
5	OP	67	0,018	1	3	0,0062	89	100	0,01	2,37
7		117	0,032	9,5	5	0,0065	91	125	0,01	2,65
8	pokoj 2.05	50	0,013	0,4	3	0,0046	77	80	0,01	2,76
9		75	0,020	2,5	3	0,0069	94	100	0,01	2,65
10	pokoj 2.08	25	0,006	4	3	0,0023	54	80	0,01	1,38
11		50	0,013	4	3	0,0046	77	80	0,01	2,76
12	pokoj 2.03	25	0,006	1,1	3	0,0023	54	80	0,01	1,38
13	pokoj 2.02	25	0,006	1	3	0,0023	54	80	0,01	1,38

Návrh dimenzí VZT potrubí – odváděný vzduch										
Úsek	Místnost	Množství přiváděného vzduchu		Délka úseku	Rychlost proudění vzduchu	Plocha potrubí	Průměr potrubí	Průměr návrh	Návrh plocha potrubí	Návrh w
		V _p	V							
		(m ³ /hod)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ²)	(mm)	(mm)	(m ²)	(m/s)
1		286	0,079444	1,2	5	0,0159	142,2	160	0,02	3,95
		160	0,044444	1	3	0,0148	137,3	160	0,02	2,21
		120	0,033333	1,5	3	0,0111	118,9	160	0,02	1,66
		80	0,022222	2,5	3	0,0074	97,1	100	0,01	2,83
	suteren	40	0,011042	0,5	3	0,0037	68,5	80	0,01	2,20
	koupelna 1 NP	40	0,011111	0,5	3	0,0037	68,7	80	0,01	2,21
	Spíž/kuchyně	40	0,011111	0,5	3	0,0037	68,7	80	0,01	2,21
		126	0,035	9,5	3	0,0117	121,9	125	0,01	2,85
	WC 2NP		0	1,5				80	0,01	0,00
	koupelna 2NP			3				80	0,01	

Výkaz výměr vzduchotechnika							
	Typ prvku	Přívod		Odvod		Celkem	
		l	počet	l	počet	l	počet
		(m)		(m)		(m)	
Rozvody vnitřní	r 200-160		2		2		4
	Ø 160	9,5		8,7		25,2	
	k 160		2		2		4
	r 160-100		1		2		3
	T 160		1				1
	T 160-100		1				1
	T 160-80				3		3
	Ø 125			9,5		9,5	
	r 125-100				1		1
	Ø 100	4,4		2,5		6,9	
	K 100				1		1
	r 100-80		1		1		2
	T 100		1		1		2
	T 100-80		1		1		2
	T 80		1				1
	Ø 80	10,5		6,5		17	
	K 80				2		2
	X 160				1		1
	Přívod prvek		7				7
	Odvod prvek				7		7
VZT jednotka						1	
Ø 160	2		5			7	
r 200-160		1		1		2	

Přepočet požadavku 0,5 l/hod na podlahovou plochu zón				
Zóna	Plocha	Objem zóna	V_{pr} vzduch při ac/h 0,5	
	(m ²)	(m ³)	(m ³ /hod)	(l/s.m ²)
1NP				
garáž	29	81	40,5	0,4
chodba	9	26	13	0,4
koupelna	3,2	9,7	4,85	0,4
OP	64	173	86,4	0,4
pracovna	13	36	18	0,4
spíž	2,2	6,7	3,35	0,4
WC	2	5,7	2,85	0,4
2NP				
koupelna	8,5	13	6,5	0,2
pokoj 2.02	21	33	16,5	0,2
pokoj 2.03	26	41	20,5	0,2
pokoj 2.05	24	38	19	0,2
pokoj 2.08	21	26	13	0,2
WC	4,5	6,9	3,45	0,2
hala	30	81	40,5	0,4
suterén				
chodba	22	50	25	0,3
kotelna	22	60	30	0,4
sklad	10	28	14	0,4

Příloha D – „Schedules“

Přirozené větrání schedule			
__pokoje__2NP__n at__vent__extra	__pokoje__2NP__n at__vent	__OP__nat__vent	__pracovna__nat__ vent
Schedule:Compact, Fraction,	Schedule:Compact, Fraction,	Schedule:Compact, Fraction,	Schedule:Compact, Fraction,
Through: 31 Mar,	Through: 31 Mar,	Through: 31 Mar,	Through: 31 Mar,
For: AllDays,	For: AllDays,	For: AllDays,	For: AllDays,
Until: 07:00, 0.6,	Until: 07:30, 0,	Until: 07:00, 0,	Until: 12:00, 0,
Until: 7:15, 1,	Until: 7:55, 1,	Until: 7:15, 1,	Until: 12:20, 1,
Until: 23:00, 0,	Until: 18:30, 0,	Until: 18:00, 0,	Until: 18:00, 0,
Until: 24:00, 0.6,	Until: 18:55, 1,	Until: 18:30, 1,	Until: 18:30, 1,
Through: 30 Sep,	Until: 24:00, 0,	Until: 24:00, 0,	Until: 24:00, 0,
	Through: 30 Sep,	Through: 30 Sep,	Through: 30 Sep,
For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,
Until: 07:00, 0.6,	Until: 07:30, 0.6,	Until: 07:00, 0.5,	Until: 08:00, 0,
Until: 8:00, 1,	Until: 8:30, 1,	Until: 8:00, 1,	Until: 17:00, 0.6,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.6,	Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0,
For: Weekends,	For: Weekends,	For: Weekends,	For: Weekends,
Until: 07:00, 0.6,	Until: 09:00, 0.6,	Until: 07:00, 0.6,	Until: 24:00, 0,
Until: 11:00, 1,	Until: 11:00, 1,	Until: 11:00, 1,	For: AllOtherDays,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.6,	Until: 24:00, 0.6,	Until: 24:00, 0,
For: AllOtherDays,	For: AllOtherDays,	For: AllOtherDays,	Through: 31 Dec,
Until: 07:00, 0.6,	Until: 09:00, 0.6,	Until: 07:00, 0.6,	For: AllDays,
Until: 11:00, 1,	Until: 11:00, 1,	Until: 11:00, 1,	Until: 12:00, 0,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.6,	Until: 24:00, 0.6,	Until: 12:20, 1,
Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,	Until: 18:00, 0,
For: AllDays,	For: AllDays,	For: AllDays,	Until: 18:30, 1,
Until: 07:00, 0.6,	Until: 07:30, 0,	Until: 07:00, 0,	Until: 24:00, 0;
Until: 7:15, 1,	Until: 7:55, 1,	Until: 7:15, 1,	
Until: 23:00, 0,	Until: 18:30, 0,	Until: 18:00, 0,	
Until: 24:00, 0.5 ;	Until: 18:55, 1,	Until: 18:30, 1,	
	Until: 24:00, 0, ;	Until: 24:00, 0 ;	

Mechanické větrání schedule		
_kuchyne_mech_vent	_koupelna__mech_vent	_WC_mech_vent
Schedule:Compact,	Schedule:Compact,	Schedule:Compact,
Fraction,	Fraction,	Fraction,
Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	For: AllDays,
Until: 17:00, 0,	Until: 20:00, 0,	Until: 07:00, 0,
Until: 17:30, 1,	Until: 20:30, 1,	Until: 07:25, 1,
Until: 24:00, 0,	Until: 24:00, 0,	Until: 19:00, 0,
For: Weekends, Holidays AllOtherDays,	For: Weekends, Holidays AllOtherDays,	Until: 19:25, 1,
Until: 11:30, 0,	Until: 20:00, 0,	Until: 24:00, 0;
Until: 12:00, 1,	Until: 20:30, 1,	
Until: 17:30, 0,	Until: 24:00, 0,	
Until: 18:00, 1,		
Until: 24:00, 0,		

Obsazenost schedule				
_occ_OP	_occ_chodba	_occ_pracovna	_WC_occ	_occ_koupelna
Schedule:Compact,	Schedule:Compact,	Schedule:Compact,	Schedule:Compact,	Schedule:Compact,
Fraction,	Fraction,	Fraction,	Fraction,	Fraction,
Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay,	For: AllDays,	For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,
Until: 7:30, 0,	Until: 08:00, 0,	Until: 16:00, 0,	Until: 07:00, 0,	Until: 7:00, 0,
Until: 8:30, 1,	Until: 8:10, 1,	Until: 18:00, 0.5,	Until: 07:25, 1,	Until: 8:00, 1,
Until: 16:00, 0,	Until: 22:00, 0,	Until: 20:00, 1,	Until: 19:00, 0,	Until: 20:00, 0,
Until: 18:00, 0.5,	Until: 23:00, 0.2,	Until: 24:00, 0,	Until: 19:25, 1,	Until: 20:30, 1,
Until: 20:00, 1,	Until: 24:00, 0,		Until: 24:00, 0;	Until: 24:00, 0,
Until: 23:00, 0.66667,				
Until: 24:00, 0,				
For: Weekends,	For: Weekends,	For: Weekends,		For: Weekends,

Until: 8:30, 0,	Until: 09:00, 0,	Until: 24:00, 0,	Until: 8:00, 0,
Until: 18:00, 0.5,	Until: 9:10, 1,	For: Holidays,	Until: 9:00, 1,
Until: 20:00, 1,	Until: 24:00, 0,	Until: 24:00, 0,	Until: 20:00, 0,
Until: 23:00, 0.66667,			Until: 20:30, 1,
Until: 24:00, 0,			Until: 24:00, 0,
For: Holidays,	For: Holidays,		For: Holidays AllOtherDays,
Until: 8:30, 0,	Until: 09:00, 0,		Until: 8:00, 0,
Until: 18:00, 0.5,	Until: 9:10, 1,		Until: 9:00, 1,
Until: 20:00, 1,	Until: 24:00, 0,		Until: 20:00, 0,
Until: 23:00, 0.66667,			Until: 20:30, 1,
Until: 24:00, 0,			Until: 24:00, 0;
For: WinterDesignDay AllOtherDays,	For: WinterDesignDay AllOtherDays,	For: WinterDesignDay AllOtherDays,	
Until: 7:30, 0,	Until: 08:00, 0,	Until: 16:00, 0,	
Until: 8:30, 1,	Until: 8:10, 1,	Until: 18:00, 0.5,	
Until: 16:00, 0,	Until: 22:00, 0,	Until: 20:00, 1,	
Until: 18:00, 0.5,	Until: 23:00, 0.2,	Until: 24:00, 0;	
Until: 20:00, 1,	Until: 24:00, 0;		
Until: 23:00, 0.66667,			
Until: 24:00, 0;			

PC schedule	
<u>__PC__pokoje2NP</u>	<u>__PC__pracovna</u>
Schedule:Compact,	Schedule:Compact,
Fraction,	Fraction,
Through: 31 Dec,	Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,
Until: 17:00, 0,	Until: 17:00, 0.0,
Until: 18:00, 0.30245,	Until: 20:00, 1,
Until: 19:00, 0.53497,	Until: 24:00, 0.,
Until: 24:00, 0.30245,	
For: Weekends Holidays,	For: Weekends,
Until: 11:00, 0,	Until: 24:00, 0,
Until: 18:00, 0.30245,	For: Holidays,
Until: 19:00, 0.53497,	Until: 24:00, 0,
Until: 24:00, 0.30245,	For: AllOtherDays,
For: AllOtherDays,	Until: 24:00, 0;
Until: 24:00, 0;	

Osvětlení schedule
__svetlo__2NP
Schedule:Compact,
Fraction,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay,
Until: 21:00, 0,
Until: 23:00, 0.2,
Until: 24:00, 0,
For: Weekends,
Until: 21:00, 0,
Until: 23:00, 0.2,
Until: 24:00, 0,
For: Holidays,
Until: 21:00, 0,
Until: 23:00, 0.2,
Until: 24:00, 0,
For: WinterDesignDay AllOtherDays,
Until: 7:00, 0,
Until: 7:20, 0,
Until: 21:00, 0,
Until: 23:00, 0.2,
Until: 24:00, 0;

Příloha E – Výsledky DesignBuilder

Varianta 0 – výchozí stav

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - RD_Kladno, Building 1	
1 Jan - 31 Dec, Run period	
EnergyPlus Output	Year
Room Electricity (kWh)	3513,99
Lighting (kWh)	376,16
System Pumps (kWh)	6,54
Heating (Electricity) (kWh)	5310,53
DHW (Electricity) (kWh)	1402,69
Air Temperature (°C)	21,07
Radiant Temperature (°C)	20,36
Operative Temperature (°C)	20,71
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,09
Internal Natural vent. (kWh)	-33,05
External Infiltration (kWh)	-4222,88
External Vent. (kWh)	-2153,41
General Lighting (kWh)	376,16
Miscellaneous (kWh)	3463,39
Computer + Equip (kWh)	50,60
Occupancy (kWh)	2887,62
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	5024,50
Zone Sensible Heating (kWh)	16744,66
Zone Sensible Cooling (kWh)	-52,13
Zone Heating (kWh)	16993,70
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,36

Varianta 1a – zateplení MW, dřevěné rámy oken

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - RD_Kladno, Building 1	
1 Jan - 31 Dec, Run period	
EnergyPlus Output	Year
Room Electricity (kWh)	3366,21
Lighting (kWh)	360,41
System Pumps (kWh)	6,54
Heating (Electricity) (kWh)	3578,42
DHW (Electricity) (kWh)	1246,42
Air Temperature (°C)	21,21
Radiant Temperature (°C)	20,61
Operative Temperature (°C)	20,91
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,09
Internal Natural vent. (kWh)	-29,60
External Infiltration (kWh)	-2134,55
External Vent. (kWh)	-2130,19
General Lighting (kWh)	360,41
Miscellaneous (kWh)	3319,29
Computer + Equip (kWh)	46,92
Occupancy (kWh)	2722,93
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4349,02
Zone Sensible Heating (kWh)	11214,62
Zone Sensible Cooling (kWh)	-60,33
Zone Heating (kWh)	11450,96
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,27

Varianta 1b – zateplení EPS, plastové rámy oken

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - RD_Kladno, Building 1	
EnergyPlus Output	Year
Room Electricity (kWh)	3366,21
Lighting (kWh)	360,41
System Pumps (kWh)	6,54
Heating (Electricity) (kWh)	3567,90
DHW (Electricity) (kWh)	1246,42
Air Temperature (°C)	21,21
Radiant Temperature (°C)	20,61
Operative Temperature (°C)	20,91
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,09
Internal Natural vent. (kWh)	-29,57
External Infiltration (kWh)	-2134,68
External Vent. (kWh)	-2130,35
General Lighting (kWh)	360,41
Miscellaneous (kWh)	3319,29
Computer + Equip (kWh)	46,92
Occupancy (kWh)	2722,90
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4349,02
Zone Sensible Heating (kWh)	11181,04
Zone Sensible Cooling (kWh)	-60,43
Zone Heating (kWh)	11417,29
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,27

Varianta 1a+ - V1a se zvýšenou intenzitou větrání

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - RD_Kladno, Building 1	
EnergyPlus Output	Year
Room Electricity (kWh)	3366,21
Lighting (kWh)	360,41
System Pumps (kWh)	6,54
Heating (Electricity) (kWh)	3928,33
DHW (Electricity) (kWh)	1246,42
Air Temperature (°C)	21,11
Radiant Temperature (°C)	20,52
Operative Temperature (°C)	20,82
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,09
Internal Natural vent. (kWh)	-28,72
External Infiltration (kWh)	-2117,76
External Vent. (kWh)	-3537,73
General Lighting (kWh)	360,41
Miscellaneous (kWh)	3319,29
Computer + Equip (kWh)	46,92
Occupancy (kWh)	2743,97
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4349,02
Zone Sensible Heating (kWh)	12331,83
Zone Sensible Cooling (kWh)	-56,52
Zone Heating (kWh)	12570,64
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,35

Varianta 2 – instalace vzduchotechniky

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - RD_Kladno, Building 1	
EnergyPlus Output	Year
Room Electricity (kWh)	3366,21
Lighting (kWh)	360,41
System Pumps (kWh)	251,70
Heating (Electricity) (kWh)	3820,65
DHW (Electricity) (kWh)	1246,42
Air Temperature (°C)	21,01
Radiant Temperature (°C)	20,44
Operative Temperature (°C)	20,72
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,09
Internal Natural vent. (kWh)	-28,08
External Infiltration (kWh)	-2102,74
General Lighting (kWh)	360,41
Miscellaneous (kWh)	3319,29
Computer + Equip (kWh)	46,92
Occupancy (kWh)	2766,20
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4349,02
Zone Sensible Heating (kWh)	10405,23
Zone Sensible Cooling (kWh)	-1936,23
Zone Heating (kWh)	12226,08
Heat Recovery Sensible Heating (kWh)	7967,21
Heat Recovery Total Heating (kWh)	7967,21
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,67

Varianta 3 – instalace fotovoltaické elektrárny

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - RD_Kladno, Building 1	
EnergyPlus Output	Year
Room Electricity (kWh)	3366,21
Lighting (kWh)	360,41
System Pumps (kWh)	251,70
Heating (Electricity) (kWh)	3820,80
DHW (Electricity) (kWh)	1246,42
Generation (Electricity) (kWh)	-3853,45
Air Temperature (°C)	21,00
Radiant Temperature (°C)	20,43
Operative Temperature (°C)	20,71
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	8,09
Internal Natural vent. (kWh)	-28,02
External Infiltration (kWh)	-2101,25
General Lighting (kWh)	360,41
Miscellaneous (kWh)	3319,29
Computer + Equip (kWh)	46,92
Occupancy (kWh)	2767,99
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	4348,93
Zone Sensible Heating (kWh)	10404,04
Zone Sensible Cooling (kWh)	-1914,27
Zone Heating (kWh)	12226,57
Heat Recovery Sensible Heating (kWh)	7978,59
Heat Recovery Total Heating (kWh)	7978,59
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	0,67

Příloha F – Výsledky LCA

Kompletní výsledky – výstup ze softwaru One Click LCA							
Kategorie	Globální oteplování	Acidifikace	Eutrofikace	Ztenčování ozonové vrstvy	Vznik troposférického ozonu	Spotřeba primární neobnovitelné energie	Biogen uhlík
	(kg CO ₂ e)	(kg SO ₂ e)	(kg PO ₄ e)	(kg CFC11e)	(kg Ethylene)	(MJ)	(kg CO ₂ e bio)
V1a – MW a dřevěná okna							
Tepelná izolace	903	6,3	0,782	1,05E-09	0,504	16500	0
Dveře, okna	2740	13,5	1,88	0,000116	3,18	50400	300,8
Doprava	113	0,37	0,0746	0,000022	0,0109	3210	0
Provoz a údržba	2744	13,49	1,88	0,00012	3,18	50356	
Konec životnosti výrobku	59,41	0,28	0,061	0,000012	0,0038	1658,08	
Externí vlivy	-13,26	-0,04	-0,0089	-1E-06	-0,0026	-142,05	
Celkem	6546,15	33,9	4,6687	0,000269	6,8761	121982	
V1b – EPS a plastová okna							
Tepelná izolace	1390	1,33	0,298	8,55E-06	0,855	41700	0
Dveře, okna	3010	17	4,21	0,000167	0,914	55700	0
Doprava	98,7	0,322	0,0648	1,92E-05	0,0096	2810	0
Provoz a údržba	3014,99	16,98	4,21	0,00017	0,94	55693,43	0
Konec životnosti výrobku	945,29	0,79	0,14	0,00004	0,039	3423,76	0
Externí vlivy	-1108,61	-7,02	-1,55	-2,4E-05	-0,28	-11363	0
Celkem	7350,37	29,402	7,3728	0,000381	2,4776	147964,2	
V2 – vzduchotechnika							
Tepelná izolace	903	6,3	0,782	1,05E-09	0,504	16500	0
Dveře, okna	2740	13,5	1,88	0,000116	3,18	50400	300,8
Vzduchotechnika	784	5,77	1,12	5,72E-05	0,352	12300	0
Doprava	133	0,435	0,0876	2,59E-05	0,0129	3780	0
Provoz a údržba	5095,72	30,79	5,23	0,00029	4,23	87148,78	0
Konec životnosti výrobku	64,88	0,31	0,066	0,000013	0,0042	1812,7	0
Externí vlivy	-272,16	-1,12	-0,17	-1,5E-05	-0,16	-3972,43	0
Celkem	9448,44	55,985	8,9956	0,000487	8,1231	167969,1	

V2 – vzduchotechnika (na plochu)							
Tepelná izolace	903	6,3	0,782	1,05E-09	0,504	16500	0
Dveře, okna	2740	13,5	1,88	0,000116	3,18	50400	300,8
Vzduchotechnika	1640	12	1,82	0,000115	0,646	25600	0
FVE							
Doprava	138	0,453	0,0913	0,000027	0,0134	3940	0
Provoz a údržba	7651,42	49,44	7,33	0,00045	5,12	127907,7	
Konec životnosti výrobku	66,4	0,31	0,068	0,000013	0,0044	1855,64	
Externí vlivy	-346,57	-1,43	-0,22	-1,9E-05	-0,2	-5073,31	
Celkem	12792,25	80,573	11,7513	0,000702	9,2678	221130	300,8
V3a – FVE							
Tepelná izolace	903	6,3	0,782	1,05E-09	0,504	16500	0
Dveře, okna	2740	13,5	1,88	0,000116	3,18	50400	300,8
Vzduchotechnika	784	5,77	1,12	5,72E-05	0,352	12300	0
FVE	10616	48,13	14,58	0,000659	5,748	159700	0
Doprava	363	2,56	0,384	6,12E-05	0,109	9540	0
Provoz a údržba	30757,44	147,59	46,32	0,0022	18,86	454341,1	
Konec životnosti výrobku	123,75	0,59	0,13	0,000024	0,009	3478	
Externí vlivy	-3059,83	-12,76	-1,92	-0,00017	-1,81	-45215,5	
Celkem	43227,36	211,68	63,276	0,002947	26,952	661043,7	
V3b – FVE (na plochu)							
Tepelná izolace	903	6,3	0,782	1,05E-09	0,504	16500	0
Dveře, okna	2740	13,5	1,88	0,000116	3,18	50400	300,8
Vzduchotechnika	784	5,77	1,12	5,72E-05	0,352	12300	0
FVE	5786	21,53	1,68	0	2,018	95700	0
Doprava	363	2,56	0,384	6,12E-05	0,109	9540	0
Provoz a údržba	10881,1	52,36	6,91	0,00029	6,25	182817,5	0
Konec životnosti výrobku	77,16	0,37	0,079	0,000015	0,0052	2160,13	0
Externí vlivy	-858,34	-3,57	-0,54	-4,7E-05	-0,5	-12644,8	
Celkem	20675,92	98,82	12,295	0,000492	11,9182	356772,8	

Roční emise – rozpočteno na řešené období 80 let							
		Globální oteplování	Acidifikace	Eutrofizace	Ztenčování ozonové vrstvy	Vznik troposférického ozonu	Spotřeba primární neobnovitelné energie
	Životnost	(kg CO ₂ e)	(kg SO ₂ e)	(kg PO ₄ e)	(kg CFC11e)	(kg Ethylene)	(MJ)
V1a – MW a dřevěná okna							
Tepelná izolace	80	11,2875	0,07875	0,009775	1,313E-11	0,0063	206,25
Dveře, okna	80	34,25	0,16875	0,0235	1,45E-06	0,03975	630
Doprava	80	1,4125	0,004625	0,0009335	2,75E-07	0,000136	40,125
Provoz a údržba	80	34,3	0,168625	0,0235	0,0000015	0,03975	629,45
Konec životnosti výrobku	80	0,742625	0,0035	0,000763	1,5E-07	4,75E-05	20,726
Externí vlivy	80	-0,16575	-0,0005	-0,00011	-1,25E-08	-3,25E-05	-1,775625
Celkem		81,82688	0,42375	0,058359	3,363E-06	0,085951	1524,775
V1b – EPS a plastová okna							
Tepelná izolace	80	17,375	0,016625	0,003725	1,069E-07	0,010688	521,25
Dveře, okna		37,625	0,2125	0,052625	2,088E-06	0,011425	696,25
Doprava		1,23375	0,004025	0,000815	2,4E-07	0,00012	35,125
Provoz a údržba		37,68738	0,21225	0,052625	2,125E-06	0,01175	696,1679
Konec životnosti výrobku		11,81613	0,009875	0,00175	0,0000005	0,000488	42,797
Externí vlivy		-13,8576	-0,08775	-0,01938	-0,0000003	-0,0035	-142,0371
Celkem		91,87963	0,367525	0,092165	4,759E-06	0,03097	1849,553
V2 – vzduchotechnika							
Tepelná izolace	80	11,2875	0,07875	0,009775	1,313E-11	0,0063	206,25
Dveře, okna		34,25	0,16875	0,0235	1,45E-06	0,03975	630

Vzduchotechnika		9,8	0,07 212 5	0,01 4	7,15E-07	0,0044	153,75
Doprava		1,6625	0,00 543 8	0,00 1095	3,238E-07	0,000161	47,25
Provoz a údržba		63,6965	0,38 487 5	0,06 5375	3,625E-06	0,052875	1089,36
Konec životnosti výrobku		0,811	0,00 387 5	0,00 0825	1,625E-07	5,25E-05	22,65875
Externí vlivy		-3,402	- 0,01 4	- 0,00 213	-1,875E-07	-0,002	-49,65538
Celkem		118,105 5	0,69 981 3	0,11 244 5	6,089E-06	0,101539	2099,613
V2 – vzduchotechnika (na plochu)							
Tepelná izolace	80	11,2875	0,07 875	0,00 9775	1,313E-11	0,0063	206,25
Dveře, okna		34,25	0,16 875	0,02 35	1,45E-06	0,03975	630
Vzduchotechnika		20,5	0,15	0,02 275	1,438E-06	0,008075	320
Doprava		1,725	0,00 566 3	0,00 1141	3,375E-07	0,000168	49,25
Provoz a údržba		95,6427 5	0,61 8	0,09 1625	5,625E-06	0,064	1598,846
Konec životnosti výrobku		0,83	0,00 387 5	0,00 085	1,625E-07	0,000055	23,1955
Externí vlivy		- 4,33213	- 0,01 788	- 0,00 275	-2,375E-07	-0,0025	-63,41638
Celkem		159,903 1	1,00 716 3	0,14 689 1	8,775E-06	0,115848	2764,125
V3a – FVE							
Tepelná izolace	80	11,2875	0,07 875	0,00 9775	1,313E-11	0,0063	206,25
Dveře, okna		34,25	0,16 875	0,02 35	1,45E-06	0,03975	630
Vzduchotechnika		9,8	0,07 212 5	0,01 4	7,15E-07	0,0044	153,75
FVE		132,7	0,60 162 5	0,18 225	8,235E-06	0,07185	1996,25
Doprava		4,5375	0,03 2	0,00 48	7,65E-07	0,001363	119,25

Provoz a údržba		384,468	1,84 487 5	0,57 9	0,0000275	0,23575	5679,264
Konec životnosti výrobku		1,54687 5	0,00 737 5	0,00 1625	0,0000003	0,000113	43,475
Externí vlivy		- 38,2479	- 0,15 95	- 0,02 4	-2,125E-06	-0,022625	-565,1931
Celkem		540,342	2,64 6	0,79 095	3,684E-05	0,3369	8263,046
V3b – FVE (na plochu)							
Tepelná izolace	80	11,2875	0,07 875	0,00 9775	1,313E-11	0,0063	206,25
Dveře, okna		34,25	0,16 875	0,02 35	1,45E-06	0,03975	630
Vzduchotechnika		9,8	0,07 212 5	0,01 4	7,15E-07	0,0044	153,75
FVE		72,325	0,26 912 5	0,02 1	0	0,025225	1196,25
Doprava		4,5375	0,03 2	0,00 48	7,65E-07	0,001363	119,25
Provoz a údržba		136,013 8	0,65 45	0,08 6375	3,625E-06	0,078125	2285,218
Konec životnosti výrobku		0,9645	0,00 462 5	0,00 0988	1,875E-07	0,000065	27,00163
Externí vlivy		- 10,7293	- 0,04 463	- 0,00 675	-5,875E-07	-0,00625	-158,0601
Celkem		258,449	1,23 525	0,15 368 8	6,155E-06	0,148978	4459,66