

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2020


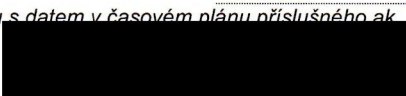
**BC. ADAM
VÍTOVSKÝ**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Vítovský</u>	Jméno: <u>Adam</u>	Osobní číslo: <u>423775</u>
Zadávací katedra: <u>124</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Resilientní bytový dům – hodnocení resilience bytových domů a návrh opatření</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Resilinet residential building – assessment of resilience and design of improvement measures</u>	
Pokyny pro vypracování: Osnova práce: 1. Úvod – shrnutí problematiky resilience 2. Případová studie bytového domu – popis a vyhodnocení podle vybraných kritérií metodikou RESBy 3. Návrh opatření pro zlepšení a zpracování návrhu jejich technického provedení 4. Vyhodnocení kritérií zlepšeného návrhu 5. Závěrečné shrnutí a vyhodnocení 6. Vypracování základní výkresové dokumentace, z toho alespoň půdorys jednoho typického podlaží a jeden řez podrobně	
Seznam doporučené literatury: Metodika RESBy	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Antonín Lupíšek, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>16.9.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5.1.2020 (KOS), 6.1.2020 na katedře</u>
	<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i> 
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

<u>16.9.2019</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)


SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Adam Vítovský

Název diplomové práce: Resilientní bytový dům – hodnocení resilience bytových domů a návrh opatření

Základní část: Dle formuláře Zadání diplomové práce podíl: 90 %

Formulace úkolů: Úvod - shrnutí problematiky resilience, případová studie bytového domu, návrh opatření pro zlepšení a zpracování návrhu jejich technického provedení, vyhodnocení kritérií zlepšeného návrhu, závěrečné shrnutí a vyhodnocení, vypracování základní výkresové dokumentace


Podpis vedoucího DP:  Datum: 16.9.2019

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

2. Část: TZB podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Stanislav Frolík, Ph.D. (K125)

Formulace úkolů: Koncept nuceného větrání

Podpis konzultanta:  Datum: 16.9.2019

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s výjimkou poskytnutých konzultací. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a dalších zdrojů na konci práce.

Datum a místo

17. 12. 2019 Praha

Podpis



Poděkování

Děkuji Ing. Antonínu Lupíškovi, Ph.D. za ochotu a čas, který mi věnoval během konzultací. Také bych rád poděkoval Ing. Stanislavu Frolíkovi, Ph.D. za konzultace a cenné rady v oblasti technických zařízení budov. Děkuji Ing. Zdenko Malíkovi za uvedení do problematiky energetické simulace budov a prof. Ing. Karlovi Kabele, CSc. za zapůjčení licence k programu DesignBuilder a kontrolu modelu.

Děkuji za podporu celé mojí rodině.

Resilientní bytový dům – hodnocení resilience bytových domů a návrh opatření

Resilient residential building – assessment of resilience and design of improvement measures

Vedoucí práce:

Ing. Antonín Lupíšek, Ph.D.

Konzultant TZB:

Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

Konzultanti energetického modelu:

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.; Ing. Zdenko Malík

Katedra:

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program a obor:

Budovy a prostředí

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením resilience bytových domů, zejména problematikou energetické náročnosti budov a kvality větracího vzduchu. Na vybraném návrhu bytového domu je na základě metodiky RESBy provedeno vyhodnocení energetické náročnosti budovy a kvality větracího vzduchu. Dle požadavků metodiky je pro určení energetické náročnosti budovy vytvořen simulační model v programu DesignBuilder. Následně jsou navržena opatření, která vedou ke zlepšení návrhu a jsou v souladu s použitou metodikou. V závěru práce jsou oba stavy porovnány a vyhodnoceny.

Klíčová slova

Resilientní bytový dům, metodika RESBy, energetická náročnost, obnovitelné zdroje energie, DesignBuilder

Abstract

This diploma thesis deals with assessment of resilience of residential buildings. It mainly focuses on energy consumption and indoor air quality control. The RESBy methodology is used to assess energy consumption and indoor air quality control on selected residential building draft. A simulation model is created in DesignBuilder software in order to analyse energy consumption. Improvements are made after that to make the draft more energy efficient. The improvements are in conformity with the methodology. In conclusion, both states are compared and evaluated.

Keywords

Resilient residential building, RESBy methodology, energy consumption, renewable energy sources, DesignBuilder

Obsah

1	Úvod do problematiky resilience	9
2	Cíl práce.....	10
3	Metodika hodnocení RESBy	11
4	Výchozí stav zkoumaného objektu.....	12
4.1	Lokalita a dispozice.....	12
4.2	Konstrukční a materiálové řešení.....	12
4.3	Technická zařízení budovy	13
4.4	Skladby konstrukcí.....	13
5	Kritérium M.1 Energetická náročnost budovy	15
5.1	Energetická náročnost budovy ve fázi výstavby.....	16
5.2	Energetická náročnost budovy ve fázi provozu	19
5.2.1	Program DesignBuilder.....	19
5.2.2	Tvorba modelu	19
5.2.3	Výsledky simulace	33
5.2.4	Kontrola výsledků simulace.....	34
5.3	Vyhodnocení dle metodiky	36
6	Kritérium K.3 Kvalita větracího vzduchu	39
6.1	Vyhodnocení dle metodiky	40
7	Návrh opatření pro zlepšení.....	41
7.1	Materiálové řešení	41
7.2	Skladby konstrukcí.....	42
7.3	Instalace nuceného větrání.....	47
7.4	Obnovitelné zdroje.....	50
7.5	Kvalita větracího vzduchu	54
8	Závěr.....	55
9	Seznam použité literatury a zdrojů	58
10	Seznam použitého softwaru.....	61
11	Seznam výkresů.....	62
12	Seznam obrázků	63
13	Seznam tabulek	64

1 Úvod do problematiky resilience

Probíhající klimatické změny jsou stále větším problémem a dotýkají se každého z nás. Všechna odvětví průmyslu hledají způsoby, jak tyto změny omezit. Nejinak je tomu i u průmyslu stavebního.

V souvislosti s výstavbou nových objektů může vést k řešení klimatických změn snižování energetické náročnosti budov, menší produkce emisí vznikajících při provozu budov a použití stavebních materiálů nezatěžujících svou výrobou ani likvidací životní prostředí.

Klimatické změny s sebou přinášejí mnoho problémů – teplotní extrémny, střídající se období sucha a extrémních srážek, bouře, vichřice nebo například rozsáhlé požáry. Budovy by měly být schopné se na tyto změny adaptovat. V důsledku těchto jevů totiž může docházet k přehřívání staveb, k nedostatku užitkové vody, k dočasným výpadkům elektrické energie, k haváriím kanalizačního potrubí a dalším problémům, které omezují běžný provoz.

Snahou návrhu je předcházet vhodným způsobem těmto scénářům, pokud to však není možné, je nutné nalézt řešení, které by dočasně, než dojde k nápravě, poskytlo náhradu pro uspokojení alespoň základních potřeb obyvatel.

Resilienci v souvislosti s obytnými stavbami můžeme popsat jako schopnost objektu reagovat na náhlé změny tak, aby, pokud je to možné, nedošlo k narušení běžného provozu. Po odstranění příčiny se objekt vrací do běžného typu provozu bez omezení.

V praxi se může jednat například o použití náhradního zdroje vody, když je přerušena její dodávka z veřejného vodovodu. Dalším příkladem může být vypouštění splaškové vody náhradní cestou při havárii kanalizace tak, aby nedocházelo k hromadění splaškových vod v objektu nebo v jeho blízkosti.

Mitigace klimatických změn je dle metodiky popsána jako snaha omezit produkci skleníkových plynů [1].

Důležitou roli v problematice resilience hrají obnovitelné zdroje energií, které jednak snižují dopad budovy na životní prostředí v provozní fázi, zároveň budově zajišťují nezávislost na dodávce energií ze sítě. Tato nezávislost je však pouze částečná, protože obnovitelný zdroj většinou nedokáže plně pokrýt potřebu objektu.

2 Cíl práce

Cílem této práce je upravit koncepční návrh zvoleného objektu tak, aby byla snížena jeho energetická náročnost a zároveň zvýšena kvalita vnitřního prostředí.

Standardně se energetická náročnost budov stanovuje pomocí průkazu energetické náročnosti, u stávajících budov pak prováděním energetického auditu. Oba tyto přístupy se však zabývají pouze energiemi v provozní fázi objektu. Přitom je nezanedbatelné množství energie spotřebováno již ve fázi výstavby na výrobu použitých materiálů a jejich dopravu. Proto byla pro hodnocení objektu zvolena metodika RESBy, která v hodnocení energetické náročnosti zohledňuje celkové množství energie.

Další problematikou budov je nedostatečná intenzita větrání a nízká kvalita přiváděného větracího vzduchu z důvodu nepřítomnosti vzduchotechniky.

Na základě vyhodnocení výchozího návrhu objektu dle metodiky budou navržena vhodná opatření, která budou v souladu s touto metodikou a povedou ke zlepšení návrhu.

3 Metodika hodnocení RESBy

Metodika RESBy je nástroj vyvíjený Českým vysokým učením technickým v Praze ve spolupráci s Univerzitním centrem energeticky efektivních budov v Buštěhradě za účelem hodnocení návrhů novostaveb bytových domů z hlediska resilience, mitigace klimatických změn a adaptace na klimatické změny.

Hodnocená kritéria metodika rozděluje do čtyř hlavních skupin:

- mitigace klimatických změn
- adaptace na klimatické změny
- kvalita užívání budovy
- socio-ekonomická kritéria

Každá tato skupina obsahuje několik kritérií. Tato kritéria jsou na základě informací dostupných o objektu ohodnocena, a to buď slovně, nebo číselně.

Závěrem posudku budovy dle každého kritéria je udělení bodového hodnocení na stupnici od 1 do 10, kde vyšší bodové hodnocení znamená lepší řešení.

Mezi kritérii najdeme mimo jiné hodnocení energetické náročnosti budovy, připravenost objektu na šetrné formy automobilové dopravy, hodnocení rizika letního přehřívání, hodnocení odolnosti vůči vnějšímu požáru, opatření při poškození infrastruktury, posouzení hluku z dopravy nebo například zabezpečení objektu proti zločincům.

Poznámka: Vzorové tabulky pro výpočty a hodnocení kritérií byly převzaty z metodiky RESBy

4 Výchozí stav zkoumaného objektu

4.1 Lokalita a dispozice

Zkoumaným objektem je samostatně stojící bytový dům o půdorysných rozměrech zhruba 23x18 m disponující pěti nadzemními a jedním podzemním podlažím.

Bytový dům se nachází v Praze v nadmořské výšce 235 m n. m. a je vzhledem ke světovým stranám pootočen o 24 stupňů po směru hodinových ručiček.

Z jihozápadní strany objekt přiléhá ke komunikaci, z ostatních stran je obklopen bytovými domy se zahradami. Od veřejného prostranství je budova oddělena plotem a vstupní branou.

Hlavní vstup do objektu a vjezd do hromadné podzemní garáže jsou ze strany komunikace.

V podzemním podlaží nalezneme kromě 11 parkovacích stání také 4 skladovací místnosti a jádro s výtahovou šachtou a samostatným schodištěm vedoucím do prvního nadzemního podlaží. První nadzemní podlaží nabízí jeden byt a technické zázemí objektu. Ve druhém, třetím a čtvrtém nadzemním podlaží se nachází vždy dva byty, každý po jedné straně chodby a schodišťového prostoru. Páté nadzemní podlaží je ustupující a disponuje jedním bytem s terasami.

Celkem objekt nabízí prostor a zázemí pro 26 ubytovaných.

4.2 Konstrukční a materiálové řešení

Výkresová dokumentace objektu byla vytvořena pouze pro účely této práce. Výkresy byly zhotoveny na základě architektonické studie publikované na serveru archiweb.cz [2].

Konkrétní materiálové řešení a skladby jednotlivých konstrukcí byly zvoleny speciálně pro účely této práce. S přihlédnutím ke stáří objektu byly konstrukce obálky budovy navrženy na doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540 [3].

Svislé obvodové konstrukce domu jsou zděné z dutinových pálených cihel tloušťky 300 mm, vodorovné konstrukce jsou navrženy jako železobetonové monolitické tloušťky 250 mm. Konstrukce podzemního podlaží jsou zhotoveny z vodonepropustného betonu.

Obvodové konstrukce objektu jsou zatepleny minerální izolací o tloušťce 120 mm.

Balkonové konstrukce jsou řešeny pomocí isonosníků s přerušným tepelným mostem.

Střecha objektu je plochá nepochozí.

4.3 Technická zařízení budovy

Bytové prostory jsou větrány přirozeně s výjimkou podtlakového větrání hygienických prostor a kuchyní. Tyto prostory jsou připojeny na centrální potrubí ústící na střechu objektu. Nuceně jsou větrány také hromadné podzemní garáže.

Všechna nadzemní podlaží jsou vytápěna pomocí teplovodní dvoutrubkové soustavy. Pro vytápění byly zvoleny podlahové konvektory. Nevytápěné hromadné garáže jsou od vytápěných prostor odděleny tepelnou izolací.

V lokalitě budovy je předpokládána přítomnost rozvodů centrálního zásobování teplem. Budova je vybavena předávací stanicí, veškerý ohřev je realizován průtokově. Do jednotlivých bytů je přiveden rozvod studené vody, teplé vody a cirkulační vody.

Objekt nedisponuje žádným vlastním obnovitelným zdrojem energie.

4.4 Skladby konstrukcí

Obvodové stěny:	sádrová omítka	10 mm
	pálená cihla dutinová	300 mm
	minerální izolace	120 mm
	silikátová omítka	10 mm
Střecha:	štěrk	100 mm
	netkaná textilie	
	asfaltový pás	4 mm
	EPS	min. 240 mm
	asfaltový pás	4 mm
	ŽB monolitická deska	250 mm
sádrová omítka	10 mm	
Vnitřní stropy:	vinylová podlaha	8 mm
	PE podložka	2 mm
	betonová mazanina	50 mm
	separační vrstva	
	EPS	50 mm
	ŽB monolitická deska	250 mm
Sádrová omítka	10 mm	
Strop nad garáží:	vinylová podlaha	8 mm
	PE podložka	2 mm
	betonová mazanina	50 mm
	separační vrstva	
	EPS	50 mm
	ŽB monolitická deska	300 mm
minerální izolace	100 mm	
sádrová omítka	10 mm	
Jádro v garáži:	sádrová omítka	10 mm
	ŽB monolitická stěna	200 mm
	minerální izolace	100 mm
	sádrová omítka	10 mm

Podlaha garáže:	ŽB monolitická deska	150 mm
	betonová mazanina	50 mm
	netkaná textilie	
	vodonepropustný ŽB	500 mm
	betonová deska	150 mm
Podlaha jádra:	dlažba	10 mm
	tmel	10 mm
	separační vrstva	
	XPS	150 mm
	vodonepropustný ŽB	500 mm
	betonová deska	150 mm
Suterénní stěna:	vodonepropustný ŽB	300 mm

5 Kritérium M.1 Energetická náročnost budovy

Metodika v tomto kritériu zohledňuje dvě životní fáze objektu – fázi výstavby a fázi provozu.

Fáze výstavby zohledňuje v hodnocení svázané spotřeby neobnovitelné primární energie ve stavebních materiálech. Svázaná spotřeba neobnovitelné primární energie materiálu je množství energie, které bylo spotřebováno na těžbu surovin a výrobu materiálu. Vzhledem ke stále se snižující energetické náročnosti budov ve fázi provozu může být množství svázané energie ve výpočtu ve výjimečných případech převažujícím členem.

Hodnocení zvoleného objektu dle kritéria energetické náročnosti budovy ve fázi výstavby vychází z výkazu množství stavebních materiálů. Pro výpočet svázané spotřeby energie je nutné použít některou z databází životních cyklů výrobků (například Ecoinvent nebo Envimat).

Výkaz zahrnuje veškeré nosné konstrukce, kompletační konstrukce, izolační materiály a klempířské výrobky, do výpočtu naopak nevstupují zařizovací předměty, armatury a technická zařízení.

Každá konstrukce a každý materiál disponují jinou životností. Tato životnost je závislá na typu materiálu a na jeho vystavení okolnímu prostředí. Některé konstrukce mohou daleko přesahovat plánovanou životnost stavby, která je běžně uvažována délkou 50 let. Proto je tato doba i maximální životnost konstrukce, která může vstoupit do výpočtu.

Fáze provozu představuje z hlediska energetické náročnosti budovy množství energie spotřebované na zajištění vytápění, chlazení, úpravy vlhkosti vzduchu, větrání, ohřevu teplé vody, osvětlení a funkcí pomocných systémů. Do výpočtu nevstupuje spotřeba uživatelské energie, která je těžce předvídatelná.

Metodika při stanovování spotřeb provozních energií vychází ze simulace s hodinovým časovým krokem.

Dle hodnocení může být spotřeba energie na provoz budovy kryta z obnovitelných zdrojů.

V energetické bilanci se pozitivně projeví i produkce energie z obnovitelných zdrojů opouštějící systémovou hranici budovy. Může se jednat například o prodej nadbytečné elektrické energie vyrobené pomocí fotovoltaických panelů. Ve výpočtu dle metodiky by tuto energii bylo možné odečíst v určitém množství z celkové spotřeby neobnovitelné primární energie.

5.1 Energetická náročnost budovy ve fázi výstavby

Výkaz množství stavebních materiálů byl zpracováván dle postupu stavebních prací. Výpočet začal nosnými základovými konstrukcemi a pokračoval přes nosné konstrukce všech následujících podlaží. Dalším krokem bylo započtení vnitřních dělicích konstrukcí. Poté byly vykázány kompletační konstrukce v podobě izolačních materiálů, výplní otvorů, klempířských výrobků, skladeb podlah a omítek.

Tab. 1 Výpočet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie – výchozí stav

Konstrukce/ materiál	m.j.	Výměra [m.j.]	Jednotková svázaná spotřeba NoPE [MJ/m.j.]	Svázaná spotřeba NoPE [MJ]	Životnost [roky]	Roční svázaná spotřeba NoPE [MJ/a]
		a	b	c = a · b		d
ŽB svislé (2,5 % výztuž)	m ³	191,5	5755,2	1102328	50	22047
ŽB vodorovné (2,5 % výztuž)	m ³	776,8	5755,2	4470713	50	89414
pálená cihla dutinová	m ³	249,9	2059,0	514525	50	10291
pórobetonové příčky	m ³	118,7	1137,5	135055	50	2701
malta	m ³	12,7	1987,5	25241	50	505
ŽB schodiště	m ³	15,9	5755,2	91508	50	1830
SDK stěny	m ²	204,8	484,8	99317	50	1986
izolační trojskla, dřevo	m ²	293,1	1095,2	321012	25	12840
vnitřní dveře, dřevo	m ²	128,3	648,2	83164	50	1663
minerální izolace	m ³	185,1	646,2	119607	30	3987
pěnové sklo	m ³	4,7	3856,7	18078	30	603
podlahy vinyl	m ²	720,1	455,5	327970	20	16398
podlahy dlažba	m ²	314,2	547,1	171903	50	3438
podlahy ŽB	m ²	374,1	931,7	348548	50	6971
parapetní plechy	kg	321,9	112,7	36285	25	1451
zábradlí	kg	810	112,7	91303	50	1826
omítky vnitřní	m ³	45,3	2767,7	125306	15	8354
keramický obklad	m ³	2,4	28212,8	67711	50	1354
omítky vnější	m ³	11,4	9135,9	104402	30	3480
střešní plášť	m ²	312,2	1571,7	490729	30	16358
hydroizolace soklu	m ³	0,5	53027,9	28107	40	703
tepelná izolace soklu	m ³	5,3	2412,9	12789	30	426
štěrk	m ³	829,6	113,0	93748	50	1875
Celkem	-	-	-	8879347	-	210501

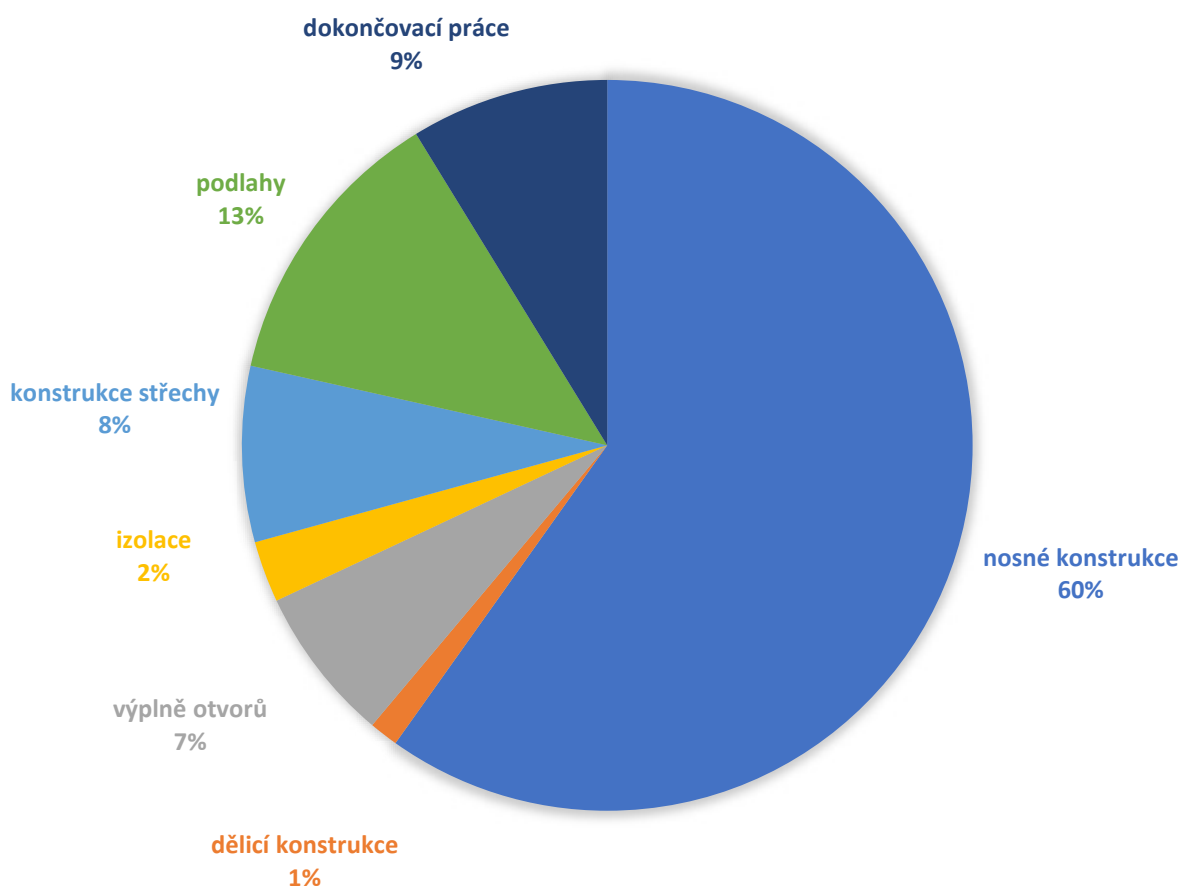
Většina konstrukcí byla řešena na základě objemového množství materiálu, jednotková svázaná spotřeba neobnovitelné primární energie byla získána z nástroje Envimat [4]. Složitější konstrukce jako například souvrství podlah a střechy byly vyhodnoceny pomocí tohoto nástroje, do kterého byly zadány materiály jednotlivých vrstev a jejich tloušťky, výstupní hodnotou z nástroje byla hodnota svázané spotřeby neobnovitelné primární energie na jednotku plochy konstrukce.

Aby mohla být později celková svázaná spotřeba neobnovitelné primární energie sečtena se spotřebou neobnovitelné primární energie ve fázi provozu, je třeba svázané spotřeby přepočítat na jejich roční ekvivalent dle životnosti. Životnosti jednotlivých konstrukcí a materiálů byly převzaty z Metodiky SBToolCZ [5]. I přes to, že některé konstrukce svou teoretickou životností přesahují dobu 50 let, do výpočtu vstoupila maximálně právě tato hodnota.

Výpočty vychází z výkresové dokumentace a z výkazu místností.

Jak je z následujícího obrázku (Obr. 1) zřejmé, nejvíce se na celkové svázané spotřebě neobnovitelné primární energie podílí železobeton, a to i přes jeho dlouhou životnost. Je to způsobeno především betonářskou výztuží, která je velice energeticky náročná na výrobu. Dalšími převažujícími členy jsou vinylové podlahy kvůli své nižší životnosti a souvrství střechy převážně kvůli použití hydroizolačních pásů z modifikovaného asfaltu.

ROČNÍ SVÁZANÁ SPOTŘEBA NEOBNOVITELNÉ PRIMÁRNÍ ENERGIE



Obr. 1 Podíl konstrukcí na roční svázané spotřebě neobnovitelné primární energie – výchozí stav

Vztažnou jednotkou roční svázané spotřeby neobnovitelné primární energie je energeticky vztažná plocha. Přepoččet je zřejmý z následující tabulky (Tab. 2):

Tab. 2 Měrná roční svázaná spotřeba energie – výchozí stav

Položka	m.j.	hodnota
Roční svázaná spotřeba NoPE	MJ/a	210501
Celková energeticky vztažná plocha	m ²	1307,8
Měrná roční svázaná spotřeba NoPE	MJ/(m ² · a)	161

5.2 Energetická náročnost budovy ve fázi provozu

5.2.1 Program DesignBuilder

Vzhledem k nutnosti provádění simulace s hodinovým krokem výpočtu byl k analýze energetického chování budovy zvolen z předchozího studia již známý program DesignBuilder [6]. Licenci k zapůjčení poskytla Katedra technických zařízení budov.

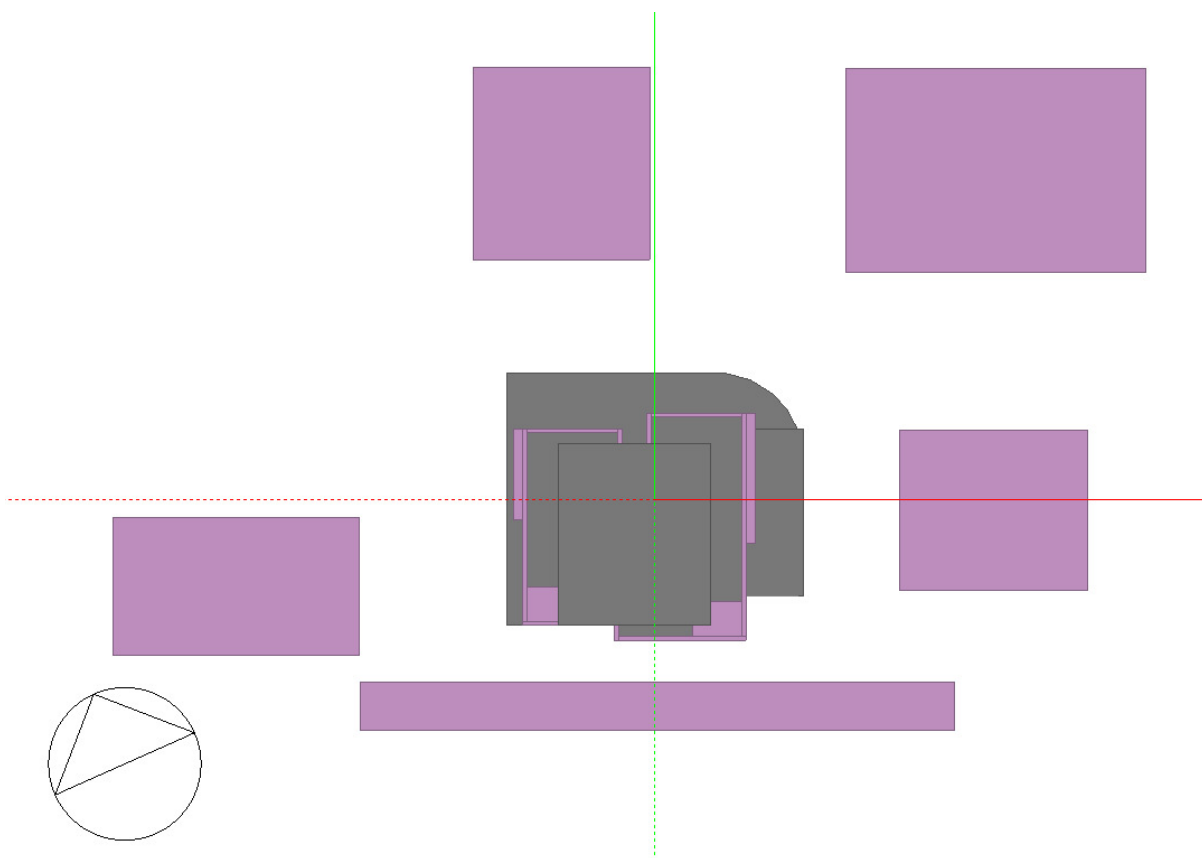
Program DesignBuilder používá výpočetní engine EnergyPlus a na základě zadaného modelu provádí dynamickou simulaci. V programu je možné analyzovat spotřeby energií, parametry vnitřního prostředí, ale i uhlíkové emise. Výstupy lze exportovat jak ve formě grafů, tak ve formě hrubých tabulkových dat. Simulace je možné provádět s různými délkami časového kroku, od ročního až po interval kratší než jedna hodina.

Do každého výpočtu vstupují okrajové podmínky v podobě klimatických dat, profil užívání budovy, geometrie budovy a materiálové řešení konstrukcí.

5.2.2 Tvorba modelu

Poloha

Lokalita modelu byla nastavena na Praha/Ruzyně, nadmořská výška na 235 m nad mořem. Orientace vzhledem ke světovým stranám byla natočena o 24 ° ve směru hodinových ručiček. Okolní zástavba a zeleň byly v modelu zohledněny podle skutečné situace (Obr. 2 a výkres č. 1).



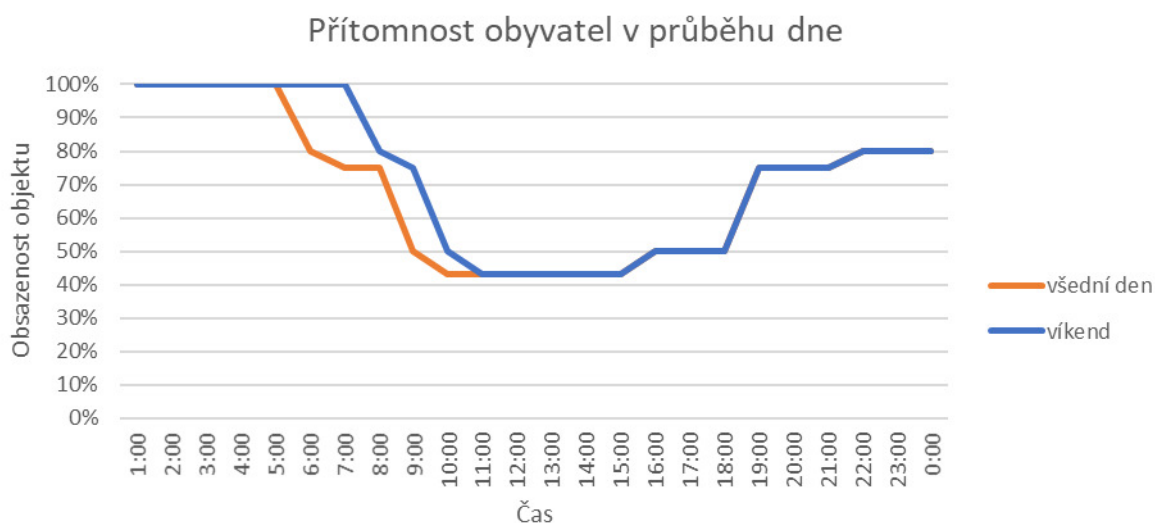
Obr. 2 Půdorysný pohled na model v programu DesignBuilder

Klimatická data

Jako zdroj klimatických dat byla zvolena databáze ASHRAE IWEC pro město Praha, která je dostupná přímo v programu DesignBuilder. Tato databáze uvažuje zimní venkovní návrhovou teplotu $-13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Databáze disponuje hodinovými údaji o klimatických datech.

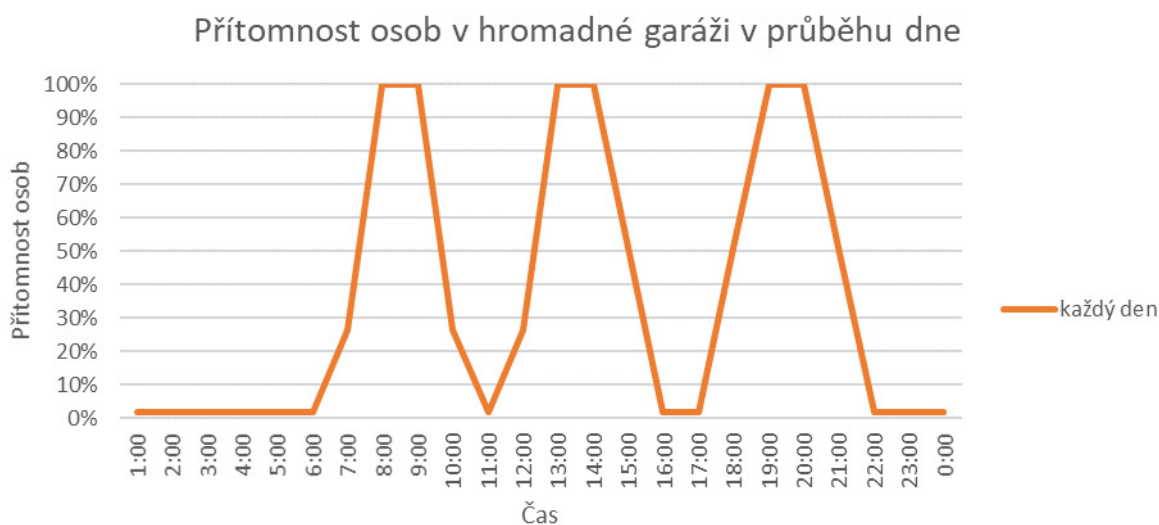
Profily užívání

Časový profil přítomnosti osob v bytové části byl nastaven na předdefinovaný rozvrh Residential Occ. Profil je graficky znázorněn na následujícím obrázku (Obr. 3):



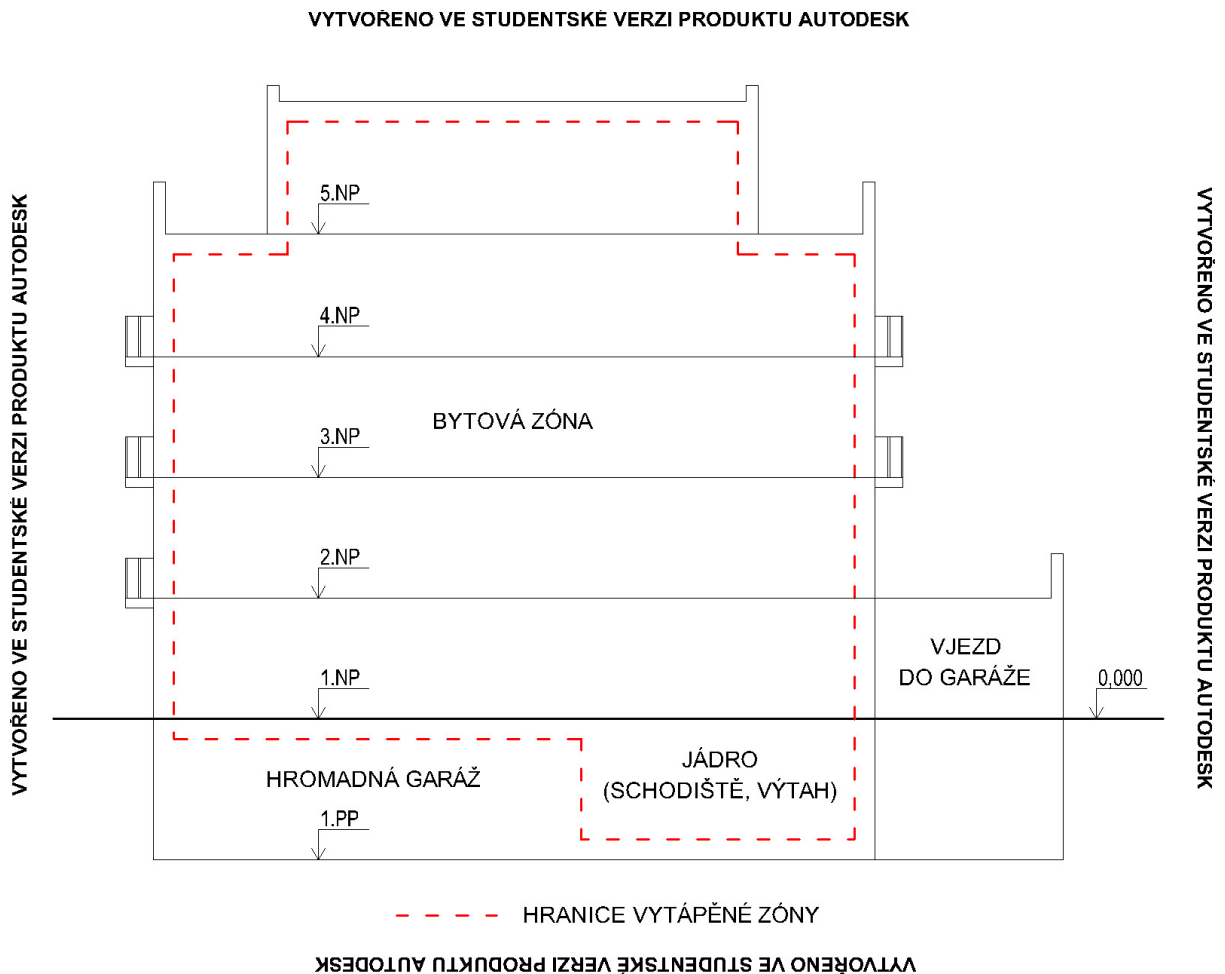
Obr. 3 Přítomnost obyvatel v bytové části v průběhu dne

Časový profil přítomnosti osob v prostoru hromadných garáží byl taktéž vybrán z předdefinovaných rozvrhů a můžeme jej vidět na obrázku (Obr. 4):



Obr. 4 Přítomnost osob v hromadné garáži v průběhu dne

Zóny modelu

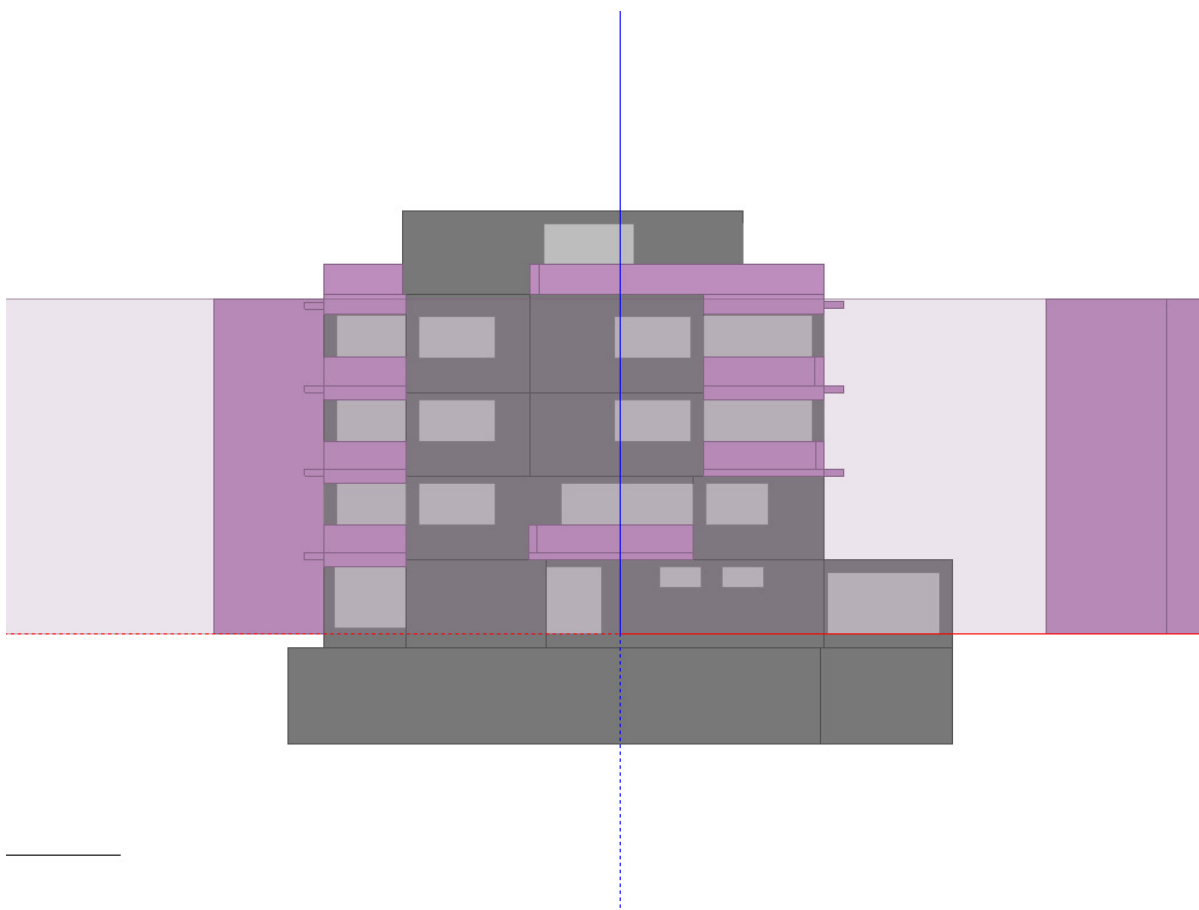


Obr. 5 Schéma vytápěné zóny objektu

Objekt byl modelován po jednotlivých podlažích. Každé podlaží bylo vytvořeno pomocí funkce Building block, a tvoří tak v modelu pouze jednu zónu. Komunikační prostory v nadzemních podlažích byly vzhledem k malé ochlazené ploše uvažovány pro zjednodušení taktéž jako obytný prostor. Jednotlivá podlaží v modelu kopírují svými rozměry vnější obrys půdorysů objektu. Podlaží byla modelována s následujícími výškami:

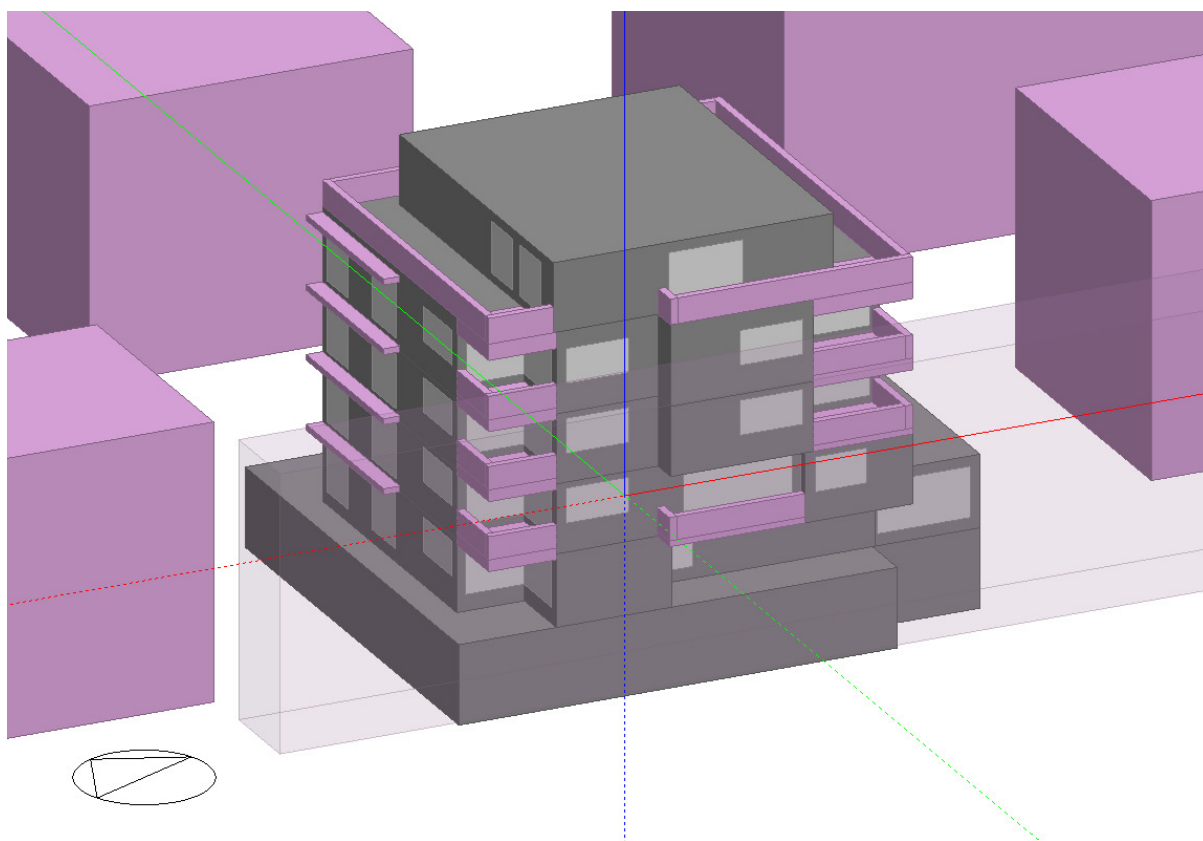
- Podzemní podlaží 3,45 m
- První podlaží 3,15 m
- Druhé podlaží 3 m
- Třetí podlaží 3 m
- Čtvrté podlaží 3,5 m
- Páté podlaží 3 m

Tyto výšky vycházejí z ploch ochlazené obálky budovy.



Obr. 6 Pohled na model objektu v programu DesignBuilder

Okolní zástavba byla v modelu zohledněna ze všech světových stran. Všechny objekty byly modelovány pomocí funkce Component block (v Obr. 6 fialové objekty), která objektům nepřiznává žádnou zónu, tyto objekty se však podílejí na stínění, a hrají tak velkou roli v energetické bilanci objektu. Objekty modelované pomocí této funkce mají nulový tepelný odpor.

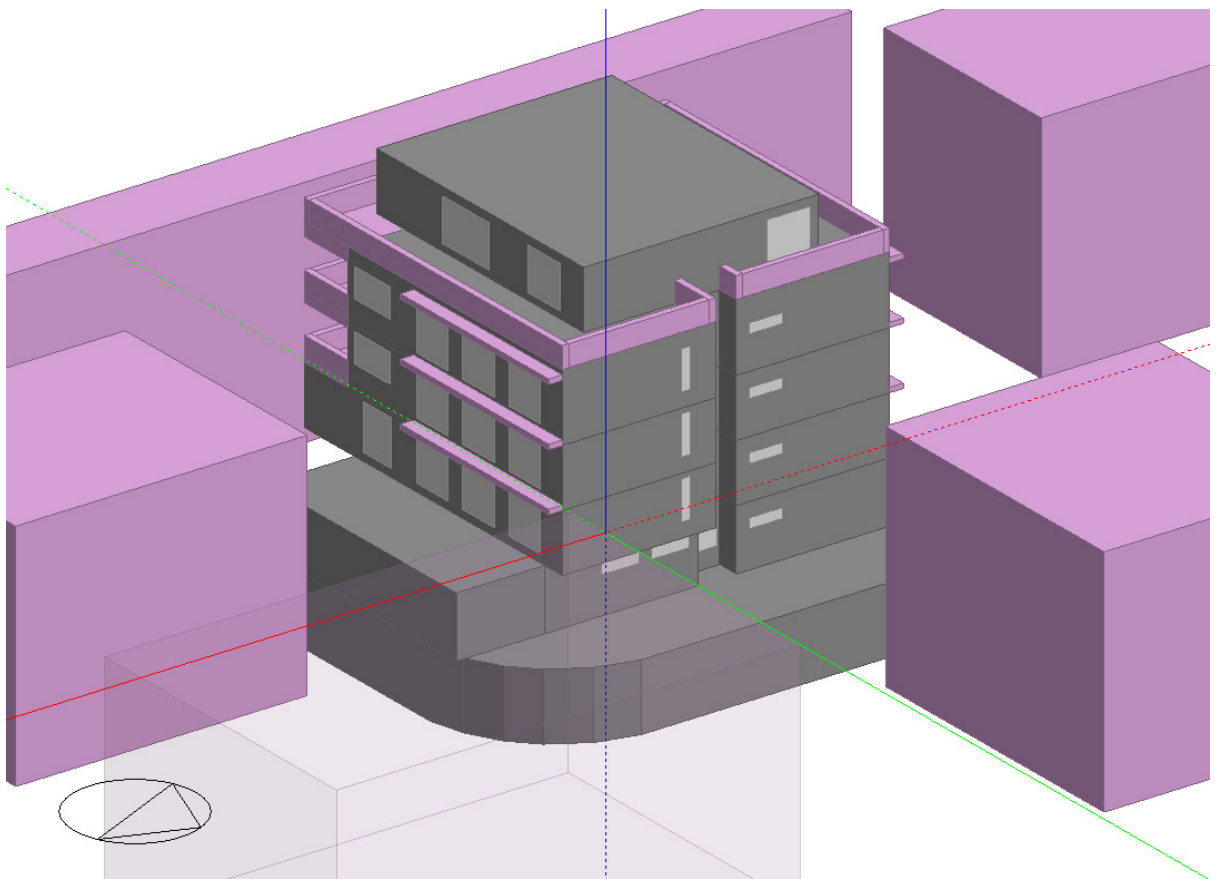


Obr. 7 Axonometrický pohled na model v programu DesignBuilder – předsazené konstrukce

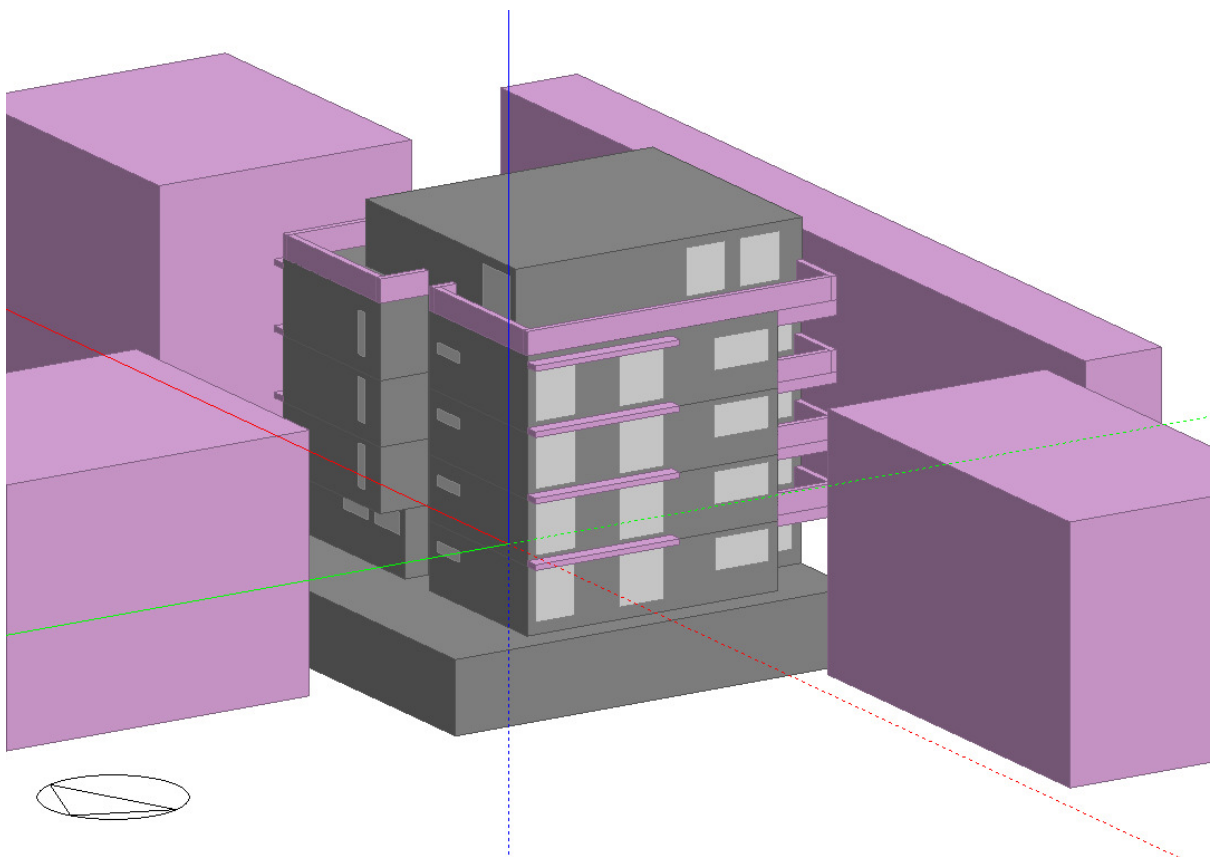
Všechny okolní stavby mají výšku 12 m a nulovou průsvitnost. Stromy lemující přilehlou komunikaci na jižní straně byly taktéž zohledněny pomocí funkce Component block, mají výšku 12 m, jsou vzdáleny 3 m od jižní fasády objektu a mají nastavenou průsvitnost 90 %. Tato průsvitnost byla do modelu zanesena pouze jako bezpečnostní zohlednění zeleně, předpokladem je, že stromy jsou v průběhu zimy opadané, takže sluneční záření skrze prosklené konstrukce na jižní fasádě napomáhá snižovat potřebu tepla na vytápění. Stínění stromy v letním období nebylo řešeno.

Předsazené konstrukce

Balkonové konstrukce i s neprůsvitným zábradlím byly modelovány pomocí funkce Component block. Hlavně na jižní fasádě balkony fungují jako markýzy.



Obr. 8 Axonometrický pohled na model v programu DesignBuilder – okolní objekty 1



Obr. 9 Axonometrický pohled na model v programu DesignBuilder – okolní objekty 2

Obsazenost budovy

Do modelu byla kvůli rovnoměrnosti obsazenost zadána jako počet osob na metr čtvereční plochy. Proto musela být hodnota dopočtena na základě známého celkového počtu lůžek a součtu ploch jednotlivých obytných zón tak, aby odpovídala celkovému počtu osob v budově. Při plné obsazenosti budova pojme celkem 26 osob.

V modelu se nejedná o součet podlahových ploch, protože v modelu nejsou zohledněny vnitřní dělicí konstrukce, jedná se o vnitřní půdorysné plochy jednotlivých zón se zanedbáním vnitřních konstrukcí.

Půdorysné plochy uvažovaných obytných zón v jednotlivých podlažích byly odečteny z programu takto:

$$S_{-1} = 29,67 \text{ m}^2$$

$$S_{+1} = 221,75 \text{ m}^2$$

$$S_{+2} = 255,01 \text{ m}^2$$

$$S_{+3} = 248,50 \text{ m}^2$$

$$S_{+4} = 248,50 \text{ m}^2$$

$$S_{+5} = 155,40 \text{ m}^2$$

Celková plocha obytných zón je:

$$\Sigma S = 1158,83 \text{ m}^2$$

Hustota obsazenosti obytné části vstupující do modelu:

$$\text{hustota obsazenosti} = \frac{\text{počet osob}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} = \frac{26}{1158,83 \text{ m}^2} = 0,0224 \text{ osob/m}^2$$

Produkce tepla od osob byla zohledněna nastavením činnosti osob na provádění kancelářské práce. Metabolické teplo je při této činnosti v programu definováno hodnotou 117 W na osobu.

Metabolický faktor byl zadán jako vážený průměr, třetinu obyvatel tvoří muži, třetinu ženy a třetinu děti. Výsledný faktor byl určen jako vážený průměr následovně:

$$\text{metabolický faktor} = \frac{\frac{1}{3} * 26 * 1 + \frac{1}{3} * 26 * 0,85 + \frac{1}{3} * 26 * 0,75}{26} = 0,87$$

V prostoru hromadných garáží byla v modelu ponechána standardní hodnota profilu užívání pro garáže. Hustota obsazenosti hromadných garáží v modelu je:

$$0,0053 \text{ osob/m}^2$$

Konstrukce

Pro zjednodušení modelu nebyly do programu zadány kompletní skladby konstrukcí. V modelu hrají roli převážně tepelné izolace a další vrstvy o velkých tloušťkách, hlavně nosné vrstvy. Ke zjednodušení došlo u horizontálních konstrukcí, kde byly vynechány hydroizolace, separační vrstvy a nášlapné vrstvy. Skladby byly posouzeny v programu Teplo 2017 EDU. Pro korekci tepelných vazeb byla užitá přírážka $\Delta U = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Zadané skladby jsou přehledně shrnuty v tabulce (Tab. 3):

Tab. 3 Zjednodušené konstrukce modelu – výchozí stav

konstrukce	vrstvy (od interiéru)	λ (W/(m*K))	tloušťka vrstvy (mm)	U (W/(m ² *K))
stěna vnější	omítka	0,6	10	0,22
	cihla pálená	0,21	300	
	minerální izolace	0,036	120	
	omítka	0,8	10	
stěna suterénní	omítka	0,6	10	2,75
	železobeton	1,7	300	
střecha a terasy	omítka	0,6	10	0,13
	železobeton	1,7	250	
	EPS	0,035	300	
jádru	omítka	0,6	10	0,34
	železobeton	1,7	200	
	minerální izolace	0,036	100	
	omítka	0,6	10	
podlaha jádra	XPS	0,035	150	0,23
	železobeton	1,7	500	
	beton	1,7	150	
podlaha garáže	železobeton	1,7	150	1,41
	betonová mazanina	1,7	50	
	železobeton	1,7	500	
	beton prostý	1,7	150	
strop garáže	betonová mazanina	1,7	50	0,25
	tepelná izolace	0,039	50	
	železobeton	1,7	300	
	minerální izolace	0,04	100	
	omítka	0,6	10	
podlaha nad exteriérem	betonová mazanina	1,7	50	0,16
	tepelná izolace	0,039	50	
	železobeton	1,7	250	
	minerální izolace	0,036	200	
	omítka	0,8	10	

Kromě součinitelů tepelné vodivosti materiálů byly do programu DesignBuilder zadány i jejich hodnoty měrné tepelné kapacity, objemové hmotnosti a faktoru difuzního odporu.

Okenní výplně byly modelovány jako trojskla s dřevěným rámem. Mezi skly jsou vzduchové dutiny o tloušťce 13 mm. Okna mají celkovou energetickou propustnost 0,47 a podle hodnoty součinitele prostupu tepla $U_w = 0,99 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ lze usuzovat, že se jedná o okna určená pro nízkoenergetické domy.

Vzduchotěsnost obálky byla nastavena na výměnu $1,5 \text{ h}^{-1}$ při rozdílu 50 Pa. Tato hodnota byla převzata z TNI 73 0330 [7] jako mezní hodnota vzduchotěsnosti obálky pro nízkoenergetické domy.

Infiltrace přes obálku je řízena rozvrhem 24/7.

Teplá voda

Spotřeba teplé vody byla do modelu zadána obdobně jako hustota obsazenosti, tedy jako množství teplé vody v litrech na metr čtvereční plochy za den. Tato hodnota byla opět dopočtena z uvažované spotřeby teplé vody na osobu za den a známého součtu půdorysných ploch obytných zón. Spotřeba teplé vody na osobu za den byla dle ČSN 73 0331-1 [8] stanovena na 45 litrů. Výstupní teplota vody z ohříváče byla uvažována hodnotou $60 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota vody na vstupu do ohříváče z vodovodního řádu hodnotou $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Spotřeba teplé vody vstupující do modelu je:

$$\text{spotřeba teplé vody} = \frac{\text{počet osob} * \text{l}/(\text{os} * \text{den})}{\text{plocha zóny} (\text{m}^2)} = \frac{26 * 45}{1158,83} = 1,01 \text{ l}/(\text{m}^2 * \text{den})$$

Při této zadané spotřebě vody nesouhlasil z neznámých důvodů výsledek simulace s předpokládanou roční spotřebou vody, proto byla spotřeba teplé vody vstupující do modelu upravena:

$$\text{spotřeba teplé vody} = 1,05 \text{ l}/(\text{m}^2 * \text{den})$$

Ohřev vody je řízen rozvrhem přítomnosti osob Residential Occ.

Po konzultaci s prof. Ing. Karlem Kabele, CSc. byly tepelné ztráty rozvodů vzhledem k přítomnosti rozvodů cirkulační vody zohledněny dodatečně hodnotou 40 %. Výsledná hodnota potřeby tepla na ohřev teplé vody byla násobena 1,4x.

Osvětlení

Odhad měrného příkonu osvětlení bytové části byl proveden podle bytů ve 2. nadzemním podlaží. Do každé místnosti bylo instalováno svítidlo o předpokládaném příkonu, součet všech příkonů byl následně podělen plochou zóny. Přehled svítidel je shrnut v následující tabulce (Tab. 4):

Tab. 4 Příkony osvětlení v bytové části

2NP

číslo	účel	svítidla	příkon (W)
2.0.1	chodba	stropní svítidlo	10
2.0.2	schodiště	stropní svítidlo	10
2.0.3	výtah	-	-
Σ			20
2.1.1	předsíň	stropní svítidlo	10
2.1.2	obývací pokoj + kuchyň	lustr, zářivka, lampa	80
2.1.3	pokoj	stropní svítidlo, lampa	30
2.1.4	ložnice	stropní svítidlo	20
2.1.5	chodba	stropní svítidlo	10
2.1.6	koupelna	stropní svítidlo, 2 nástěnná	40
2.1.7	prádelna	stropní svítidlo	10
2.1.8	WC	stropní svítidlo	10
Σ			210
2.2.1	předsíň	stropní svítidlo	10
2.2.2	chodba	stropní svítidlo	10
2.2.3	koupelna	stropní svítidlo, 2 nástěnná	40
2.2.4	koupelna	stropní svítidlo, nástěnné	30
2.2.5	ložnice	stropní svítidlo	20
2.2.6	pokoj	stropní svítidlo, lampa	30
2.2.7	pokoj	stropní svítidlo, lampa	30
2.2.8	obývací pokoj + kuchyň	lustr, zářivka, lampa	80
2.2.9	WC	stropní svítidlo	10
2.2.10	prádelna	stropní svítidlo	10
Σ			270

Každá žárovka byla uvažována příkonem 10 W a zářivka příkonem 20 W. Tyto příkony jsou v dnešní době velice úsporných žárovek spíše vyšší, proto je odhad na straně bezpečnosti. Množství žárovek a zářivek bylo navrženo následovně:

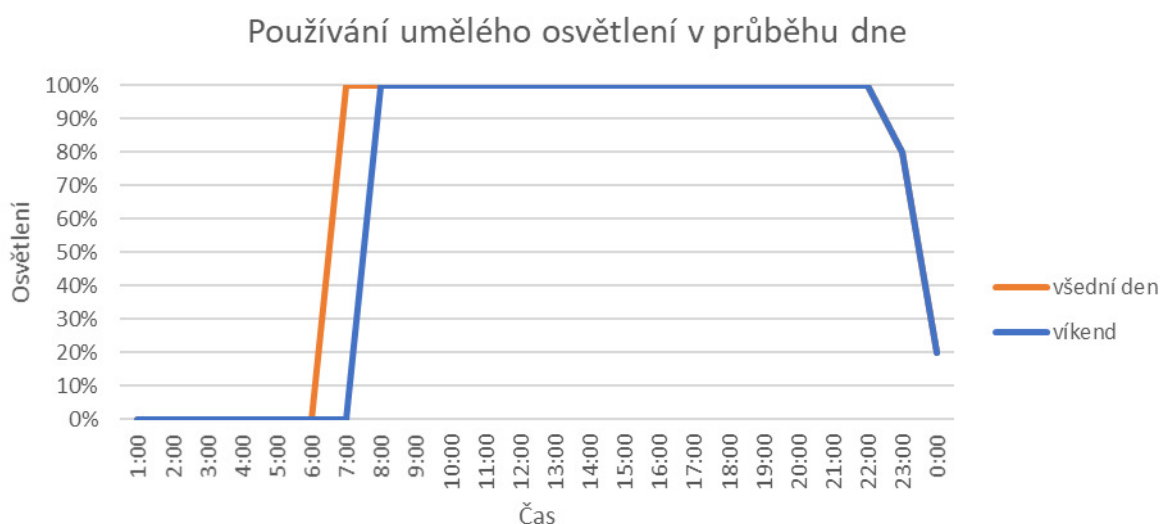
- lustry osazeny 5 žárovkami (obývací pokoje)
- stropní svítidla v místnostech s vyššími požadavky na osvětlení (koupelny a pokoje) osazena 2 žárovkami
- ve zbylých svítidlech instalována 1 žárovka (předsíně, chodby, schodiště)
- zářivky umístěny nad pracovní linkou (kuchyně)

$$\text{měrný příkon osvětlení} = \frac{\text{příkon (W)}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} = \frac{20 + 210 + 270}{255,01} = 1,96 \text{ W/m}^2$$

Měrný příkon osvětlení bytové části vstupující do modelu byl zadán konzervativně jako:

$$\text{měrný příkon osvětlení bytů} = 2 \text{ W/m}^2$$

Osvětlení je řízeno předdefinovaným rozvrhem Residential Light, jehož průběh je na obrázku (Obr. 10).



Obr. 10 Časový rozvrh užívání umělého osvětlení

Navíc bylo v modelu v zónách s průsvitnými konstrukcemi nastaveno řízení osvětlení ve dvou krocích – zapnuto, vypnuto. Simulace počítá s využitím denního světla místo umělého osvětlení ve chvílích, kdy je to možné. Výška pracovní roviny pro využití denního světla byla uvažována na 0,85 m.

Na základě předpokladu, že jedno zářivkové svítidlo osvětluje podlahovou plochu o rozměrech zhruba 4x4 m, bylo v prostoru hromadných garáží uvažováno 1 zářivkové svítidlo o příkonu 20 W na plochu 16 m². Dle tabulky (Tab. 5) bylo v garážích instalováno 25 svítidel o celkovém příkonu 500 W.

Tab. 5 Příkony osvětlení v hromadných garážích

1PP

číslo	účel	svítidla	příkon (W)
0.0.1	hromadná garáž	stropní svítidla	500
Σ			500

V modelu jsou garáže modelovány jako jedna zóna o ploše 400,74 m². Proto je v modelu zadáno:

$$\text{měrný příkon osvětlení garáží} = \frac{\text{příkon (W)}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} = \frac{500}{397,37} = 1,26 \text{ W/m}^2$$

Vytápění

Požadovaná teplota vnitřního vzduchu v bytové části byla nastavena na 20 °C. Z důvodu používání přirozeného větrání je pro udržení této požadované teploty nutné nastavit rozvrh vytápění na nepřetržitý provoz. Dle vypočtených hodinových teplot by jinak docházelo okamžitě po přechodu do režimu útlumu k výraznému poklesu teploty na nekomfortní hodnotu.

Hromadné garáže byly modelovány jako nevytápěný prostor.

Chlazení

V žádném z prostorů objektu nebylo uvažováno strojní chlazení.

Větrání

Ve výchozím návrhu bylo ve všech obytných místnostech bytových částí simulováno přirozené větrání s doporučenou intenzitou 0,5 h⁻¹. Nebytové prostory byly větrány s intenzitou 0,1 h⁻¹. Tato hodnota byla převzata z programu Energie 2019 EDU. Nárazové větrání bylo zanedbáno stejně jako snížená intenzita větrání.

Větrání muselo být v modelu řešeno jako větrání nucené bez rekuperace, aby bylo vždy dosaženo doporučené intenzity větrání. Program s přirozeným větráním totiž počítá dle měnících se podmínek jako jsou teploty v interiéru a exteriéru, rozdíly tlaků a rychlost a směr větru. Při provedení výpočtu s přirozeným větráním byla v modelu dosažena hodnota intenzity větrání zhruba 0,15 h⁻¹, tato hodnota je však z hygienických důvodů nedostatečná.

Dosažení intenzity větrání 0,5 h⁻¹ přirozeným větráním je diskutabilní, reálné je pouze za určitých podmínek, které nelze považovat za trvalé z hlediska zkoumaného ročního intervalu provozu budovy. Proto je trvalá výměna přirozeným větráním 0,5 h⁻¹ v modelu na bezpečné straně, jelikož navyšuje potřebu tepla na vytápění, zároveň je ale splněna i doporučená intenzita větrání.

Objem obytných zón v modelu je kvůli zanedbání vnitřních konstrukcí větší než ve skutečnosti. Proto byla hodnota upravena tak, aby odpovídala požadované intenzitě větrání. Po dokončení výpočtu bylo množství přiváděného vzduchu v programu zkontrolováno.

Větrání je řízeno rozvrhem 24/7, má tedy nepřetržitý provoz.

Spotřeba energie nuceným podtlakovým větráním hygienických prostor (koupelen, WC a prádelen) a kuchyní byla zohledněna ručním zadáním spotřebičů (ventilátorů a digestoří). Pro výpočet byl v každém hygienickém prostoru uvažován axiální ventilátor s maximálním příkonem 15 W.

Odsávání kuchyňských prostor bylo řešeno umístěním recirkulační digestoře do každé kuchyně. Příkon jedné digestoře byl odhadnut na 200 W, celkem bylo v budově instalováno 8 digestoří.

Pro zjednodušení modelu a kvůli několikanásobně většímu příkonu digestoře oproti ventilátorům bylo v modelu počítáno s příkonem 50 W dle rozvrhu užívání koupelny (celkem 3,8 hodiny denně), to odpovídá denní spotřebě 190 Wh. Předpokladem je, že digestoř bude využívána 0,5 hodiny denně, a každý ventilátor v hygienickém zázemí bude v provozu 1 hodinu ráno a 1 hodinu večer.

Do modelu byl zadán měrný příkon ventilátorů jako:

$$\text{měrný příkon bytů ostatní} = \frac{8 * 50 \text{ W}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} = \frac{400}{1158,83} = 0,35 \text{ W/m}^2$$

Garáže byly modelovány s nuceným podtlakovým větráním. Na základě diskuze s konzultantem technických zařízení budov bylo množství odváděného vzduchu z garáže stanoveno zjednodušeně jako 200 m³/h na jedno parkovací stání. Tento odhad je pro určení energetické náročnosti větrání dostačující.

Výpočet by bylo možné zpřesnit zohledněním množství emisí vyprodukovaných pohybujícími se automobily, konečná přesnost by ale závisela na intenzitě výměny vozidel, která je těžce předvídatelná.

Celkem bylo množství odváděného vzduchu na 11 parkovacích stání stanoveno na:

$$\text{nucené větrání garáže} = 11 * 200 \text{ m}^3 / \text{h} = 2200 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Dle nabízeného sortimentu tuto výměnu zajistí axiální ventilátor s příkonem 220 W.

V modelu byl ventilátor zohledněn jako spotřebič s měrným příkonem:

$$\text{měrný příkon garáže ostatní} = \frac{220 \text{ W}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} = \frac{220}{397,37} = 0,55 \text{ W/m}^2$$

Provoz ventilátoru je v modelu řízen rozvrhem přítomnosti osob v garážích. Je předpokládáno, že automobily jsou jediným zdrojem škodlivin v garážích a k pohybu automobilů může docházet pouze za přítomnosti osob. Spuštění ventilátoru je řízeno koncentrací škodlivin v prostoru garáže. Po snížení koncentrace pod určitou hranici dochází k vypnutí ventilátoru.

Pro energetickou bilanci bylo přivádění studeného venkovního vzduchu do garáže zohledněno zadáním nuceného větrání bez rekuperace hodnotou:

$$\text{intenzita větrání garáže} = \frac{\text{přiváděný vzduch (m}^3\text{/h)}}{\text{objem zóny (m}^3\text{)}} = \frac{2200}{1370,91} = 1,6 \text{ h}^{-1}$$

Úprava vlhkosti vzduchu

V žádném z prostorů objektu nebyla uvažována úprava vlhkosti vzduchu.

Pomocné systémy

Do výpočtu energetické náročnosti pomocných systémů byly zahrnuty energie spotřebované na provoz:

- jednotky společného domovního výtahu o příkonu 500 W
- motoru výtahu o odhadovaném příkonu 5 kW
- oběhových čerpadel o příkonu 2x50 W
- cirkulačního čerpadla teplé vody o příkonu 50 W
- regulace a řízení o příkonu 100 W

Uvažovaný provoz výtahu je 20 minut denně. Pro zjednodušení simulace byl příkon motoru výtahu převeden na ekvivalentní příkon nepřetržitého provozu, tedy:

$$\text{příkon výtahu} = 5000 \text{ W} * \frac{20 \text{ minut}}{60 \text{ minut} * 24 \text{ hodin}} = 70 \text{ W}$$

Celkový příkon pomocných systémů je:

$$\text{příkon pomocných systémů} = 500 \text{ W} + 2 * 50 \text{ W} + 50 \text{ W} + 100 \text{ W} + 70 \text{ W} = 820 \text{ W}$$

Do modelu byl tento příkon zadán jako měrný příkon na jednotku plochy:

$$\text{měrný příkon pomocných systémů} = \frac{820 \text{ W}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} = \frac{820}{1158,83} = 0,71 \text{ W/m}^2$$

Provoz pomocných systémů byl uvažován dle rozvrhu 24/7.

Parametry simulace

Simulace byla spuštěna s časovým obdobím od 1. ledna do 31. prosince. Výpočet probíhal s intervalem 2 kroků za hodinu. Požadovaná vnitřní teplota byla řízena dle teploty vzduchu.

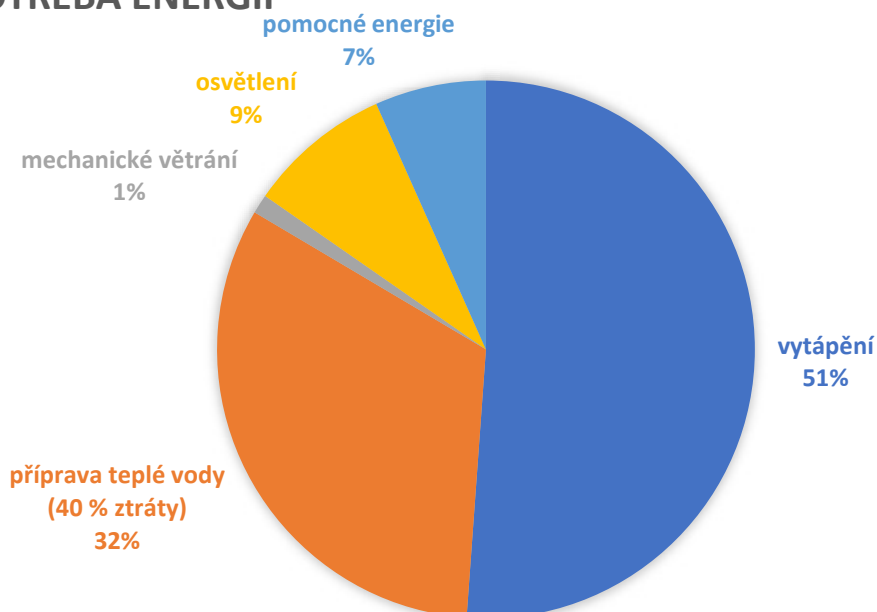
5.2.3 Výsledky simulace

Simulace programu vrátila následující hodnoty energetické náročnosti budovy:

Tab. 6 Výstupy z programu DesignBuilder – výchozí stav

	kWh/rok	MJ/rok
vytápění	55063	198227
chlazení	0	0
příprava teplé vody (40 % ztráty)	34839	125420
úprava vlhkosti vzduchu	0	0
mechanické větrání	1243	4475
osvětlení	9308	33509
pomocné energie	7200	25920
Σ	107653	387551

SPOTŘEBA ENERGIÍ



Obr. 11 Spotřeba provozních energií – výchozí stav

Z výstupů simulace bylo zjištěno, že program započítává množství tepla na dohřev přiváděného větracího vzduchu do položky vytápění. Proto byla simulace opakována s nulovou intenzitou větrání v bytových zónách. Tento výpočet vrátil potřebu tepla na vytápění o hodnotě zhruba 26 300 kWh/rok.

Z toho lze usuzovat, že přirozené větrání navyšuje potřebu tepla na vytápění o zhruba 28 700 kWh/rok.

5.2.4 Kontrola výsledků simulace

Pro kontrolu výsledků z programu je možné přepočítat potřebu tepla na vytápění na jednotku podlahové plochy vytápěné zóny. Tato plocha je celkem:

$$\text{podlahová plocha vytápěné zóny} = 1039 \text{ m}^2$$

Měrná potřeba tepla na vytápění pak činí:

$$\text{měrná potřeba tepla na vytápění} = \frac{55063 \text{ kWh/rok}}{1039 \text{ m}^2} = 53 \text{ kWh}/(\text{m}^2 * \text{rok})$$

Tato měrná potřeba tepla na vytápění mohla být vzhledem k parametrům obálky u budovy očekávána. Když navíc přihlídneme k velké potřebě tepla na dohřátí vzduchu přiváděného přirozeným větráním, je hodnota reálná.

Potřebu tepla na ohřev teplé vody lze ověřit jednoduchou kalorimetrickou rovnicí:

$$Q = c * m * \Delta t$$

$$c = 1,163 \text{ kWh}/(\text{m}^3 * \text{K})$$

měrná tepelná kapacita vody

$$m = 365 \text{ dní} * 26 \text{ obyvatel} * 0,045 \text{ m}^3/(\text{os} * \text{den}) = 427 \text{ m}^3 \text{ roční spotřeba teplé vody}$$

$$\Delta t = 60 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C} = 50 \text{ }^\circ\text{C} = 50 \text{ K}$$

rozdíl teplot před ohříváčem a za ohříváčem

$$Q = 1,163 \text{ kWh}/(\text{m}^3 * \text{K}) * 427 \text{ m}^3 * 50 \text{ K} = 24\,830 \text{ kWh}$$

Ztráty cirkulací byly odhadnuty hodnotou 40 %, tedy celková spotřeba tepla na ohřev je:

$$Q_{\text{celk}} = 140 \% * 24830 \text{ kWh} = 34\,762 \text{ kWh}$$

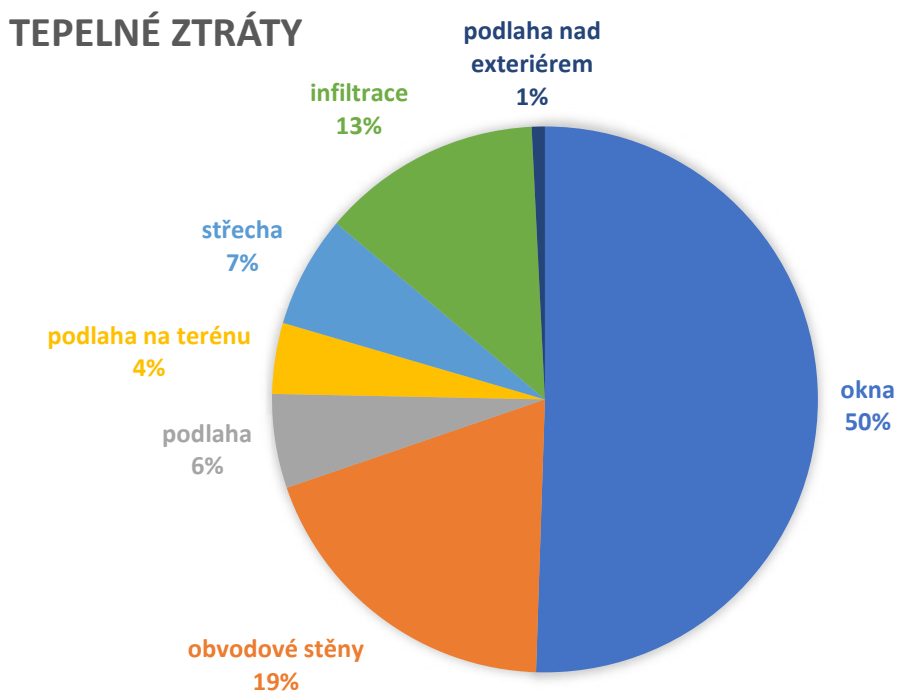
Dalším krokem při kontrole správnosti modelu může být průběh teplot v nevytápěných prostorech. Z těchto teplot by mělo být zřejmé, že nevytápěný prostor je opravdu nevytápěný, zároveň není považován na venkovní prostředí. V letním období lze v nevytápěných podzemních hromadných garážích očekávat teploty okolo 15 °C, v zimním období pak teplotu okolo 5 °C.

Z výsledků simulace je možné zjistit, že v zimním období se pohybuje teplota vzduchu v hromadných garážích mezi 5 a 8 °C, v letním období dosahuje maximálních hodnot 18 °C.

Spotřeba energie na osvětlení by dle ČSN 73 0331 mohla být uvažována hodnotou 4,4 kWh/(m²*rok) pro bytové domy. S tímto vstupem však spotřeba vychází zhruba o 50 % nižší než v programu, proto byla konzervativně uvažována hodnota z programu.

Výpočet v programu souhlasí.

Na následujícím obrázku (Obr. 12) jsou znázorněny podíly jednotlivých konstrukcí na celkových tepelných ztrátách prostupem obalových konstrukcí objektu.



Obr. 12 Tepelné ztráty konstrukcemi – výchozí stav

Velký podíl oken na celkových tepelných ztrátách objektu není překvapující, prosklení obálky budovy dosahuje téměř 22 %. Zároveň jsou okna zdrojem denního světla a díky propustnosti slunečního záření se podílejí na částečném krytí tepelných ztrát objektu.

Program počítá tepelné ztráty a zisky jednotlivými konstrukcemi na základě energetické bilance. Například u průsvitných konstrukcí program do celkové bilance započítává jak ztráty prostupem směrem z interiéru do exteriéru v zimním období, tak i propuštěné solární záření do interiéru. Kvalitní tepelně izolační okna pak v energetické bilanci vycházejí lépe než obvodové stěny. V tomto případě byly tepelné ztráty okny přepočítány na ztráty prostupem.

5.3 Vyhodnocení dle metodiky

Výsledné hodnoty ze simulace byly dle metodiky přepočítány na základě faktorů energetických přeměn jednotlivých energonositelů (Tab. 7).

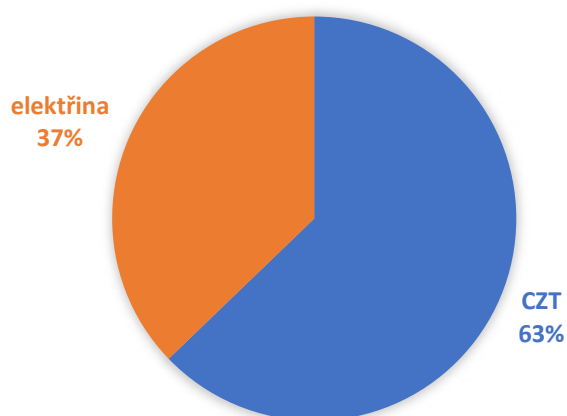
Tab. 7 Výpočet roční spotřeby neobnovitelné primární energie – výchozí stav

Položka	Roční spotřeba energie [MJ/a]	Ergonositel	Faktor energetické přeměny [-]	Roční spotřeba neobnovitelné primární energie [MJ/a]
	g		h	i = g · h
Vytápění	198227	CZT	1,0	198227
Chlazení	-	-	-	-
Příprava teplé vody	125420	CZT	1,0	125420
Úprava vlhkosti vzduchu	-	-	-	-
Mechanické větrání	4475	elektřina	3,0	13425
Osvětlení	33509	elektřina	3,0	100527
Pomocné energie	25920	elektřina	3,0	77760
Celkem	387551	-	-	515359

Protože nelze doložit, že výroba tepla pro centrální zásobování pochází z obnovitelných zdrojů, byl pro vytápění a přípravu teplé vody použit konzervativně faktor energetické přeměny pro centrální zásobování teplem s podílem obnovitelných zdrojů menším než 50 %. Faktory energetických přeměn byly převzaty z vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov [9].

Podíl energonositelů na celkové spotřebě energií je graficky znázorněn na následujícím obrázku (Obr. 13):

POKRYTÍ ROČNÍ SPOTŘEBY NEOBNOVITELNÉ PRIMÁRNÍ ENERGIE



Obr. 13 Podíl energonositelů na celkové spotřebě energií – výchozí stav

Vztažnou jednotkou roční spotřeby neobnovitelné primární energie je podlahová plocha. Přepočet je v tabulce (Tab. 8).

Tab. 8 Měrná roční spotřeba neobnovitelné primární energie – výchozí stav

Položka	m.j.	Hodnota
Roční spotřeba NoPE	MJ/a	515359
Celková podlahová plocha	m ²	1039
Měrná roční spotřeba NoPE	MJ/(m ² · a)	496

V objektu nejsou předpokládány žádné obnovitelné zdroje, proto je možné provést konečné vyhodnocení. Do konečného hodnocení vstupuje součet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie (Tab. 1, str. 16) a roční spotřeba neobnovitelné primární energie (Tab. 7, str. 36). Vztažnou jednotkou tohoto součtu je energeticky vztažná plocha.

Tab. 9 Celková spotřeba primární energie – výchozí stav

Položka	m.j.	Hodnota
Roční svázaná energie pocházející z neobnovitelných zdrojů	MJ/a	210501
Roční provozní spotřeba NoPE	MJ/a	515359
Ekvivalentní započitatelné množství NoPE opouštějící systémovou hranici (záporné číslo)	MJ/a	0
Celková spotřeba NoPE	MJ/a	725860
Celková energeticky vztažná plocha	m ²	1307,8
Celková měrná spotřeba NoPE	MJ/(m ² · a)	555

Celková měrná spotřeba neobnovitelné primární energie budovy ve výchozím stavu je 555 MJ/(m²*a). Na základě kriteriálních mezí (Tab. 10) získáme lineární interpolací výsledné hodnocení **3,5 bodu** z celkového možného počtu 10 bodů.

Tab. 10 Kriteriální meze M.1 Energetická náročnost budovy [10]

Celková měrná spotřeba NoPE (hodnota „v“ z Tab. 9) [MJ/(m²·a)]	Body
≥ 900	0
800	1
700	2
600	3
500	4
400	5
300	6
200	7
100	8
0	9
≤ -100	10

6 Kritérium K.3 Kvalita větracího vzduchu

Větrání nejen obytných místností je jednou z velice důležitých podmínek pro udržení požadované kvality vnitřního prostředí. Dostatečnou intenzitou větrání jsme schopni zajistit jak odvod vyprodukovaných škodlivin, tak přívod pro život nepostradatelného kyslíku. Kromě oxidu uhličitého, který produkují lidé při svém pobytu v interiéru, vzniká ve vnitřním prostředí budov mnoho pachů a odérů, v některých místnostech jako jsou koupelny je pak pro větrání rozhodující produkce vodní páry. V neposlední řadě se uvolňuje mnoho škodlivin z vybavení objektu jako je nábytek, nátery, textil a další.

Vlivem průmyslu a dopravy nemusí být ani čerstvý venkovní vzduch dostatečně kvalitní pro účely větrání. Zejména v městských oblastech a u rušných komunikací je ve vzduchu rozptýlené velké množství prachových částic, které se dostávají do interiéru spolu s přiváděným vzduchem, pokud tomu není zabráněno například filtrací.

Norma ČSN EN ISO 16890-1 rozděluje účinnosti podle velikosti částic do tří hlavních tříd [11]:

- ePM_{10} ($0,3 \leq x \leq 10 \mu\text{m}$)
- $ePM_{2,5}$ ($0,3 \leq x \leq 2,5 \mu\text{m}$)
- ePM_1 ($0,3 \leq x \leq 1 \mu\text{m}$)

Pro tyto třídy je stanovena účinnost filtrů. Každému filtru tak náleží třída filtrace dle ČSN EN ISO 16890-1 podle velikosti částic a procentuální účinnosti.

Metodika nabízí v hodnocení kritériální meze pro široké spektrum filtrů od hrubých až po filtry s vysokou účinností.

Kromě samotné filtrace přiváděného vzduchu je třeba zohlednit také vzduchotěsnost obálky. Meze se pohybují od minimální vzduchotěsnosti pro přirozeně větrané domy $n_{50} = 4,5 \text{ h}^{-1}$ až po minimální vzduchotěsnost obálky stanovenou pro pasivní domy $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Vzhledem k tomu, že ne všechny budovy jsou nuceně větrány, metodika rozděluje hodnocení do dvou kategorií:

- Budovy s přirozeným větráním – budovy, u kterých nedochází k úpravě přiváděného vzduchu, přívod vzduchu není opatřený filtry
- Budovy s nuceným větráním – budovy, u kterých je možné ovlivnit kvalitu přiváděného vzduchu, přívod vzduchu s filtry

V případě různého způsobu větrání několika částí jedné budovy kritérium umožňuje zohlednění těchto částí pomocí váženého průměru přes obestavěné objemy.

6.1 Vyhodnocení dle metodiky

Ve výchozím stavu je celá budova větrána přirozeně nebo podtlakově bez použití filtrace.

Na základě kritéria byla budova rozdělena na podzemní podlaží, protože je předpokládáno, že obyvatelé nemají možnost z bezpečnostních důvodů vypnout podtlakové větrání, a na zbylá nadzemní podlaží, která jsou větrána přirozeně, a obyvatelé zde mají možnost okna uzavřít a utěsnit. Podtlakové větrání v hygienickém zázemí mají uživatelé možnost vypnout.

Těsnost budovy při rozdílu tlaků 50 Pa je předpokládána hodnotou 1,5 h⁻¹.

Do výpočtu vstoupily tyto části budovy:

- Podzemní podlaží o obestavěném objemu 1772 m³ bylo dle metodiky ohodnoceno 0 body z důvodu přítomnosti podtlakového větrání bez možnosti vypnutí a bez instalovaného filtru na přívodu vzduchu
- Všechna nadzemní podlaží o obestavěném objemu 3817 m³ byla ohodnocena 2 body za vzduchotěsnost obálky

Výpočtem váženého průměru dle obestavěného objemu dostáváme výsledné hodnocení:

$$\text{přirozené větrání} = \frac{1772 \text{ m}^3 * 0 + 3817 \text{ m}^3 * 2}{1772 \text{ m}^3 + 3817 \text{ m}^3} = 1,37 \cong 1,4$$

Na základě kritériálních mezí metodiky byl tento stav ohodnocen **1,4 body** z celkových 10 bodů.

Tab. 11 Kritériální meze K.3 Kvalita větracího vzduchu [12]

Kreditové hodnocení K	Body
0	0
≥ 10	10

Takto nízké hodnocení vyplývá zejména z nemožnosti vypnout podtlakové větrání v hromadných garážích, dále pak také z větrání bytů vzduchem, který není upravován.

7 Návrh opatření pro zlepšení

7.1 Materiálové řešení

Snížení svázané spotřeby neobnovitelné primární energie bylo docíleno změnou konstrukčních materiálů. Podzemní podlaží bylo ponecháno z vodonepropustného železobetonu, všechna nadzemní podlaží byla navržena z panelů z křížem lepeného lamelového dřeva (CLT). Nosné stěny jsou tloušťky 140 mm, stropní panely pak tloušťky 280 mm. Kvůli požadavkům na vodorovné nosné konstrukce a souvrství podlah bylo nutné navýšit konstrukční výšky podlaží na 3,23 m. Využito bylo maximální možné výšky panelů z hlediska možností dopravy, aby se prefabrikované dílce neklasifikovaly jako nadměrný náklad. Zvolena byla výška 2950 mm. Touto změnou došlo k celkovému navýšení stavby o zhruba 1200 mm.

Výhodou CLT panelů jsou kromě jejich vysoké únosnosti i dobré tepelně technické vlastnosti, panely jsou navíc v celé ploše vzduchotěsné, takže snižují ztráty infiltrací přes obálku. Spáry mezi panely se přelepují vzduchotěsnou páskou. Panely je možné použít i v pohledové kvalitě, toto řešení je ale pro bytový dům z hlediska šíření hluku a vedení instalací nevhodné. Proto byly vodorovné konstrukce opatřeny podhledy s minerální izolací, součástí obvodových stěn je instalační předstěna. Konstrukčním materiálem bytových příček jsou také CLT panely, tentokrát o tloušťce 80 mm, pro zlepšení akustických vlastností jsou z jedné strany opláštěny akustickou předstěnou. Veškeré vnitřní konstrukce jsou kryty sádkokartonovými deskami [13].

Díky tepelně technickým vlastnostem CLT panelů bylo dosaženo mnohem lepších tepelně izolačních parametrů obálky při stejných tloušťkách svislých obvodových konstrukcí jako ve výchozím stavu.

Balkonové konstrukce na jižní straně byly na rozdíl od výchozího stavu řešeny jako podepřené, ze stran exteriéru byly podepřeny nosnými stěnami. Původně vykonzolovaná stropní konstrukce prvního nadzemního podlaží byla také podepřena podpěrami.

Balkony na západní a východní straně byly řešeny jako zavěšené, ocelová táhla byla kotvena do stropní desky výše položeného podlaží.

Mezibytové příčky byly řešeny jako zdvojené s vloženou vrstvou minerální izolace za účelem omezení kročejového hluku.

Schodišťová ramena byla pnutá jednosměrně, provedena také z CLT panelů, schodišťové stupně byly vytvořeny z dřevěných klínů kotvených ze spodní strany ramene. Schodiště bylo opatřeno povrchovou úpravou.

Upraveny musely být i souvrství podlah. Za účelem zlepšení akustických vlastností byla ve stropních konstrukcích použita vrstva štěrkopísku, minerální izolace a cementové mazaniny.

7.2 Skladby konstrukcí

Obvodové stěny:	sádrová omítka	10 mm
	SDK deska	15 mm
	latě + MV	50 mm
	parozábrana	
	CLT	140 mm
	MV	200 mm
	silikátová omítka	10 mm
Střecha:	štěrk	100 mm
	netkaná textilie	
	asfaltový pás	4 mm
	XPS	min. 240 mm
	asfaltový pás	4 mm
	CLT	280 mm
	parozábrana	
	latě + MV	50 mm
	SDK deska	15 mm
sádrová omítka	10 mm	
Vnitřní stropy:	korkové dlaždice	8 mm
	tlumicí podložka	5 mm
	cementová mazanina	70 mm
	separační vrstva	
	MV	40 mm
	Štěrkopísek	50 mm
	CLT	280 mm
	latě + MV	50 mm
	SDK deska	15 mm
sádrová omítka	10 mm	
Strop nad garáží:	korkové dlaždice	8 mm
	tlumicí podložka	5 mm
	cementová mazanina	70 mm
	separační vrstva	
	MV	40 mm
	Štěrkopísek	50 mm
	ŽB monolitická deska	300 mm
	minerální izolace	150 mm
	sádrová omítka	10 mm
Jádro v garáži:	sádrová omítka	10 mm
	ŽB monolitická stěna	200 mm
	minerální izolace	150 mm
	sádrová omítka	10 mm
Podlaha garáže:	ŽB monolitická deska	150 mm
	betonová mazanina	50 mm
	netkaná textilie	
	vodonepropustný ŽB	500 mm
	betonová deska	150 mm

Podlaha jádra:	dlažba	10 mm
	tmel	10 mm
	separační vrstva	
	XPS	150 mm
	vodonepropustný ŽB	500 mm
	betonová deska	150 mm
Suterénní stěna:	vodonepropustný ŽB	300 mm

Kromě samotných konstrukcí byla do modelu zadána i okna s lepšími tepelně izolačními parametry. Předpokládána byla opět okna s izolačním trojsklem, nyní s lepším součinitelem prostupu tepla s hodnotou $U_w = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a celkovou energetickou propustností 0,54.

Vzduchotěsnost obálky při rozdílu 50 Pa byla uvažována hodnotou $0,4 \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota byla zvolena na základě ČSN 73 0540-2 [14] jako doporučená hodnota pro pasivní domy s nuceným větráním se zpětným získáváním tepla.

Skladby byly posouzeny v programu Teplo 2017 EDU. Pro korekci tepelných vazeb byla užitá přírážka $\Delta U = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Skladby byly v modelu opět zjednodušeny podle následující tabulky (Tab. 12):

Tab. 12 Zjednodušené konstrukce modelu – opatření

konstrukce	vrstvy (od interiéru)	λ (W/(m*K))	tloušťka vrstvy (mm)	U (W/(m ² *K))
stěna vnější	omítka	0,6	10	0,14
	sádrokarton	0,22	15	
	latě + MV	0,043	50	
	CLT	0,11	140	
	minerální izolace	0,035	200	
	omítka	0,8	10	
stěna suterénní	omítka	0,6	10	2,75
	železobeton	1,7	300	
střecha a terasy	omítka	0,6	10	0,10
	sádrokarton	0,22	15	
	latě + MV	0,043	50	
	CLT	0,11	280	
	XPS	0,035	300	
jádro	omítka	0,6	10	0,24
	železobeton	1,7	200	
	minerální izolace	0,036	150	
	omítka	0,6	10	
podlaha jádra	XPS	0,035	150	0,23
	železobeton	1,7	500	
	beton	1,7	150	
podlaha garáže	železobeton	1,7	150	1,41
	betonová mazanina	1,7	50	
	železobeton	1,7	500	
	beton prostý	1,7	150	
strop garáže	betonová mazanina	1,7	70	0,21
	tepelná izolace	0,04	40	
	železobeton	1,7	300	
	minerální izolace	0,04	150	
	omítka	0,6	10	
podlaha nad exteriérem	betonová mazanina	1,7	70	0,11
	tepelná izolace	0,04	40	
	CLT	0,11	280	
	minerální izolace	0,035	200	
	omítka	0,8	10	

Výpočet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie byl proveden stejným postupem jako ve výchozím stavu a je znázorněn v následující tabulce (Tab. 13):

Tab. 13 Výpočet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie – opatření

Konstrukce/ materiál	m.j.	Výměra [m.j.]	Jednotková svázaná spotřeba NoPE [MJ/m.j.]	Svázaná spotřeba NoPE [MJ]	Životnost [roky]	Roční svázaná spotřeba NoPE [MJ/a]
		a	b	c = a · b		d
ŽB svislé (2,5 % výztuž)	m ³	115,8	5755,2	666481	50	13330
ŽB vodorovné (2,5 % výztuž)	m ³	415,3	5755,2	2389858	50	47797
pórobetonové příčky	m ³	9,3	1137,5	10545	50	211
CLT svislé	m ³	125,5	3937,4	494211	50	9884
CLT vodorovné	m ³	358,1	3937,4	1410158	50	28203
příčky	m ²	797,7	493,7	393809	50	7876
mezibytové příčky	m ²	391,4	1048,6	410426	50	8209
schodiště CLT	m ³	11,8	3937,4	46500	50	930
podhledy	m ²	827,7	121,3	100363	50	2007
instalační předstěny	m ²	833,5	121,3	101066	50	2021
izolační trojskla, dřevo	m ²	293,1	1095,2	321012	25	12840
vnitřní dveře, dřevo	m ²	128,3	648,2	83164	50	1663
minerální izolace	m ³	246,3	646,2	159151	30	5305
pěnové sklo	m ³	4,7	3856,7	18078	30	603
podlahy korek	m ²	720,1	231,5	166702	20	8335
podlahy dlažba	m ²	314,2	485,1	152409	50	3048
podlahy ŽB	m ²	374,1	931,7	348548	50	6971
parapetní plechy	kg	321,9	112,7	36285	25	1451
zábradlí	kg	810	112,7	91303	50	1826
omítky vnitřní	m ³	46,3	2767,7	128033	15	8536
keramický obklad	m ³	2,4	28212,8	67711	50	1354
omítky vnější	m ³	15,4	9135,9	140419	30	4681
střešní plášť	m ²	312,2	1313,7	410140	30	13671
hydroizolace soklu	m ³	0,5	53027,9	28107	40	703
tepelná izolace soklu	m ³	8,8	2412,9	21315	30	711
parozábrana	m ³	0,2	84000,0	16800	40	420
štěrka	m ³	829,6	113,0	93746	50	1875
Celkem	-	-	-	8306339	-	194461

Toto řešení vedlo ke snížení roční svázané spotřeby neobnovitelné primární energie o 7 % oproti výchozímu stavu.

Vztažnou jednotkou roční svázané spotřeby neobnovitelné primární energie je energeticky vztažná plocha. Přepoččet je zřejmý z následující tabulky (Tab. 14).

Tab. 14 Měrná roční svázaná spotřeba energie – opatření

Položka	m.j.	hodnota
Roční svázaná spotřeba NoPE	MJ/a	194461
Celková energeticky vztažná plocha	m ²	1307,8
Měrná roční svázaná spotřeba NoPE	MJ/(m ² · a)	149

7.3 Instalace nuceného větrání

Z výsledků simulace jasně vyplývá, že největší podíl na spotřebě energií mají vytápění a příprava teplé vody. Jednou z možností, jak omezit spotřebu tepla na vytápění, je zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy. V tomto případě jsou však ztráty tepla prostupem přes konstrukce výrazně převýšeny ztrátami způsobenými přirozeným větráním. Možným způsobem, jak omezit tyto ztráty, a snížit tak spotřebu tepla na vytápění, je instalace nuceného větrání s rekuperací tepla. Tím bude jednak bezpečně zajištěna intenzita větrání, přiváděný vzduch bude navíc upravován pomocí filtru.

Nucené větrání by mohlo být teoreticky řešeno dvěma způsoby – centrálně a decentrálně. Centrální řešení nuceného větrání vyžaduje instalaci jedné vzduchotechnické jednotky pro celý objekt. Od této jednotky je přiváděný i odváděný vzduch rozveden vzduchotechnickým potrubím po celé budově. Centrální vzduchotechnické jednotky a potrubí už však dosahují větších rozměrů. Vzhledem k navrhované rekuperaci tepla je nezbytné, aby se přiváděný a odváděný vzduch v jednotce potkaly. Z toho vyplývá, že ideální pozicí pro instalaci jednotky by mohla být střecha, popřípadě poslední podlaží. Dispoziční a statické řešení objektu ale ani jednu z těchto pozic neumožňuje. Instalace centrální jednotky do níže situovaných podlaží by byla sice možná, toto řešení by však vyžadovalo vedení 4 vertikálních potrubí větších rozměrů, 2 pro napojení jednotky na exteriér a 2 pro distribuci přiváděného vzduchu do bytů a sběr odpadního vzduchu z bytů.

Z výše popsaných důvodů byl pro zajištění nuceného větrání zvolen decentrální systém vzduchotechniky. V každém bytě byla instalována podstropní jednotka nuceného větrání s rekuperací tepla pro obytné budovy Atrea DUPLEX 300 Easy. Díky kompaktním rozměrům a nízké hmotnosti je takovou jednotku možné umístit do sníženého podhledu. V tomto případě bylo zvoleno umístění v koupelně, kde je možné snížit světlou výšku místnosti. Jednotku je navíc nutné připojit na kanalizaci z důvodu odvodu kondenzátu, který může vznikat na výměníku zpětného získávání tepla.

Odvod a přívod vzduchu v případě decentrálního řešení zajišťuje společné vertikální potrubí předpokládaného průměru 250 mm, které je vedeno zvláště pro byty orientované na východní straně a zvláště pro byty na západní straně. Potrubí ústí na střechu objektu, kde je vhodným způsobem zajištěna ochrana před nepříznivými klimatickými podmínkami a živočichy. Dále je důležité dbát na orientaci vzhledem k převažujícímu směru větru a poloze dalších výfuků v oblasti střešní konstrukce. Výtlačný a nasávací element jsou orientovány v bezpečné vzdálenosti od sebe tak, aby se vzájemně neovlivňovaly a nedocházelo ke zpětnému nasávání odpadního vzduchu.

Každá větrací jednotka připojená na společné svodné potrubí je od tohoto potrubí oddělena pomocí zpětné klapky a tlumiče hluku.

Trasování vzduchotechnického potrubí v bytech respektuje jejich dispoziční řešení. Hlavní horizontální potrubí je vedeno bytovou chodbou, ze které vybíhají odbočky do jednotlivých pokojů. Místnosti hygienického zázemí a kuchyně jsou větrány podtlakově, čerstvý vzduch je do obytných místností přiváděn pomocí větracích mřížek umístěných nad vstupními dveřmi. Pro přívod vzduchu do podtlakově větraných místností je možné použít větrací mřížky nebo štěrby pod dveřmi.

Intenzita větrání je řízena dle koncentrace škodlivin v prostředí, zároveň je dodržena doporučená intenzita větrání obytných místností $0,5 \text{ h}^{-1}$. Nárazové větrání koupelen a kuchyní je kompenzováno zvýšeným průtokem přiváděného čerstvého vzduchu. Jedná se tedy o větrání rovnotlaké. V modelu však nebylo uvažováno ani nárazové větrání, ani snížená intenzita větrání.

V kuchyních byly nad varnými deskami ponechány recirkulační digestoře, které zajišťují přímé odsávání a filtraci vzduchu obsahujícího pachy a vodní páru vznikající při vaření.

Protože pro návrh nuceného větrání bylo v tomto případě rozhodující množství odváděného vzduchu z hygienického zázemí a kuchyně, bylo jako limitní návrhový stav pro předběžné dimenzování jednotky uvažováno současné užívání jedné koupelny a kuchyně. Průtoky vzduchu byly určeny na základě ČSN EN 15 665/Z1 [15]. Dimenze potrubí byly vypočteny dle potřebných objemových průtoků v jednotlivých úsecích, rychlosti proudění vzduchu v potrubí byly stanoveny na základě tabulky vhodných rychlostí ve vzduchovodech [16].

Příkon jedné vzduchotechnické jednotky byl odhadnut na 40 W při předpokládaných tlakových ztrátách 100 Pa na přívodním potrubí a 100 Pa na odvodním potrubí. Průtok pro odhad příkonu vzduchotechnické jednotky byl uvažován na bezpečné straně na 150 m³/h a zohledňuje jak větrání trvalé, tak větrání nárazové.

Účinnost rekuperace byla uvažována podle podkladů výrobce [17] i s přihlédnutím k tomu, že nebytové prostory jsou větrány bez rekuperace, a to bezpečnou hodnotou 80 %.

Intenzita větrání byla zadána stejně jako ve výchozím stavu, tedy intenzitou větrání se zohledněním chybějících vnitřních konstrukcí a nižší intenzity větrání nebytových prostor. Výpočet v programu byl zkontrolován tak, aby množství přiváděného vzduchu odpovídalo požadovaným hodnotám.

V modelu byl příkon větracích jednotek zohledněn zadáním měrného příkonu. Ten byl určen na základě předpokladu, že v objektu je celkem 8 vzduchotechnických jednotek o příkonu 40 W a 8 recirkulačních digestoří o příkonu 200 W. Tyto digestoře jsou v provozu 0,5 hodiny denně. Celkový měrný příkon byl stanoven jako ekvivalentní hodinový měrný příkon těchto spotřebičů:

$$\begin{aligned} \text{měrný příkon větrání} &= \frac{8 * \text{příkon VZT (W)} + 8 * \frac{0,5}{24} * \text{příkon digestoře (W)}}{\text{plocha zóny (m}^2\text{)}} \\ &= \frac{8 * 40 + 8 * \frac{0,5}{24} * 200}{1158,83} = 0,3 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Tento měrný příkon je řízen rozvrhem 24/7.

Na základě přijatých opatření byl v programu DesignBuilder vytvořen nový model. Program po dokončení simulace vrátil tyto hodnoty energetické náročnosti budovy:

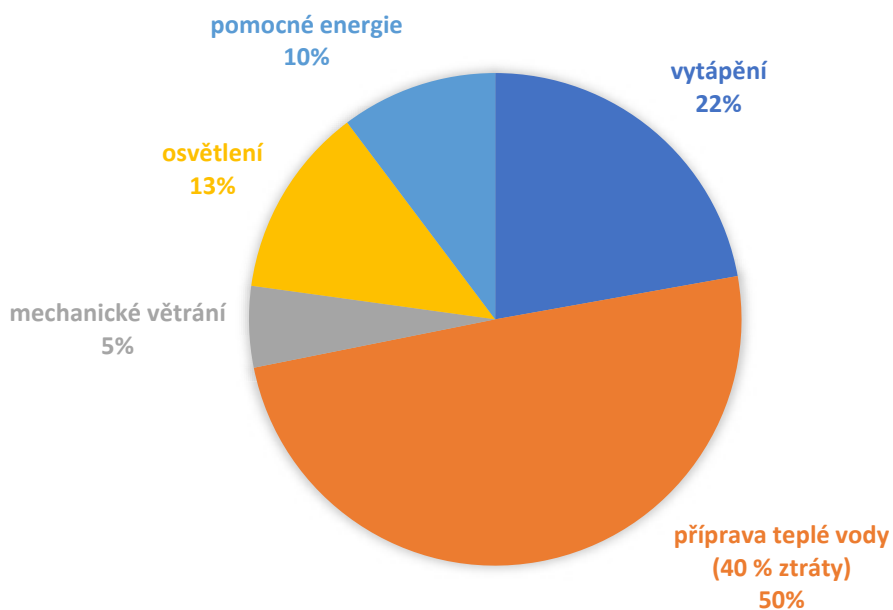
Tab. 15 Výstupy z programu DesignBuilder – opatření

	kWh/rok	MJ/rok
vytápění	15563	56027
chlazení	0	0
příprava teplé vody (40 % ztráty)	34839	125420
úprava vlhkosti vzduchu	0	0
mechanické větrání	3737	13453
osvětlení	8808	31709
pomocné energie	7200	25920
Σ	70147	252529

Poznámka: Strojní chlazení nebylo řešeno z důvodu nevhodnosti modelu pro posuzování rizika letního přehřívání. Model byl zpracován převážně za účelem výpočtu potřeby tepla na vytápění. V modelu byly zanedbány vnitřní konstrukce a nebylo uvažováno nastavitelné stínění.

Podíly spotřeb jednotlivých energií jsou graficky znázorněny na následujícím obrázku (Obr. 14):

SPOTŘEBA ENERGIÍ



Obr. 14 Spotřeba provozních energií – opatření

7.4 Obnovitelné zdroje

Kromě snížení samotné spotřeby energií v provozní fázi budovy je možné snížit spotřebu primární neobnovitelné energie pokrytím části spotřeby z obnovitelných zdrojů. U bytových domů se tyto zdroje omezují prakticky na využití energie slunce, tedy fotovoltaické panely a solární kolektory. Oba zdroje vyžadují přímé sluneční záření, často se umísťují na střešní konstrukce, kde je vyloučeno stínění okolními objekty, v případě velkých pozemků je možné umístit zdroje i na terén.

V tomto konkrétním případě je vzhledem k velikosti pozemku a umístění stavby v jeho jižní části nemožné využít okolní terén, proto bude zdroj umístěn na plochou střechu.

Dle poměru energonositelů podílejících se na provozu budovy vychází pro snížení spotřeby primární neobnovitelné energie lépe využití fotovoltaických panelů. Tento předpoklad byl ověřen předběžným výpočtem pomocí nástroje pro zjednodušenou bilanci solárního kolektoru [18]. Při výpočtu byly použity podklady výrobce solárních kolektorů [19]. Vzhledem k nízkému faktoru energetické přeměny energie dodané pomocí centrálního zásobování teplem není v případě omezeného prostoru pro umístění zdrojů výhodné využívat solární kolektory. Tento fakt je zřejmý i při použití faktoru energetické přeměny pro centrální zásobování teplem s nízkým podílem obnovitelných zdrojů. V případě, že by bylo prokázáno, že je podíl obnovitelných zdrojů větší, byl by faktor energetické přeměny centrálního zásobování teplem ještě nižší.

Kdyby bylo na střešní konstrukci umístěno 31 fotovoltaických panelů [20] o celkovém výkonu 12,4 kWp, orientovaných s azimutem 24 ° a horizontálním náklonem 5 °, bude na základě výpočtu provedeném pomocí nástroje PVGIS [21] možné ročně vyrobit asi 11 000 kWh elektrické energie při předpokládaných ztrátách 14 %. Tato energie by stačila na pokrytí spotřeby energií na mechanické větrání a pomocné systémy a fotovoltaické panely by se tak podílely na krytí 16 % z celkové spotřeby energie budovou, energie by neopustila systémovou hranici budovy.

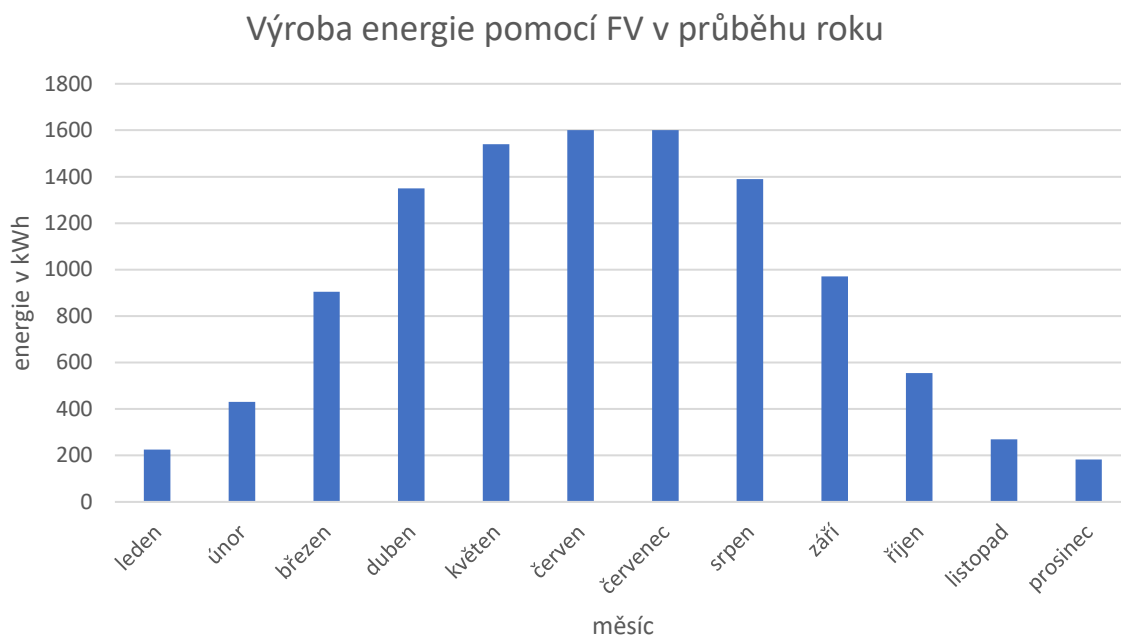
Uložení akumulátorů bylo předpokládáno v technické místnosti.

Výpočet podílu obnovitelné energie na celkové spotřebě energie je v tabulce (Tab. 16).

Tab. 16 Podíl obnovitelné energie na celkové spotřebě – opatření

Položka	m.j.	Hodnota
Celková roční spotřeba energie	MJ/a	252529
Energie vyrobená z obnovitelných zdrojů využitelná v budově	MJ/a	39373
Podíl využitelné obnovitelné energie na celkové spotřebě energie	%	16

Množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících dle PVGIS je vyneseno v grafu na následujícím obrázku (Obr. 15):



Obr. 15 Předpokládaná výroba elektrické energie fotovoltaickými panely v průběhu roku

Orientace panelů ke světovým stranám byla takto navržena s ohledem na orientaci budovy. V případě jiné orientace panelů by bylo problematické řešení nosného rámu panelů vzhledem k ventilačním hlavicím a vedení vzduchotechniky. Horizontální náklon panelů byl zvolen z estetických a bezpečnostních důvodů. Takto malý sklon navíc nevyžaduje velké vzdálenosti mezi panely, aniž by docházelo k jejich stínění.

Pro stanovení využitelnosti fotovoltaických panelů bylo v nástroji PVGIS využito funkce optimalizace náklonu a orientace panelů vzhledem ke světovým stranám. Nejvyšší využitelnosti panelů by bylo podle nástroje dosaženo azimutem -6° a náklonem 36° . Za těchto podmínek by bylo teoreticky možné pomocí panelů ročně vyrobit 12 200 kWh elektrické energie.

Zvolené řešení tedy využívá potenciálu fotovoltaických panelů:

$$\text{využitelnost FV} = \frac{\text{teoretická výroba} - \text{zvolené řešení (kWh/rok)}}{\text{teoretická výroba} - \text{optimální řešení (kWh/rok)}} = \frac{11000}{12200} = 0,9 = 90 \%$$

Z hrubého výpočtu vyplývá, že navrženou orientací fotovoltaických panelů je ztraceno 10 % z teoretické maximální možné roční výroby elektrické energie. Tato hodnota je v neprospěch zvoleného řešení. V případě volby optimálního náklonu by však panely zabíraly mnohem větší plochu střešní konstrukce a je vysoce pravděpodobné, že by se na střechu při navrhovaném výkonu vůbec nevešly. Skutečné množství vyrobené energie při optimální orientaci panelů by bylo menší vzhledem k obsazené ploše.

Výsledné hodnoty ze simulace byly dle metodiky přepočítány na základě faktorů energetických přeměn jednotlivých energonositelů (Tab. 17).

Tab. 17 Výpočet roční spotřeby neobnovitelné primární energie – opatření

Položka	Roční spotřeba energie [MJ/a]	Ergonositel	Faktor energetické přeměny [-]	Roční spotřeba neobnovitelné primární energie [MJ/a]
	g		h	$i = g \cdot h$
Vytápění	56027	CZT	1,0	56027
Chlazení	-	-	-	-
Příprava teplé vody	125420	CZT	1,0	125420
Úprava vlhkosti vzduchu	-	-	-	-
Mechanické větrání	13453	FV	0,0	0
Osvětlení	31709	elektrina	3,0	95127
Pomocné energie	25920	FV	0,0	0
Celkem	252529	-	-	276574

Vztažnou jednotkou roční spotřeby neobnovitelné primární energie je podlahová plocha. Přepočet je v tabulce (Tab. 18).

Tab. 18 Měrná roční spotřeba neobnovitelné primární energie – opatření

Položka	m.j.	Hodnota
Roční spotřeba NoPE	MJ/a	276574
Celková podlahová plocha	m ²	1039
Měrná roční spotřeba NoPE	MJ/(m ² · a)	266

Do konečného hodnocení vstupuje součet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie (Tab. 13, str. 45) a roční spotřeba neobnovitelné primární energie (Tab. 17, str. 52). Vztažnou jednotkou tohoto součtu je energeticky vztažná plocha.

Tab. 19 Celková spotřeba primární energie – opatření

Položka	m.j.	Hodnota
Roční svázaná energie pocházející z neobnovitelných zdrojů	MJ/a	194461
Roční provozní spotřeba NoPE	MJ/a	276574
Ekvivalentní započitatelné množství NoPE opouštějící systémovou hranici (záporné číslo)	MJ/a	0
Celková spotřeba NoPE	MJ/a	471035
Celková energeticky vztažná plocha	m ²	1307,8
Celková měrná spotřeba NoPE	MJ/(m ² · a)	360

Celková měrná spotřeba neobnovitelné primární energie budovy po přijetí opatření je 360 MJ/(m²*a). Na základě kritériálních mezí získáme lineární interpolací výsledné hodnocení **5,4 bodu** z celkového možného počtu 10 bodů.

Opatřeními došlo podle metodiky ke zlepšení z 3,5 bodu na 5,4 bodu, to znamená zlepšení o 54 %.

7.5 Kvalita větracího vzduchu

Standardně jsou navrženy větrací jednotky určené pro obytné budovy vybaveny filtrem G4. Po konzultaci s výrobcem bylo zjištěno, že filtry zařazené dle staré normy nelze přímo převést do klasifikace podle normy ČSN ISO 16890-1.

Filtr G4 je možné uvažovat jako hrubý, tato třída je však pro vyšší kvalitu větracího vzduchu obzvláště v městských oblastech nevhodná. Jednotku je možné na vyžádání vybavit filtrem F7, který je možné uvažovat jako ePM₁ 55 % [22]. V případě použití těchto filtrů by došlo k výraznému zlepšení z hlediska kvality větracího vzduchu.

Větrání hromadných garáží bylo ponecháno jako ve výchozím stavu. Každý byt byl vybaven větrací jednotkou s filtrem třídy ePM₁ 55 % dle ČSN ISO 16890-1. Prostory chodeb a nebytových prostor zůstaly přirozeně větrány s možností uzavřít a utěsnit okna. Na základě metodiky bylo toto řešení ohodnoceno následovně:

- Hromadné garáže o obestavěném objemu 1772 m³ byly ohodnoceny 0 body
- Bytové prostory o obestavěném objemu 3354 m³ větrané nuceně s použitím filtrů třídy ePM₁ 55 % byly ohodnoceny 3 body za vzduchotěsnost obálky nižší než 0,6 h⁻¹ při rozdílu 50 Pa a 6 body za třídu filtrace, součet 9 bodů
- Nebytové prostory o obestavěném objemu 755 m³ byly ohodnoceny 2 body

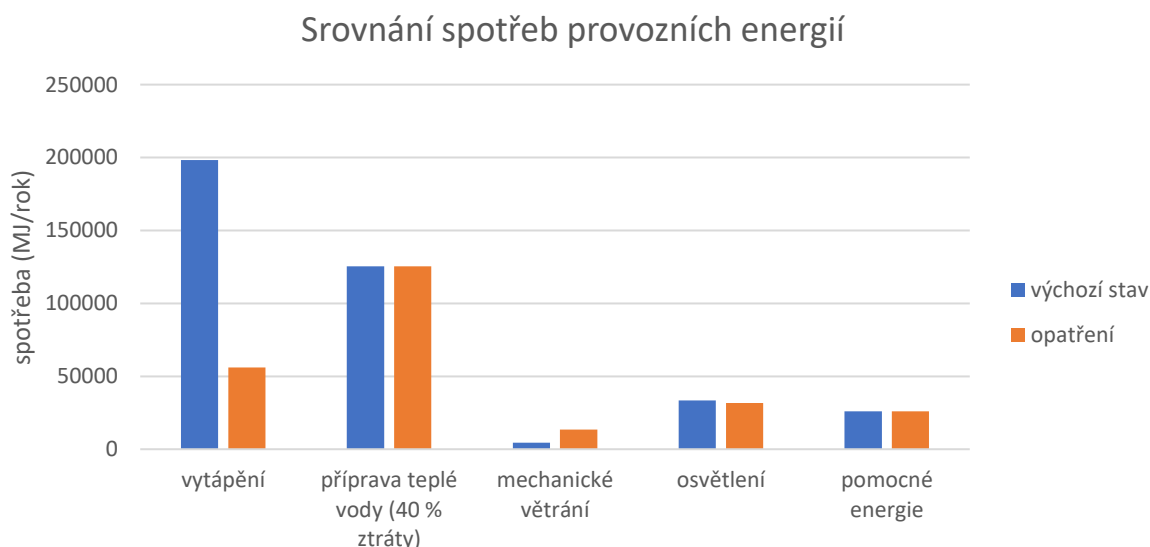
Váženým průměrem podle obestavěných objemů získáváme celkové hodnocení:

$$\text{nucené větrání} = \frac{1772 \text{ m}^3 * 0 + 3354 \text{ m}^3 * 9 + 755 \text{ m}^3 * 2}{1772 \text{ m}^3 + 3354 \text{ m}^3 + 755 \text{ m}^3} = 5,39 \cong 5,4$$

Zvoleným opatřením došlo podle metodiky ke zlepšení z 1,4 bodu na 5,4 bodu, to znamená zlepšení o 286 %.

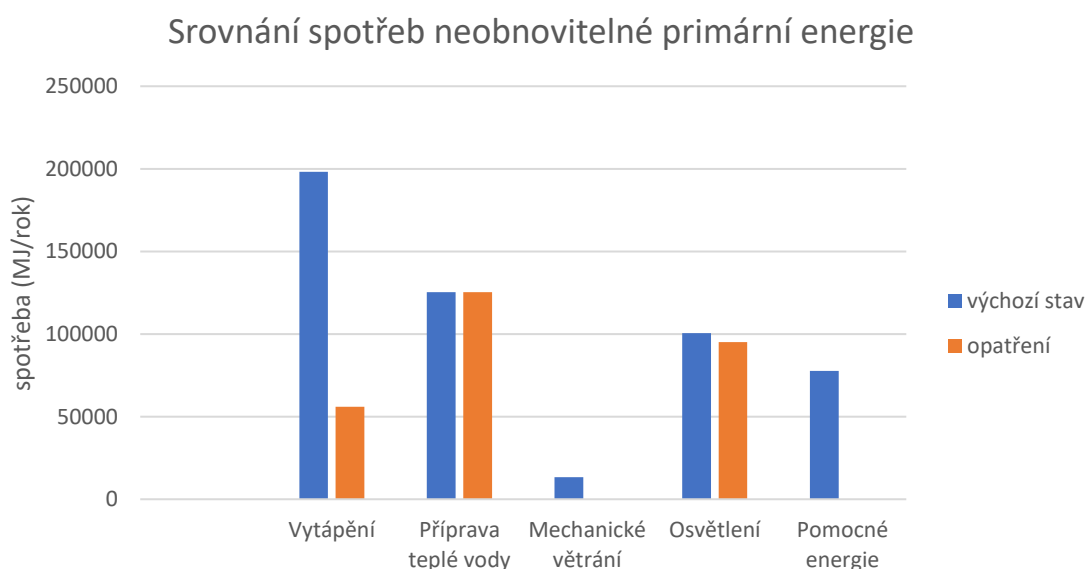
8 Závěr

Na základě analýzy výchozího stavu objektu byla navržena opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy a zvýšení kvality větracího vzduchu. Z výsledků a jejich srovnání je patrné, že největším přínosem byla instalace nuceného větrání s rekuperací, dále se na zlepšení výrazně podílejí vyšší vzduchotěsnost obálky a její lepší tepelně technické vlastnosti. Při nárůstu spotřeby energie na mechanické větrání o 200 % došlo zároveň ke snížení spotřeby tepla na vytápění o 72 %, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 16).



Obr. 16 Srovnání ročních spotřeb provozních energií – shrnutí

Změnou materiálů došlo ke snížení svázané spotřeby neobnovitelné primární energie zhruba o 7 %. Instalací fotovoltaických panelů došlo spolu s uvedenými změnami ke snížení spotřeby neobnovitelné primární energie o 46 %. Spotřeby neobnovitelné primární energie jsou srovnány v obrázku (Obr. 17).



Obr. 17 Srovnání ročních spotřeb neobnovitelné primární energie – shrnutí

Další zlepšování tepelně technických vlastností obálky budovy by zřejmě nemělo z ekonomických důvodů své opodstatnění. Vzhledem k vyššímu procentu průsvitných konstrukcí by byl při snaze snížit spotřebu tepla na vytápění kladen důraz na výplně otvorů, jejichž cena znatelně roste s vyššími požadavky na tepelně izolační funkci.

Zanedbáním vnitřních konstrukcí došlo ke značnému zjednodušení modelu, které je na bezpečné straně. Chybějící konstrukce se podílejí na tepelné akumulaci jak v zimním období, tak v období letním, tato akumulace však nebyla uvažována, lze tedy předpokládat, že spotřeba tepla na vytápění by byla ve skutečnosti nižší, protože část energie ze solárních zisků by mohla být uložena do těchto konstrukcí. Strojní chlazení nebylo řešeno, snahou by bylo snížení teplot v interiéru v průběhu letních měsíců pomocí venkovních stínících prvků, popřípadě pomocí zvýšené intenzity nočního provětrávání. V návrhu opatření je předpokládáno vyšší riziko letního přehřívání vzhledem ke zvoleným materiálům.

V modelu byla uvažována trvalá intenzita větrání obytných místností dle jejich objemu bez útlumu. Lze předpokládat, že při nepřítomnosti obyvatel by bylo možné intenzitu větrání snížit. Přiváděním množství větracího vzduchu podle počtu osob by bylo možné množství přiváděného vzduchu ještě snížit, a snížit tak i spotřebu tepla na vytápění. Dále nebylo zohledněno nárazové větrání hygienických prostor a kuchyní, které se vyznačuje vyšším množstvím odváděného vzduchu, je užíváno ale pouze po krátkou dobu a je obtížně předvídatelné. Při výpočtu energetické náročnosti mechanického větrání nebyl uvažován predehřev přiváděného vzduchu za účelem ochrany rekuperačního výměníku před namrznutím. Predehřev vzduchu by vyžadoval podrobnější přezkoumání. Přesněji by bylo také třeba rozvrhnout umístění střešních vývodů vzduchotechniky tak, aby nedocházelo ke stínění fotovoltaických panelů.

Ke snížení spotřeby neobnovitelné primární energie by také mohla přispět instalace úsporného osvětlení. Je však třeba myslet na to, že osvětlení se podílí na krytí části potřeby tepla na vytápění. S instalací úsporného osvětlení by tedy bylo nutné chybějící tepelné zisky dodat vytápěním. Další otázkou ohledně osvětlení je rozvrh, kterým je osvětlení řízeno. Pravděpodobně by bylo možné spotřebu energie na osvětlení snížit například zohledněním současnosti, kdy je možné říci, že ve většině místností se svítí pouze když jsou obývány. Tento jev je však velice těžké odhadnout a popsat pomocí koeficientů.

Zajímavou alternativou k připojení na síť centrálního zásobování teplem by do budoucna mohlo být použití tepelného čerpadla. V současné době je stále obtížné doložit výhodnost odpojení objektu od centrálního zásobování teplem, snahou je tento zdroj využívat vždy, když je k dispozici. Ani z hlediska faktoru energetické přeměny se použití tepelného čerpadla stále nejeví jako výhodné, což by se mohlo v budoucnu změnit. Vzhledem k blízké okolní zástavbě je použití tepelného čerpadla typu země-voda v tomto případě téměř nereálné, ačkoliv by se s přihlédnutím k jeho využití na ohřev teplé vody nabízelo jako lepší řešení. Možné je použití tepelného čerpadla typu vzduch-voda v řešení split, kdy by byl do exteriéru umístěn pouze výparník s ventilátorem. Samotný kompresor by byl umístěn v chráněné místnosti, která by zabraňovala šíření hluku do okolí.

Vzhledem ke zvolenému materiálovému řešení a výsledné výšce objektu je zřejmé, že tento objekt by nebylo možné z důvodu požární ochrany postavit na území České republiky. Podobné nebo dokonce ještě vyšší objekty ze dřeva nebo z materiálů na bázi dřeva však byly za našimi hranicemi v minulosti již postaveny. Vzhledem ke zvýšení celkové výšky objektu oproti výchozímu stavu je nutné zmínit i vliv zastínění okolní zástavby a převýšení okolních objektů.

K metodice je možné říci, že kritérium energetická náročnost budovy pozitivně zohledňuje výrobu energie z obnovitelných zdrojů, která opouští budovu. Vzhledem k nedostatku prostoru pro umístění těchto zdrojů byl v tomto případě kladen důraz na výrobu energie pouze pro vlastní potřebu. V reálném stavu je komplikované doložit, jak a k čemu je energie opouštějící budovu využívána. V případě zapojení do takzvaného microgridu je situaci třeba řešit jako skupinu budov, kde bude možné doložit toky energií a jejich využití. Vzhledem k tomu, že zkoumaný objekt obklopují další bytové domy, je nepravděpodobné, že by některá z těchto budov byla schopna produkovat energii, kterou by také sama nespotebovala. Nejvýhodnějším řešením je v tomto ohledu kombinace objektů různých typů provozu, kdy jeden může druhému předávat například odpadní teplo.

V oblasti větrání se dle metodiky ukázalo jako vhodné řešení použití nuceného větrání s osazenými filtry třídy ePM₁ 55 %. Instalací těchto filtrů by došlo ke zvýšení příkonu ventilátorů vzduchotechnických jednotek z důvodu zvýšení tlakových ztrát. Zároveň by se snížily tlakové rezervy ventilátorů a je možné, že by jednotky nebyly schopny dosáhnout navrhovaného průtoku vzduchu při nárazovém větrání. S použitím účinnějších filtrů se také pojí nutnost jejich častější výměny. Na základě kritériálních mezí metodiky je možné říci, že nejlépe by bylo hodnoceno pouze nejlepší dostupné řešení, a tím je použití vysoce účinných filtrů. Z výše zmíněných důvodů však není vhodné tyto filtry osadit do jednotek určených pro bytové prostory.

9 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] LUPÍŠEK, Antonín et al. *Resilientní bytové domy: Kritéria pro hodnocení bytových domů z pohledu resilience, mitigace klimatických změn a adaptace na klimatické změny*. České vysoké učení technické v Praze, 2018.
- [2] Archiweb.cz - Bytový dům Procházkova. *Archiweb.cz* [online]. Brno: Archiweb, c1997-2019 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/bytovy-dum-prochazkova>
- [3] Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky - TZB-info. *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2019 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [4] *Envimat.cz - Katalog fyzikálních a environmentálních profilů stavebních konstrukcí* [online]. Praha: ČVUT v Praze, c2010-2019 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>
- [5] VONKA, Martin. *Metodika SBToolCZ: manuál hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu*. Praha: CIDEAS Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí, 2011. ISBN 978-80-01-04664-7.
- [6] *DesignBuilder Software Ltd - Home* [online]. Stroud: DesignBuilder Software, c2019 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/>
- [7] *TNI 73 0330: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [8] *ČSN 73 0331-1: Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [9] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov - TZB-info. *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2019 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-78-2013-sb-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [10] Tab. 10 Kriteriaální meze pro M.1 Energetická náročnost budovy. LUPÍŠEK, Antonín. *Resilientní bytové domy: Kritéria pro hodnocení bytových domů z pohledu resilience, mitigace klimatických změn a adaptace na klimatické změny*. České vysoké učení technické v Praze, 2018, s. 18-19.
- [11] *ČSN EN ISO 16890-1: Vzduchové filtry pro všeobecné větrání - Část 1: Technické specifikace, požadavky a klasifikační metody založené na účinnosti odlučování částic (ePM)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [12] Tab. 71 Kriteriaální meze pro K.3 Kvalita větracího vzduchu. LUPÍŠEK, Antonín. *Resilientní bytové domy: Kritéria pro hodnocení bytových domů z pohledu resilience, mitigace klimatických změn a adaptace na klimatické změny*. České vysoké učení technické v Praze, 2018, s. 98.

- [13] Stora Enso Wood Products: Building Solutions. *CLT / Stora Enso* [online]. Bad St. Leonhard: Stora Enso Wood Products, c2015 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Technicka-slozka-CLT-CS.pdf>
- [14] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [15] ZMRHAL, Vladimír. *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, 2012 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [16] *Vhodné rychlosti (m/s) ve vzduchovodech - TZB-info. TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/121-vhodne-rychlosti-m-s-ve-vzduchovodech>
- [17] DUPLEX Easy kompaktní větrací jednotky s rekuperací tepla a EC ventilátory. In: *ATREA s.r.o. - Vzduchotechnická zařízení, rekuperace tepla* [online]. Jablonec nad Nisou: ATREA, 2016 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: https://www.atrea.cz/img/obytneduplex_easy_cz/duplex_easy_cz_2016_01.pdf
- [18] REINBERK, Zdeněk. *Zjednodušená bilance solárního kolektoru - TZB-info. TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [19] *Solární kolektory Suntime. Solární kolektory, solární systémy* [online]. Načešice: PROPULS SOLAR, c2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.propuls.cz/solarni-kolektory-suntime>
- [20] SUNPOWER MAXEON. *Global Solar Panel Company | SunPower Global* [online]. San Jose: SunPower Corporation, 2019 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://www.global.sunpower.com/sites/default/files/2019-12/sp_MAX3-400-395-390_ds_cz_a4_mc4_532418B.v4.pdf
- [21] *Interactive tools. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. Ispra (Italy): European Commission, Joint Research Centre, 2017 [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
- [22] *Telefonní hovor s technickou podporou společnosti Atrea*
- Ventilátory, rekuperace, ventilace - ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s r.o.* [online]. Praha: ELEKTRODESIGN ventilátory, c2003-2009 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/>
- Střešní okna, půdní schody | FAKRO Česká republika* [online]. Český Těšín: FAKRO CZECH, c2014 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.fakro.cz/>
- HELUZ – cihly, překlady, komíny, stropní systémy pro stavbu rodinného domu* [online]. Dolní Bukovsko: HELUZ cihlářský průmysl, c2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/>
- ISOVER: tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace* [online]. Praha: Saint-Gobain Construction Products CZ, c2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/>

Telefonní hovor s technickou podporou společnosti Jaf Holz

Knauf/Sádrokarton, suché maltové a omítkové směsi, stavební chemie [online]. Praha: Knauf Praha, c2015 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.knauf.cz/>

Mapy.cz [online]. Praha: Seznam.cz, c1996-2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>

Otis Elevator Company - Reinventing The Way You Move [online]. Farmington (Connecticut): Otis Elevator Company, c1998-2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.otis.com/en/sg/>

Dřevěná okna, dřevěné dveře | Slavona - dřevěná okna a dveře [online]. Slavonice: SLAVONA, c2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/>

Stavební materiál pro stavbu i rekonstrukce | Ytong.cz [online]. Hrušovany u Brna: Xella CZ [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/>

10 Seznam použitého softwaru

Autodesk AutoCAD 2017, Autodesk AutoCAD 2020

DesignBuilder 5.4.0.021, DesignBuilder 6.1.3.008

Microsoft Excel

Microsoft Word

Atrea DUPLEX 8.95

Teplo 2017 EDU

Energie 2019 EDU

11 Seznam výkresů

Výkres č.1	Zjednodušená situace (1:400)
Výkres č.2	Půdorys 1.PP (1:100)
Výkres č.3	Půdorys 1.NP (1:100)
Výkres č.4	Půdorys 2.NP (1:100)
Výkres č.5	Půdorys 3.NP (1:100)
Výkres č.6	Půdorys 4.NP (1:100)
Výkres č.7	Půdorys 5.NP (1:100)
Výkres č.8	Pohled na plochou střechu (1:100)
Výkres č.9	Svislý řez A-A (1:100)
Výkres č.10	Pohledy (1:200)
Výkres č.11	Koncept nuceného větrání (1:100)
Výkres č.12	Pohled na střechu s FV panely (1:100)

12 Seznam obrázků

Obr. 1 Podíl konstrukcí na roční svázané spotřebě neobnovitelné primární energie – výchozí stav ...	17
Obr. 2 Půdorysný pohled na model v programu DesignBuilder	19
Obr. 3 Přítomnost obyvatel v bytové části v průběhu dne	20
Obr. 4 Přítomnost osob v hromadné garáži v průběhu dne	20
Obr. 5 Schéma vytápěné zóny objektu	21
Obr. 6 Pohled na model objektu v programu DesignBuilder	22
Obr. 7 Axonometrický pohled na model v programu DesignBuilder – předsazené konstrukce	23
Obr. 8 Axonometrický pohled na model v programu DesignBuilder – okolní objekty 1	24
Obr. 9 Axonometrický pohled na model v programu DesignBuilder – okolní objekty 2	24
Obr. 10 Časový rozvrh užívání umělého osvětlení	29
Obr. 11 Spotřeba provozních energií – výchozí stav	33
Obr. 12 Tepelné ztráty konstrukcemi – výchozí stav	35
Obr. 13 Podíl energonositelů na celkové spotřebě energií – výchozí stav	36
Obr. 14 Spotřeba provozních energií – opatření.....	49
Obr. 15 Předpokládaná výroba elektrické energie fotovoltaickými panely v průběhu roku	51
Obr. 16 Srovnání ročních spotřeb provozních energií – shrnutí	55
Obr. 17 Srovnání ročních spotřeb neobnovitelné primární energie – shrnutí.....	55

13 Seznam tabulek

Tab. 1 Výpočet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie – výchozí stav	16
Tab. 2 Měrná roční svázaná spotřeba energie – výchozí stav.....	18
Tab. 3 Zjednodušené konstrukce modelu – výchozí stav.....	26
Tab. 4 Příkony osvětlení v bytové části	28
Tab. 5 Příkony osvětlení v hromadných garážích.....	30
Tab. 6 Výstupy z programu DesignBuilder – výchozí stav.....	33
Tab. 7 Výpočet roční spotřeby neobnovitelné primární energie – výchozí stav.....	36
Tab. 8 Měrná roční spotřeba neobnovitelné primární energie – výchozí stav	37
Tab. 9 Celková spotřeba primární energie – výchozí stav.....	37
Tab. 10 Kriteriaální meze M.1 Energetická náročnost budovy [10].....	38
Tab. 11 Kriteriaální meze K.3 Kvalita větracího vzduchu [12].....	40
Tab. 12 Zjednodušené konstrukce modelu – opatření	44
Tab. 13 Výpočet svázané spotřeby neobnovitelné primární energie – opatření.....	45
Tab. 14 Měrná roční svázaná spotřeba energie – opatření	46
Tab. 15 Výstupy z programu DesignBuilder – opatření.....	49
Tab. 16 Podíl obnovitelné energie na celkové spotřebě – opatření	50
Tab. 17 Výpočet roční spotřeby neobnovitelné primární energie – opatření	52
Tab. 18 Měrná roční spotřeba neobnovitelné primární energie – opatření.....	52
Tab. 19 Celková spotřeba primární energie – opatření	53