

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Helcl** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **486107**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra technických zařízení budov**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Energeticky úsporné řešení rekonstrukce činžovního domu

Název diplomové práce anglicky:

Energy-efficient solution for the reconstruction of apartment building

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte projekt energeticky úsporného řešení zadané budovy se zaměřením na systémy technických zařízení budov.
Textová část - technická zpráva, návrh trasy soustavy vytápění, návrh dimenzí rozvodů, základní energetické výpočty.
Výkresová část - půdorysy, funkční schéma, řešení technické místnosti
Studie na téma: Využití umělé inteligence při provozování a řízení budov

Seznam doporučené literatury:

Ghezlane Halhoul Merabet, Mohamed Essaaidi, Mohamed Ben Haddou, Basheer Qolomany, Junaid Qadir, Muhammad Anan, Ala Al-Fuqaha, Mohamed Riduan Abid, Driss Benhaddou: Intelligent building control systems for thermal comfort and energy-efficiency: A systematic review of artificial intelligence-assisted techniques, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 144, 2021, 110969, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110969>.
ČSN EN 12828 A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav.
Bašta, Jiří: Hydraulika a řízení otopných soustav. ČVUT 2003. ISBN 80-01-02808-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D. katedra technických zařízení budov FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Energeticky úsporné řešení rekonstrukce činžovního
domu

Diplomová práce

Vypracoval:
Vedoucí práce:

Ondřej Helcl
doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2023/2024

Čestné prohlášení

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

Praha, dne 20. 05. 2024

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Michalovi Kabrhelovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích.

Obsah

Abstrakt	7
1 Úvod	8
2 Green deal – uhlíková neutralita	9
2.1 Úvod	9
2.2 Životní cyklus stavby	9
2.3 Příklady řešení ze zahraničí.....	10
2.3.1 Vídeň.....	10
2.3.2 Štýrský Hradec – Big Solar Graz	13
3 Rekonstrukce činžovního domu – teorie návrhu	15
3.1 Postup návrhu.....	15
3.1.1 Možnosti využití CZT v Praze	16
3.1.2 Lokální zdroje energie.....	17
3.2 Problematika památkové ochrany.....	18
3.2.1 FVS v památkově chráněném území.....	18
3.2.1.1 Stupně památkové ochrany	22
3.2.1.2 Obecné zásady	23
3.2.1.3 Negativní příklady	24
3.2.1.4 Pozitivní příklady.....	24
4 Rekonstrukce činžovního domu – návrh	27
4.1 Vstupní data – informace o objektu	27
4.2 Energetická náročnost objektu	30
4.2.1 Tepelné ztráty, potřeba tepla na vytápění	30
4.2.2 Potřeba tepla na ohřev teplé vody	31
4.3 Opatření pro snížení energetické náročnosti	34

4.3.1	Rekonstrukce obálky budovy, systém ZZT	35
4.3.2	Potřeba tepla	36
4.3.3	Návrh rekonstrukce	39
4.3.4	Návrh zdroje tepla – tepelné čerpadlo	40
4.3.5	Fotovoltaika	45
4.3.5.1	Orientace panelů jih	46
4.3.5.2	Orientace panelů sever + jih	47
4.3.5.3	Orientace panelů sever + jih s rekonstrukcí střechy	49
4.3.5.4	Panely na všech budovách bloku	50
4.3.5.5	Porovnání variant	51
4.3.5.6	Návrh	52
5	AI v systémech řízení budov	55
5.1	Úvod	55
5.2	Schlieger	55
5.3	Johnson control – Open blue	56
5.4	Sener – Respira	58
5.5	BrainBox AI	59
5.6	Závěr	59
6	Koncept využití AI v řízení činžovního domu po rekonstrukci	60
6.1	Způsoby optimalizace spotřeby energie	61
6.1.1	Optimalizace průběhu křivky odběru	61
6.1.1.1	Předstih vytápění/chlazení podle tepelné setrvačnosti budovy	61
6.1.1.2	Předstih vytápění/chlazení v návaznosti na předpověď počasí	61
6.1.1.3	Predikce chování/spotřeby podle chování obyvatel domu	61
6.1.2	Prodej elektřiny na burze v závislosti na spotové ceně	62

6.1.3	Prodej elektřiny sousedním domům v rámci komunitní energetiky.....	62
6.2	Využití elektrické energie z fotovoltaické elektrárny.....	63
6.2.1	Funkční schéma	65
6.2.2	Základní principy systému	65
7	Závěr	67
8	Seznam použité literatury.....	69

Abstrakt

Cílem této práce je zhodnotit možnosti energeticky úsporné rekonstrukce činžovního domu s důrazem na implementaci moderních technologií a chytrého řízení systémů v budově. Důležitost této problematiky dokazují ambiciózní cíle Evropské unie stanovené v rámci dohody „Green deal“, která si klade za cíl vytvořit v horizontu dvou desetiletí uhlíkově neutrální Evropu. V rámci této práce byl vytvořen projekt, který má sloužit jako modelové řešení rekonstrukce stávající zástavby na území České republiky, která bude nezbytná pro dosažení stanovených energetických cílů.

Součástí této práce je také koncepční návrh implementace umělé inteligence do systému řízení budovy za účelem maximalizace využití energie z obnovitelných zdrojů a snížení energetické náročnosti budovy. Řídící systém zajišťuje regulaci vytápění, chlazení, větrání a spravuje distribuci elektřiny vyrobené fotovoltaickou elektrárnou.

Abstract

The aim of this work is to evaluate the possibilities of energy-saving reconstruction of an apartment building with an emphasis on the implementation of modern technologies and smart management of systems in the building. The importance of this issue is demonstrated by the potential goals of the European Union set out in the "Green Deal" agreement, which aims to create a neutral Europe within two decades. As part of this work, a project was created to serve as a model solution for the reconstruction of existing buildings in the region of the Czech Republic, which will be needed to achieve the set energy goals.

This work also includes a conceptual design for the implementation of artificial intelligence in the building management system to maximize the use of renewable energy and reduce the building's energy demand. The control system ensures the regulation of heating, cooling, ventilation and manages the distribution of electricity produced by the photovoltaic power plant.

1 Úvod

V dnešní době je energetická účinnost budov nejen ekonomickou nezbytností, ale stává se i klíčovým prvkem v boji proti klimatické změně. Evropská unie, prostřednictvím iniciativ jako je Evropský zelený úděl (European Green Deal), stanovila ambiciózní cíle pro dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050. Jedním z hlavních směrů, jak těchto cílů dosáhnout, je snižování energetické náročnosti stávajících budov. Činžovní domy, které tvoří významnou část evropského bytového fondu, jsou přitom často energeticky neefektivní a vyžadují komplexní přístup k jejich rekonstrukci.

Tato diplomová práce se zaměřuje na možnosti energeticky úsporné rekonstrukce činžovního domu, kde kromě aplikace tradičních metod a technologií probíhá také koncepční zkoumání využití umělé inteligence pro řízení systémů budovy. Návrh řeší mimo architektonické a stavební aspekty rekonstrukce i návrh implementace umělé inteligence do systémů řízení budovy, což umožní optimalizaci spotřeby energie a adaptabilitu na měnící se klimatické podmínky a potřeby uživatelů.

Implementace umělé inteligence je zde pojata jako explorativní téma, které rozšiřuje tradiční přístupy o nové technologické možnosti. Koncepční návrh využívá AI k analýze energetických dat a optimalizaci provozu systémů, jako jsou vytápění, chlazení a ventilace, což umožní předvídat potřeby energetického využití a efektivně řídit energetické toky. Implementace AI do systémů řízení budovy tak přináší nejen snížení spotřeby energie, ale také zvyšuje kvalitu života obyvatel a podporuje environmentální udržitelnost.

Provedení energeticky úsporné rekonstrukce v souladu s Evropským zeleným údělem vyžaduje integraci mnoha disciplín, od architektury přes stavební inženýrství a památkovou ochranu až po integraci nových technologií. Tato práce přispívá k diskuzi o udržitelné rekonstrukci bytového fondu s potenciálním přínosem umělé inteligence.

2 Green deal – uhlíková neutralita

2.1 Úvod

Urbanizace je jednou z klíčových výzev 21. století. Očekává se, že do roku 2050 bude více než 70 % populace žít ve městech, což nevyhnutelně povede k výraznému nárůstu energetické spotřeby budov. Ty již nyní představují 40 % celkové spotřeby energie a produkují 30 % celosvětových emisí oxidu uhličitého. V Evropské unii je tento problém zvláště akutní vzhledem k charakteru staveb, které jsou energeticky náročné a vykazují pomalý pokrok v oblasti energetické efektivity. Zároveň s tím predikce ukazují, že 75 % budov, ve kterých budeme žít v roce 2050, je již dnes postaveno, což zdůrazňuje důležitost rekonstrukce a modernizace stávajících staveb v rámci dosahování cílů Green Deal. (1)

Evropský Green Deal si klade ambiciózní cíle řešit tyto problémy, nejenže stanovuje snížení emisí CO₂ o 50-55 % ve srovnání s úrovněmi z roku 1990, ale také směřuje k uhlíkové neutralitě do roku 2050. Tento závazek nemá být pouze environmentálním cílem, ale má obsahovat i strategii pro podporu ekonomického růstu, transformující EU na moderní, efektivní a konkurenceschopnou ekonomiku, o čemž se ve společnosti vedou spory. V kontextu stavebnictví bude zásadní roli hrát rekonstrukce existujících budov, s cílem zlepšit jejich energetickou účinnost a snížit uhlíkovou stopu, které jsou již součástí našeho každodenního života. (2)

2.2 Životní cyklus stavby

Životní cyklus stavby lze rozdělit do 3 hlavních fází – výstavba, provoz a demolice. Během každé fáze se vyprodukuje určité množství emisí CO₂. V dnešní době je kladen důraz především na optimalizaci spotřeby energie ve fázi provozu, jelikož v této fázi cyklu budovy je spotřeba energie a množství emisí největší. V důsledku toho se ale zvyšuje spotřeba materiálu použitého v době výstavby, např. tepelně-izolační materiály, a to způsobuje přesun emisí z provozní fáze do fáze výstavby. Míru přesunu emisí z provozní do výrobní fáze lze jen těžko generalizovat konkrétními hodnotami, ty se totiž výrazně liší na základě klimatických podmínek v dané lokalitě, délkou životnosti budovy a typem

použitých materiálu. Z tohoto fenoménu vyplývá, že v dnešní době je více než kdy dřív nutné posuzovat ekologický dopad budovy komplexně a neopomínat zabudované emise do stavebních materiálů používaných ve výstavbě.

V rámci komplexní studie o potenciálu úspor energie v Evropě (3) zpracované pro Evropskou komisi byla provedena analýza na rodinném domě ve Stuttgartu, která hodnotila produkci emisí CO₂ a spotřebu energie během celého životního cyklu budovy. U domu z roku 1975 bylo v analýze uvažováno se čtyřmi variantami:

- Původní stav budovy bez dalších zásahů
- Lehká rekonstrukce budovy do nižšího energetického standardu
- Rozsáhlá rekonstrukce budovy do pasivního standardu
- Demolice a výstavba nové budovy ve standardu dané doby (rok 2016)

Jako nejlepší variantou s nejmenší spotřebou energie a produkcí emisí vyšla varianta rozsáhlé rekonstrukce do pasivního standardu. Demolice s novou výstavbou vyšla pouze o jednotky procent lépe než lehká rekonstrukce, a to jak z hlediska spotřeby primární energie, tak emisí CO₂. To je způsobeno především emisemi produkovanými při demolici spolu se zabudováním dalších v rámci nové výstavby. (3)

Výsledky této studie nám ukazují důležitost prověření možností rekonstrukce stávajících budov za účelem snížení energetické náročnosti, jelikož se tato varianta ukazuje jako nejefektivnější z hlediska snížení ekologického dopadu stávající zástavby. Je ovšem nutné zmínit, že tato studie nebere ohled na finanční stránku opatření, a tedy z hlediska návratnosti investice by jako nejvýhodnější řešení mohla vyjit jiná varianta.

2.3 Příklady řešení ze zahraničí

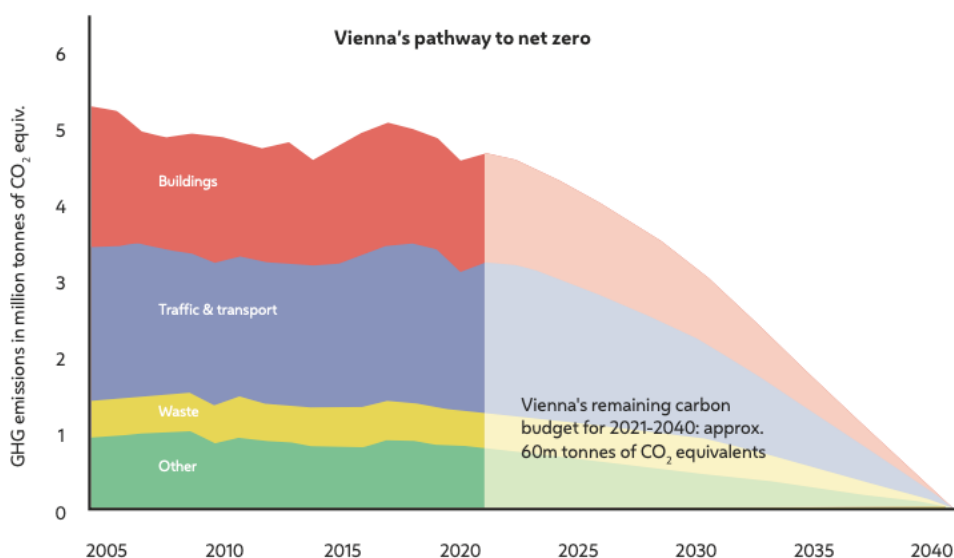
2.3.1 Vídeň

Rakouská Vídeň je příkladem města, které chce nejenom dosáhnout cílů Green deal, ale dokonce si stanovila ambicióznější časový horizont, ve kterém chce změn dosáhnout. V rámci strategického plánu města si Vídeň klade za cíl do roku 2030 o 55 % snížit emise skleníkových plynů na osobu oproti úrovni z roku 2005 a dosáhnout uhlíkové neutrality

do roku 2040. To zahrnuje strategie jako přechod k cirkulární ekonomice, zvýšení podílu recyklovaného odpadu a posílení udržitelného hospodaření s odpady.

Mimo to si v rámci plánu Vídeň klade za cíl do roku 2030 pokrýt 75 % potřeb digitálních služeb a infrastruktury z obnovitelných zdrojů energie a do roku 2040 dosáhnout 100 % pokrytí. Budovy mají být energeticky efektivnější a stávající stavby budou podléhat rekonstrukcím za účelem zlepšení jejich energetické bilance. V oblasti mobility je záměrem podpořit udržitelné dopravní prostředky a snížit emise způsobené dopravou.

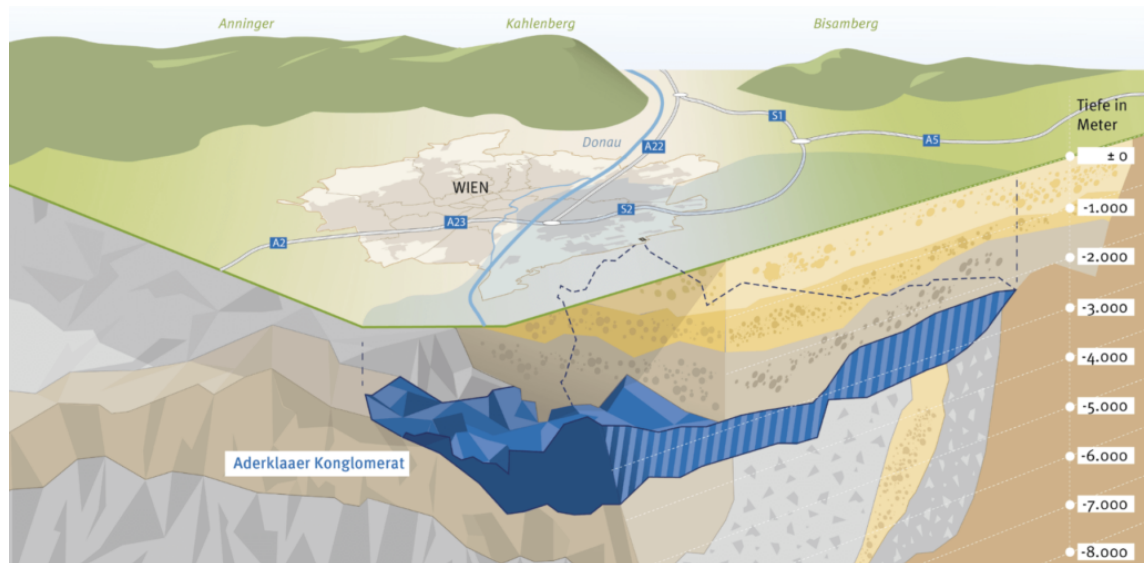
Vídeň rovněž usiluje o to stát se lídrem v digitální transformaci, což zahrnuje digitalizaci služeb a procesů a vytvoření odolné digitální infrastruktury. Tento plán je realizován prostřednictvím inovativních projektů, interdisciplinárních a mezioborových spoluprací, veřejně-soukromých partnerství a pilotních projektů, které mají sloužit jako živé laboratoře pro testování a vývoj nových přístupů. (4)



Obrázek 1: Grafické znázornění plánu města Vídeň na dosažení uhlíkové neutrality (4)

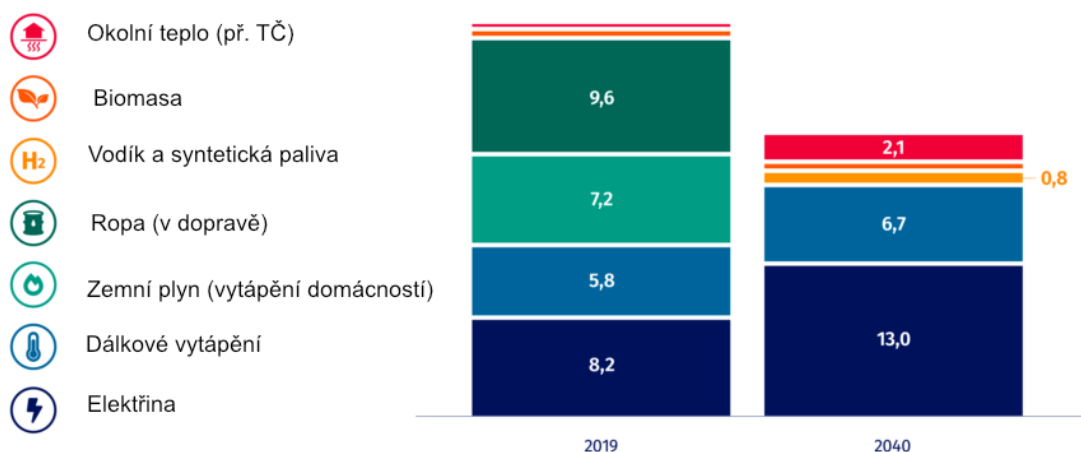
V současné době je vytápění a dodávka tepla ve Vídni řešena pomocí sítě dálkového vytápění, kde zdroji tepla jsou převážně kogenerační elektrárny. Díky tomu je možné proces snížení uhlíkové stopy provést značně rychleji, než jaký je cíl v rámci Evropské unie. V tomto případě stačí vyměnit zdroje tepla, které pro zásobování sítě dálkového vytápění používají fosilní paliva a uhlíková stopa všech domácností ve městě okamžitě výrazně klesne.

Město do budoucna plánuje využívat geotermálního tepla, které se nachází v hloubce cca 3-5 km přímo pod městem v podobě vody o teplotě cca 100 °C. Teplo by se odebíralo pomocí hlubinných vrtů v několika lokalitách za městem následně by přes předávací stanice bylo napojena na síť dálkového zásobování. Celý projekt má realizovat Městský energetický podnik ve spolupráci s ropnou společností OMV, která ve Vídni sídlí a má bohaté zkušenosti s hlubinnými vrty využívanými při těžbě ropy. (5) (6)



Obrázek 2: Mapa oblasti, kde se nachází zásobárna teplé vody (5)

Do sítě dálkového zásobování plánuje město zapojit i další zdroje obnovitelné energie, jako jsou rozsáhlé solární elektrárny, větrné parky a velkokapacitní tepelná čerpadla, tak i menší fotovoltaické elektrárny a termické kolektory instalované přímo v místě odběru – na domech ve městě. (5)



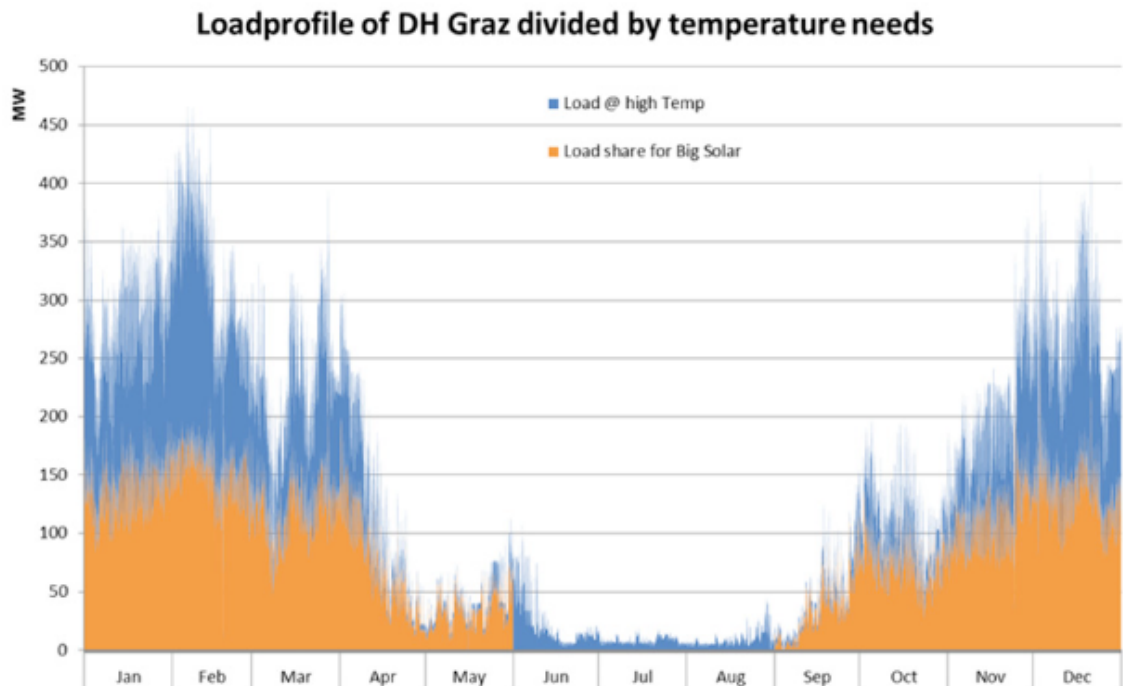
Obrázek 3: Změna konečné spotřeby ve Vídni k roku 2040 v TWh (5)

2.3.2 Štýrský Hradec – Big Solar Graz

Štýrský Hradec je po Vídni druhé největší město v Rakousku. Stejně jako Vídeň má ambiciózní přístup k plnění cílů Green deal a přechodu na obnovitelné dodávky energie do domácností ve městě. Podobně jako hlavní město má nespornou výhodu v rozvinutém systému dálkového zásobování teplem, který je v současnosti napojen na plynové nebo uhelné elektrárny a teplárny.

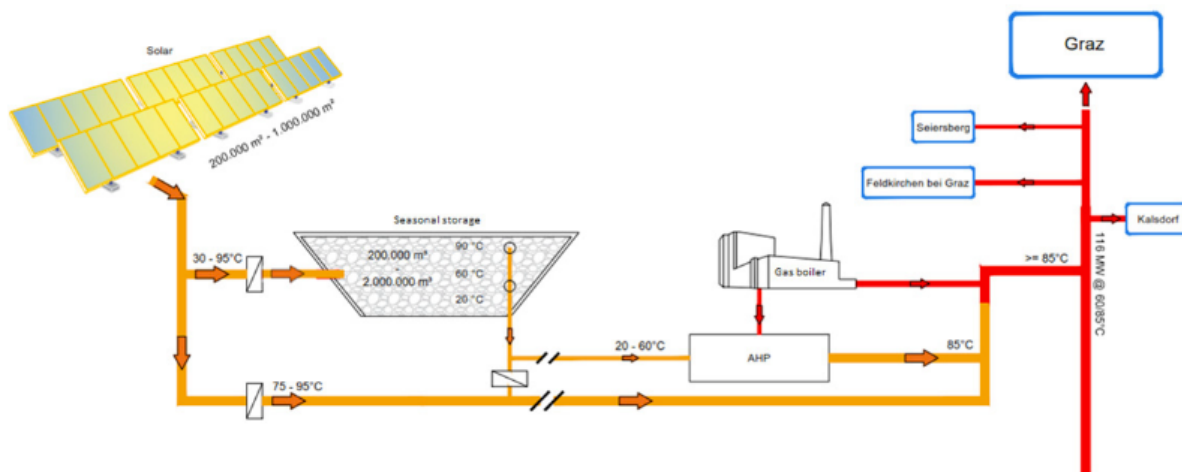
Mezi nové obnovitelné zdroje pro teplotrenskou síť mají patřit geotermální energie, využívání průmyslového odpadního tepla z nedaleké ocelárny v Marienhuette, spalování biomasy a solární energie. Právě solární energie je v rámci tranzice města směrem k obnovitelným zdrojům energie nejdiskutovanější, zejména kvůli projektu „Big Solar Graz“. Jedná se o projekt výstavby 150 000 až 650 000 m² solárních kolektorů, které by byly schopné pokrýt 9 až 26% celkové potřeby tepla pro dálkové vytápění ve městě. I přes to, že se bude jednat o obrovské investice ze strany Energie Graz, což je společnost odpovědná za dodávky tepla ve městě, tak byl projekt uznán jako ekonomicky konkurenceschopný. Součástí projektu je návrh sezónního skladovacího systému s předpokládaným čistým ročním energetickým výnosem až 245 GWh tepla, což zahrnuje i ztráty 13 GWh spojené se skladováním. Systém bude schopen dodávat

celoročně teplo ze zásobníků o teplotě 85 °C při ceně cca 35 eur/MWh. Případný dohřev bude zajišťován plynovou teplárnou. (7) (8)



Obrázek 4: Profil zatížení sítě dálkového vytápění v Grazu rozdělený podle potřeb teploty

Největší náklady spojené s výstavbou projektu jsou vyčleněny na odkup pozemků, na kterých se solární kolektory budou instalovat. To je, z hlediska solárních a fotovoltaických systémů, hlavní problém celé západní a střední Evropy, kde jsou pozemky a půda velice drahé. Konkrétně u projektu Big Solar se počítá s investičními náklady na samotnou instalaci 10 milionů eur, zatímco na odkup pozemků je vyčleněno 20 milionů eur. Mezi hlavní výhody tohoto systému patří vysoká cenová stabilita vzhledem k nezávislosti na cenách fosilních paliv a stabilita dodávek, která je zajištěna především sezónními zásobníky. (8)



Obrázek 5: Konceptní schéma systému Big Solar Graz (8)

3 Rekonstrukce činžovního domu – teorie návrhu

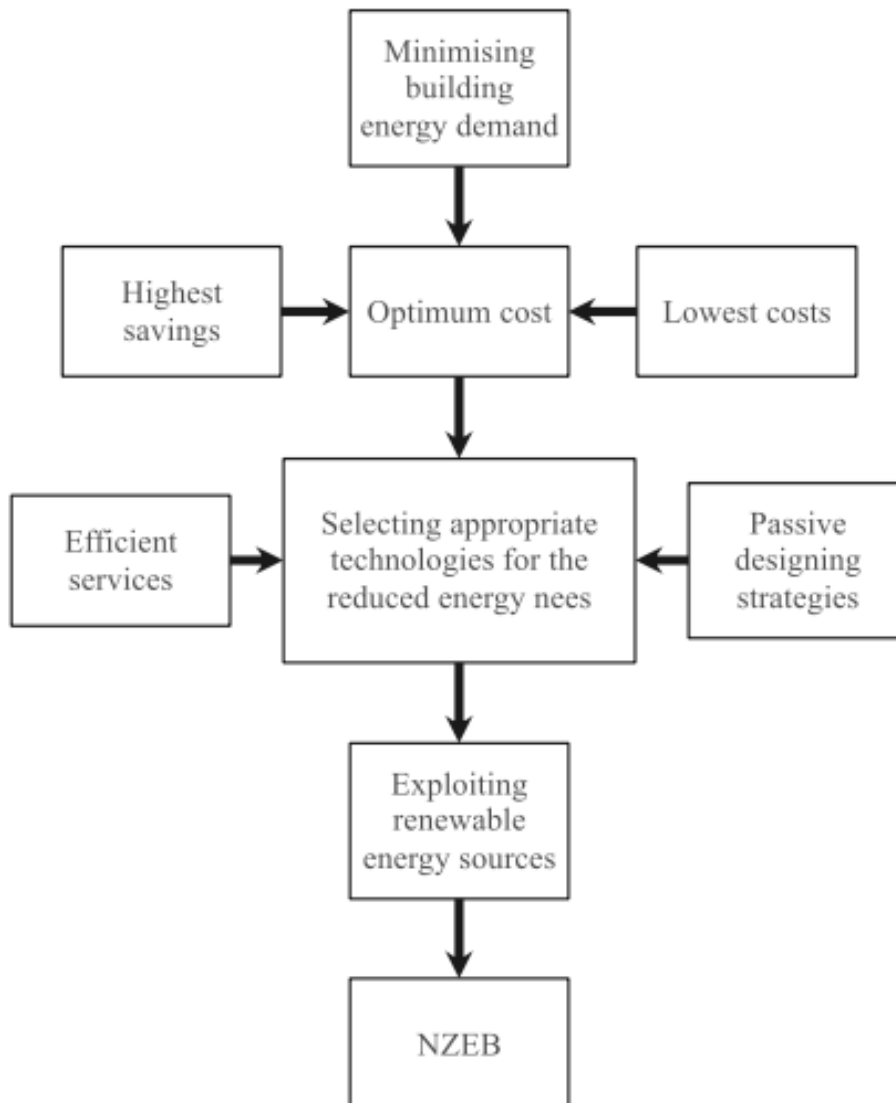
3.1 Postup návrhu

Za účelem pokusu o přiblížení se cílům Evropské unie ohledně uhlíkové neutrality u stávající zástavby je klíčové zaměřit se na minimalizaci energetické poptávky budovy. Toho lze dosáhnout kombinací strategií, které zahrnují jak pasivní design, tak i řízení technologií. Pasivní designové strategie, jako jsou vylepšená izolace, výměna otvorových výplní, větrání se funkcí ZZT a aktivní nebo pasivní stínění, přispívají k snížení potřeby energie pro vytápění, chlazení a osvětlení. Následně je důležité vybrat takové technologie, které jsou přizpůsobeny již sníženým energetickým potřebám, což zahrnuje vysoce účinné vytápěcí a chladicí systémy, LED osvětlení a energeticky efektivní spotřebiče.

Vzhledem k finančním aspektům je třeba najít optimální náklady, což je rovnováha mezi nejnižšími počátečními náklady a nejvyššími úsporami z dlouhodobého hlediska. To vyžaduje pečlivé ekonomické vyhodnocení investic do izolace, technologií a dalších opatření v rámci celkového energetického výkonu budovy.

V posledním kroku je důležité zaměřit se na návrh obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární nebo fotovoltaické panely, tepelná čerpadla, systémy pro využití dešťové

vody, které snižují závislost na fosilních palivech a snižují uhlíkovou stopu provozu budovy.

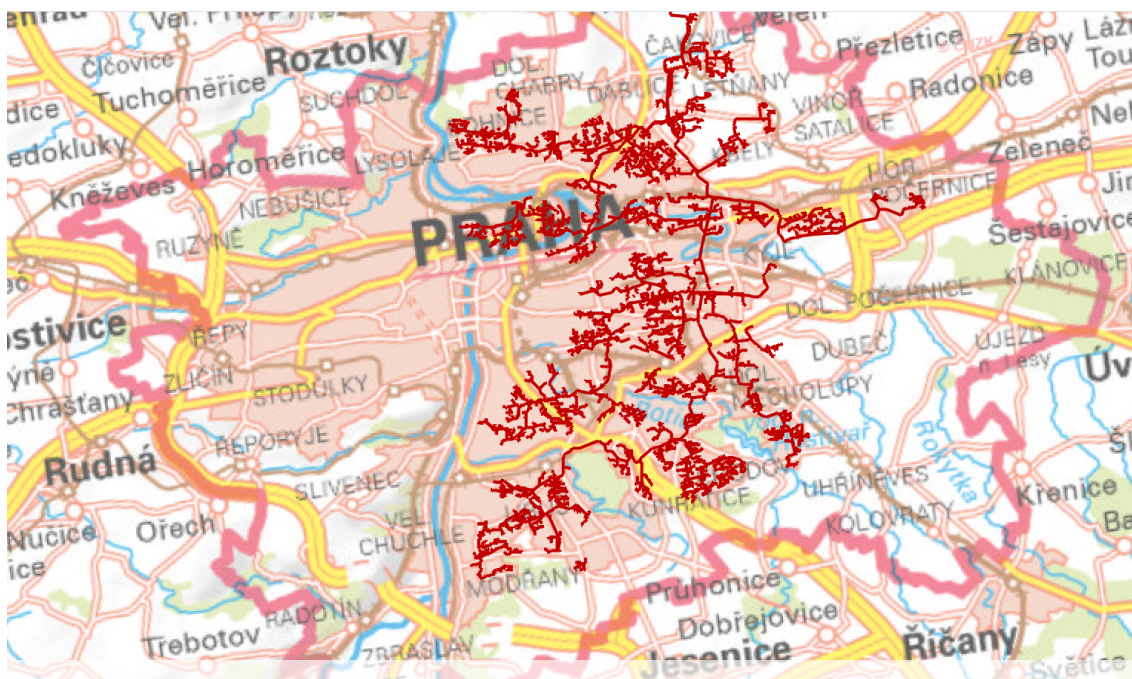


Obrázek 6: Schéma postupu při návrhu opatření pro dosažení NZEB (Nearly zero energy building) (9)

3.1.1 Možnosti využití CZT v Praze

V případě Prahy se nemůžeme zcela inspirovat Rakouským řešením (viz. 2.3.1 a 2.3.2), protože i přes to, že se nacházíme ve stejném klimatickém pásu, tak zásadní roli hraje absence sítě dálkového zásobování teplem ve velké části města, a především zcela chybí

na západní straně řeky Vltavy (viz. Obrázek 7). Ačkoliv je možné stávající objekty v rámci rekonstrukce na síť Pražské teplotní napojit, vždy záleží na konkrétním případě. Objekt nesmí být příliš vzdálen od nejbližšího vedení a zároveň musí mít dostatečný odběr tepla, aby realizace nového vedení byla rentabilní, jak pro zákazníka, tak pro provozovatele sítě. Ačkoliv Pražská teplotní kontinuálně usiluje o rozšiřování sítě CZT, tak ani výhledově neexistují plány na rozšíření sítě na druhou stranu Vltavy. Hlavní důvody jsou technická komplikovanost vedení systému pod korytem řeky a absence dostatečně výkonného zdroje tepla na západní straně města. Východní část zásobuje teplem teplárna v Mělníku a do budoucna bude napojena i spalovna Malešice, ze které se bude využívat odpadní teplo z procesu likvidace odpadu. (10)



Obrázek 7: Mapa sítě Pražské teplotní (11)

3.1.2 Lokální zdroje energie

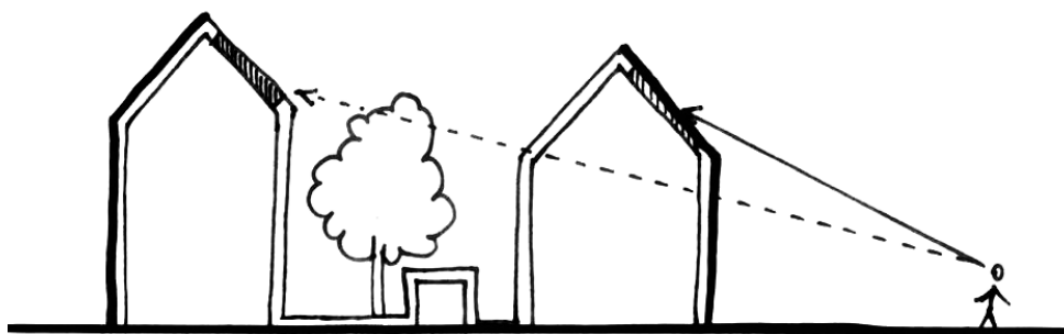
V případě absence sítě CZT je nutné navrhovat lokální zdroje energie, které jsou jednak dražší v poměru ke jmenovitému výkonu, méně efektivní, a hlavně je nutné jich vyměnit velké množství, s čímž jsou spojeny i doprovodné práce jako výměny rozvodů tepla a stavební úpravy objektů.

Obecným problémem dnešní doby je nedostatečná ekonomická konkurenceschopnost obnovitelných zdrojů energie, respektive jejich dlouhá doba návratnosti, v porovnání s tradičními a méně ekologickými způsoby provozu budov. Z toho důvodu jsou tato řešení bohatě dotovány státy a Evropskou unií, aby domácnosti a firmy měly motivaci investovat do opatření pro snižování energetické náročnosti svých provozů a budov.

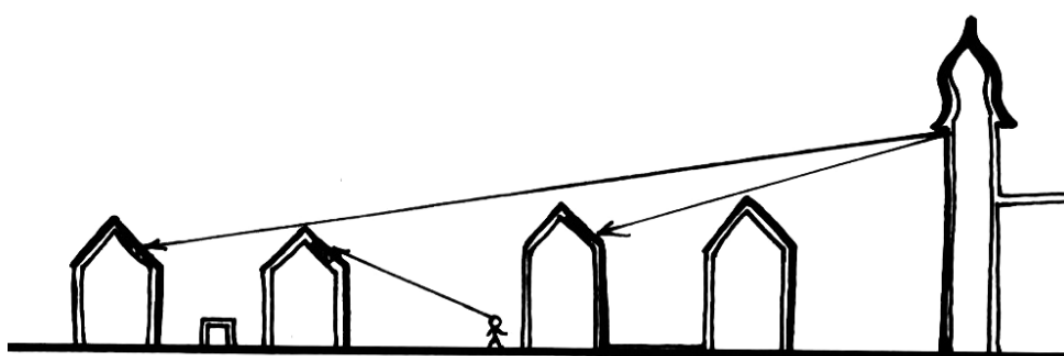
3.2 Problematika památkové ochrany

3.2.1 FVS v památkově chráněném území

„Vzhledem k rozdílům v památkové hodnotě objektů i prostředí není možné stanovit zcela konkrétní a jednotné modelové řešení, které by bylo plošně a bez rozdílu aplikovatelné v celém památkově chráněném území nebo pro všechny kulturní památky stejného nebo podobného typu. Posouzení každého návrhu proto vychází jak z ochrany hodnot památkově chráněného území, tak z faktické památkové hodnoty nemovitosti a zůstává do určité míry individuální, v závislosti na konkrétní urbanistické situaci, na podobě fasády, charakteru střechy, resp. střešní krajiny a materiálovém řešení střešního a fasádního pláště. Stále ale musí platit základní zásada činnosti správních orgánů, že v obdobných případech se rozhoduje obdobně, ve stejných stejně. „ (12)

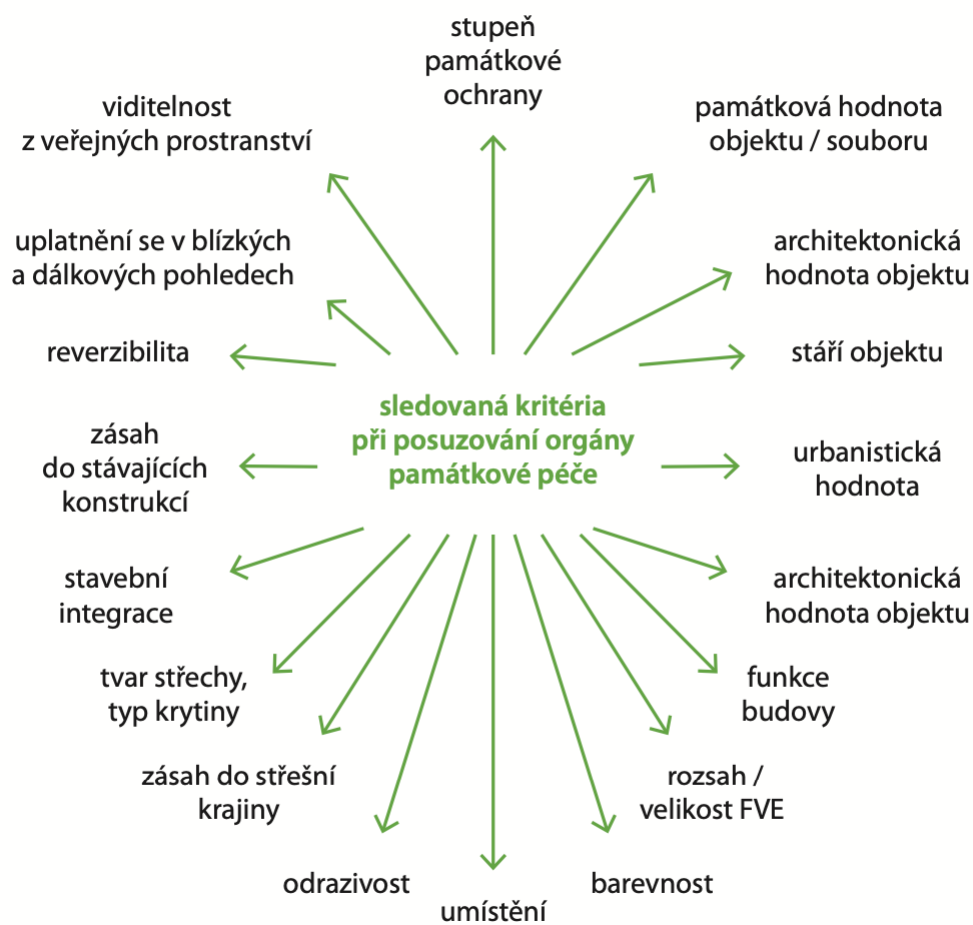


Viditelnost z veřejných prostranství



Uplatnění v blízkých a dálkových pohledech

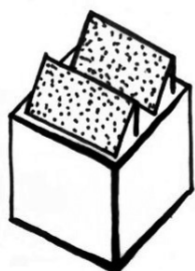
Obrázek 8: Schématické zobrazení uplatnění hodnotících kritérií (12)



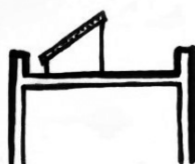
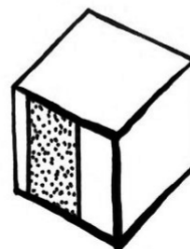
Obrázek 9: Sledovaná kritéria při posuzování orgány památkové péče (12)

„Ve všech typech památkově chráněných území MHMP OPP preferuje stavebně integrované systémy, případně systémy v plochách krytých atikami, každá instalace podléhá individuálnímu posouzení s ohledem na hodnotu a charakter konkrétního objektu a prostředí.“

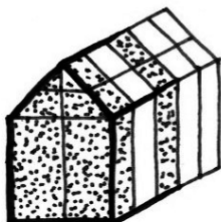
Samostatné modulové sestavy



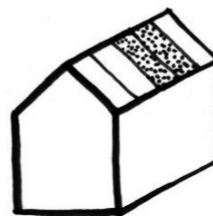
Stavebně integrované systémy



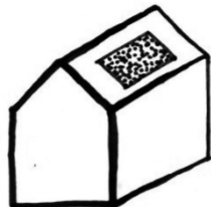
Příklady stavebně integrovaných systémů:



Transparentní moduly



Integrované pásy



Integrované moduly



Skládané krytiny

Obrázek 10: Příklady preferovaných instalací FVS (12)

3.2.1.1 Stupně památkové ochrany

- Ochranné pásmo

V ochranném pásmu lze obecně fotovoltaické systémy akceptovat. Výjimkou jsou případy, ve kterých by instalace narušila hodnotu předmětu ochrany na základě, které bylo ochranné pásmo vymezeno.

- Památkové zóny

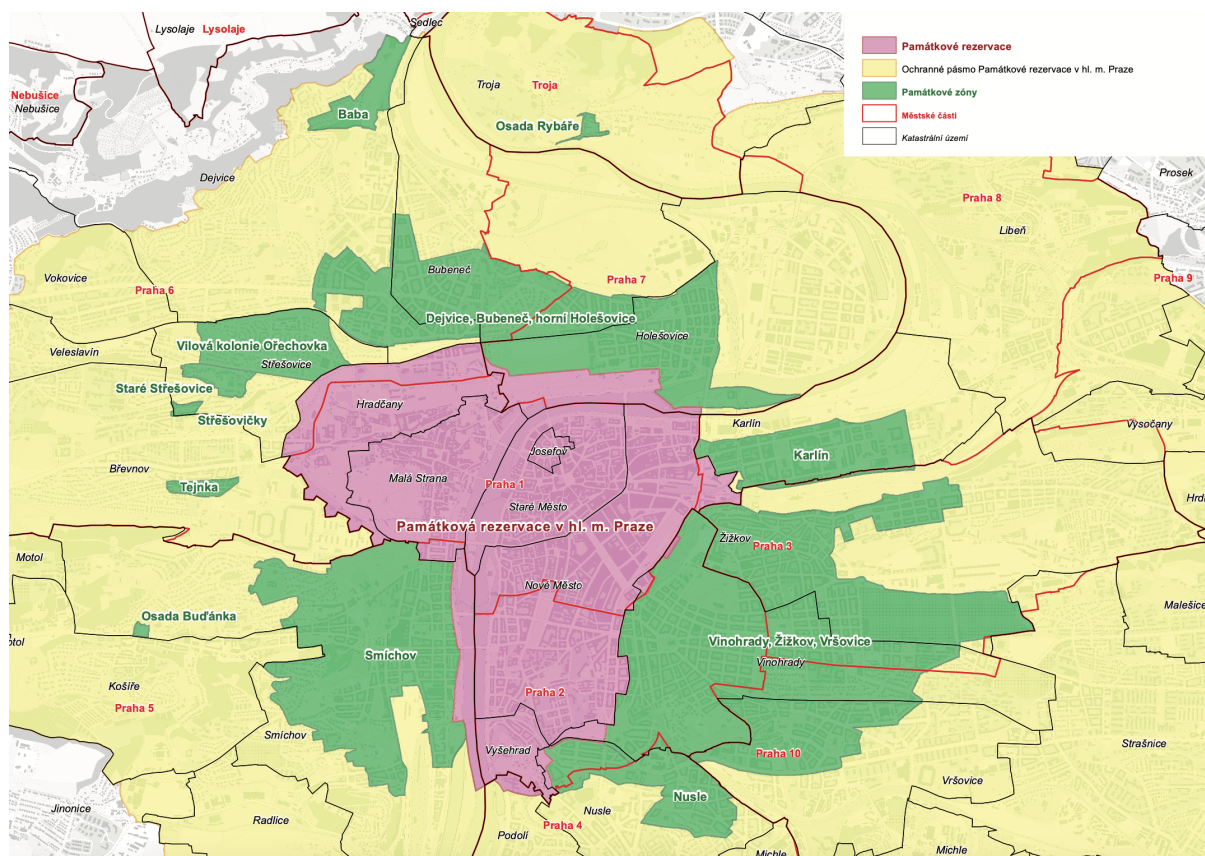
Jednoznačně jsou preferovány FVS pohledově skryté, např. plošně skládané, za atikou, nebo přímo integrované do hmoty objektu. U staveb historických je, při současném stupni poznání, umístování fotovoltaických systémů nežádoucí v uličních částech střech a fasád. Na dvorních částech střech, na novodobých dvorních přístavbách a na objektech ve vnitroblocích lze výjimečně, a to po individuálním posouzení, osazení fotovoltaických systémů připustit.

- Památkové rezervace

Fotovoltaické systémy jsou v daném prostředí nevhodné. Až na naprosté výjimky je umístování na historické stavby nepřipustné. U novostaveb je důraz na komplexnost řešení a integraci do objektu jako celku.

- Kulturní památky

Až na mimořádné případy novostaveb jsou fotovoltaické systémy nežádoucí, jelikož se jedná o ahistorický a cizorodý prvek. (12)



Obrázek 11: Památkově chráněná území v Praze (13)

3.2.1.2 Obecné zásady

Technologické příslušenství (měniče napětí, elektroměr, akumulátor, kabeláž...) je třeba primárně umísťovat uvnitř objektu (v podkroví apod.).

3.2.1.3 Negativní příklady



Obrázek 12: negativní příklady instalace FVS na valbové střeše s keramickou střešní krytinou, narušuje celkovou kompozici objektu, jeho architektonické působení včetně jeho uplatnění v širším kontextu, viditelnost FVS v blízkých i dálkových pohledech, kontrast mezi střešní krytinou a FVS má negativní dopad na střešní krajinu daného území (12)

3.2.1.4 Pozitivní příklady



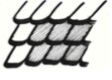


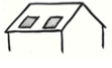
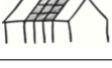





Obrázek 13: Fotovoltaické tašky terakotového vzhledu na venkovské farmě, vesnice Ecuwillens (12)



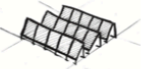
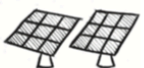


Obrázek 14: Břidlicová střešní krytina (12)



Obrázek 15: Falcovaná plechová (12)

				Ochranné pásmo (OP)			Památkové zóny (PZ)			Památkové rezervace (PR)			Kulturní památky (KP)
				Do ulice	Do dvora	Vnitrobloky	Do ulice	Do dvora	Vnitrobloky	Do ulice	Do dvora	Vnitrobloky	
Stavebně integrované systémy	Střechy	Skládané krytiny 	Historické	Bez podmínek	NE	Odůvodněné výjimky		NE	NE, ojedinělé výjimky		Principiálně NE, ojedinělé výjimky v mimořádných případech, obzvláště citlivé komplexní řešení u novostaveb		
			Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		NE, ojedinělé výjimky	Výjimky k individuálnímu posouzení		NE, ojedinělé výjimky	Ojedinělé výjimky k individuálnímu posouzení				
			Novostavby		Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu			Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu					
			ANO – komplexní řešení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení							
		Integrované pásy 	Historické	Bez podmínek	NE	Výjimky k individuálnímu posouzení		NE	Odůvodněné výjimky				
			Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		Výjimky k individuálnímu posouzení	Individuální posouzení		NE, ojedinělé výjimky					
	Novostavby		Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu			Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu							
		ANO – komplexní řešení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení								
	Integrované moduly 	Historické	Bez podmínek	Odůvodněné výjimky	Výjimky k individuálnímu posouzení		NE, ojedinělé výjimky						
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		Výjimky k individuálnímu posouzení	Individuální posouzení		NE, ojedinělé výjimky						
		Novostavby		Podmínky ohledně vlastní konstrukce, barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu			Podmínky ohledně vlastní konstrukce, barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu						
		Komplexní řešení k individuálnímu posouzení			K individuálnímu posouzení								
	Transparentní moduly 	Historické	Bez podmínek	NE	Odůvodněné výjimky		NE	NE, ojedinělé výjimky					
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		Odůvodněné výjimky	Individuální posouzení		NE, ojedinělé výjimky						
		Novostavby		Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu			Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu						
		ANO – komplexní řešení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení								
	Systém LOP (bezrámové moduly) 	Historické	Bez podmínek	NE			NE						
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		NE	NE, ojedinělé výjimky		NE						
		Novostavby		Komplexní řešení k individuálnímu posouzení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení						
	Skruté systémy (děrované krycí materiály apod.) 	Historické	Bez podmínek	NE	Individuální posouzení		NE	NE, ojedinělé výjimky					
Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		Odůvodněné výjimky		Individuální posouzení		NE, ojedinělé výjimky							
Novostavby		K individuálnímu posouzení			K individuálnímu posouzení – odůvodněné výjimky								
Fasády	Fasádní panely 	Historické	Bez podmínek	NE			NE						
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		NE			NE						
		Novostavby		K individuálnímu posouzení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení						
	Transparentní moduly 	Historické	Bez podmínek	NE	Odůvodněné výjimky		NE	NE, ojedinělé výjimky					
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		Odůvodněné výjimky	Individuální posouzení		NE, ojedinělé výjimky						
		Novostavby		Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu			Podmínky ohledně barevného řešení, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého objektu						
		ANO – komplexní řešení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení								
	Systém LOP (bezrámové moduly) 	Historické	Bez podmínek	NE			NE						
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		NE	NE, ojedinělé výjimky		NE						
		Novostavby		K individuálnímu posouzení			K individuálnímu posouzení, komplexní řešení						
	Doplňky 	Historické	Bez podmínek	NE			NE						
		Stavby postavené po vyhlášení PZ / PR		NE	Odůvodněné výjimky		NE	NE, ojedinělé výjimky					
Novostavby		ANO – komplexní řešení			ANO – komplexní řešení								

Samostatné modulové sestavy	Flexibilní pásy 	Bez podmínek	Individuální posouzení			Odůvodněné výjimky	Individuální posouzení	
			U plochých střech za atikou, prověření v dálkových pohledech, podmínky ohledně barevnosti, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci širokého kontextu		Podmínky ohledně barevnosti, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého vnitrobloku	U plochých střech za atikou, prověření v rámci kontextu stavby i přilehlého okolí, prověření v dálkových pohledech, podmínky ohledně barevnosti, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci širokého kontextu	Podmínky ohledně barevnosti, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého vnitrobloku	
	V ploše skládané sestavy 	Prověření v dálkových pohledech	NE	NE	Individuální posouzení	NE	NE	Individuální posouzení
				U plochých střech za atikou, prověření v dálkových pohledech	Podmínky ohledně barevnosti, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého vnitrobloku		Naprosté výjimky u plochých střech za atikou, prověření v rámci kontextu stavby i přilehlého okolí, prověření v dálkových pohledech	Podmínky ohledně barevnosti, lesku/matu a odrazivosti, systémová řešení v rámci kontextu celého vnitrobloku
Na vlastní konstrukci 	Prověření v dálkových pohledech	NE			NE			
Samostatně stojící 	Prověření v dálkových pohledech	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
		Naprosté výjimky u designově mimořádně zdařilých děl ve vhodném kontextu k zástavbě a urbanistickému řešení oblasti		Naprosté výjimky u designově mimořádně zdařilých děl ve vhodném kontextu k zástavbě a urbanistickému řešení oblasti			Naprosté výjimky u designově mimořádně zdařilých děl ve vhodném kontextu k zástavbě a urbanistickému řešení oblasti	

Obrázek 16: Příklady možných řešení FVS na památkově chráněných objektech (12)

4 Rekonstrukce činžovního domu – návrh

Pro návrh byl vybrán činžovní dům na Pražském Smíchově v lokalitě u Kavalírky. Dům je součástí blokové zástavby postavené na začátku 20. století. Celý blok tvoří 21 domů uspořádaných do tvaru obdélníku. Uprostřed uzavřené zástavby se nachází dvůr, který je rozčleněn na pozemky náležící do vlastnictví jednotlivých objektů.

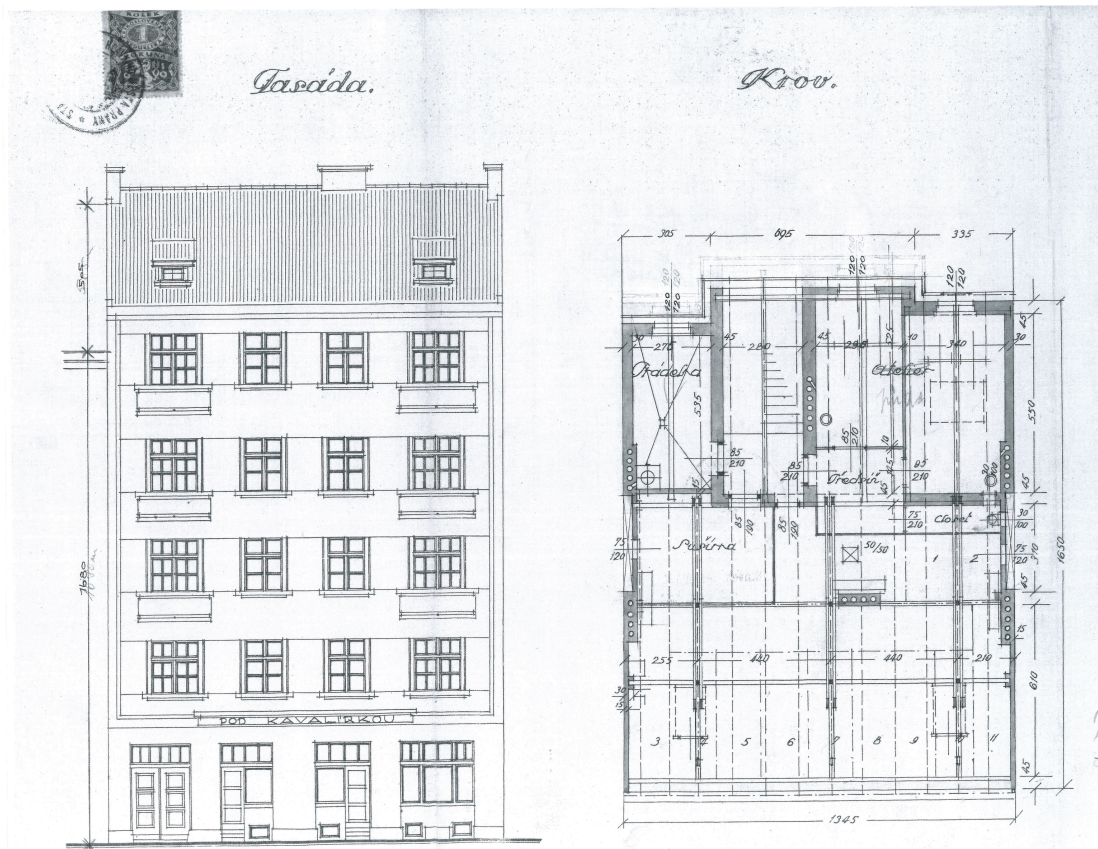
4.1 Vstupní data – informace o objektu

Jedná se o činžovní dům vystavený ve 30. letech 20. století. Dům má 5 nadzemních podlaží, podkroví a jedno podzemní podlaží, které je užíváno jako sklepní prostory. V přízemí se nachází komerční prostor v současnosti užívaný jako restaurace, ve zbylých podlažích je celkem 10 bytových jednotek. Druh vytápění se u jednotlivých bytů liší,

podle toho, jak během let probíhaly rekonstrukce. V některých bytech jsou původní lokální plynová topidla typu WAW, jinde jsou plynové kotle s radiátory a ve zbylých jsou elektrické přímotopy. Objekt má sedlovou střechu s dřevěným krovem a hřebenem orientovaným na východ/západ. Objekt prošel během let částečnou rekonstrukcí, kdy byla vyměněna původní okna a balkónové dveře. K objektu se dochovala původní stavební dokumentace, ale nikdy nebyl vyhotoven průkaz energetické náročnosti – PENB.



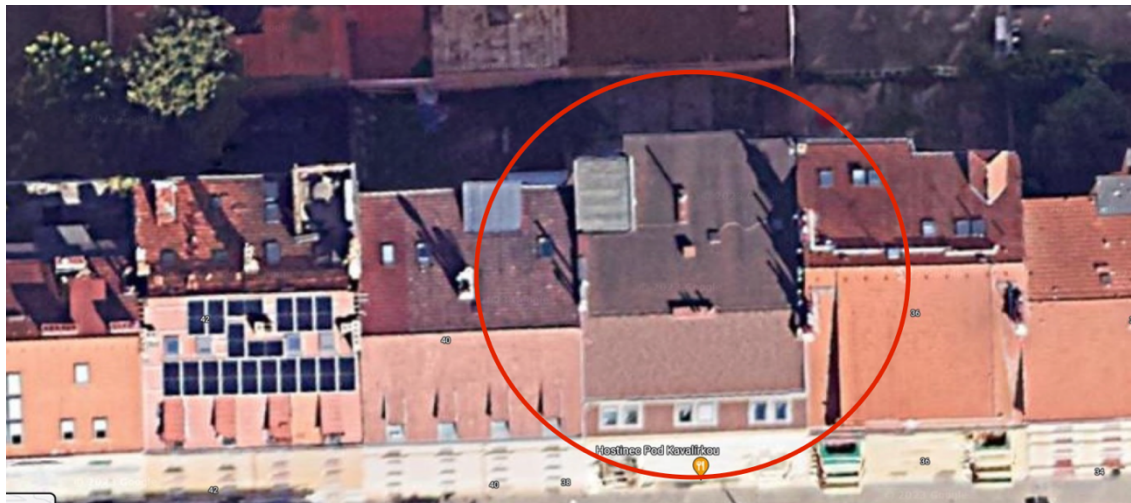
Obrázek 17: Pohled na objekt z ulice



Obrázek 18: stavební dokumentace k vybranému objektu – pohled na fasádu + půdorys (14)



Obrázek 19: pohled shora na blokovou zástavbu činžovních domů (15)



Obrázek 20: Pohled shora na vybraný činžovní dům (15)

4.2 Energetická náročnost objektu

4.2.1 Tepelné ztráty, potřeba tepla na vytápění

Jako výchozí stav objektu, před provedením opatření pro snížení energetické náročnosti, se uvažuje nikoliv současný stav, ale původní stav bez vyměněných výplní otvorů. Jelikož má tato práce za cíl zhodnotit možnosti rekonstrukce činžovních domů obecně a velká část pražské zástavby zatím neprošla ani touto základní fází rekonstrukce, je přínosnější použít jako výchozí bod původní stav objektu. Tepelná ztráta objektu je dále vypočítána pro stav po výměně výplní otvorů a následně i pro stav po kompletní rekonstrukci, kde je ještě navíc zateplena dvorní fasáda, střecha a strop 1PP a poslední varianta uvažuje se zateplením uliční obvodové stěny z interiéru.

PENB pro tento konkrétní objekt nebyl nikdy zhotoven, proto jsou hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce buďto dopočítány pomocí programu Teplo 2017, nebo jsou převzaty z PENB podobných objektů.

Pro výpočet tepelných ztrát byl použit software Deksoft TZB – modul tepelné ztráty.

Vnitřní výpočtová teplota v objektu se uvažuje 20 °C, venkovní výpočtová teplota pro Prahu -12 °C.

Tabulka 1: Součinitele prostupu tepla konstrukcí

Konstrukce obálky budovy	U
	[W/(m ² K)]
Okna	2,4
Dřevěné dveře	2,4
Plechové dveře	5,5
Obvod. stěna 750 mm	0,9
Obvod. stěna 600 mm	1,05
Obvod. stěna 450 mm	1,3
Obvod. stěna 300 mm	1,8
Střecha	2
Strop nevytápěného sklepa	1,6

Tepelná ztráta objektu prostupem v původním stavu je 46,46 kW.

Tepelná ztráta větráním byla určena, stejně jako ztráta prostupem, pomocí softwaru Deksoft TZB. Při výpočtu se uvažovalo s doporučenou hodnotou násobností výměny vzduchu $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ podle ČSN EN 15 665/Z1. Ztráta větráním celého objektu je 16,96 kW.

(16)

Celková tepelná ztráta objektu v původním stavu je potom 63,42 kW.

Pro výpočet roční potřeby tepla pro vytápění byl použit online výpočtový nástroj na serveru www.tzb-info.cz. Celková potřeba tepla na vytápění pro původní stav objektu je 121,5 MWh/rok. (17)

4.2.2 Potřeba tepla na ohřev teplé vody

Při výpočtu uvažujeme s teoretickým obsazením bytů a teoretickou potřebou teplé vody za den, kterou budeme uvažovat $V_{TV, \text{teor}} = 0,06 \text{ m}^3/\text{os} \cdot \text{den}$, což je hodnota mezi doporučenou spotřebou v normě ČSN 06 0320 $V_{TV, \text{CSN}} = 0,082 \text{ m}^3/\text{os} \cdot \text{den}$ a průměrem dlouhodobých měření $V_{TV, \text{měr}} = 0,04 \text{ m}^3/\text{os} \cdot \text{den}$. U restaurace uvažujeme se specifickou potřebou teplé vody $15 \text{ l}/\text{jídlo} \cdot \text{den}$. Produkce restaurace byla odhadnuta na 30 jídel/den i s ohledem na to, že v dnešní době spotřeba vody u tohoto druhu provozů klesá, protože

podniky nakupují již předpřipravené suroviny, nebo polotovary. Proces přípravy jídla není tedy tolik náročný, jako tomu bývalo dříve. (18)

Tabulka 2: výpočet potřeby teplé vody

číslo	typ jednotky	počet jednotek	specifická spotřeba	spotřeba
		os/jídlo	m ³ /jedn.*den	m ³ /den
1	restaurace	30	0,015	0,45
2	3+1	4	0,06	0,24
3	2+1	3	0,06	0,18
4	3+1	4	0,06	0,12
5	2+1	3	0,06	0,12
6	2+kk	3	0,06	0,12
7	2+kk	3	0,06	0,12
8	2+1	3	0,06	0,18
9	2+kk	3	0,06	0,12
10	1+1	2	0,06	0,12
11	2+1	3	0,06	0,18
celkem		31		2,31

Pro výpočet potřeby teplé vody byl použit online výpočetní nástroj na severu www.tzb-info.cz. Při výpočtu potřeby teplé vody byly uvažovány ztráty v rozvodech 50 %. (19)

Denní potřeba tepla na ohřev teplé vody včetně ztrát je $Q_{tv} = 181,3$ kWh/den.

Celková roční potřeba tepla na ohřev teplé vody je $Q_{tv,rok} = 57$ MWh/rok.

Ohřev teplé vody

$t_1 =$ °C kg/m³

$t_2 =$ °C J/kgK

$V_{2p} =$ m³/den

Koeficient energetických ztrát systému $z =$

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 181.3 \text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$ °C

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$ °C

Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$ [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$$Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{l} 205.3 \text{ GJ/rok} \\ 57 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$$

Obrázek 21: Online výpočetní nástroj pro stanovení potřeby teplé vody na serveru www.tzb-info.cz (19)

4.3 Opatření pro snížení energetické náročnosti

Cílem této práce na navrhnutí řešení rekonstrukce, které bude aplikovatelné na typický objekt stávající zástavby na našem území. Z toho důvodu je klíčové nalezení ekonomicky výhodného řešení, které nabízí optimální poměr mezi cenou a úsporou energie, a zároveň je technicky snadno proveditelné.

V rámci tohoto přístupu je snaha o minimalizaci stavebních zásahů do obytných místností jednotlivých bytů. Obytné místnosti tedy zůstávají nedotčeny s výjimkou nutnosti instalace rozvodů topení do stěn. Veškeré vedení systémů TZB je řešeno v rámci chodeb a koupelen, kde budou zhotoveny nové podlahy, do kterých se uloží rozvody topení a zároveň se zde budou instalovat podhledy, do kterých je možné umístit rozvody vzduchotechniky. V případě použití vzduchotechniky za účelem snížení tepelné ztráty větráním při použití systému ZZT budou přírady čerstvého vzduchu umístěny ve stěně pod stropem obytných místností vycházejících z podhledů chodeb a koupelen bytů. Tím se zajistí, že obytné místnosti si zachovají světlou výšku a nebude nutná instalace podhledu, což urychlí a zlevní výstavbu. Odvod odpadního vzduchu v rámci bytu bude umístěn v koupelně.

V případě, kdy je v objektu decentrální systém vytápění, tedy každý byt má svůj vlastní plynový kotel, lokální plynová nebo elektrická topidla, tak je žádoucí v rámci rekonstrukce navrhnutí centrální zdroj tepla pro celý objekt. Centrální zdroj tepla má řadu výhod z ekonomického i energetického hlediska:

- Vyšší účinnost oproti menším zdrojům tepla
- Možnost integrace obnovitelných zdrojů energie
- V přepočtu na výkon menší pořizovací náklady
- Menší provozní náklady – údržba, servis
- Rovnoměrnější křivka odběru tepla při vyšším počtu odběrných míst
- Lepší možnost implementace do chytrého systému řízení budovy

4.3.1 Rekonstrukce obálky budovy, systém ZZT

Pro určení nejefektivnějších opatření v rámci rekonstrukce pro eliminaci tepelných ztrát byly spočítány 3 varianty rekonstrukce podle rozsahu.

V rámci rekonstrukce se uvažovalo s těmito výrobky a materiály:

- Plastová okna s izolačními trojskly, $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Balkonové dveře s izolačními trojskly, $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vchodové dveře s izolací PUR, $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Kontaktní zateplovací systém z minerální vaty tl. 100 mm
 - Pro stěnu 600 mm, $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Pro stěnu 450 mm, $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Zateplení stropu sklepa minerální vatou tl. 150 mm, $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Zateplení střechy minerální vatou tl. 200 mm, $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Zateplení uliční fasády z interiéru tl. 80 mm, $U =$
 - Pro stěnu 600 mm, $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Pro stěnu 450 mm, $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

Následující tabulka zobrazuje tepelné ztráty prostupem u jednotlivých variant rekonstrukce. V první variantě se uvažuje pouze s výměnou výplní otvorů, což je varianta, která odpovídá současnému stavu objektu. V další variantě se přidá zateplení dvorní fasády kontaktním zateplovacím systémem, zateplení střechy a zateplení stropu nevytápěného sklepa. Specifika materiálů viz. Výše.

Tabulka 3: Tepelná ztráta objektu prostupem pro různé varianty rekonstrukce a procentuální zlepšení oproti původnímu stavu

Stav/rekonstrukce	Tepelná ztráta prostupem	Snížení
	(W)	(%)
Původní stav	46 461	0
Výměna výplní otvorů	38 084	18,0
+ zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa	13 461	71,0
+ zateplení uliční fasády z interiéru	8 964	80,7

Při uvažování přirozeného větrání je ztráta větráním celého objektu je 16,96 kW. (viz. 4.2.1) Celková tepelná ztráta objektu je vyčíslena v následující tabulce.

Tabulka 4: Přehled celkové tepelné ztráty objektu pro jednotlivé varianty rekonstrukce

Stav/rekonstrukce	Celková tepelná ztráta objektu (W)
Původní stav	63 425
Výměna výplní otvorů	55 048
+ zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa	30 425
+ zateplení uliční fasády z interiéru	25 928

4.3.2 Potřeba tepla

Pro výpočet roční potřeby tepla byl použit online výpočtový nástroj na serveru www.tzb-info.cz. (17)

Tabulka 5: Roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV pro jednotlivé varianty rekonstrukce

Stav/rekonstrukce	Vytápění (MWh/ rok)	TUV (MWh/ rok)	Celkem (MWh/ rok)
Původní stav	121,5	57	178,5
Výměna výplní otvorů	105,3	57	162,3
+ zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa	58,2	57	115,2
+ zateplení uliční fasády z interiéru	49,6	57	106,6

Tabulka 6: Měrná potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé varianty rekonstrukce

Stav/rekonstrukce	Měrná potřeba tepla na vytápění (kWh/m ² *rok)
Původní stav	144,3
Výměna výplní otvorů	125,1
+ zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa	69,1
+ zateplení uliční fasády z interiéru	58,9

Tato tabulka slouží především pro srovnání energetické náročnosti budovy s dnešními požadavky na nově postavené budovy, které definuje norma ČSN 73 0540-2. Nízkoenergetické domy musí dle této normy splňovat maximální měrnou potřebu tepla na vytápění 50 kWh/(m²*rok), pasivní domy 15 kWh/(m²*rok). (20)

Pokud bychom se chtěli dostat pod hranici limitu pro nízkoenergetické domy museli bychom nejenom zvolit nejrozsáhlejší variantu rekonstrukce, ale přidat i řešení pro snížení tepelné ztráty větráním, protože samotná rekonstrukce obálky budovy by nestačila. Vzhledem k tomu, že tepelná ztráta větráním je v tomto případě cca 17 kW, tak použití systému ZZT o účinnosti 80 % sníží tuto ztrátu na 3,4 kW. S tímto opatřením dostaneme měrnou potřebu tepla pro vytápění pod limit nízkoenergetického domu s hodnotou 28,15 kWh/(m²*rok), respektive 38,36 kWh/(m²*rok) pro variantu rekonstrukce bez zateplení uliční fasády z interiéru. Hodnoty pro všechny varianty rekonstrukce zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 7: Měrná potřeba tepla na vytápění při použití systému ZZT o účinnosti 80%

Stav/rekonstrukce + ZZT ($\mu= 80\%$)	Měrná potřeba tepla na vytápění (kWh/m ² *rok)
Původní stav	113,42
Výměna výplní otvorů	94,42
+ zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa	38,36
+ zateplení uliční fasády z interiéru	28,15

Pokud uvažujeme použití systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, je nutné podotknout, že případná rekonstrukce by byla jak finančně, tak technicky výrazně náročnější oproti všem předešlým variantám rekonstrukcí. Pro rozvedení přívodů a odvodů větracího vzduchu do všech místností by bylo zapotřebí umístit do většiny objektu podhledy, kterými by byly instalace vedeny. Zároveň by bylo nutné vybourat velké množství prostupů nosnými zdmi pro zavedení vyústek do obytných místností. Umístění vzduchotechnické jednotky by bylo možné řešit v rámci sklepních prostor s vyústěním přes fasádu na dvůr, případně umístěním do nově vzniklé technické místnosti v 6. NP.

Z toho vyplývá, že zavádění systému ZZT do objektu dává smysl pouze v případě rozsáhlé rekonstrukce obálky budovy, čemuž vyhovují varianty rekonstrukce 2 a 3. Následující tabulka zobrazuje procentuální vyjádření účinku ZZT na snížení měrné potřeby tepla na vytápění za rok u jednotlivých variant.

Tabulka 8: Míra snížení měrné potřeby tepla na vytápění u jednotlivých variant rekonstrukce

Stav/rekonstrukce + ZZT ($\mu= 80 \%$)	Měrná potřeba tepla na vytápění		Snížení (%)
	(kWh/m ² *rok)		
	Bez ZZT	ZZT	
Původní stav	144,3	113,42	21
Výměna výplní otvorů	125,1	94,42	25
+ zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa	69,1	38,36	44
+ zateplení uliční fasády z interiéru	58,9	28,15	52

Z tabulky vyplývá, že míra snížení měrné potřeby tepla na vytápění se u variant se zateplením obálky sníží cca o polovinu, zatímco u ostatních variant je efekt zhruba dvakrát menší.

4.3.3 Návrh rekonstrukce

Cílem návrhu rekonstrukce je vytvořit modelový případ, který bude co nejlépe aplikovatelný na širokou škálu historických činžovních domů v Praze, i v celé České republice. Z toho důvodu bylo snahou vybrat co nejjednodušší technické řešení, které by mělo maximální dopad na snížení energetické náročnosti budovy.

Za cílem dosažení nejlepšího poměru snížení energetické náročnosti budovy a rozsahu, resp. nákladnosti rekonstrukce, byla vybrána varianta č. 2 – výměna výplní otvorů + zateplení obálky budovy vyjma uliční fasády. Varianta č. 3 s interiérovým zateplením s sebou nese rizika kondenzace na vnitřní straně nosné konstrukce, zároveň zmenšuje užitnou plochu místností a komplikuje využitelnost stěn pro uchycení prvků, např. radiátory, nábytek atd. Zároveň její přínos oproti variantě č. 2 s menším rozsahem zateplení je pouze necelých 10 %, zatímco rozdíl výměny oken a varianty 2 je více než 50 % (viz. Tabulka 8). Z těchto důvodů se varianta č. 2 jeví jako nejlepší řešení.

V rámci interiérů bytů zůstávají obytné místnosti nedotčeny, výjimkou je pouze dodatečná instalace rozvodů topení do stěn v bytech, kde jsou v současnosti ještě lokální plynová topidla. V rámci chodeb a koupelen budou zhotoveny nové podlahy, do kterých se uloží rozvody topení a zároveň se budou instalovat podhledy, do kterých se umístí rozvody vzduchotechniky. Systém větrání je použit rovnotlaký pro maximální úsporu energie na vytápění. Systém VZT bude opatřen zařízením pro zpětné získávání tepla (ZZT), které má účinnost rekuperace 80 %. Systém má přívody čerstvého vzduchu do obytných místností výústkami umístěnými pod stropem ve stěně. Potrubí je k vyústce vedeno v rámci podhledu umístěného v chodbě, nebo v koupelně. Tím se zajistí, že obytné místnosti si zachovají světlou výšku a nebude nutná instalace podhledu, což urychlí a zlevní stavbu. Odvod odpadního vzduchu bude vždy umístěn v koupelně v podhledu. Do všech dveří větraných místností je nutné umístit větrací mřížky o dostatečné kapacitě průtoku, aby bylo zajištěno dostatečné proudění vzduchu v rámci celého bytu.

Návrhové hodnoty budovy po rekonstrukci zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 9: Přehled návrhových hodnot pro variantu rekonstrukce č. 2 v kombinaci se systémem ZZT

Varianta č. 2 – výměna výplní otvorů + zateplení dvorní fasády, střechy, sklepa		
Tepelná ztráta prostupem	13 461	W
Tepelná ztráta větráním ($\mu= 80 \%$)	3 392	W
Roční potřeba tepla pro vytápění	32,3	MWh/rok
Roční potřeba tepla pro ohřev TUV	57	MWh/rok

4.3.4 Návrh zdroje tepla – tepelné čerpadlo

Pro dimenzování zdroje tepla byly použity návrhové hodnoty ročních potřeb tepla, které zobrazuje Tabulka 9 v předchozí kapitole. Návrh tepelných čerpadel byl konzultován s technikem ze společnosti Nibe a výpočet byl proveden pomocí softwaru Nibe DIM, pro dimenzování tepelných čerpadel. Finální návrh zdroje tepla je kaskáda tepelných čerpadel vzduch – voda Nibe F2120-16 a Nibe F2120-12 o výkonech 16 a 12 kW.

ENERGETICKÁ ÚČINNOST BUDOVY

Potřeba energie pro vytápění	89300 kWh/rok
- z toho teplá voda	57000 kWh/rok
Doplňková energie	1286 kWh/rok
Požadavek na výkon	24,5 kW

PŘED INSTALACÍ TČ

Nakupovaná energie	-Elektřina	89300 kWh/rok
	-Elektřina	1286 kWh/rok

PO INSTALACI TČ

Nakupovaná energie	-Elektřina	25773 kWh/rok
	-Elektřina Doplnkový zdroj	649 kWh/rok

ÚSPORY

Úspory	(Energetická účinnost budovy)	64163 kWh/rok
Reduced energy to purchase		62877 kWh/rok
Úspory CO2		5724 kg/rok

KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Průměrná roční venkovní teplota	9,3 °C
Výpočtová venkovní teplota	-12,0 °C

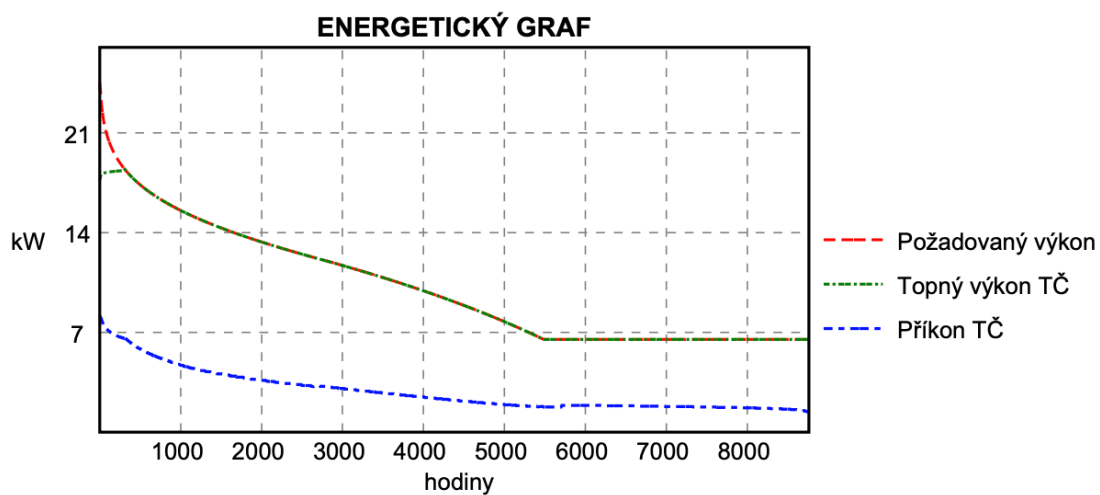
PODMÍNKY BUDOVY

Prostorová teplota	22,0 °C
Topení vypíná při venkovní teplotě	14,0 °C
Teplota výstupní vody při výpočtové teplotě	55 °C
Teplota vratné vody při výpočtové teplotě	45 °C

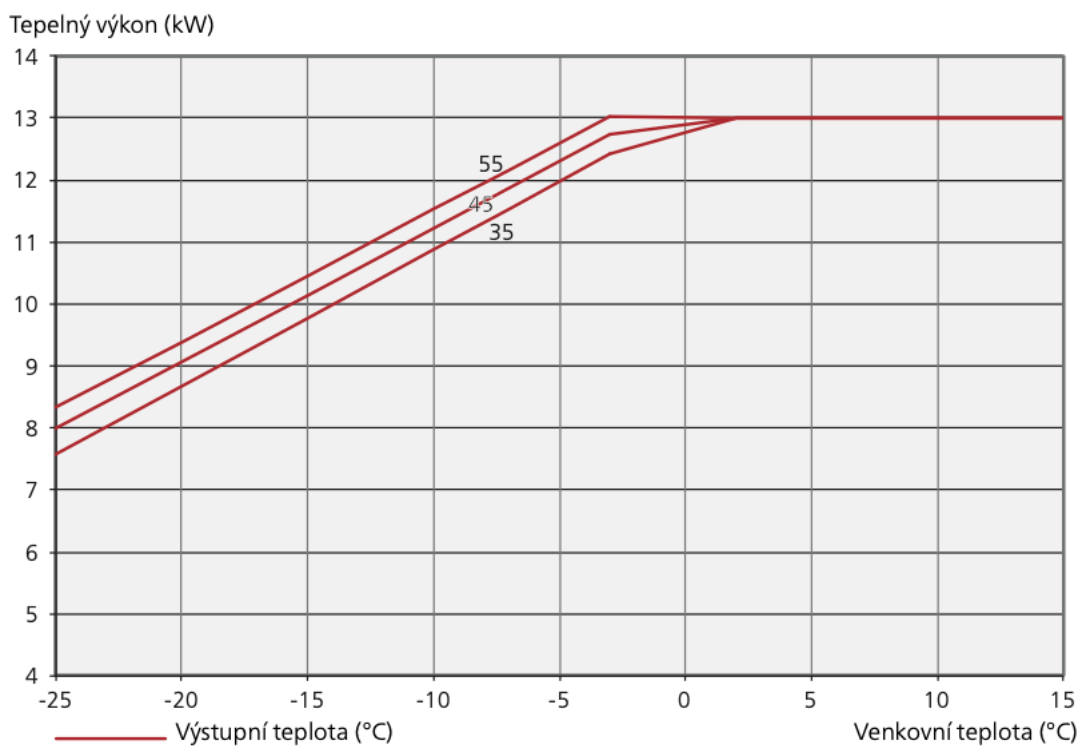
ENERGETICKÁ BILANCE S

-NIBE F2120-16	1 ks
-NIBE S2125-12	1 ks
Energie dodaná TČ	88651 kWh/rok
Energie spotřebovaná TČ	25051 kWh/rok
Doplňkový zdroj, celková energie	649 kWh/rok
Energie pro oběhové čerpadlo vytápění	722 kWh/rok
Energetické pokrytí	99 %
Roční topný faktor, čistý	3,5
Roční topný faktor, celkový	3,4
Regulace teploty topné vody	Ekvitermní
Topný výkon TČ při výpočtové teplotě	17,7 kW
Příkon TČ při výpočtové teplotě	8,1 kW
Doporučený doplňkový zdroj, výkon	6,9 kW
Výkonové pokrytí	72 %
Teplota bivalence	-3,2 °C

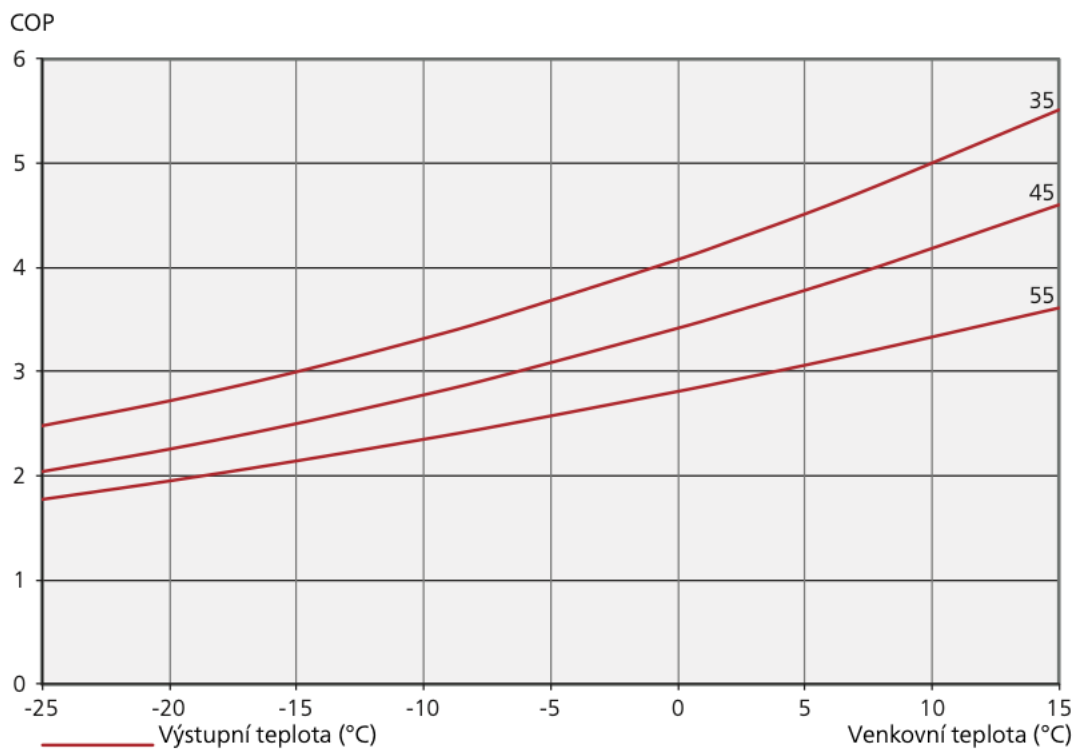
Obrázek 22: výsledky výpočtu v softwaru Nibe DIM



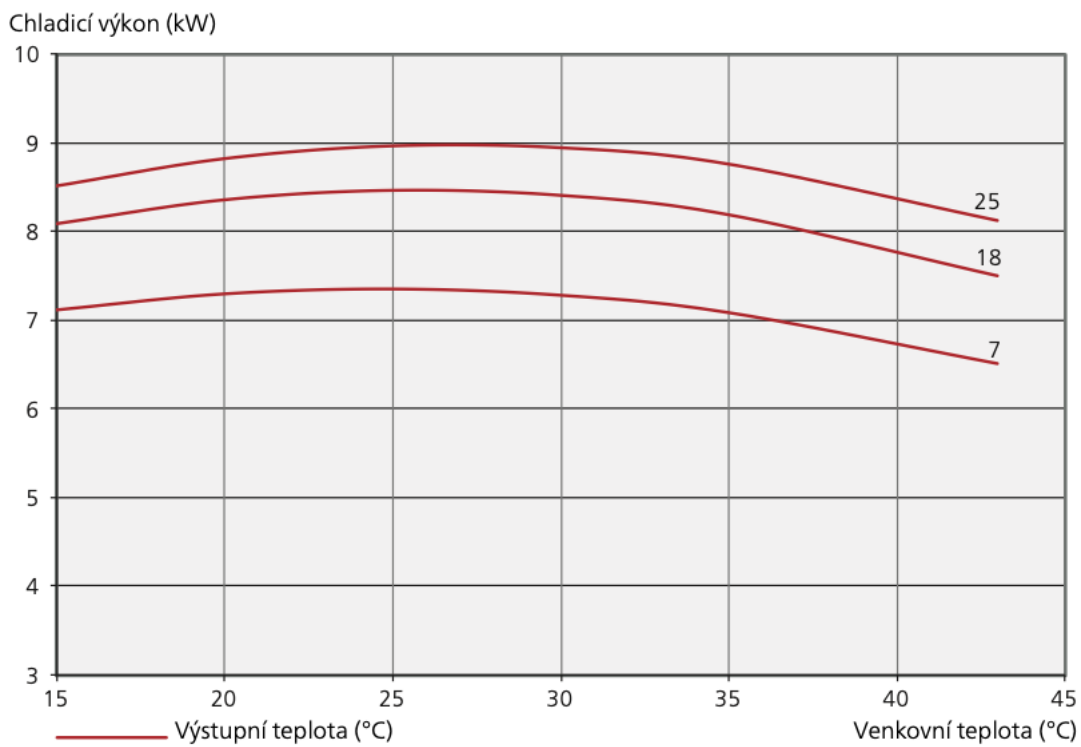
Obrázek 23: Energetický graf pro kaskádu tepelných čerpadel F2120-16 a S2125-12



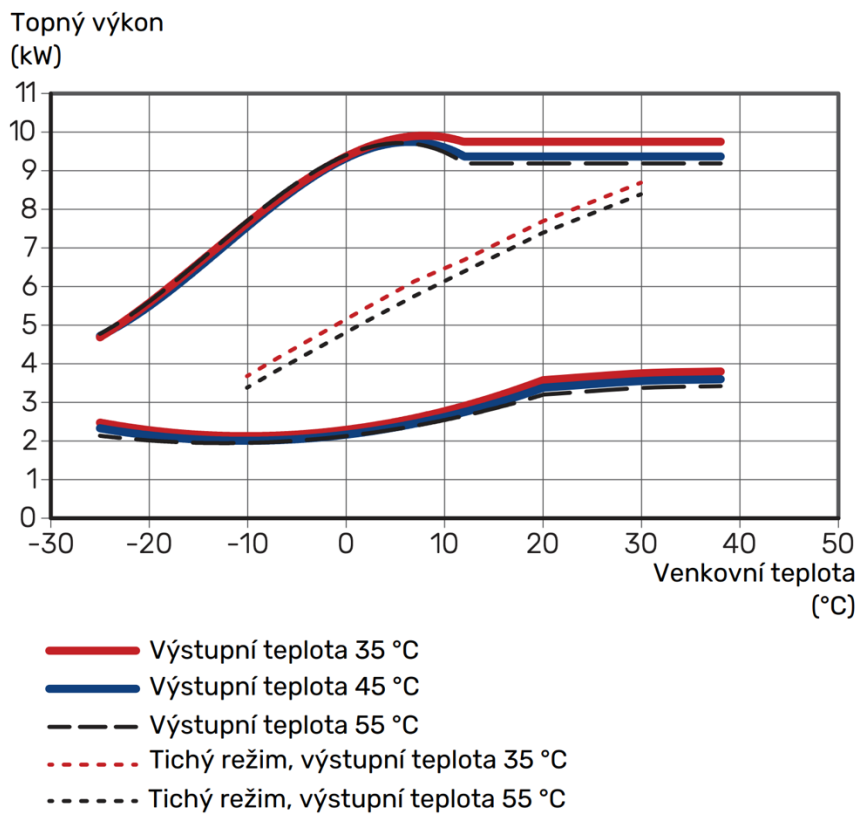
Obrázek 24: Průběh tepelného výkonu F2120-16 (21)



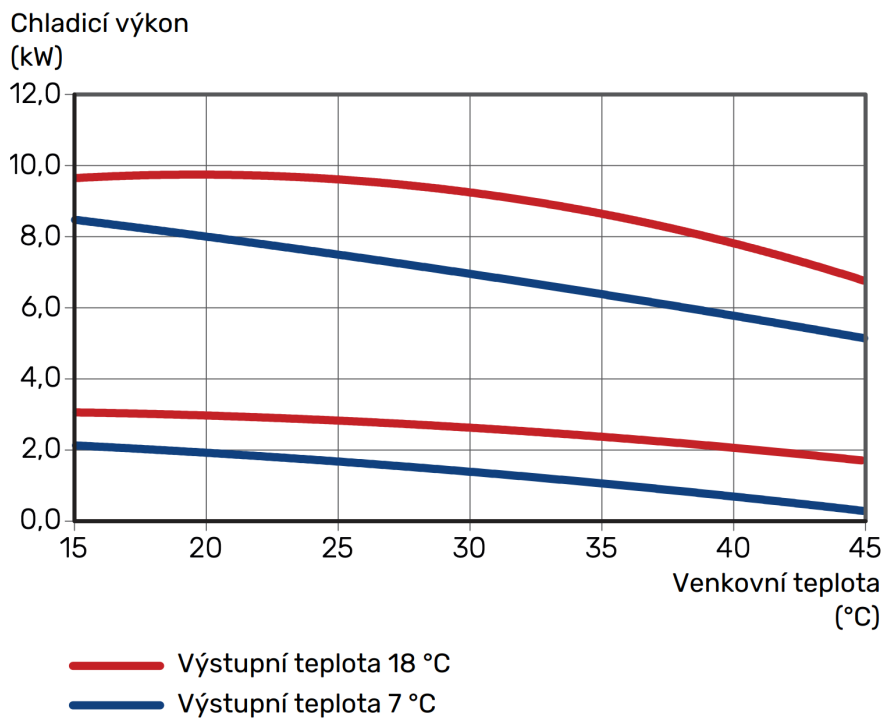
Obrázek 25: COP F2120-16 (21)



Obrázek 26: Chladicí výkon F2120-16 (21)



Obrázek 27: Průběh topného výkonu S2125-12 (22)



Obrázek 28: Maximální a minimální chladicí výkon S2125-12 (22)

4.3.5 Fotovoltaika

Pro maximální snížení množství energie dodané do budovy z vnějších zdrojů se při použití tepelných čerpadel spolu s elektrickým ohřevem, jako zdroj tepla, se nabízí použití fotovoltaické elektrárny jako dalšího zdroje energie. Elektřina z fotovoltaiky bude používána pro:

- Pohon kompresorů v tepelných čerpadlech v režimu vytápění i chlazení
- Elektrický ohřev vody v zásobníku TUV při nedostatečném výkonu TČ
- Pohon kompresoru ve vzduchotechnické jednotce
- Spotřeba elektřiny ve společných prostorách domu
- Spotřeba elektřiny v rámci domácností
- Prodej na spotovém trhu

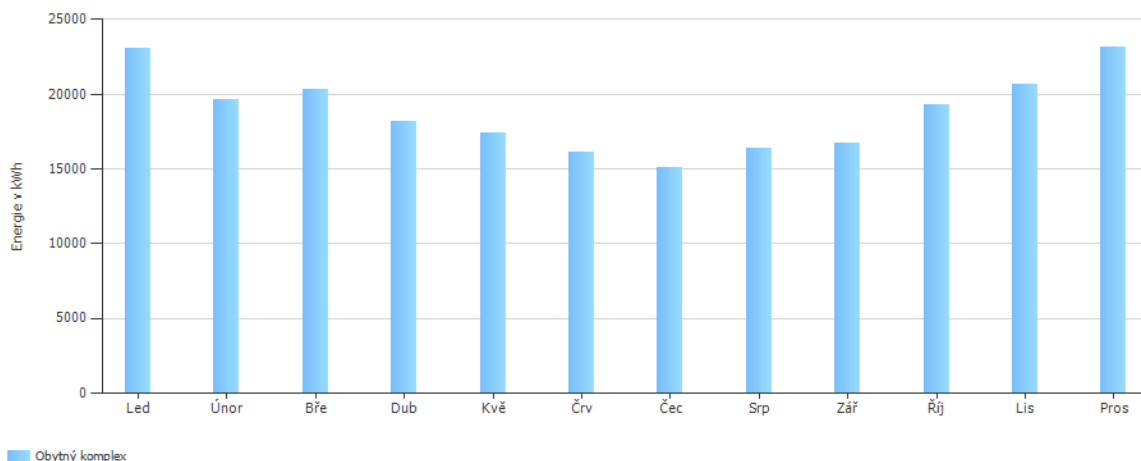
Jelikož k objektu nejsou data o spotřebě elektrické energie, je nutné vycházet z veřejně dostupných informací průměrné spotřeby v dané lokalitě pro tento typ budovy. Z výsledků studie EU „Energy Savings Potentials in EU Member States“ (3) vyplývá, že v mírném klimatickém pásmu u starých domů je průměrná spotřeba 269 kWh/m² ročně. Při celkové podlahové ploše obytných částí domu a restaurace 842 m² vychází celková roční spotřeba elektrické energie na 226 MWh.

Při umístění panelů na střechu se nabízí několik variant. Vzhledem ke tvaru a orientaci střechy můžeme zvolit jižní nebo severo – jižní orientaci panelů. Dále můžeme uvažovat s odstraněním objektů a komínů na střeše při rozsáhlé rekonstrukci a přechodu na FV zdroj energie a tím navýšit plochu panelů. Poslední variantou je umístění panelů stejným způsobem na všechny domy v rámci bloku a uvažovat se sdílením vyrobené energie. Všechny tyto varianty jsou detailněji popsány, na základě simulace v programu PV*Sol Premium, v následujících podkapitolách.

Společné parametry pro všechny varianty návrhu

- cena elektřiny 5 Kč/kWh
- koeficient změny cen elektřiny 2 %/rok
- výkupní cena elektřiny 2 Kč/kWh

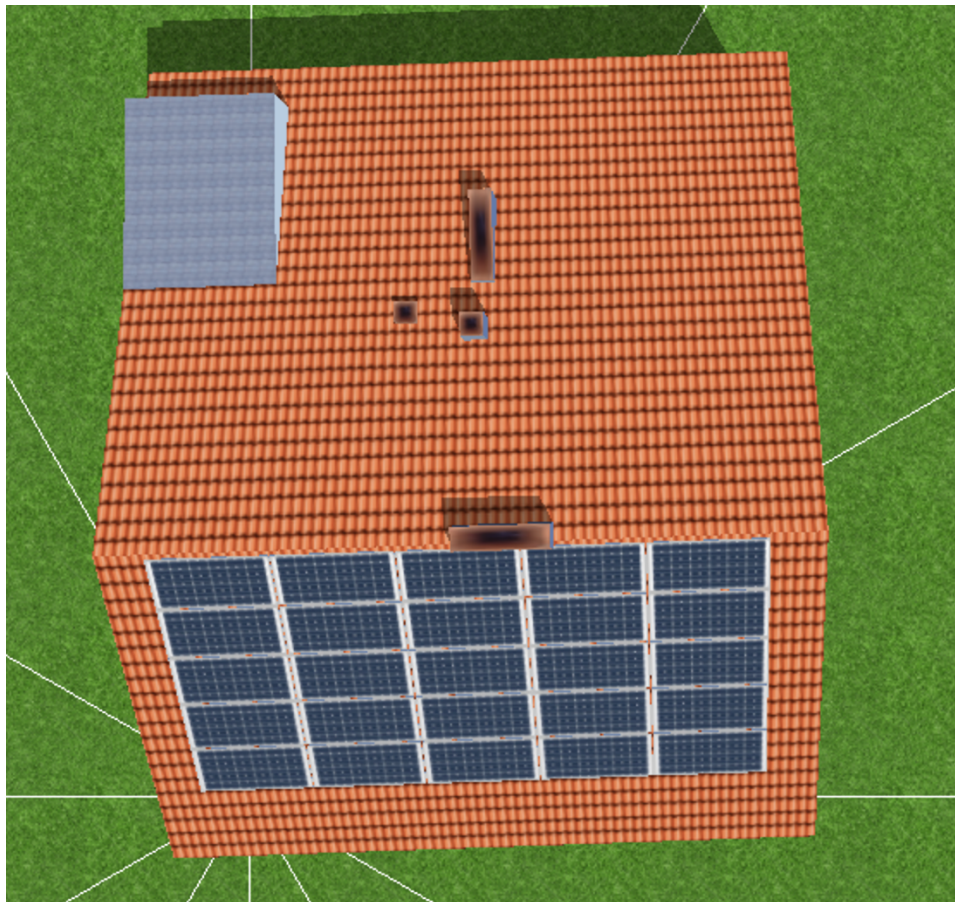
- náklady 40 000 Kč/kWp (30 000 Kč/kWp pro var. celého bloku)
- panely Suntech Power 550 Wp
- profil spotřeby během roku pro obytný komplex



Obrázek 29: Graf spotřeby elektrické energie v průběhu roku pro obytný komplex (23)

4.3.5.1 Orientace panelů jih

Toto řešení má vysokou pravděpodobnost na schválení odborem památkové péče, jelikož jeden z domů v bloku, který má stejnou orientaci střechy, tak má panely umístěny na jižní stranu podobným způsobem, jako v tomto návrhu. Zároveň je výhodné z hlediska maximálního energetického výnosu, jelikož má optimální orientaci – na jih a ideální sklon pro celoroční užívání – 35°. Celá instalace navíc nepůsobí rušivým dojmem, jelikož na této straně střechy nejsou žádné překážky a panely tedy mohou být umístěny pravidelně a symetricky.

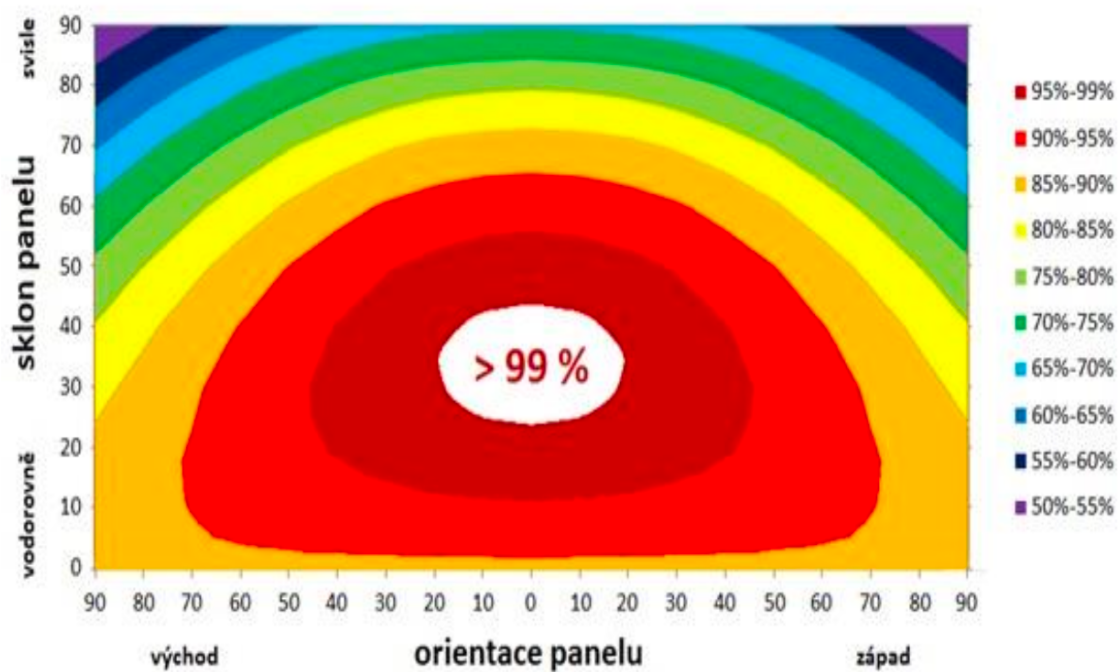


Obrázek 30: varianta umístění panelů na jižní stranu střechy (23)

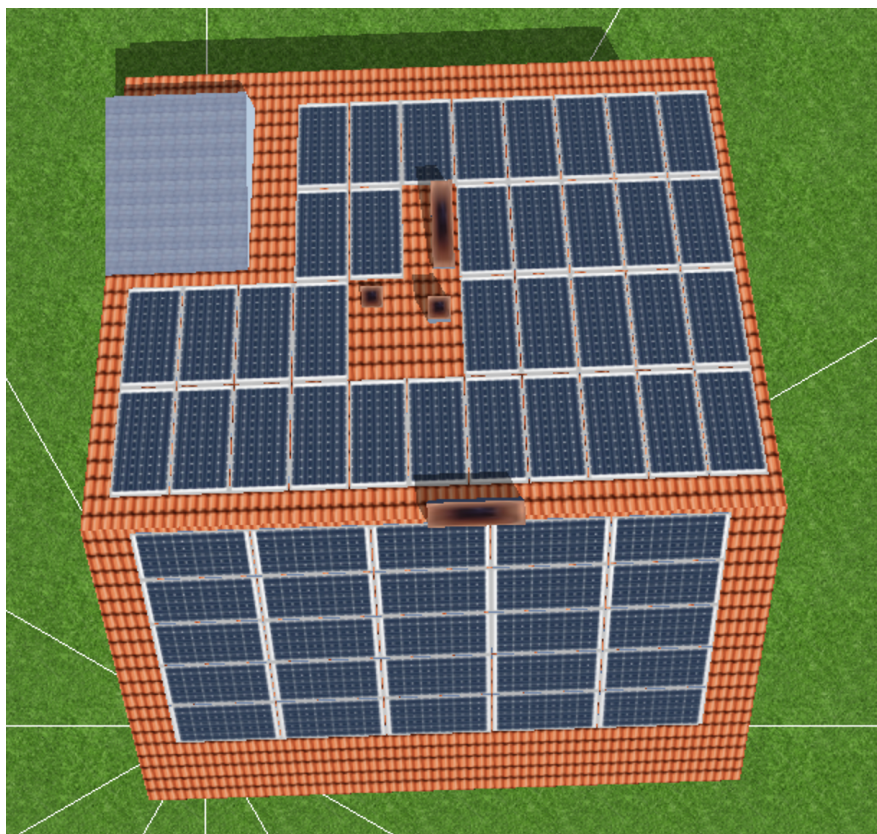
4.3.5.2 Orientace panelů sever + jih

Tato varianta se snaží o maximální využití potenciálu střechy bez dalších úprav, jako je odstranění objektů na střeše – komínů a vikýře. Výhodou je, že severně orientovaná polovina střechy má menší sklon – 15° , což jak je zobrazeno v následujícím grafu (Obrázek 32) je pro tuto orientaci výhodnější a díky tomu může být tento návrh ekonomicky zajímavý.

Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu



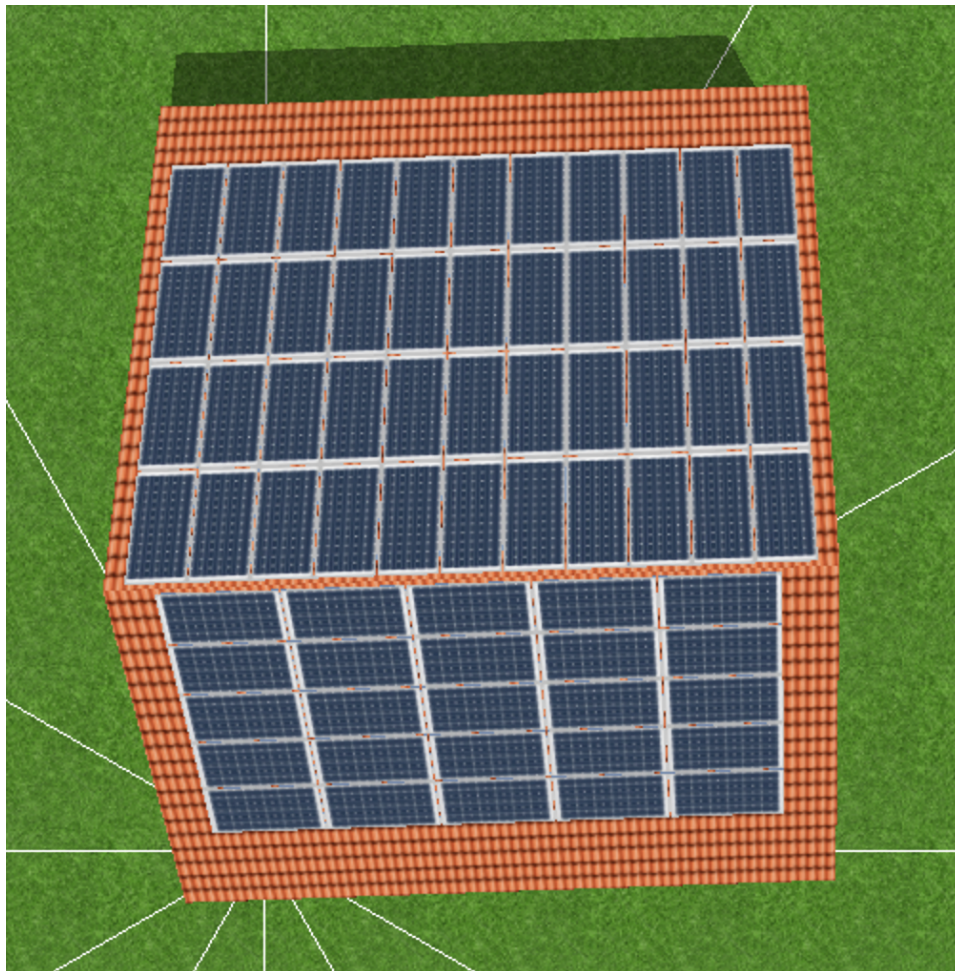
Obrázek 31: graf výnosu energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu (24)



Obrázek 32: umístění panelů na severní i jižní straně střechy (23)

4.3.5.3 Orientace panelů sever + jih s rekonstrukcí střechy

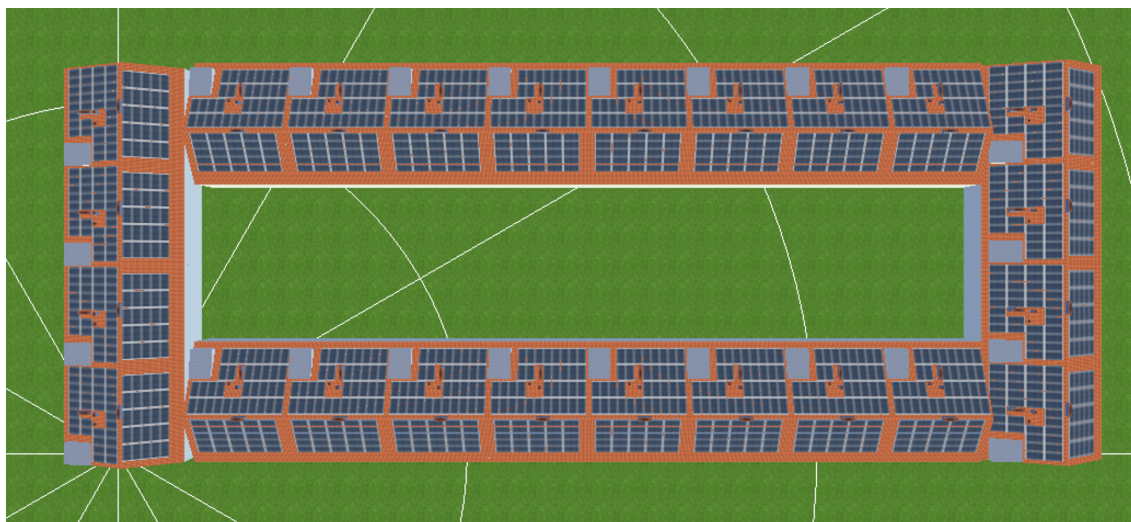
V této variantě se uvažuje s umístěním FV panelů v rámci komplexní rekonstrukce, při které by se vyměnili původní plynové zdroje tepla v bytech a odstranili se komínová tělesa ze střechy. Tím by se navýšila využitelná plocha střechy a zároveň by se instalace působila více symetricky a esteticky, což může zvýšit šanci na schválení odborem památkové péče.



Obrázek 33: umístění panelů na severní i jižní straně střechy po odstranění objektů na střeše (23)

4.3.5.4 Panely na všech budovách bloku

V poslední variantě byly umístěny panely na všechny domy v rámci blokové zástavby. Pro zjednodušení se uvažovalo, že všechny domy budou stejné a instalace panelů odpovídá variantě severo – jižní orientace se zachováním stávajících objektů na střeše, tedy bez nutné kompletní rekonstrukce střechy.



Obrázek 34: umístění panelů na všechny objekty v rámci bloku (23)

4.3.5.5 Porovnání variant

Následující tabulka porovnává parametry jednotlivých variant.

Varianta panelů	Počet modulů	Výkon	Energetický výnos	Úspora	Baterie	Náklady	Spotřeba
	Ks	kWp	kWh/rok	Kč/rok	kWh	Kč	MWh/rok
J	25	11,6	14 757	73 799	15,4	464 000	226
S + J	60	33	28 159	140 744	15,4	1 320 000	226
S + J, nová střecha	69	38	32 959	156 615	15,4	1 520 000	226
Celý blok domů	1440	792	671 281	3 186 013	304	23 760 000	5 876

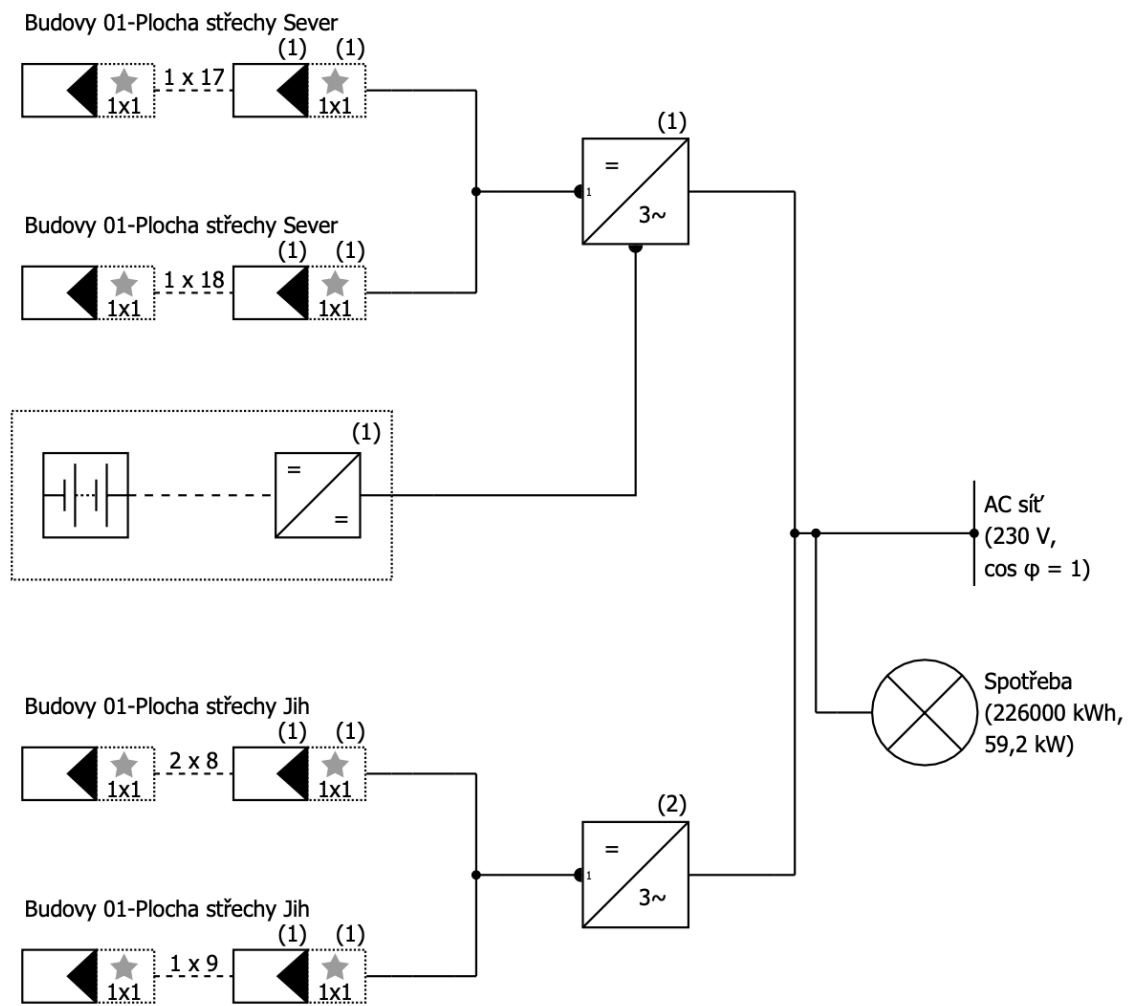
Z výsledků simulací jednotlivých variant je patrné, že z hlediska maximalizace výkonu a tím i energetického ročního výnosu je výhodné instalovat panely i na severní stranu střechy, kdy se energetický výnos během roku cca zdvojnásobí, s čímž se zároveň zdvojnásobí i měsíční úspora za elektřinu odebranou ze sítě. Měsíční úspory za elektřinu jsou ve všech variantách poměrně vysoké a doby návratnosti by tak vycházely velice krátké i bez započtení státní dotace, to je způsobeno tím, že spotřeba je v poměru k instalovanému výkonu velice vysoká, tudíž se počítá s okamžitou 100 % spotřebou vyrobené elektřiny a tím i maximální úspoře za kupovanou energii. Tyto výpočty se

mohou změnit na základě přesnější znalosti spotřeby objektu, pro kterou v tuto chvíli chybí podklady a data.

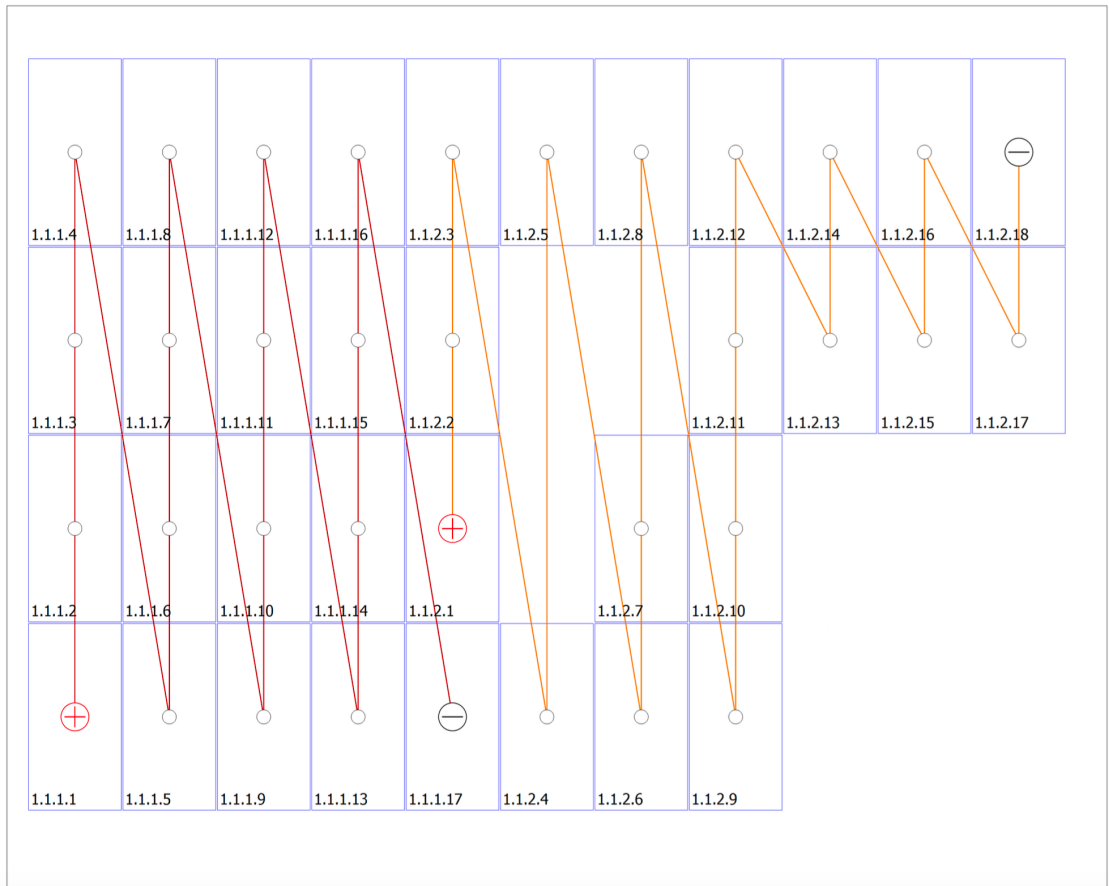
4.3.5.6 Návrh

Ve snaze minimalizovat stavební úpravy objektu za současné maximalizace úspor byla vybrána varianta č. 2 – umístění panelů na severní i jižní stranu střechy při zachování původních objektů na střeše. Tato varianta zároveň nejlépe vystihuje typická stav střech činžovních domů z této doby a je proto aplikovatelná pro nejširší škálu historické zástavby. Varianta bez nutné rekonstrukce střechy má také vyšší pravděpodobnost schválení odborem památkové péče. Nutno zmínit, že v tomto konkrétním případě byly však schváleny všechny varianty umístění panelů, včetně umístění panelů na celý blok domů, což dává potenciál k budoucí možnosti využití prodeje elektřiny mezi sousedními domy v rámci komunitní energetiky. Problematika ohledně zákona o komunitní energetice je popsána v kapitole 6.1.3.

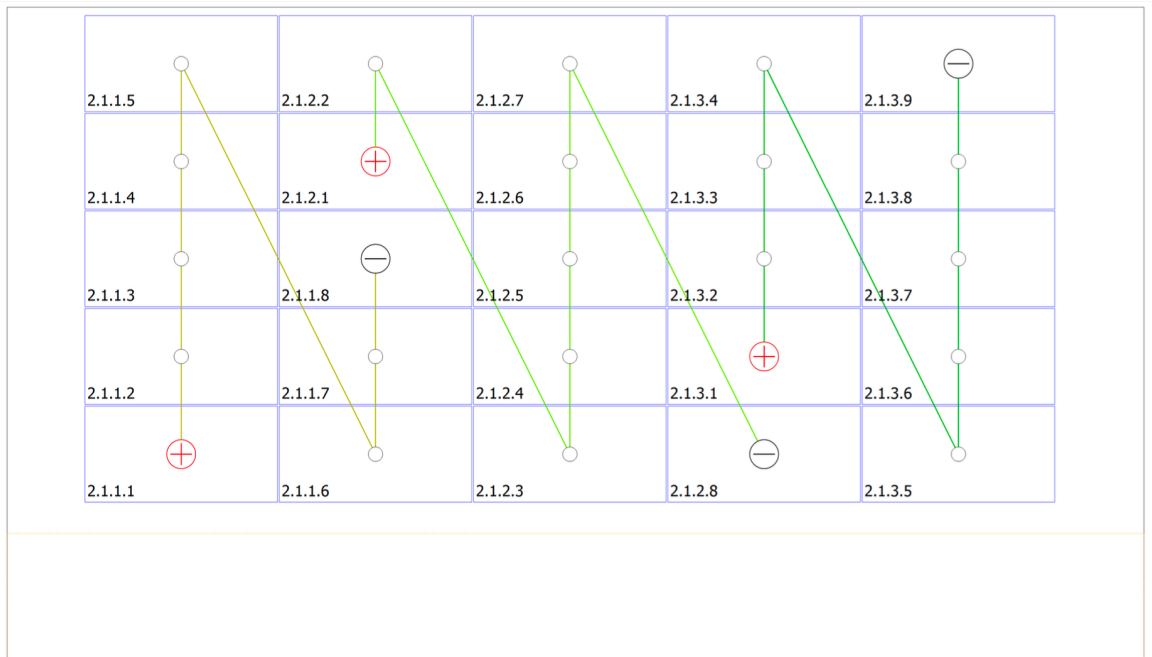
Podrobnější popis struktury navrženého systému včetně konkrétních komponent je popsán v technické zprávě.



Obrázek 35: Schéma zapojení navrženého fotovoltaického systému



Obrázek 36: Schéma zapojení stringů – severní část střechy



Obrázek 37: Schéma zapojení stringů – jižní část střechy

5 AI v systémech řízení budov

5.1 Úvod

Hlavním cílem této části práce je ověřit potenciál využití umělé inteligence v oboru stavebnictví, a především v systémech řízení budov. Jelikož je tento obor zatím v počáteční fázi vývoje, tak se upustilo od původního záměru zkoumání využívání umělé inteligence v praxi a tato práce je více zaměřena na teoretické a koncepční možnosti využití umělé inteligence v systémech řízení budov.

5.2 Schlieger

Firma Schlieger je českým dodavatelem obnovitelných zdrojů energie. Od roku 2015 se zabývá i vývojem svých vlastních produktů. Na začátku vývoje bylo vlastní tepelné čerpadlo, na které postupně navázal vývoj nabíjecích stanic pro elektromobily, bezrámový fotovoltaický panel a v dnešní době se firma soustředí na vývoj komplexního systému pro řízení spotřeby elektřiny v budově, který je schopen využívat umělou inteligenci.

„Smart systém“, jak ho firma nazývá, je schopen řídit spotřebu elektřiny pro vytápění, chlazení, ohřev TUV, ohřev bazénu a nabíjení elektromobilů. Přebytky elektřiny je systém schopen zobchodovat na burze s cílem prodeje za nejvyšší spotové ceny. Se systémem jsou kompatibilní nové typy baterií, hybridní asymetrické střídače, tepelná čerpadla a nabíječka na elektromobil, které nesou označení „A.I. ready“. Cílem tohoto systému je zkrátit dobu návratnosti investic do obnovitelných zdrojů a zvýšit uživatelský komfort. Systém je zároveň schopen učit se chování uživatelů objektu a prediktivně řídit výrobu i spotřebu. Pro vyhodnocování jsou používány údaje o předpovědi počasí, zastínění panelů během dne, nebo preference konkrétních členů domácnosti. Firma udává, že systém bude schopen urychlit návratnost investice do fotovoltaické elektrárny až o 30 %.

V blízké době bude uveden na trh „Smart A.I. Box“, který bude řešit přerozdělení elektrické energie v rámci komunitní energetiky, jejíž fungování v praxi by mělo začít

v druhé polovině roku 2024. Jedná se o miniaturní počítač, který bude schopen pomocí umělé inteligence vyhodnocovat optimální přerozdělení elektrické energie v rámci skupiny odběrných míst. (25)

5.3 Johnson control – Open blue

Komplexní otevřený systém pro řízení budov. Využívá data z budovy a z jejího okolí, pro jejich vyhodnocování používá AI. Hlavními cíli Open blue systému je zajistit, aby budova byla bezpečná, zdravá a udržitelná. Jedním z hlavních cílů systému je optimalizovat spotřebu energie budovy tak, aby vyhověla požadavkům na „net zero energy building“. Dalšími cíle systému jsou:

- Optimalizovat spotřebu energie
- Ušetřit energii a snížit náklady
- Snížit emise
- Zlepšit vnitřní kvalitu vzduchu
- Optimalizovat výkon zařízení (především průmysl)
- Diagnostika v reálném čase a prediktivní údržba

Jedním z hlavních odvětví, kterému se Open blue věnuje je využití AI pro „computer vision“, tedy analýza obrazu z bezpečnostních kamer.

Rozsah schopností systému:

- Detekce „vymetání“ regálu: Monitoruje aktivitu v regálu pro rozsáhlé odběry/krádeže položek, takže personál v obchodě může přijmout preventivní opatření ke zmírnění krádeže. Upozorňuje spolupracovníky na nízké zásoby a sleduje pohyb položek s vysokou hodnotou, které jsou odebrány z regálů
- Monitorování automobilů: Monitoruje parkoviště a identifikuje neoprávněná vozidla, opuštěná vozidla a čekací doby zákazníků s cílem zmírnit organizovaný zločin v maloobchodě a zlepšit zákaznickou zkušenost

- Sledování „povalování“: Pomáhá maloobchodníkům zmírňovat události organizovaného zločinu tím, že identifikuje jednotlivce, kteří se zdržují v oblastech s nízkým provozem po pracovní době, kdy je pravděpodobnější výskyt trestné činnosti.
- Výstraha na skupiny osob: Monitoruje skupiny vstupující nebo tvořící se v obchodech a upozorňuje spolupracovníky, aby zabránila událostem organizovaného zločinu.
- Analýza pohybu osob v budově: Sleduje trasy a pohyb nakupujících po celém podlaží, aby usnadnil efektivnější rozvržení dispozice, skladování
- Detekce uklouznutí a pádu: Monitoruje prodejní plochy pro nakupující, kteří se mohli zranit v prostorách
- Měření publika: Poskytuje přehled o demografických údajích a náladách nakupujících, takže maloobchodníci jsou vybaveni nezbytnými daty k zajištění výjimečných nákupních zážitků přizpůsobením marketingových plánů, akcí a nabídek jejich jedinečné zákaznické základně.
- Měření doby prodlevy: Analyzuje dobu, kterou zákazníci stráví interakcí s různými displeji, aby pomohla maloobchodníkům vyhodnotit efektivitu jejich kampaní a propagačních akcí.

Jelikož systém pracuje s velkým množstvím citlivých dat, je kladen velký důraz na vysokou úroveň zabezpečení systému.



Obrázek 38: Systém Open blue

5.4 Sener – Respira

Společnost Sener je skupiny s podíly ve firmách zabývajících se leteckým průmyslem, stavebnictvím a energetickou. V roce 2020 vyvinula inteligentní systém Respira, který byl primárně určen pro Barcelonské metro. Cílem bylo zmenšit riziko nákazy koronavirem a zlepšit efektivnost systému větrání a tím snížit náklady na provoz.

Systém zpracovává informace od meteorologických agentur, ze senzorů uvnitř i vně budovy a kombinuje je s veškerými parametry souvisejícími s chováním instalace. Následně za pomoci AI predikuje meteorologické podmínky a energetické potřeby za různých provozních podmínek. Podle výsledků automaticky upravuje provoz HVAC systému s cílem dosáhnout požadovaných podmínek v interiéru, a to s co nejmenší spotřebou energie.

Konkrétně Barcelonské metro dokázalo díky tomuto systému ušetřit ročně 1,7 milionu EUR za energie potřebné pro provoz systému vzduchotechniky.

Systém respira je ale zároveň možno implementovat do obytných budov, a to i do systémů, které jsou již v provozu a při jejich návrhu se nepočítalo s inteligentním

řízením. Systém může mít buďto fyzickou centrálu přímo v budově a nebo je varianta instalace cloudového systému, kdy je systém řízen na dálku. (26)

5.5 BrainBox AI

Kanadská společnost BrainBox AI poskytuje řešení, která umožňují automatické sběry dat a výpočty emisí dle GHG protokolu, což je mezinárodní standard pro měření a správu emisí skleníkových plynů. Tyto data umožňují identifikovat oblasti, kde je možné zlepšit energetickou intenzitu budovy. AI řízená cloudová optimalizační řešení HVAC systémů společnosti se dokáží připojit i k existujícím systémům a autonomně odesílají optimalizované řídicí příkazy v reálném čase, aby minimalizovaly emise a spotřebu energie. BrainBox AI také pomáhá firmám se získáním ověřených uhlíkových offsetů, což umožňuje financovat zelené iniciativy, jako je technologie zachycování uhlíku, řešení založená na přírodě a projekty obnovitelné energie. (27)

Klienti BrainBox AI hlásí snížení emisí způsobených HVAC až o 40 % a snížení nákladů na energii až o 25 %. Společnost tvrdí, že její řešení přináší hodnotu napříč různými typy budov, včetně obchodů, kancelářských budov, nákupních center a dalších komerčních prostor. BrainBox AI je považován za průkopníka autonomních AI řešení pro postavené prostředí a byl uznán za jednu z nejlepších inovací roku 2020 časopisem TIME. (27)

5.6 Závěr

Hlavním problémem tématu AI ve stavebnictví je v současné době fakt, že firmy nechtějí sdělovat podrobnosti o technologiích, které jsou ve fázi vývoje a rozhodují o postavení na trhu v následujících letech. I přes opakované pokusy kontaktovat firmy, které se výzkumem v oblasti AI zabývají, se nepodařilo dostat jakékoli další informace mimo ty, které jsou veřejně dostupné a často velice vágní. Stejně tak se nepodařilo ověřit potenciál reálného využití v systémech řízení budov. V těchto oborech je nutné vyčkat, až se finální produkty dostanou na trh a bude možné ověřit jejich funkcionalitu a efektivnost.

Umělá inteligence je v současné době schopná pracovat s obrazovým formátem, ať už se jedná o úpravu fotek, vytváření zcela nových grafických zobrazení (např. půdorysy a vizualizace budov), nebo analýzu obrazu zachyceného bezpečnostními kamerami. Dnes, kdy bezpečnostní kamery jsou hojně užívány na veřejných místech po celém světě, má využití umělé inteligence pro analýzu dat z nich získaných rozsáhlý potenciál, viz. 5.3. Zároveň je s tím ale spojena problematika ochrany soukromí, jelikož systém sbírá obrovské množství citlivých dat, která jsou snadno zneužitelná. Extrémním příkladem toho je dnešní Čína, kde je systém zneužíván pro penalizaci občanů porušujících pravidla/zákony.

6 Koncept využití AI v řízení činžovního domu po rekonstrukci

Po rekonstrukci činžovního domu se nabízí ideální příležitost implementovat systémy řízení používající umělou inteligenci pro maximální využití nově instalovaných technologií pro zlepšení energetické efektivity, komfortu obyvatel a celkové udržitelnosti budovy. AI systémy dokážou předvídat špičky v odběru energie a podle toho upravovat provoz jednotlivých zařízení tak, aby byla zajištěna maximální efektivita. K tomu využívají data ze senzorů i externích zdrojů a řídí spotřebu energie v reálném čase. Zařízení, které byly v rámci rekonstrukce navrženy a mohou být řízeny inteligentním systémem:

- Tepelné čerpadlo
- Bezdrátově ovládané termostatické hlavice na otopných tělesech
- Elektrický ohřev v zásobníku TV
- VZT jednotku
- Umělé osvětlení

Jakými způsoby může systém tyto zařízení řídit popisuje následující kapitola.

6.1 Způsoby optimalizace spotřeby energie

6.1.1 Optimalizace průběhu křivky odběru

6.1.1.1 *Předstih vytápění/chlazení podle tepelné setrvačnosti budovy*

Systém inteligentního řízení může v režimu vytápění nebo chlazení kalkulovat s tepelnou setrvačností budovy díky masivní nosné konstrukci. Na základě reakce budovy na změnu teploty v interiéru, nebo v exteriéru je možné předvídat potřebu energie dodané pro vytápění nebo chlazení, aby byl dodržen tepelný komfort. Toho lze využít tak, že budovu bude systém chladit nebo vytápět s předstihem v době, kdy je energie dostatek, nebo přebytek. Typicky v letních měsících může budovu nachladit v noci a přes den již nebude potřeba plný výkon chladicí soustavy. Jelikož v noci nebude fotovoltaická elektrárny produkovat žádnou energii, využije se buďto nabitých baterií z předchozího dne, nebo levné elektřiny ze sítě v době nízkého tarifu. Další variantou je využít energie během dne, kdy je menší obsazenost bytů a produkce z fotovoltaiky je maximální.

V zimě bude systém fungovat na stejném principu, s tím rozdílem, že přes noc se bude budova vytápět, a kromě energie z baterií lze využít energii uloženou v zásobníku teplé vody. Takovéto výkyvy teplot během natápění, případně nachlazování budovy musí být samozřejmě v rámci mezí tepelného komfortu. Bude se tedy jednat o rozdíl v teplotě maximálně 2 až 3 °C. I takto malý rozdíl může díky velké tepelné kapacitě konstrukcí budovy ušetřit velké množství energie díky prediktivnímu chování systému.

6.1.1.2 *Předstih vytápění/chlazení v návaznosti na předpověď počasí*

Tento princip využívá stejnou logiku, která je popsána v předchozí kapitole s tím rozdílem, že při plánování systém kalkuluje i s předpovídanou teplotou a intenzitou slunečního záření, a tedy s produkcí z fotovoltaiky.

6.1.1.3 *Predikce chování/spotřeby podle chování obyvatel domu*

Na základě vypořádání dlouhodobých trendů obyvatel domu je schopen systém kalkulovat s obsazeností bytů a tím i se spotřebou energie. Dalším krokem může být

propojení s kalendářem obyvatel čímž se práce systému ještě více zefektivní. Jeden z příkladů využití těchto informací je odložení startu spotřebičů jako je typicky pračka, myčka nebo sušička. Ideálně by tyto spotřebiče měly být v provozu v době kdy je levná elektřina na spotovém trhu (typicky v noci, nebo uprostřed dne) anebo když je dostatečná produkce z fotovoltaiky, nebo jsou nabitě baterie. Zároveň ale obyvatelé domu musí mít možnost definovat si časové rozmezí, kdy mohou být spotřebiče v provozu a kdy mají být jejich programy ukončeny.

6.1.2 Prodej elektřiny na burze v závislosti na spotové ceně

Tato problematika je popsána v kapitole 6.2.

6.1.3 Prodej elektřiny sousedním domům v rámci komunitní energetiky

Novela zákona č. 458/2000 Sb. (energetický zákon) vešla v platnost 1. ledna 2024 a zavedla do českého právního řádu tzv. komunitní energetiku. Stěžejní část novely o sdílení elektřiny vejde v platnost až 1. července 2024. Tato novela, často označovaná jako „Lex OZE II“, umožňuje vznik energetických společenství a sdílení elektřiny mezi jejich členy. Právní rámec je zaměřen na podporu decentralizace výroby a spotřeby energie, což umožní komunitám aktivně se podílet na energetickém trhu a sdílet mezi sebou místně vyrobenou energii z obnovitelných zdrojů. Díky této novele budou schopny bytové domy jednodušeji sdílet vyrobenou elektřinu z fotovoltaické elektrárny nejen v mezi členy SVJ, ale také s dalšími objekty díky energetickým společenstvím.

Energetické společenství je skupina objektů čítající až 1000 členů, mezi které mohou patřit SVJ, jednotlivé domácnosti, malé a střední podniky, úřady, školy a jiné organizace. Taková společenství by měla zahrnovat pouze členy sídlící na maximálně třech souvislých ORP (obce s rozšířenou působností). Taková společenství musí mít danou právní formu, kdy musí vzniknout jako spolek či družstvo nikoliv za účelem zisku, ale za účelem hospodářských, environmentálních a sociálních přínosů pro všechny členy společenství.

Takto založené společenství bude muset být registrováno u Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Jelikož bude mít formu spolku nebo družstva, bude muset organizovat pravidelné schůze podobné schůzím SVJ. Každý člen energetického společenství pak bude moci vlastnit maximálně 10 % hlasovacích práv.

Cena elektřiny je v současnosti tvořena dvěma složkami – regulovanou a neregulovanou. Díky komunitní energetice bude možné cenu elektřiny snížit až na minimální hodnotu. Členové energetického společenství totiž budou platit pouze za využití distribuční sítě – regulovanou složku ceny, kterou určuje ERÚ. Výši neregulované složky si určí samo energetické společenství a dá se očekávat, že bude výrazně nižší než v případě odběru elektřiny od tradičních dodavatelů. (28) (29) (30)

6.2 Využití elektrické energie z fotovoltaické elektrárny

Primární využití elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou:

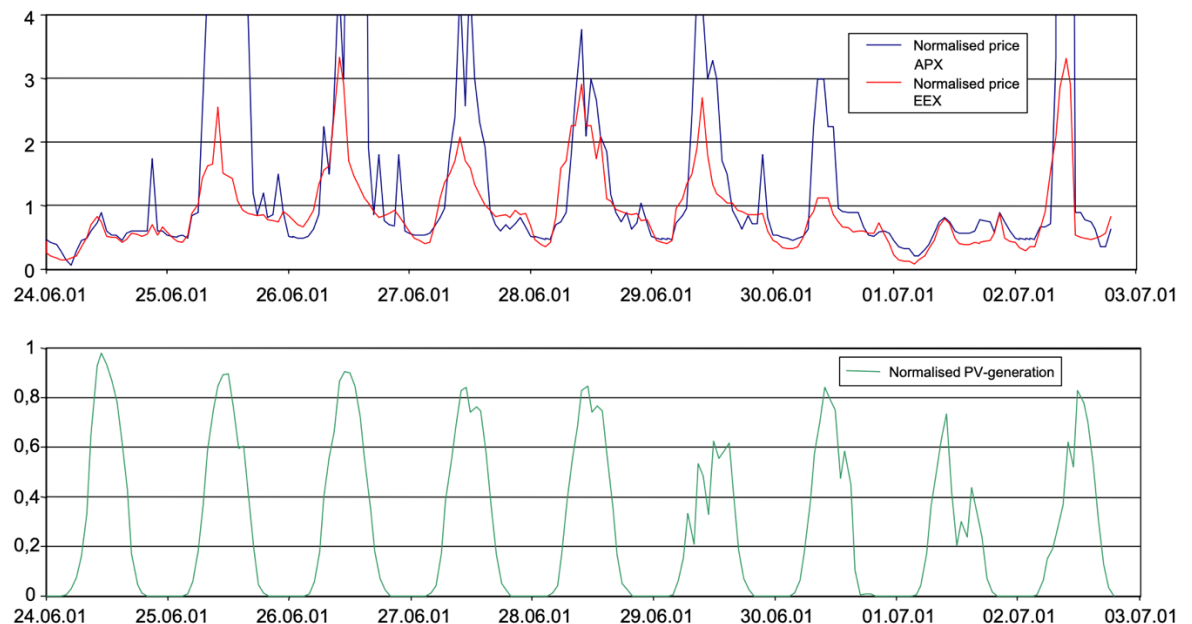
- Spotřeba elektrické energie v rámci domácností s domácností a společných prostor domu
- Pohon tepelného čerpadla
- Elektrický ohřev v zásobníku TV
- Pohon vzduchotechnické jednotky

Využití přebytků elektrické energie:

- Ukládání do baterií
- Ukládání do zásobníku TV (přeměnou energie na teplo)
- Prodej na burze
- Prodej sousedům v rámci komunitní energetiky (v současné době nelze)

Fakt, že propojení fotovoltaické elektrárny se spotovým trhem pomocí inteligentního systému může být výhodné dokazuje studie „On the correlation of electricity spot market prices and photovoltaic electricity generation“, která sleduje korelaci ceny

elektřiny na spotovém trhu a její produkce fotovoltaickými elektrárnami a zjišťuje, zda je výhodnější porovnávat cenu fotovoltaiky vůči fixním cenám elektřiny od dodavatelů, nebo vůči cenám na spotovém trhu. V rámci studie byla sledována Evropská energetická burza (EEX) a Amsterdamská energetická burza (AEX). Z výsledků vyplynulo, že v případě EEX zvýšil variabilní cenový model hodnotu fotovoltaiky o 17 %, v případě AEX dokonce o 63 %. Tento rozdíl je způsoben vyšší volatilitou na burze AEX. Výsledky také ukazují, že během letních měsíců, kdy je teplejší počasí, je korelace silnější z důvodu vyšší potřeby elektřiny pro provoz klimatizací. Tento fenomén je pro prodej elektřiny z fotovoltaiky na spotovém trhu velice výhodný, protože právě v těchto obdobích má fotovoltaika největší produkci. (31)



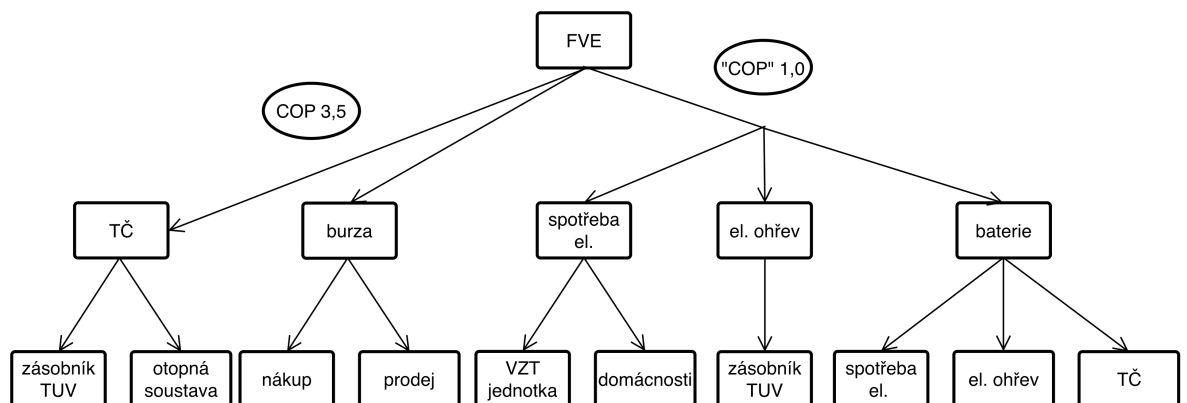
Obrázek 39: Grafy normalizovaných cen elektřiny na burze (nahore) a normalizované produkce elektřiny fotovoltaikou (dole) v letním období (31)

V případě, že se výroba elektřiny z fotovoltaiky propojí s energetickou burzou, bylo by výhodné do systému zakomponovat algoritmus na předpověď výroby, který může v časovém horizontu 12 až 36 hodin dosahovat vysoké přesnosti. O této problematice píše studie „Deep learning forecasting tool facilitating the participation of photovoltaic systems into day-ahead and intra-day electricity markets“, která se zaměřuje na rozvoj nástrojů pro předpovídání výroby elektřiny z fotovoltaických systémů s cílem jejich efektivnější integrace do denních a vnitrodenních energetických trhů. Systém vychází z

modelů hlubokého učení („deep learning“), které analyzují historická data o produkci elektřiny a predikovaná meteorologická data. Neuronové sítě jsou používány, aby identifikovaly vzorce v časových řadách dat a předpovídaly budoucí výrobu elektřiny na základě dat o změně oblačnosti a teploty. Tyto modely dosahují velice vysoké přesnosti, kdy jejich střední absolutní odchylka se pohybuje v rozmezí 2 až 4 %. Díky přesnosti těchto modelů mohou být fotovoltaické systémy efektivněji integrovány do energetických trhů, což vede k lepšímu využití vyrobené energie a vyrovnání poptávky a nabídky energie. (32)

6.2.1 Funkční schéma

Následující schéma zobrazuje, kam je přerozdělována elektrická energie vyrobená elektrárnou instalovanou v rámci návrhu rekonstrukce činžovního domu.



Obrázek 40: Funkční schéma využití elektrické energie z fotovoltaiky

6.2.2 Základní principy systému

Prodej na burze v případě, že:

- je plně pokryta spotřeba elektřiny, baterie je nabitá na 100 %, zásobník TUV je ohřátý na 100 %

- na základě predikce spotřeby domu a predikce cen elektřiny na burze může být výhodné nahřát zásobník TUV na 100 % a při růstu cen na spotovém trhu veškerou elektřinu, která by jinak byla použita pro ohřev, prodávat
- spotová je cena vyšší než fixní cena od dodavatele (prodej elektřiny od dodavatele, jedná se spíš o teoretický příklad)

Obecné zásady:

- kdykoli je potřeba tepla a výkon TČ je dostačující, tak používat výhradně TČ z důvodu nejlepšího využití energie – COP 3,5
- ukládání energie do TUV pomocí tepelného čerpadla je 3,5 efektivnější než do baterií, má ale nižší využitelnost
- při ukládání přebytečné vyrobené energie se primárně nabíjí baterie z důvodu větší využitelnosti. V případě potřeby teplé vody se pro elektrický ohřev využije energie z baterie.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout komplexní řešení energeticky úsporné rekonstrukce činžovního domu s důrazem na integraci moderních technologií a systémů umělé inteligence (AI) pro optimalizaci energetické spotřeby. Hlavním důvodem pro výběr této problematiky jsou požadavky Evropské unie specifikovaných v rámci dohody „Green deal“ pro jejichž splnění bude nutné podobné rekonstrukce u stávající zástavby realizovat napříč celým bytovým fondem v České republice.

Řešený objekt je pětipodlažní činžovní dům v pražském Smíchově vystavěný v 30. letech 20. století. Dům má jedno podzemní podlaží, sedlovou střechu a přízemí využívané pro komerční účely, ve vyšších patrech je umístěno 10 bytových jednotek. Zastavěná plocha na pozemku je 223 m² a celková podlahová plocha bytů a restaurace je 842 m². Podkroví je v současné době nevyužívané.

V rámci návrhu byly analyzovány různé varianty rekonstrukce, které zahrnovaly výměnu oken, zateplení fasád, sklepa, střechy a interiérového zateplení stěny směrem do ulice. Zároveň byl posouzen návrh vzduchotechniky se systémem ZZT z hlediska energetických úspor. Pro vybraný návrh rekonstrukce, který zahrnoval všechny zmíněné opatření vyjma zateplení uliční fasády z interiéru, bylo dosaženo výrazného snížení měrné potřeby tepla na vytápění, a to až o 73 % v porovnání s původním stavem. Navržený centrální zdroj tepla, v podobě kaskády tepelných čerpadel Nibe vzduch – voda, nabízí vyšší účinnost, nižší provozní náklady a lepší možnost integrace obnovitelných zdrojů energie oproti původnímu decentrálnímu systému vytápění řešeného v rámci jednotlivých bytů. Tento přístup je také výhodný z hlediska implementace do chytrých systémů řízení budovy. Fotovoltaické panely byly navrženy jako doplňkový zdroj energie pro pohon tepelných čerpadel a dalších elektrických spotřebičů v domě. Byly zvažovány různé varianty orientace a umístění panelů s cílem maximalizovat energetický výnos a zajistit ekonomickou výhodnost investice.

V rámci rekonstrukce je navržen koncept řízení budovy s využitím umělé inteligence, která na základě analýzy velkého počtu dat optimalizuje provoz systémů, jako jsou

vytápění, chlazení, větrání, fotovoltaika a spotřeba v rámci domu. Tato technologie umožňuje předvídat potřeby energetického využití a efektivně řídit energetické toky, což přináší nejen úsporu energie, ale i zvýšení komfortu bydlení.

Tato práce především přispívá k diskusi o udržitelné rekonstrukci bytového fondu a ukazuje potenciál integrace moderních technologií do stávajících budov. Navržené řešení může sloužit jako model pro rekonstrukce podobných objektů v Praze i jinde v České republice, přičemž klade důraz na ekonomickou výhodnost, technickou proveditelnost a maximální přínos z hlediska úspor energie a snižování emisí.

8 Seznam použité literatury

1. World Economic and Social Survey,“ United Nations, New York, 2013.
2. Verena Weiler, Hannes Harter, Ursula Eicker. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. 2017. ISSN 0378-7788.
3. Energy, Directorate-General for. *Energy saving potentials in EU member states, candidate countries and EEA countries*. [Online]
4. Administration, Vienna Municipal. Vienna’s strategy for sustainable development. Vídeň : město Vídeň, 2022.
5. Michalčáková, Anna. *Pryč s plynem, Vídeň do roku 2027 investuje miliardu do klima*. [Online] frank bold org, 8 2022.
<https://frankbold.org/zpravodaj/kategorie/aktualne/pryc-s-plynem-viden-do-roku-2027-investuje-miliardu-do-klima>.
6. WH International Services GmbH). *Vídeň spojí síly s OMV, aby získala teplo z hlubin*. [Online] Technický deník, 11 2023. https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/viden-spoji-sily-s-omv-aby-ziskala-teplo-z-hlubin_59010.html.
7. Patrick Reitera, Hannes Poiera, Christian Holtera. *BIG Solar Graz: Solar district heating in Graz – 500,000 m² for 20% solar fraction*. 2016.
8. Epp, Baerbel. solar thermal world. [Online] 2016.
<https://solarthermalworld.org/news/austria-big-solar-eur-200-million-investment-graz/>.
9. Zhichao Wang, Xiaoyu Liu, Gaofeng Deng, Hui Shen, Zhaowei Xu. A framework for retrofitting existing houses to nearly zero energy buildings: Development and a real-life case study. 2021.
10. Kuželková, Jitka. CZT v Praze. Praha : Pražská teplotárenská , 4 2024.

11. pražská teplárenská . *mapa sítí*. [Online] ptas, 2024. <https://www.ptas.cz/odstavky-a-poruchy/?map=active>.
12. odbor památkové péče MHMP. Umístění fotovoltaických systémů v památkově chráněných územích hlavního města Prahy. [Online] 2022. https://pamatky.praha.eu/jnp/cz/potrebuji_vyridit/index.html.
13. *mapa památkové péče Praha*. [Online] <https://app.iprpraha.cz/apl/app/pamatkova-pece/>.
14. původní stavební dokumentace k objektu na adrese Pod Kavalírkou 38, Praha 5. Praha : autor neznámý, 1927.
15. google.maps.cz. *mapa - satelitní pohled*. Praha : google, 2024.
16. ČSN EN 15 665/Z1. *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. 2012.
17. www.tzb-info.cz. *tzb-info*. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-ventrani-a-pripravu-teple-vody>.
18. ČSN 06 0320 . *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. 2006.
19. vytapani.tzb-info.cz. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-ventrani-a-pripravu-teple-vody>.
20. ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov*. 2011.
21. Nibe. Grafy výkonu a COP 15.8.2016 NIBE F2120 - tepelné čerpadlo vzduch-voda. místo neznámé : Nibe.
22. —. technický list Tepelné čerpadlo vzduch-voda NIBE S2125. místo neznámé : Nibe.
23. software PV Sol Premium. *návrh fotovoltaické elektrárny*. místo neznámé : Valentin software, 2024.
24. Ing. Bronislav Bechník, Ph.D. *tzb-info.cz*. [Online] 2014. <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>.

25. Schlieger. české noviny. [Online] 2024.
<https://www.ceskenoviny.cz/pr/zpravy/jeste-letos-a-i-ready-schlieger-investuje-desitky-milionu-do-umele-intelligence/2416309>.
26. The Barcelona metro network will feature intelligently controlled ventilation thanks to RESPIRA, the new AI platform developed by Sener. *www.group.sener.com*. [Online] 2020. <https://www.group.sener/noticias/the-barcelona-metro-network-will-feature-intelligently-controlled-ventilation-thanks-to-respira-the-new-ai-platform-developed-by-sener/?lang=en>.
27. ai, brain box. *brainboxai.com*. [Online] 2024.
<https://brainboxai.com/en/solutions/measure>.
28. havelpartners.blog. *komunitní energetika, sdílení elektřiny*. [Online] 23. 1 2024.
<https://www.havelpartners.blog/komunitni-energetika-sdileni-elektriny-jiz-od-cervence-2024>.
29. energie.cz. *komunitní energetika dostala pravidla*. [Online] 2023.
<https://www.energie.cz/komunitni-energetika-dostala-pravidla/>.
30. fotovoltaikabytovydum.cz. *FVE pro bytový dům*. [Online] 2024.
<https://fotovoltaikabytovydum.cz/komunitni-energetika-vse-co-potrebujete-vedet-o-novem-zpusobu-sdileni-elektriny/>.
31. Tim Meyer, Joachim Luther. On the correlation of electricity spot market prices and photovoltaic electricity generation. místo neznámé : Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, Germany, 2003.
32. Despoina Kothona, Konstantinos Spyropoulos, Christos Valelis, Charilaos Koutsis, Konstantinos Ch. Chatzisavvas, Georgios C. Christoforidis. Deep learning forecasting tool facilitating the participation of photovoltaic systems into day-ahead and intra-day electricity markets. místo neznámé : Department of Electrical and Computer Engineering, University of Western Macedonia, Kozani, Greece, 2023.

33. Verena Weiler, Hannes Harter, Ursula Eicker,. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. ISSN 0378-7788.

34. Bučina, Ing. Ondřej. *NIBE ENERGY SYSTEMS CZ*. 2024.

35. Výpočet objemu expanzní tlakové nádoby. *tzb-info.cz*. [Online]
<https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/20865-navrh-tlakove-membranove-expanzni-nadoby-podle-csn-en-12828-2014>.