

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**LUKÁŠ
HAGENEDER**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hageneder** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **492696**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energetický audit bytového domu

Název bakalářské práce anglicky:

Energy audit of residential building

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

- 1) Určení tepelné ztráty vybraného objektu a sestavení diagramu trvání potřeby tepla.
- 2) Bilanci spotřeby energií ve vybraném objektu.
- 3) Návrh vhodných variant pro pokrytí potřeby elektřiny a tepla a jejich zhodnocení.
- 4) Ekonomickou návratnost jednotlivých řešení a výběr optimální varianty.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Skopec, Ph.D. ústav energetiky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **02.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2024**

Ing. Pavel Skopec, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotační list

Jméno autora:	Lukáš Hageneder
Název BP:	Energetický audit bytového domu
Anglický název:	Energy audit of residential building
Akademický rok:	2022/2023
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky/Energetika a procesní technika
Vedoucí BP:	Ing. Pavel Skopec, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 57 Počet obrázků: 34 Počet tabulek: 21 Počet příloh: 0
Klíčová slova:	Energetický audit, energetická koncepce, návrh decentralizovaného zdroje
Keywords:	Energy audit, Energetic conception, design of a decentral source
Anotace:	

Práce se zabývá energetickým auditem bytového domu nacházejícím se v Praze, pro který jsou v práci navrhovány jednotlivé způsoby zabezpečení dodávek tepla a elektrické energie.

Abstract: This bachelor thesis deals with an energy audit of a residential building located in Prague, for which various methods of securing heat and electricity supplies are proposed in the work.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma „Energetický audit bytového domu“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a článků uvedených v seznamu informačních zdrojů této práce.

V Praze dne xx.xx.2023

.....
Lukáš Hageneder

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Skopcovi, Ph.D. za čas věnovaný konzultacím a kontrole práce, za velmi cenné rady a podporu.

Obsah

1	Úvod	9
2	Energetický audit.....	9
3	Cena energií a jejich vývoj.....	10
3.1	Cena elektřiny a její vývoj.....	10
3.1.1	Regulovaná složka	10
3.1.2	Neregulovaná složka.....	12
3.1.3	Vývoj ceny elektrické energie.....	12
3.2	Cena plynu a její vývoj.....	13
3.2.1	Cena.....	13
3.2.2	Vývoj ceny plynu.....	13
3.3	Cena tepla a její vývoj.....	14
3.3.1	Cena tepla.....	14
3.3.2	Vývoj ceny tepla	15
4	Možnosti vytápění v bytových domech.....	15
4.1	Plynový kotel	15
4.2	Tepelné čerpadlo.....	16
4.3	Kotel na tuhá paliva.....	17
4.4	Solární kolektory.....	17
4.4.1	Typy solárních kolektorů	17
5	Možnosti výroby elektrické energie v bytových domech.....	18
5.1	Fotovoltaické články	18
5.1.1	Typy technologií	19
5.2	Kogenerační jednotka.....	20
6	Popis budovy	20
6.1	Dozateplení domu	21
7	Rozložení a vývoj spotřeby energií	21
7.1	Vývoj spotřeby tepla na vytápění.....	21
7.2	Vývoj spotřeby tepla pro TUV	22
7.3	Vývoj spotřeby elektrické energie.....	23
7.4	Vývoj spotřeby plynu.....	23
8	Celkové rozložení spotřeby energií	24
8.1	Obsazenost a skladba obyvatelstva bytového domu	25
9	Návrh topného výkonu.....	26
9.1	Souhrn potřeby energie na TUV a vytápění	28
10	Vlastní výroba tepla.....	30

10.1	Varianta plynového kotle	30
10.1.1	Výběr plynového kotle	30
10.1.2	Režim provozu	30
10.1.3	Úprava kotelny	30
10.1.4	Spotřeba a cena plynu	31
10.1.5	Ekonomické zhodnocení varianty.....	31
10.2	Návrh tepelné čerpadlo.....	34
10.2.1	Výběr tepelného čerpadla	34
10.2.2	Úprava střechy.....	34
10.2.3	Spotřeba a cena elektrické energie.....	34
10.2.4	Ekonomické zhodnocení varianty.....	35
10.3	Návrh solárních kolektorů	37
10.3.1	Využití výkonu	37
10.3.2	Návrh soustavy	37
10.3.3	Výpočet dle TNI 73 0302	37
10.3.4	Ekonomické zhodnocení varianty.....	40
11	Výroba elektrické energie	43
11.1	Varianta plynové kogenerační jednotky.....	43
11.1.1	Výběr kogenerační jednotky.....	43
11.1.2	Režim provozu	43
11.1.3	Úprava prostor pro mikro-kogenerační jednotku	43
11.1.4	Bilance vstupů a výstupů.....	44
11.1.5	Ekonomické zhodnocení varianty.....	44
11.2	Návrh fotovoltaických panelů	47
11.2.1	Výběr fotovoltaické elektrárny.....	47
11.2.2	Využití výkonu	47
11.2.3	Návrh soustavy	47
11.2.4	Ekonomika varianty	49
12	Shrnutí	52
13	Závěr	52
14	Seznam použité literatury	53
15	Seznam obrázků	55
16	Seznam grafů.....	55
17	Seznam tabulek	56

Seznam symbolů, indexů a zkratek

SCZT	system centrálního zásobování teplem
CZT	centrální zásobování teplem
FVE	fotovoltaická elektrárna
TUV	teplá užitková voda
CF	Cash Flow (tok peněz)
DCF	Discounted Cash Flow (diskontovaný tok peněz)
NPV	Net Present Value (čistá současná hodnota)
OTE	Operátor trhu s elektřinou
ČEPS	Česká elektroenergetická přenosová soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
DPH	Daň z přidané hodnoty
ZEVO	zařízení pro energetické využití odpadu
CAPEX	capital expenditures (investiční náklady)
OPEX	operating expenditure (provozní náklady)

1 Úvod

V dnešní volatilní době stojí mnoho bytových domů před rozhodnutím, zda by nemohly získávat teplo a elektrickou energii efektivněji a levněji při výrobě z vlastních zdrojů. Tyto myšlenky vedou k celkové problematice energetické koncepce daného objektu. Pro možnost posouzení výhodnosti takového rozhodnutí je nejprve potřeba získat detailní přehled o spotřebách a potřebách jednotlivých energií v objektu. K tomuto sběru dat a následnému vyhodnocení slouží energetický audit, který nám může nastínit možnosti úspor nebo jiných opatření ke snížení potřeby energie. V energetické koncepci se poté řeší celkový energetický mix daného celku a zajištění dodávek jednotlivých energií.

Tato práce se zaměřuje na zpracování energetické bilance, shromáždění energetických dat bytového domu a jejich následného využití při přípravě možných alternativních variant při zásobování teplem nebo elektrickou energií. V práci zpracovávám 5 možných varia, z nichž každá zachycuje jeden z trendů energetiky od současných po budoucí. Varianty obsahují zdroje od klasických fosilních po moderní obnovitelné. Řešené jsou i možnosti kogenerace a případné transformace z elektrické energie na energii tepelnou.

2 Energetický audit

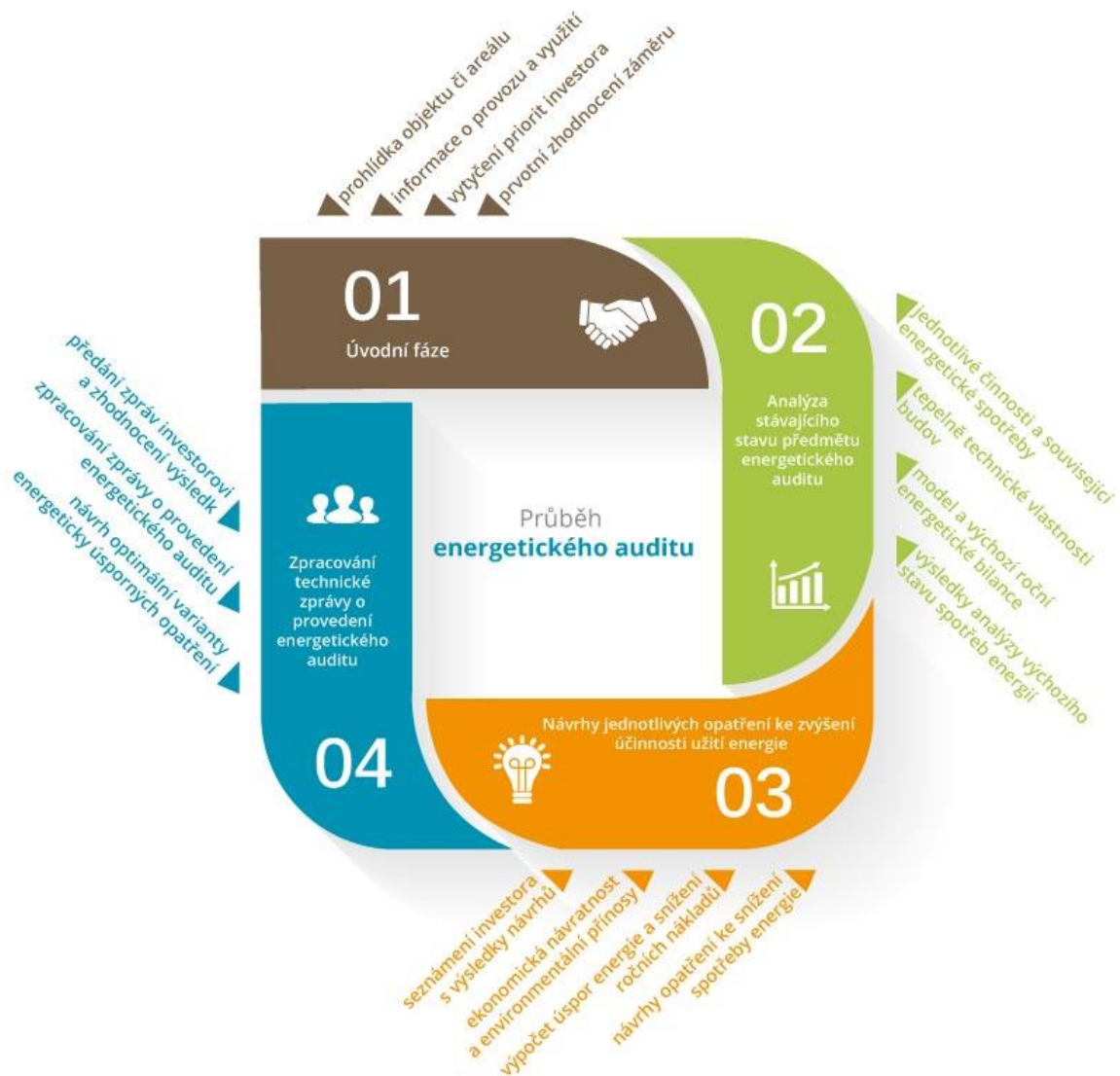
Energetický audit je soubor jednotlivých činností, kterými je získán ucelený přehled o využívání zdrojů energií ve sledované jednotce nebo hospodářství. Poskytuje informace o hospodárnosti a efektivnosti využívání energetických zdrojů a také ukazuje nedostatky současného stavu provozu. Nedílnou součástí je i návrh ekonomicky vhodných opatření pro dosažení úspor. [1][2]

V normě ČSN EN 16247-1 je audit definován jako systematická kontrola a analýza užívání energií a jejich spotřeb s cílem identifikovat energetické toky a potenciál pro zlepšení. [1][2]

Energetický audit poskytuje informace o aktuálním nastavení sledovaného provozu, na jejichž základě je možné navrhnout úsporná opatření, kterými bude dosaženo jak energetických, tak i celkových finančních úspor. V případě využívání dotačních programů může být energetický audit jednou z nutných příloh, které je třeba k žádosti o dotaci přiložit. Je nutné dodat, že energetický audit je zatím více chápán jako zákonná povinnost, která musí být splněna, než prostředek, který umožňuje určit možnosti pro úsporu. [27]

Energetickým auditem se zabývá zákon o hospodaření energií 406/2000 Sb. v pozdějších zněních. V tomto zákoně jsou definovány pojmy „Energetický specialista“, „Energetický audit“, „Energetická koncepce“ a mnoho dalších. U energetického auditu jsou v zákoně stanoveny podmínky pro to, kdo je povinen energetický audit podstoupit. [1]

Na obrázku č.1 je schematicky naznačen průběh energetického auditu. Můžeme zde vidět jednotlivé dílčí kroky od úvodního sběru dat přes vyhodnocování jednotlivých procesů až po sestavování bilanci daných energetických systémů a hledání řešení úspor a neefektivit. [27]



Obrázek č.1 – Schéma energetického auditu [27]

3 Cena energií a jejich vývoj

Ceny energií se liší v mnoha aspektech od jiných komodit. Energetický sektor je velmi výrazně regulován, jelikož v něm vznikají přirozené monopoly. Příkladem přirozeného monopolu je sektor distribuce elektrické energie. Z tohoto důvodu se u energií často setkáváme se systémem dvousložkových cen, v němž je jedna složka ceny regulovaná a druhá je tržní. [21]

3.1 Cena elektřiny a její vývoj

Cena elektrické energie pro domácnosti se skládá ze dvou složek. První složkou je cena neregulovaná, tzv. cena za silovou elektřinu. V této ceně odběratel platí cenu tržní na základě smlouvy se svým dodavatelem. Druhou složkou pak je regulovaná složka, do které patří různé poplatky za distribuci, OTE, OZE a daň. [21]

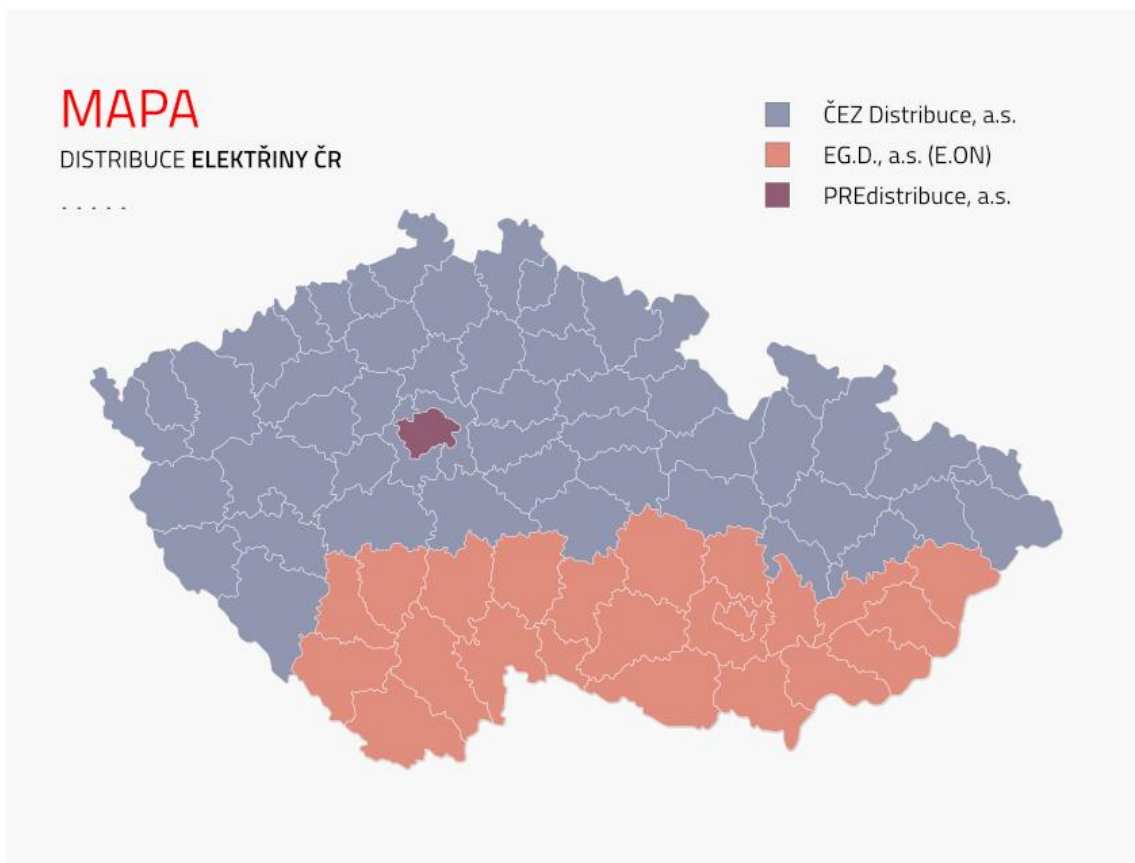
3.1.1 Regulovaná složka

Regulovaná část ceny elektrické energie se skládá z těchto následujících složek.

Distribuční poplatky

Největší část regulovatelné složky tvoří poplatky distributorům elektřiny. Distribuční poplatky mohou být podle oblastí a distributorů různé a jsou jednou z příčin, proč se cena elektřiny v různých regionech mírně odlišuje. V České republice jsou tři distributoři. Těmito distributory jsou ČEZ, EON a PRE. Distribuční poplatky podléhají regulaci z důvodu vzniku přirozeného monopolu v tomto segmentu. [21] [32]

Území je rozděleno způsobem uvedeným na obrázku č.2 níže.



Obrázek č.2 – Rozdělení distribučního území v ČR [32]

Poplatek za rezervovaný příkon

V rozvodné elektrické síti je pro jedno odběrné místo rezervované určité množství energie. Tento poplatek nezávisí na množství spotřebované energie. Měsíční poplatek za rezervovaný příkon závisí na velikosti hlavního jističe. Tento poplatek činí kolem 7 % z celkové ceny elektřiny. [21]

Příspěvek na výrobu z obnovitelných zdrojů energie

Z těchto příspěvků, které zaplatí každý spotřebitel elektřiny, se dotuje výkupní cena energie z obnovitelných zdrojů. Příspěvky na obnovitelné zdroje se nyní počítají podle kapacity hlavního jističe. Výši tohoto poplatku určuje ERÚ – Energetický regulační úřad. [21] [16]

Poplatek za systémové služby

Z těchto poplatků se financuje provoz přenosové soustavy, kterou provozuje ČEPS. ČEPS zajišťuje regulaci sítě a potřebný výkon do sítě. Udržuje, obnovuje a rozvíjí tuto přenosovou síť.

Poplatek operátorovi trhu

Poplatek pro společnost Operátor trhu s elektřinou (OTE), která se mimo jiné stará o formality spojené s přechodem zákazníků k jinému dodavateli. [8]

Podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

V ceně elektrické energie je zahrnut i poplatek na výkup elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Mnohdy se tento poplatek označuje za „zelenou daň“. [21]

Daň

Součástí regulované složky je i daň z elektrické energie, která v roce 2023 činí 28,30 Kč/MWh bez DPH. [21]

3.1.2 Neregulovaná složka

Do neregulované složky ceny elektrické energie patří samotná cena silové energie. Tato cena se určuje klasickým tržním principem, tedy nabídkou a poptávkou. Významnou burzou elektřiny je PXE – Prague Energy Exchange. Na této burze se obchoduje se silovou elektřinou, ale například i s plynem a jinými energetickými komoditami. [21]

3.1.3 Vývoj ceny elektrické energie

V čase se vyvíjí jak cena neregulované složky, tak cena složky regulované. V případě neregulované složky, tedy ceny silové elektřiny jako komodity, jsme mohli v posledních třech letech pozorovat velmi vysokou volatilitu cen. A to jak na trzích spotových (okamžitých), tak i na trzích, kde se obchodují dlouhodobější kontrakty na dodávku elektřiny. Na grafu č.1 níže můžeme pozorovat volatilní průběh cen elektrické energie na spotových trzích vyjádřenou v EUR/MWh. Vysoké výkyvy byly způsobeny geopolitickým konfliktem a navazujícími omezeními dodávek plynu. Nabídková strana elektrické energie je velmi neelastická, jelikož vybudování nového zdroje se pohybuje v řádech několika let.



Graf č.1 – Vývoj ceny elektrické energie březen 2020 – březen 2023 [31]

3.2 Cena plynu a její vývoj

3.2.1 Cena

Regulované složky

Přeprava plynu

Přeprava plynu je první fází dopravy plynu k zákazníkovi. Ceny za přepravu plynu zahrnují náklady na dovoz plynu do České republiky a náklady na jeho uskladnění. [21]

Poplatek za distribuci

Distribucí plynu se rozumí doprava plynu do odběrných míst zákazníků systémem místně příslušných plynovodů různých tlakových úrovní. Prostřednictvím regulovaných cen za přepravu a distribuci platí zákazník pouze za poskytnutou službu - transport plynu potrubním systémem plynovodů, nikoliv za samotný plyn. Zákazník si nemůže zvolit ke které distribuční soustavě bude připojen, tato skutečnost vyplývá z polohy jeho odběrného místa ve vztahu k distribuční síti. Jedná se tedy o odvětví, které neumožňuje konkurenci, proto jsou ceny za přepravu a distribuci regulovány. [21]

Poplatek operátorovi trhu

Operátor trhu je akciová společnost založená a vlastněná minimálně ze 67 % státem. Společnost OTE, a.s. se zabývá organizováním obchodování se zemním plynem mezi obchodníky s plynem, zpracováním dat potřebných pro fungování přepravní soustavy a prováděním dalších činností spojených s fungováním trhu s plynem. Všichni zákazníci, kteří spotřebovávají plyn, hradí tzv. pevnou cenu za zúčtování operátorem trhu. Tato cena za zúčtování obsahuje navíc od roku 2012 poplatek za činnost Energetického regulačního úřadu v souladu s § 17d odst. (7) zákona č. 458/2000 Sb., (energetického zákona) ve znění pozdějších předpisů. [21] [8]

Neregulované složky

Cena za odebraný plyn

Do neregulované složky patří cena za odebraný plyn. Tato cena se stanovuje na tržním principu. Plyn se obchoduje na burze PXE. Cena se během roku liší a lišit se může i mezi dodavateli. [21]

3.2.2 Vývoj ceny plynu

Plyn se jako elektrická energie obchoduje na spotovém i na kontraktním trhu. Spotový trh je aktuální cena plynu k danému okamžiku. Na kontraktním trhu se obchodují dodávky plynu na delší období v budoucnu. Cena plynu v posledních 3 letech velmi silně korelovala s cenou elektrické energie z důvodu geopolitického konfliktu a s ním navázaném výpadku dodávek plynu.



Graf č. 2 – Vývoj ceny plynu květen 2020 – květen 2023 [30]

Cena na grafu č.2 je uvedena v USD za MMBtu. Jednotka MMBtu je 1 milion British thermal unit, která se využívá převážně u energetických komodit jako je ropa nebo právě zmíněný zemní plyn. Převodní poměr mezi MMBtu a MWh je $1\text{MMBtu} = 0,293071\text{ MWh}$.

3.3 Cena tepla a její vývoj

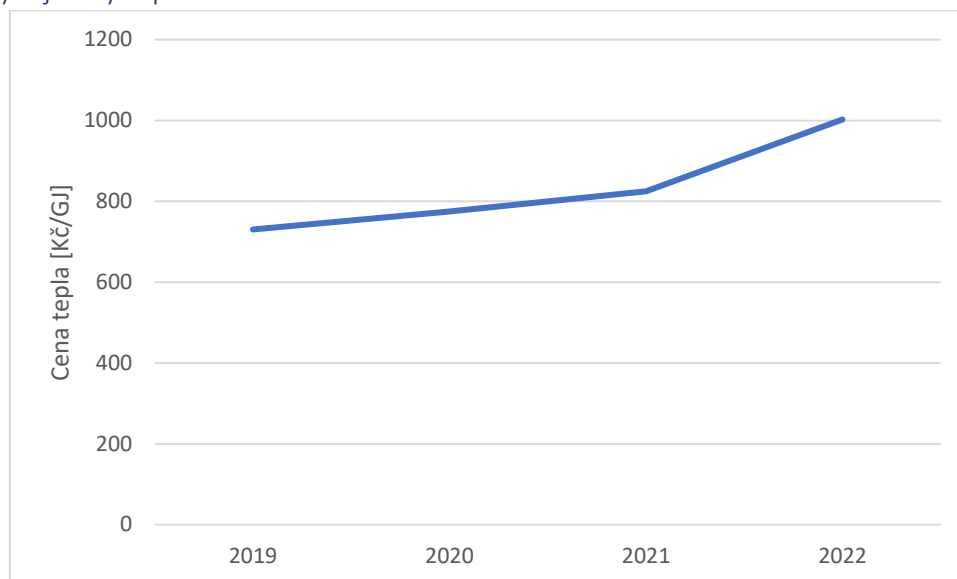
3.3.1 Cena tepla

Jako cenu tepla budeme uvažovat teplo dodávané skrze soustavu CZT. Tato cena vždy závisí na konkrétní soustavě, její velikosti, počtu zdrojů a palivu jednotlivých zdrojů. Cena tepla z tepláren je silně regulovaná a vypočítává se jako součet provozních nákladů a přiměřeného zisku. V ČR neexistuje jednotná cena tepla.

Dalším faktorem vstupujícím do koncové ceny tepla pro domácnosti je nastavení rozpočítávání ceny mezi jednotlivé bytové jednotky. Toto nastavení vyúčtování se řídí vyhláškou č. 269/2015 Sb., která vymezuje dvě složky ceny tepla. První složkou je složka fixní, kterou platí každý odběratel tepla v bytovém domě na základě podílu výměru bytové jednotky a na celkové výměře všech bytových jednotek v daném objektu. Tato fixní částka se může pohybovat mezi 30 – 50 % z celkové účtované částky za teplo. Fixní složka byla zavedena za účelem solidarity s majiteli bytů na okrajích budovy, kde vznikají vyšší tepelné ztráty. Zbýlá část celkové účtované částky činí 50 – 70 %. Tato část se nazývá složkou spotřební a je rozúčtována mezi jednotlivé bytové jednotky, a to na základě jejich spotřeby za danou topnou sezónu. [26][44]

Obdobné účtování je i v případě platby za teplo pro ohřev vody, nebo – li TUV. V tomto případě je však poměr fixní a spotřební složky stanoven pevně, na 30 % fixní a 70 % spotřební. Do výpočtu nám ještě vstupuje náklad na samotnou vodu, který se nijak nerozděluje a je 100 % počítán dle skutečné spotřeby. [26][44]

3.3.2 Vývoj ceny tepla



Graf č. 3 – Vývoj ceny tepla v letech 2019 – 2021 [26]

Vývoj ceny tepla v jednotlivých letech můžeme pozorovat na grafu č. 3. Vývoj je rostoucí z důvodu vyšších nákladů na energetické komodity a vyšších fixních nákladů jednotlivých tepláren a vytopen. V roce 2022 vidíme výraznější odchýlení ceny od trendu, které bylo způsobeno převážně strmým nárůstem cen všech energetických komodit a hlavně plynu, který se hojně využívá v českém teplárenství. [44]

4 Možnosti vytápění v bytových domech

Vytápění bytových domů je možné řešit několika způsoby. Ve větších aglomeracích je vytápění bytových domů řešeno společným centrálním zdrojem. Jako zdroje jsou využívány teplárny – kombinovaná výroba elektrické energie a tepla, výtopny – výroba pouze tepla nebo ZEVO - zařízení pro energetické využití odpadu. Teplo je poté rozváděno pomocí horkovodů nebo parovodů do příslušných odběrných míst. Nevýhodou tohoto systému je nižší možnost regulace a vysoké tepelné ztráty během transportu tepla do místa spotřeby. [44]

Druhým způsobem vytápění bytových domů je individuální výroba tepla. Zdroj je umístěn přímo v bytovém domě a pokrývá potřebu daného domu. Výhodou těchto, přímo umístěných, zdrojů jsou minimální tepelné ztráty při transportu tepla do jednotlivých jednotek. Velkou nevýhodou při návrhu zařízení je potřeba zabezpečení dodávek tepla, která se řeší naddimenzováním zdroje nebo volbou více zdrojů. Tato potřeba poté zdražuje primární investiční náklady na výstavbu a implementaci zdroje. Jako decentralizované zdroje se hojně využívají plynové kotle a kotle na tuhá paliva. V posledních letech jsou čím dál tím častěji využívány alternativní zdroje jako jsou tepelná čerpadla nebo kogenerační jednotky. S důrazem na udržitelnou energetiku se využívají solární kolektory nebo fotovoltaické panely. [44]

4.1 Plynový kotel

Plynový kotel je jednoduchý stroj na spalování zemního plynu. Při tomto spalování zemního plynu dochází k uvolňování tepla, které je předáváno teplotně nosnou látkou. Ve většině případů se využívá jako teplotně nosná látka voda, která přenáší teplo přímo do bytových jednotek a v tepelných výměnících (radiátorech) předává toto teplo do vzduchu v dané místnosti. [42][43]

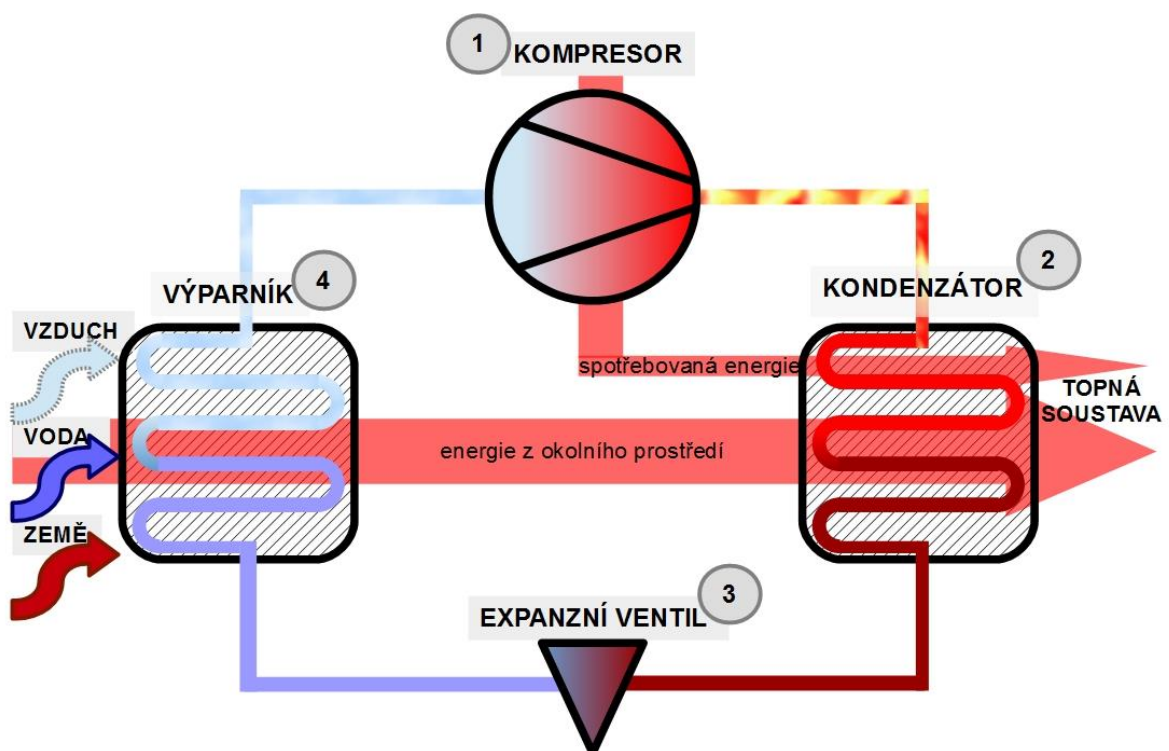
Plynové kotle se dají rozdělit na dvě kategorie – kondenzační a nekondenzační. U kondenzačních plynových kotlů se setkáváme s dochlazováním spalin, kdy ze spalin jsme schopni získat ještě latentní/skupenské teplo při kondenzaci. Kondenzaci spalin si můžeme dovolit z důvodu velmi čistých spalin s velmi nízkým až žádným obsahem síry. V případě, že by spaliny obsahovaly vyšší koncentrace síry, docházelo by při dochlazování ke kondenzaci této síry v podobě kyseliny sírové, která je nežádoucí. [42][43]

Plynové kotle jsou energeticky velmi efektivní zařízení a jejich účinnost dosahuje až přes 100 %. Tento jev je však způsoben metodikou výpočtu příkonu v palivu. [42][43]

Mezi výhody plynových kotlů patří rychlý náběh výkonu, přívod a regulace dodávky paliva bez potřeby skladovacích prostor. [42][43]

4.2 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které slouží k přenosu tepla z nižší teplotní hladiny na hladinu teplotně vyšší za dodání práce. Na obrázku č.3 můžeme pozorovat princip funkce tepelného čerpadla. [3]



Obrázek č.3 – Schéma fungování tepelného čerpadla

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit dle látek, ze kterých teplo odbírají a do kterých teplo přenáší. Země/voda je tepelné čerpadlo využívající teplotní stálosti půdy, ze které odebírají teplo a přenáší ho do vody. Tepelné čerpadlo voda/voda odebírá teplo z podzemní vody a přenáší ho do topného vodního okruhu. Posledním velmi častým typem tepelného čerpadla je čerpadlo vzduch/voda, kdy je teplo

odebíráno z okolního vzduchu. Toto čerpadlo je nejpoužívanější z důvodu velké univerzality a možnosti využití téměř kdekoliv. [3] [14]

4.3 Kotel na tuhá paliva

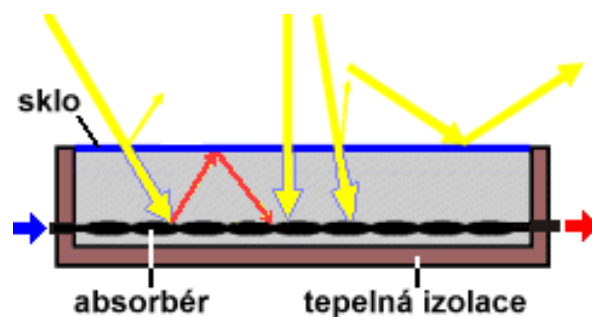
Kotel na tuhá paliva je zařízení, ve kterém dochází k chemickému procesu spalování paliva v tuhém skupenství. Při spalování dochází k uvolňování tepla, které je odváděno skrze teplotonosnou látku. [43]

Mezi nejčastěji využívaná paliva řadíme uhlí a biomasu. V případě bytových domů je nejčastěji využíváno černé uhlí a dřevní štěpka ve formě pelet. Dle konkrétního paliva se poté volí i technologie samotného kotle. [43]

Nevýhodou kotlů na tuhá paliva je potřeba skladovacích prostor pro palivo. [43]

4.4 Solární kolektory

Solární kolektor je zařízení určené k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotonosné látce odváděné z kolektoru. Většina solárních kolektorů využívá pro přenos tepla kapalinu (voda, nemrzoucí směs, olej), malá část využívá vzduch. Základní princip činnosti solárního kolektoru je zachycen na obrázku č.4. [23] [24] [43]

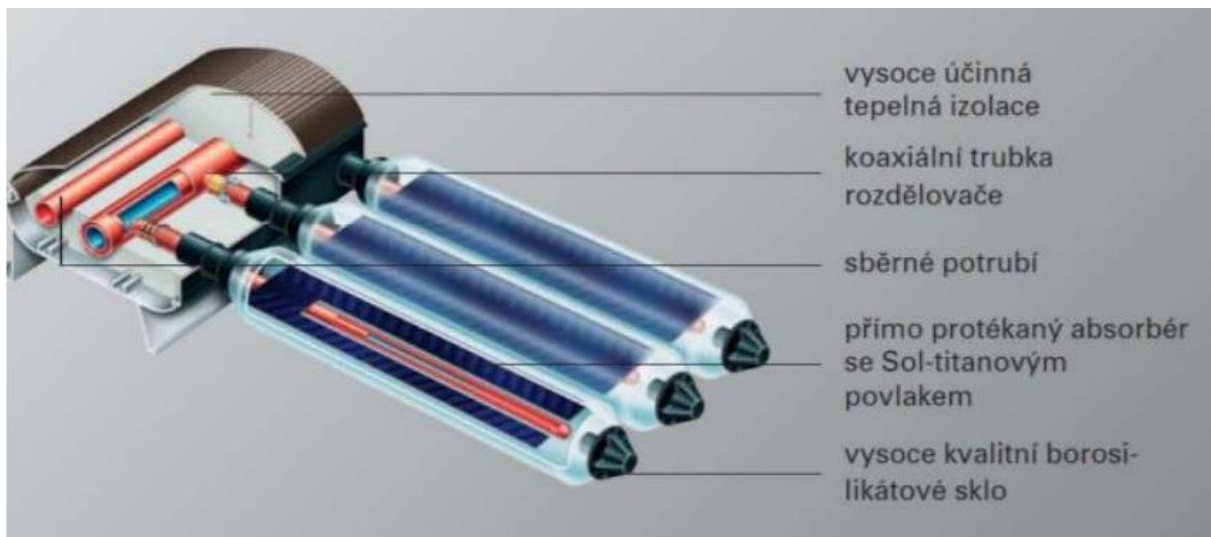


Obrázek č.4 – Princip činnosti solárního kolektoru [28]

4.4.1 Typy solárních kolektorů

Trubkové vakuové kolektory

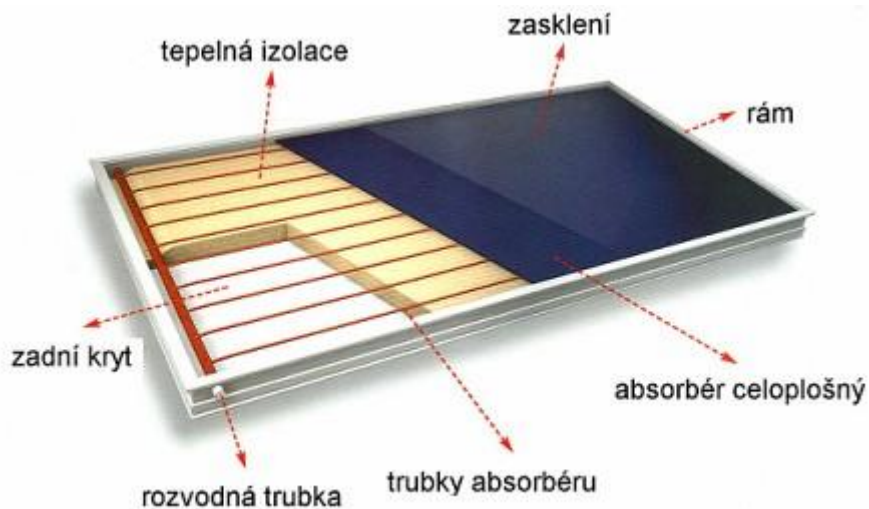
Trubkové vakuové kolektory mají válcové zasklení a absorpér. Prostor mezi absorpérem a zasklením je vakuován na nízký tlak pod 10⁻³ Pa. Kombinací vakuové izolace a nízko-emisivního povrchu absorpéru je dosaženo nízkých tepelných ztrát i při vysokém rozdílu teplot mezi absorpérem a okolním prostředím. Přenos tepla do teplotonosné kapaliny probíhá na hranici absorpér – teplotonosná látka. Na obrázku č.5 jsou znázorněny hlavní komponenty trubkového kolektoru. [33]



Obrázek č.5 – Trubkový kolektor [33]

Ploché kolektory

Ploché kolektory se skládají z plochého absorberu s plochým zasklením. Složení plochého solárního kolektoru je uvedeno na obrázku č.6. Tepelně vodivý absorber může být celoplošný nebo dělený. Absorpční plocha je navařena nebo nalisována na trubkovém rastru, kterým je teplotnosnou kapalinou odváděno využitelné teplo. Rám kolektoru je podle potřeby vyplněn tepelnou izolací a vnitřní části kolektoru jsou chráněny před degradací vlivem vlhkosti. [33]



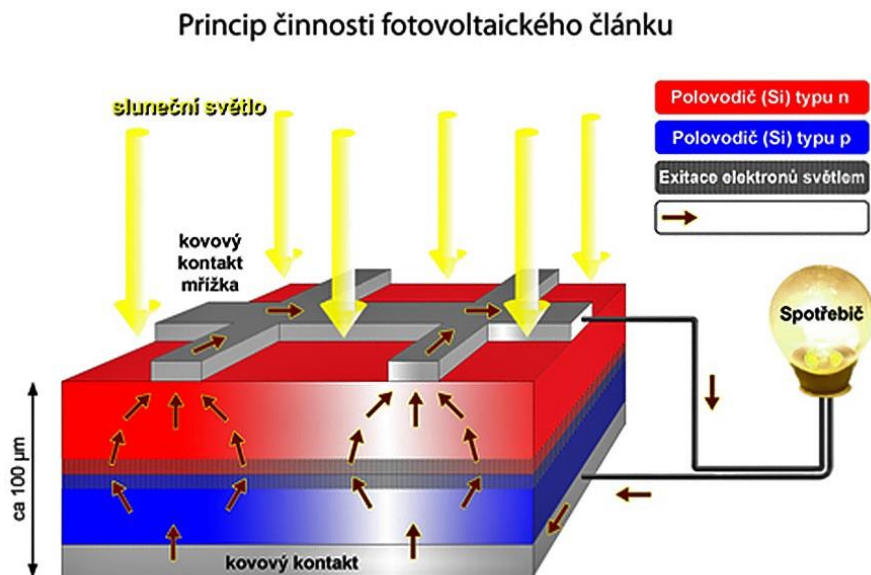
Obrázek č.6 – Ploché kolektor [33]

5 Možnosti výroby elektrické energie v bytových domech

5.1 Fotovoltaické články

Solární elektrárna se skládá z měničů, trafostanice a panelů, ve kterých najdeme fotovoltaické články. Uvnitř těchto článků probíhá fotovoltaický jev. Tento jev je přímou přeměnou sluneční energie na energii elektrickou a byl objeven francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem v roce

1839. Dopadem fotonů na polovodičový p-n přechod dochází k uvolňování a hromadění volných elektronů. Pokud p-n přechod doplníme o elektrody nazývané anoda (+) a katoda (-), vznikne nám fotovoltaický článek a proud elektronů prostřednictvím těchto elektrod proteče do dalších elektrických obvodů. Tuto elektřinu poté měníme za pomoci AC/DC měniče ze stejnosměrného proudu na proud střídavý. Princip je graficky znázorněn na obrázku č.7 níže. [11] [22]



Obrázek č.7 – Princip činnosti fotovoltaického článku [34]

5.1.1 Typy technologií

Monokrystalické články

Jedná se o nejstarší typ fotovoltaických článků s rozměry krystalů až 10 cm. Vyrábí se pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Tloušťka těchto panelů se pohybuje mezi 0,1-0,35 mm. Polovodičový p-n přechod se vytvoří přidáním fosforu na vrchní část článku, kde se tak vytvoří vrstva typu n. Jejich nevýhodou je velká spotřeba čistého křemíku a náročnost výroby.

Polykrystalické články

V současné době se jedná o nejpoužívanější typ článků. Výroba probíhá odléváním čistého křemíku do připravených forem a následným řezáním na tenké plátky. V porovnání s předchozím typem jsou výrazně levnější (levnější výchozí surovina a také je potřeba méně materiálu) a lze je vyrábět ve větších rozměrech.

Články z amorfního křemíku

Výroba článků z amorfního křemíku přináší další úsporu materiálu a může tak ušetřit velkou část nákladů při produkci ve velkých sériích. Rozkladem sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře je možné vytvořit tenké vrstvy křemíku bez pravidelné krystalové struktury a s malým obsahem použitého vodíku. Díky lepším optickým vlastnostem je možné použít tenčí vrstvy. Ty mohou být vyrobeny ve formě pružné a odolné fólie, která pak může sloužit i jako nepropustná vrstva střešního pláště. Absence

pravidelné struktury ale často vyústí v poruchy, které snižují účinnost článku. Ty způsobuje i přítomný vodík, reagující se vzdušným kyslíkem.

5.2 Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka je stroj, který kombinuje výrobu tepla a elektrické energie. Tato současná výroba je energeticky efektivní v případě, že jsme schopni využít oba produkty. [41]

Velmi hojně využívaným palivem pro kogenerační jednotky je plyn. Plynová kogenerační jednotka má na vstupu zemní plyn a na výstupu jak elektrickou, tak i tepelnou energii. Plyn je spalován ve spalovacích komorách motoru, které jsou skrze hřídel a převodovku spojeny s generátorem. Zbytkové teplo z procesu spalování je předáváno teplonosné látce. Výhoda kogenerace spočívá v možnosti získat ušlechtlejší elektrickou energii a zbylé nízko-potenciální teplo využít pro vytápění nebo ohřev vody. Pro maximální efektivitu je potřeba využít všechno vyrobené teplo. V případě, že bychom nebyli schopni využít všechno teplo, začne účinnost prudce klesat. [41]

Výhodou je efektivní a současná výroba tepla a elektrické energie. Mezi nevýhody patří vysoké náklady na údržbu a potřeba efektivního provozu, při kterém bude snaha vždy z co největší míry využít produkty. [41]

6 Popis budovy

Posuzovanou budovou je 4podlažní bytový dům s 12ti obytnými jednotkami s celkovým počtem obyvatel 25. Jednotky jsou v dispozici 2 + 1. V každém patře se nachází 3 jednotky z nichž jsou dvě jednotky o rozloze 52 m² a jedna jednotka o rozloze 49,5 m². Budova je napojena na systém centrálního zásobování teplem SCZT a vybavena vlastní výměňkovou stanicí, která se nachází v prvním podlaží. Budova má dva vchody a jedno společné poschodí. V budově se také nachází 4 garážová stání. Budova byla zateplena pouze částečně a to z návětrných stran severovýchodní a jihozápadní, jak je vidět na obrázku č.8 níže. Toto částečné zateplení však vytváří v jednotkách tepelné mosty a připravuje se plán na kompletní zateplení. Budova také prošla výměnou oken, která byla vyměněna na podzim roku 2021. Bytový dům se nachází v Praze na adrese Na Vrcholu 2527. Tato lokalita se vyznačuje podobnými domy, které byly stavěny v 60. letech minulého století. Celá stavba je cihlová. Využitelná střešní plocha, kam by se dala umístit zařízení je 250 m². Střechu nebude potřeba konstrukčně upravovat, aby byla schopná nést zařízení navrhovaná v této práci.



Obrázek č.8 – Vyznačení objektu a jeho orientace

6.1 Dozateplení domu

Dům je v momentálním stavu zateplen pouze z jihozápadní a severozápadní strany. SVJ domu si nechalo zpracovat studii ohledně ekonomické výhodnosti zateplení celého pláště. Indikativní nabídka naznačila možnou úsporu 30% z 460 GJ spotřebovávaných za rok. Úspora by tedy činila 138 GJ, což je 138 000 Kč ročně. Realizace tohoto projektu byla odhadnuta na 8 100 000 Kč. V případě hodnocení tohoto projektu stejnými kritérii jako budou hodnoceny alternativní zdroje tepla a elektřiny, vychází NPV po 40ti letech s využitím diskontního faktoru 8,5% stále záporná. [36]

7 Rozložení a vývoj spotřeby energií

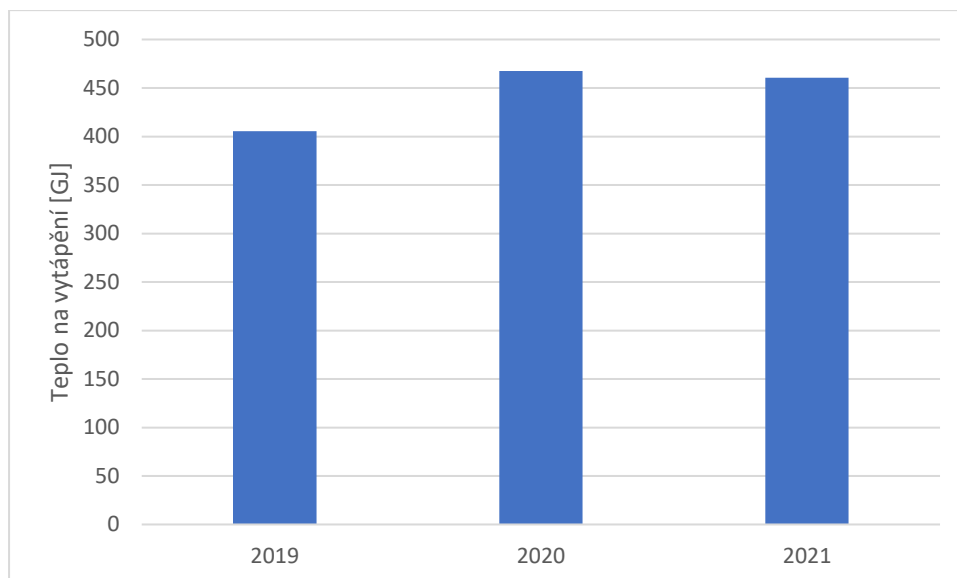
Základními sledovanými spotřebami jsou spotřeba energie na vytápění, spotřeba elektrické energie, spotřeba tepla v TUV a spotřeba plynu.

7.1 Vývoj spotřeby tepla na vytápění

Spotřeba tepla na vytápění je z nejvyšší míry ovlivňována průměrnou okolní teplotou v otopném období. Výchyly na grafu jsou způsobeny teplotami v konkrétních otopných obdobích. Tento jev můžeme sledovat přes denostupně, které nám vyjadřují rozdíl mezi průměrnou denní venkovní teplotou a námi zvolenou referenční hodnotou (ve většině případů vnitřní teplotou). Spotřeba v jednotlivých letech je uvedena v tabulce č.1 a graficky vizualizována v grafu č.4 níže. [26]

	2019	2020	2021
Spotřeba v GJ	405,35	467,42	460,45

Tabulka č.1 – Spotřeba tepla na vytápění v letech 2019 -2021



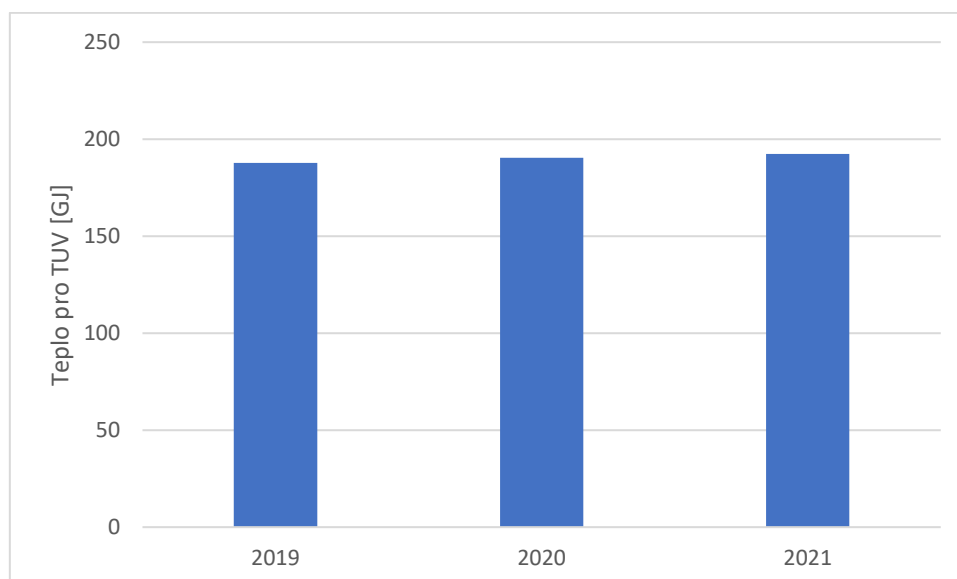
Graf č.4 – Vývoj spotřeby tepla pro vytápění 2019 -2021

7.2 Vývoj spotřeby tepla pro TUV

Energie spotřebována pro ohřev TUV je dodávána ze SCZT. Spotřeba tepla pro TUV nemá silnou korelaci s počasím a průměrnými venkovními teplotami. Tato spotřeba je nejvíce ovlivňována počtem osob v daném zkoumaném objektu. Na grafu můžeme pozorovat, že spotřeba lehce roste (cca. 2 GJ/ročně). Avšak tento růst je vůči celkové spotřebě v řádech jednotek procent. Spotřeba tepla pro TUV je velmi stabilní během roku. Stabilní spotřeba v jednotlivých letech je uvedena v tabulce č.2 a graficky vizualizována v grafu č.5 níže. [26]

	2019	2020	2021
Spotřeba v GJ	187,77	190,37	192,36

Tabulka č.2 – Spotřeba tepla pro ohřev TUV v letech 2019 -2022



Graf č.5 – Vývoj spotřeby tepla pro ohřev TUV 2019 -2021

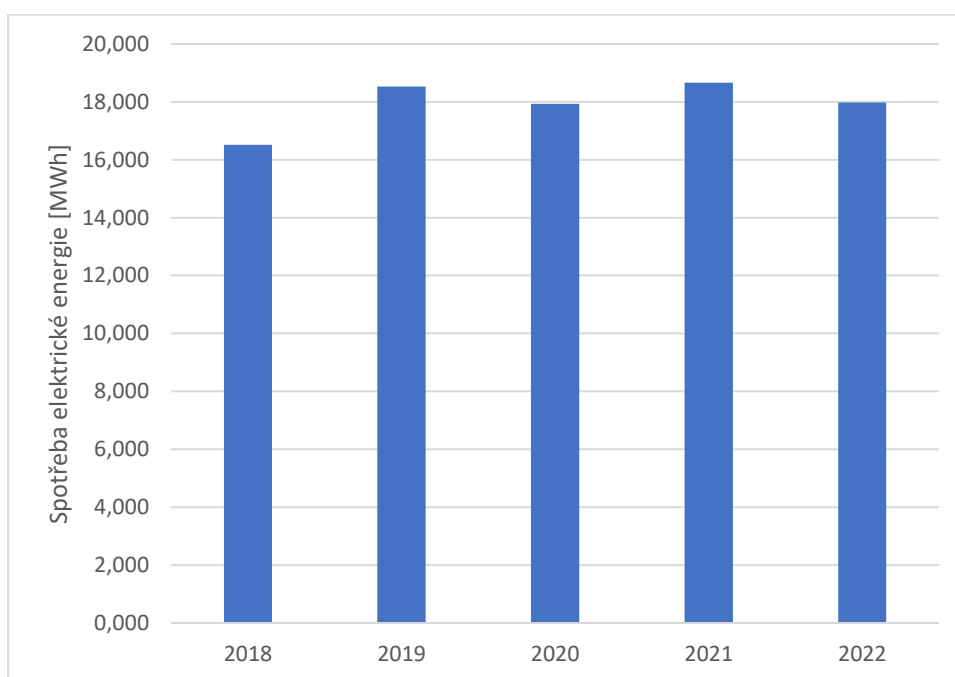
7.3 Vývoj spotřeby elektrické energie

Spotřeba elektrické energie je vždy charakteristická pro určité způsoby využití. V tomto objektu není elektrická energie využívána k vytápění ani k chlazení ve smyslu klimatizace. Spotřeba elektrické energie má velkou korelaci s celkovou ekonomickou úrovní domácností v tomto objektu. Spotřeby v jednotlivých letech jsou uvedeny v tabulce č.3 níže. [26]

	2018	2019	2020	2021	2022
Spotřeba v MWh	16,514	18,527	17,929	18,665	17,975

Tabulka č.3 – Spotřeba elektrické energie v MWh

Celková spotřeba elektrické energie má lehce stagnační až deklinační charakter. Tento jev můžeme pozorovat na grafu č.6 a je způsoben převážně snahou o úspory a zaváděním úspornějších spotřebičů o stejných nebo obdobných parametrech. [26]



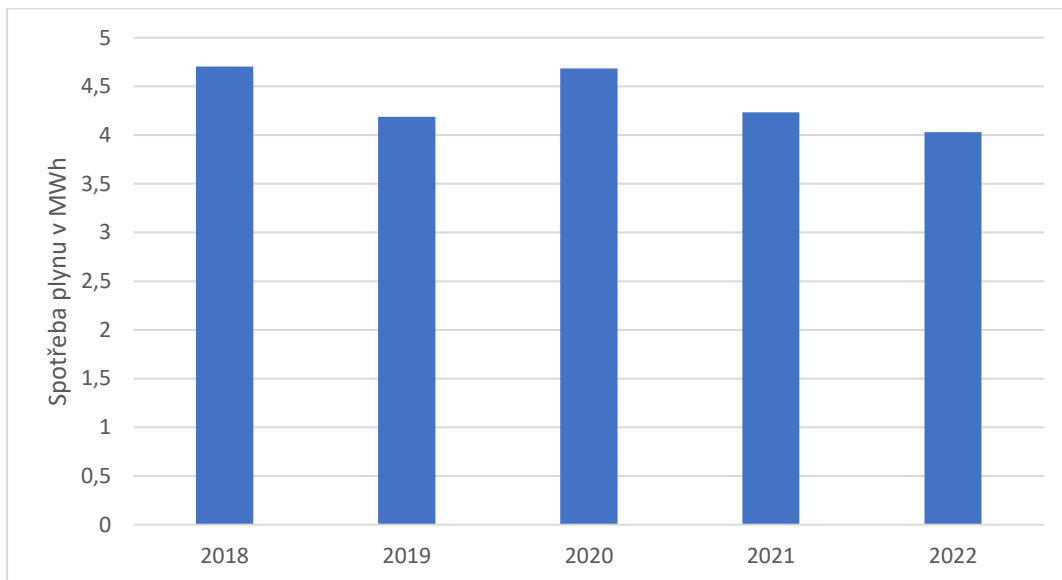
Graf č.6 – Vývoj spotřeby elektrické energie 2018 – 2022

7.4 Vývoj spotřeby plynu

Plyn je v objektu spotřebováván výhradně na vaření. V každé z domácností je instalovaný plynový sporák, který je jediným plynovým spotřebičem v dané domácnosti. Celková spotřeba plynu v domácnostech je nízká a z hlediska energetického mixu je plyn minoritní záležitostí. Hodnoty vývoje spotřeby plynu jsou uvedeny v tabulce č.4 a graficky znázorněny v grafu č.7. [26]

	2018	2019	2020	2021	2022
Spotřeba v MWh	4,704	4,188	4,683	4,235	4,03

Tabulka č.4 – Spotřeba plynu v MWh



Graf č.7 – Vývoj spotřeby plynu 2018 – 2022

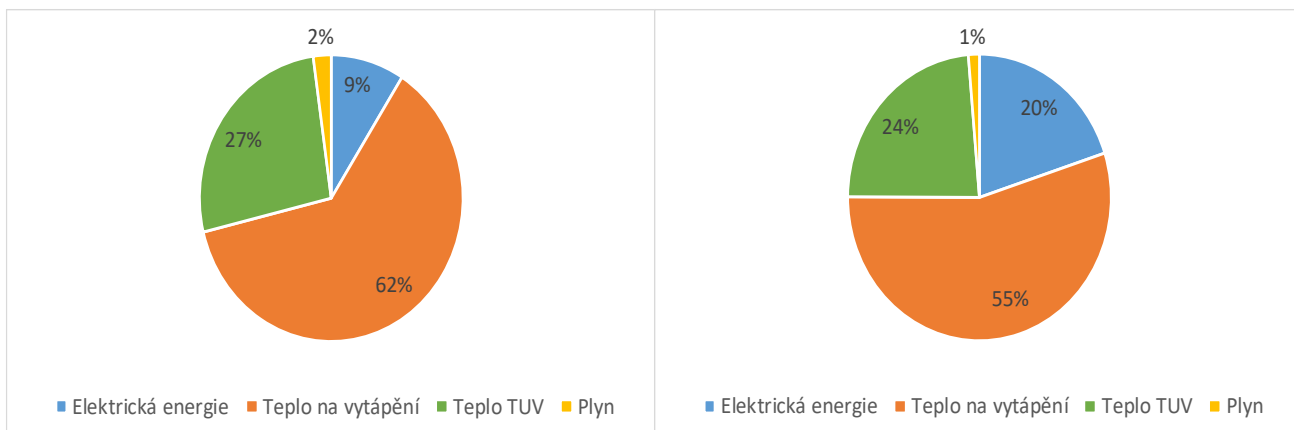
8 Celkové rozložení spotřeby energií

Z dostupných dat jsou v tabulce č.5 níže aritmetické průměry jednotlivých spotřeb energií. Pro porovnatelnost dat jsou spotřeby, které byly výše uváděné v GJ, převedeny na MWh.

	v MWh	Procentuální zastoupení	Cena/MWh	Procentuální zastoupení dle ceny
Elektrická energie	17,92	9%	9000	20%
Teplo na vytápění	123,45	62%	3600	55%
Teplo TUV	52,82	27%	3600	24%
Plyn	4,37	2%	2500	1%

Tabulka č.5 – Procentuální zastoupení energií na celkové spotřebě a na celkové platbě

Dodávky elektrické energie a plynu si každá domácnost sjednává a platí sama. U tepla na vytápění a TUV se dodávka sjednává a platí za celý bytový dům. Správa bytového domu poté tyto náklady rozpočítá na jednotlivé domácnosti. Z tabulky dat nám vynesím do grafu vychází následující zastoupení jednotlivých energií v energetickém mixu objektu dle spotřebovaných MWh.



Graf č. 8 – Rozložení zastoupení energií na celkové spotřebě [vlevo] a na celkové platbě [vpravo]

Na grafu č.8 výše je vyobrazeno procentuální rozložení nákladů za energie. Největší nárůst můžeme pozorovat u položky elektrické energie, která je z těchto energií nejdražší. Proto i ve srovnání nižší spotřeba vede k vysokým finančním nákladům.

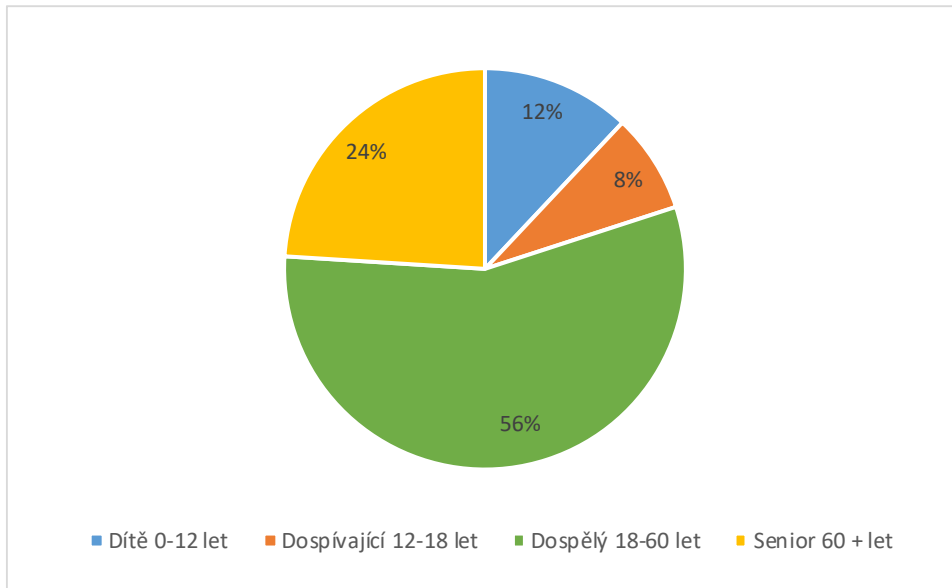
Dle vstupních dat zjišťujeme, že největší položkou v energetickém mixu objektu je teplo na vytápění, následováno teplem na TUV a elektrickou energií. Z tabulky č.5 vyčteme, že náklady na teplo na vytápění činí 53 % nákladů na energie, teplo pro TUV 23 % a náklady na elektrickou energii činí také 23 %. Z tohoto důvodu budeme dále v práci řešit možné náhrady, případně doplňky centrálního zásobování teplem a také se zaměříme na možnost vlastní výroby elektrické energie. Hlavním problémem při návrhu možných variant je fakt, že teplo pro vytápění je velmi závislé na vnějším vlivu, kterým je průměrná venkovní teplota. Další komplikací při návrhu je specifická potřeba tohoto tepla, kdy je teplo na vytápění požadováno pouze v otopném období a v letních měsících není potřeba žádná.

8.1 Obsazenost a skladba obyvatelstva bytového domu

Pro úplnou představu o spotřebách a budoucích potřebách energií v daném objektu je důležité znát i obsazenost a strukturu obyvatelstva. Tyto informace jsou podstatné z důvodu různých charakteristik potřeb energií rozličných věkových skupin. Aktuálně v bytovém domě žije 25 obyvatel.

	Počet	Procentuální zastoupení
Dítě 0-12 let	3	12%
Dospívající 12-18 let	2	8%
Dospělý 18-60 let	14	56%
Senior 60 + let	6	24%

Tabulka č.6 – Struktura obyvatelstva bytového domu



Graf č.9 – Struktura obyvatelstva bytového domu

9 Návrh topného výkonu

V první fázi je nutné si stanovit maximální potřebný výkon daného zdroje tepla tak, aby byl schopný pokrýt potřeby daného objektu. V návrhu také musíme zohlednit různé špičky, které je potřeba vykřýt. V případě tepla je jednodušší vykřivat špičky než v případě výroby elektřiny a to z důvodu dobré schopnosti vyrobené teplo s přiměřenými ztrátami akumulovat.

Pro výpočet využijeme tzv. denostupňovou metodu. Hodnotu průměrné vnitřní teploty t_{is} volíme jako 20 °C. Průměrná venkovní teplota během otopného období t_{es} je dle údajů českého hydrometeorologického ústavu 4,63 °C. Počet dnů otopné sezóny d je 223. [9] [15]

$$D = (t_{is} - t_{es}) \cdot d$$

Kde

t_{is} je průměrná vnitřní teplota

t_{es} je průměrná venkovní teplota během otopného období

d je počet dnů otopného období

Potřebný topný výkon Q_c lze vypočítat ze vztahu:

$$Q_c = \frac{\eta_0 \cdot \eta_r}{\varepsilon} \cdot \frac{(t_{is} - t_e) \cdot Q_{vyt,r}}{24 \cdot D},$$

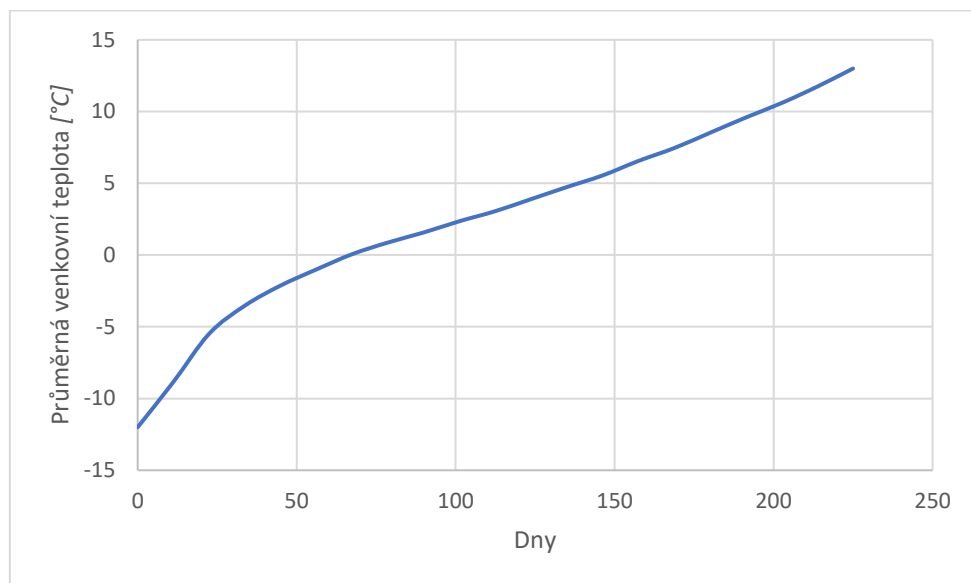
Kde

$Q_{\text{vyt},r}$ je potřebné teplo pro vytápění,

ϵ je opravný součinitel charakterizující nesourodost tepelných ztrát, vliv využití budov v průběhu dne i týdne. Na základě doporučených hodnot určena hodnota 0,727

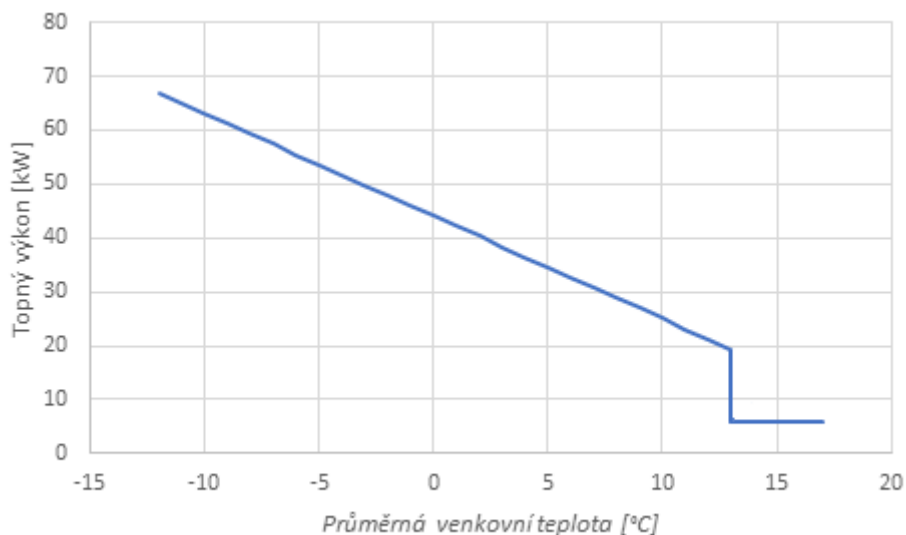
η_0 je účinnost obsluhy a možnost regulace výkonu kotelny (zvoleno 0,98)

η_r je účinnost rozvodů vytápění (zvoleno 1, neboť účinnost rozvodů je již obsažena v požadovaném potřebném teple pro vytápění).



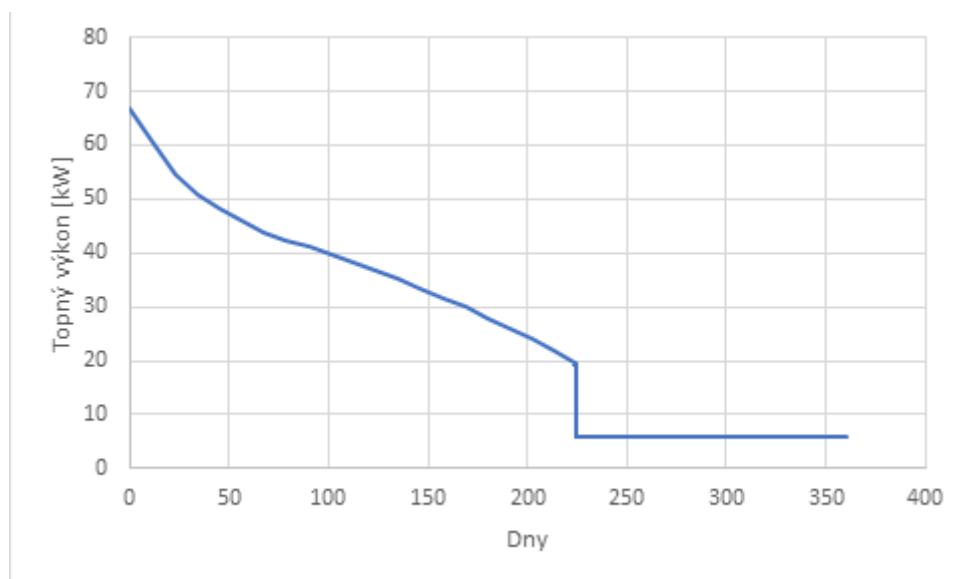
Graf č.10 – Diagram trvání venkovních teplot

Na grafu č.10 je vidět digram trvání venkovních teplot pro lokalitu, kde se budova nachází. Z grafu se dá určit po jakou dobu se vyskytují dané venkovní teploty. Graf slouží k určení délky topné sezóny i pro určení potřebného výkonu.



Graf č.11 – Závislost celkového topného výkonu na teplotě

Na grafu č.11 můžeme pozorovat závislost topného výkonu na průměrné venkovní teplotě. Z tohoto grafu je patrný skok při ukončení topné sezóny, jelikož v ten moment se zdroj využívá pouze pro ohřev vody.



Graf č.12 – Roční křivka trvání instalovaného výkonu

Z předchozích grafů získáme průběh trvání instalovaného výkonu zobrazený na grafu č.12, díky kterému jsme schopni určit potřebný výkon a přizpůsobit návrh parametrů konkrétního zdroje spotřebě tepla bytového domu. Maximum je 66 kW a minimum je 7,2 kW.

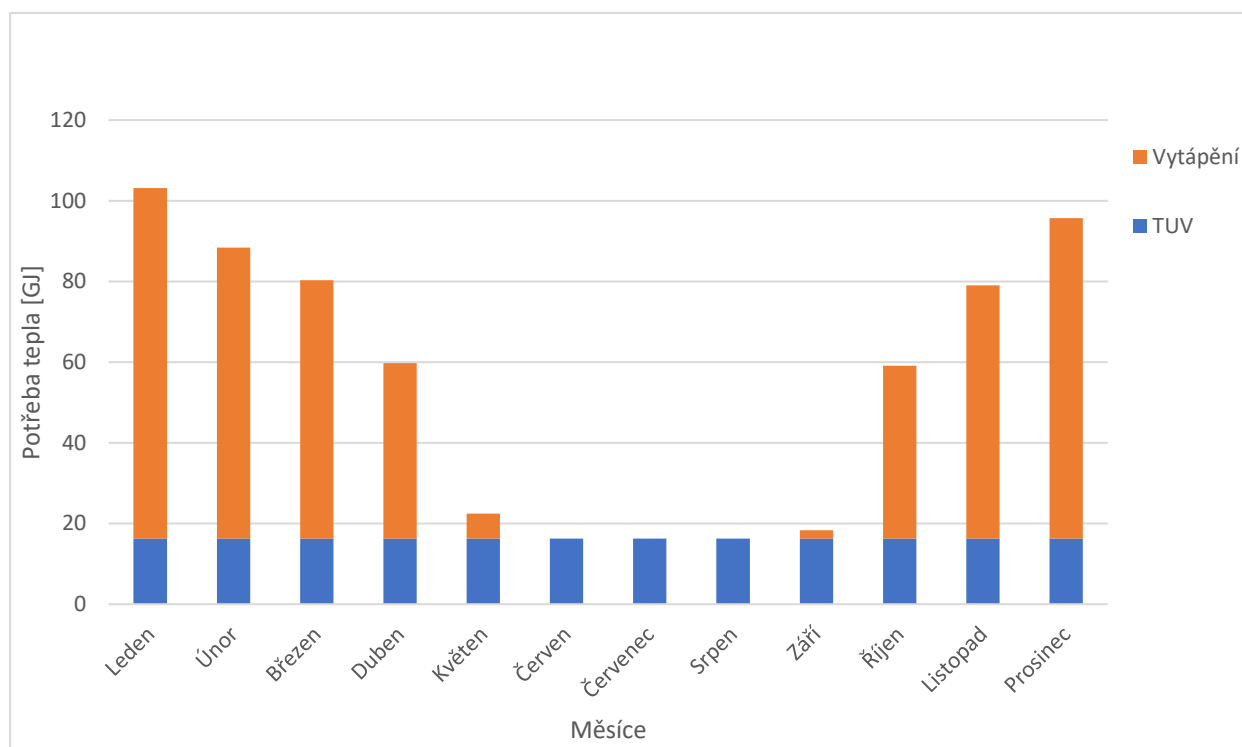
9.1 Souhrn potřeby energie na TUV a vytápění

Do dalších výpočtů budeme uvažovat s potřebou 460 GJ/rok tepla na vytápění a 195 GJ/rok tepla pro TUV. Dále do dalších výpočtů budeme uvažovat průměrné teploty v oblasti uvedené v tabulce č.7, které vychází z historických průměrů měřených na meteorologické stanici Praha – Karlov, která geografickými podmínkami nejlépe odpovídá naší zkoumané lokalitě.

	Průměrná venkovní teplota [°C]	Počet dnů v otopné sezóně	Denostupně	Referenční vnitřní teplota [°C]
Leden	-0,9	31	647,9	20
Únor	0,8	28	537,6	
Březen	4,6	31	477,4	
Duben	9,2	30	324	
Květen	14,2	8	46,4	
Červen	16	0	0	
Červenec	17,6	0	0	
Srpen	17,3	0	0	
Září	14,8	3	15,6	
Říjen	9,7	31	319,3	
Listopad	4,4	30	468	
Prosinec	0,9	31	592,1	

Tabulka č.7 – Průměrné teploty, otopné dny a denostupně [39]

Díky této tabulce a určení denostupňů můžeme určit rozložení potřeby tepla pro vytápění. Potřebu tepla pro TUV budeme uvažovat během roku konstantní, jelikož se průběh této potřeby konstantě s malými odchylkami blíží. Rozdělení potřeby tepla do jednotlivých měsíců je znázorněno na grafu č.13.



Graf č.13 – Rozložení potřeby tepla během roku

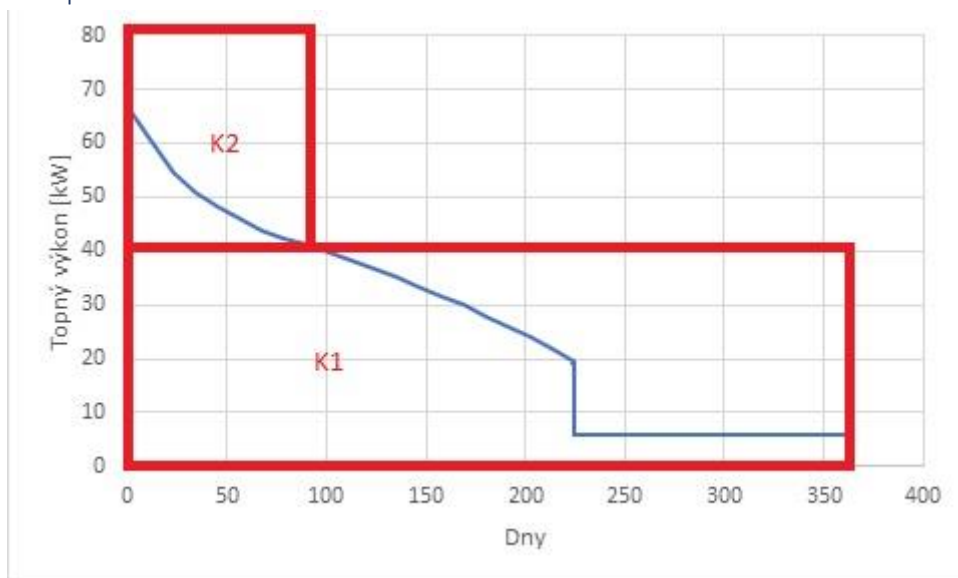
10 Vlastní výroba tepla

10.1 Varianta plynového kotle

10.1.1 Výběr plynového kotle

Při výběru plynového kotle je potřeba volit takové parametry, aby kotel byl schopný fungovat na snížený výkon s přiměřenou účinností. Dalším důležitým kritériem bylo pokrytí špiček a proto je kotel doplněn o akumulační nádrže. Následujícím požadavkem je bezpečnost dodávek tepla. Z tohoto důvodu jsou voleny dva kotle pro případ, že by jeden kotel byl odstaven nebo měl poruchu. Po zvážení parametrů byla vybrána kombinace dvou kotlů Vitocrossal 300 [19], každý o jmenovitém tepelném výkonu 40,8 kW. Při nucené odstávce jednoho z kotlů by výkon druhého kotle pokryl 62 % maximálního potřebného výkonu.

10.1.2 Režim provozu



Graf č.14 – Pokrytí potřeby instalovaného výkonu

Z grafu č. 14 výše vidíme rozložení pokrytí výkonu kotlů K1 a K2 na křivce ročního trvání instalovaného výkonu. Oba kotle budeme současně využívat pouze ve špičkách a v obdobích nejvyšší potřeby tepla a TUV.

10.1.3 Úprava kotelny

V domě se nachází prostory, které jsou vhodné pro umístění kotelny. Proto jsou investiční náklady na úpravu kotelny velmi malé a jedná se tedy jen o minoritní položku v počáteční investici. Kotelna však musí splňovat veškeré bezpečnostní parametry a musí projít schválením hasičského sboru. Hlavní parametry, které musí kotelna splňovat jsou následující. Do kotelny musí být zajištěn dostatečný přívod vzduchu pro spalování a větrání. Dveře do kotelny musí být z nehořlavého materiálu, otevíratelné směrem z kotelny a opatřeny bezpečnostním označením. Kotelny s půdorysnou plochou větší než 150 m² musí mít dvě únikové cesty, z nichž jedna musí vést přímo do volného prostoru. Kotle umístěné mimo kotelny musí být zabezpečeny proti manipulaci nepovolanými osobami.

10.1.4 Spotřeba a cena plynu

Pro výpočet nákladů na palivo je potřeba zjistit celkovou potřebu paliva pro námi sledované období (1 rok). Potřebu paliva spočítáme z potřeby tepla a účinnosti plynových kotlů. Dle technických listů je účinnost kotlů 98 %. Potřebu tepla je určena na 460 GJ na vytápění a 195 GJ na TUV. Celková potřeba tepla vychází na 655 GJ, což je přepočteno v přepočtu 182 MWh.

$$P_{pal} = \frac{P}{\eta} = \frac{182}{0,98} = 185,7 \text{ MWh}$$

Kde

P je tepelný výkon

η je účinnost kotle

P_{pal} je příkon v palivu

Výsledný potřebný příkon v palivu je 185,7 MWh. Dle srovnávače ceníku z internetové stránky TZB - info [12] určujeme mediánovou cenu za tento odebraný plyn od renomovaného dodavatele na 450 000 Kč/rok. Tuto cenu poskytuje společnost E-on s fixací na jeden rok.

10.1.5 Ekonomické zhodnocení varianty

Při ekonomickém zhodnocení této varianty vycházíme z cen plynových kotlů, akumulčních nádrží a stavebních nákladů spojených s úpravou kotelny tak, aby vyhovovala zákonem daným předpisům. Těmto výdajům říkáme investiční náklady nebo-li capex, který tvoří 650 000 Kč. Kotle včetně zařízení očekávám v hodnotě 250 000 Kč/kotel [17]. Zbýlých 150 000 Kč jsou odhadnuté náklady na úpravu kotelny a instalaci zařízení. Mezi operativní náklady nebo-li opex řadíme především náklady na palivo a servisní náklady pro kotle. Náklady na palivo uvažujeme 450 000 Kč/rok. Mezi servisní náklady započítáme náklady 30 000 Kč/rok. Jednotlivé položky jsou vypsány v tabulce č.8. Dále do výpočtu budeme uvažovat životnost zdroje, kterou určíme, na základě zkušeností, na 20 let.

Velmi významným parametrem vstupujícím do výpočtu diskontované návratnosti je WACC (Weighted average cost of capital – vážený průměr nákladů na kapitál). Určení této veličiny je velmi individuální a vždy silně závisí na investrovi a na jeho toleranci k riziku a zároveň i na jiných možnostech efektivně alokovat kapitál. V tomto případě budeme uvažovat 8,5 %. Hodnotu 8,5 % volím z důvodu vysoké bezrizikové míry, která je v případě 10ti letého českého státního dluhopisu 4,5 %. Nad tuto sazbu je potřeba zvolit rizikovou přírážku, kterou volím jako 4 %. Riziková přírážka reflektuje převážně rizikost projektu a investrovy požadavky.

V modelu peněžních toků využíváme i faktor zvyšování cen, kdy provozní náklady a uspořené náklady zvyšujeme ročně o 2 %.

Náklady na kotle	500 000	Kč
Náklady na úpravu kotelny	100 000	Kč
Náklady na instalaci	50 000	Kč
Investiční náklady celkem	650 000	Kč
Náklady na palivo	450 000	Kč/rok
Náklady na údržbu	30 000	Kč/rok
Celkové provozní náklady	480 000	Kč/rok
Původní náklady za teplo dodané z SCZT	655 000	Kč/rok
Celková roční úspora na provozních nákladech	175 000	Kč/rok

Tabulka č.8 – Souhrn nákladů varianty plynových kotlů

Roční náklady na teplo z teplárny činní 655 000 Kč. Celkové roční provozní náklady plynového kotle činí 480 000 Kč. Po odečtení těchto dvou čísel získáváme roční úsporu ve výši 175 000 Kč.

Podle vzorce pro vypočítání NPV – net present value určíme ekonomickou výhodnost projektu. [10]

$$NPV = \sum_{n=0}^T \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

Kde

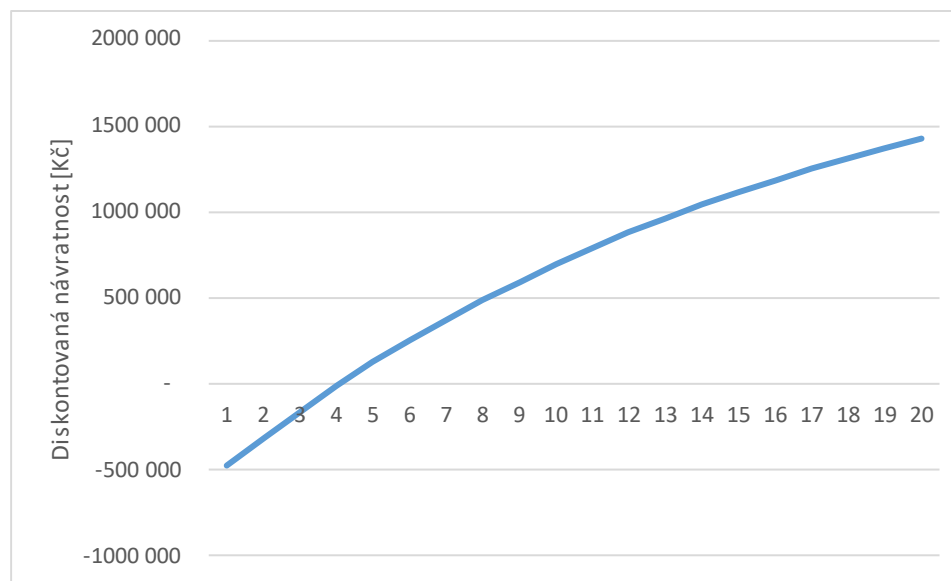
CF_n je cash flow pro konkrétní rok (úspora provozních nákladů)

T je doba životnosti

N je konkrétní rok v době životnosti

R je úroková míra (diskontní faktor) – využíváme WACC

Z grafu č.15 a tabulky č.9 zjišťujeme, že projekt je ekonomicky výhodné realizovat, jelikož má kladnou diskontovanou současnou hodnotu, tedy NPV je větší než 0. Break-even point, čili bod zvratu, kdy projekt začíná být ziskový, nastává již mezi 4. a 5. rokem.



Graf č.15 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti plynových kotlů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
CAPEX	- 650 000																				
OPEX	- 480 000	- 489 600	- 499 392	- 509 380	- 519 567	- 529 959	- 540 558	- 551 369	- 562 397	- 573 644	- 585 117	- 596 820	- 608 756	- 620 931	- 633 350	- 646 017	- 658 937	- 672 116	- 685 558	- 699 269	
Úspora za teplo	655 000	668 100	681 462	695 091	708 993	723 173	737 636	752 389	767 437	782 786	798 441	814 410	830 698	847 312	864 259	881 544	899 175	917 158	935 501	954 211	
CF	- 475 000	178 500	182 070	185 711	189 426	193 214	197 078	201 020	205 040	209 141	213 324	217 591	221 942	226 381	230 909	235 527	240 237	245 042	249 943	254 942	
DCF	- 475 000	164 516	154 660	145 395	136 685	128 496	120 798	113 561	106 758	100 363	94 350	88 698	83 384	78 389	73 693	69 278	65 128	61 226	57 558	54 110	
Akumulace	- 475 000	- 310 484	- 155 824	- 10 429	126 256	254 752	375 551	489 112	595 870	696 233	790 583	879 281	962 665	1 041 054	1 114 746	1 184 024	1 249 152	1 310 378	1 367 936	1 422 046	
Suma DCF	1 422 046																				

Tabulka č.9 – Model peněžních toků varianty plynových kotlů

10.2 Návrh tepelné čerpadlo

10.2.1 Výběr tepelného čerpadla

Tepelných čerpadel je více druhů. Nejčastějšími druhy jsou tepelná čerpadla vzduch – voda, voda – voda a země – voda. V tomto případě budeme využívat tepelného čerpadla vzduch – voda. To bylo vybráno pro jeho univerzálnost a vhodnost pro tento typ objektu. K objektu totiž nenáleží žádný větší pozemek, tudíž není možné využít tepelné čerpadlo země – voda. Tepelné čerpadlo voda – voda nebylo využito z podobných důvodů jako země – voda a tím je nevhodná lokace objektu. Při výběru konkrétního tepelného čerpadla vzduch – voda byl kladen důraz na pokrytí špičkových odběrů. Dalším požadavkem je bezpečnost dodávek tepla. Konečným kritériem byla i hmotnost konstrukce, jelikož bude umístována na střeche, která nebyla předem nijak upravena pro zatížení tohoto rázu.

Pro realizaci byla vybrána 3 tepelná čerpadla Vitocal 300 – A AWO 301.A60 [18], každé o jmenovitém tepelném výkonu 26,4 kW. Elektrický příkon čerpadel je 7,14 kW/čerpadlo. V chladícím okruhu je využito chladivo R417A.

10.2.2 Úprava střechy

Při výběru konkrétního tepelného čerpadla byl již kladen důraz na potřebu minimálních úprav na objektu a tudíž jsou tyto náklady marginální a do těchto nákladů budeme uvažovat hlavně náklady na instalaci.

10.2.3 Spotřeba a cena elektrické energie

Spotřebu elektrické energie vypočítáme z topného faktoru, který je u tohoto čerpadla 3,7 dle normy ČSN EN 14511 (A2/W35) [7], která upravuje zkušební podmínky. Potřeba tepla je 655 GJ což odpovídá 182 MWh.

$$P_{el} = \frac{P}{\varphi} = \frac{182}{3,7} = 49,2 \text{ MWh}$$

Kde

P je tepelný výkon

φ je topný faktor

P_{el} je spotřeba elektrické energie

Z jednoduchého vzorce vyplývá, že pro potřebu 182 MWh/rok spotřebujeme 49,2 MWh elektrické energie. Pro tepelná čerpadla se využívá distribuční tarif D57d. Dále se do ceny také promítá platba za jistič. V tomto případě je instalován jistič 3x50A.

Ze vstupních parametrů určujeme dle srovnávače ceníků TZB – info [13] cenu za odebrané množství elektrické energie. Celkové náklady na elektrickou energii vychází ročně na 337 000 Kč. Dodavatelem je společnost E.On.

10.2.4 Ekonomické zhodnocení varianty

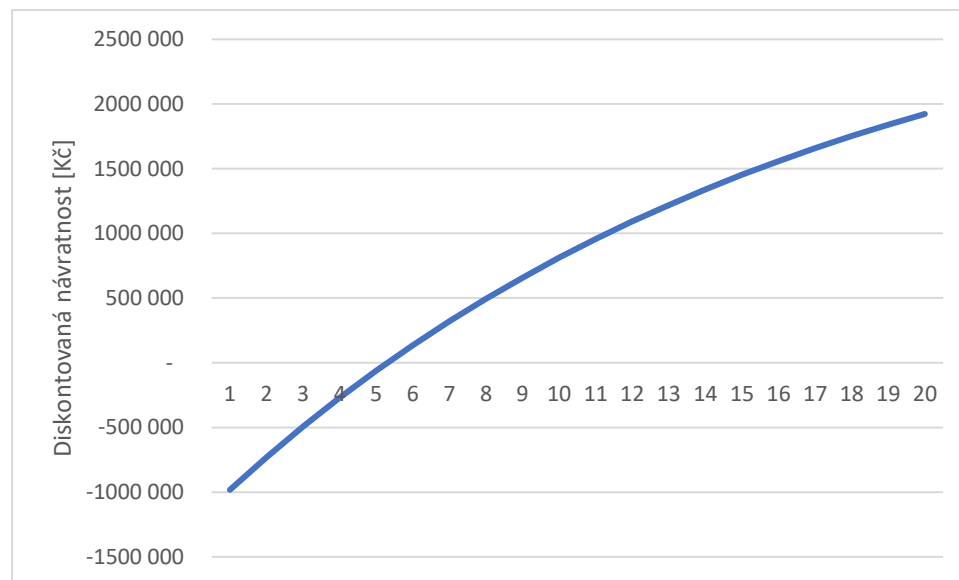
Při ekonomickém zhodnocení této varianty vycházíme z cen tepelných čerpadel. Těmto výdajům říkáme investiční náklady nebo-li capex, který tvoří 1 250 000 Kč [18]. Mezi operativní náklady řadíme náklady na elektrickou energii a servisní náklady pro tepelná čerpadla. V tabulce č.10 níže jsou rozepsány jednotlivé kategorie nákladů a úspor. WACC využíváme v celé práci stejný kvůli možnému porovnání hodnot. Životnost tepelných čerpadel odhadujeme na 20 let.

Náklady na tepelná čerpadla	900 000	Kč
Náklady na instalaci	350 000	Kč
Investiční náklady celkem	1 250 000	Kč
Náklady na elektrickou energii	337 000	Kč/rok
Náklady na údržbu	50 000	Kč/rok
Celkové provozní náklady	387 000	Kč/rok
Původní náklady za teplo dodané z SCZT	655 000	Kč/rok
Celková roční úspora na provozních nákladech	268 000	Kč/rok

Tabulka č.10 – Souhrn nákladů varianty tepelných čerpadel

Roční náklady na teplo z teplárny jsou 655 000 Kč. Celkové provozní náklady tepelných čerpadel činí 387 000 Kč za rok. Roční úspora na nákladech tedy činí 268 000 Kč.

Z grafu č.16 a tabulky č.11 diskontované návratnosti zjišťujeme, že je po ekonomické stránce možné projekt realizovat. NPV vychází kladné a break-even point nastává mezi 5. a 6. rokem životnosti projektu.



Graf č.16 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti tepelných čerpadel

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
CAPEX	- 1 250 000																				
OPEX	- 387 000	- 394 740	- 402 635	- 410 687	- 418 901	- 427 279	- 435 825	- 444 541	- 453 432	- 462 501	- 471 751	- 481 186	- 490 810	- 500 626	- 510 638	- 520 851	- 531 268	- 541 893	- 552 731	- 563 786	
Úspora za teplo	655 000	668 100	681 462	695 091	708 993	723 173	737 636	752 389	767 437	782 786	798 441	814 410	830 698	847 312	864 259	881 544	899 175	917 158	935 501	954 211	
CF	- 982 000	273 360	278 827	284 404	290 092	295 894	301 812	307 848	314 005	320 285	326 691	333 224	339 889	346 687	353 620	360 693	367 907	375 265	382 770	390 425	
DCF	- 982 000	251 945	236 851	222 662	209 323	196 783	184 994	173 911	163 493	153 698	144 490	135 834	127 697	120 047	112 855	106 094	99 738	93 763	88 146	82 865	
Akumulace	- 982 000	- 730 055	- 493 204	- 270 542	- 61 219	135 563	320 557	494 469	657 961	811 659	956 150	1 091 984	1 219 681	1 339 728	1 452 583	1 558 677	1 658 415	1 752 178	1 840 324	1 923 190	
Suma DCF	1 923 190																				

Tabulka č.11 – Model peněžních toků varianty tepelných čerpadel

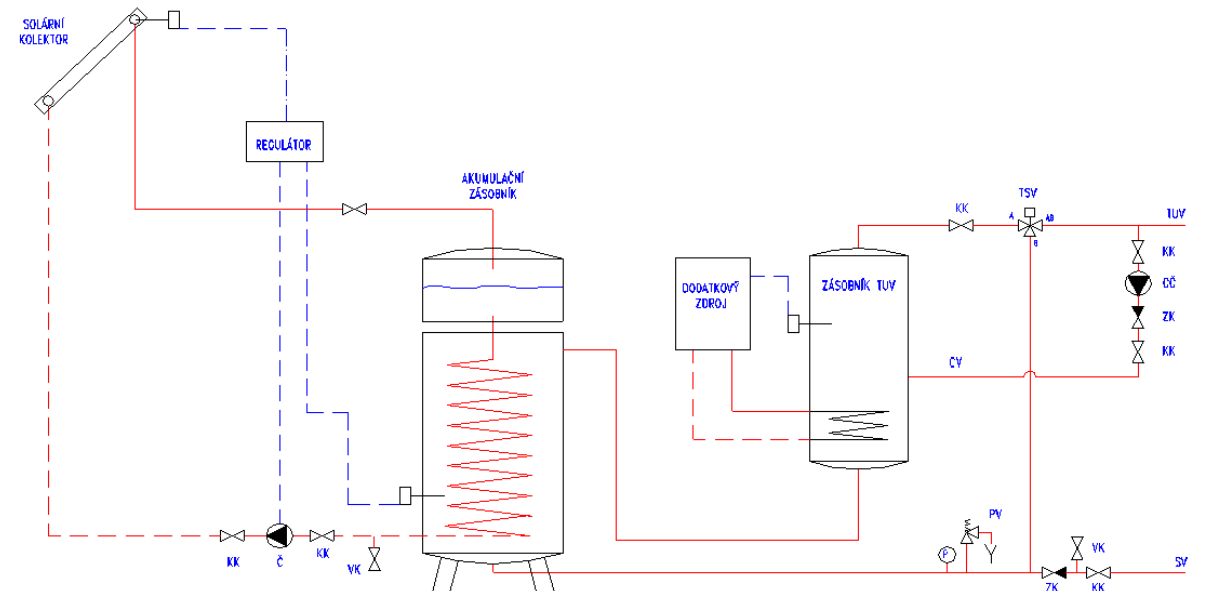
10.3 Návrh solárních kolektorů

10.3.1 Využití výkonu

U solárních kolektorů je největší překážkou potřeba využití tepla. Teplo bychom mohli skladovat v podobě akumulačních nádrží, které sebou přinášejí vysoké investiční náklady. Podobně jako u výroby tepla z FVE je nevýhodou rozložení výroby a potřeby tepla během roku, kdy při nejnižší potřebě tepla vyrábíme nejvíce a naopak při nejvyšší potřebě tepla vyrábíme nejméně tepla. Z těchto důvodů budeme navrhovat soustavu tak, aby pokryla potřebu pro ohřev TUV.

10.3.2 Návrh soustavy

Soustava bude tvořena ze solárních kolektorů, které budou napojeny na akumulační zásobník TUV. Z tohoto zásobníku poté bude TUV rozváděna do odběrového zásobníku, kde bude připojen špičkový zdroj pro případ potřeby dorovnání výkonu. Schéma je vidět na obrázku č.9. [35][43]



Obrázek č.9 – Soustava se solárním kolektorem [35]

10.3.3 Výpočet dle TNI 73 0302

Jelikož jsme se rozhodli dimenzovat zdroj tak, abychom ho využili na ohřev TUV, budeme potřebovat určit potřebu energie v TUV v daných měsících roku. Spotřeba energie v TUV je během roku rovnoměrná s menším kolísáním v letních měsících, kdy obyvatelé domu jezdí na dovolenou a celkově spotřebovávají méně teplé vody. Pro zjednodušení budeme uvažovat odběr v jednotlivých měsících rovnoměrný.

Po určení potřeby v jednotlivých měsících dimenzujeme soustavu pomocí vzorce z normy. [37]

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \right] \cdot H_{T,den} \cdot n \cdot A_k \cdot (1 - \rho)$$

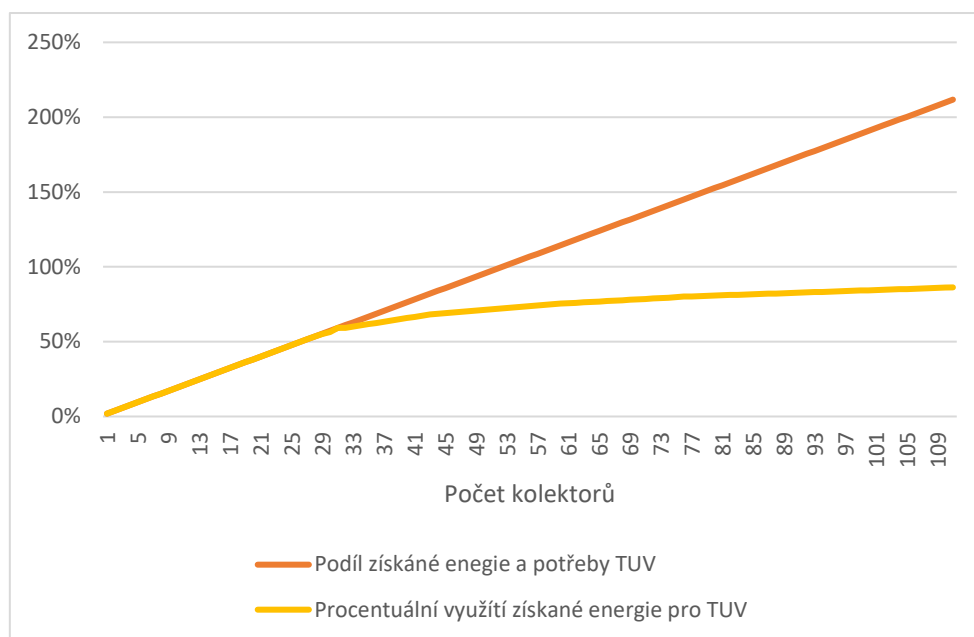
Kde	
$Q_{k,u}$	je získané teplo díky solárnímu kolektoru
η_0, a_1 a a_2	je konstanty křivky účinnosti solárního kolektoru
$t_{k,m}$	je střední denní teplota teplotnosné kapaliny v solárním kolektoru, ve °C
$t_{e,s}$	je střední venkovní teplota v době slunečního svitu, ve °C
$G_{T,m}$	je střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci, ve W/m ²
H_T, den	je skutečná denní dávka slunečního ozáření, v kWh/(m ² den)
N	je počet dní v měsíci
A_k	je plocha apertury solárních kolektorů, v m ²
P	je hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, solární zásobník)

Pro námi zvolený solární kolektor uvažujeme hodnoty parametrů popsané v tabulce č.12 níže.[43]

Optická účinnost	0,81
Lineární součinitel tepelné ztráty a_1 [W/m ² *K ²]	3,1
Kvadratický součinitel tepelné ztráty a_2 [W/m ² *K ²]	0,005
Plocha apertury solárního kolektoru [m ²]	1,8

Tabulka č.12 – Parametry solárního kolektoru

Výpočet optimalizujeme tak, abychom pokryli potřebu energie pro TUV v největším počtu měsíců. V optimalizačním procesu se také však snažíme dosáhnout co nejmenších ztrát energie vlivem naddimenzování. V grafu č.17 můžeme pozorovat závislost pokrytí potřeby TUV a procentuálního využití získané energie na pokrytí potřeby TUV na počtu instalovaných solárních kolektorů. Pokrytí potřeby TUV znamená – kolik procent potřeby energie pro TUV nám je schopen zajistit daný počet solárních kolektorů. Procentuální využití získané energie na pokrytí potřeby TUV znamená – kolik energie, které daný počet solárních kolektorů vyprodukuje, je možné reálně využít v souběhu spotřeby a produkce. Přičemž při tomto optimalizačním procesu jsou naší okrajovou podmínkou maximální možný počet solárních kolektorů, který by bylo možné instalovat na plochu střechy, která činí 250 m². Dále uvažujeme také koeficient využití střešní plochy, který je 0,8. Maximální zastavěná plocha činí 200 m². Na grafu č.17 je zřetelně vidět bod optima, kdy získáme využijeme nejvyšší množství získané energie.



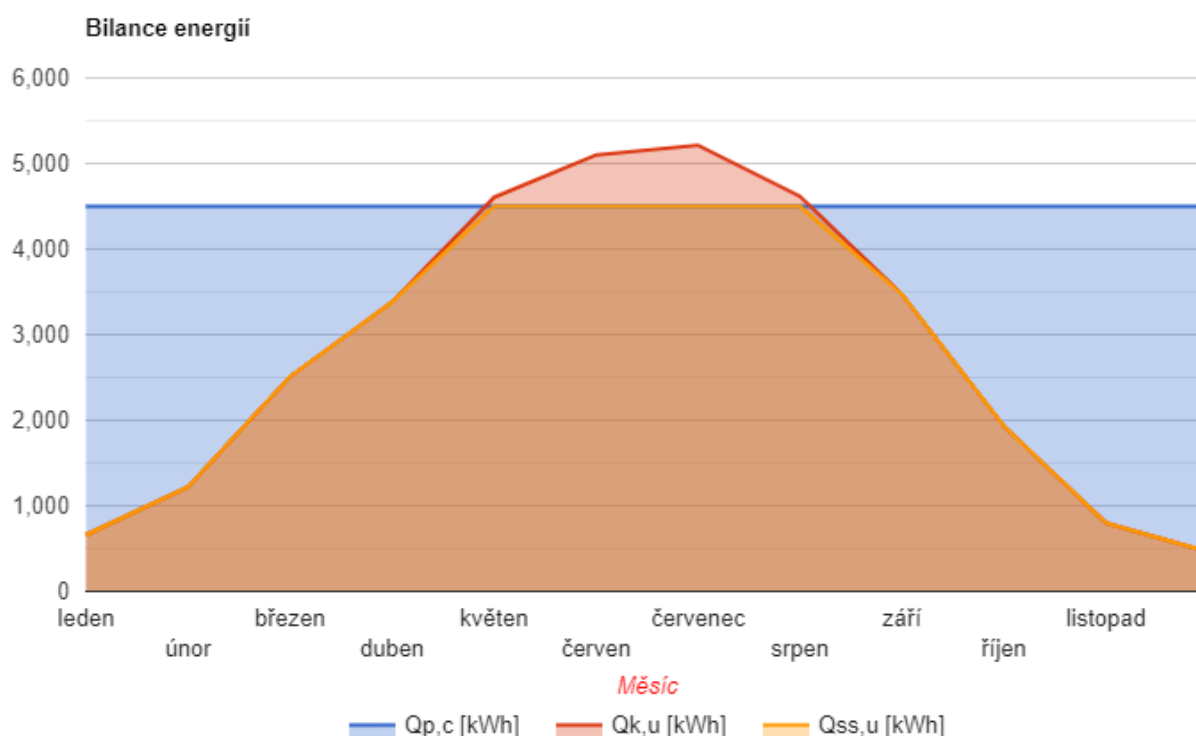
Graf č.17- Podíl získané energie a potřeby TUV a procentuální využití získané energie pro TUV v závislosti na počtu solárních kolektorů

Ve výpočtu uvažujeme využití 33 kusů těchto kolektorů, abychom pokryli potřebu TUV ve čtyřech měsících. Z dosazení známých hodnot nám poté vychází výsledky uvedené v tabulce č.13 níže. [6][4]

Měsíc	Počet dnů v měsíci	tes [°C]	Gtm [W/m2]	η	Htden [kWh/m2]	Htměs [kWh/m2]	Vyrobené teplo [kWh]	Využitelné teplo [kWh]
Leden	31	2,2	356	0,5	1	31	662	662
Únor	28	3,4	434	0,56	1,81	50,68	1220	1220
Březen	31	6,5	506	0,62	3,07	95,17	2513	2513
Duben	30	12,1	529	0,66	3,99	119,7	3383	3383
Květen	31	16,6	543	0,69	5,02	155,62	4605	4500
Červen	30	20,6	546	0,72	5,55	166,5	5101	4500
Červenec	31	22,5	538	0,73	5,41	167,71	5211	4500
Srpen	31	22,6	526	0,73	4,8	148,8	4617	4500
Září	30	19,4	501	0,7	3,86	115,8	3472	3472
Říjen	31	13,8	444	0,65	2,25	69,75	1930	1930
Listopad	30	7,3	369	0,56	1,12	33,6	800	800
Prosinec	31	3,5	325	0,48	0,72	22,32	462	462
Celkem							33976	32442

Tabulka č.13 – Výpočet energií ze solárních kolektorů

Na grafu č. 18 je vidět, že v zimních měsících nejsme schopni pokrýt potřebu energie na ohřev teplé vody. $Q_{p,c}$ nám vyjadřuje potřebu energie pro ohřev TUV, $Q_{k,u}$ nám vyjadřuje získanou energii ze solárních kolektorů a $Q_{ss,u}$ nám vyjadřuje energii, kterou jsme skutečně schopni využít na ohřev TUV. Potřebu energie pro ohřev teplé vody však naplňujeme ve čtyřech měsících s co nejmenším nevyužitým výkonem.



Graf č.18 – Bilance energií ze solárních kolektorů [6]

10.3.4 Ekonomické zhodnocení varianty

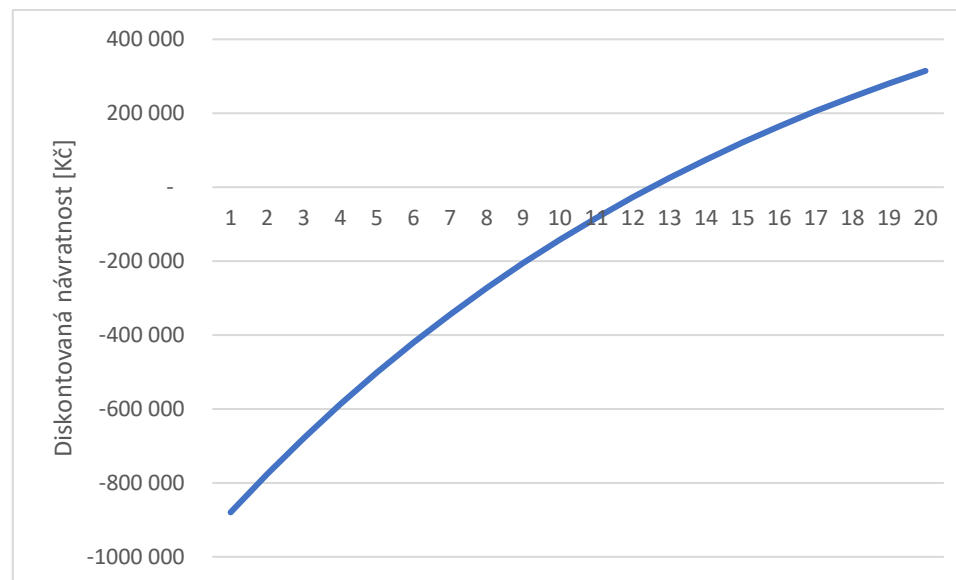
Pro výpočet ekonomické výhodnosti projektu budeme využívat parametry WACC ve výši 8,5 %. Dále očekáváme životnost projektu 20 let. Celkové náklady investiční náklady jsou 990 000 CZK. Rozpad těchto nákladů je uveden v tabulce č.14. Cenu jednoho panelu jsme určili empiricky dle měrných capexů, které pro naši velikost vychází na 30 000 Kč/kus. [6][4]

Náklady na solární kolektory	900 000	Kč
Náklady na instalaci	90 000	Kč
Investiční náklady celkem	990 000	Kč
Náklady na údržbu	6 600	Kč/rok
Celkové provozní náklady	6 600	Kč/rok
Uspořené náklady za teplo dodané z SCZT	116 791	Kč/rok
Celková roční úspora na provozních nákladech	110 191	Kč/rok

Tabulka č.14 – Souhrn nákladů a úspor varianty solárních kolektorů

Celkové investiční náklady jsou 990 000 Kč. Celková roční výroba tepelné energie je 32,442 MWh, což odpovídá ceně tepla z teplárny v hodnotě 116 791 Kč. Roční udržovací náklady jsou 6 600 Kč. Roční úspora na platbě za energii vychází na 110 191 Kč.

Po provedení výpočtu v tabulce č. a vizualizaci návratnosti v grafu č.19 docházíme k závěru, že tato varianta je ekonomicky realizovatelná. Hodnota NPV je vyšší než nula a break-even point nastává mezi 12. a 13. rokem.



Graf č.19 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti solárních kolektorů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CAPEX	- 990 000																			
OPEX	- 6 600	- 6 732	- 6 867	- 7 004	- 7 144	- 7 287	- 7 433	- 7 581	- 7 733	- 7 888	- 8 045	- 8 206	- 8 370	- 8 538	- 8 709	- 8 883	- 9 060	- 9 242	- 9 426	- 9 615
Úspora za teplo	116 791,20	119 127,02	121 509,56	123 939,76	126 418,55	128 946,92	131 525,86	134 156,38	136 839,51	139 576,30	142 367,82	145 215,18	148 119,48	151 081,87	154 103,51	157 185,58	160 329,29	163 535,88	166 806,59	170 142,73
CF	- 879 809	112 395	114 643	116 936	119 274	121 660	124 093	126 575	129 107	131 689	134 322	137 009	139 749	142 544	145 395	148 303	151 269	154 294	157 380	160 528
DCF	- 879 809	103 590	97 384	91 550	86 065	80 909	76 062	71 506	67 222	63 195	59 409	55 850	52 504	49 359	46 402	43 622	41 008	38 552	36 242	34 071
Akumulace	- 879 809	- 776 219	- 678 835	- 587 285	- 501 219	- 420 310	- 344 248	- 272 742	- 205 520	- 142 326	- 82 917	- 27 067	25 437	74 796	121 197	164 819	205 827	244 379	280 621	314 692
Suma DCF	314 692																			

Tabulka č.15 – Model peněžních toků varianty solárních kolektorů

11 Výroba elektrické energie

11.1 Varianta plynové kogenerační jednotky

11.1.1 Výběr kogenerační jednotky

Z důvodu potřeby využití veškerého tepelného výkonu pro získání benefitu kogenerace se snažíme vybrat kogenerační jednotku tak, aby byl její koeficient využití co největší. Z tohoto důvodu volíme kogenerační jednotku takovou, aby pokryla potřebu tepla pro TUV, která činí 195 GJ. Pro tuto potřebu volíme plynovou mikro-kogenerační jednotku neoTower Living 4.0 s jmenovitým elektrickým výkonem 4 kW a jmenovitým tepelným výkonem 8,8 kW [20]. Zbylé potřebné teplo pro vytápění budeme odebírat z SCZT.

11.1.2 Režim provozu



Graf č.20 – Režim provozu kogenerační jednotky

V této variantě počítáme s nepřetržitým provozem kogenerační jednotky KJ1 o tepelném výkonu 8,8 kW. Zbylé teplo potřebné pro vytápění bude nadále využíváno z SCZT. Vyznačení provozu kogenerační jednotky KJ1 je uvedeno v grafu č. 20.

11.1.3 Úprava prostor pro mikro-kogenerační jednotku

V domě se nachází prostory, které jsou vhodné pro umístění kogenerační jednotky. Prostory však musí splňovat veškeré bezpečnostní parametry a musí projít schválením hasičského sboru. Hlavní parametry, které musí prostory splňovat, jsou následující. Do prostoru umístění kogenerační jednotky musí být zajištěn dostatečný přívod vzduchu pro spalování a větrání. Dveře musí být z nehořlavého materiálu, otevíratelné směrem z místnosti ven a opatřeny bezpečnostním označením. Dalším důležitým kritériem je odhlučnění. Prostory, kde bude umístěna kogenerační jednotka musí být odhlučněny tak, aby splňovaly hygienické hlukové požadavky.

11.1.4 Bilance vstupů a výstupů

Pro výpočet nákladů na palivo je potřeba zjistit celkovou potřebu paliva pro námi sledované období (1 rok). Projektovaná potřeba tepla za rok je 54,16 MWh. Toto teplo bude vyráběno z kogenerační jednotky KJ1 o tepelné účinnosti 69,8 %.

$$P_{pal} = \frac{P}{\eta_Q} = \frac{54,16}{0,698} = 77,59 \text{ MWh}$$

Kde

P je tepelný výkon

η_Q je tepelná účinnost kogenerační jednotky

P_{pal} je příkon v palivu

Výsledný potřebný příkon v palivu je 77,59 MWh. Dle srovnávací ceníků TZB – info [12] určíme mediánovou cenu za tento odebraný plyn od renomovaného dodavatele na 185 000 Kč/rok. Tuto cenu poskytuje společnost E.On s fixací na jeden rok.

Výroba elektrické energie:

$$E = P_{pal} * \eta_E = 77,59 * 0,318 = 24,67 \text{ MWh}$$

Kde

E je elektrický výkon

η_E je elektrická účinnost kogenerační jednotky

P_{pal} je příkon v palivu

Tato výroba přesahuje celkovou spotřebu elektrické energie bytového domu. Přebytečnou elektrickou energii bude potřeba prodávat do sítě. Na přepouštění přebytků elektrické energie je však potřeba mít uzavřenou smlouvu a výkupní ceny bývají zpravidla velmi nízké.

11.1.5 Ekonomické zhodnocení varianty

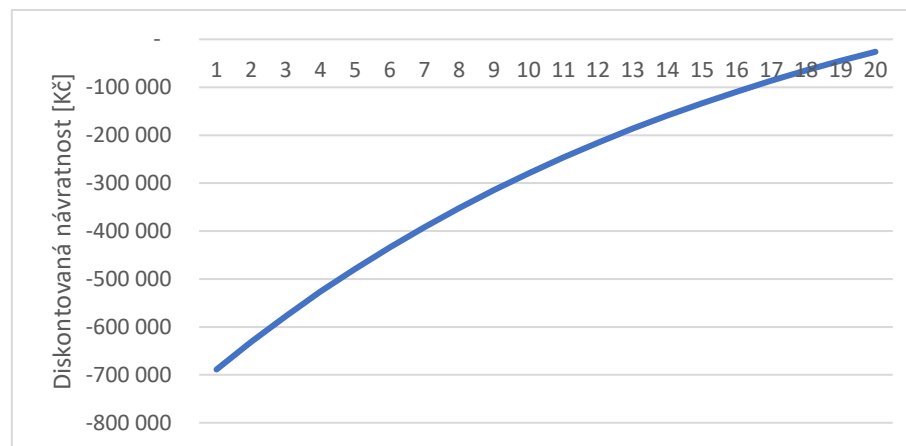
Při ekonomickém zhodnocení této varianty vycházíme z ceny kogenerační jednotky, akumulčních nádrží a stavebních nákladů spojených s úpravou kotelny tak, aby vyhovovala zákonem daným předpisům. Těmto výdajům říkáme investiční náklady nebo-li capex, který tvoří 750 000 Kč. Jednotlivé náklady a úspory jsou uvedeny v tabulce č.16. Mezi operativní náklady nebo-li opex řadíme především náklady na palivo a servisní náklady pro kogenerační jednotku. Náklady na palivo činí 185 000 Kč/rok a servisní náklady odhadujeme na 120 000 Kč/rok. Servisní náklady jsou vysoké z důvodu velké potřeby pravidelného servisu a velkému opotřebením dílů. Výkupní cenu elektrické energie uvažujeme 1,5 Kč/kWh.

Náklady na kogenerační jednotku	600 000	Kč
Náklady na úpravu kotelny	100 000	Kč
Náklady na instalaci a příslušenství	50 000	Kč
Investiční náklady celkem	750 000	Kč
Náklady na palivo	185 000	Kč/rok
Náklady na údržbu	120 000	Kč/rok
Celkové provozní náklady	305 000	Kč/rok
Uspořené náklady za elektrickou energii	161 280	Kč/rok
Výkup přebytků elektrické energie	9 870	Kč/rok
Uspořené náklady za teplo dodané z SCZT	195 000	Kč/rok
Celková roční úspora na provozních nákladech	61 150	Kč/rok

Tabulka č.16 – Souhrn všech nákladů a úspor varianty kogenerační jednotky

Celkové roční provozní náklady činí 305 000 Kč. Úspora za náklady na teplo je 195 000 Kč. Úspora za spotřebovanou elektrickou energii je 161 280 Kč a výnosy z prodeje zbylé elektrické energie jsou 9 870 Kč. Roční bilance vychází kladných 61 150 Kč.

Z grafu č. 21 a tabulky č. zjišťujeme, že projekt není ekonomicky výhodné realizovat, a to i přes zvýšené ceny elektřiny, jelikož má zápornou návratnost. NPV je menší než 0. Break-even point v tomto případě nenastává.



Graf č.21 - Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti kogenerační jednotky

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CAPEX	- 750 000																			
OPEX	- 305 000	- 311 100	- 317 322	- 323 668	- 330 142	- 336 745	- 343 480	- 350 349	- 357 356	- 364 503	- 371 793	- 379 229	- 386 814	- 394 550	- 402 441	- 410 490	- 418 700	- 427 074	- 435 615	- 444 327
Úspora za teplo	195 000	198 900	202 878	206 936	211 074	215 296	219 602	223 994	228 474	233 043	237 704	242 458	247 307	252 253	257 298	262 444	267 693	273 047	278 508	284 078
Úspora za elektrickou energii	161 280	164 506	167 796	171 152	174 575	178 066	181 627	185 260	188 965	192 745	196 599	200 531	204 542	208 633	212 806	217 062	221 403	225 831	230 348	234 955
Výkup elektrické energie	9 870	10 067	10 269	10 474	10 684	10 897	11 115	11 338	11 564	11 796	12 031	12 272	12 518	12 768	13 023	13 284	13 549	13 820	14 097	14 379
CF	- 688 850	62 373	63 620	64 893	66 191	67 515	68 865	70 242	71 647	73 080	74 542	76 032	77 553	79 104	80 686	82 300	83 946	85 625	87 337	89 084
DCF	- 688 850	57 487	54 043	50 805	47 762	44 900	42 210	39 682	37 304	35 070	32 969	30 994	29 137	27 391	25 750	24 208	22 757	21 394	20 112	18 908
Akumulace	- 688 850	- 631 363	- 577 321	- 526 515	- 478 754	- 433 854	- 391 643	- 351 962	- 314 657	- 279 588	- 246 619	- 215 626	- 186 489	- 159 098	- 133 347	- 109 140	- 86 382	- 64 988	- 44 876	- 25 968
Suma DCF	- 25 968																			

Tabulka č.17 - Model diskontovaných peněžních toků varianty kogenerační jednotky

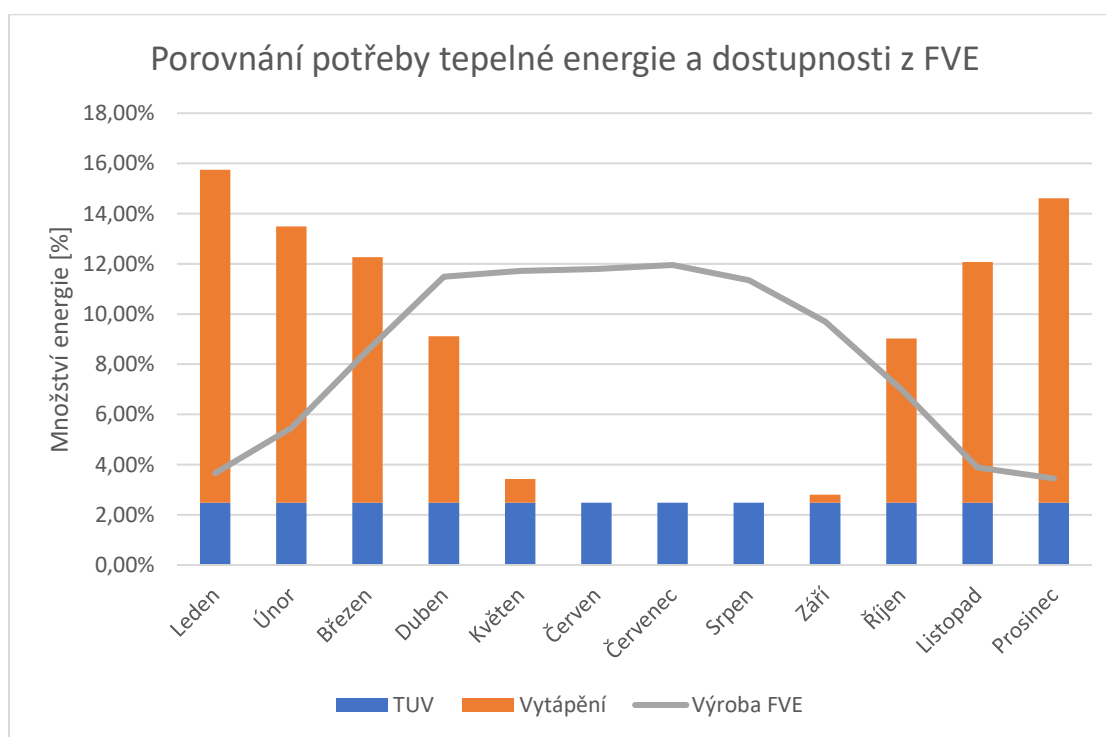
11.2 Návrh fotovoltaických panelů

V této variantě budeme navrhovat fotovoltaické panely na střechu o celkové ploše 250 m². Cílem této varianty bude využít část elektrické energie k pokrytí potřeby elektrické energie bytového domu a zbylou část k částečnému pokrytí potřeby tepla pro TUV. Zbylá potřeba tepla bude kompenzována ze SCZT. Nepokrytá potřeba elektrické energie bude dodávána ze sítě.

11.2.1 Výběr fotovoltaické elektrárny

11.2.2 Využití výkonu

Hlavním problémem využití solární energie k vytápění a ohřevu TUV je distribuce její výroby a spotřeby během roku. Níže na grafu č.22 můžeme pozorovat, že nejvyšší výrobu energie budeme mít v měsících s nejnižší potřebou tepla a naopak v měsících nejvyšší potřeby tepla je výroba nejnižší. Tento fakt budeme muset zohlednit v následném návrhu systému a využití zdroje.



Graf č.22 – Porovnání potřeby tepelné energie a dostupnosti

11.2.3 Návrh soustavy

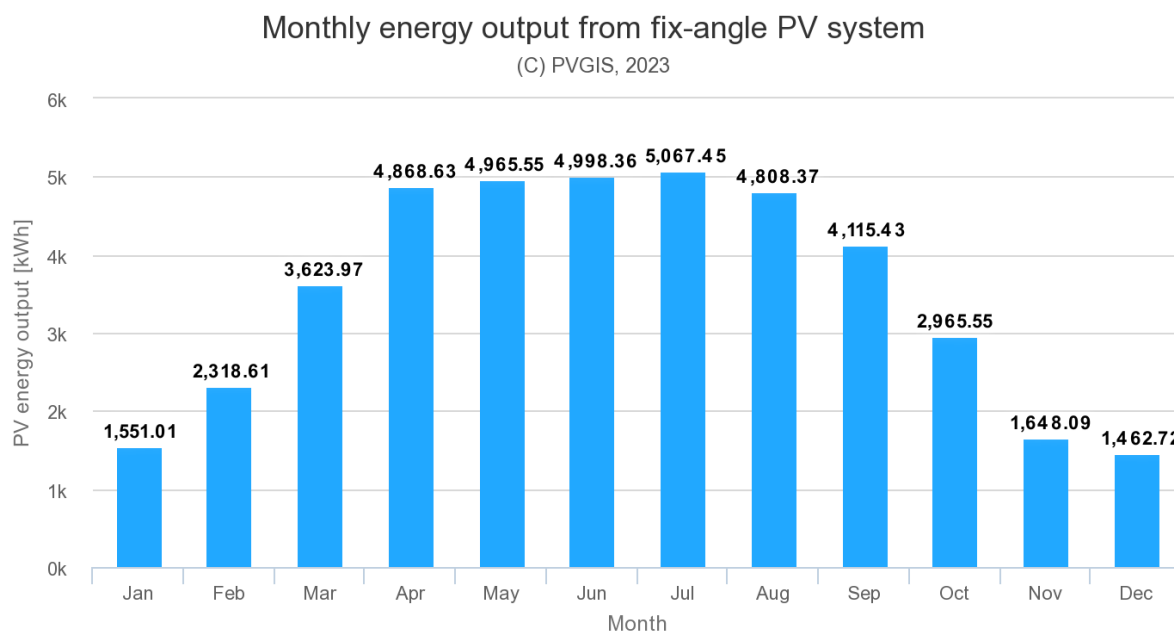
Při návrhu soustavy budeme uvažovat, že 15 % z vyrobené elektrické energie jsme schopni spotřebovat ve formě elektrické energie. Elektrická energie nebude ukládána do bateriových úložišť. Spotřebu 15 % budeme uvažovat na základě produkce elektrické energie v měsíci červenci, kdy je tato produkce nejvyšší. V měsíci červenci FVE vyprodukuje za den 163 kWh elektrické energie. Průměrná denní spotřeba elektrické energie bytového domu je 49 kWh. Maximální souběh spotřeby a produkce elektrické energie uvažujeme 50%. Z těchto výpočtů nám vychází maximální denní využití 24,5 kWh, což odpovídá 15 % z červencové výroby. Zbylou část budeme transformovat na teplo a využívat k ohřevu TUV.

Pro návrh využijeme maximální zastavitelnou plochu střechy, která činí 250 m². Při zohlednění stínění panelů a potřeby servisních prostorů na střeše budeme uvažovat plochu pro samotné panely 200 m². Koeficient využití plochy uvažujeme 0,8. Díky parametrům panelu z tabulky č.18 zjistíme, že celkový počet panelů umístěných na střechu je 90 kusů a celkový instalovaný výkon činí 40,5 kWp. [38]

Instalovaný výkon panelu	450	Wp
Plocha panelu	2,2	m ²
Využitelná plocha střechy	200	m ²
Počet panelů na střeše	90	ks
Celkový instalovaný výkon	40,5	kWp

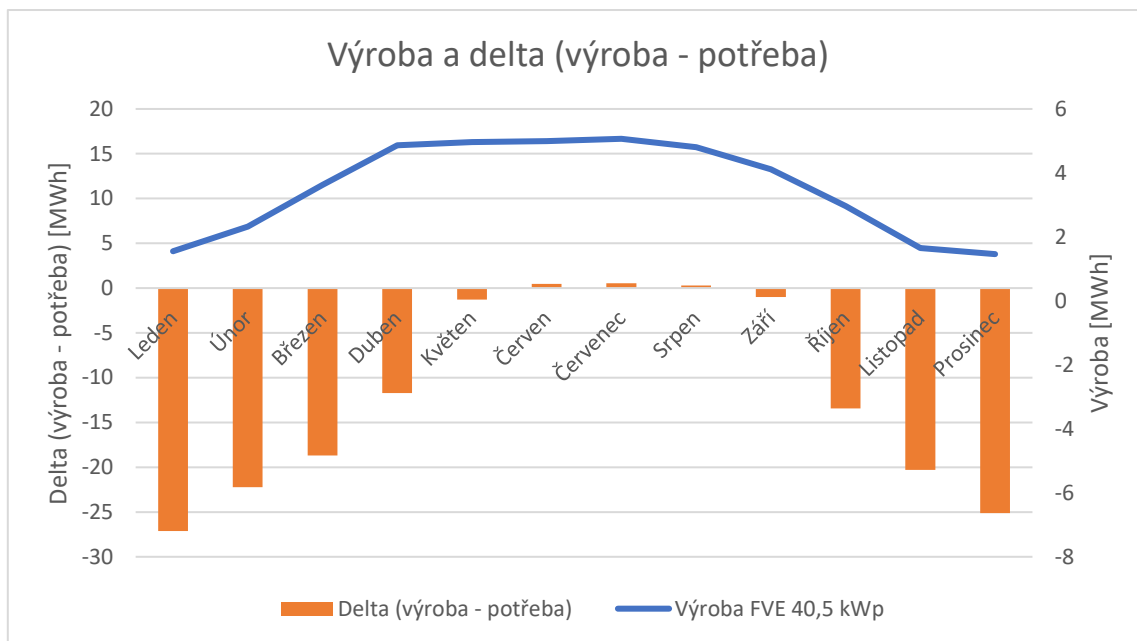
Tabulka č.18 – Parametry FV panelu [38]

Hodnotu instalovaného výkonu 40,5 kWp využijeme pro výpočet v programu PV GIS. Do tohoto programu zadáváme přesnou lokaci našeho objektu a parametry zvolených panelů z tabulky č.18. Z tohoto programu nám vyjde produkce energie uvedená níže v grafu č.23. [5]



Graf č.23 – Výroba z FVE 40,5kWp v jednotlivých měsících [5]

Při složení výroby z FVE a potřeby tepla pro dům zjišťujeme, že maximální využití plochy střechy nám pokryje potřebu tepla v letních měsících (tedy potřebu tepla pro TUV) s mírným přebytkem. Tento fakt je graficky znázorněn na grafu č.24.



Graf č.24 – Výroba a delta tepla

FVE tak můžeme uvažovat jako doplněk k systému centrálního zásobování teplem pro snížení odebraného tepla a tudíž i snížením platby, z důvodu příklonu k tzv. zeleným zdrojům. Dále by tato varianta mohla být i ekonomicky výhodná pro majitele domu.

11.2.4 Ekonomika varianty

Do výpočtu ekonomické výhodnosti projektu nám vstupuje hned několik faktorů. Celkové investiční náklady, náklady na údržbu, životnost panelů, cena tepla z teplárny a diskontní faktor. Výpočty budeme provádět na základě empiricky stanovených měrných investičních a udržovacích nákladů. Souhrn najdeme v tabulce č.19 níže.

Náklady na solární panely	1 065 000	Kč
Náklady na instalaci	150 000	Kč
Investiční náklady celkem	1 215 000	Kč
Náklady na údržbu	15 188	Kč/rok
Celkové provozní náklady	15 188	Kč/rok
Uspořené náklady za elektřinu	57 224	Kč/rok
Uspořené náklady za teplo dodané z SCZT	129 707	Kč/rok
Celková roční úspora na provozních nákladech	171 743	Kč/rok

Tabulka č.19 -Souhrn všech nákladů a úspor varianty FVE

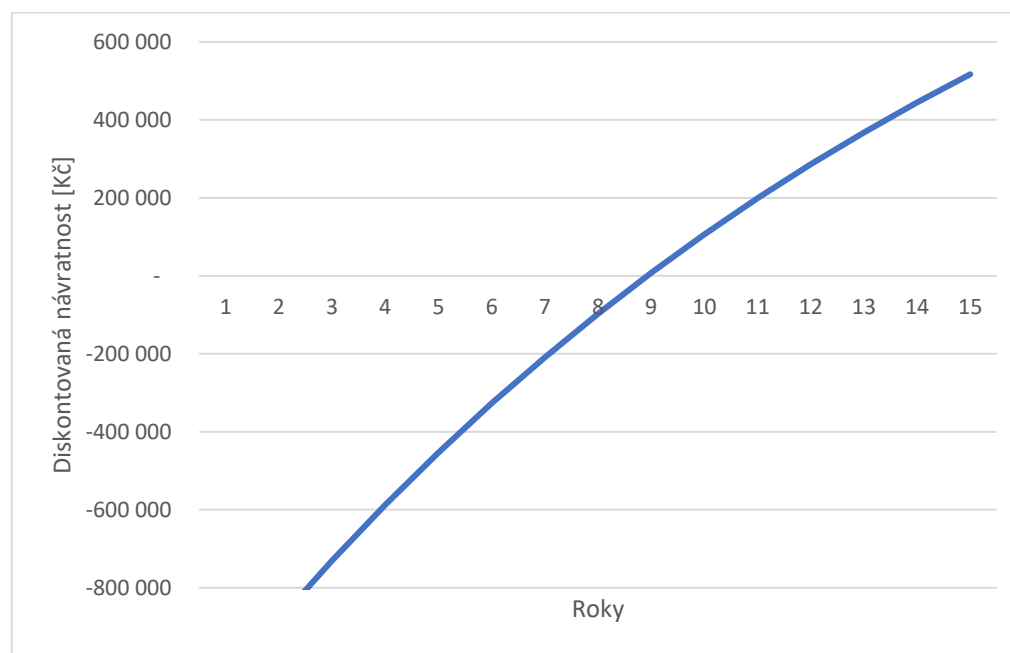
Celkové investiční náklady dosahují 1 215 000 Kč. Roční úspora za teplo z teplárny je 129 707 Kč a za elektrickou energii 57 224 Kč. Náklady na údržbu a revize dosahují 15 188 Kč za rok. Celková roční úspora nákladů vychází na 171 743 Kč.

Z těchto hodnot se dostáváme k následujícímu výpočtu diskontovaného cashflow modelu, který je uveden v tabulce č.20 Z tohoto modelu nám vychází, že je projekt rentabilní s break – even pointem v 8. roce provozu FVE, jak je znázorněno v grafu č.25. Realizaci projektu bychom tedy mohli doporučit

s ohledem na ekonomickou výhodnost. Výhodou výroby tepla z FVE je, že se jedná o zelený a bezemisní zdroj. Nevýhodou je potřeba doplňujícího zdroje, přeměna elektrické energie na tepelnou a velká kolísavost okamžitého výkonu.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CAPEX	- 1 215 000														
OPEX	- 15 188	- 15 491	- 15 801	- 16 117	- 16 439	- 16 768	- 17 104	- 17 446	- 17 795	- 18 150	- 18 513	- 18 884	- 19 261	- 19 647	- 20 040
Úspora za teplo	129 707,28	132 301,43	134 947,45	137 646,40	140 399,33	143 207,32	146 071,46	148 992,89	151 972,75	155 012,21	158 112,45	161 274,70	164 500,19	167 790,20	171 146,00
Úspora za elektřinu	57 223,80	58 368,28	59 535,64	60 726,35	61 940,88	63 179,70	64 443,29	65 732,16	67 046,80	68 387,74	69 755,49	71 150,60	72 573,61	74 025,09	75 505,59
CF	- 1 043 256	175 178	178 682	182 256	185 901	189 619	193 411	197 279	201 225	205 249	209 354	213 542	217 812	222 169	226 612
DCF	- 1 043 256	161 455	151 782	142 689	134 141	126 105	118 550	111 448	104 772	98 495	92 594	87 047	81 832	76 930	72 321
Akumulace	- 1 043 256	- 881 802	- 730 019	- 587 330	- 453 189	- 327 083	- 208 533	- 97 085	7 687	106 182	198 776	285 824	367 656	444 586	516 908
Suma DCF	516 908														

Tabulka č.20 – DCF model pro výrobu tepla z FVE



Graf č.25 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti FVE

12 Shrnutí

Cílem práce bylo zjistit a doporučit nejvhodnější variantu ze zkoumaných variant. To zajistíme vícekriteriální analýzou.

Vícekriteriální analýza nám dovolí srovnávat projekty podle více kritérií a to tak, že každému kritériu je přiřazena určitá váha podle důležitosti investora. V tomto konkrétním případě má největší váhu kritérium ekonomické výhodnosti. Toto kritérium budeme měřit dle NPV daného projektu. Dalším kritériem je hodnocení dopadu na životní prostředí. Zde hodnotím množství emisí a druh paliva. Posledním kritériem je minimální počáteční investice, která je pro SVJ důležitým opěrným bodem pro další plánování oprav a jiných výdajů.

Po přiřazení vah a jednotlivých bodů nám vznikne následující tabulka č.21.

	NPV	Body	Možnost získání dotace	Body	Počáteční investice	Body	Body celkem	Pořadí
Plynový kotel	1 422 046	6	NE	0	650 000	4	10	1
Kogenerační jednotka +CZT	- 25 968	0	NE	0	750 000	3	3	5
FVE + CZT	516 908	4	ANO	1	1 215 000	1	6	3
Solární kolektor + CZT	314 692	2	ANO	1	990 000	2	5	4
Tepelné čerpadlo	1 923 190	8	ANO	1	1 250 000	0	9	2

Tabulka č.21 – Vícekriteriální analýza

Z tabulky č.21 nám vyplývá, že nejvhodnější projekt k realizaci je projekt plynové kotelny a to díky vysoké návratnosti investice a přitom nízkým investičním nákladům.

Z tohoto důvodu bych doporučil realizovat projekt plynové kotelny.

13 Závěr

V této práci jsem se zabíral studií bytového domu a možnými alternativními zdroji pro jeho vytápění nebo zásobování elektrickou energií. V práci byla zpracována bilance energií a vypočtena tepelná ztráta objektu, která vychází na 14,1 kW. Na základě těchto tepelných ztrát a energetických bilancí byl sestaven diagram trvání výkonu, který byl využit při navrhování jednotlivých variant dodávky tepla a kombinace dodávky tepla a elektrické energie. Pro varianty byla zvolena různá technologická řešení tak, aby odrážela trendy moderní energetiky, ale také aby zohlednila stávající energetický mix v ČR. Po vypracování těchto variant byla provedena analýza ekonomické výhodnosti. Všechna tato vstupní data byla zahrnuta do vícekriteriální analýzy, na jejímž základě byla vybrána a doporučena optimální varianta.

14 Seznam použité literatury

- [1] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií
- [2] Vyhláška č.480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku
- [3] Petrák J., Petrák M.: Tepelná čerpadla. ČVUT v Praze, FS. 2004. ISBN 80-01-03126-8
- [4] <https://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [5] PV GIS [Online] PV calculator [3.1.2023] Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [6] doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D [online] [3.3.2023] Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [7] doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D [online] Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP [3.3.2023] Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivitu-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [8] OTE [Online] Popis společnosti [12.12.2022] Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/o-spolecnosti/zakladni-udaje>
- [9] TZB info [Online] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [4.2.2023] Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [10] MONETA [online]. MONETA Money Bank, a.s., © 2021. [26. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.moneta.cz/slovník-pojmu/detail/cistasoucasna-hodnota>
- [11] TZB info [online]. Topinfo s. r. o., © 2001-2021. [29. 12. 2022]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22067-stresni-fotovoltaika-jakfunguje-a-co-od-ni-ocekavat>
- [12] TZB info [Online] Kalkulátor ceníků plynu [3.3.2023] Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnaní-nabídek>
- [13] TZB info [Online] Kalkulátor ceníků elektrické energie [20.05.2023] Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-elektrické-energie-porovnaní-nabídek>
- [14] Tepelná čerpadla [online]. © Copyright Topinfo, 2021 [cit. 2021-01-12]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [15] Operátor trhu s elektřinou: Statistika, měsíční zpráva elektřina [online]. © OTE, 2018 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs>
- [16] Energetický regulační úřad: O úřadu [online]. Jihlava, 2020 [21.02.2023]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/o-uradu>
- [17] Ceník kotlů Vitocrossal [Online] [220224_Kompaktni_cenik_08-2022_final.indd \(jikoterm.cz\)](https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/LTU/Listy/Cerpadla/Vitocal%20300-220224_Kompaktni_cenik_08-2022_final.indd_(jikoterm.cz))
- [18] Technický list Vitocal 300-A [Online] Viessmann [18.05.2023] Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/LTU/Listy/Cerpadla/Vitocal%20300->

[A%20AWO%20301.pdf/ jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Vitocal%20300-A%20AWO%20301.pdf](https://www.vitocal.com/Content/OriginalMediaFileDownloadAttachmentFile/Vitocal%20300-A%20AWO%20301.pdf/jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Vitocal%20300-A%20AWO%20301.pdf)

- [19] Technický list Vitocrossal 300 [Online] Viessmann [1.2.2023] Dostupné z: [https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/LTU/Listy/Plynov_e_kondenzacni/Vitocrossal%20300%20CU3A.pdf/ jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Vitocrossal%20300%20CU3A.pdf](https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/LTU/Listy/Plynov_e_kondenzacni/Vitocrossal%20300%20CU3A.pdf/jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Vitocrossal%20300%20CU3A.pdf)
- [20] Technický list neoTower living 4.0 [Online] neoTowe [9.4.2023] Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/mikrokogeneracni-jednotky-neotower-2-0-9-5-kwe>
- [21] ERÚ [Online] Jaké je složení ceny elektřiny nebo plynu [20.2.2023] Dostupné z: <https://www.eru.cz/jake-je-slozeni-ceny-elekriny-nebo-plynu-jak-se-cena-pocita>
- [22] ČEZ [Online] Jak fungují FVE ? [13.4.2023] Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobnizdroje/obnovitelne-zdroje/slunce/jak-funguje-slunecni-elektrarna>
- [23] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [24] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [25] NOŽIČKA, Jiří. Základy termomechaniky. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008 [20.04.2023]. ISBN 978-80-01-04022-5.
- [26] Techem, Vyúčtování energií bytového domu Na Vrcholu 2527 – *nemožno zveřejnit v příloze z důvodu nesouhlasu všech dotčených osob zmíněných ve vyúčtování*
- [27] DD Energo [Online], Energetický audit [02.02.2023] Dostupné z: <https://www.ddenergo.cz/sluzby/energeticky-audit/>
- [28] ČEZ [Online], Princip solárního kolektoru [03.05.2023] Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [29] Estav.cz [Online], Jak funguje tepelné čerpadlo [03.05.2023] Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3184.tepelne-cerpadlo-jak-funguje>
- [30] Kurzy.cz [Online], Vývoj ceny plynu, [20.05.2023] Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/>
- [31] Kurzy.cz [Online], Vývoj ceny elektřiny, [03.05.2023] Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elekriny-graf-vyvoje-ceny/>
- [32] SolidSun [Online], Dodavatelé a distributoři - jaký je mezi nimi rozdíl?, [20.05.2023], Dostupné z: <https://www.solidSun.cz/prispevky/dodavatele-a-distributori---jaky-je-mezi-nimi-rozdil-286.php>
- [33] Petruška Bohumil [Online], SOLÁRNÍ KOLEKTORY S VAKUOVÝMI TRUBICEMI [20.05.2023] Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26729
- [34] Nemakej.cz [Online], Fotovoltaický článek [03.03.2023] Dostupné z: <https://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-clanek.php>

- [35] Ing. Tomáš Matuška, Ph.D., Ing. Jan Schwarzer, Ing. Bořivoj Šourek [Online], Solární soustavy - teorie a schémata (II) [20.05.2023] Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/2641-solarni-soustavy-teorie-a-schemata-ii>
- [36] Nabídka na zateplení bytového domu Na Vrcholu 2527 – *nemožno zveřejnit v příloze z důvodu nesouhlasu všech dotčených osob zmíněných ve vyúčtování*
- [37] Norma TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup
- [38] Technický list solární panel AEG AS-M1 44(X)-H(M6)-450 [Online] AEG [20.05.2023] Dostupný z: https://solsol.cz/sites/default/files/data-sheets/high_efficiency_as-m144x-hm6_202203_v1_en_sscert_cz_solsol_vz.pdf
- [39] ČHMÚ [Online] Historická data o průměrných teplotách [03.01.2023] Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [40] Regulus [Online] Katalog solárních systémů [03.05.2023] Dostupné z: https://www.regulus.cz/download/prospekty/cz/solarni-systemy_katalog_cz.pdf
- [41] CNE a.s. [Online] Úvod do mikrokogenerace [03.03.2023] Dostupné z: <https://www.cne.cz/mikrokogenerace/uvod-do-mikrokogenerace/>
- [42] Viessmann [Online] Plynové kotle [02.02.2023] Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [43] Ing. Marek Baláš, Ph.D., Ing. Martin Lisý, Ph.D., Ing. Jiří Moskalík [Online] Kotle a paliva [03.01.2022] Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [44] OEnergetice.cz [Online] Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR [02.01.2023] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>

15 Seznam obrázků

Obrázek č.1 – Schéma energetického auditu – převzato z [27]

Obrázek č.2 – Rozdělení distribučního území v ČR – převzato z [32]

Obrázek č.3 – Schéma fungování tepelného čerpadla – převzato z [29]

Obrázek č.4 – Princip činnosti solárního kolektoru – převzato z [28]

Obrázek č.5 – Trubkový kolektor – převzato z [33]

Obrázek č.6 – Plochý kolektor – převzato z [33]

Obrázek č.7 – Princip činnosti fotovoltaického článku – převzato z [34]

Obrázek č.8 – Vyznačení objektu a jeho orientace

Obrázek č.9 – Soustava se solárním kolektorem – převzato z [35]

16 Seznam grafů

Graf č.1 – Vývoj ceny elektrické energie březen 2020 – březen 2023 – převzato z [31]

Graf č. 2 – Vývoj ceny plynu květen 2020 – květen 2023 – převzato z [30]

Graf č. 3 – Vývoj ceny tepla v letech 2019 – 2021

Graf č.4 – Vývoj spotřeby tepla pro vytápění 2019 -2021

Graf č.5 – Vývoj spotřeby tepla pro ohřev TUV 2019 -2021

Graf č.6 – Vývoj spotřeby elektrické energie 2018 – 2022

Graf č.7 – Vývoj spotřeby plynu 2018 – 2022

Graf č. 8 – Rozložení zastoupení energií na celkové spotřebě [vlevo] a na celkové platbě [vpravo]

Graf č.9 – Struktura obyvatelstva bytového domu

Graf č.10 – Diagram trvání venkovních teplot

Graf č.11 – Závislost celkového topného výkonu na teplotě

Graf č.12 – Roční křivka trvání instalovaného výkonu

Graf č.13 – Rozložení potřeby tepla během roku

Graf č.14 – Pokrytí potřeby instalovaného výkonu

Graf č.15 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti plynových kotlů

Graf č.16 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti tepelných čerpadel

Graf č.17- Podíl získané energie a potřeby TUV a procentuální využití získané energie pro TUV v závislosti na počtu solárních kolektorů

Graf č.18 – Bilance energií ze solárních kolektorů – převzato z [6]

Graf č.19 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti solárních kolektorů

Graf č.20 – Režim provozu kogenerační jednotky

Graf č.21 - Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti kogenerační jednotky

Graf č.22 – Porovnání potřeby tepelné energie a dostupnosti

Graf č.23 – Výroba z FVE 40,5kWp v jednotlivých měsících – převzato z [5]

Graf č.24 – Výroba a delta tepla

Graf č.25 – Graf diskontované návratnosti v průběhu životnosti FVE

17 Seznam tabulek

Tabulka č.1 – Spotřeba tepla na vytápění v letech 2019 -2021

Tabulka č.2 – Spotřeba tepla pro ohřev TUV v letech 2019 -2022

Tabulka č.3 – Spotřeba elektrické energie v MWh

Tabulka č.4 – Spotřeba plynu v MWh

Tabulka č.5 – Procentuální zastoupení energií na celkové spotřebě a na celkové platbě

Tabulka č.6 – Struktura obyvatelstva bytového domu

Tabulka č.7 – Průměrné teploty, otopné dny a denostupně

Tabulka č.8 – Souhrn nákladů varianty plynových kotlů

Tabulka č.9 – Model peněžních toků varianty plynových kotlů

Tabulka č.10 – Souhrn nákladů varianty tepelných čerpadel

Tabulka č.11 – Model peněžních toků varianty tepelných čerpadel

Tabulka č.12 – Parametry solárního kolektoru

Tabulka č.13 – Výpočet energií ze solárních kolektorů

Tabulka č.14 – Souhrn nákladů a úspor varianty solárních kolektorů

Tabulka č.15 – Model peněžních toků varianty solárních kolektorů

Tabulka č.16 – Souhrn všech nákladů a úspor varianty kogenerační jednotky

Tabulka č.17 – Model peněžních toků varianty kogenerační jednotky

Tabulka č.18 – Parametry varianty FV panelů

Tabulka č.19 -Souhrn všech nákladů a úspor varianty FVE

Tabulka č.20 – Model peněžních toků FVE

Tabulka č.21 – Vícekriteriální analýza