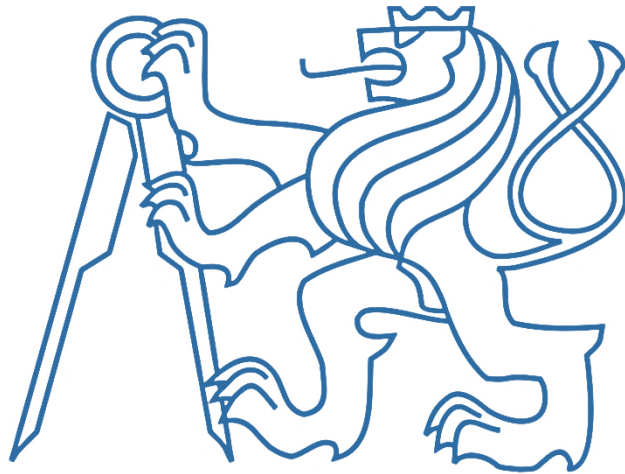


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



Efektivnost Sluneční kogenerace na bytovém domě

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Lukáš **Dedouch**
Vedoucí práce: Ing. **Miroslav Vitek, CSc.**
Rok: 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dedouch** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **499293**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Efektivnost sluneční kogenerace na bytovém domě

Název bakalářské práce anglicky:

Effectivity of sun cogeneration on flat house

Pokyny pro vypracování:

Charakter spotřeby tepla a elektřiny v domě a návrh systému kombinace fotovoltaiky s fototermikou
Návrh variant využití tepla a elektřiny ze slunce včetně odhadu jejich peněžních toků
Výběr ekonomicky optimální varianty

Seznam doporučené literatury:

MURTINGER, Karel, BERANOVSKÝ Jiří, TOMESŠ Milan. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7386-133-5
BROŽ, Karel, ŠOUŘEK Boňvoj. Alternativní zdroje energie. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2802-X

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Vitek, CSc. 13116

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

Datum zadání bakalářské práce: **02.02.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

Ing. Miroslav Vitek, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústav/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne:

.....

Jméno a Příjmení

Poděkování

Děkuji za vedení mé bakalářské práce panu Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc. a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

.....

Jméno a Příjmení

Název práce: Efektivnost sluneční kogenerace na bytovém domě

Autor: Lukáš Dedouch

Obor: Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Konzultant: —

Abstrakt: Práce se věnuje tématu míry získávání tepla a elektřiny ze sluneční energie zároveň. Teoretickou instalací na bytový dům jsou propočítány jak energetické a finanční zisky, tak celková cena.

Klíčová slova: Solární kogenerace, fotovoltaika, tepelný výměník, tepelné čerpadlo, výnosnost

Title: *Efficiency of solar cogeneration on an apartment building*

Author: Lukáš Dedouch

Abstract: *The thesis deals with the topic of the rate of obtaining heat and electricity from solar energy at the same time. Both energy and financial gains, as well as the total price, are calculated by theoretical installation on an apartment building.*

Key words: *Solar cogeneration, photovoltaics, heat exchanger, heat pump, profitability*

Obsah

| | |
|--|----|
| Obsah | 1 |
| Seznam použitých zkratk..... | 4 |
| Úvod..... | 5 |
| Kapitola 1 Nastínění situace | 6 |
| 1.1 Instalace fotovoltaiky | 6 |
| 1.1.1 Lokalita | 6 |
| 1.1.2 Účel instalace | 7 |
| 1.1.3 Spotřeba energie..... | 7 |
| 1.1.4 Typy panelů..... | 8 |
| 1.1.5 Sklon fotovoltaických panelů..... | 9 |
| 1.1.6 Maximální elektrický výkon | 9 |
| 1.1.7 Potřebný elektrický výkon | 11 |
| 1.1.8 Typ akumulátoru | 12 |
| 1.1.9 Velikost akumulátoru | 12 |
| 1.2 Tepelný okruh..... | 14 |
| 1.2.1 Tepelné čerpadlo voda/voda | 14 |
| 1.2.2 Uchycení výměníku | 15 |
| 1.2.3 Předávaný tepelný výkon | 16 |
| 1.2.4 Výpočet průtoku chladící kapaliny | 17 |
| 1.2.5 Parametry dopravního potrubí..... | 18 |
| 1.2.6 Výpočet tlakové ztráty potrubí..... | 19 |
| 1.2.7 Výpočet uspořené elektrického výkonu | 20 |
| Kapitola 2 Fotonvoltaická elektrárna..... | 21 |
| 2.1 Fotonvoltaické panely | 21 |
| 2.2 Akumulátor..... | 22 |
| 2.3 Měníč..... | 22 |
| 2.4 Práce | 23 |
| 2.5 Celková investice | 23 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.5.1 | Počet panelů | 23 |
| 2.5.2 | Akumulátor | 23 |
| 2.5.3 | Měnič..... | 24 |
| 2.5.4 | Kabeláž..... | 24 |
| 2.5.5 | Instalační platformy | 25 |
| 2.5.6 | Práce | 25 |
| Kapitola 3 | Doprovodná instalace..... | 26 |
| 3.1 | Propojení soustavy | 26 |
| 3.2 | Oběhové čerpadlo..... | 26 |
| 3.2.1 | Výpočet tlakových ztrát | 26 |
| 3.2.2 | Potřebný výtlač čerpadla..... | 27 |
| 3.2.3 | Výběr čerpadla | 28 |
| 3.2.4 | Přepočet počtu panelů a bateriových modulů | 29 |
| 3.3 | Akumulační nádrž | 29 |
| 3.3.1 | Velikost nádrže..... | 30 |
| 3.4 | Provedená práce | 31 |
| Kapitola 4 | Měděný tepelný výměník..... | 32 |
| 4.1 | Konstrukce..... | 32 |
| 4.1.1 | komponenty..... | 33 |
| 4.1.2 | Provedená práce | 34 |
| 4.1.3 | Analýza a porovnání technik spojů | 35 |
| 4.2 | Parametry..... | 35 |
| 4.3 | Investice..... | 36 |
| 4.3.1 | Svářený tepelný výměník..... | 37 |
| 4.3.2 | Lisovaný tepelný výměník..... | 37 |
| 4.3.3 | Zhodnocení..... | 38 |
| Kapitola 5 | Tepelný výměník z hliníku..... | 39 |
| 5.1 | Konstrukce..... | 39 |
| 5.2 | Provedená práce | 39 |
| 5.3 | Parametry..... | 40 |
| 5.4 | Investice..... | 40 |
| 5.4.1 | Práce..... | 40 |

| | | |
|------------|--|----|
| 5.4.2 | Cena za materiál | 41 |
| 5.4.3 | Celková cena investice | 41 |
| Kapitola 6 | Tepelný výměník z PPR-CT | 42 |
| 6.1 | Konstrukce | 42 |
| 6.2 | Komponenty | 42 |
| 6.2.1 | trubky | 42 |
| 6.2.2 | T-kusy a kolena | 42 |
| 6.3 | Parametry | 43 |
| Kapitola 7 | Ekonomické zhodnocení a porovnání investic | 44 |
| 7.1 | Náklady | 44 |
| 7.2 | Příjmy | 45 |
| 7.2.1 | Doba generování energie | 45 |
| 7.2.2 | Kolísavé oteplování panelu | 46 |
| 7.2.3 | Cena elektřiny | 46 |
| 7.2.4 | Inflace | 46 |
| 7.2.5 | Roční příjem | 47 |
| 7.3 | Porovnání variant | 48 |
| 7.3.1 | Energetické porovnání | 48 |
| 7.3.2 | Ekonomické porovnání | 48 |
| 7.3.3 | Stanovení diskontní sazby | 49 |
| 7.3.4 | NPV | 49 |
| Závěr | | 52 |
| Literatura | | 53 |

Seznam použitých zkratk

| | |
|----------|---------------------------------|
| TČ..... | tepelné čerpadlo |
| BD..... | bytový dům |
| FVE..... | fotovoltaická elektrárna |
| El..... | elektrický |
| COP..... | topný faktor tepelného čerpadla |

Úvod

V současné době prudce narůstá zájem o technologie schopné využívat sluneční energii. Zájem o tyto technologie stoupá zejména v důsledku probíhající energetické krize a štedré dotační politice na obnovitelné zdroje.

Tato bakalářská práce je zaměřena na zjištění efektivnosti sluneční kogenerace na bytovém domě. Sluneční kogenerace je technologie umožňující získávat z jednoho zdroje el. energii a zároveň teplo. Moje práce se zabývá efektivitou a proveditelností instalace takového systému v bytovém domě.

Pro projekt sluneční kogenerace jsem vybral FVE, jejíž panely jsou ochlazovány tepelným výměníkem. Tepelný výměník odvádí ztrátové teplo z fotovoltaických panelů a pomocí TČ voda/voda ohřívá zásobníky teplé vody.

Cílem této práce je zjistit, energetické a ekonomické hledisko výše popsané instalace. V této práci nejsou zohledněny dotace na podporu obnovitelných zdrojů energie.

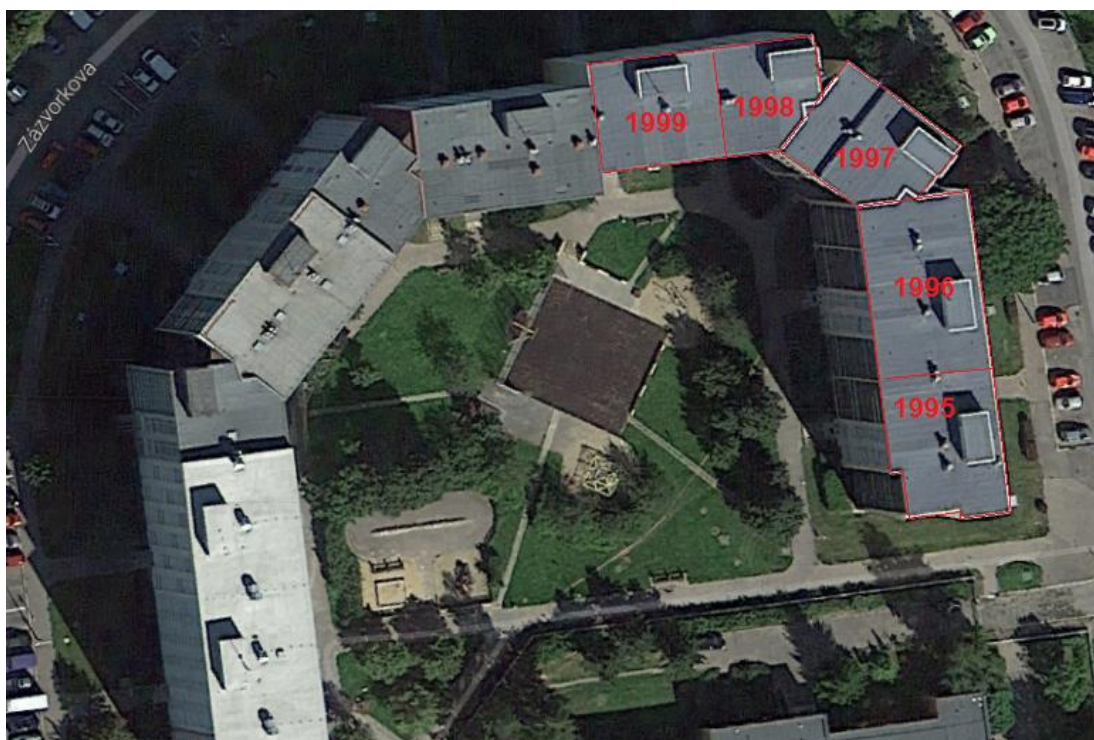
Kapitola 1

Nastínění situace

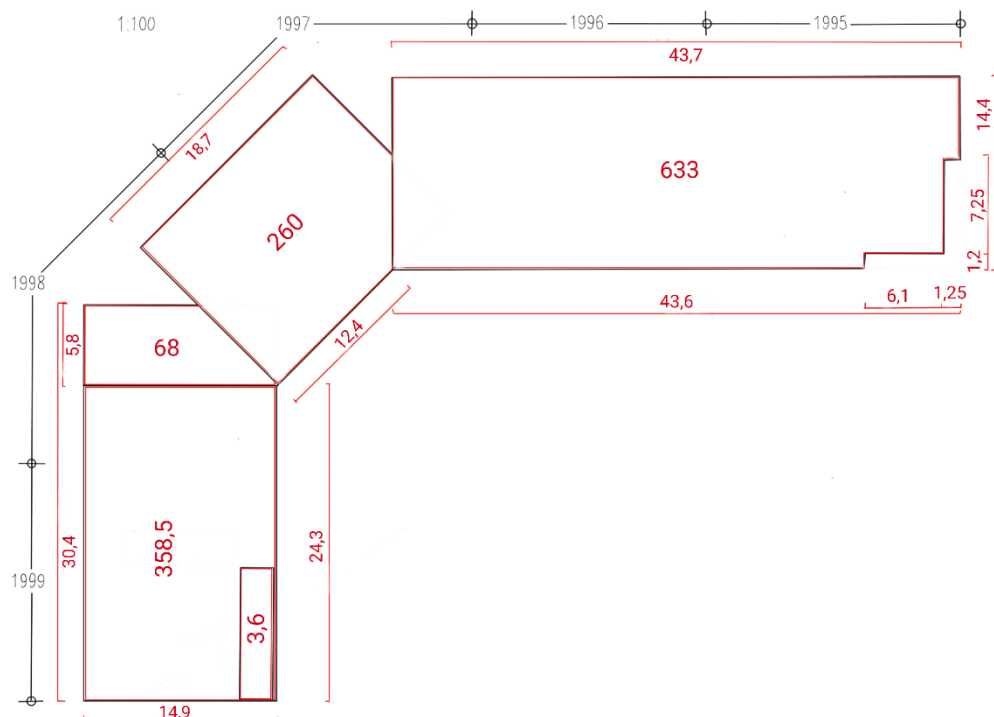
1.1 Instalace fotovoltaiky

1.1.1 Lokalita

BD se nachází na adrese Zázvorkova 1995-99 Praha 13 s celkovou rozlohou střešní plochy 1 323 m². Od této hodnoty je však nutné odečíst plochu, kterou zabírá instalace kaskády tří TČ a strojoven. Tedy výsledná plocha, kterou je možné využít pro výrobu el. energie, je 1 120 m².



Obr.1 Pohled na BD ulice Zázvorkova 1995-99 z ptačí perspektivy



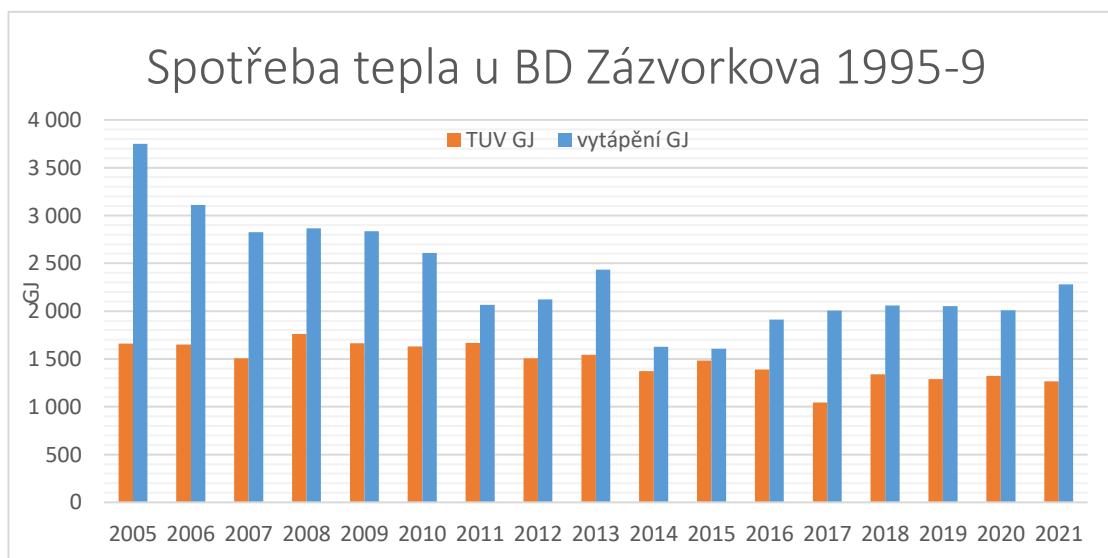
Obr.2 Střešní plocha bytového domu Zázvorkova 1995-99(V blocích jsou zaznamenány údaje plochy v jednotkách m²) [vedoucí práce]

1.1.2 Účel instalace

Hlavním účelem instalace FVE je zajištění energie pro ohřev vody. Jak jsem již zmínil, na střeše se nachází kaskáda tří TČ typu vzduch/voda od firmy Viessmann. Konkrétně se jedná o typ Vitocal 100 18A. Čerpadlo je monoblokové, typu vzduch/voda a určené pro venkovní instalace. Tedy účelem FVE bude zajištění přísunu el. energie TČ.

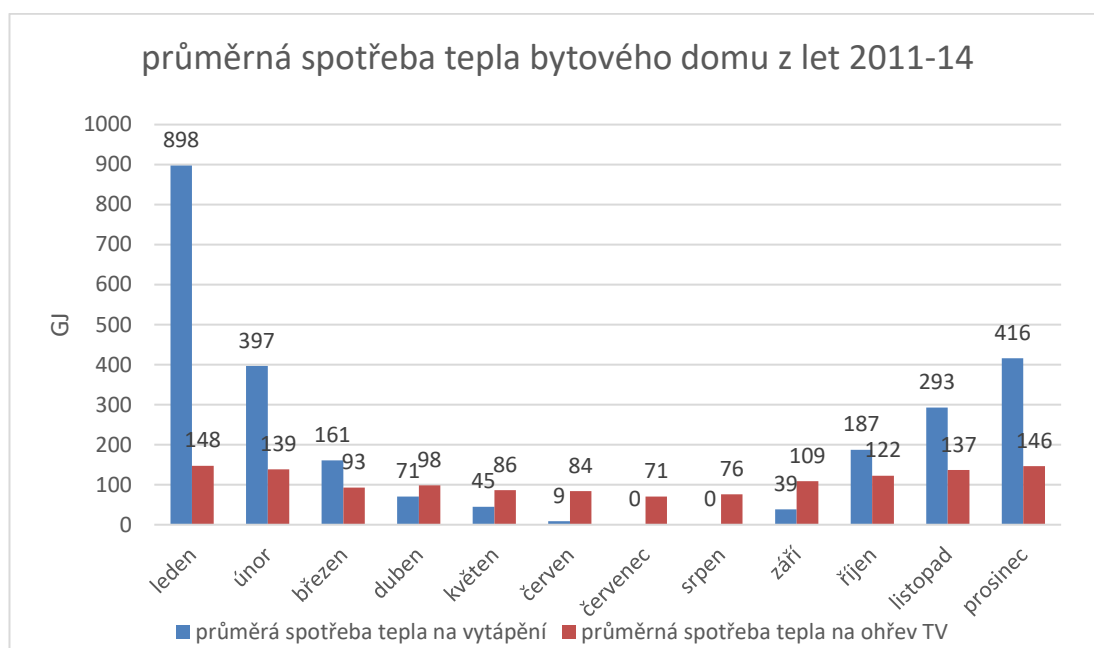
1.1.3 Spotřeba energie

Graf.1 ukazuje, jaká je přibližná spotřeba energie na ohřev teplé vody, jak užitkové, tak do otopné soustavy, v jednotlivých letech.



Graf.1 Spotřeba tepla u BD Zázvorkova 1995-9 [vedoucí_práce]

Nejprve je třeba se zaměřit na rozložení spotřeby tepla v průběhu roku. Toto rozložení je naprosto rozdílné od rozložení výroby solárních systémů. Za zimních měsíců se spotřeba tepla na ohřev teplé vody zvedá průměrně dvojnásobně, zatímco spotřeba tepla na vytápění tvoří majoritní podíl z celkové roční spotřeby (graf.1).



Graf.2 průměrná spotřeba tepla BD Zázvorkova 1995-99 z let 2011-14 [vedoucí_práce]

Soustava, kterou je potřeba navrhnout, musí splňovat základní předpoklad. Jelikož vycházím z TČ je jejich průměrný COP je roven hodnotě 3. Pak tedy podělíme průměrnou hodnotu denně spotřebovaného tepla v letních měsících 1 MWh právě hodnotou COP. To pro nás znamená průměrnou spotřebu el. energie přibližně 0,36 MWh denně. [3]

1.1.4 Typy panelů

Vhodným zvolením instalovaného typu panelu lze docílit rozdílných ekonomických a technických požadavků.

Jako optimální varianta se jeví převládající monokrystalické fotovoltaické panely s půlenými články, jejichž efektivita okolo 20 % je velmi uspokojivá v kombinaci se zlepšenými tepelnými vlastnostmi při použitých půlených článků. [8],[9]

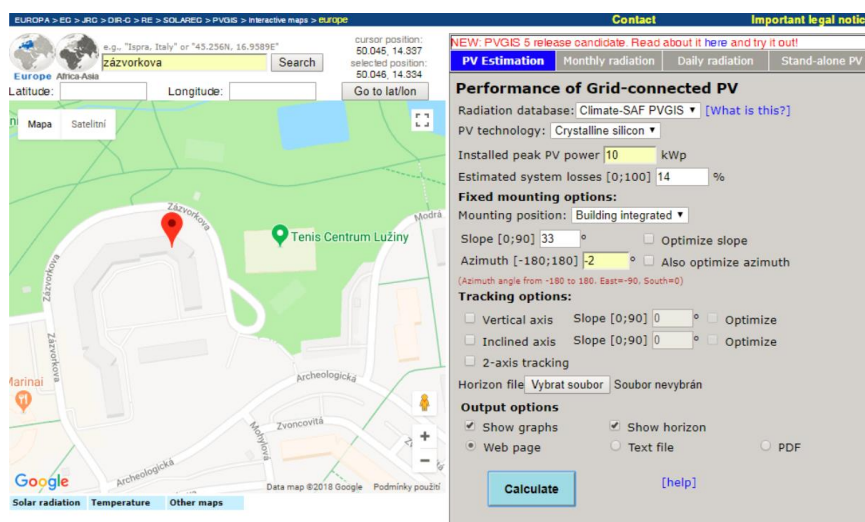
1.1.5 Sklon fotovoltaických panelů

„Jako optimální sklon fotovoltaických panelů se pro největší výkon v českém podnebí obecně uvádí hodnota mezi 30–40° jižní orientace, kdy v tomto rozmezí jsou u menších elektráren, orientačně výkonem do 10 kWp zanedbatelný.“ [2]

Pro různá roční období jsou vhodné jiné sklony a jiné azimuty natočení, proto existují konstrukční možnosti, kdy panely následují sluneční pohyb a upravují jejich sklon pro největší odběr. Avšak tyto instalace nemají význam u běžného využití, jelikož rozdíly v odebírané roční energii se liší v jednotkách procent. Proto v tomto případě doporučuji pevnou instalaci.

“Pomocí webové aplikace PV-GIS bylo zjištěno, že optimální sklon a natočení panelů pro největší energetický odběr za rok je sklon 33° s azimutem -2°.“ [2]

Tato konfigurace bude platit i v případě instalace fototermických kolektorů.

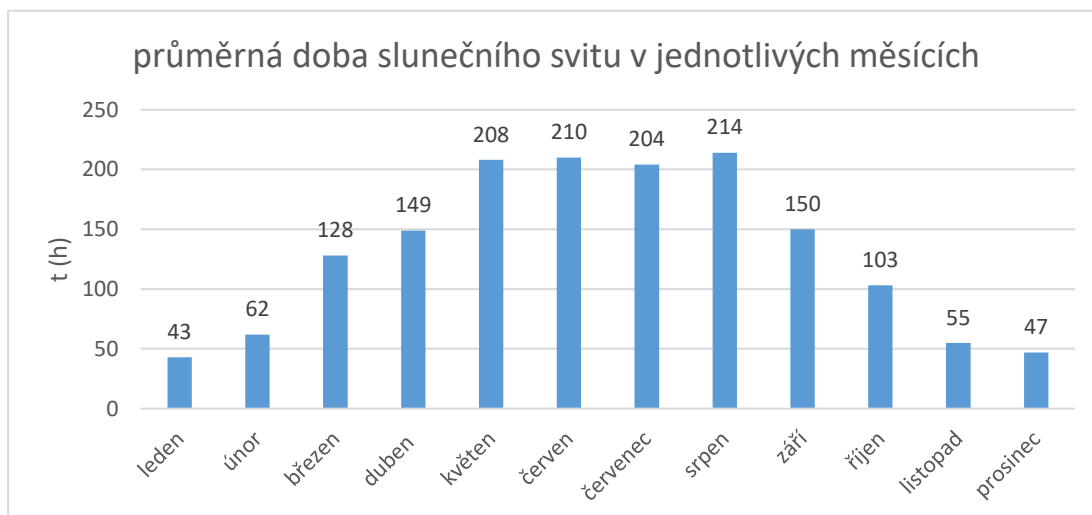


Obr.3 PV-GIS [2]

1.1.6 Maximální elektrický výkon

Potencionální el. výkon střešní plochy budu počítat pouze v největším zatížení během roku, což bude výstupní hodnotou. Takto budu postupovat z důvodu zjištění maximálního množství přebytků, které v soustavě mohou vzniknout.

Nejdlejší průměrná doba slunečního svitu v lokalitě je v měsíci srpen (graf.3)



pro BD nevyužitelný. Při přepočtu výkonu na energii dostávám se na přibližnou hodnotu téměř 260 MWh ročně, přičemž el. energie využívaná ve společných prostorách bytového domu a na jeho společný chod byla v minulém roce necelých 37 MWh. [zdroj_vedoucí práce] Jiné využití jako například prodej energie do sítě je nevýhodné.

1.1.7 Potřebný elektrický výkon

Jedná se o požadovaný el. výkon na zajištění soběstačnosti soustavy TČ, pro zjednodušení neberu v potaz energii spotřebovatelnou na provoz hnacích čerpadel tepelného okruhu.

Výpočet je provedený při nejnižším zatížení TČ, jelikož v požadavcích je důležitým parametrem dosažení co nejmenších možných přebytků energie.

Potřebný výkon se tedy bude rovnat srpnové el. spotřebě TČ dělený průměrným počtem hodin slunečního svitu v srpnu.

Spotřeba je zjištěna pomocí průměrné srpnové spotřeby tepla (*graf.2*), přičemž tuto hodnotu dělím počtem dní měsíce a COPem TČ.

$$E_n = \frac{E_{srp}}{COP * n} \quad (GJ) \quad \text{vzorec.1}$$

$$E_n = \frac{76}{3 * 31} \quad GJ$$

$$E_n = 0,81 \quad GJ$$

- E_n – průměrná denní spotřeba el. energie (J)
- E_{srp} – průměrná měsíční spotřeba tepla (J)
- n – počet dní (-)

Následně tuto hodnotu převedu z jednotek Joule do jednotek Watt hodin. V tomto případě to znamená denní el. spotřebu TČ 227 kWh. Avšak přes tuto teoretickou hodnotu je výsledná spotřeba TČ nižší. Z denního průběhu příkonu TČ v letím období (příloha A.1.1) lze vyzorovat průměrný příkon 6,2 kW neboli 149 kWh spotřebované energie za 24 hodin. Tyto nižší hodnoty jsou způsobeny rychlým přechodem do špičky, kdy TČ nejsou schopny dosáhnout požadovaného výkonu a dostatečně rychle reagovat, proto zbytek energie pokrývají plynové kotle.

Pokud bych počítal potřebnou energii od FVE musel bych výslednou hodnotu navyšovat o 25 %, čímž bych kompenzoval ideální výkon, kterého při realizaci nelze dosáhnout. Jelikož je valná většina těchto ztrát způsobena oteplením panelu, které chci pomocí kogenerace kompenzovat, toto navýšení nemusím provést.

$$P_i = \frac{E_n}{T} \quad (kWp) \quad \text{vzorec.2 [6]}$$

$$P_i = \frac{149}{6,903} \quad kWp$$

$$P_i = 21,58 \quad kWp$$

- P_i – ideální potřebný el. výkon (kWp)
- E_n – průměrná denní spotřeba energie (kWh)
- T – průměrný denní počet hodin slunečního svitu (h)

Tedy ideální instalovaný výkon pro samostatný chod TČ je 22 kWp, což je přibližně ekvivalentní 104 m².

1.1.8 Typ akumulátoru

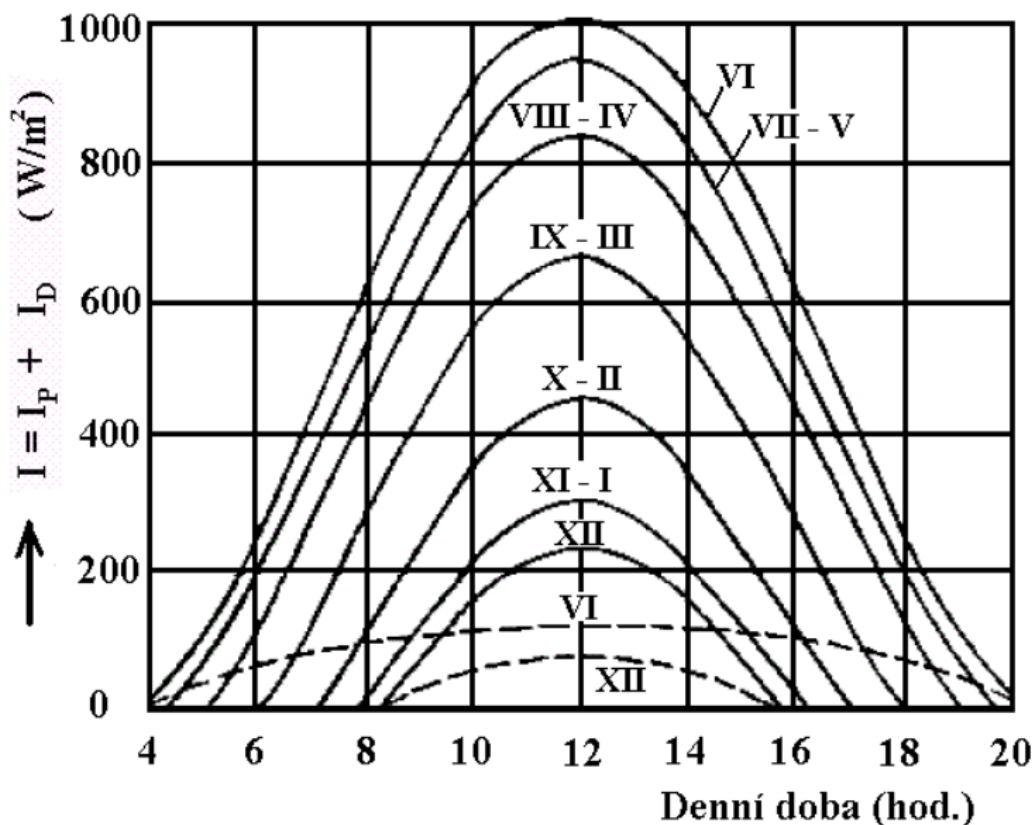
Akumulátor, který je vhodný pro instalaci je lithium-iontového typu, konkrétně lithium-železo-fosfátový akumulátor. [48], [49]

Umístění akumulátoru je plánováno ve sklepních prostorách bytového domu, je tedy ochráněn od vlivů vnějšího prostředí na akumulátor, které by mohly urychlovat stárnutí baterie. Stabilní teplota sklepních prostor se celoročně pohybuje mezi 12-15 °C, tedy nebude potřeba chladicího systému akumulátoru.

Tento typ akumulátoru je náročný na přesnost napájecího a vybíjecího proudu a napětí. O tento problém se již spotřebitel nemusí starat, jelikož většina firem v dnešní době prodává set s kontrolním počítačem a měničem přímo s akumulátorem, většinou zabudovaný ve společné skříni. [48]

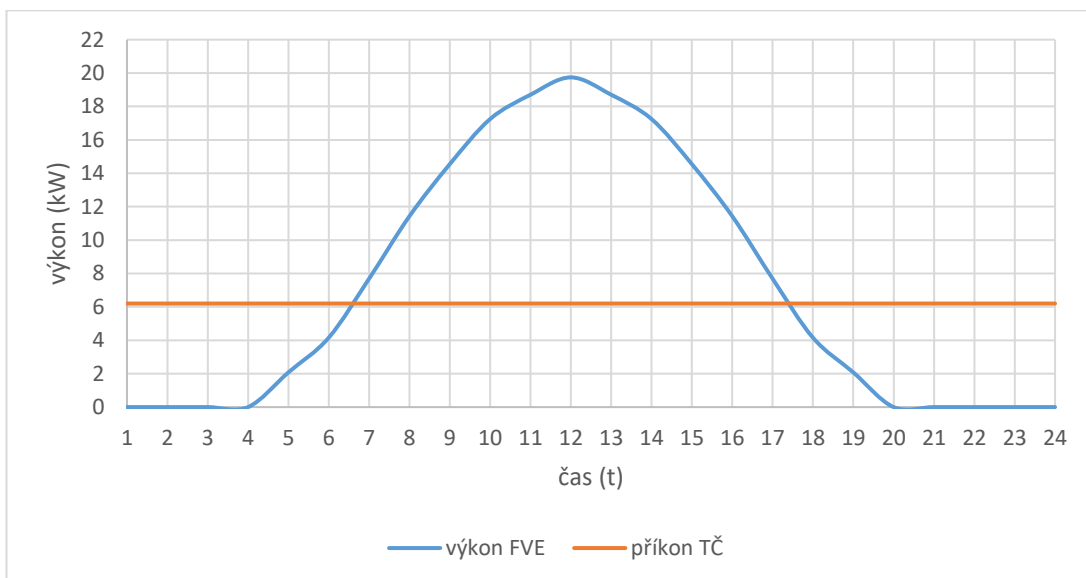
1.1.9 Velikost akumulátoru

Akumulátor musí být dostatečně veliký pro pokrytí spotřeby TČ v době, kdy FVE nedosahuje dostatečného výkonu na toto pokrytí. K tomuto poslouží překrytí grafů spotřeby TČ a výroby FVE. Budu k tomu předpokládat panely o efektivitě 20 % a spočteném výkonu 22 kWp. K tomuto využití dat průběhu intenzity slunečního záření za slunečného dne v Brně.



Obr.4 průběh intenzity slunečního záření během dne [13]

Tedy pokud téměř ekvivalentně bude replikován průběh v srpnovém měsíci Obr.4 průběh VIII a jako druhý průběh vložím průměrnou hodnotu příkonu TČ, pak jsem schopen získat rozdílovou energii, kterou je potřeba uchovat v akumulátoru.



Graf.4 předpokládaný průběh příkonu TČ a výkonu FVE

Jako průběh příkonu zde může být použita konstantní hodnota průměrného denního příkonu. Tento krok může vytvořit početní odchylku, avšak z přílohy A.1.1 je zřejmé, že největší příkon je ve večerních hodinách, zatímco v brzkých ranních je

příkon TČ minimální. Tedy tento fakt jsem vykompenzoval rozložením příkonu do celého dne.

Tuto plochu zjednoduším a budu počítat úseky pro 4-6,5 h a 17,5 – 20 h jako jeden konstantní blok o trvání 2,5 h a stabilním příkonu 6,2 kW, jelikož jsou zde průběhy růstu a poklesu výkonu FVE téměř lineární. Vznikne mi tedy úsek o délce 10,5 h kdy je třeba dodávat výkon 6,2 kW. Jedná se o 65 kWh energie.

Jelikož se snažím o co největší šetrnost k životnosti baterie, bude vhodnější použít dvojnásobek této kapacity, aby se co nejméně dostával akumulátor pod 50 % své kapacity a nezrychlovala se tak jeho degradace. [11]

$$C = 2 * E_n (kWh) \quad \text{vzorec.3 [10]}$$

$$C = 2 * 65 kWh$$

$$C = 130 kWh$$

- C – naakumulovaná energie (kWh)
- E_n – průměrná spotřeba energie TČ (kWh)

Tedy pro stabilní pokrytí denní spotřeby v letním období je, je potřeba naakumulovat 130 kWh. Pro výpočet kapacity akumulátoru je potřeba tuto hodnotu podělit pracovním napětím akumulátoru.

Například předpokládám že akumulátor má pracovní napětí rovno 24 V, pak je ideální kapacita 5,4 kWh.

1.2 Tepelný okruh

Pro doplnění dosavadního ohřevu vody pomocí plynových kotlů, považuji zvolit dvouokruhový kapalinový solární systém, kdy použijeme tepelných výměníků přichycených na zadní straně panelu. Hlavní okruh se bude uzavírat přes akumulární nádrž, usazenou ve sklepních prostorách, a tepelné výměníky na zadní straně fotovoltaických panelů.

Sekundární okruh bude uzavřen přes TČ voda/voda, taktéž nacházející se ve sklepních prostorách, které bude systému sloužit jako další zdroj tepla a zároveň bude ochlazovat chladicí kapalinu v akumulární nádrži.

1.2.1 Tepelné čerpadlo voda/voda

Toto čerpadlo bude v ohřívacím systému bytového domu zapojeno podobným způsobem jako ostatní TČ (příloha A.1.2).

„Jako vhodné řešení se zdá být čerpadlo českého výrobce Mastertherm konkrétně model AQ45Z s COP 3,7, s výstupní teplotou kapaliny do topného systému 50 °C a výstupní teplotou kapaliny do výměníků 10 °C.“ [33]

Příčemž el. příkon na provoz čerpadla je 5,7 kW. Příčemž topný výkon je 20,9 kW. Jeho cena se na trhu pohybuje okolo 194 000 Kč, tedy s touto cenou budu počítat. [32], [33]

Toto TČ však svým vlastním výkonem převyšuje celou kaskádu TČ vzduch/voda umístěných na střeše. Tedy po jeho zapojení se dá předpokládat s chodem pouze tohoto čerpadla. TČ vzduch/voda by následně sloužily pro rychlé navýšení výkonu ve špičkách a zimní provoz.

Následkem tedy bude snížení celkové spotřeby el. energie. Tím se také změní potřebný počet instalovaných panelů a velikost akumulátoru.

1.2.2 Uchycení výměníku

Jednou z možností je využití tepelně vodivého lepidla, které však není dimenzované na hmotnost s ohledem na umístění výměníku ze spodní strany bez jakékoliv opory. Mám také obavy z rychlé degradace materiálu z důvodu vnějších vlivů vlhkosti a rozdílných teplot.

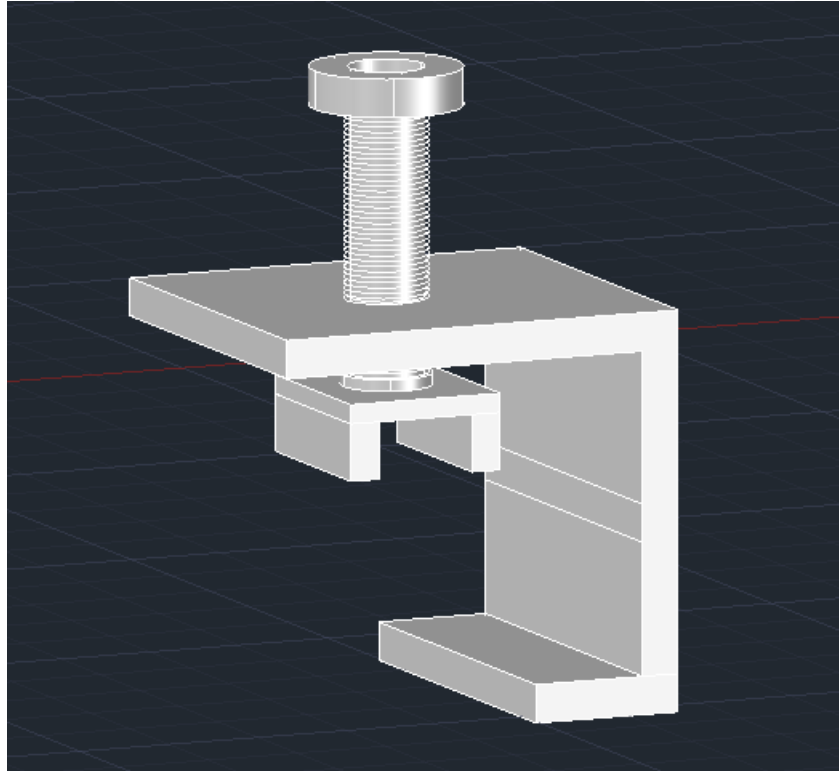
Druhou možností je přivaření nosné konstrukce výměníku na konstrukci panelů. Plocha výměníku by byla přímo natlačena na zadní plochu panelu, ideálně s vrstvou tepelně vodivé pasty. Jedná se o konstrukčně a ekonomicky náročnější řešení.

Poslední možností je přichycení výměníku na zadní stranu pomocí soustavy svěračů, které by byly volně nasunuty na rám solárního panelu a tlačnou silou by pomocí šroubů konstantně přitlačovaly výměník ke skleněnému povrchu. Tato možnost jsem vybral jako konečnou, z důvodu že toto řešení se jeví jako nejméně invazivní.

Jelikož výrobce solárních panelů deklaruje nosnost maximálně 200 kilogramů, dospěl jsem k názoru, že i plně naplněný tepelný výměník bude možno zavěsit a podepřít pomocí svěráků na rám panelu bez obavy z přetížení mechanické konstrukce rámu.

Samotný svěrák je vyroben z kalené oceli, pro dosažení větší mechanické tvrdosti, o tloušťce 1 cm a šířce pásu 10 cm. Měl by disponovat vyměnitelnou šroubovací hlavicí s různými nástavci, pro různé typy výměníků. Jedná se tedy i o univerzální řešení. Tento nástavec je umístěn na konci šroubu a dosedá na trubky výměníku.

Dále je svěrák opatřen dvěma zuby, přičemž na nejdelším z nich je vyhotoven závit pro usazení šroubu. Druhý z nich lícuje na přední stranu panelu a tvoří oporu, proti které silou tlačí šroub. Přesah svěráku na čelní straně panelu je naměřeny tak aby nebránily průniku slunečního záření.



Obr.5 návrh úchytného svěrače pro upevnění výměníku

1.2.3 Předávaný tepelný výkon

Nejprve je potřeba si vypočítat jaký výkon dopadajícího slunečního záření se přemění na teplo místo el. energie neboli jedná se o ztrátový výkon fotovoltaického panelu. Jako referenční budu používat panel o ploše 1 m^2 a efektivitou přeměny 20 %. Střední hodnota dopadajícího výkonu slunečního záření v letních měsících je 1000 Wp/m^2 . V tomto výkonu jsou započítány i ztráty v atmosféře.

$$p_t = P_s * (1 - e) * S \text{ (W)} \quad \text{vzorec.4}$$

$$p_t = 1000 * (1 - 0,2) * 1 \text{ W}$$

$$p_t = 800 \text{ W}$$

- p_t – předávaný tepelný výkon (W)
- P_s – intenzita dopadajícího slunečního záření (W)
- e – efektivita přeměny panelu (%)
- S – plocha panelu (m^2)

Tedy tepelný výkon který potřebujeme odvést z panelu o těchto parametrech musí být alespoň rovný 800 W.

Při výpočtu předávaného výkonu tepelného výměníku mezi panelem a kapalinou se počítá s rozdílem teplot mezi kapalinou a panelem. Avšak pokud chci následně určit na jaké teplotě se panel stabilizuje, je potřeba určit tepelný výkon při rozdílu teplot o $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro teplo přenesené z panelu, je potřeba znát detailní parametry tepelného výměníku, zejména materiál a jeho tepelné vlastnosti, aktivní plochu přenosu a tloušťku mezi teplonosným médiem a panelem. Pak použiji rovnici (vzorec.6) [7]. Pro zjednodušení je tepelný výměník usazený po celé ploše panelu neboli budu brát jako aktivní plochu výměníku 1 m².

Dalším parametrem je materiál a jeho patřičné tepelné vlastnosti. Nejčastěji používanými materiály jsou různé typy nerezových ocelí, přes hliník, sloučeniny mědi až po velmi drahé kovy jako je například titan [16]. Jejich vlastnosti se vzájemně liší, proto bych jako reprezentativního zástupce pro příklad výpočtu zvolil hliník. Mezi jeho přednosti patří vysoký součinitel tepelné vodivosti 400 W/m*K, korozivzdornost a pořizovací cena.

Posledním důležitým parametrem je tloušťka materiálu dělicí styk teplonosné kapaliny s povrchem panelu. Běžně používaný rozsah tlouštěk materiálu tepelných výměníků se pohybuje v rozsahu jednotek milimetrů, jako referenční jsem zvolil tloušťku 1,5 mm.

$$q = \frac{k}{s} * A * (t_1 - t_2) \text{ (W)} \quad \text{vzorec.5 [7]}$$

$$q = \frac{400}{0,0015} * 1 * 1 \text{ W}$$

$$q = 266,666 \text{ kW}$$

- k – součinitel tepelné vodivosti (W/m*K)
- s – tloušťka materiálu (m)
- A – plocha (m²)
- t_1 – teplota panelu (°C)
- t_2 – teplota teplonosné kapaliny (°C)

V tomto případě je vidět, že se *vzorec.5* pro výpočet značně zjednodušil a tento výměník působí tepelným výkonem necelých 267 kW na panel teplejší o 1 °C. Přičemž zanedbávám všechny úniky do okolí. Ze *vzorce.5* vychází také, že pořizování výměníku přes celou plochu panelu je vysoce neekonomické řešení, jelikož je rozdíl mezi příjmem a odvodem tepla takto razantní.

Pokud tuto hodnotu srovnám s hodnotou výkonu oteplování sluncem, je vidět že působící ochlazovací výkon mnohonásobně převyšuje výkon oteplovací. Z toho vychází, že ustálená teplota panelu bude velmi blízká teplotě chladící kapaliny.

1.2.4 Výpočet průtoku chladící kapaliny

Doteď jsem počítal pouze s výkonem, který je výměník sám o sobě přenést na základě tepelných vlastností materiálu tepelného výměníku na základě jeho rozměru. Je potřeba vypočítat parametry protékající chladící kapaliny tak aby potřebné teplo bylo odvedeno ze střechy.

Je potřeba zjistit, jaký hmotnostní tok kapaliny je nutný vyvinout na vstupu. Ten je potřeba zjistit z důvodu určité měrné tepelné kapacity chladícího média. Ta omezuje množství odvedeného tepla z tepelných výměníků. Pro zjednodušení použiji pro zjednodušení výpočtu předpoklad, že bude chladicí kapalina voda s hodnotou měrné tepelné kapacity 4,2 kJ/K*kg. Ve skutečnosti by musela být kapalina odlišná od vody z důvodu ochrany potrubí před korozi a zároveň snížení teploty tuhnutí kapaliny. Tyto kapaliny jsou charakteristické nižší měrnou tepelnou kapacitou než voda, proto je potřeba započítat jistou rezervu do finálního výpočtu.

Dále bude potřeba určit vstupní a výstupní teplotu kapaliny do výměníku. Jelikož se v tepelném okruhu nalézá TČ voda/voda je vstupní teplota chladicí kapaliny okolo 10 °C. Dále bude kapalina proudit potrubím na střeše a bude vyměňovat teplo s ohřívávanými panely, předpokládám maximální teplotu kapaliny na výstupu 30 °C.

$$M = \frac{p_t}{c \cdot (t_a - t_b)} \text{ (kg/s)} \quad \text{vzorec.6 [vedoucí práce]}$$

$$M = \frac{0,8}{4,2 \cdot 20} \text{ kg/s}$$

$$M = 0,0095 \text{ kg/s}$$

- M – hmotnostní tok kapaliny (kg/s)
- c – měrná tepelná kapacita vody (J/K*kg)
- t_a – teplota na výstupu výměníku (°C)
- t_b – teplota na vstupu výměníku (°C)

Takto jsem schopen určit objem kapaliny, kterou je potřeba prohnat potrubím za jednu sekundu, tak aby vyhovovala potřebnému tepelnému výkonu. Jelikož vycházím z předpokladu, že 1 l vody váží přibližně 1 kg, jsem schopen po aproximaci tvrdit, že potřebný průtok kapaliny je 0,01 l/s na 1 m² plochy panelu.

1.2.5 Parametry dopravního potrubí

Chladicí kapalinu potřebuji dopravit pomocí potrubí ze sklepních prostor až na střechu bytového domu. Délka dopravního potrubí je rovna dvojnásobné výšce, ve které se nachází střecha oproti střešním prostorům. Tato výška je 40 m, z čehož vyplývá, že by měla být celková délka 80 m. K této hodnotě však musím připočítat rezervní délku kvůli zakřivením a kolenům, která budou potřeba zakomponovat pro konečné propojení. Tedy jako výslednou délku budu brát hodnotu 100 m.

Jako materiál, ze kterého bude instalace vyrobena jsem zvolil PPR neboli polypropylen typ 3.

„Tento materiál se vyznačuje zejména vysokou mechanickou, chemickou a tepelnou odolností. Konkrétně jsem zvolil trubky výrobce AQUAPLAST z řady PN 16 určené pro rozvod studené vody v průmyslových systémech a vytápění.“ [24]

Určení správného poloměru trubky lze pouze na základě potřebné rychlosti průtoku. Ta však lze určit pouze po určení instalované plochy panelů. Vzorec.8 získám odvozením z hmotnostního toku.

$$M = \pi \frac{d^2}{4} * w \quad \text{vzorec.8}$$

$$d = \sqrt{\frac{4a * M}{\pi w}}$$

- d – vnitřní průměr trubky (mm)
- w – rychlost průtoku (m/s)
- a – počet instalovaných panelů (-)

1.2.6 Výpočet tlakové ztráty potrubí

Kvůli drsnosti vnitřní strany potrubí dojde ke tlakovým ztrátám. Tyto tlakové ztráty jsou významné, jelikož oběhové čerpadlo pohánějící chladicí kapalinu, bude muset ztráty vyvážit, aby nedocházelo k nadměrnému zvýšení rychlosti v oblasti výměníků.

Opět vycházím ze zjednodušeného modelu, kde chladicí kapalinou systému bude voda, tedy i systém bude přejímat její vlastnosti. Dále uvažuji spočtenou potřebnou rychlost proudění kapaliny. Jelikož je tento parametr závislý na instalované ploše panelů, bude pro konečný výpočet jednoduché rovnici patřičně upravit.

$$\Delta p = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{w^2}{2} * \rho \quad \text{vzorec.9 [17]}$$

- Δp tlaková ztráta (Pa)
- λ součinitel hydraulického tření (-)
- l délka potrubí (m)
- ρ hustota kapaliny (kg/m³)

„Součinitel hydraulického tření je dodatečně vypočítat pomocí Reynoldsova čísla.” [17]

$$Re = \frac{w * d}{\nu} \quad \text{vzorec.10 [17]}$$

- Re - Reynoldsovo číslo (-)
- ν – kinematická viskozita (m²/s)

Kdy λ se rovná

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{vzorec.11 [17]}$$

$$\lambda = \frac{64v}{w*d}$$

1.2.7 Výpočet uspořené elektrického výkonu

Pro výpočet uspořené el. výkonu, kterého lze dosáhnout aplikací tepelného výměníku na referenční panel, je započítat střední teplotou panelu a chladící kapaliny. Obecně udávanou střední teplotou solárního panelu ve slunečném letním dni je 85°C. Jako teplotu na druhé straně výměníků budu, kvůli odhadovaným vstupním a výstupním teplotám kapaliny počítat s přibližnou střední hodnotou teploty kapaliny v okruhu rovnou 20 °C. Tato teplota bude téměř totožná s ustálenou teplotou panelu po ochlazení. Z dat vychází, že fotovoltaický panel ztrácí svoji účinnost v závislosti na zvyšující se teplotě o 0,45 %/°C oproti pracovní teplotě rovné přibližně 20 °C.

$$P_e = (t_1 - t_2) * \xi * P_s * e \text{ (W)} \quad \text{vzorec.12}$$

$$P_e = (85 - 20) * 0,0045 * 1000 * 0,2 \text{ W}$$

$$P_e = 58,5 \text{ W}$$

- P_e – uspořený el. výkon (W)
- t_1 – střední teplota panelu (°C)
- t_2 – střední teplota kapaliny (°C)
- ξ – procentuální ztráta účinnosti vlivem oteplení (%/°C)
- P_s – výkon dopadajícího záření (W)

Tedy pokud se podaří udržet teplotu panelu na hodnotě okolo 20 °C oproti normální střední teplotě 85 °C se udrží, při zanedbání ostatních ztrát a kolísavého počasí, výkon na hodnotě 200 Wp a přináší zisk 58,5 W.

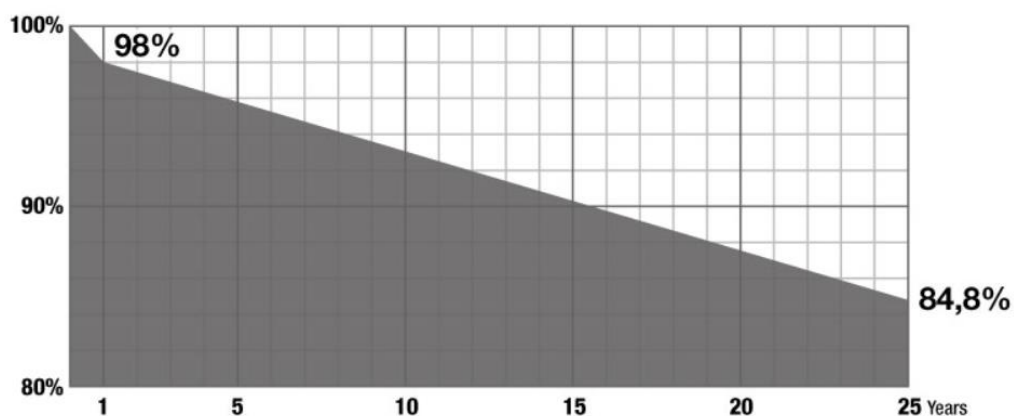
Kapitola 2

Fotovoltaická elektrárna

Základem všech variant investice je pořízení dostatečně výkonné solární elektrárny.

2.1 Fotovoltaické panely

„Jako fotovoltaický panel jsem zvolil panel od značky G21 konkrétně model MCS LINUO SOLAR 450 W. Jedná se o monokrystalický panel, s relativně vysokou účinností dosahující 20,7 %. Výkon, kterého tento panel má dosahovat je 450 ~+5Wp s plochou přibližně 2x1 m². Tento panel jsem vybral pro jeho vysokou hodnotu účinnosti a výkonu, který poskytuje. Zároveň jeho rozměry jsou velmi příjemné pro počítání. K panelu je navíc na stránkách prodejce přiložen graf garantovaného poklesu účinnosti panelu v průběhu let krytý záruční lhůtou. Ta v tomto případě činí 25 let na garantovaný pokles účinnosti. A na samotný produkt nabízí záruku ve výši 12 let.“ [19]



Obr.6 Deklarovaný pokles výkonu fotovoltaického panelu od výrobce [19]

S těmito daty se dá počítat při výpočtu výsledného výnosu z FVE.

Výstupní el. parametry jsou 10,88 A maximální provozní proud a 41,39 V maximální provozní napětí. [19] Tyto hodnoty však nejsou příliš důležité, jelikož před napájením baterií či TČ, bude umístěn měnič s řídicí jednotkou, který stabilizuje potřebnou hodnotu napětí a proudu.

2.2 Akumulátor

Jelikož je potřebná velikost akumulátoru značná, je potřeba dbát ohled na velikost podzemních nebytových prostor, do kterých je plánováno baterie uložit. Jako vhodný bateriový modul, ze kterého by bylo možné poskládat celý akumulátor je lithiový modul značky PYLONTECH model US5000. [15]



Obr.7 Bateriový modul PYLONTEC US5000 [15]

Tento model se vyznačuje vysokou zejména vysokou kapacitou, kdy prodejce deklaruje životnost minimálně 6000 nabíjecích cyklů při hloubce vybití 90 % a zachování provozní teploty do 25 °C. Jelikož v tomto případě by neměla hloubka vybití přesáhnout 50 % celkové kapacity a místo usazení baterií zajišťuje přirozené chlazení, můžu předpokládat, že životnost bude o něco vyšší. [15]

Budu-li tedy počítat, se zvýšenou životností na 9000 nabíjecích cyklů. Pokud tedy budu předpokládat, že čerpadla budou celoročně nabíjena zásadně z baterií, můžu počítat s ročním počtem nabíjecích cyklů 365,25. Po podělení těchto hodnot mi vyjde Přibližná životnost 24,6 let.

2.3 Měnič

Posledním komponentem potřebným pro připojení fotovoltaické soustavy ke spotřebiči, v tomto případě k soustavě TČ je právě k tomu určený fotovoltaický měnič.

Zde se bude rozhodnutí, který měnič pořídit, vztahovat k maximálnímu výkonu měniče. Tento výkon musí být větší, nebo minimálně rovný maximálnímu instalovanému výkonu fotovoltaiky. Další možností výběru je míra asymetričnosti výkonů ve fázích, které je měnič schopen kompenzovat. z tohoto pohledu tedy zahrnuji do svého návrhu plně asymetrický měnič.

MPPT maximum power point tracking – možnost automatické regulace výkonu FVE podle svitu slunce pro zajištění trvale nejvyššího výkonu. Tato technologie se zejména používá v případech zastínění části elektrárny. [23]

2.4 Práce

Ocenění peněžního ekvivalentu provedení práce je u FVE obtížnější, jelikož valná většina firem nabízí ocenění instalace společně s nákupem jimi nabízených komponent, já však požaduji samostatný nákup komponentů odděleně od instalace.

„Cena instalace panelů především ovlivňuje plocha, na kterou je fotovoltaika instalovaná, přičemž cena se pohybuje mezi 3 000 – 5 000 Kč/m².“ [4]

Budu počítat s cenou 5 500 Kč/m², jelikož do této ceny budu počítat i instalaci baterií, měniče a propojení soustavy kabeláží.

2.5 Celková investice

Celková míra investice se skládá z několika hlavních položek. Jedná se o cenu hlavních komponentů, cenu nosné konstrukce, cenu kabeláže a cenu provedené práce. Přičemž hlavním aspektem celé investice je počet instalovaných panelů.

2.5.1 Počet panelů

Potřebný počet panelů musí pokrýt denní spotřebu energie TČ. Jelikož předpokládám se stejným topným faktorem všech TČ, zůstává stále denní spotřeba el. energie na hodnotě 149 kWh. K tomu v případě instalace tepelných výměníků je potřeba přičíst denní spotřebu oběhového čerpadla.

Celkový el. příkon určený s rezervou na 22 kWh podělím jmenovitým výkonem 450 Wp jednoho panelu a celkovou hodnotu zaokrouhlím nahoru na celá čísla, jelikož celkový výkon musí minimálně pokrýt celkovou spotřebu. Zde budu počítat pouze instalaci samostatné FVE neboli el. příkon oběhového čerpadla zanedbávám. Takto získávám počet 61 instalovaných panelů. Což s průměrnou cenou na trhu 4390 Kč za panel činí 272 000 Kč.

2.5.2 Akumulátor

Jak jsem již počítal *vzorcem.3*, potřebná rezervní kapacita systému je 130 kWh. Tuto hodnotu podělím kapacitou jednoho bateriového modulu 4,8 kWh. [15] Z tohoto mi vychází 28 potřebných modulů. Z toho vychází celková hodnota akumulátoru na 1 218 000 Kč při ceně 43 500 Kč za modul.

2.5.3 Měnič

Jako vhodný měnič s dostatečnou výkonnostní rezervou jsem zvolil měnič od firmy GOODWE, konkrétně se jedná o model GW25K-MT. Tento měnič je schopen dosáhnout na výstupu střídavého výkon 25 kW. Maximální vstupní hodnota napětí 1100 V a proudu 37 A. Přičemž počet MPPT je 3. Tyto hodnoty nabízí i dostatečnou rezervu v případě nečekaného zvýšení výkonu. Tento střídač je k dostání na českém trhu za cenu 52 000 Kč. [29]



Obr.8 Měnič GOODWE GW25K-MT [29]

2.5.4 Kabeláž

Pro určení výsledné délky kabeláže, je třeba si uvědomit rozložení komponent v BD. Komponenty, které je potřeba kabely propojit jsou panely, čerpadla, měnič a akumulátor. Jelikož je akumulátor a měnič umístěn ve sklepních prostorách kvůli pasivnímu chlazení a panely společně s čerpadly na střešní ploše, bude majoritní délka kabelu určena výškou budovy 40 m. Avšak nelze pro napájení přímo propojit panely s čerpadly, ale pro změnu výstupních parametrů je potřeba nejprve propojit panely s měničem. Z tohoto důvodu bude minimální délka kabelu rovna dvojnásobku výšky budovy 80 m.

Dále je potřeba vzájemně propojit panely pro vytvoření jednotné soustavy a propojení bateriových modulů. Pro tuto část kabeláže s nutnou rezervou odhaduji potřebnou délku 40 m.

Kabely budou muset být dimenzovány na přenášení velkých proudů, proto bude potřeba použít speciálně uzpůsobených k tomuto účelu. Proto jsem zvolil kabely s průřezem 10 mm². Cena těchto kabelů, přičemž cena za jeden metr je 55 Kč. Tedy pouze za kabely je ve výši 6 600 Kč.

2.5.5 Instalační platformy

Instalační platformy jsou prvky pro bezpečné a stabilní usazení komponent soustavy. Celkovou sumu podstatně zjednoduším a budu počítat pouze s nejčtetnějšími komponenty, kterými jsou díly pro usazení panelů a bateriových modulů. Ostatní díly zanedbám, jelikož se jedná o minoritní část tohoto nákladu. Dále nebudu započítávat nákup úložných skříní bateriových modulů, jelikož jejich vnitřní umístění poskytuje dostatečnou mechanickou ochranu v kombinaci se spojkami.

„Montážní sada pro jeden panel se na trhu pohybuje v rozptylu 1500–2500 Kč za sadu. Budu proto počítat se střední hodnotou 2000 Kč za sadu.“ [4] Tedy pro pronásobení počtem panelů činí výsledná částka 122 000 Kč.

U spojek bateriových modulů tzn. Propojovacích rámečků je cena průměrně 1300 Kč na jeden modul. [16] Pokud bude každý modul osazen rámečkem bude výsledná cena 36 000 Kč.

2.5.6 Práce

Po výpočtu počtu potřebných panelů a zjednodušenou plochou panelu 2 m², tedy celkově instalovaných 122 m², tuto hodnotu pronásobím cenou za instalovaný 1 m² neboli 5 500 Kč/m². výsledná cena provedenou práci se bude pohybovat kolem 671 000 Kč.

Po konečném součtu všech investičních částek mi vychází jako celková hodnota investice téměř 2,37 mil. Kč.

Kapitola 3

Doprovodná instalace

3.1 Propojení soustavy

Hlavní parametr, který je potřeba sledovat je rychlost proudění v potrubí, tak aby nedocházelo k nadbytečnému namáhání. K tomu dopomůže správná volba vnitřního průměru potrubí. Tuto maximální hodnotu rychlosti jsem si zvolil na 2 m/s. Po dosazení do *vzorce.8* získám potřebný vnitřní průměr trubky 29 mm.

Tomuto rozměru vyhovuje trubka od výrobce AQUAPLAST z řady PN 16 o vnějším poloměru 40 mm a tloušťkou stěny 5,5 mm, tedy trubka s vnitřním průměrem 36,2 mm. [17]

3.2 Oběhové čerpadlo

Pro správnou cirkulaci chladicí kapaliny v chladicím okruhu je potřeba instalovat čerpadlo správného výkonu. Hlavním problémem je, že v návrhu je uložena akumulární nádrž ve sklepních prostorách bytového domu neboli nároky na potřebný výkon, který musí čerpadlo překonat pro vytlačení chladicí kapaliny na střechu. V tom však vypomůže fakt, že se jedná o uzavřenou cirkulační soustavu pod zvýšeným tlakem. Tedy tento zvýšený tlak, který by měl být podobný jako je standardní tlak ve vodovodním potrubí neboli 5 barů.

3.2.1 Výpočet tlakových ztrát

Již jsou určeny všechny vstupní hodnoty potřebné pro dosazení do *vzorce.9*. Jediný problém je při určování kinematické viskozity vody, která závisí na teplotě teplonosného média. Budu proto v tomto případě opět počítat s průměrnou hodnotou 20 °C. Změnu hustoty v závislosti na teplotě zanedbám a počítám s hodnotou 1000 kg/m³.

| Teplota [°C] | Dynamická viskozita [Pa.s] x10 ⁻³ | Kinematická viskozita [m ² /s]x10 ⁻⁶ |
|--------------|--|--|
| 0 | 1.787 | 1.787 |
| 5 | 1.519 | 1.519 |
| 10 | 1.307 | 1.307 |
| 20 | 1.002 | 1.004 |
| 30 | 0.798 | 0.801 |
| 40 | 0.653 | 0.658 |
| 50 | 0.547 | 0.553 |
| 60 | 0.467 | 0.475 |
| 70 | 0.404 | 0.413 |
| 80 | 0.355 | 0.365 |
| 90 | 0.315 | 0.326 |
| 100 | 0.282 | 0.29 |

Tab.1 Dynamická a kinematická viskozita vody v závislosti na teplotě [37]

Pro větší přesnost jsem využil online kalkulátoru tlakových ztrát, který nabízí přesné hodnoty potřebných veličin na příklad hustotu vody za určité teploty. Navíc nabízí přímý výběr potrubí, které do instalace je potřeba. [25]

Do kalkulátoru je potřeba zadat vstupní údaje. Celý proces je zjednodušený, jelikož stačí vybrat z nabídky přednastavených trubek a oběhových kapalin.

| Geometrie a charakteristiky potrubí | | | |
|-------------------------------------|-----|--------|------|
| PP-r FV plast PN 16 | | 40x5.6 | |
| Vnitřní průměr potrubí | d = | 0.0288 | m ? |
| Drsnost potrubí | k = | 0.01 | mm ? |
| Délka potrubí | l = | 120 | m |

Obr.9 Zadávání potrubí do kalkulátoru [25]

| Vlastnosti proudící tekutiny | | | |
|------------------------------|----------|----------|---------------------|
| Voda | | | |
| Teplota | t = | 20 | °C |
| Hustota | ρ = | 997.5 | kg/m ³ ? |
| Kinematická viskozita | ν = | 0.000001 | m ² /s ? |

Obr.10 zadávání teplotné kapaliny do kalkulátoru [25]

Posledním parametrem, který je třeba dosadit je hmotnostní tok, který však lze vypočítat pomocí vzorce 8 jako 1,22.

| | | | |
|--|---------|------|-----|
| <input checked="" type="radio"/> Průtok potrubím | Q_v = | 1,22 | l/s |
| <input type="radio"/> Rychlost proudění | w = | 1.87 | m/s |

Obr.11 kalkulátor automaticky doplní rychlost proudění [25]

Výslednou ztrátou tlaku v potrubí je 160 kPa neboli 1,6 bar.

3.2.2 Potřebný výtlak čerpadla

V tomto případě bude výsledný potřebný výtlak záviset na výšce bytového domu, vstupní tlaku v potrubí a tlakových ztrátách v potrubí. Výška bytového domu

představuje hydrostatický tlak tlačící na vodu v čerpadle, který musí čerpadlo přetlačit. Vstupní tlak v potrubí působí jako pomocný vztlak, který pomáhá překonat výšku bytového domu. A tlakové ztráty v potrubí působí opět proti směru hnaní kapaliny.

$$P_h = \rho * h * g \quad \text{vzorec.13}$$

$$P_h = 1000 * 40 * 10$$

$$P_h = 4 \text{ bar}$$

- P_h - hydrostatický tlak (Pa)
- ρ - hustota (kg/m^3)
- h - výška (m)
- g - gravitační zrychlení (m/s^2)

Ve výpočtu hydrostatického tlaku jsem aproximoval hodnotu gravitační konstanty na 10 m/s. Pokud by se nejednalo o přetlakovaný potrubní systém, muselo by čerpadlo překonat tlak 4 bary. Pro získání tlaku, který musí čerpadlo vyprodukovat pro rozpořívování vody v oběhu.

$$P_p = P_h - P_z + \Delta p \quad \text{vzorec.14}$$

$$P_p = 4 - 5 + 1,6 \text{ bar [25]}$$

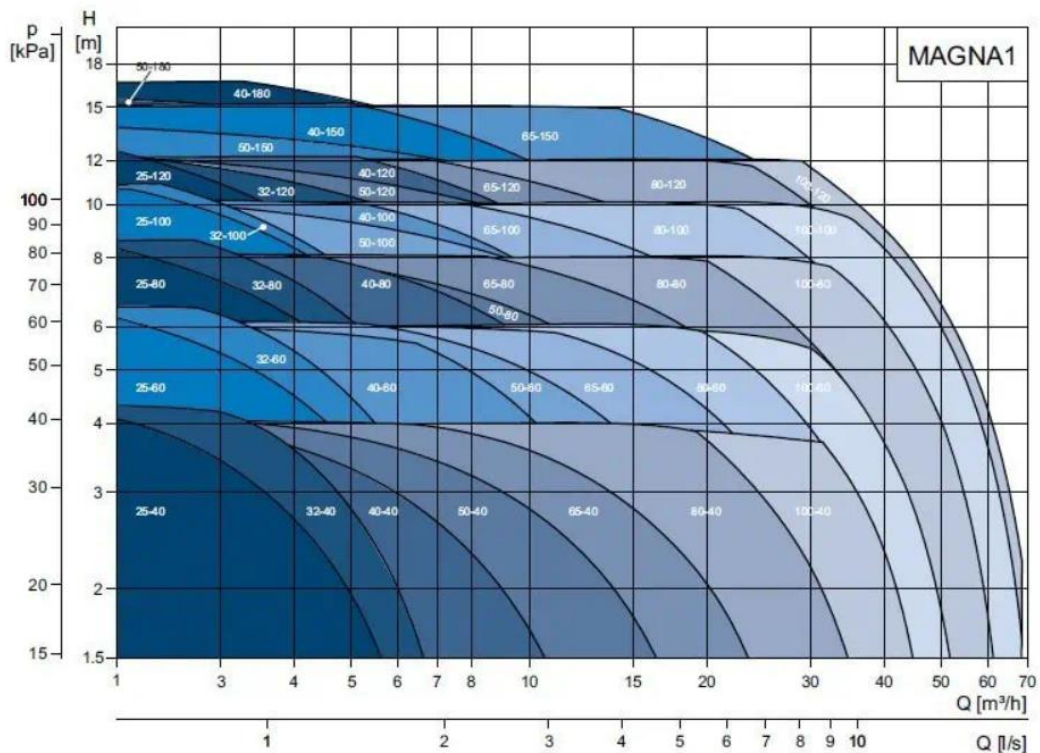
$$P_p = 0,6 \text{ bar}$$

- P_p - tlak vyvolaný čerpadlem (Pa)
- P_z - tlak v potrubí (Pa)
- Δp - tlakové ztráty v potrubí (Pa)

Pokud opět modifikací *vzorce.13* přepočítám potřebný tlak P_p na výšku, získám hodnotu výtlaku. A proto hodnota potřebného výtlaku činí 6 m.

3.2.3 Výběr čerpadla

Pro výběr vhodného čerpadla využiji grafu přiloženého katalogu od firmy GRUNDFOS. Graf je orientovaný s horizontální osou reprezentující hmotnostní tok kapaliny a vertikální osou reprezentující výtlak čerpadla. Podle mnou zadaných požadavků plně vyhovuje model MAGNA1 32-80 F. Toto čerpadlo se vyznačuje především vysokým výkonem a malou spotřebou, kdy příkon podle dané aplikace se pohybuje až k 280 W při napájecím napětí 230 V. V této aplikaci bude však čerpadlo zatíženo jen částečně, proto budu počítat za provozu se stabilním příkonem 140 W. Toto čerpadlo nabízí výrobce za 1 254 eur, tedy v přepočtu 28 700 Kč. [39]



Obr.12 mapa výkonů cirkulačních čerpadel [39]

3.2.4 Přepočet počtu panelů a bateriových modulů

Přidáním oběhového čerpadla dojde ke zvýšení potřeby odběru el. energie pro samostatný chod celé soustavy. Při počtu tedy výkon oběhového čerpadla 140 W k odebíranému výkonu TČ. Jelikož však počítám s instalovaným výkonem 22 kW a spočtený ideální instalovaný výkon činí 21,58 kW, je nadměru jasné, že rezerva v instalovaném výkonu je dostatečná a není potřeba pro zachování energetické soběstačnosti soustavy instalovat panel navíc.

U počtu bateriových modulů může být situace komplikovanější, jelikož ty jsou navrhovány přímo na konkrétní spotřebu v letním období. Budu předpokládat ideální případ, kdy je čerpadlo zapnuto pouze v případě slunečního svitu. Takto mi vychází s průměrnou dobu svitu 6,9 h/den v letním období na spotřebu přibližně 0,9 kW, tedy potřebná kapacita baterky je 1,9 kW.

Po přičtení této hodnoty ke kapacitě akumulátoru denní spotřeby čerpadel vychází mi hodnota 131,9 kW, což je stále menší hodnota než již plánovaná kapacita instalovaného akumulátoru, která činí 134,4 kW.

Celková investice do čerpadla spočívá pouze v jeho pořizovací ceně.

3.3 Akumulační nádrž

Je několik hlavních důvodů zřízení akumulační nádrže na oběhovou kapalinu, které jsou jak ekonomického, tak technického rázu. Prvním důvodem porizení je

zajištění možnosti vypuštění cirkulačního obvodu na střeše za nízkých venkovních teplot. Přestože jsou trubky systému neustále ohřívány skrz solární panely, pokud budou teploty příliš nízké, bude úbytek tepla z panelů sáláním do okolí převažovat nad jeho samovolným zahříváním. Nízké teploty chladicí kapaliny nižší nebo rovné teplotě tuhnutí kapaliny mohou způsobit vážné poškození čerpadel a trubek.

Dalším důležitým faktorem je obecně zjednodušený přístup k chladicí kapalině a do chladicího systému. Jelikož většina nabízených akumulčních nádrží na trhu nabízí několik přístupových bodů, na které je možno potrubí instalovat. Tedy kontrola vnitřního stavu systému nečiní dodatečné problémy.

Posledním důvodem je dodatečná akumulace tepla sbíraná tepelnými výměníky z povrchu FVE. Toto teplo je následně využito přeměnou pomocí TČ voda/voda a posláno do otopné soustavy.

Potřeba zřízení akumulční nádrže namísto klasické nádrže na vodu je z důvodu zachování stabilně nízké teploty okolo 10 °C ve sklepních prostorách. Tuto teplotu chceme stabilně zachovat jako přirozené chlazení pro akumulátor a měnič od instalované fotovoltaiky. Z tohoto důvodu je potřeba co největší omezení ztrát tepla do okolí.

3.3.1 Velikost nádrže

Účelem nádrže není akumulování tepla, proto není potřeba propočítávat objem nádrže na potřebné uchovatelné teplo. Aby nádrž plnila svůj účel, stačí aby se stala zásobníkem pro dostatečné množství vody tepelného oběhu s nutnou rezervou pro případné vypuštění systému.

Jelikož znám vnitřní poloměr trubky, vedoucí vodu na střešní plochu, vypočítám celkový potřebný objem jako 2x objem propojovací trubky a tento objem ztrojnásobím kvůli objemu tepelných výměníků. Tímto způsobem získám přibližný odhad objemu vody v oběhu.

$$V_{ob} = \pi \frac{d^2}{4} * 2 * h * 3 \quad \text{vzorec.15}$$

$$V_{ob} = \pi \frac{0,0288^2}{4} * 2 * 40 * 3$$

$$V_{ob} = 0,156 \text{ m}^3$$

- V_{ob} – objem vnitřního potrubí (m^3)

Okamžitý objem vody v oběhu je tedy roven 156 l vody. Vybral jsem tedy akumulční nádrž s objemem 475 l a pořizovací cenou 12 080 Kč. [20]

3.4 Provedená práce

Cenu za provedenou práci odhaduji, že by se mohla pohybovat kolem 100 000 Kč, z důvodu všeobecné fyzické náročnosti práce.

Kapitola 4

Měděný tepelný výměník

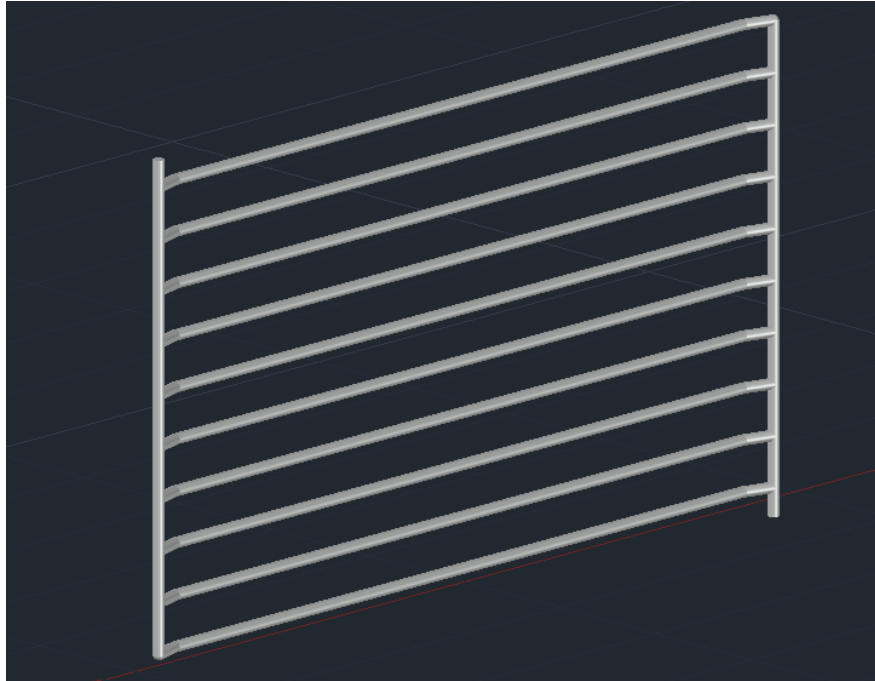
4.1 Konstrukce

Konstrukci řeším s pomocnou vizualizací programu autoCAD. Zvolil jsem měděné trubky s poloměrem 22 mm, z důvodu potřeby nižší hustoty kapilár s chladicí kapalinou na solárních panelech. To je odůvodněno výbornými tepelnými vlastnostmi mědi, díky které je možno dosáhnout dobrého chlazení i s nižší chladicí plochou.

Výměník je stavěn, co nejjednodušší cestou pro snížení celkových nákladů na vynaloženou na práci k sestavení výměníku. Sestává se ze tří základních součástí volně dostupných na trhu. Počítám-li navíc, že budou solární panely na střeše vystavěny v liniích, budou navíc velmi lehce paralelně propojitelné pro vytvoření jednoho uceleného tepelného okruhu. Paralelně z důvodu nižších tepelných ztrát a vyšší účinnosti soustavy výměníků.

Jelikož předpokládám, že budou panely upevněny v řadách, dosáhne se paralelního propojení pomocí počtu sběrnic rovno dvojnásobku počtu řad instalovaných panelů.

Při návrhu konstrukce jsem vycházel z velikosti standartně prodávaného rozměru solárního panelu neboli běžné rozměry solárního panelu prodávaných na našem trhu se pohybují okolo 200 cm na výšku a 100 cm na šířku. Obě tyto hodnoty se pohybují s odchylkou 15 cm, což na výslednou velikost výměníku nebude mít vliv. V případě instalace speciálních panelu jiných rozměrů je můj model lehce modifikovatelný.



Obr.13 měděný tepelný výměník

4.1.1 komponenty

při skládání celého výměníku použiji několik základních komponentů. Hlavní část budou tvořit měděné trubky od firmy SUPERSAN o průměru 22 mm a tloušťkou stěny 1 mm. [18] Tyto trubky budou tvořit aktivní chladicí část neboli operativně nazvané jako kapiláry. Dále budou tvořit převážnou část spojovacích částí mezi kapilárami a mezi jednotlivými výměníky.

Dalším komponentem budou T-kusy značky Conex Baninnger, což jsou spojovací součástky, se třemi vývody na sebe kolnými. [18] Všechny tyto vývody jsou stejného typu neboli se nejedná o přestup například ze svařeného spoje na šroubový přístupový bod. Vývody jsou na trubky o průměru 22 mm a trubka do nich přesahuje o 23 mm. Těchto T-kusů bude potřeba na jeden výměník 18.

Posledním komponentem jsou oblouky značky Conex Baninnger, kterými uzavírám rohy výměníku, ve kterých se nenachází propojení s vedlejšími výměníky. [18] Oblouky mají ohyb do pravého úhlu a na jednom konci mají výstup trubky o průměru 22 mm a tloušťkou stěny 1 mm. Z tohoto důvodu není potřeba přechodové trubky mezi T-kusem a obloukem. Na jeden výměník budou potřeba 2 oblouky.

Kapiláry budou pro rovnoměrné rozložení chlazení panelu v počtu 10 kapilár o délce 2020 mm. Musejí být o něco kratší než samotný panel, jelikož při nasazení T kusů na obě strany stále vznikne přesah. Proto po je potřeba od celkové výšky panelu odečíst výšku dvou T-kusů bez přesahů trubek.

Kapiláry je nutné, pro dobré přilehnutí k panelu, na koncích zahrnout. Jelikož jsou T-kusy širší o 3 mm ze všech stran a pro dobrou manipulaci při ohýbání kapilár

navrhuji provést po obou stranách ohyb 33 mm od konců trubky. Tím se sice zmenší aktivní část výměníku, ale dosáhneme přilehnutí zbytku kapiláry na panel.

Jako spojky na šířku mezi T-kusy použijeme menší úseky trubky. Jelikož přesah trubky do T-kusu je 23 mm, a aby na sebe T-kusy nelícovaly, použiji trubky o 10 mm delší, tedy 56 mm. Jelikož používáme na okrajích kolena, bude těchto spojek potřeba 16.

4.1.2 Provedená práce

Hlavní otázkou, jak bylo v kapitole 2.1.1 zmíněno, existuje několik možných druhů komponentů o rozdílných pracovních úkonech potřebných k sestavení soustavy. Mnou vybrané dva typy zapojení jsou svářené a lisované spoje.

Avšak práci, kterou mají společnou oba typy propojení je řezání a ohýbání trubek. Z internetového videa jsem pozorováním odhadl potřebný čas pro vyhotovení jednoho řezu a přípravy na provedení spoje jako 57,4 sekundy. K tomuto času přidávám čas na naměření místa dalšího řezu a jako čas manipulace dalších 30 sekund.

Pro výpočet počtu řezů budu zjednodušeně počítat, že dodané trubky budou v jednom dlouhém kusu. Tedy na každý odříznutý komponent bude potřeba jednoho řezu. Neboli počet řezů bude 27.

4.1.2.1 Svářené spoje

Součástky určené pro svářené spoje jsem vybral z důvodu jejich jednoduché dostupnosti, a pořizovací ceny jedné součástky na kus. Odhadovaný čas, za kterou je schopný dělník jeden pájený spoj vyrobit jsem dostal měřením času z internetového videa. Na tomto videu je zkušený konstruktér vyhotovující pájený spoj, přičemž tato doba je rovna přibližně 111,4 sekundy. [21] K tomuto času jsem následně přičetl dalších 10 sekund jako manipulační zdržení. Po sečtení je výsledný potřebný čas na všechny spoje výměníku roven 0,98 hodiny.

V součtu s prací na řezání trubek je celkový čas provedené práce roven 1,63 h.

4.1.2.2 Lisované spoje

Lisované spoje jsou oproti svařovaným spojům mají hlavní výhodu v rychlosti vyhotovení spoje. Dle testu lze těmito součástkami ušetřit až 78% potřebné práce. [12] Dle internetového videa pracovníka vyhotovujícího lisovaný spoj je potřebný čas na jeden spoj přibližně 5,5 sekundy. [22] Opět po započítání manipulačních 10 sekunda vyjde úspora času na jeden spoj 87,3 %. Avšak v testu jsou započítány všechny práce včetně řezání trubek. Celkový čas na vyhotovení spojů pro jeden výměník je přibližně 0,12 hodiny.

S přičtením práce na řezání trubek je celkový čas na jeden výměník roven 0,78 h.

4.1.3 Analýza a porovnání technik spojů

Pokud pominu ekonomickou stránku celé problematiky, potom pevnostně se od sebe oba typy spoje nijak neliší, tím je myšleno jejich mechanickou odolností vůči tlaku tahu a jiné deformaci. Avšak u svářených spojů prokazatelně dochází k časové degradaci a možným budoucím problémům s úniky kapaliny. Zatímco u lisovaných spojů, jsou podobné jevy značně anulovány.

4.2 Parametry

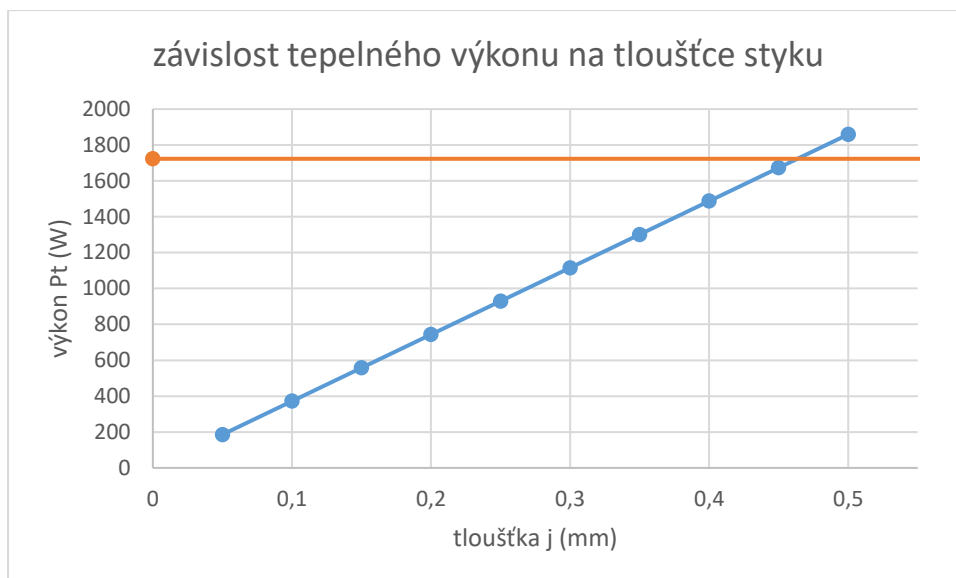
Jako hlavním parametrem, který je pro nás nejzásadnější je schopnost výměníku aktivně chladit fotovoltaické panely. Tento parametr interpretovat jako přenesený tepelný výkon mezi panelem a výměníkem.

Přenesený tepelný výkon závisí na několika dalších parametrech. Prvním z nich je součinitel tepelné vodivosti, což je vlastnost materiálu, ze kterého je výměník vyroben. Jedná se o vlastnost, která udává schopnost průchodu tepla daným materiálem o určité tloušťce a rozdílu teplot na jejich koncích. Jelikož je tento výměník vyhotoven z mědi, patří v tomto parametru k jedněm z nejvhodnějších ze všech dostupných materiálů. Proto s hodnotou 400 W/m*K umožňuje vysokou míru vyměněného tepla i skrz relativně silný plát mědi.

Posledním parametrem je plocha, na které je styk výměníku s panelem. Tento parametr je složitě zjistitelný, jelikož pro přesné určení je potřeba určit tloušťku styku válce (trubky) s plochou (solárním panelem). Jelikož by se v teorii jednalo o přímku, musím zde tuto tloušťku odhadnout. Zvolil jsem tedy tloušťku styku o velikosti 0,5 mm. Hodnotu přeneseného tepelného výkonu lze výrazně měnit právě pomocí změny plochy, proto jako jeden z možných zvýšení efektivity výměníku lze zploštěním dotykových ploch trubek násobně zvýšit tepelný výkon. Pokud všechny vstupní hodnoty vsadím do vzorce.5 získávám závislost tepelného výkonu s tepelným rozdílem 1 °C na tloušťce dotykové plošky.

| tloušťka styku (mm) | dotyková plocha(mm ²) | dosažitelný tepelný výkon na tepelný rozdíl 1°C (W) |
|---------------------|-----------------------------------|---|
| 0,5 | 10100 | 1858,692 |
| 0,45 | 9090 | 1672,822 |
| 0,4 | 8080 | 1486,953 |
| 0,35 | 7070 | 1301,084 |
| 0,3 | 6060 | 1115,215 |
| 0,25 | 5050 | 929,346 |
| 0,2 | 4040 | 743,477 |
| 0,15 | 3030 | 557,607 |
| 0,1 | 2020 | 371,738 |
| 0,05 | 1010 | 185,869 |

Tab.2 citlivostní analýza změny tepelného výkonu na tloušťce styku



Graf.4 závislost tepelného výkonu na tloušťce doteku s hranicí oteplení

Z tab.2 vyplývá, že pokud je oteplovací výkon roven 1723 W, je potřeba aby místo dotyku bylo lehce stlačené, aby dosahovalo průměru 0,5 mm, aby dosáhl výměník maximální efektivity.

V tomto případě není potřeba rozlišovat mezi výměníkem pájeným a lisovaným, jelikož ani jedna z vlastností, ovlivňujících tepelný výkon, se změnou spojovací technologie nezmění.

| | |
|---|----------|
| pokles výkonu na °C (%) | 0,45 |
| dotyková plocha výměníku (mm ²) | 10100 |
| tloušťka stěny výměníku (mm) | 1 |
| střední teplota panelu ve špičce (°C) | 85 |
| střední teplota chladicí kapaliny (°C) | 20 |
| součinitel tepelné vodivosti (W/m*K) | 400 |
| tepelný výkon na 1 °C rozdíl (W) | 1858,692 |
| vychladitelná teplota (°C) | 20 |
| dosažitelný tepelný výkon (kW) | 121 |
| čas ochlazení panelu (s) | 8,034 |
| uspořený el. výkon (W) | 131,625 |

Tab.3 chladicí vlastnosti měděného výměníku

Po dosažení do vzorce.12 je patrné zabránění poklesu výkonu 131,6 W.

4.3 Investice

V tomto případě se od sebe liší navzájem cena provedené práce, cena T-kusu a cena oblouku mezi oběma typy spojování. Přičemž celková cena za trubky bude naprosto totožná, neboť rozměry se nijak nemění. Tedy výsledná cena na jeden

výměník za trubky, s cenou 231,59 Kč za metr a potřebnou délkou na jeden výměník 21,21 metrů, je po násobení 4911,56 Kč. [18]

Při výpočtu nákladů na potřebnou práci je potřeba zjistit počet vyhotovených spojů. Tento počet je roven potřebnému počtu T-kusů (v tomto případě 18) vynásobený počtem vývodů na jeden kus sečtený s počtem oblouků tedy výsledný počet spojů je 56. Tuto hodnotu vynásobíme potřebným časem na vyhotovení spoje.

Při oceňování práce je problém s hodinovou sazbou, kdy není přesně definována. Použil jsem proto jako základní hodinovou sazbu 200 Kč/h. Dále jsem použil citlivostní analýzu pro ukázkou rozsahu nákladů na práci v rozmezí od 150 do 300 Kč/h.

| kč/h | měď svářená (kč) | měď lisovaná (kč) |
|------|------------------|-------------------|
| 300 | 47 788,42 | 16 565,57 |
| 290 | 46 195,47 | 16 013,38 |
| 280 | 44 602,52 | 15 461,20 |
| 270 | 43 009,58 | 14 909,01 |
| 260 | 41 416,63 | 14 356,82 |
| 250 | 39 823,68 | 13 804,64 |
| 240 | 38 230,73 | 13 252,45 |
| 230 | 36 637,79 | 12 700,27 |
| 220 | 35 044,84 | 12 148,08 |
| 210 | 33 451,89 | 11 595,90 |
| 200 | 31 858,94 | 11 043,71 |
| 190 | 30 266,00 | 10 491,53 |
| 180 | 28 673,05 | 9 939,34 |
| 170 | 27 080,10 | 9 387,15 |
| 160 | 25 487,16 | 8 834,97 |
| 150 | 23 894,21 | 8 282,78 |

Tab.4 celková cena za práci na měděných výměnících v závislosti na hodinové sazbě

4.3.1 Svářený tepelný výměník

S počtem 18 T-kusů na jeden výměník a jejich cenou za kus 65,82 Kč je celková cena na jeden výměník rovna 1184,76 Kč. Další složkou jsou dva oblouky určené pro sváření s cenou 49,25 Kč/kus je výsledná cena 98,5 Kč. [18]

Po součtu ceny všech potřebných součástí a potřebné práce je výsledná celková cena instalace 410 000 Kč.

4.3.2 Lisovaný tepelný výměník

Zde je odlišný případ od svářeného výměníku, kdy nám rapidně klesají náklady na provedenou práci na celkovou hodnotu 11 000 Kč. A do toho narůstají náklady na materiál neboli na pořízené komponenty. V tomto případě stojí jeden

lisovací T-kus 193,6 Kč za kus, tedy na počet 18 kusů 3484,8 Kč. V případě lisovacích oblouků cena narůstá na 152,46 za kus. [18]

Celkové náklady na instalaci jsou tedy 542 000 Kč.

4.3.3 Zhodnocení

Jak je patrné, náklady na provedenou práci tvoří minoritní část celkové investice výměníků. Je vidět, že při použití lisovaných součástek je úspora pouze 20 000 Kč což nepřevyšuje zvýšení ceny součástek. To se pak projevuje ve výsledných nákladech na investici, kdy je lisovaná varianta o 130 000 Kč dražší, přestože nabízejí obě varianty stejný tepelný efekt na FVE. Lisovaná varianta se proto nejeví jako rozumnější investice, a proto už s ní nebudu dále počítat.

Kapitola 5

Tepelný výměník z hliníku

5.1 Konstrukce

Stejně jako u měděného výměníku jsem si při návrhu vypomohl programem autoCAD. Zvolil jsem jako konstrukční komponent hliníkové jekli, českého dodavatele ALUPA s.r.o., obdélníkového průřezu s parametry 20x10 mm. Jako tloušťku stěny jsem stejně jako v případě mědi zvolil 1,5 mm. [14]

Kvůli správnému a rovnoměrnému chlazení solárních panelů jsem zvolil verzi s 10 kapilárami napříč šířkou panelu. V tomto případě nemusí být kapiláry na koncích ohnuté, jelikož nepoužívám spojovací komponenty. V tomto případě předpokládám, že postačí pro vodotěsný spoj, spoj svářený a následně zahlazený brusným kamenem pro zachování rovné plochy styku.

Celkové hraniční rozměry tepelného výměníku jsem zvolil totožné s rozměry panelu. To dopomůže větší aktivní ploše výměníku a jednodušší možnosti uchycení na panel.

5.2 Provedená práce

Provedená práce na jeden výměník se skládá ze dvou hlavních složek. Tyto složky jsou řezné práce a provedení spoje, přičemž k provedení spoje je potřeba tvrdého svaření a zahlazení. Pro vytvoření celého výměníku je zapotřebí vyhotovit 20 svárů a 38 řezů. Takové množství řezů je potřeba kvůli čelům výměníku, které plánuji vyhotovit ze dvou celých kusů bez spojovacích částí. Řezy proto při vsazení jedné kapiláry pro jednoduchou manipulaci a svaření zaujímají tvar klínu, který se vloží do vyříznuté drážky.

Řezání jeklů na potřebnou délku je řezání většího objemu tvrdšího materiálu na delší vzdálenost, proto jsem upravil dobu, za kterou je zkušený dělník schopný řez vyhotovit a čas odhaduji na 70 sekund na jeden řez. [30] K této hodnotě připočítávám manipulační penalizaci ve výši dalších 10 sekund. Celkový čas na nařezání jeklů do potřebných varů na jeden výměník zabere přibližně 1,06 hodiny.

Na vytvoření řádného sváru, který navíc musí splňovat potřebnou vodotěsnost je potřeba několikanásobně více času. Tuto dobu je navíc potřeba navýšit o čas strávený následným vybroušením. Tuto potřebnou dobu odhaduji na 360 sekund. To opět po započítání 10 sekund pro manipulaci s potřebným počtem 28 svárů ve dělá 2,98 h na jeden výměník.

Počítám tedy že výsledný čas na vyhotovení jednoho výměníku je 4,04 hodiny, což pokud počítám s hodinovou sazbou 200 Kč/h činí cenu práce 808 Kč na jeden výměník.

5.3 Parametry

Parametrem, který potřebuji znát především je schopnost odvádět přebytečné teplo z panelu. K tomu je zapotřebí znát opět součinitel tepelné vodivosti, který má pro hliník obecně hodnotu 210 W/m*K. Dále je potřeba vypočítat aktivní plochu výměníku. Jak jsem nastínil, tento výměník po obvodu bude kopírovat tvar fotovoltaického panelu. Dále vím, že šířka plochy je 20 mm a výměník se skládá ze dvou čel a 10 kapilár. Tedy po pro násobení je výsledná dotyková plocha necelých 0,46 m². Přičemž tloušťka stěny je 1,5 mm.

| | |
|---|-------------|
| pokles výkonu na °C (%) | 0,45 |
| dotyková plocha výměníku (mm ²) | 459520 |
| tloušťka stěny výměníku (mm) | 1,5 |
| střední teplota panelu ve špičce (°C) | 85 |
| střední teplota chladicí kapaliny (°C) | 20 |
| součinitel tepelné vodivosti (W/m*K) | 210 |
| tepelný výkon na 1 °C rozdíl (W) | 29597,731 |
| vychladitelná teplota (°C) | 20 |
| dosažitelný tepelný výkon (W) | 1923852,534 |
| čas ochlazení panelu (s) | 0,498 |
| uspořený el. výkon (W) | 131,625 |

Tab.5 chladicí vlastnosti hliníkového výměníku [36]

Po dosazení do *vzorce.5* dostaneme hodnotu chladícího tepelného výkonu při rozdílu teplot o 1 °C rovnu přibližně 29,6 kW. Při použití *vzorce.12* je patrné zabránění poklesu výkonu 131,6 W.

5.4 Investice

Celková výše investice se bude stejně jako u měděného výměníku skládat z ceny komponent a ceny za práci.

5.4.1 Práce

U práce, opět budu používat sazbu 200 Kč/h. Jelikož jsou všechny vyhotovené spoje pájeny tvrdě, a jsou rozsáhlejší než u měděné varianty, bude cena za práci tvořit mnohem zásadnější část ceny investice.

Celkový čas na vyhotovení jednoho výměníku zabere přibližně 4 hodiny, což znamená s celkovým počtem panelů 100 celkovou dobu 400 h.

| kč/h | Hliník (kč) |
|------|-------------|
| 300 | 87 026,67 |
| 290 | 84 125,78 |
| 280 | 81 224,89 |
| 270 | 78 324,00 |
| 260 | 75 423,11 |
| 250 | 72 522,22 |
| 240 | 69 621,33 |
| 230 | 66 720,44 |
| 220 | 63 819,56 |
| 210 | 60 918,67 |
| 200 | 58 017,78 |
| 190 | 55 116,89 |
| 180 | 52 216,00 |
| 170 | 49 315,11 |
| 160 | 46 414,22 |
| 150 | 43 513,33 |

Tab.6 celková cena za práci na hliníkových výměnících v závislosti na hodinové sazbě

5.4.2 Cena za materiál

Konstrukčně je tento výměník mnohem jednodušší z hlediska počtu použitých komponent, je potřeba pouze pořízení hliníkových jeků. Tyto jekli dodává dodavatel

ALUPA s.r.o. za cenu 38,44 Kč/m. Přičemž propočítaná potřebná délka na jeden výměník je bez mála 23 m. Celková cena materiálu na jeden výměník tedy činí 883 Kč. Celková cena tedy činí bez mála 54 000 Kč na celou instalaci. [14]

5.4.3 Celková cena investice

Po sečtení ceny provedené práce a ceny za materiál, je celková investice 112 000 Kč. Pokud bych bral v potaz maximální navrženou sazbu za provedenou práci, byl by celkový nárůst o necelých 10 %.

Kapitola 6

Tepelný výměník z PPR-CT

6.1 Konstrukce

Konstrukčně bude tento výměník velmi podobný jako měděný výměník. Rozdílem však bude v počtu kapilár, které bude potřeba navýšit z důvodu horších tepelných vlastností materiálu. Jelikož plastové jekly nabízené na trhu jsou pouze určeny pro vedení vzduchu a hrozí velká šance, že by nemusely vydržet tlak v potrubí, hmotnost vody a vodotěsnost. Budu proto používat trubky kruhového průřezu. Trubky budou muset být na koncích lehce nahnuté, jelikož také bude potřeba použití propojení pomocí T-kusů a kolen.

6.2 Komponenty

6.2.1 trubky

Jako konstrukční materiál jsem zvolil PPR-CT kvůli jeho všestranným vlastnostem a dostupnosti. PPR-CT je totiž jeden z nejhojněji využívaných materiálů v hydroinstalacích. Tak aby výměník co nejvíce odpovídal původnímu návrhu, zvolil jsem trubky o největším průměru 20 mm a tloušťkou stěny 2,3 mm, které se nejvíce přibližují parametrům měděných trubek. Prodejní cena těchto trubek je 24,5 Kč/m. [20]

6.2.2 T-kusy a kolena

Oproti měděnému výměníku mají T-kusy a kolena menší rozměry přibližně o 30 %, proto není potřeba upravovat délku spojovací trubky mezi T-kusy pro zvýšení počtu kapilár. Pokud ponechám velikost spojovacích trubek, získám počet 14 kapilár na panel, tedy nárůst o 40 %. [20]

Cena jednoho T-kusu je 52 Kč a cenu kolene počítám 37,9 Kč za kus. Celkový počet T-kusů je 26, tedy výsledná cena na jeden výměník je 1352 Kč. Počet kolen se nezmění a zůstanou 2, proto výsledná cena je 76 Kč, což se dá považovat za zanedbatelné. [20]

6.3 Parametry

Pro získání přehledu o teplotných vlastnostech výměníku je potřeba nejprve znát součinitel tepelné vodivosti materiálu, který pro PPR činí 0,23 W/m*K. [28] Tato hodnota není příliš vysoká, zvláště v kombinaci s nutností trubek kruhového průřezu. Ty značně omezují aktivní přenosovou plochu výměníku. Stejně jako u měděného budu počítat s šířkou dotyku 0,5 mm. Jelikož však narůstá počet kapilár na 14, bude výsledná aktivní plocha rovna 148 cm².

Dalším problémem, který snižuje účinnost celého výměníku je větší tloušťka stěny výměníku, která narůstá na 2,3 mm.

| | |
|---|----------|
| pokles výkonu na °C (%) | 0,45 |
| dotyková plocha výměníku (mm ²) | 14840 |
| tloušťka stěny výměníku (mm) | 2,3 |
| střední teplota panelu ve špičce (°C) | 85 |
| střední teplota chladicí kapaliny (°C) | 20 |
| součinitel tepelné vodivosti (W/m*K) | 0,23 |
| tepelný výkon na 1 °C rozdíl (W) | 0,683 |
| vychladitelná teplota (°C) | 2545 |
| dosažitelný tepelný výkon (W) | 44,379 |
| čas ochlazení panelu (s) | -569,773 |
| uspořený el. výkon (W) | -4981,5 |

Tab.7 chladicí vlastnosti výměníku z PPR [36]

Z dat z tab.7 je jasně patrné, především u zvýrazněných parametrů, že v této konfiguraci není tepelný výměník dostatečně výkonný na chlazení fotovoltaického panelu.

Pokud by byl rozdíl mezi teplotami teplotné kapaliny a panelu 1 °C byl by předávaný tepelný výkon 0,683 W. Jako vychladitelnou teplotu, která určuje ustálenou teplotu panelu, jsem vypočítal 2545 °C, což je naprosto nedosažitelné.

Z toho tedy vyplývá, že tento výměník není schopen ochladit panel ani při jeho maximálním oteplení na 85 °C. Proto tento výměník negeneruje žádný energetický zisk nad rámec instalace samostatné fotovoltaiky. Dále s ním proto nepočítám.

Kapitola 7

Ekonomické zhodnocení a porovnání investic

7.1 Náklady

Jako náklady každé varianty jsem bral celkovou investici. Přičemž tyto náklady jsem rozdělil do dvou sekcí. Náklady na materiál a komponenty a druhou sekci tvoří náklady na provedenou práci. Obě tyto části se skládají ze součtu všech potřebných investic dané varianty dané kategorie.

Základem investice všech variant je investice do samotné FVE. Tato hodnota investice je pro všechny varianty stejná a činí bez mála 2 375 000 Kč. Jelikož nepočítám s jakoukoliv dotací, pak počítám s uhrazením celé této částky.

Také počítám s nejideálnější variantou, kdy zanedbávám nutnou obměnu akumulátoru a střídače v průběhu užívání FVE. Pokud bych tento efekt nechtěl pominout, počítal bych s obměnou v rok doporučené životnosti komponent, která je u mnou použitého lithiového akumulátoru a střídači rovna 15 let. Po odeznění této doby významně klesá účinnost a kapacita a zároveň roste riziko fatální poruchy komponent.

Zbytek z ceny za jednotlivé varianty již tvoří náklady na zhotovení jednotlivých variant kogenerace. U těchto nákladů předpokládám ideální stav, kdy nakoupený materiál jsem schopen využít ze 100 %, neboli zanedbávám existenci stavebního odpadu. Do tohoto odpadu spadají například odřezky z trubek, které v realitě při stavbě přirozeně vznikají.

| investice | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| materiál, tepelný okruh | | | |
| | měď, svař | hliník | pouze fotovoltaika |
| výměníky | 377 884,06 | 53 875,04 | - |
| aku. Nádrž | 12 080,00 | 12 080,00 | - |
| oběh. Čerpadlo | 28 700,00 | 28 700,00 | - |
| TČ voda/voda | 194 000,00 | 194 000,00 | - |
| celk. | 612 664,06 | 288 655,04 | - |
| fotovoltaika | | | |
| fotovoltaické panely | 272 180,00 | 272 180,00 | 267 790,00 |
| akumulátor | 1 254 008,00 | 1 254 008,00 | 1 254 008,00 |
| měníč | 51 897,00 | 51 897,00 | 51 897,00 |
| kabeláž | 6 600,00 | 6 600,00 | 6 600,00 |
| instalace | 122 000,00 | 122 000,00 | 122 000,00 |
| celk. | 1 706 685,00 | 1 706 685,00 | 1 702 295,00 |
| práce | | | |
| tepelný okruh | 31 858,94 | 58 017,78 | - |
| fotovoltaika | 671 000,00 | 671 000,00 | 671 000,00 |
| dodatečná instalace | 100 000,00 | 100 000,00 | - |
| celk. | 802 858,94 | 829 017,78 | 671 000,00 |
| celková investice | | | |
| | 3 122 208,01 Kč | 2 824 357,82 Kč | 2 373 295,00 Kč |

Tab.9 tabulka výpočtu celkových investičních nákladů

7.2 Příjmy

Ve Výpočtu příjmů se objevuje několik proměnných, které je nejprve třeba pro zjednodušení pevně stanovit.

7.2.1 Doba generování energie

Intenzita dopadajícího slunečního záření, pro kterou jsem celý projekt počítal, je rovna 1000 W/m^2 . Této hodnoty však nelze dosáhnout konstantně a hlavně celoročně. Toto je průměrná hodnota právě pouze v letním období. Pokud bych chtěl vypočítat hodnoty ročních peněžních toků, nelze se spokojit pouze s letními zisky. Z Grafu.3 určí, že celková doba slunečního svitu v letním období (květen-září), kdy je průměrná intenzita záření 1000 W/m^2 , je průměrně 986 hodin z celkových 1573 hodin ročního slunečního svitu. [1] Ve zbylých měsících je intenzita a tím i výroba FVE podstatně nižší. Počítám tedy s regulovanou hodnotou 1100 h/rok slunečního svitu s konstantní intenzitou.

7.2.2 Kolísavé oteplování panelu

Teplota panelu a jeho následné zhoršení účinnosti je hlavním tématem této práce. Avšak s kolísající intenzitou slunečního záření klesá také velikost zbytkového výkonu přeměňovaný na teplo.

Jelikož jsem stanovil roční počet hodin s konstantní intenzitou, budu na tento model i počítat s oteplovacím výkonem panelu.

Abych určil energii, kterou ušetřil chlazením tepelný výměník, je potřeba stanovit jaké teploty mohl ve který čas panel dosáhnout. Z důvodu celkového zjednodušení jsem se rozhodl pro počítání se střední teplotou panelu ve špičce v každé hodině svitu o konstantní intenzitě. Tímto krokem znevýhodňuji instalaci samostatné FVE, protože tím předpokládám, že 1100 h/rok bude teplota povrchu panelů dosahovat 85 °C.

7.2.3 Cena elektřiny

V roce 2022 je nasazený cenový strop na cenu elektřiny, kvůli stávající celosvětové energetické krizi, ve výši 6050 Kč/MWh energie. [31] V této fixní cenové hladině budu oceňovat příjmy z jednotlivých variant projektu. Předpokládám, že cenový strop nastavený vládou ČR bude ještě několik let setrvávat a po jeho odstranění nepředpokládám, že by se cena na trhu nijak významně změnil. Proto tento efekt zanedbám.

7.2.4 Inflace

Vliv inflace jsem v tomto projektu záměně anuloval z důvodu celkového zjednodušení práce. Pokud bych však její vliv chtěl započítat, musel bych pro adekvátně přesný výsledek užít prognózy ČSÚ nebo ČNB vývoje inflace jednotlivých složek spotřebního koše pro následující roky. V mém případě by se vliv inflace zejména projevil při odhadu výpočtu příjmů neboli ekvivalentní peněžní hodnoty vyrobené el. energie.

Započítáním meziroční inflace by se měnila nominální hodnota vyrobené elektřiny.

$$(1 + r_r) + (1 + \alpha) = (1 + r_n) \quad \text{vzorec.16 [38]}$$

- r_r – reálná diskontní sazba (%)
- α – inflační koeficient (%)
- r_n - nominální diskontní sazba (%)

Avšak i se stejným tempem růstu bych musel ve výpočtu ekonomických ukazatelů zvýšit diskontní sazbu dle *vzorce.16*.

Jelikož vygenerované příjmy nebudou daněny, pak se na výsledném ekonomickém ukazateli vliv investice neprojeví a dá se počítat s osvobozením od inflace.

7.2.5 Roční příjem

Jelikož předpokládám s obměnou všech komponent a zanedbávám průběžnou obměnu akumulátoru a střídače bude Cash Flow, v letech odlišných od roku investice, roven finančnímu ekvivalentu příjmu vyrobené energie. Tento příjem jsem vypočítal z celkového výkonu FVE a průměrnou roční dobou svitu. Ten je určen počtem instalovaných panelů a jejich štítkové hodnoty výkonu.

$$E_{celk} = P_p * a * T_r \quad \text{vzorec.17}$$

- T_r – průměrná roční doba svitu (h)

V této pozici je vypočítaný energetický zisk roven ideálnímu stavu panelu neboli neoteplený panel po celou dobu svitu, což by odpovídalo situaci s dostatečně účinným tepelným výměníkem. Je potřeba proto odečíst uspořený el. výkon od výkonu panelu.

$$E_{celk} = (P_p - P_e) * a * T_r \quad \text{vzorec.18}$$

Pomocí *vzorce.18* získávám energetický zisk samostatné FVE zatíženou oslabením výkonu vlivem oteplení panelů. Nyní již stačí energetické zisky pronásobit fixní cenovou hladinou 6050 Kč/MWh pro získání příjmů z FVE.

Pro dopočet zisků vlivem instalace výměníků použiji *vzorec.12* s obměnou teploty chladicí kapaliny za stabilní vyhladitelnou teplotu způsobenou chlazením. Pokud je tato hodnota záporná, znamená to, že výměník není schopen žádným způsobem chladiť panely a negeneruje tak žádný výkonový zisk.

Pro akurátní energetický zisk jsem pronásobil každoroční příjem koeficientem degradace výkonu panelů z *obr.6*.

| příjmy | | |
|---|-------------------|-------------------|
| FVE | | |
| | měď, svař | hliník |
| ekvivalentní el. výkon (Wp) | 19 420,88 | 19 420,88 |
| cena elektřiny (kč/MWh) | 5 400,00 | 5 400,00 |
| celkový roční příjem (kč) | 104 872,73 | 104 872,73 |
| přínos kogenerace | | |
| zvýšený el. výkon (W) | 8 029,13 | 8 029,13 |
| celk. roční navýšení příjmu (kč) | 43 357,28 | 43 357,28 |

Tab.10 tabulka celkových ročních příjmů

7.3 Porovnání variant

7.3.1 Energetické porovnání

Nejlepším energetickým srovnáním jednotlivých investice v tomto případě bude schopnost výměníku odvádět teplo z panelu, měřené podle ukazatele tepelného výkonu při rozdílu teploty kapaliny a panelu o 1 °C. Tento výkon také zvyšuje efektivitu TČ, které z kapaliny teplo odčerpává, jelikož se je schopna zahřát na vyšší teplotu.

| | hliník | měděný |
|---|-------------|------------|
| pokles výkonu na °C (%) | 0,45 | 0,45 |
| dotyková plocha výměníku (mm ²) | 459520 | 10100 |
| tloušťka stěny výměníku (mm) | 1,5 | 1 |
| střední teplota panelu ve špičce (°C) | 85 | 85 |
| střední teplota chladící kapaliny (°C) | 20 | 20 |
| součinitel tepelné vodivosti (W/m*K) | 210 | 400 |
| tepelný výkon na 1 °C rozdíl (W) | 29597,731 | 1858,692 |
| vychladitelná teplota (°C) | 20 | 20 |
| dosažitelný tepelný výkon (W) | 1923852,534 | 120814,953 |
| čas ochlazení panelu (s) | 0,498 | 8,034 |
| uspořený el. výkon (W) | 131,625 | 131,625 |

Tab.12 tabulka tepelných vlastností výměníků

Z energetického hlediska jsou výměníky z hliníku a z mědi oba dostatečné, čímž jsou obě varianty schopny vychladit až na ustálenou teplotu 20 °C. Je potřeba zdůraznit, že tepelný výkon měděného výměníku vysoce závisí na tloušťce dotyku a dostatečné hodnoty dosahuje až při hodnotě 0,5 mm, což u kruhového průřezu kapilár může být obtížné dosáhnout.

7.3.2 Ekonomické porovnání

Jednotlivé varianty budu posuzovat pomocí ekonomického ukazatele NPV neboli čisté současné hodnoty, Tento ukazatel jsem zvolil z důvodu stejné délky životnosti všech variant a faktu, že tento ukazatel zohledňuje časovou hodnotu peněz. Proto nebudu počítat s dobou návratnosti investice.

7.3.3 Stanovení diskontní sazby

Při určování diskontu hrají roli 2 zásadní faktory. Jsou to rizikovost investice a původ investičního kapitálu.

Předpokládám, že celý projekt bude financovaný z vlastního kapitálu družstva. Tedy diskontní sazba bude reprezentovat výnosnost vlastního kapitálu.

Budu počítat s předpokladem, že finanční toky po dobu provozu jsou plně bezrizikové. Budu proto zanedbávat riziko poruchy a následné nutnosti opravy. Dále zanedbávám riziko změny počasí, jelikož vycházím z průměrných hodnot slunečního svitu.

S těmito informacemi stanovuji minimální diskontní sazbu bezrizikové investice hrazené z vlastního kapitálu rovnou výnosnosti dlouhodobého státního dluhopisu, který nyní činí 4,6 %.

7.3.4 NPV

Pro výpočet jednodušší výpočet NPV využiji programu Microsoft Excel s použitím funkce ČIST.SOUC. HODNOTA.

Funkce na výpočet NPV, pokud bych použil konvenčních způsobů výpočtu by vypadal jako *vzorec.19*.

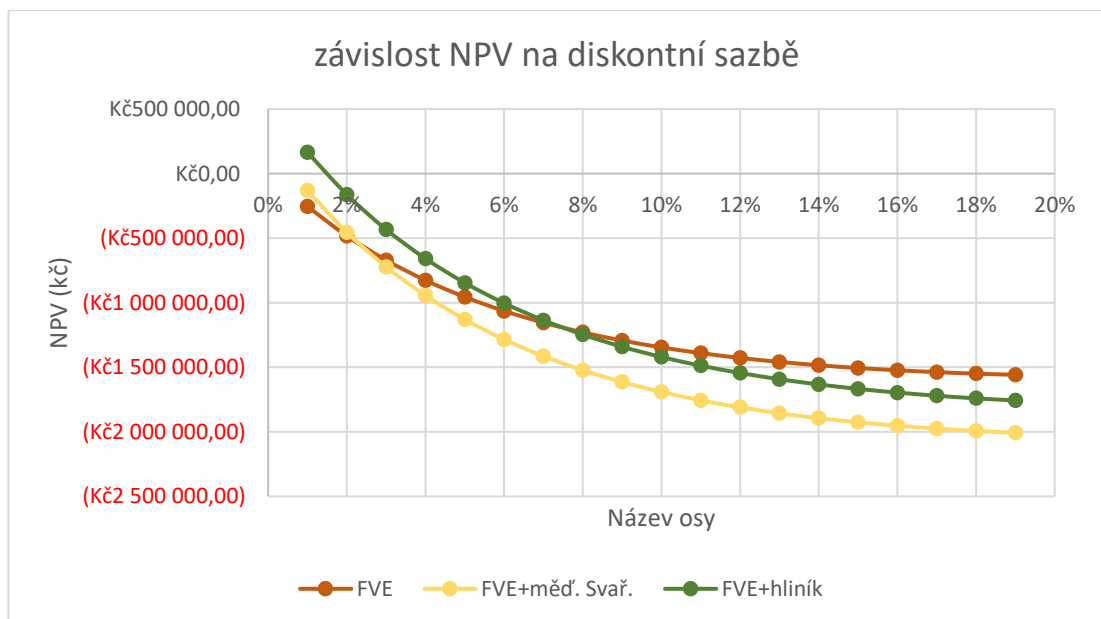
$$NPV = \sum_0^n CF_n * \frac{1}{(1-r_n)^n} \quad \text{vzorec.19}$$

- CF_n – peněžní toky v roce n
- r_n -

Pomoci citlivostní analýzy jsem vytvořil tabulku XXX ukazatelů NPV v závislost na diskontní sazbě.

| diskont | NPV1 | NPV2 | NPV4 |
|---------|------------------|------------------|------------------|
| 1% | -255 086,09 Kč | -130 572,89 Kč | 164 328,29 Kč |
| 2% | -482 444,91 Kč | -454 182,74 Kč | -162 172,76 Kč |
| 3% | -670 367,80 Kč | -722 008,99 Kč | -432 834,05 Kč |
| 4% | -826 193,29 Kč | -944 425,38 Kč | -658 030,97 Kč |
| 5% | -955 774,79 Kč | -1 129 706,47 Kč | -846 039,62 Kč |
| 6% | -1 063 801,39 Kč | -1 284 481,15 Kč | -1 003 490,40 Kč |
| 7% | -1 154 045,72 Kč | -1 414 082,88 Kč | -1 135 718,22 Kč |
| 8% | -1 229 556,10 Kč | -1 522 821,30 Kč | -1 247 034,09 Kč |
| 9% | -1 292 806,05 Kč | -1 614 193,62 Kč | -1 340 936,57 Kč |
| 10% | -1 345 811,23 Kč | -1 691 049,81 Kč | -1 420 276,92 Kč |
| 11% | -1 390 221,01 Kč | -1 755 722,14 Kč | -1 487 388,64 Kč |
| 12% | -1 427 390,69 Kč | -1 810 127,12 Kč | -1 544 189,46 Kč |
| 13% | -1 458 438,45 Kč | -1 855 846,16 Kč | -1 592 261,93 Kč |
| 14% | -1 484 290,62 Kč | -1 894 189,41 Kč | -1 632 917,31 Kč |
| 15% | -1 505 717,63 Kč | -1 926 246,66 Kč | -1 667 246,49 Kč |
| 16% | -1 523 362,79 Kč | -1 952 927,99 Kč | -1 696 160,58 Kč |
| 17% | -1 537 765,33 Kč | -1 974 996,35 Kč | -1 720 423,54 Kč |
| 18% | -1 549 378,99 Kč | -1 993 093,82 Kč | -1 740 678,40 Kč |
| 19% | -1 558 586,94 Kč | -2 007 762,72 Kč | -1 757 468,44 Kč |

Tab.14 tabulka závislosti ukazatele NPV na použitém diskontu



Graf.5 závislost NPV na diskontní sazbě

Jak z tabulky.14, tak z grafu.5 je patrné, že podle ekonomického ukazatele NPV není ani jedna z variant investice vhodná, jelikož všechny investice jsou ztrátové. Nejméně ztrátovou se jeví varianta hliníkového výměníku při diskontu 4,6 % hodnotou NPV - 774 000 Kč. Zejména je to dáno vysokou pořizovací cenou jednotlivých komponent, které kvůli vysokým potřebným výkonům úměrně rostou.

Pro více informací si dopomůžu druhým ekonomickým ukazatelem IRR neboli vnitřní výnosové procento. Tento ukazatel je velmi užitečný, jelikož jeho výsledkem je diskontní sazba, při které je $NPV = 0$. To znamená, že jakákoliv diskontní sazba menší než IRR a zároveň větší než 0 je výnosná.

| investice | IRR |
|---------------|---------|
| FVE | 0,0694% |
| FVE+měď svář. | 0,6452% |
| FVE+hliník | 1,4796% |

Tab.15 Velikost IRR

Z *tabulky.15* je patrné, že některé varianty mají kladný ukazatel IRR, konkrétně se jedná o variantu s hliníkovým a variantu se svářeným měděným hliníkem. Tyto hodnoty však neznamenají dobrou investici. A to z důvodu zanedbání několika důležitých částí nákladů.

Závěr

Varianty sluneční kogenerace, jak s měděným, tak i s hliníkovým tepelným výměníkem se z energetického hlediska jeví jako optimální. A to z následujících důvodů. Prvním důvodem je jejich dobrá schopnost odvádět ztrátové teplo z fotovoltaických panelů, a tím maximalizovat jejich účinnost. Druhým důvodem schopnost dostatečného ohřevu vody pro tepelného čerpadla voda/voda. Výkon tepelného čerpadla voda/voda sám o sobě převyšuje celkový výkon již instalovaných tepelných čerpadel, a to při nižším průměrném příkonu.

Z ekonomického hlediska vychází nejlépe varianta s hliníkovým tepelným výměníkem, avšak ani ta není bez dotace rentabilní. A to i s přihlédnutím k faktu, že byly všechny varianty počítány v ideálních podmínkách a některé nutné náklady spojené s pořízením soustavy byly zanedbány. Tyto ideální podmínky jsou zejména předpoklad stabilního slunečního záření zahřívající panely konstantním (maximálním) výkonem v plném rozsahu doby svitu. Také byly zanedbány veškeré tepelné ztráty sáláním do okolí a s tím spojenou pořizovací cenu zateplení tepelného okruhu. Jako další bylo počítáno s fixní cenovou hladinou trické energie, u které se dá předpokládat, že dále bude v průběhu let klesat.

Literatura

1. Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR, ©2001–2013. *tbzinfo* [online]. [cit. 22.11.2022]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
2. **Miškovský, Daniel.** efektivnost fotovoltaiky na panelovém domě. Praha, 21.5.2018. Bakalářská práce. ČVUT, fakulta elektrotechnická, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd. vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc. [cit. 28.12.2022]
3. Viessmann spol. s.r.o. [online Technický list]. Vitocal 100-A. ©2020. [cit. 27.12.2022]. Dostupné z: https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/Prospekty/Vitocal%20100-A_Technick%C3%BD%20list.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Vitocal%20100-A_Technick%C3%BD%20list.pdf
4. **Hladík, Richard.** cena fotovoltaiky, 26.12. 2022. *evolty* [online]. [cit.]. Dostupné z: <https://evolty.cz/fve/cena-fotovoltaiky/>
5. **Němeček, Ondřej.** Teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky. vedoucí práce Ing. Milan Bělík, Ph.D. [cit. 26.12.2022].
6. How to calculate solar panel size needed, ©2018. *The Renewable nenergy Hub*. [online]. [cit. 28.12.2022]. Dostupné z: <https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/how-to-calculate-solar-panel-size-needed/>
7. How to calculate solar panel size needed, ©2018. *The Renewable nenergy Hub*. [online]. [cit. 28.12.2022]. Dostupné z: <https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/how-to-calculate-solar-panel-size-needed/>
8. Rathore, N., Panwar, N. L., Yettou, F., & Gama, A. 2021. A comprehensive review of different types of solar photovoltaic cells and their applications. *International Journal of Ambient Energy*, 42(10), 1200-1217. [cit. 22.12.2022]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01430750.2019.1592774><https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01430750.2019.1592774>
9. Solar Panel Directory, ©2005-2023. *ENF Ltd.* [online]. [cit. 27.12.2022]. Dostupné z: <https://www.enfsolar.com/pv/panel/2?page=1>

10. Manimekalai, P., Harikumar, R., & Raghavan, S. (2013). An overview of batteries for photovoltaic (PV) systems. *International Journal of Computer Applications*, 82(12). [cit. 26.2.2023] Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Manimekalai-Ponnusamy/publication/278670768_An_Overview_of_Batteries_for_Photovoltaic_PV_Systems/links/55c29b3808aebc967defe003/An-Overview-of-Batteries-for-Photovoltaic-PV-Systems.pdf
11. Official Depth Of Discharge Recommendations For LiFePO4, 2019. *Victron Energy* [online fórum]. [cit. 26.2.2023]. Dostupné z: <https://community.victronenergy.com/questions/10779/official-depth-of-discharge-recommendations-for-li.html>
12. srovnání rychlostí různých metod spojování a instalace ocelového potrubí, ©2021, *stavebnictvi3000.cz*. [online]. [cit. 26.3.2023]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/srovnani-rychlosti-ruznych-metod-spojovani-a-instalace-oceloveho-potrubu>
13. **Horváth Josef**. solární záření v lokalitě VUT FIS v Brně. Brno, 2010. Bakalářská práce. vysoké učení technické v Brně. fakulta strojního inženýrství. energetický ústav. vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D. [cit. 20.5.2023]
14. ALUPA s.r.o. (2023) nákup hliníkových jeklů 20x10x1,5 mm. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/>
15. FVE-MP.cz (2023) nákup bateriových modulů Pylontech US5000. Dostupné z: <https://www.fve-mp.cz/>
16. B&B elektro s.r.o. (2023) nákup propojovací rámeček baterie US5000. Dostupné z: <https://www.bbelektro.cz/>
17. IMPO CZ s.r.o. (2023). nákup PPR trubky 40x5,5 PN 16. Dostupné z: <https://www.koupelny-radiatory.cz/ppr-trubka-40x5-5-pn16>
18. obchod-vtp.cz (2023) nákup měděných trubek, kolen, T-kusů. Dostupné z: <https://www.obchod-vtp.cz/>
19. PENTA CZ s.r.o. (2023) nákup solární panely G21 MCS LINUO SOLAR 450W. Dostupné z: <https://www.penta.cz/>
20. HORNBACH BAUMARKT CS s.r.o. (2023) nákup akumulární nádrž Dražice NAD 500 v3, polypropylenové trubky PPRCT UNI S4 SDR9 20x2,3, PPR grs T kus. 20, PPR grs koleno 90° 20. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/>
21. Pájení měděných trubek a tvarovek!!! In: Youtube [online]. 18.2.2019 [cit. 30.4.2023]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=vpVkgdGAisc&ab_channel=Ale%C5%A1Kalabis is kanál uživatele Aleš Kalabis
22. Lisování měděných PRESS tvarovek a měděných trubek!!! In: Youtube [online]. 23.10.2019 [cit. 23.4.2023]. Dostupné z:

https://www.youtube.com/watch?v=Na7r8igsodI&ab_channel=Ale%C5%A1Kalabis
kanál uživatele Aleš Kalabis

23. SOLAR-KERBEROS (2023).[online].[cit.20.3.2023]. Dostupné z:
https://www.solar-kerberos.cz/cz/produkt/blog/211-vite_co_je_to_mppt

24. **Ing. Attlová, Ivana.** Rozvody vody z polypropylénu, 3.6.2008, *tbzinfo* [online].
[cit. 22.3.2023]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/4891-rozvody-vody-z-polypropylenu-ppr>

25. výpočet tlakové ztráty třením potrubí, ©2001–2013. *tbzinfo* [online]. [cit.
15.3.2023]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/87-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubi>

26. KOVE Tools s.r.o. (2023) nákup solárních kabelů PV 10 mm². Dostupné z:
<https://www.kovetools.cz/>

27. Správné svařování trubek a tvarovek z PPR a PP-RTC In: Youtube [online].
10.11.2015 [cit. 10.5.2023]. Dostupné z:
https://www.youtube.com/watch?v=UaV_OoojcYM&ab_channel=WavinCzechias.r.o
o. kanál uživatele Wavin Czechia s.r.o.

28. Materiálové provedení PP, 07.2020. *Titan-plasmetix.cz* [online]. [cit. 15.3.2023].
Dostupné z: https://titan-plastimex.cz/wp-content/uploads/2020/07/materialove_provedeni_pp.pdf

29. EKO PRODUKT s.r.o. (2023) nákup třífázový měnič GoodWe 20KT-DT 25kW.
Dostupné z: <https://ecoproduct.cz/>

30. Cutting aluminium. In: Youtube [online]. 5.4.2013 [cit. 23.3.2023]. Dostupné z:
https://www.youtube.com/watch?v=LacH07w8zxw&ab_channel=UltimateHandyman
n kanál uživatele Ultimate Handyman

31. Vláda schválila zastropování cen energií. Pomůže jak domácnostem, tak firmám.
5.10.2022. *MPO* [online]. [cit. 20.5.2023]. Dostupné z:
<https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/vlada-schvalila-zastropovani-cen-energi--pomuze-jak-domacnostem--tak-firmam--270228/>

32. úsporná vytápění s.r.o. (© 2020) nákup tepelné čerpadlo voda-voda AquaMaster
45Z, Dostupné z: <https://www.uspornevytapani.cz/>

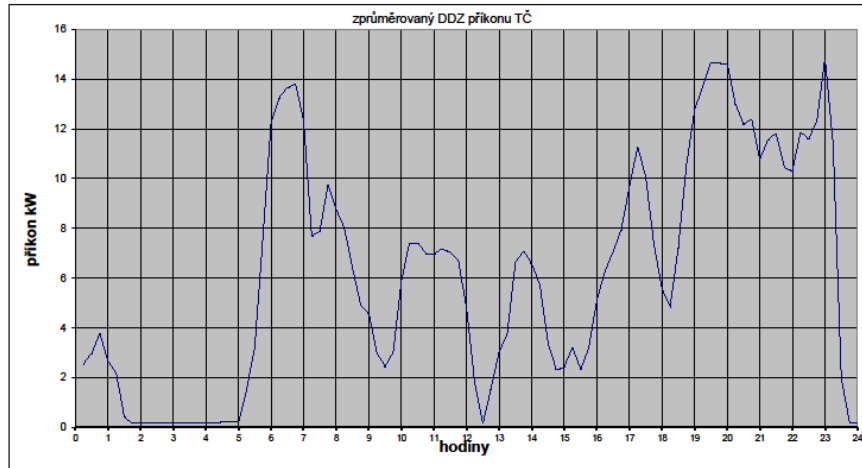
33. Master Therm tepelná čerpadla s.r.o. [online Technický list]. AquaMaster 45Z.
05. 2008 [cit. 3.3.2023]. Dostupné z: https://www.uspornevytapani.cz/wp-content/uploads/MTTC_aq45z_14511.pdf

35. Stavební sklo, 2017. *cklop.cz* [online]. [cit. 24.2.2023]. Dostupné zde:
<https://www.cklop.cz/clanek/151-cz-stavebni-sklo>

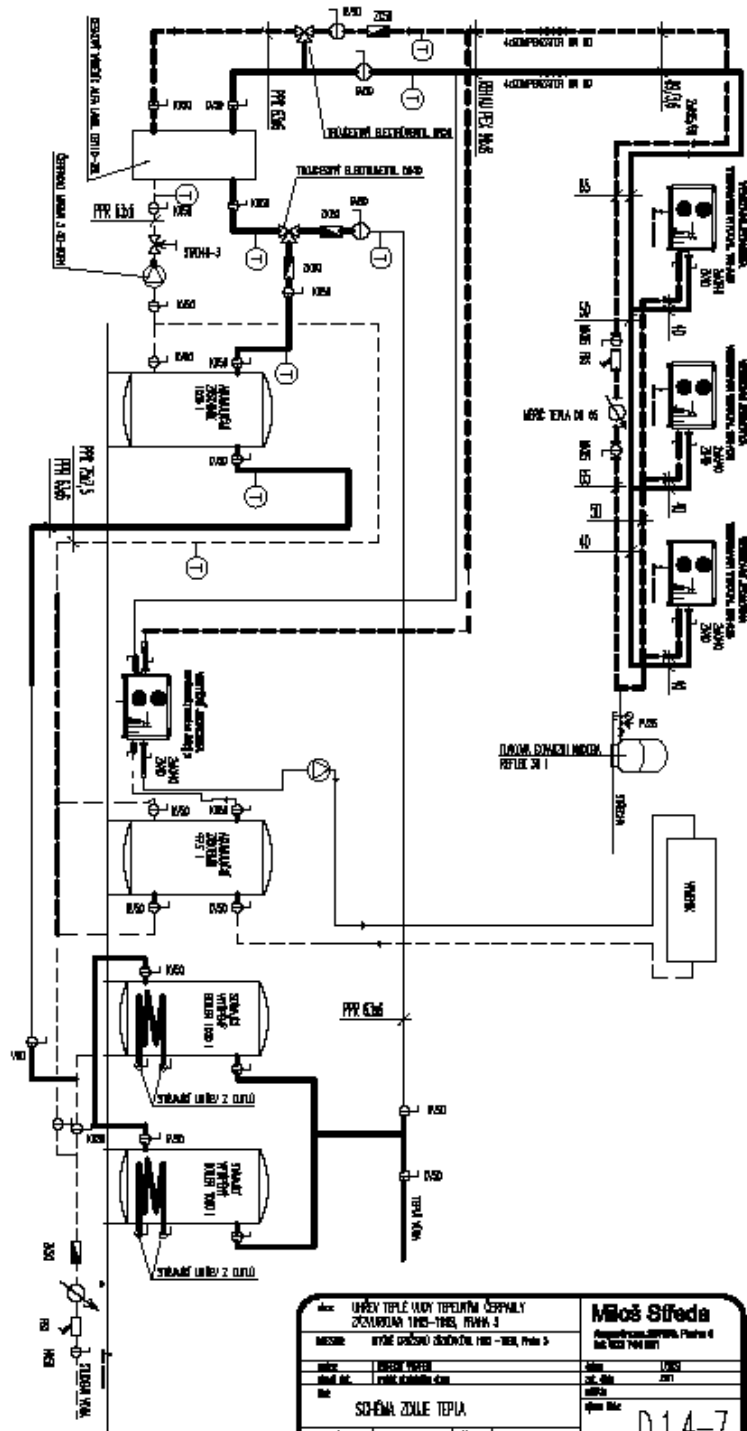
36. **Štěpán, Jan.** návrh a stanovení výkonu výměníku tepla. České Budějovice, 2020.
Bakalářská práce, Vyysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích,
Technicko-technologický ústav, vedoucí práce Ing. Jan Kolinský, Ph.D. [cit.
20.4.2023]

37. Kinematická a dynamická viskozita vody, 15.4.2015. *e-konstrukter.cz* [online]. [cit. 15.3.2023]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/kinematicka-a-dynamicka-viskozita-vody>
38. **Čížek, Bohuslav.** Diskontní sazba. 2023. *středoevropské centrum pro finance a management* [online]. [cit. 16.3.2023]. Dostupné z: <https://www.finance-management.cz/080vypisPojmu.php?X=Diskontni+sazba&IdPojPass=116>
39. Pumpa.eu. (2023), nákup oběhové čerpadlo MAGNA1 32-80N. Dostupné z: <https://www.pumpa.eu/>

A.1.1 Průměrný denní příkon TČ



A.1.2 Tepelný okruh BD ulice Zázvorkova s instalovaným tepelným čerpadlem voda/voda a akumulční nádrží



| | | | |
|---|--|--|--|
| akce: ÚPRAVA TEPLÉ ÚJADY TEPELNÝM ČERPADLEM ZOBNOVANÁ 1905-1906, PRÁHA 3 | | Mikš Středa Podpředměstí, Praha 4 tel: 2522 704 001 | |
| město: BŘEŽEVSKO ulice: Mlýnská číslo: 100 | číslo: 1905 počet: 201 datum: 2011 | číslo: 014-7 | |
| SCHEMA ZDLE TEPLA | | | |

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha 2023

Lukáš Dedouch