

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Projekt napájení tepelného čerpadla
fotovoltaickým systémem**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš KOKEŠ**
Osobní číslo: **E13N0162P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Projekt napájení tepelného čerpadla fotovoltaickým systémem**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište typy tepelných čerpadel a fotovoltaických systémů.
2. Zpracujte návrh FV systému podle příkonu tepelného čerpadla a zvolte řídicí jednotku pro spuštění TČ z distribuční sítě nebo z FV systému.
3. Analyzujte technické řešení napájení TČ - stejnosměrným nebo střídavým proudem. Uveďte výhody a nevýhody obou řešení.
4. Zhodnoťte návrh z hlediska ekonomického, energetického a ekologického.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na napájení tepelného čerpadla fotovoltaickým systémem. Nejprve jsem zvolil vhodné tepelné čerpadlo, poté zpracoval návrh FV systému a zvolil vhodnou řídicí jednotku pro spuštění tepelného čerpadla z distribuční sítě nebo FV systému. Dále jsem analyzoval technické řešení pro napájení tepelného čerpadla střídavým proudem. Poté jsem tento návrh zhodnotil ekonomicky, energeticky a ekologicky.

Klíčová slova

tepelné čerpadlo, fotovoltaický systém, návrh fotovoltaického systému
technické řešení tepelného čerpadla, ohřev teplé vody, akumulační nádrž

Abstract

Diploma thesis is focused on power of the heat pump by photovoltaic system. First I chose an appropriate heat pump and then I drew up proposal of PV system and chose a suitable control unit for heat pump start from the grid or PV system. I also analyzed the technical solution for power of the heat pump by alternating current. Then I evaluated this proposal economically, energetically and environmentally.

Keywords

heat pump, photovoltaic system, design of photovoltaic system, technical solution of the heat pump, hot water heating, water storage tank

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 17.3.2016

Lukáš Kokeš

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Janu Škorpilovi CSc. za cenné rady a metodické vedení práce. Dále konzultantovi Ing. Josefovi Ledvinovi za poskytnutí podkladových materiálů.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK:	10
ÚVOD:	11
1. TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL A FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	12
1.1. TEPELNÁ ČERPADLA	12
1.1.1. Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch	13
1.1.2. Tepelné čerpadlo vzduch - voda	13
1.1.3. Tepelné čerpadlo voda - voda	14
1.1.4. Tepelné čerpadlo země - voda	15
1.1.5. Kompresory pro TČ	16
1.2. FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	17
1.2.1. Krystalický křemíkový článek	18
1.2.2. Amorfnní křemíkový článek	19
1.2.3. Autonomní FV systémy (off - grid)	19
1.2.4. Hybridní systém	20
1.2.5. Systém přímo spojený se sítí (on - grid)	21
2. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	21
2.1. ZVOLENÉ TEPELNÉ ČERPADLO	21
2.2. STANOVENÍ VELIKOSTI FV SYSTÉMU	22
2.3. NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	26
2.4. VOLBA MĚNIČE	27
3. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA	28
3.1. ZAPOJENÍ TČ	28
3.2. ZAPOJENÍ TČ S GREENBONO REGULÁTOREM	30
3.3. ZAPOJENÍ TČ S LX-DC SETEM	33
4. ENERGETICKÉ, EKONOMICKÉ A EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ	35
4.1. ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ	35
4.1.1. Energetické vyhodnocení FV elektrárny	35
4.1.2. Energetické vyhodnocení tepelného čerpadla	36
4.2. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ	41
4.2.1. Návratnost FV systému a TČ	42

4.2.2. návratnost FV systému a TČ s GreenBonO regulátorem.....	43
4.2.3. návratnost FV systému a TČ s LX-DC setem	44
4.2.4. návratnost samotného TČ napájeného ze sítě	45
4.3. EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ	45
4.3.1. životnost a rizika tepelných čerpadel	45
4.3.2. životnost a recyklace FV panelů	45
5. ZÁVĚR	46
6. SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	46
PŘÍLOHY	51

Seznam symbolů a zkratk:

TČ	Tepelné čerpadlo
FV	Fotovoltaický
TUV	Teplá užitková voda
DC	Stejnoseměrný proud
AC	Střídavý proud
PECVD	Plasmou podporované chemické nanášení z plynné fáze
EVA	Ethylen vinyl acetát
COP	Koeficient výkonnosti

Úvod:

Lidé si nedokážou od devatenáctého století představit život bez elektrické energie. Jedním z hlavních producentů elektrické energie jsou tepelné elektrárny, které ovšem mají vliv na znečišťování životního prostředí.

V poslední době se lidé čím dál více začali zajímat o dopady na životní prostředí, proto začali hledat nové možnosti. Jednou z možností je omezit spotřebu elektrické energie nebo najít náhradu za fosilní paliva (uhlí, ropa plyn), jejichž odhad pro vyčerpání se odhaduje na desítky let. Jako další možnost je zde náhrada za jiné zdroje, např. obnovitelné, které při výrobě elektřiny neznečišťují životní prostředí.

Jedním z obnovitelných zdrojů je Slunce. Jeho energii lze pomocí fotovoltaických článků přeměnit na energii elektrickou, nebo pomocí solárních článků lze tuto energii přeměnit na teplo.

Dále je pro získávání tepla z okolí vhodné tepelné čerpadlo. V práci jsem nastínil princip fungování TČ, rozebírám jednotlivé druhy tepelných čerpadel - vzduch - voda, voda - voda, země - voda, včetně jejich výhod a nevýhod při jejich realizaci. Uplatnění tepelných čerpadel nastalo v 80. letech 20. století, kdy došlo k nárůstu cen energií a tento vzestup byl významným faktorem poptávky po TČ. Ve vyspělých evropských státech je využití TČ standardní a v budoucnosti lze očekávat podobné využití také u nás. Fyzikální základ tepelného čerpadla formuloval už anglický fyzik Kelvin a první tepelná čerpadla byla sestavena již v roce 1927. Tepelná čerpadla pracují na základě druhého zákona termodynamiky, kdy tepelná energie přechází z prostředí o nižší teplotě do prostředí s teplotou vyšší za pomoci dodané energie. Ve většině případů energii dodává kompresor. Aby se snížily náklady za elektrickou energii, je možné napájet tepelné čerpadlo přímo z fotovoltaické elektrárny.

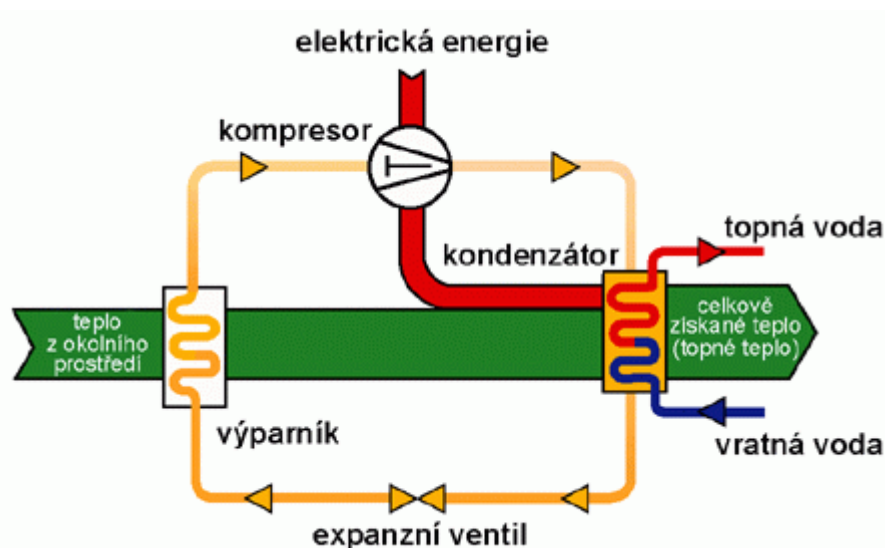
V této diplomové práci navrhuji FV systém pro napájení tepelného čerpadla Silent S150 - DC a zvolím řídicí jednotku pro spuštění tepelného čerpadla z distribuční sítě nebo FV systému. Následně je nastíněno řešení napájení tepelného čerpadla střídavým napětím.

Poslední část diplomové práce je věnována výpočtu návratnosti investic a jeho zhodnocení. Ceny energií v jednotlivých sazbách se stále mění, stejně tak ceny vložených investic.

1. Typy tepelných čerpadel a fotovoltaických systémů

1.1. Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je energetické zařízení, které využívá energii ze svého okolí (vzduch, země, podzemní voda). V dnešní době většina tepelných čerpadel používá kompresory k dodání požadované práce, i když existují i TČ založená na jiných principech (absorpční).



Obr. 1.1 Schéma tepelného čerpadla [2]

Na Obr. 1.1 vidíme tepelné čerpadlo, které můžeme rozdělit na čtyři hlavní části, výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Oběhem TČ proudí chladivo s nízkým bodem varu. Výparník slouží k ohřátí chladiva z nízké teploty na teplotu okolí (vzduchu, země, podzemní vody). Poté chladivo postupuje do kompresoru, kde se vlivem stlačení zvýší jeho teplota a tlak. Dále chladivo postupuje do kondenzátoru, kde vlivem odevzdání tepla do okolí (vzduch, voda) zkapalní. Po zkapalnění postupuje chladivo přes expanzní ventil, kde se sníží tlak, zpět do výparníku a celý cyklus se opakuje. [2]

Důležitý parametr pro TČ je takzvaný topný faktor ε , který udává kolikrát je větší získaný výkon $Q_{TČ}$ oproti příkonu $P_{TČ}$. Závisí na teplotě zdroje tepla a na teplotě, při které se teplo spotřebovává. Čím je vyšší teplota okolí a čím je nižší teplota při které se teplo spotřebovává, tím vyšší je topný faktor. Hodnota se obvykle pohybuje mezi 2,5 - 4 To znamená, že z 1kWh elektrické energie se vyrobí 2,5 - 4 kWh tepla.

$$\varepsilon = \frac{Q_{TČ}}{P_{TČ}}$$

Tepelná čerpadla se nejčastěji používají k ohřevu vody v bazénu, vody užitkové, vody topné, k teplotovzdušnému vytápění nebo naopak chlazení. [1]

1.1.1. Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch

Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch (klimatizace) využívá jako zdroj tepla venkovní vzduch, kterému dodává energii Slunce. Jeho topný faktor je závislý na venkovní teplotě. Pokud se sníží venkovní teplota, sníží se i topný faktor TČ. Toto TČ dokáže pracovat i při teplotách -20°C . Je vhodné pro teplotovzdušné vytápění popř. chlazení. [3, 4, 5, 6]



Obr. 1.2 Schéma TČ vzduch - vzduch [3]

Výhody: Snadná projekce a montáž, nízké náklady, prostorově nenáročná

Nevýhody: Při teplotě pod -10°C nižší topný výkon

1.1.2. Tepelné čerpadlo vzduch - voda

Tepelné čerpadlo vzduch-voda využívá teploty venkovního vzduchu jako u tepelných čerpadel vzduch - vzduch, pouze pro distribuci tepla v objektu využívají vodu. Jeho topný výkon je opět závislý na teplotě okolí. Je vhodné pro podlahové a radiátorové topení.

Při nižších teplotách chladivo na výparníku namrzá a je ohrožena funkce TČ. Odtávání chladiva na výparníku se řeší buď vnitřním ohřevem (reverzní chodu TČ), vnějším ohřevem (pomocí elektricky napájeného topného tělesa) nebo vnějším ohřevem (vzduchem).

TČ vzduch – voda dělíme na TČ pro venkovní instalaci (umístěné poblíž objektu) nebo vnitřní instalaci (umístěné např. v garáži) [3, 4, 5, 6]



Obr. 1.3 Schéma TČ vzduch – voda [3]

Výhody: Snadná projekce a montáž, prostorově nenáročné, příznivé pořizovací náklady

Nevýhody: Při teplotě pod -10°C nižší topný výkon, při nízkých teplotách nutný ohřev (námraza výparníku)

1.1.3. Tepelné čerpadlo voda - voda

Tepelné čerpadlo voda – voda využívá teplo z povrchových toků, studní, nebo hlubinných vrtů. Teplota spodní vody má stálou teplotu $8 - 12^{\circ}\text{C}$, avšak nebývá v požadovaném množství nebo čistotě. Jak vidíme na Obr. 1.4, pro provoz jsou potřeba dvě studny (odčerpávací a vsakovací), popř. hlubinné vrty, které jsou ovšem finančně náročné (cca 2000 Kč/m). [3, 4, 5, 6]



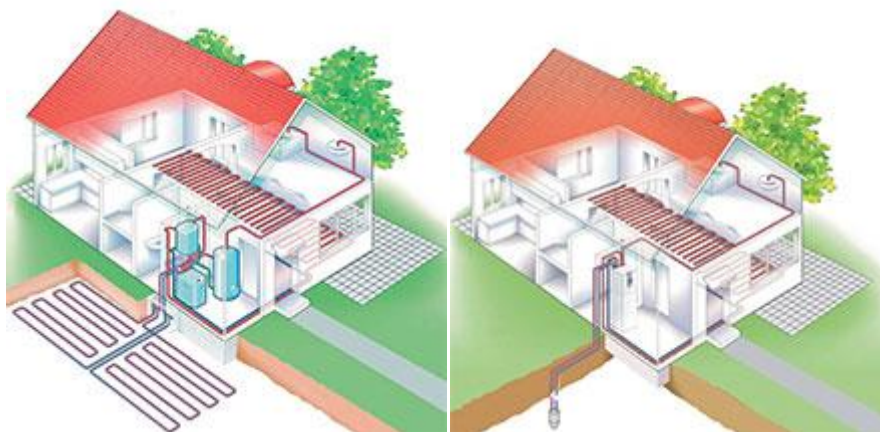
Obr. 1.4 Schéma TČ voda - voda [3]

Výhody: Stálá teplota podzemní vody, prostorově nenáročné

Nevýhody: Čistota vody, vysoké náklady, dvě studny nebo hlubinné vrtý (odčerpávací, vsakovací), potřebný souhlas stavebního a vodoprávního úřadu

1.1.4. Tepelné čerpadlo země - voda

Tepelné čerpadlo země – voda využívá teplo z půdy nebo geotermálních vod pomocí zemních kolektorů (Obr. 1.5 vlevo) nebo hlubinných vrtů (Obr. 1.5 vpravo). Zemní kolektory se ukládají obvykle do hloubky 1,7 – 2m a jejich plocha musí být 2 - 3 krát větší než plocha vytápěná. Pokud není dostatek místa lze použít hlubinný vrt až do hloubky 100m, kde se teplota každých 33m hloubky zvýší o 1°C. [3, 4, 5, 6, 11]



Obr. 1.5 Schéma TČ země - voda [3]

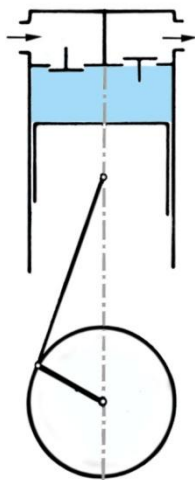
Výhody: Hlubinný vrt prostorově nenáročný, stálá teplota

Nevýhody: Velká potřebná plocha u zemních kolektorů, vysoké náklady

1.1.5. Kompresory pro TČ

1.1.5.1. Pístový kompresor

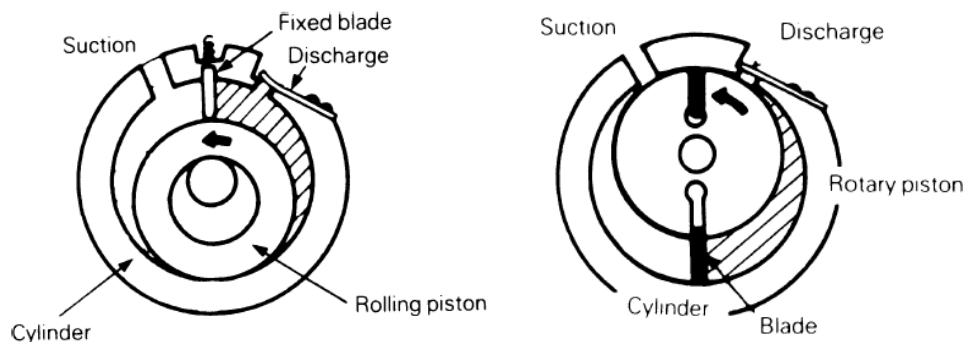
Pístový kompresor pracuje na principu vratného pohybu pístu ve válci jak můžeme vidět na Obr. 1.6. Při pohybu pístu dolů se chladivo nasává ze sacího potrubí a při pohybu nahoru se stlačuje, tím se zvedá jeho tlak a teplota. Stlačené chladivo následně postupuje do kondenzátoru. Pístové kompresory můžeme dále rozdělit na olejové nebo bezolejové. [7]



Obr. 1.6 Princip pístového kompresoru [7]

1.1.5.2. Rotační kompresor

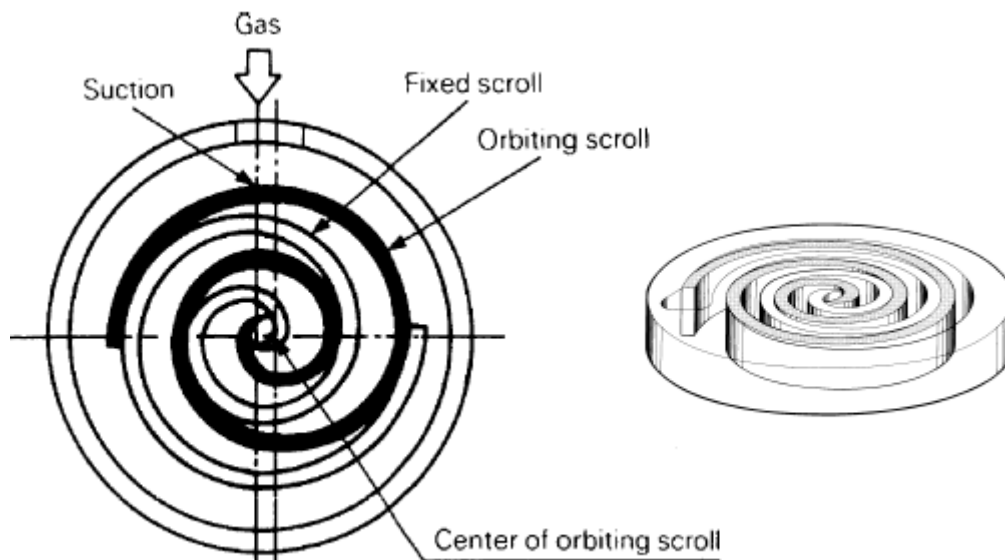
Rotační kompresory jsou dostupné ve dvou variantách. Prvním typem je kompresor s pevnými lopatkami jak můžeme vidět na Obr. 1.7 vlevo. Otáčením pístu se stlačuje chladivo o pevnou lopatku. Dalším typem je kompresor s pohyblivými lopatkami, který je na Obr. 1.7 vpravo. Lopatky se otáčejí společně s pístem a stlačují chladivo. [8]



Obr. 1.7 Rotační kompresor [8]

1.1.5.3. Scroll kompresor

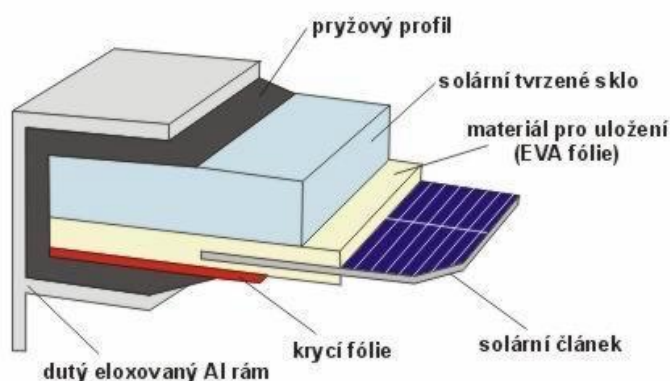
Scroll kompresor (spirálový) se skládá z jedné pohyblivé spirály a z jedné spirály upevněné ke kompresoru jak můžeme vidět na Obr. 1.8. Pohyblivá spirála se pohybuje ve dráze spirály pevné a tím se zvyšuje tlak a teplota chladiva. [8]



Obr. 1.8 Scroll kompresor [8]

1.2. Fotovoltaické systémy

Pracovní napětí jednoho fotovoltaického článku je cca 0,5V, proto se spojují do tzv. fotovoltaických panelů. FV panel se skládá ze solárního článku, který je pokrytý tenkou vrstvou EVA fólie. Shora chrání článek pevné tvrzené sklo a zespodu krycí fólie Teldar. Vše je chráněno pryží a uloženo do hliníkového rámu jak můžeme vidět na Obr. 1.9.



Obr. 1.9 Složení FV panelu [9]

Nejčastěji používané fotovoltaické panely pro fotovoltaické systémy jsou panely monokrystalické, polykrystalické nebo amorfní. Pro dosažení požadovaného napětí nebo proudu se tyto panely dále spojují sériově, paralelně nebo sérioparalelně a pomocí střídače se stejnosměrné napětí vyrobené z panelů převádí na střídavé.

FV systémy můžeme rozdělit na systémy autonomní (off grid), které najdou využití v oblastech bez přístupu elektrické energie. Dále systémy přímo spojené se sítí (on-grid) a systémy hybridní, které se jsou napájené z FV elektrárny nebo akumulátorů a v případě potřeby z distribuční sítě.

1.2.1. Krystalický křemíkový článek

V dnešní době je na trhu převážná většina krystalických křemíkových článků. Tyto články jsou založené na krystalické formě křemíku, využívající P-N přechody. Dokážou absorbovat ultrafialové záření, viditelné spektrum a část infračerveného záření. Rozdělují se na monokrystalické a polykrystalické.

Monokrystalické články jsou vyráběny pomalým vytahováním z roztavené křemíkové hmoty za vysokých teplot. Kulatý ingot se poté nařeže na požadovanou velikost FV článků (obvykle 156x156 mm).

Polykrystalické články jsou vyráběny slisováním menších vykrystalizovaných křemíkových krystalů. Jejich účinnost je mírně nižší než u monokrystalického článku, ovšem výroba je technologicky jednodušší. [12]



Obr. 1.10 Monokrystalický a polykrystalický křemíkový fotovoltaický panel

1.2.2. Amorfnní křemíkový článek

Tenká vrstva amorfnního křemíku se vyrábí metodou PECVD, kde přítomnost plazmy výrazně sníží teplotu umožňující chemické reakce. Při teplotě kolem 250°C se nanese tenká vrstva na substrát (sklo). [10]



Obr. 1.11 Amorfnní krystalický článek - za slunečného počasí a za deště [10]

Výhody: S rostoucí teplotou klesá účinnost pomaleji než u krystalického křemíku

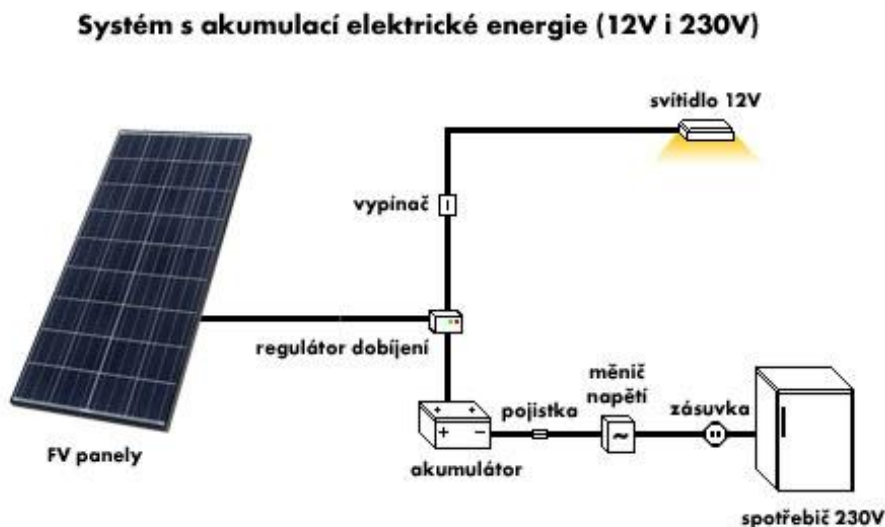
Vhodné pro střechy, které nejsou orientované na jih

Netrpí na přehřívání

Nevýhody: Účinnost je poloviční (cca 7%), pro stejný výkon je potřeba dvojnásobné plochy než u krystalického křemíku

1.2.3. Autonomní FV systémy (off - grid)

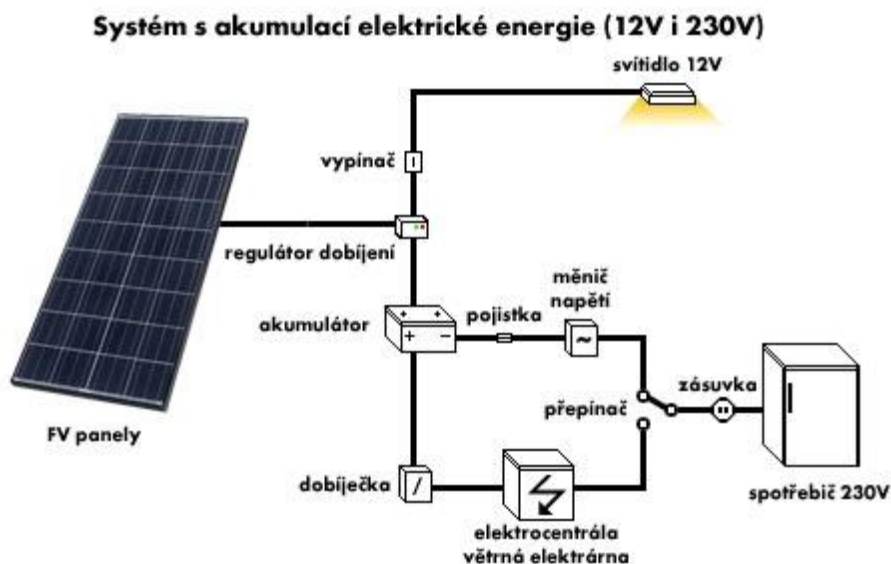
Autonomní FV systém se nejčastěji používá v místech, kde není dostupná elektrická energie z veřejné sítě. Proto mají tyto systémy speciální akumulátorové baterie. Jejich nabíjení a vybíjení je zajištěno regulátorem. Lze k tomuto systému připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí 12V a 24V), popř. běžné síťové spotřebiče (230 V , 50 Hz), které jsou napájené přes střídač. [1, 13]



Obr. 1.12 Autonomní systém [13]

1.2.4. Hybridní systém

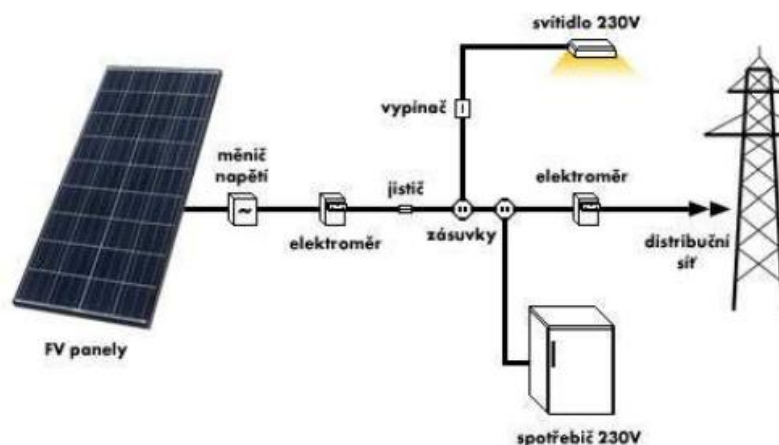
Hybridní systém se používá v místech, kde je nutný celoroční provoz. Tyto systémy je nutné navrhovat na zimní provoz, kdy fotovoltaické panely vyrábí nejméně elektřiny. Pokud není dostatečná energie dodávaná FV panely nebo nasbírávaná energie v baterii, je nutné mít systém připojený k distribuční síti. Lze využít i záložní zdroj, kterým může být např. dieselův generátor nebo větrná elektrárna. [1, 13]



Obr. 1.13 Hybridní systém [13]

1.2.5. Systém přímo spojený se sítí (on - grid)

FV systém přímo spojený se sítí se používá v místech, kde je možné připojení na veřejnou síť. Ke svému chodu nepotřebuje akumulátorovou baterii. V případě dostatečné výroby elektrické energie z FV panelů jsou spotřebiče napájeni z vlastní FV elektrárny a přebytek je dodáván do veřejné sítě. Naopak při malé výrobě je elektrická energie z veřejné sítě odebírána. Tento systém pracuje automaticky a je řízen měničem, který je navržen tak, aby dokázal pracovat v celém rozsahu napětí poskytnutým FV panely. [1, 13]



Obr. 1.14 Systém přímo spojený se sítí [13]

2. Návrh fotovoltaického systému

2.1. Zvolené tepelné čerpadlo

Návrh FV systému jsem zvolil pro objekt vybavený tepelným čerpadlem Silent S150 - DC. Toto tepelné čerpadlo je typu vzduch - voda a je vhodné pro podlahové vytápění, radiátorové vytápění a ohřev TUV.



Obr. 2.1 Tepelné čerpadlo Silent S150 - DC [14]

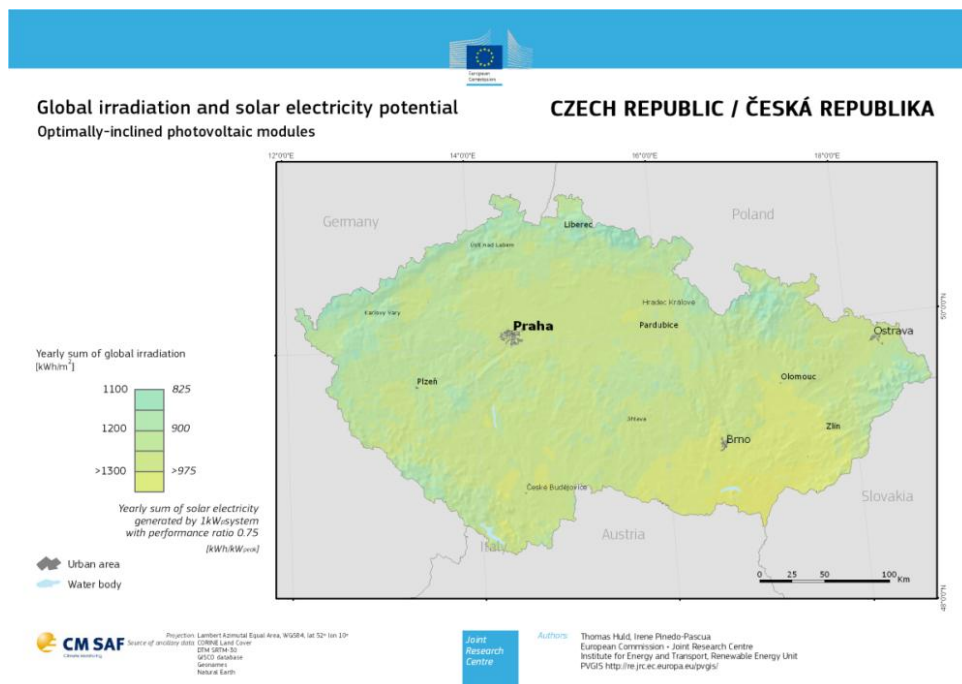
Venkovní jednotka	
Rozměry Š x V x H	930 x 1250 x 310 mm
Topný výkon	14,8 kW
Elektrický příkon	3,6 kW
COP	4,11
Typ kompresoru	Scroll - Sanyo Hitachi
Provozní teplota okolního vzduchu	-20 - +43 °C
Hlučnost	56 dB
Hmotnost	110 kg
Chladivo	R - 410A - 3,4 kg
Napájení	400 V / 50 Hz / 3 Ph

Vnitřní jednotka	
Rozměry Š x V x H	450 x 650 x 255
Výstupní teplota vody pro topení	20 - 60 °C
Výstupní teplota vody pro TUV	20 - 60 °C
Hmotnost	32 kg
Napájení	230 V / 50 Hz / 1 Ph

Tab. 2.1 Technické parametry TČ Silent S150 - DC [14]

2.2. Stanovení velikosti FV systému

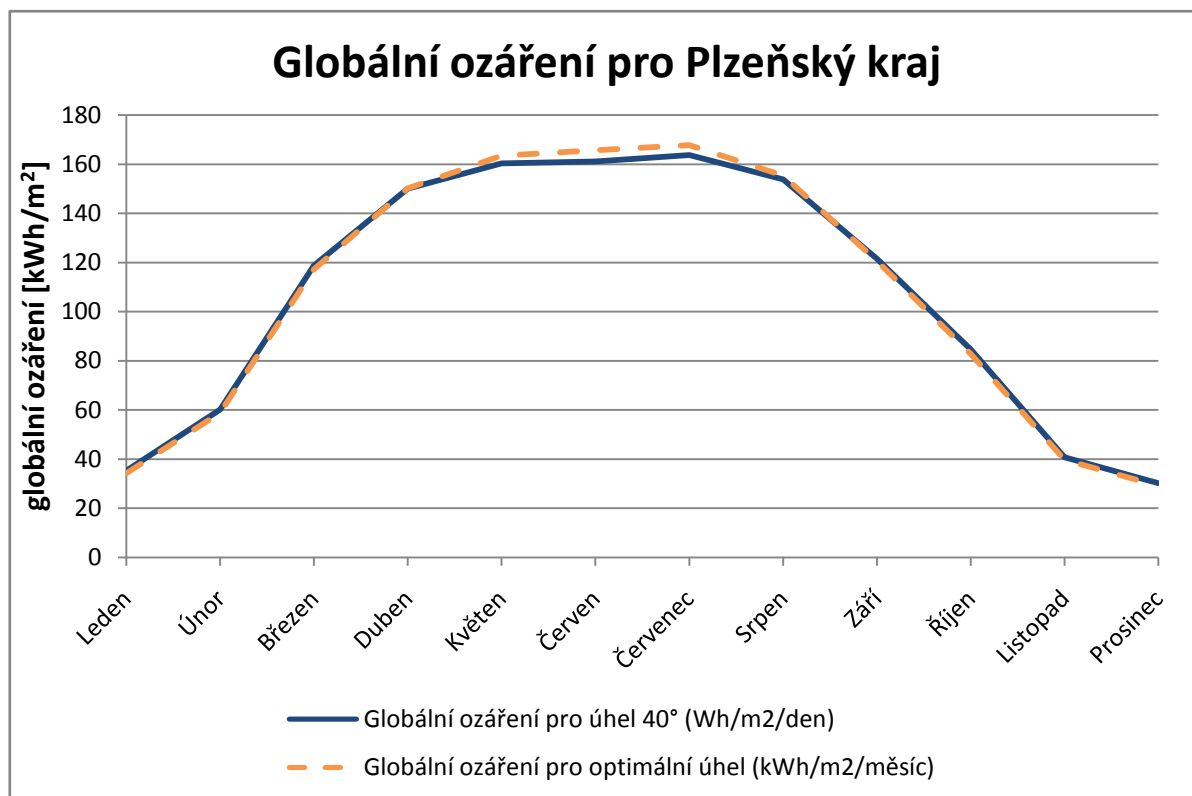
Na obr. 2.2 vidíme roční úhrn globálního záření v ČR. Pro přesnější údaje velikosti dopadajícího globálního záření pro Plzeňský kraj jsem použil kalkulátor na stránkách PVGIS. [15]



Obr. 2.2 Velikost globálního v záření v ČR pro optimální natočení FV panelů [16]

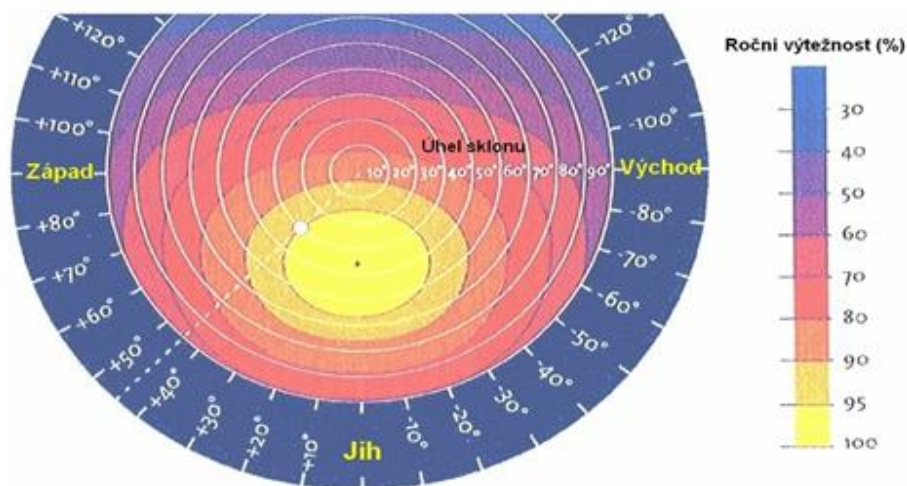
Měsíc	Globální ozáření pro úhel 40° [Wh/m ² /den]	Počet dní v měsíci	Globální ozáření pro úhel 40° [kWh/m ² /měsíc]	Optimální úhel sklonu panelů [°]	Globální ozáření pro optimální úhel [kWh/m ² /měsíc]
Leden	1140	31	35,34	60	34,1
Únor	2150	28	60,2	56	58,8
Březen	3830	31	118,73	47	117,18
Duben	5000	30	150	34	150,06
Květen	5170	31	160,27	20	163,37
Červen	5370	30	161,1	13	165,6
Červenec	5280	31	163,68	17	167,71
Srpen	4960	31	153,76	29	155,31
Září	4050	30	121,5	42	120,6
Říjen	2730	31	84,63	53	82,77
Listopad	1360	30	40,8	59	39,6
Prosinec	975	31	30,225	64	29,078
Celkem			1280,235		1284,178

Tab. 2.2 Globální roční ozáření plochy pod úhlem 40° a pod optimálním úhlem v Plzeňském kraji [15]



Obr. 2.3 Graf globálního ročního ozáření pro Plzeňský kraj [15]

V grafu na Obr. 2.3 vidíme dopad globálního záření v jednotlivých měsících na panely směřovanými na jih pod optimálním úhlem a úhlem 40°. Protože bude tepelné čerpadlo využíváno pro vytápění hlavně v jarních a podzimních měsících, zvolil jsem tento úhel jako průměr optimálních úhlů v těchto měsících, aby byla výroba elektrické energie na jaře a na podzim co největší. Pro přesnější návrh pro daný objekt je potřeba znát sklon střechy a odklon od jihu jak můžeme vidět na Obr. 2.4.



Obr. 2.4 Zisky FVE v závislosti na úhlu sklonu panelu a odchylce od jihu

Dále je potřeba zvolit velikost fotovoltaického systému pro elektrický příkon tepelného čerpadla 3,6 kW, aby mohlo být napájeno v jarních a podzimních měsících z FV elektrárny.

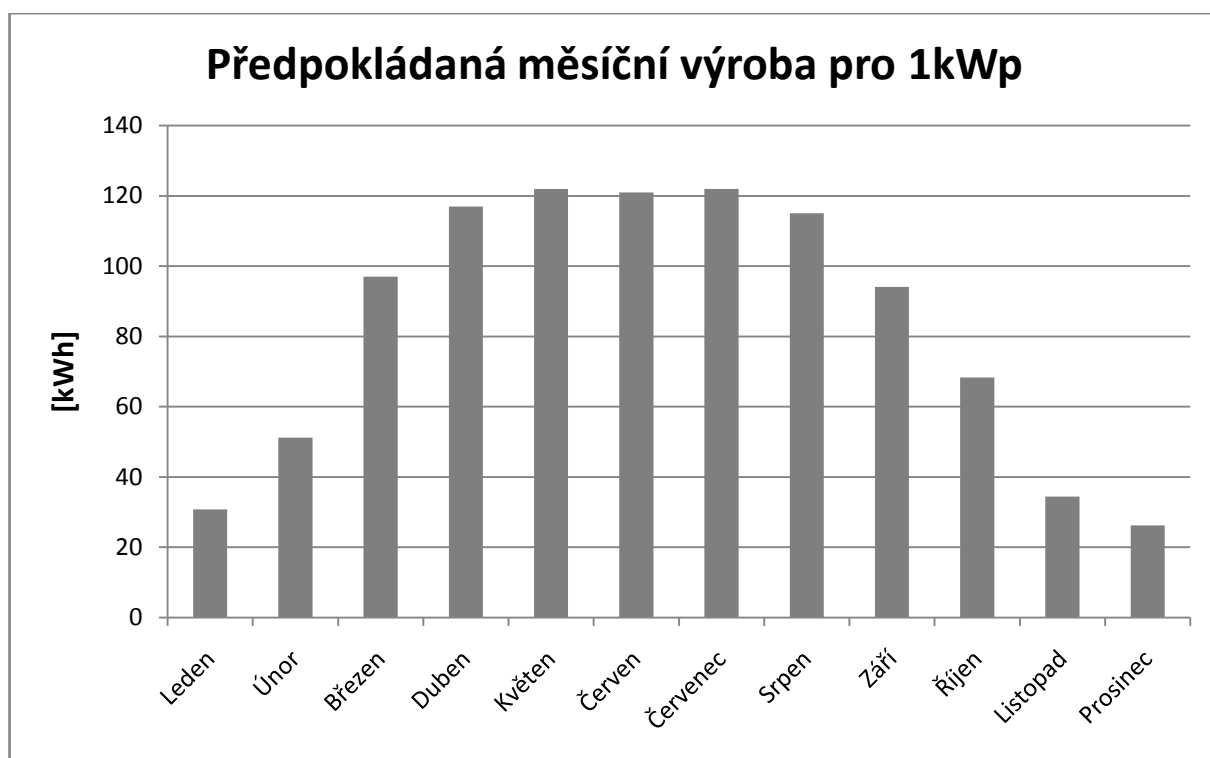
Pro určení předpokládané výroby z kalkulačky na stánkách PVGIS jsem odhadnul jednotlivé ztráty, které vidíme v Tab. 2.3. Účinnosti dnešních měničů se pohybují okolo 97% a proto jsem odhadl ztrátu měniče na 3%. Zbýlý rozdíl jsou ztráty ve vodičích.

Odhadované ztráty v důsledku teploty a nízké intenzity záření	12,2%
Odhadované ztráty v důsledku odrazu paprsků	3%
Ostatní ztráty (měnič, kabely...)	8%
Celkové ztráty FV systému	23,2%

Tab. 2.3 Ztráty FV systému [15]

	Předpokládaná denní výroba 1 kWp [kWh]	Předpokládaná měsíční výroba 1 kWp [kWh]	Průměrný počet hodin slunečního svitu
Leden	0,99	30,8	31
Únor	1,83	51,2	56
Březen	3,13	97	118
Duben	3,89	117	139
Květen	3,93	122	195
Červen	4,3	121	200
Červenec	3,93	122	197
Srpen	3,72	115	202
Září	3,14	94,1	134
Říjen	2,2	68,3	86
Listopad	1,15	34,4	46
Prosinec	0,84	26,2	37

Tab. 2.4 Předpokládaná měsíční a denní výroba pro 1kWp [15]

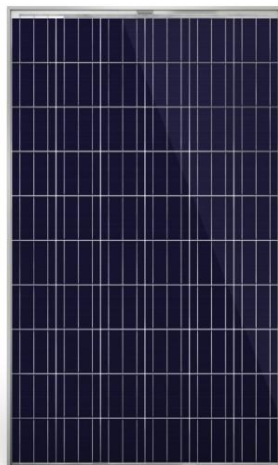


Obr. 2.5 Graf předpokládané měsíční výroby pro instalovaný výkon 1kWp

Na obr. 2.5 znázorňuje graf předpokládanou měsíční výrobu z fotovoltaického systému o instalovaném výkonu 1kWp. V říjnu je výroba z FV elektrárny asi 60% oproti letním měsícům a proto pro chod tepelného čerpadla o maximálním elektrickém příkonu 3,6 kW, zvolím FV systém o instalovaném výkonu 6 kWp, který by měl být schopen napájet TČ od března do října.

2.3. Návrh fotovoltaických panelů

Pro návrh FV elektrárny jsem vybral FV panely z polykrystalického křemíku S18J250 od německé firmy Aleo Solar zobrazené na Obr. 2.6. Kvalita těchto panelů je testována nezávislými institucemi, aby splňovaly požadované normy.



Obr. 2.6 Panel S18J260 od firmy Aleo Solar [17]

Vybraný typ panelu	S18J260
Výkon panelu	250 Wp
Účinnost panelu	15,2 %
Maximální jmenovité napětí panelu	30,3 V
Rozměry panelu	1660 x 900 x 50 mm
Hmotnost panelu	20 kg
Počet panelů	24
Plocha panelů	26,892 m ²
Max. výkon FV elektrárny	6 kWp

Tab. 2.5 Návrh FV panelů a základní parametry [17]

Podle technické dokumentace mají tyto panely hliníkový rám. Přední strana panelů je chráněna TSG tvrzeným sklem a na zadní straně je polymerová fólie. Jejich maximální zatížení je 5400 Pa podle normy IEC/EN 61215.

Propojovací box o velikosti 148 x 123 x 28 mm obsahuje konektory PV-JM601, 3 bypass diody a krytí IP65.

Tyto panely dokážou pracovat v rozpětí teplot -40°C - 80°C a jejich teplotní koeficient pro P_{max} je $-0,43^{\circ}\text{C}$. [17]

2.4. Volba měniče

Pro mnou navrženou FV elektrárnu o maximálním výkonu 6 kW jsem vybral měnič Fronius Symo 6.0-3-M WEB. Tento měnič je třífázový, má výstupní napětí 6 kW a standardní rozhraní pro připojení k internetu přes WLAN nebo ethernet. [18]



Obr. 2.7 Fronius Symo 6.0-3-M WEB [18]

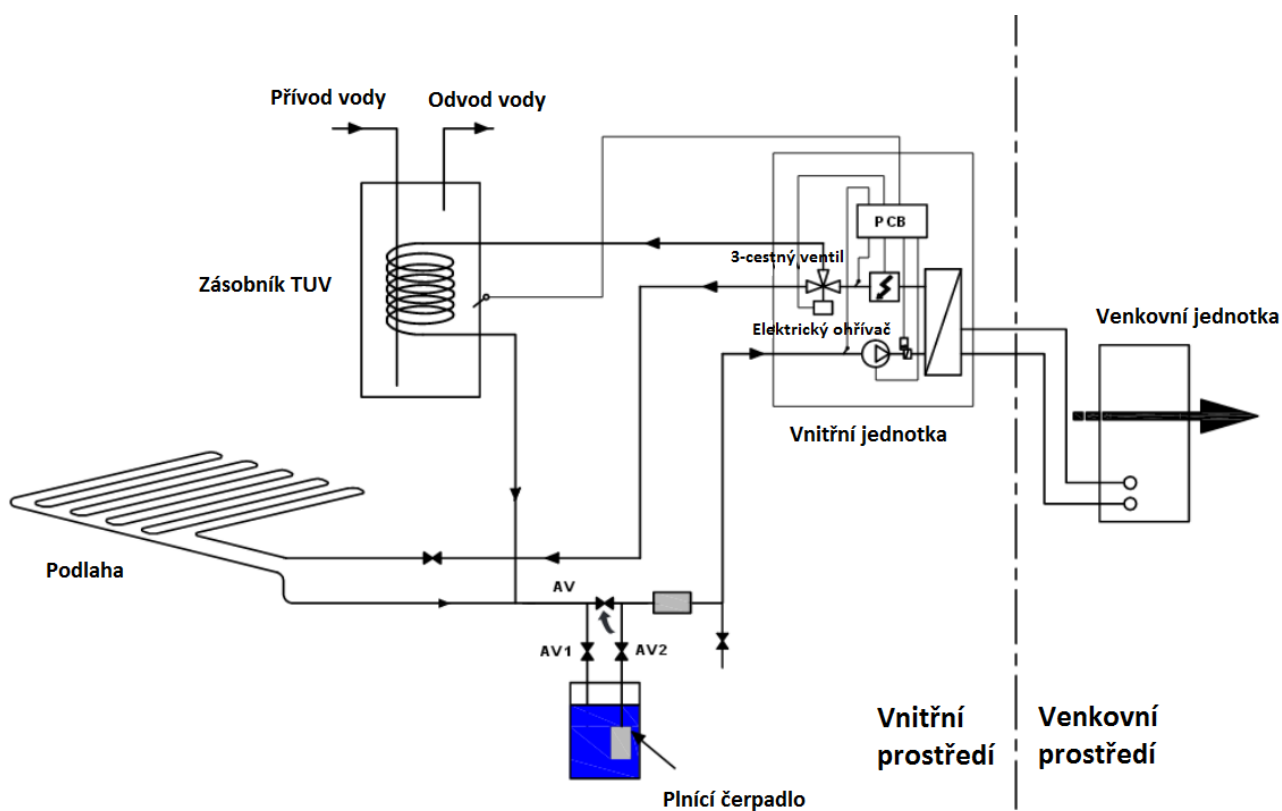
Max. vstupní proud	16 A
Max vstupní napětí	1000 V
Nominální vstupní napětí	1000 V
Jmenovitý výkon AC	6000 W
Max. výstupní proud	13,5 A
Síťové připojení	3 ~ NPE 400V / 230V
Max. účinnost	98%
Třída krytí	IP 55

Tab. 2.6 Technické parametry měniče Fronius Symo 6.0-3-M [18]

3. Technické řešení zapojení tepelného čerpadla

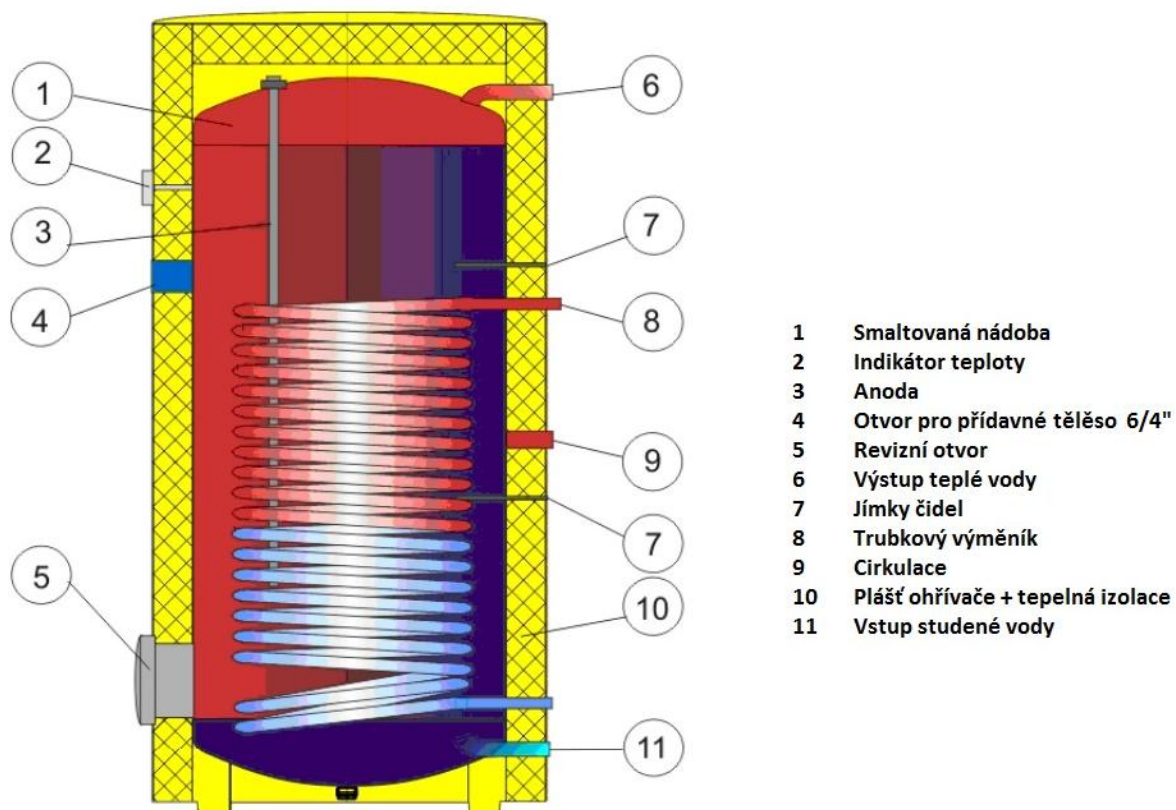
3.1. Zapojení TČ

Mnou vybrané tepelné čerpadlo jsem zvolil pro podlahové vytápění a ohřev TUV v rodinném domě, jak je patrné na Obr. 3.1. Navrhnou dva způsoby, jak nejlépe využít tepelné čerpadlo společně s fotovoltaickým systémem, aby byly ztráty co nejmenší. První ze způsobů je použití GreenBonO regulátoru přebytků z FV elektrárny pro ohřev TUV přes topnou spirálu. Jako druhý způsob je použití napájení topné spirály stejnosměrným proudem z FV systému přes LX-DC Box.



Obr. 3.1 Schéma zapojení TČ pro podlahové vytápění a ohřev TUV [14]

Ke stanovení velikosti akumulčního zásobníku je vhodné zvolit poměr cca alespoň 20 litrů na 1kW tepelného výkonu TČ. Pro první variantu jsem zvolil nepřímotopný stacionární ohřev Dražice OKC 300 NTR/HP, jako zásobník teplé vody, který je kompatibilní s tepelným čerpadlem Silent S150-DC. V horní části je umístěn otvor o velikosti 6/4" , jak vyplývá z Obr. 3.2, který lze použít pro přídavné topné těleso regulované přes GreenBonO regulátor. Ve druhé variantě jsem vybral zásobník TUV Dražice OKC 300 NTR/BP, protože velikost revizního otvoru pro vložení topné jednotky musí mít minimální průměr 210 mm.



3.2 Zásobník TUV Dražice NTR OKC 300/BP [14]

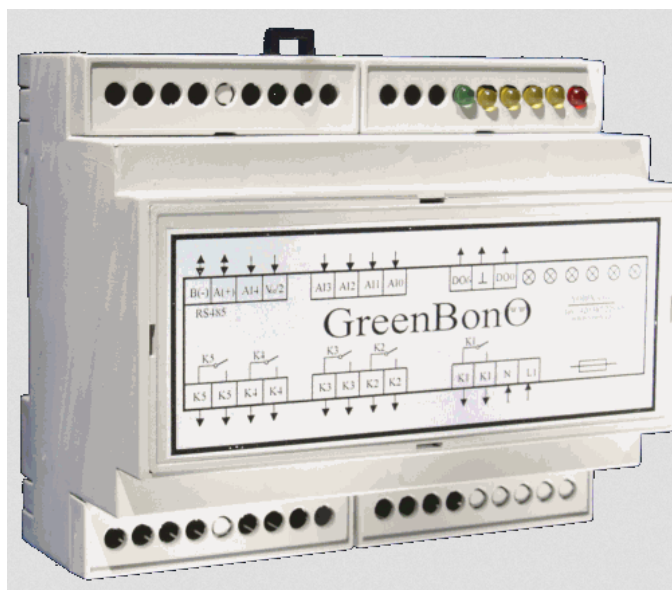
Model	OKC 300 NTR/HP	OKC 300 NTR/BP
Objem	295 l	295 l
Hmotnost	138 kg	127 kg
Výška ohřivače	1581 mm	1597 mm
Průměr ohřivače	670 mm	670 mm
φ revizního otvoru	150 mm	210 mm
Max. provozní tlak	1 MPa	0,6 MPa
Max. teplota topné vody	110 °C	110 °C
Max. teplota TUV	90 °C	80 °C
Plocha výměníku	3,2 m ²	2,5 m ²
Objem výměníku	24 l	24 l
Tepelné ztráty	1,86 kWh/24h	1,86 kWh/24h



Tab. 3.1 Technické parametry Dražice NTR OKC 300/BP [19, 20]

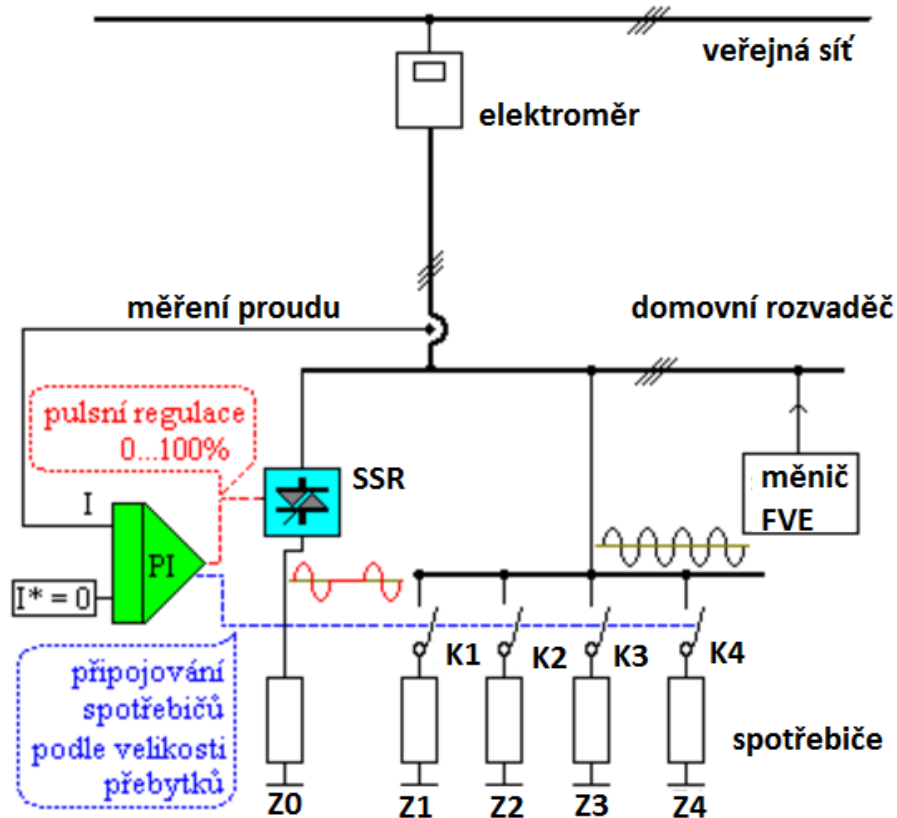
3.2. Zapojení TČ s GreenBonO regulátorem

S rostoucím počtem FV elektráren jsou přetoky elektřiny do sítě čím dál větší, proto je nutnost omezení, aby nedocházelo k nárůstu síťového napětí. K tomu slouží GreenBonO regulátor, který se používá k dosažení maximálního využití vlastní vyrobené elektrické energie z FV systému. Dokáže měřit velikost a směr toku elektřiny a zároveň regulovat příkon elektrické zátěže, tak aby minimalizoval přetok elektřiny do sítě.



Obr. 3.3 GreenBonO regulátor [22]

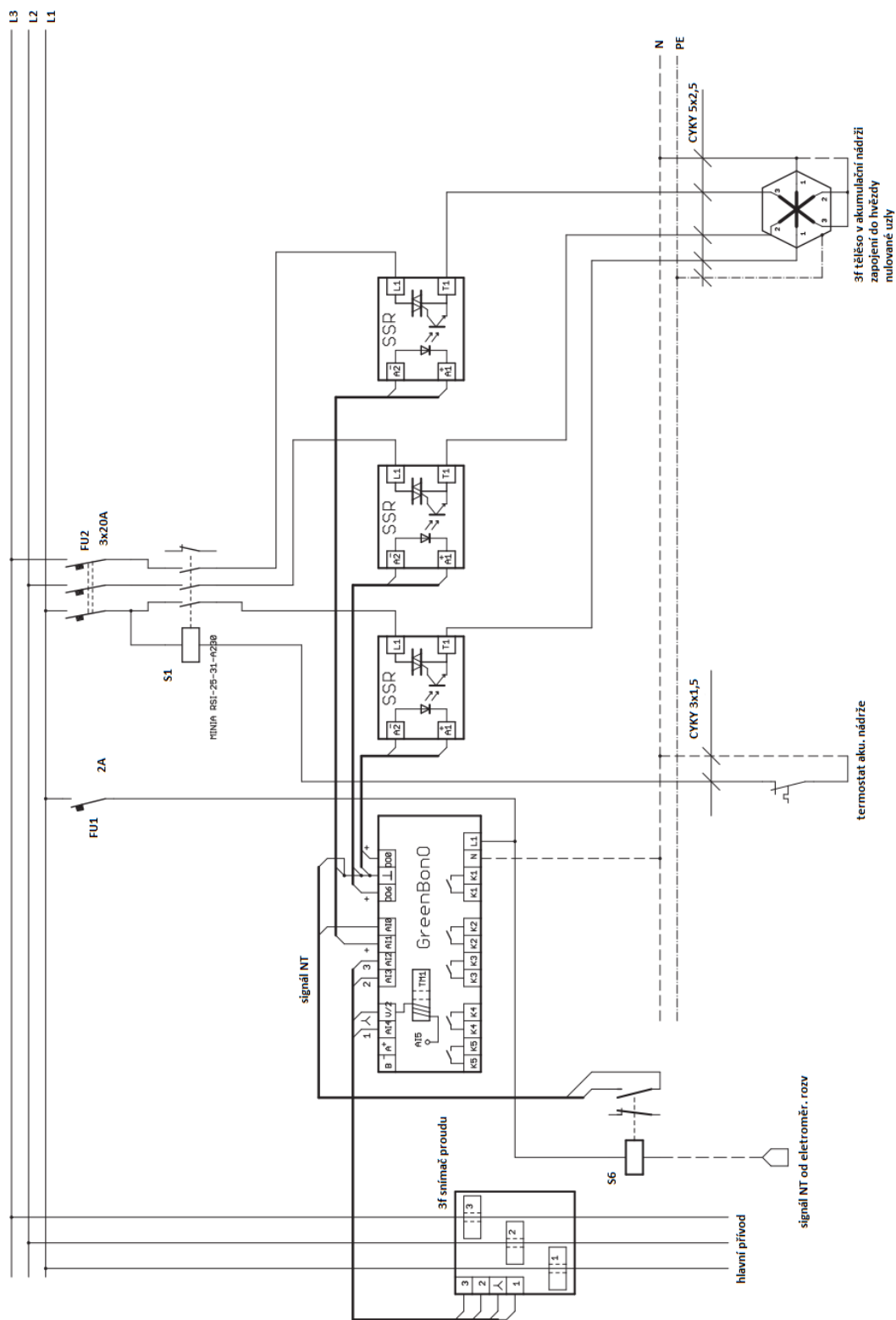
Regulátor je nevhodné použít pro spotřebiče denního proudu, u kterých není přípustné jejich vypnutí při nedostatku vlastní elektrické energie. Patří sem např. lednice, pračka, myčka, televizor. Naopak vhodné spotřebiče pro regulaci přebytků jsou spotřebiče nočního proudu, které mají schopnost akumulovat energii tak, aby byly schopny pokrýt po zbytek dne potřeby domácnosti. Jsou to např. topná tělesa, bojler k ohřevu TUV, akumulční kamna, přímotopy. [22,23]



Obr. 3.4 Princip GreenBonO regulátoru [22]

Na Obr. 3.4 vidíme schéma zapojení GreenBonO regulátoru. Od roku 2015 je povinností mít elektroměr, který měří každou fázi zvlášť, proto i regulace musí pracovat samostatně pro jednotlivé fáze, a proto se musí použít jednofázové spotřebiče nebo 3f spotřebiče zapojené do hvězdy, kde musí být nulován uzel.

K zapojení 3f spotřebiče je tedy nutné použít 3 PI regulátory a 3 SSR (solid state relay). V mém případě tedy topné těleso, představené na Obr. 3.5. Toto zapojení je vhodné pouze pro FV elektrárny do 10 kW, pro větší výkony je nutné použití 3 GreenBonO regulátorů. [22, 23]



Obr. 3.5 Schéma zapojení GreenBonO regulátoru s 3f topným tělesem [23]

Jako 3f topné těleso jsem zvolil Dražice TJ G 6/4" - 3,75kW se zapojením 3 PE-N AC 400V/50Hz a elektrickým krytím IP 45. Termostat uvnitř tělesa umožňuje nastavení teploty od 0°C - 75°C a přibližná doba ohřevu vody z 10 °C na 60°C pro 300l nádobu při maximálním výkonu je 4,6h. [21]



Obr. 3.6 Dražice TJ G 6/4" - 3,75kW [21]

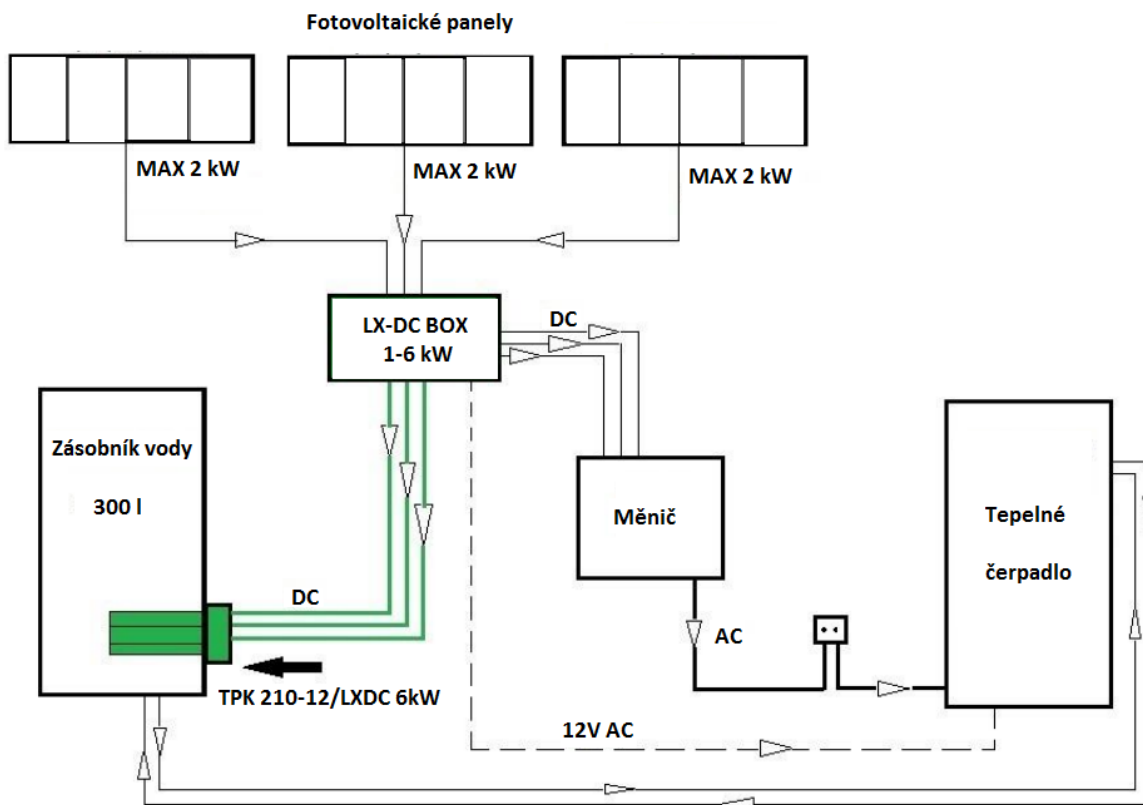
3.3. Zapojení TČ s LX-DC setem

LX-DC set umožňuje napájet topné těleso v akumulární nádrži stejnosměrným napětím přímo z fotovoltaických panelů a zároveň přeměňovat elektřinu do jiných spotřebičů. Pokud se např. zapne tepelné čerpadlo, automaticky přeměruje výrobu elektřiny do měniče, který následně vyrábí elektřinu pro TČ. Po vypnutí tepelného čerpadla, LX-DC box opět přepne výrobu pro ohřev TUV pomocí topné spirály. Tento proces probíhá několikrát za den a prodlužuje se tím i životnost TČ.

LX-DC set se skládá z topného tělesa TPK 210 - 12/LX DC, LX-DC boxu 1-6kW a sady kabelů pro připojení jak vidíme na Obr. 3.7. [24]



3.7 LX-DC set 1-6kW [24]



3.8 Schéma zapojení LX-DC set [24]

Na Obr. 3.8 vidíme schéma zapojení LX-DC setu. TPK 210 - 12/LX DC obsahuje 3 topná tělesa. Každé je možné napájet maximálním výkonem 2 kW. Každé topné těleso lze napájet 4ks, 6ks nebo 8ks FV panelů. Maximální počet panelů pro jeden LX-DC box je tedy 24, což odpovídá 6kW FV elektrárně, kterou jsem navrhnul. Lze použít pouze panely o výkonu 250W.

LX-DC set je napájen z elektrické sítě (230 V), ovšem jeho spotřeba je minimální, pouze 3,9 W. Pro nastavení požadované teploty TUV obsahuje termostat s rozsahem od 5 - 74 °C. Ovšem pro maximální využití energie z FV panelů se doporučuje nastavit max. 70 °C.

Revizní otvor v akumulární nádrži musí mít minimální průměr alespoň 210 mm, proto jsem zvolil ohřívač OKC 300 NTR/BP. Pro ohřívače s větším objemem (750l, 1000l), které mají větší průměr revizního otvoru, lze použít redukci.

Bezpotencionální připojení 12V AC, které je znázorněno přerušovanou čarou, přesměruje v případě potřeby výrobu elektřiny pro napájení TČ. [24]

4. Energetické, ekonomické a ekologické vyhodnocení

4.1. Energetické vyhodnocení

V prvním kroku zhodnotím, kolik vyrobí FV elektrárna elektrické energie. Dále odhadnu spotřebu tepelného čerpadla pro vytápění a ohřev TUV následně TČ s GreenBonO regulátorem a LX-DC setem.

4.1.1. Energetické vyhodnocení FV elektrárny

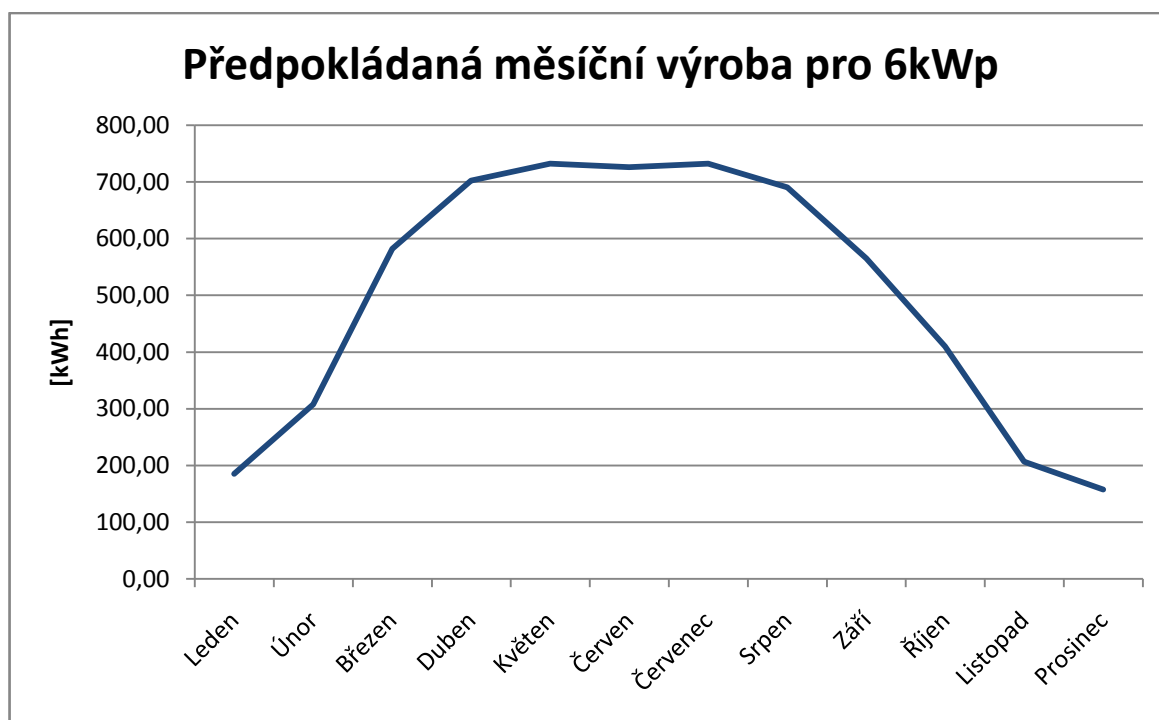
Roční úhrn globálního záření v ČR byl znázorněn na Obr. 2.2 (str. 22). Pro přesnější údaje velikosti dopadajícího globálního záření pro Plzeňský kraj jsem použil již zmiňovaný kalkulátor na stránkách PVGIS. Výsledek pro zvolený úhel natočení panelů 40° byl nastíněn v Tab. 2.2 (str. 23).

Zisky FV elektrárny v závislosti na úhlu sklonu panelů a odchylce od jihu názorně předkládá Obr. 2.4 (str. 24) a ztráty systému jsou zobrazeny v Tab. 2.3 (str. 24).

	Průměrná měsíční výroba elektrické energie [kWh]
Leden	184,80
Únor	307,20
Březen	582,00
Duben	702,00
Květen	732,00
Červen	726,00
Červenec	732,00
Srpen	690,00
Září	564,60
Říjen	409,80
Listopad	206,40
Prosinec	157,20

Tab. 4.1 Předpokládaná měsíční výroba elektrické energie pro FVE o instalovaném výkonu 6 kWp [15]

Na Obr. 4.1 je přehledný graf pro výrobu elektrické energie z navržené FVE. V letním období se pohybuje kolem 730 kWh a v zimním období necelých 200 kWh.



Obr. 4.1 Předpokládaná výroba elektrické energie pro FVE o instalovaném výkonu 6 kWp [15]

4.1.2. Energetické vyhodnocení tepelného čerpadla

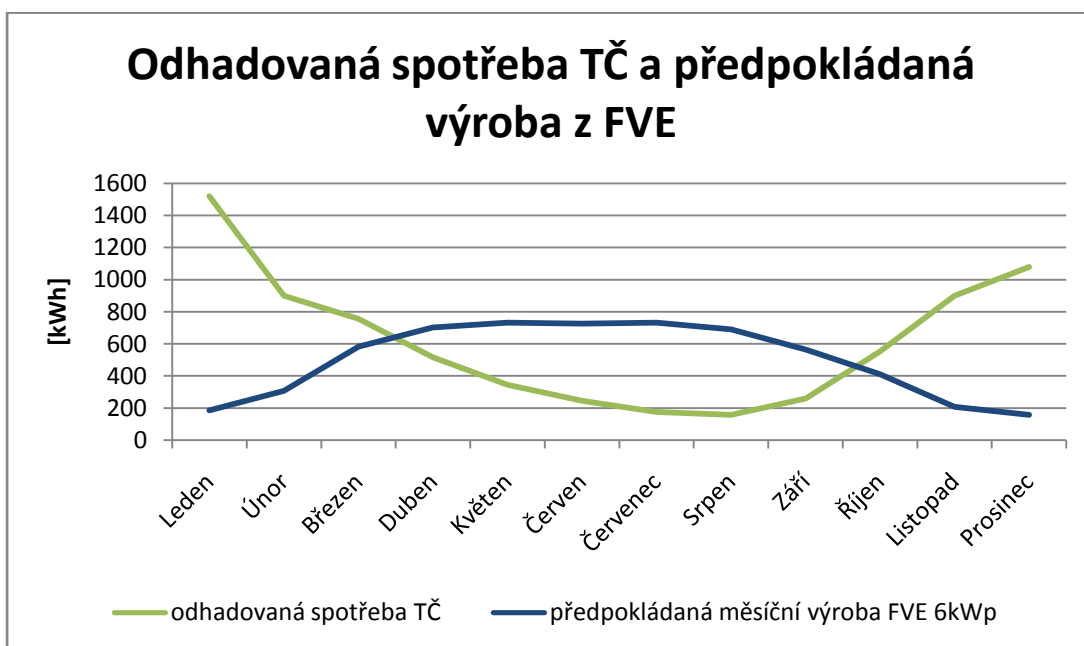
Výkon TČ výrazně klesá s klesající teplotou okolí a tepelné ztráty objektu naopak rostou jak dokládá příloha A. Při určité teplotě dojde ke stavu, kdy se tepelný výkon TČ rovná tepelným ztrátám objektu. Tato teplota se nazývá bivalentní a při teplotě nižší je nutné doplnit tepelnou ztrátu bivalentním zdrojem. Pokud bychom se rozhodli topit pouze TČ, tak při teplotách -15°C bychom museli mít objekt s tepelnými ztrátami nejvýše 7,8kW.

Nejvýhodnější řešení je tepelné čerpadlo navrhnout tak, aby při teplotě topné vody 35°C a teplotě vzduchu 7°C pokrylo 100 - 130% tepelných ztrát objektu. Toto zajistí, že 95% tepelných ztrát pokryje tepelné čerpadlo a zbylých 5% je pokryto bivalentním zdrojem (např. elektrokotel). TČ Silent S150-DC je tedy vhodné pro objekty s tepelnými ztrátami 10 - 13kW. [27]

Celkovou dobu chodu tepelného čerpadla za rok jsem odhadl přibližně na 2100h. V zimních obdobích je počet hodin vyšší v důsledku vytápění objektu a v letních měsících se TČ používá převážně jen pro ohřev TUV.

	počet hodin chodu TČ [h]	průměrná teplota [kWh]	odhadovaná spotřeba TČ [kWh]
Leden	400	-1,4	1520
Únor	250	-0,5	900
Březen	210	3,2	756
Duben	150	8,6	517,5
Květen	100	13,4	345
Červen	70	16,7	245
Červenec	50	18,4	175
Srpen	45	17,9	157,5
Září	75	13,3	258,75
Říjen	160	8,5	552
Listopad	250	3,5	900
Prosinec	300	-0,4	1080
Celkem	2060		7406,75

Tab. 4.2 Odhad počtu hodin chodu TČ, průměrná měsíční teplota, odhadovaná spotřeba



Obr. 4.2 Odhadovaná spotřeba TČ v porovnání s výrobou FVE

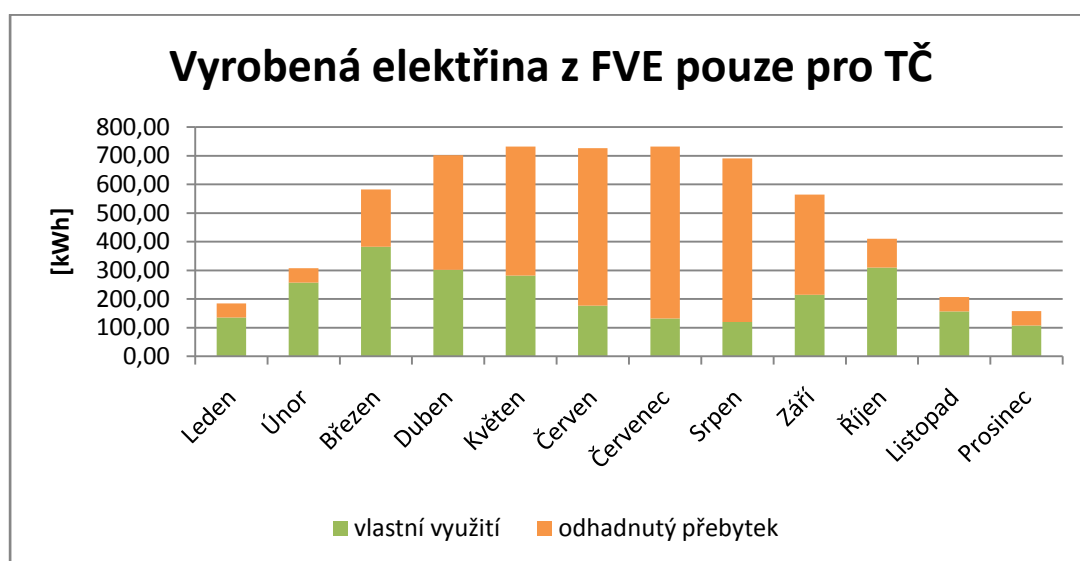
Na Obr. 4.2 vidíme přibližnou spotřebu TČ a předpokládanou výrobu z FVE o instalovaném výkonu 6 kWp. Je patrné, že výroba FVE pokryje spotřebu TČ v určitých měsících, a to od března do října. Ve zbylých měsících je nutné napájet TČ ze sítě. V letních měsících je naopak vyrobené energie přebytek a je výhodné ji co nejvíce spotřebovat, protože výkupní ceny elektřiny pro rok 2016 jsou nulové.

4.1.2.1. Energetické vyhodnocení tepelného čerpadla s GreenBonO regulátorem

Na Obr. 4.3 vidíme přibližné vlastní využití elektrické energie vyrobené z FVE, které jsem odhadl podle spotřeby TČ v jednotlivých měsících. Např. v lednu jsem odhadl vlastní spotřebu na 135 kWh a přebytek 50 kWh. V letních měsících jak již bylo zmíněno je vyrobené elektrické energie přebytek a proto jsem použil GreenBonO regulátor přebytků pro ohřev TUV pomocí topného tělesa, čímž se zároveň sníží provozní doba chodu TČ v letních měsících cca o 100h.

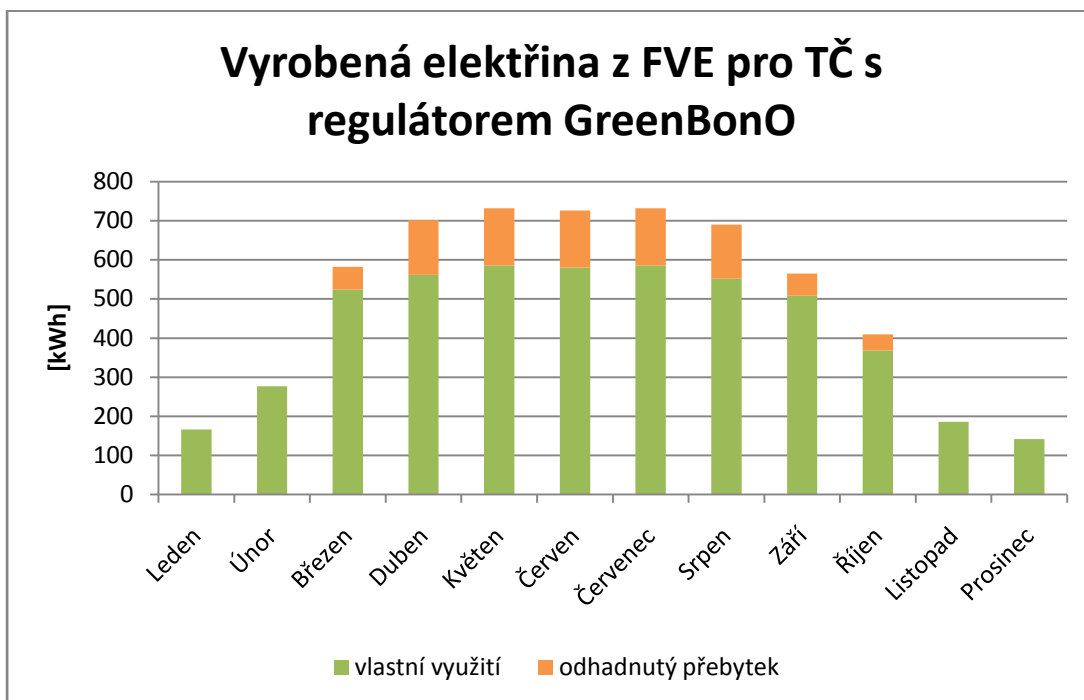
[kWh]	předpokládaná měsíční výroba FVE 6kWp	vlastní využití pouze s TČ	odhadnutý přebytek pouze s TČ	vlastní využití s GreenBonO regulátorem	odhadnutý přebytek s GreenBonO regulátorem
Leden	184,8	134,8	50	184,8	0
Únor	307,2	257,2	50	307,2	0
Březen	582	382	200	523,8	58,2
Duben	702	302	400	561,6	140,4
Květen	732	282	450	585,6	146,4
Červen	726	176	550	580,8	145,2
Červenec	732	132	600	585,6	146,4
Srpen	690	120	570	552	138
Září	564,6	214,6	350	508,14	56,46
Říjen	409,8	309,8	100	368,82	40,98
Listopad	206,4	156,4	50	206,4	0
Prosinec	157,2	107,2	50	157,2	0
Celkem	5994	2574	3420	5121,96	872,04

Tab. 4.3 Odhad vlastní spotřeby a přebytku elektřiny z FVE pro samotné TČ a TČ s GreenBonO regulátorem



Obr. 4.3 Odhadnutý přebytek a vlastní spotřeba elektřiny vyrobené z FVE pro TČ

Na Obr. 4.4 je znázorněný odhad vlastního využití elektrické energie a přebytků s použitím GreenBonO regulátoru. Využití vlastní vyrobené elektrické energie jsem odhadl kolem 80 - 90% a přebytek energie pouze kolem 10 - 20%, který v letních měsících činí cca. 70 kWh. Při porovnání obou grafů je patrné, že výrazně poklesne množství elektřiny dodávané do sítě a zároveň klesne spotřeba nakupované elektřiny o stejnou hodnotu.



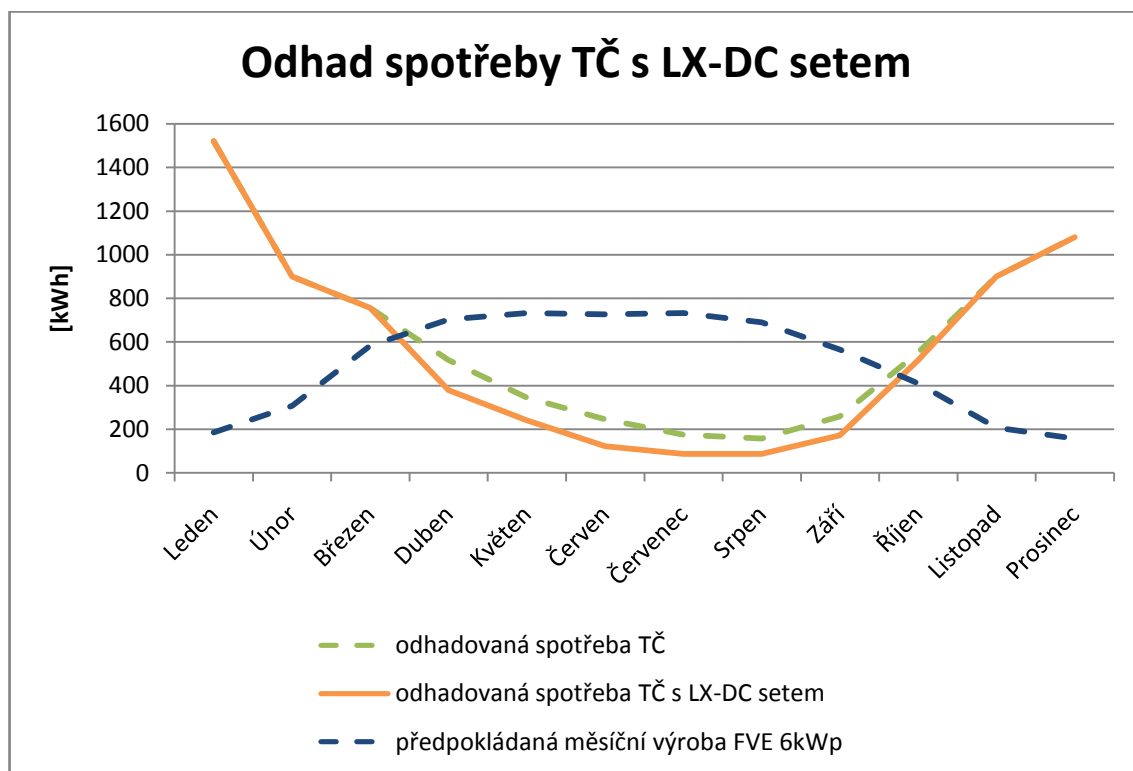
Obr. 4.4 Odhadnutý přebytek a vlastní spotřeba vyrobené elektřiny z FVE pro TČ s GreenBonO regulátorem

4.1.2.2. Energetické vyhodnocení tepelného čerpadla s LX-DC setem

Na Obr. 4.5 vidíme odhad spotřeby TČ v zapojení s LX-DC setem. Díky přeměrování vyrobené elektřiny z FV panelů se od března do října snížila provozní doba tepelného čerpadla z 2060 h na 1875 h a tím se snížila i jeho spotřeba. Z technické dokumentace vybraného TPK 210 - 12/LX DC (6kW) víme, že doba ohřevu vody na maximální výkon z 10°C na 60°C ve 300l nádrži trvá přibližně 3h. Proto maximální spotřeba elektrické energie vyrobené ve FVE pro topné těleso během jednoho dne bude cca. 18kWh.

	předpokládaná měsíční výroba FVE 6kWp [kWh]	počet hodin chodu samotného TČ [h]	počet hodin chodu TČ s LX-DC setem [h]	odhadnutý přebytek [kWh]	vlastní spotřeba [kWh]
Leden	184,8	400	400	0	184,8
Únor	307,2	250	250	0	307,2
Březen	582	210	210	10	572
Duben	702	150	110	50	652
Květen	732	100	70	60	672
Červen	726	70	35	65	661
Červenec	732	50	25	90	642
Srpen	690	45	25	60	630
Září	564,6	75	50	20	544,6
Říjen	409,8	160	150	10	399,8
Listopad	206,4	250	250	0	206,4
Prosinec	157,2	300	300	0	157,2
Celkem	5994	2060	1875	365	5629

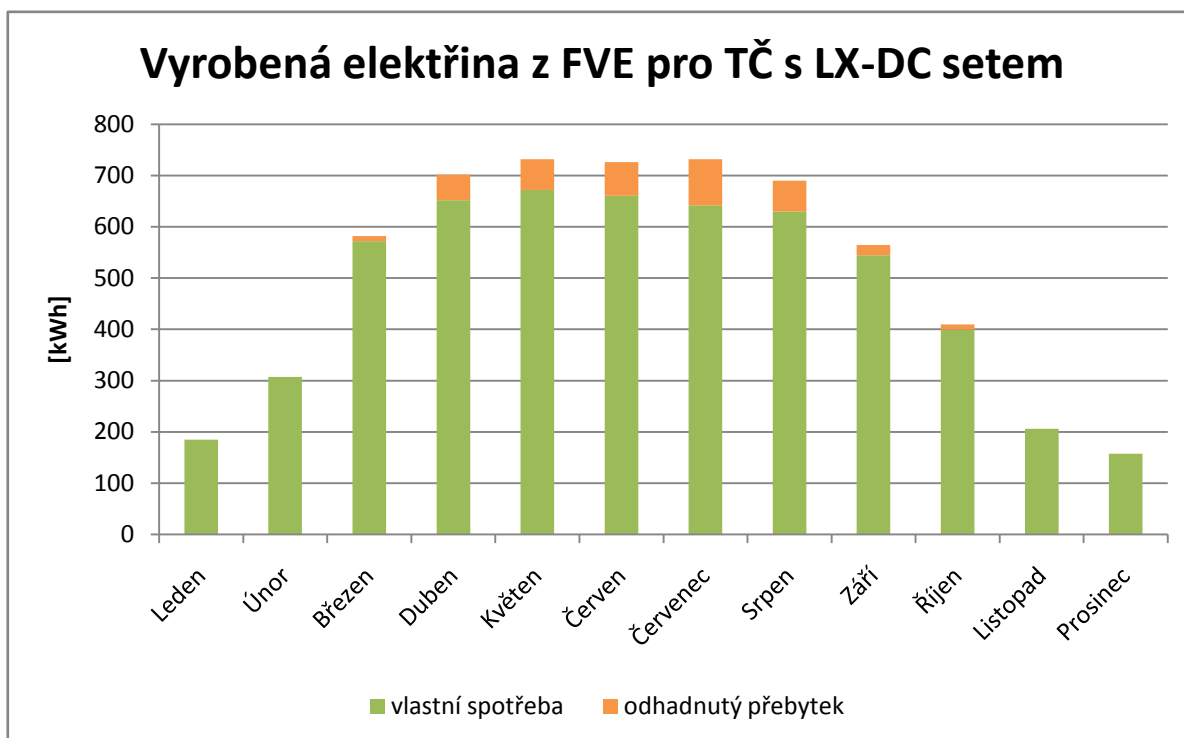
Tab. 4.4 Odhad vlastní spotřeby a přebytků pro TČ s LX-DC setem



Obr. 4.5 Odhadovaná spotřeba TČ s LX-DC setem

Jak vidíme na Obr. 4.6, tak se v zimních měsících téměř veškerá vyrobená elektrická energie z FVE spotřebuje pro ohřev TUV a tepelné čerpadlo. Přebytek elektrické energie bude v letních měsících podobný jako v zapojení TČ s GreenBonO

regulátorem tudíž kolem 70 kWh. Ovšem spotřeba samotného zařízení LX-DC box při stálém chodu, které je připojené do sítě 230V, je přibližně 34 kWh za rok.



Obr. 4.6 Odhadnutý přebytek a vlastní spotřeba vyrobené elektřiny z FVE pro TČ s LX-DC setem

4.2. Ekonomické vyhodnocení

K ekonomickému vyhodnocení jsem použil aktuální ceník předkládaný ČEZ, který vidíme v příloze C. V ceně je zahrnuto DPH. Jako předpoklad zvolím, že zařízení pro vytápění a ohřev TUV budou užívána pouze v době nízkého tarifu.

Měsíční plat za rezervovaný příkon jističe 3x50 A	762,30,- Kč
Cena za 1 MWh nízkého tarifu D25d	1311,60,- Kč
Cena za 1 MWh nízkého tarifu D45d	1754,46,- Kč
Cena za 1 MWh nízkého tarifu D55d	1756,88,- Kč

Tab. 4.5 Ceny elektřiny dodávané od ČEZ

Abychom mohli určit návratnost TČ, je nejprve důležité určit celkové roční náklady za zařízení, které bude nahrazeno TČ. Jako původní zařízení zvolím elektrokotel s účinností 99%, jedná se tedy o stejný tepelný výkon jako TČ,

cca 26MWh/rok. COP TČ odhadnu přibližně na 3,5, jelikož bude nejvíce používáno v teplotách od 0°C do 7°C. [26]

Elektrický příkon elektrokotle	26,183 MWh
Cena za 1MWh nízkého tarifu D45d	1 754,46,- Kč
Roční rezervovaný příkon	9 147,60,- Kč
Celkové roční náklady	55 085,- Kč

Tab. 4.6 Roční náklady za elektrokotel

4.2.1. Návratnost FV systému a TČ

V Tab. 4.7 a 4.8 vidíme celkovou cenu za pořízení FV systému a TČ.

Zařízení	Cena (Kč)
FV panely Aleo Solar 24 ks	122 400,-
Měnič Fronius Symo 6.0-3-M WEB	45 000,-
AI konstrukce	30 000,-
Kabely a konektory	6 000,-
Drobný instalační materiál	6 000,-
Montáž a zprovoznění FVE	20 900,-
Celkem	230 300,-

Tab. 4.7 Cena za FV systém včetně instalace

Zařízení	Cena (Kč)
TČ Silent S150-DC	159 720,-
Zásobník TUV Dražice OKC 300 NTR/HP	14 100,-
Instalační materiál	10 000,-
Montáž a zprovoznění TČ	18 400,-
Celkem	202 220,-

Tab. 4.8 Cena za TČ včetně instalace

V Tab. 4.9 vidíme celkové náklady za provoz TČ napájeného z FV systému porovnané s náklady pro vytápění stejného objektu elektrokotlem. Pokud zvolíme výměnu elektrokotle tepelným čerpadlem, návratnost investic vychází přibližně 11,5 let.

Pořizovací cena TČ a FV systému	432 520,00,- Kč
Roční náklady za TČ napájené ze sítě	17 638,16,- Kč
Ušetřené náklady za rok	37 446,22,- Kč
Návratnost	11,55 let

Tab. 4.9 Výpočet návratnosti investic

4.2.2. Návratnost FV systému a TČ s GreenBonO regulátorem

V Tab. 4.10 je cena GreenBonO regulátoru přebytků, o kterou se navýší pořizovací náklady, včetně topného tělesa a instalace.

Zařízení	Cena (Kč)
GreenbonO	3 878,-
3f snímač	974,-
Karta času	210,-
3x SSR	4 175,-
USB/RS232	302,-
Rozvaděč	1 404,-
Stykač	1 670,-
Kabely	2 000,-
Topné těleso Dražice TJ G 6/4" - 3,75 kW	2 891,-
Práce	1 700,-
Celkem	19 204,-

Tab. 4.10 Cena GreenBonO regulátoru včetně topného tělesa a instalace

S použitím GreenBonO regulátoru přebytků se sníží roční náklady o 3955,- Kč, čímž klesne návratnost na 10,9 let, jak můžeme vidět v Tab. 4.11

Pořizovací cena	451 724,00,- Kč
Roční náklady za TČ napájené ze sítě	17 638,16,- Kč
Využití přebytků z FV pro ohřev TUV	3 955,00,- Kč
Ušetřené náklady za rok	41 401,- Kč
Návratnost	10,9 let

Tab. 4.11 Výpočet návratnosti investic s GreenBonO

4.2.3. Návratnost FV systému a TČ s LX-DC setem

Pro použití tohoto systému je nutné zaměnit ohříváč OKC 300 NTR/HP za OKC 300 NTR/BP, čímž vzrostou pořizovací náklady o 2968 Kč. Dále je nutné započítat náklady za LX-DC set, které jsou 22 226,- Kč viz Tab. 4.12.

Zařízení	Cena (Kč)
LX - DC set	20 726,-
Práce	1 500,-
Celkem	22 226,-

Tab. 4.12 Cena LX-DC setu

S použitím LX-DC setu využijeme více přebytků z FV systému než v předchozím případě použití, a proto ještě klesne návratnost investic tohoto systému na 10,8 let.

Pořizovací cena	457 714,00,- Kč
Roční náklady za TČ napájené ze sítě	4 832,75,- Kč
Roční náklady za napájení LX-DC setu	143,00,- Kč
Využití přebytků FV systému pro ohřev TUV	5 136,27,- Kč
Ušetřené náklady za rok	42 439,48,- Kč
Návratnost	10,8 let

Tab. 4.13 Výpočet návratnosti investic

4.2.4. Návratnost samotného TČ napájeného ze sítě

Jako příklad uvedu ještě výpočet návratnosti samotného TČ, které by mělo nahradit elektrokotel, napájeného pouze ze sítě.

Pořizovací cena TČ	202 220,00,- Kč
Roční náklady za TČ napájené ze sítě	22 160,37,- Kč
Ušetřené náklady za rok	32 924,01,- Kč
Návratnost	6,14 let

Tab. 4.14 Návratnost samotného TČ

Jak můžeme vidět v Tab. 4.14, návratnost samotného TČ se pohybuje kolem šesti let.

4.3. Ekologické vyhodnocení

4.3.1. Životnost a rizika tepelných čerpadel

Hlavním prvkem tepelného čerpadla je kompresor. Jeho životnost závisí na počtu startů kompresoru. Proto je nutné dimenzovat TČ pro určený objekt tak, aby kompresor spínal co nejméně. Důležitá je také regulace, která zabraňuje chodu TČ v nepříznivých podmínkách a nastavuje jeho optimální výkon. Životnost TČ vzduch - voda se odhaduje přibližně na 20 let.

Rizika u tepelných čerpadel spočívají v úniku chladicí kapaliny. Dříve se používali chladiva na bázi freonů (R11, R12, R22), které poškozovali ozónovou vrstvu. V dnešní době se nejčastěji používají chladiva typu R407a R410a, která nejsou ekologicky tolik závadná, ovšem stále je potřeba chladivo před manipulací odsávat, aby nedocházelo k úniku do atmosféry. [28, 29]

4.3.2. Životnost a recyklace FV panelů

Životnost fotovoltaických panelů se definuje jako pokles výkonu o 20%. Většina výrobců deklaruje životnost panelů kolem 20 let. V praxi ovšem poklesne výkon za 25 let obvykle o 6 až 8%, skutečná životnost proto může být mnohem delší (30 - 40 let). Po skončení této doby mohou být panely stále funkční, pouze s nižší účinností. Proto je na zákazníkovi zda si ponechá panely s nižší účinností nebo si pořídí nové. Fotovoltaické panely obsahují z 60-70% sklo a z 20% hliník. Oba materiály jsou běžně recyklovatelné. Ostatní materiály je vhodné recyklovat pro jejich vysokou cenu. Pro recyklaci byl vytvořen systém PV Cycle.

K recyklaci se používá buď termická nebo mechanicko-chemická metoda. U termické metody se celé panely zavezou do pece, kde se zahřejí nad 500°C. Plastové materiály se odpaří a zbylé materiály se separují. U mechanicko-chemické metody, která je vhodná pro tenkovrstvé panely, se nejprve demontuje hliníkový rám a poté se panel nadrtí a roztřídí se jednotlivé materiály pomocí separačních metod. Získané kovy mohou být dále použity v metalurgickém průmyslu. [30]

5. Závěr

V první části mé diplomové práce jsem se zabýval popisem jednotlivých typů tepelných čerpadel a FV systémů. TČ díky své vysoké účinnosti snižuje spotřebu elektrické energie produkovanou hlavně v tepelných elektrárnách. Tu lze ještě více omezit, při napájení TČ z FV elektrárny. Důležité je ovšem navrhnout tepelné čerpadlo pro daný objekt tak, aby nebylo zbytečně předimenzované.

V další části jsem navrhnul fotovoltaický systém pro zvolené TČ vzduch - voda Silent S150-DC s elektrickým příkonem 3,6 kW, vhodné pro objekty s tepelnými ztrátami kolem 12kW. Jako lokalitu pro výstavbu FV systému jsem vybral Plzeňský kraj. Samotná FV elektrárna se skládá z 24 panelů od firmy Aleo Solar, natočenými pod úhlem 40° na jih, o celkovém výkonu 6 kWp. Jako řídicí jednotku pro spuštění TČ ze sítě nebo FV systému jsem zvolil třífázový měnič Fronis Symo 6.0-3-M WEB s výstupním napětím 6 kW.

Ve třetí části jsem zpracoval dvě varianty vhodné pro napájení TČ z FV elektrárny. U obou variant je TČ napájené přes měnič střídavým napětím. Výhoda těchto řešení je v tom, že převážná většina tepelných čerpadel na trhu má kompresory právě na střídavý proud a jejich tepelný výkon může dosahovat i 20 kW.

Na druhou stranu rotační kompresory BLDC na stejnosměrné napětí (46 - 58 V) používané hlavně v novodobých klimatizacích mohou být napájeny přímo z FV panelů nebo přes AC/DC invertor přímo ze sítě. Ovšem mají tu nevýhodu, že jejich tepelný výkon dosahuje maximálně kolem 4 kW, tudíž jsou vhodné pro vytápění nebo chlazení pouze malých prostor (např. kanceláří). Naopak výhodou je jejich nižší spotřeba elektrické energie a nízká hlučnost.

V poslední části mé práce jsem zpracoval vyhodnocení, které nám předkládá spotřebu TČ, využití FV systému a návratnosti investic jednotlivých variant. Jako nejlepší se jeví TČ zapojené s LX-DC setem, kdy stejnosměrné napětí z FV panelů ohřívá přímo topné těleso v akumulární nádrži. V porovnání s elektrokotlem vychází roční úspora cca. 42000,- Kč (Tab. 4.13), následně vyplývá, že při pořizovací ceně tohoto systému 457714,- Kč bude návratnost vložených investic kolem 11 let.

Pokud vezmeme pohled z ekologického hlediska, návrh realizace v diplomové práci neohrožuje a nebude mít negativní vliv na životní prostředí, naopak se díky tepelným čerpadlům snižuje spotřeba elektrické energie a tím se zároveň snižuje produkce skleníkových plynů v tepelných elektrárnách. Dále se již dnes u TČ používají ekologicky nezávadná chladiva jako např. R410 nebo nové chladivo R32 se kterým lze dosáhnout ještě vyšší účinnosti. Z materiálového hlediska se TČ v FV panely skládají z běžných materiálů. Použité materiály jsou recyklovatelné.

Konvenční zdroje energie jsou omezené a následné odpadní produkty jsou vážným ekologickým problémem. V budoucnu by se měla výroba energie pomalu přeměňovat na alternativní a obnovitelné zdroje, ve kterých solární energie hraje důležitou roli.

6. Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Doc. Ing. Karel Brož, CSc., Ing. Bořivoj Šourek, *Alternativní zdroje energie* - Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze. Červenec 2003
- [2] Katedra technických zařízení budov [online]. *Princip tepelného čerpadla*. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/podklady/vyt/tepcerp/>
- [3] Intersekce [online]. *Tepelná čerpadla*. Dostupné z: <http://www.intersekce.cz/tepelna-cerpadla>
- [4] Stiebel Eltron [online]. *Technické informace, Tepelná čerpadla*. Únor 2009. Dostupné z: http://intersekce.cz/images/download/tepelna_cerpadla_2009.pdf
- [5] MVB Opava CZ s.r.o. [online]. *Tepelná čerpadla*. Dostupné z: <http://www.mvb.cz/domacnosti/tepelna-cerpadla/>
- [6] Mkilma s.r.o. [online]. *Tepelná čerpadla*. Dostupné z: <http://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/>
- [7] O kompresorech [online]. *Pístový kompresor*. Dostupné z: <http://www.okompresorech.cz/pistovy-olejovy-bezolejovy-vzduchovy-kompresor/>
- [8] Daikin industries, LTD, *Service manual. Air conditioning and refrigeration equipment*. Červenec 2003.
- [9] Sunny power [online]. *Solární panely*. Dostupné z: <http://www.sunnypower.cz/cs/fotovoltaika/zakladni-komponenty>
- [10] Solareni [online]. *Amorfní krystalický křemík*. Dostupné z: <http://www.solareni.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/alternativni-technologie-amorfni-kremik/>
- [11] Silent [online] *Uživatelský manuál Silent*. Dostupný z: http://www.tcsilent.cz/data/uploads/Manual_Silent.pdf
- [12] Joyce [online]. *Rozdíl monokrystalického a polykrystalického článku*. Dostupné z: http://www.joyce-energie.cz/files/joyce-energie.cz/files/Mono_poly_rozdl.pdf

- [13] Elg - electric [online]. *Fotovoltaické systémy*. Dostupné z: <http://www.elgelectric.com/oblast-cinnosti/slaboproute-technologie/fotovoltaicke-systemy>
- [14] Silent [online] *Silent - požadavky na stavební připravenost*. Dostupný z: http://tcsilent.cz/data/uploads/silent-ks120-ks150_pripavenost.pdf
- [15] JRC European commision [online]. *Photovoltaic geographical information system - interactive maps*. Dostupné z: <http://re.irc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [16] Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua, European commission - Joint research centre [online]. *Global irradiation and solar electricity potencial*. Dostupné z: http://re.irc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png
- [17] ENF Solar [online]. *Solar module Aleo S18*. Dostupné z: <http://www.ensolar.com/ApolloF/solar/Product/pdf/Crystalline/54c1bc13efb81.pdf>
- [18] Solartec [online]. *Měnič síťový Fronius SYMO 6.0-3-M WEB*. Dostupný z: <http://eshop.solartec.cz/si/sta-a-daa-e-fronius-symo-m/menic-sitovy-fronius-symo-6-0-3-m-web-2-x-mppt.html>
- [19] OK-shop [online]. *Ohřívač stacionární nepřímotopný OKC 300 NTR/HP*. Dostupný z: <http://www.ok-shop.cz/drazice-okc-300-ntr-hp-ohrivac-stacionarni-neprimotopny-121091401-13743>
- [20] OK-shop [online]. *Ohřívač stacionární nepřímotopný OKC 300 NTR/BP*. Dostupný z: <http://www.ok-shop.cz/drazice-okc-300-ntr-bp-ohrivac-stacionarni-neprimotopny-s-bocni-prirubou-121070101-9127>
- [21] OK-shop [online]. *Šroubovací topná jednotka prodloužená TJ G 6/4"*. Dostupný z: <http://www.ok-shop.cz/drazice-tj-g-6-4quot-375kw-sroubovaci-elektricka-topna-jednotka-prodlouzena-2110033-21253>
- [22] Mgr Kateřina Ledvinová, Intersekce alternativní energie, *Regulátor přebytků GreenBonO*. Březen 2013
- [23] Yorix [online]. Regulátor přebytků *GreenBonO*. Dostupné z: <http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm>

- [24] Dražice [online]. *Návod k obsluze a instalaci LX-DC set 1-6kW*. Dostupné z: http://www.dzd-fv.cz/images/pdf/03_navod_LXDC_SET_1-4_a_1-6_kW_DC_1.pdf
- [25] Technická zařízení budov [online]. *Průměrné měsíční soby slunečního svitu*. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
- [26] Topení levně [online]. *Elektrokotel Dakin Daline PTE 14*. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/dakon-daline-pte-14-e-p42800/>
- [27] Ing. Jiří Honzík, Technická zařízení budov [online]. *Dimenzování tepelného čerpadla vzduch - voda, bivalentní zdro*. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7995-dimenzovani-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>
- [28] Ing. Miroslav Hořejší, Technická zařízení budov [online]. *Tepelná čerpadla pro každého*. Květen 2002. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/974-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-iv>
- [29] ABCD Technology [online]. *Tepelná čerpadla*. Dostupné z: <http://www.abcdtechnology.cz/tepelna-cerpadla>
- [30] Ing. Bronislav Bechník, Technická zařízení budov [online]. *Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti*. Září 2011. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>

Přílohy

Příloha A - Technické parametry Silent S150 - DC



TESTING DATE : 2011/03/25

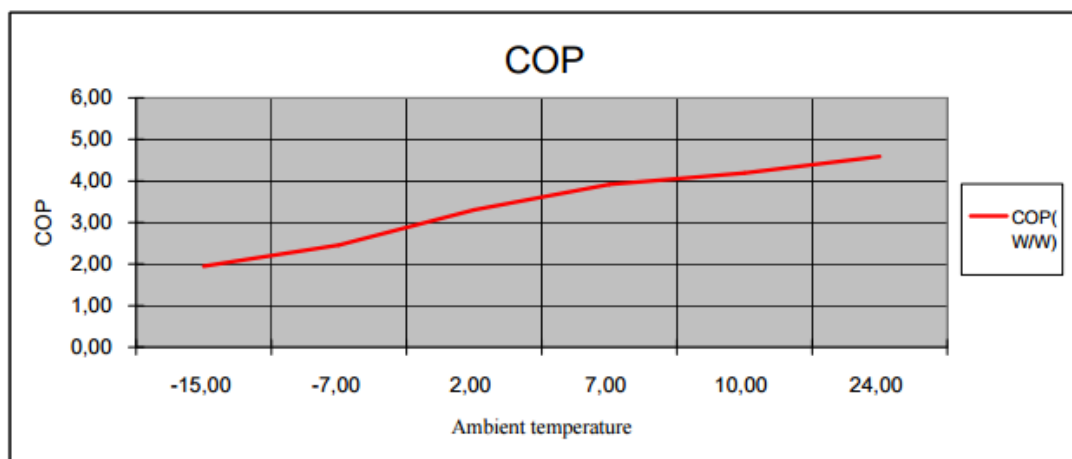
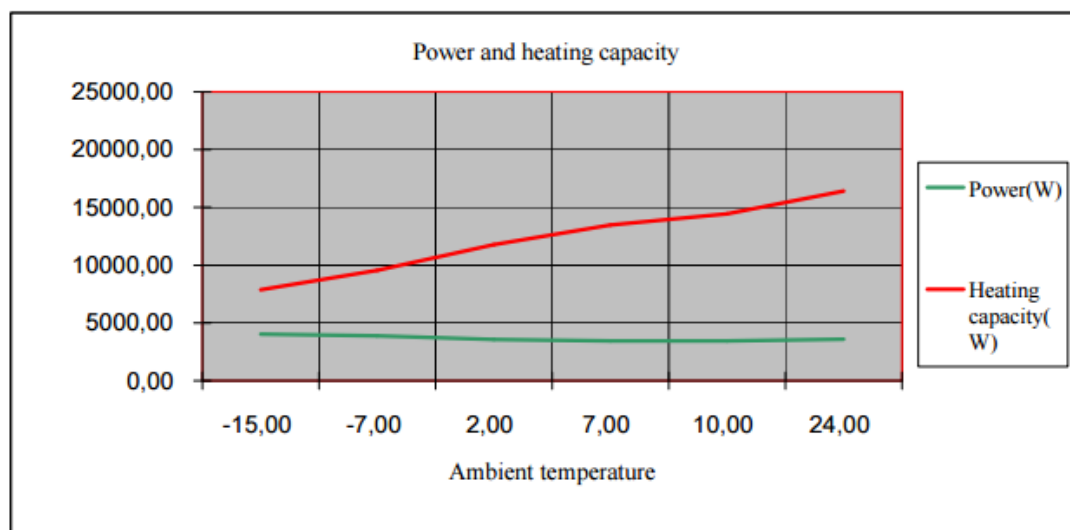
NO. : 20110325

S150

1163

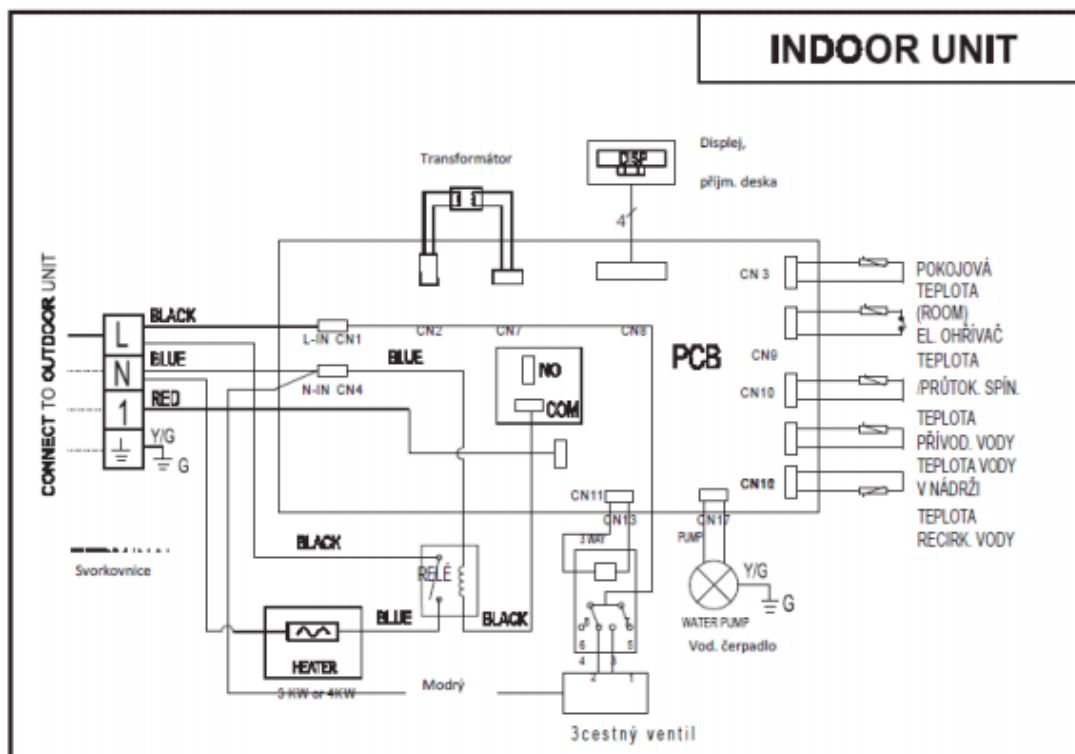
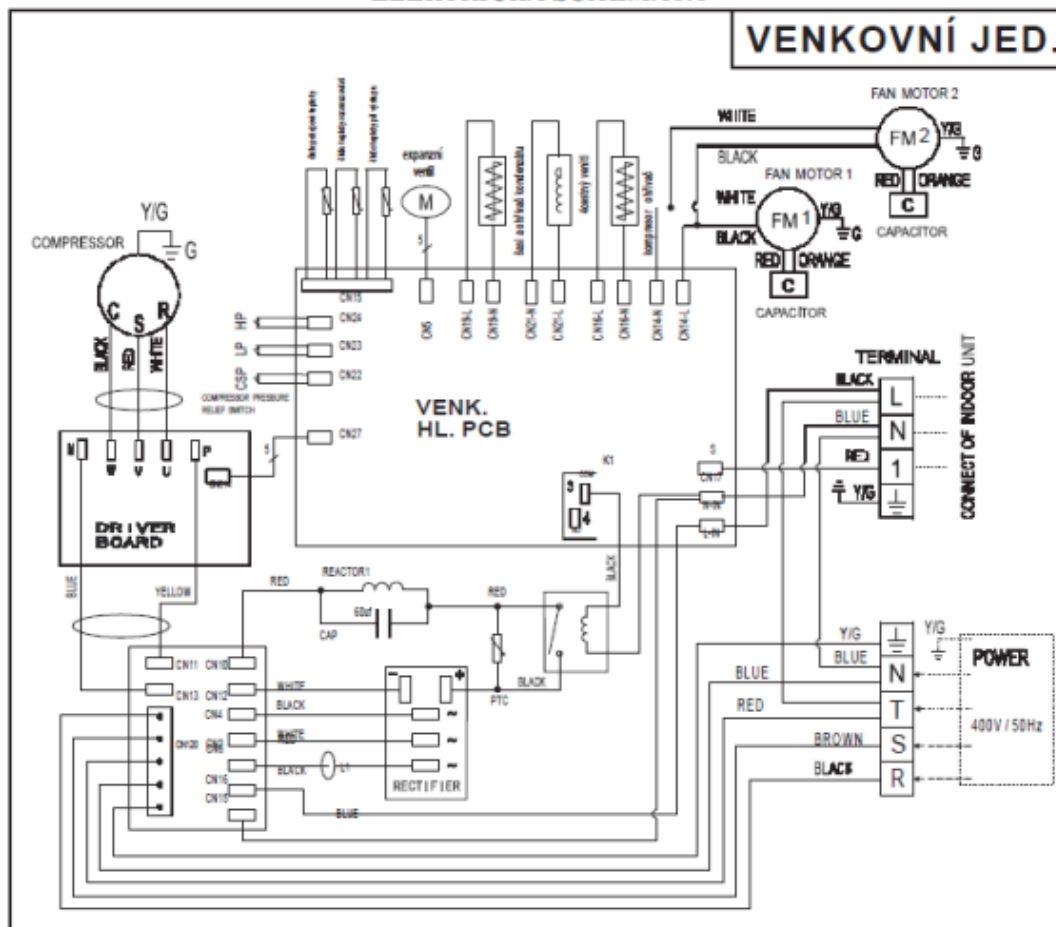
Outlet water 35°C

Water flow (m ³ /h)	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Temp.difference(°C)	2,82	3,42	4,22	4,83	5,18	5,88
Ambient temp.(°C)	-15,00	-7,00	2,00	7,00	10,00	24,00
Power(W)	4030,00	3880,00	3560,00	3440,00	3450,00	3580,00
Heating capacity(W)	7864,00	9542,00	11768,00	13475,00	14452,00	16424,00
COP(W/W)	1,95	2,46	3,31	3,92	4,19	4,59



Příloha B - Elektrické schéma venkovní a vnitřní jednotky Silent S150-DC

ELEKTRICKÁ SCHÉMATA



Black = černý, blue = modrý, red = červený, Y/G = žluto-zelený; indoor unit = vnitřní jednotka, connect of outdoor unit = připojení venkovní jednotky, 40

Příloha C - Ceník ČEZ

ceny produktů ČEZ Prodej včetně regulovaných cen za dopravu elektřiny | domácnosti | produkt COMFORT

účinné od 1. 1. 2016 | uváděny v Kč bez daně z elektřiny a DPH (v závorce orientační ceny s DPH)

PRODUKTY ROKU 2016	REGULOVANÉ PLATBY ZA DOPRAVU ELEKTŘINY													OSTATNÍ SLUŽBY				SILOVÁ ELEKTŘINA					
	DISTRIBUCE													ceny operátora trhu OTE Kč/OM/měsíc				převná cena za 1 MWh* za měsíc					
	měsíční platba za rezervovaný příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem													podpora výkupu elektřiny Kč/A/měsíc	zúčtování elektřiny Kč/A/měsíc	administrace poplatků Kč/OM/měsíc	poplatek Energetického ústředního regulačního úřadu	VT	NT	VT	NT		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
IDI Standard	7,00 (8,47)	12,00 (14,52)	18,00 (21,78)	23,00 (27,83)	29,00 (35,09)	36,00 (43,56)	46,00 (55,66)	56,00 (68,13)	66,00 (80,19)	76,00 (92,25)	86,00 (104,31)	96,00 (116,37)	106,00 (128,43)	116,00 (140,49)	126,00 (152,55)	136,00 (164,61)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 213,00 (1 501,97)
IDI Akumulace	36,00 (43,56)	57,00 (68,97)	71,00 (85,91)	89,00 (107,89)	114,00 (137,94)	143,00 (173,03)	178,00 (215,38)	224,00 (271,04)	270,00 (324,66)	316,00 (383,16)	362,00 (438,24)	408,00 (493,32)	454,00 (548,40)	500,00 (606,48)	546,00 (664,56)	592,00 (722,64)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 511,00 (1 862,55)
IDI Akumulace D35d**	81,00 (98,01)	130,00 (157,30)	162,00 (196,02)	203,00 (245,63)	259,00 (313,39)	324,00 (392,04)	405,00 (490,05)	510,00 (617,10)	630,00 (767,10)	765,00 (927,10)	915,00 (1 107,10)	1 080,00 (1 307,10)	1 260,00 (1 537,10)	1 455,00 (1 777,10)	1 665,00 (2 007,10)	1 890,00 (2 287,10)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 618,00 (1 992,02)
IDI Akumulace D45d**	107,00 (129,47)	171,00 (206,91)	214,00 (258,94)	268,00 (324,28)	343,00 (415,03)	428,00 (517,88)	535,00 (648,56)	675,00 (816,75)	840,00 (1 017,00)	1 025,00 (1 247,25)	1 230,00 (1 497,50)	1 455,00 (1 777,75)	1 700,00 (2 060,00)	1 965,00 (2 387,25)	2 250,00 (2 742,50)	2 550,00 (3 097,75)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 448,00 (1 786,32)
IDI Akumulace D55d**	126,00 (152,46)	202,00 (244,42)	252,00 (304,92)	315,00 (381,15)	403,00 (487,83)	504,00 (609,84)	630,00 (762,30)	794,00 (960,74)	990,00 (1 197,00)	1 225,00 (1 487,25)	1 500,00 (1 812,50)	1 815,00 (2 197,75)	2 180,00 (2 642,00)	2 605,00 (3 157,25)	3 090,00 (3 752,50)	3 645,00 (4 397,75)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 313,00 (1 622,97)
IDI Akumulace D61d**	105,00 (127,05)	169,00 (204,49)	211,00 (255,31)	264,00 (319,44)	338,00 (408,98)	433,00 (523,93)	552,00 (667,44)	707,00 (857,75)	898,00 (1 087,00)	1 125,00 (1 367,25)	1 398,00 (1 697,50)	1 718,00 (2 077,75)	2 093,00 (2 537,00)	2 523,00 (3 052,25)	3 018,00 (3 647,50)	3 583,00 (4 327,75)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 341,00 (1 656,85)
IDI Akumulace D61d**	11,00 (13,31)	17,00 (20,57)	21,00 (25,41)	26,00 (31,46)	34,00 (41,14)	42,00 (50,82)	50,00 (60,13)	59,00 (71,07)	69,00 (83,71)	80,00 (96,40)	92,00 (110,80)	105,00 (127,05)	119,00 (143,55)	134,00 (161,94)	150,00 (181,50)	167,00 (200,67)	99,71 (120,65)	23,96 (28,99)	2,9 (3,51)	1,29 (1,56)	2,39 (2,88)	60,00 (72,60)	1 111,00 (1 378,02)

podmínky a vyvěšování
 podmínkou pro výběr produktu je přiznaná odpovídající distribuční sazba | produkt síťové elektřiny je možno změnit 1x za 12 měsíců | podmínky pro přiznání distribučních sazeb jsou zveřejněny na www.cez.cz | VT = vysoký tarif | NT = nízký tarif | MWh = megawatthodina (1 MWh = 1 000 kWh) | OM = odběrné místo | A = rezervovaný příkon v ampérech | ceny s DPH jsou orientační | sazba DPH je 21 % (aktuální dle platných právních předpisů, její výše se v souladu s tímto předpisem může měnit)
 * Jednotková cena síťové elektřiny je před započtením DPH navýšena o saň přiznanou do 31. března 2016, platí, že tato sazba může být uplatněna i nadále.
 ** Tato sazba může být přiznána pouze do 31. března 2016. Přiznání sazby se rozumí uzavřením první smlouvy o zajištění služeb distributora soustavy nebo smlouvy o sdružených službách dodávky elektřiny s touto sazbou. Pokud byla sazba přiznána do 31. března 2016, platí, že tato sazba může být uplatněna i nadále.
 *** Tato sazba může být přiznána od 1. dubna 2016. Přiznání sazby se rozumí uzavřením první smlouvy o zajištění služeb distributora soustavy nebo smlouvy o sdružených službách dodávky elektřiny s touto sazbou.

ČEZ nabízí plyn a garantuje výhodnější ceny po celou dobu trvání smlouvy
 Stejně jako u elektřiny, tak i u plynu si můžete vybrat hned z několika produktů podle toho, která bude nejvíce vyhovovat vašim potřebám a samozřejmě se kterou nejvíce ušetříte. Nezávatně zbytečně čas při řešení vašich požadavků, protože buďete mít elektřinu i plyn od jednoho dodavatele. Skupina ČEZ je největší energetická společnost ve střední a jihovýchodní Evropě, proto máme jistotu stabilních dodávek.
Přejít k nám nemůže být jednodušší
 ČEZ Prodej připravil pro zákazníky z řad domácností nabídku produktů platnou od 1. 1. 2016. Stačí zavolat na Zákaznickou linku 371 100 100, nechat si krevěnký kontaktní číslo Skupiny ČEZ nebo otevírá stránku www.cez.cz/plyn, kde získáte veškeré informace a také si můžete sami snadno spočítat, kolik zmlouvu dodavatele ušetříte. Veškeré administrativní úkony spojené se změnou dodavatele za vás ochotně vyřídí naši zaměstnanci. Právě za náš přístup k zákazníkům jsme získali ocenění za nejlepší zákaznický servis v Evropě.

c = platba za elektřinu NT = roční spotřeba MWh v NT x (sloupce 16 + 17 + 22)
d = platba za elektřinu x podporovaných zdrojů = 12 x (sloupce 18) x hlavní jistič x poi-
 fazi = max. výše 495 Kč/MWh
Roční platba celkem = a + b + c + d