ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Posouzení aplikace tepelného čerpadla s FVE jako doplňkový zdroj tepla v lokalitě TDK

Autor práce: **Bc. Tomáš Jašíček**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Tomáš JAŠÍČEK**
Osobní číslo:	**E21N0025P**
Studijní program:	**N0713A060013 Výkonové systémy a elektroenergetika**
Specializace:	**Elektroenergetika**
Téma práce:	**Posouzení aplikace tepelného čerpadla s FVE jako doplňkový zdroj tepla v lokalitě TDK**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Popište výchozí stav dodávek tepla v lokalitě TDK.
2. Proveďte základní návrh jednotky tepelného čerpadla a FVE.
3. Vytvořte model pro nasazování jednotky TČ+FVE s maximalizací hrubé marže.
4. Vypracujte roční bilanční výpočet nového zdroje.
5. Proveďte diskuzi ekonomického provozu TČ+FVE.

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací: **Určí odborný konzultant**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Normy ČSN IEC pro danou problematiku.
2. Odborný konzultant Ing. Jiří Beneš, Ph.D. poskytne odborné podklady a literaturu pro danou lokalitu TDK.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **6. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická

L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

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

V Plzni dne 6. října 2023

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh doplňkového tepelného zdroje pro teplárnu Dvůr Králové nad Labem ve formě tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny. V první části je popsán výchozí stav dodávek tepla v dané lokalitě. V následujících dvou kapitolách jsou poté popsány základní principy tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny. Hlavní část práce se následně zabývá samotným návrhem konkrétního doplňkového zdroje včetně jeho bilančního výpočtu, modelu nasazení a ekonomickém zhodnocení.

Klíčová slova

Teplárna Dvůr Králové, obnovitelné zdroje, návrh doplňkového tepelného zdroje, tepelné čerpadlo, fotovoltaická elektrárna, bilanční výpočet, ekonomické zhodnocení

Abstract

This thesis is focused on the design of an additional heat source for the Dvur Králové nad Labem heating plant in the form of a heat pump and a photovoltaic power plant. The first part describes the initial state of heat supply in the given locality. The following two chapters then describe the basic principles of the heat pump and the photovoltaic power plant. The main part of the thesis then deals with the actual proposal of a specific additional source, including its balance calculation, deployment model and economic evaluation.

Key Words

Dvur Králové thermal power plant, renewable sources, additional heat source design, heat pump, photovoltaic power plant, balance calculation, economic evaluation

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 24.5.2024 Tomáš Jašíček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za jeho ochotu a vstřícnost, kterou během psaní práce projevil.

Dále děkuji odbornému konzultantovi Ing. Jiřímu Benešovi, Ph.D. za poskytnutí důležitých materiálů a rad pro vypracování této práce.

Obsah

Úvod ..... - 1 -
1 Teplárna Dvůr Králové ..... - 2 -
1.1 Město Dvůr Králové nad Labem ..... - 2 -
1.2 Základní popis teplárny ..... - 2 -
1.2.1 Kotelna ..... - 3 -
1.2.2 Strojovna ..... - 3 -
1.3 Dosavadní provoz ..... - 4 -
1.3.1 Průběh dodávek tepelného výkonu teplárnou ..... - 4 -
2 Tepelné čerpadla ..... - 6 -
2.1 Princip tepelného čerpadla ..... - 6 -
2.2 Topný faktor čerpadla ..... - 9 -
2.3 Tepelné zdroje ..... - 10 -
3 Fotovoltaická elektrárna ..... - 11 -
3.1 Elektromagnetické záření ..... - 11 -
3.2 Princip fotovoltaické přeměny ..... - 11 -
3.3 Konstrukce panelů ..... - 13 -
3.4 Možnosti instalace panelů ..... - 14 -
3.5 Zvýšení účinnosti ..... - 15 -
3.6 Provoz FVE ..... - 16 -
3.6.1 Ostrovní režim (grid-off) ..... - 16 -
3.6.2 Systém připojení k síti (grid-connected) ..... - 17 -
4 Návrh fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla ..... - 18 -
4.1 Výběr fotovoltaických panelů ..... - 18 -
4.1.1 Na základě provedení ..... - 18 -
4.1.2 Na základě instalovaného výkonu ..... - 18 -
4.2 Instalace fotovoltaických panelů ..... - 19 -
4.3 Výběr střídačů ..... - 21 -
4.4 Tepelné čerpadlo ..... - 22 -
5 Model nasazování jednotky TČ + FVE ..... - 23 -

5.1 První model nasazování ..... - 24 -
5.2 Druhý model nasazování ..... - 25 -
5.3 Třetí model nasazování ..... - 26 -
5.4 Porovnání variant ..... - 26 -
5.5 Výsledný model nasazování ..... - 30 -
6 Ekonomické zhodnocení ..... - 32 -
6.1 Investiční náklady ..... - 32 -
6.1.1 Investiční náklady fotovoltaické elektrárny ..... - 32 -
6.1.2 Investiční náklady tepelného čerpadla ..... - 33 -
6.1.3 Celkové investiční náklady ..... - 33 -
6.2 Úspora nákladů na výrobu ..... - 33 -
6.3 Odpisy ..... - 35 -
6.4 Stárnutí FVE ..... - 36 -
6.5 Vývoj cen v následujících letech ..... - 36 -
6.6 Vlastní náklady ..... - 37 -
6.7 Výpočet odhadovaných zisků ..... - 38 -
7 Závěr ..... - 40 -
Literatura ..... - 41 -
Seznam obrázků ..... - 41 -
Seznam grafů ..... - 41 -
Seznam tabulek ..... - 41 -
Přílohy I

Seznam symbolů a zkratek

COP	Coefficient of Performance
ČEZ	České energetické závody
FV	Fotovoltaické
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HU	Hnědé uhlí
K1	Roštový kotel 1
K2	Roštový kotel 2
K3	Granulační kotel
K11	Kotel spalující topný olej 11
K12	Kotel spalující topný olej 12
K13	Špičkový kotel 13
K14	Špičkový kotel 14
K15	Špičkový kotel 14
LTO	Lehké topné oleje
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SCOP	Seasonal coefficient of performance
SCZT	Soustava centralizovaného zásobování teplem
TDK	Teplárna Dvůr Králové
TG1	Turbogenerátor TG1
TG3	Kondenzační turbogenerátor TG3
TUV	Teplá užitková voda

E	Energie fotonů	(eV)
N	Náklady	(Kč)
P_e	Elektrický výkon	(W)
P_s	Výkon solárního panelu	(Wp)
P_t	Tepelný výkon	(W_t)
T	Doba návratnosti	(rok)
c	Rychlost světla	(km/s)
h	Planckova konstanta	(J×s)
λ	Vlnová délka záření	(mm)
Φ	Tepelný výkon čerpadla	(W_t)

Úvod

Již několik let se klade velký důraz na vytváření energií z obnovitelných zdrojů za účelem minimalizování emisní stopy, možnému snížení provozních nákladů (motivováno různými emisními povolenkami, dotacemi apod.) a možností alespoň částečné nezávislosti na fosilním palivu.

Tepelné čerpadlo představuje jednu z několika možností, jak tohoto cíle dosáhnout. Jedná se o energeticky účinná zařízení využívající energii z okolního prostředí neprodukující žádné lokální emise. V kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou pokrývající (nebo částečně pokrývající) spotřebu elektrické energie a její výrobou přímo v místě spotřeby se tato účinnost dále zvyšuje.

A právě tímto tématem se zabývá tato diplomová práce – možností využití tepelného čerpadla jako doplňkového zdroje tepla v rámci teplárny Dvůr Králové nad Labem. Cílem práce je vypracování základního návrhu jednotky tepelného čerpadla a napájecí fotovoltaické elektrárny za účelem provedení ekonomického výpočtu, zhodnocení výhodnosti tohoto řešení a porovnání s primárním zdrojem tepla.

V úvodu je popsán výchozí stav dodávek tepla v dané lokalitě, na jehož základě je poté proveden samotný návrh doplňkového zdroje. V následujících dvou kapitolách jsou shrnuty principy, varianty a možnosti uplatnění tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny.

V praktické části je vytvořen návrh fotovoltaické elektrárny (volba panelů, jejich počet a rozmístění, zvolení vhodných střídačů) a tepelného zdroje v areálu teplárny s využitím znalostí z první kapitoly. Poté je proveden bilanční výpočet takto zvoleného zdroje, ve kterém je zjištěno množství vyrobené a dodané tepelné a elektrické energie.

Na základě bilančního výpočtu je následně vytvořeno několik modelů nasazování jednotky pro výběr modelu s maximalizací hrubé marže. V poslední kapitole je ekonomické zhodnocení nového zdroje, určení investičních nákladů a jeho návratnosti.

1 Teplárna Dvůr Králové

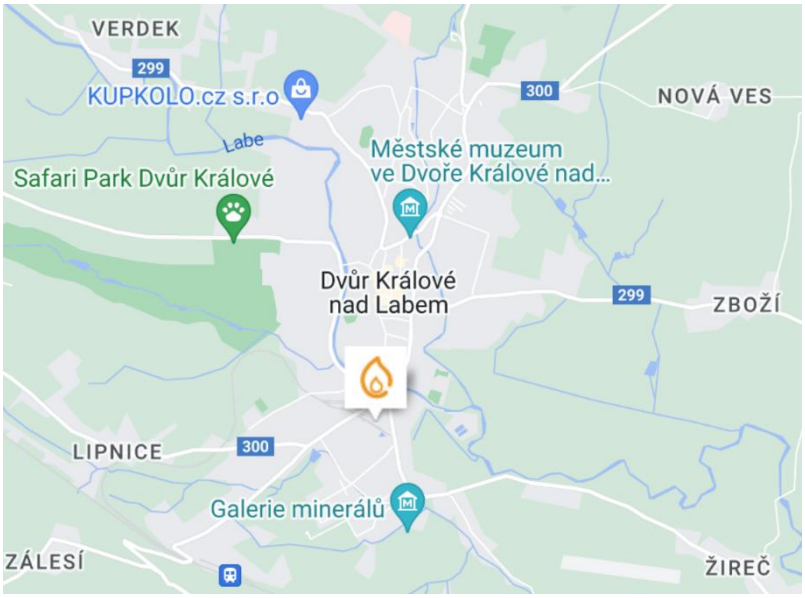
1.1 Město Dvůr Králové nad Labem

Město Dvůr Králové nad Labem s přibližně 16 000 obyvateli se nachází jen pár desítek kilometrů od Hradce Králové, v Královehradeckém kraji. První zmínky o tomto městu se objevují již ve 13. století. V průběhu let a i za přispění německé kolonizace se tržní osada postupně rozrostla až na město.

Mezi 18. a 19. stoletím došlo ke značnému hospodářskému rozvoji města, který je spojován zejména s textilním průmyslem (zpracování lnu a později bavlny). Velký podíl na tomto rozvoji má také zajištění splavnosti Labe a výstavba železnice, což umožnilo vzniknout i větším výrobním závodům. [1]

1.2 Základní popis teplárny

Z důvodu nedostatečné kapacity lokálních zdrojů tepla zásobující Dvůr Králové nad Labem bylo na počátku padesátých let 20. století rozhodnuto o výstavbě nové teplárny (dnes TDK, která se nachází v průmyslové části města v blízkosti společnosti JUTA a.s.).



Obr. 1 Lokalita TDK [3]

První dodávky tepla průmyslovým podnikům započaly již v roce 1955, v roce 1963 a 1985 došlo k rozšíření o další zdroj tepla. [2]

V průběhu několika let provozu došlo ke spoustě úpravám, díky kterým se dosáhlo významného snížení exhalací emisí do ovzduší a splnění emisních limitů. Důraz se také kladl na snížení celkové hlučnosti.

V dnešní době pracuje na principu kogeneračního způsobu výroby energie (tepelné a elektrické) pro zvýšení celkové účinnosti a efektivnějšímu využití energie v palivu. Prostřednictvím horkovodní soustavy centralizovaného zásobování tepla (SCZT) s celkovou délkou 11 km (z toho 8,5 km podzemní a 2,5 km nadzemí provedení) zajišťuje celoroční dodávky tepla do 100 předávacích míst, a to včetně městské části Nový Svět. Z celkového objemu dodaného tepla tvoří zhruba 11% dodávky pro domácnosti (byty). [1]

Od roku 2008 spadá pod Organizační jednotu Elektrárny Poříčí provozovanou Skupinou ČEZ, kde doplňuje Elektrárnu Poříčí II. [4]

K TDK také náleží odkladiště, nacházející se v její těsné blízkost, které bylo využíváno pro uložení zbytků spáleného uhlí. S využitém této plochy se počítá i do budoucna.

1.2.1 Kotelna

Základní výrobu tepla v topné sezóně zajišťují roštové kotle K1 a K2 původně spalující hnědé uhlí, které byly modernizovány a umožňují i 100% spalování biomasy (granulační kotel K3 z roku 1963 byl nahrazen moderním K14 spalující zemní plyn). Mimo topnou sezónu se využívají špičkové kotle K13 a K14 spalující zemní plyn, ke kterým byl v roce 2017 přistavěn kotel K15 spalující biomasu. Kotle K11 a K12 v případě potřeby umožňují spalování topného oleje. [1]

Tabulka 1 Přehled instalovaných kotlů [5]

Kotel		K1	K2	K11	K12	K13	K14	K15
Rok uvedení do provozu		1955	1955	1982	1982	1982	2015	2017
Jmenovitý výkon	MW_t	21,5	21,5	5,2	5,2	4,7	2,2	8
Druh paliva		Biomasa	Biomasa	LTO	LTO	Zemní plyn	Zemní plyn	Biomasa

Instalovaný výkon celé soustavy činí 67 MW tepelného a 7,3 MW elektrického.

1.2.2 Strojovna

Pro uspokojení poptávek pro výrobu elektrické energie dispečinkem na základě okamžitých potřeb je TDK vybavena dvěma turbogenerátory, protitlaký turbogenerátor TG1 pracující s kotli K1 a K2 a tandemový kondenzační turbogenerátor TG3. [1]

1.3 Dosavadní provoz

Roční dodávka tepla TDK činí 158 000 GJ a zahrnuje parní i vodní tepelnou soustavu.

Tabulka 2 Parametry dodávané teplonosné látky [5]

Pára		Voda			
primární	redukovaná	horká	teplá	otopná	TUV
180°C	/	nad 110°C	do 110°C	do 90°C	do 60°C

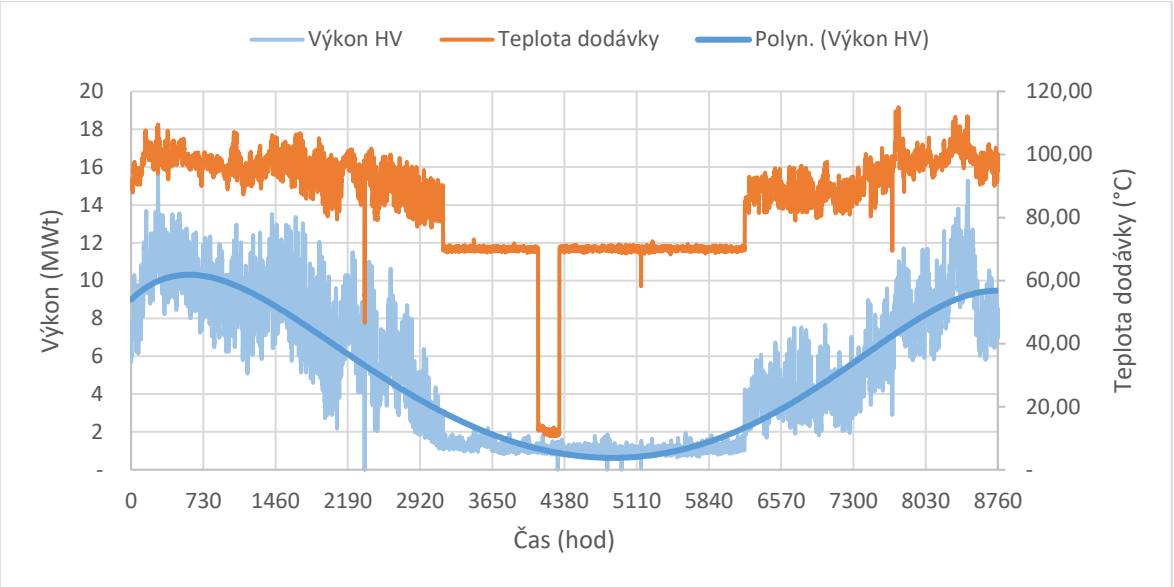
Do horkovodní soustavy centralizovaného zásobování teplem je dodáváno 90 % tepla a do parovodu 10%. [5]

1.3.1 Průběh dodávek tepelného výkonu teplárnou

Ze získaných hodinových dat od odborného konzultanta byly pro přehlednost vypočítány měsíční hodnoty dodávaného tepelného výkonu a tepla, které poté budou dále použity k návrhu tepelného čerpadla a jeho modelu nasazování.

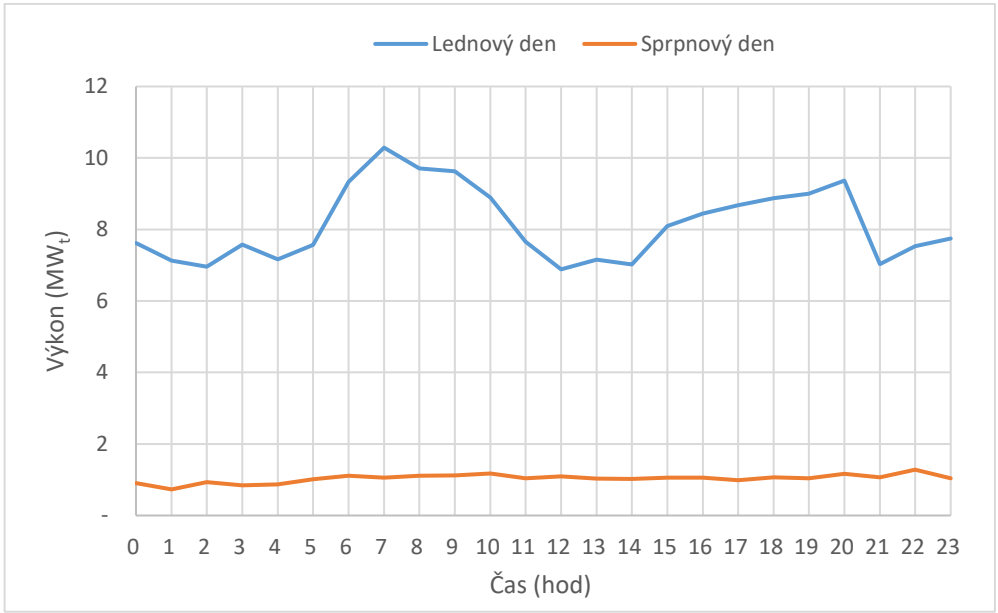
Tabulka 3 Hodnoty dodávaného tepelného výkonu a tepla

	GJ	MW_t
Leden	27 303	7 584
Únor	21 222	5 895
Březen	20 910	5 808
Duben	15 476	4 299
Květen	5 110	1 419
Červen	3 029	841
Červenec	2 873	798
Srpen	2 821	784
Září	6 327	1 757
Říjen	10 459	2 905
Listopad	17 467	4 852
Prosinec	24 920	6 922



Graf 1 Hodnoty dodávaného tepelného výkonu a teploty dodávané vody

Z Grafu 1 je patrné, kdy začíná a končí topná sezóna a jaký to má vliv na velikost dodávaného tepelného výkonu a teploty dodávky vody. V Grafu 2 jsou znázorněny ukázkové průběhy dodávek tepla v zimě a v létě.



Graf 2 Průběhy dodávaného tepelného výkonu během zimního a letního dne

2 Tepelné čerpadla

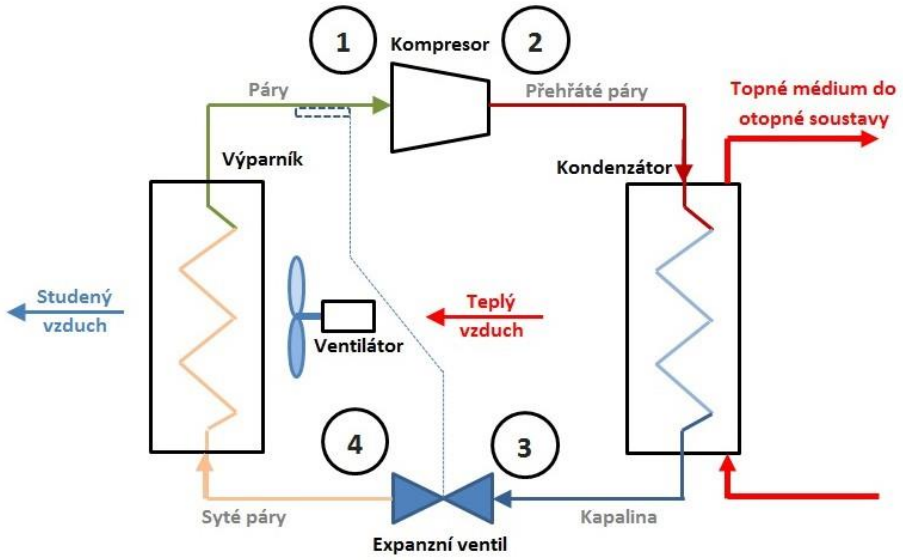
Jedním ze způsobů získání tepla pro vytápění a ohřev vody je využití tepelného čerpadla. Představují ekologickou alternativu s nulovými lokálními emisemi a s poměrně nízkými provozními náklady k vytápění pomocí konvenčních zdrojů energie. [6]

2.1 Princip tepelného čerpadla

a) Kompresorová čerpadla

Princip funkce tepelného čerpadla si lze přiblížit na kompresorových čerpadlech, spočívající v odnímání tepla na primární straně z teplonosné látky (vzduch, voda, země) a jeho předání sekundární straně teplonosné látky (vzduch, voda) s vyšší teplotou.

Tepelné čerpadla s kompresorem fungují na principu cyklické změny skupenství pracovní látky (chladivo) z kapalné na páru a obráceně. Teplota potřebná pro vypařování a kondenzaci chladiva je dána jeho tlakem, který je řízen kompresorem a expanzním ventilem a dále jeho chemickým složením. [6]



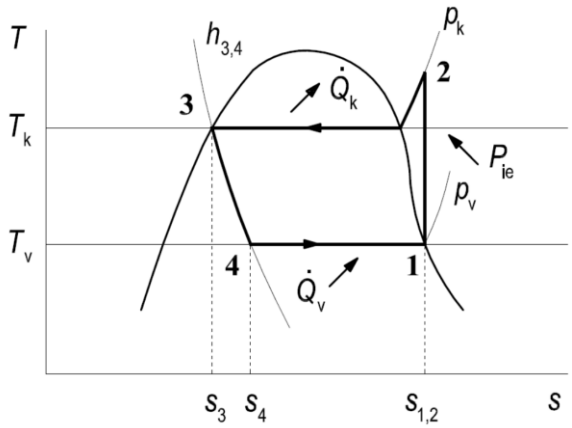
Obr. 2 Princip tepelného čerpadla [7]

Pracovní okruh je rozdělen na dvě části – část s nízkým tlakem a část s vysokým.

Ve výparníku (výměník tepla) dojde k odebrání tepla ze vzduchu/vody/země a k přehřátí par chladiva (4-1).

V kompresoru dojde ke stlačení par teplonosné látky a ta se kompresním a ztrátovým teplem zahřívá (1-2). Přehřátá pára s vyšší teplotou, než je topného média poté putuje do kondenzátoru, kde předá své teplo a tím se i ochladí a zkondenzuje na kapalinu a pod stále vysokým tlakem stéká dolů (2-3). V expanzním ventilu je tlak této kapaliny prudce snížen jeho expanzí a dochází k jejímu prudkému vypařování (4-1) aby nedošlo k nasátí vody kompresorem, čímž by se mohl vážně poškodit. Celý tento děj probíhá nepřetržitě a cyklicky se opakuje. [6,7]

Tento princip je možné si také vysvětlit za pomocí levotočivého idealizovaného Rankinova oběhu, který popisuje parní oběh pracovní látky.



Obr. 3 Idealizovaný Rankinův oběh [13]

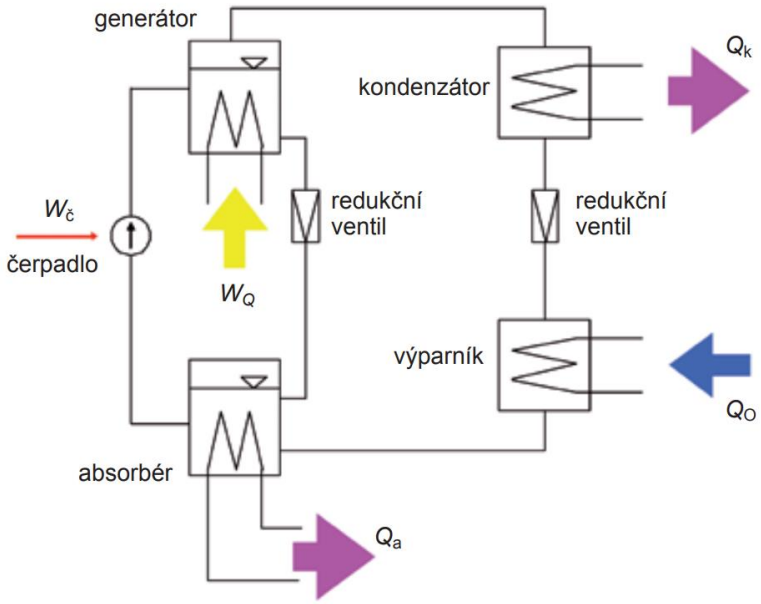
V oběhu 4-1 dochází k izobarickému vypařování (tlak je konstantní) na mez syté páry (výparník), mezi body 1-2 probíhá izoentropická komprese (teplota je konstantní) syté páry na přehřátou (kompresor), 2-3 je izobarické chlazení přehřátých par na mez sytosti a s následnou kondenzací na kapalinu (kondenzátor), 3-4 představuje izoentalpické škrcení na mokrou páru snížením tlaku (expanzní ventil). [13]

b) Sorpční tepelné čerpadla

Pracují na fyzikálním jevu mezimolekulárních vazeb absorbentu či adsorbentu v pracovní látce. Požadavkem je dodávka tepelné energie (jelikož se zde nenachází kompresor, který by poskytoval mechanickou energii), která umožňuje cyklický proces navazování pracovní látky na sorbent a její zpětné uvolnění při vyšší teplotě. [6]

Sorpční oběhy lze rozdělit do tří skupin – absorpční, adsorpční. Význam adsorpčních čerpadel je pouze okrajový, bude popsán tedy pouze absorpční princip.

Absorpční čerpadla využívají absorpční vlastnosti dvojice látek, nejčastěji čpavek-voda nebo voda-bromid lithný. Voda bohatá na čpavek se dopravuje pod tlakem do generátoru (varník) kde je tato látka ohřívána a dochází k vypuzování čpavku. Destilací lze dosáhnout vypouštění pouze par čpavku vedených dále do kondenzátoru. V kondenzátoru se následně získá potřebné teplo Q_k. Z generátoru se dále vypouští kapalná směs s menší koncentrací čpavku než směs bohatá do něj vstupující. Ta je přes redukční ventil vedena do absorbátoru, kde dojde k zpětné absorpci par čpavku z výparníku. Aby absorpce nastala, je potřeba vznikající směs ochladit odvedením dalšího využitelného tepla Q_a. Nově vzniklá bohatá směs je z absorbéru nasávaná čerpadlem dodávající mechanickou práci $W_č$. Tato dodaná mechanická práce není ovšem dominantní, převládá práce W_Q ve formě dodávaného tepla. [15]



Obr. 4 Princip absorpčního tepelného čerpadla [15]

Sorpční čerpadla dosahují nižšího podílu vyprodukované tepelné energie s vyšší teplotou a vloženou energií než ty s kompresorem. Jsou ale mechanicky jednodušší a jako zdroj tepelné energie lze použít např. odpadní teplo či spalování zemního plynu. [6]

2.2 Topný faktor čerpadla

Jeden z parametrů pro výběr je jmenovitý topný faktor COP (Coefficient of Performance), udávající efektivitu daného čerpadla v režimu topení, (případně doplněn o koeficient EER pro chlazení). Jedná se o ukazatel vypovídající o účinnosti a tedy poměru mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií, obvykle se pohybuje v intervalu 2,5-5.

Čím je jeho hodnota vyšší, tím je účinnost lepší. Velký vliv na tento parametr mají provozní podmínky a přímo závisí na teplotě topné vody.

Jeho stanovení probíhá na základě laboratorního měření při různých provozních podmínkách.

Příkladem označení topného faktoru čerpala dle normy pro laboratorní zkoušení tepelných čerpadel EN 14 511 může být například A2/W35 s COP 3,5 (vstupní vzduch o teplotě 2°C a výstupní teplota topného okruhu vody 35°C). [8]

$$COP = \frac{Pt}{\mathrm{Pc+Paux}} (-) \tag{2.1}$$

kde $\boldsymbol{P_t}$ je tepelný výkon čerpadla (kW), ***Pc*** elektrický příkon kompresoru (kW) a ***Paux*** je elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty [14]

Tabulka 4 Minimální topné faktory čerpadel [14]

Tepelné čerpadlo	Jmenovité podmínky	Požadavek
Vzduch/voda	A2/W35	COP > 3,1
Země/voda	B0/W35	COP > 4,3
Voda/voda	W10/W35	COP > 5,1

Přesnějším kritériem pro výběr čerpadla je faktor SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance – sezónní topný faktor čerpadla). Tento faktor napravuje nevýhodu COP, který je měřen pouze laboratorně pro jednu sadu provozních podmínek a nezahrnuje tedy dostatečně přesně provozní efektivitu celoročně provozovaného čerpadla. SCOP obsahuje jak efektivitu produkce tepla, tak i jeho ztráty, spotřebu v pohotovostním režimu a náběhu atd. Pro jeho výpočet se vychází z norem ČSN EN 14511 a ČSN EN 14825. [14]

2.3 Tepelné zdroje

Dalším faktorem pro výběr je typ tepelného zdroje. Pro absorpční čerpadla se jedná např. o spalování zemního plynu, sluneční energie ze solárních panelů či odpadní teplo.

Pro kompresorové čerpadla je možné rozřazení do několika následujících skupin:

a) Vzduchu/vzduch

   Jedná se spíše o klimatizace neumožňující ohřev vody. Dokáží vzduch v interiéru ohřát i zchladit. Jedná se o levné řešení s velkým vlivem okolní teploty.

b) Vzduch/voda

   Hlavní výhodou tohoto zdroje je jeho nízká cena a snadná instalace (není potřeba provádět vrty apod.) a tím i jeho univerzálnost použití. Avšak nevýhodou je vliv okolního prostředí, kdy teplota vzduchu a jeho vlhkost mají vliv na účinnost. Se snižující se teplotou účinnost klesá. Dalším nedostatkem (především pro obytné zóny) je případná hlučnost.

c) Voda/voda

   Jako zdroj může sloužit podzemní voda (studna, vrt), případně i voda povrchová. Ze zdrojového vrtu či studny se odčerpává voda, ze které se odebere teplo a následně se po ochlazení vypouští do vsakovacího objektu. Jedná se o velmi efektivní způsob získávání tepla, protože velikost podzemní vody se příliš nemění a pohybuje se kolem 10°C. Nevýhodou jsou oproti předchozímu systému vyšší pořizovací náklady, náročnější instalace a údržba.

d) Země/voda

   Zdrojem tepla je zde půda, ze které je možno získat teplo dvěma způsoby. Prvním je využití kolektorů rozprostřených v malé hloubce po pozemku. Problém tohoto řešení je velká prostorová náročnost na nezastavěnou plochu, avšak s přijatelnější cenou oproti druhému způsobu. Druhý způsob spočívá ve vyhloubení vrtu. Tím dojde k prostorové úspoře, ovšem je finančně náročnější. [9]

3 Fotovoltaická elektrárna

Reprezentuje jeden z nevyčerpatelných obnovitelných zdrojů energie využívající sluneční záření pro výrobu elektrické energie, při které nevznikají emise. Uplatnění nachází jak v oblastech s dlouhým slunečním svitem, tak i například v oblastech s vyšší nadmořskou výškou. Velkou předností je také bezhlučný provoz s vysokou spolehlivostí.

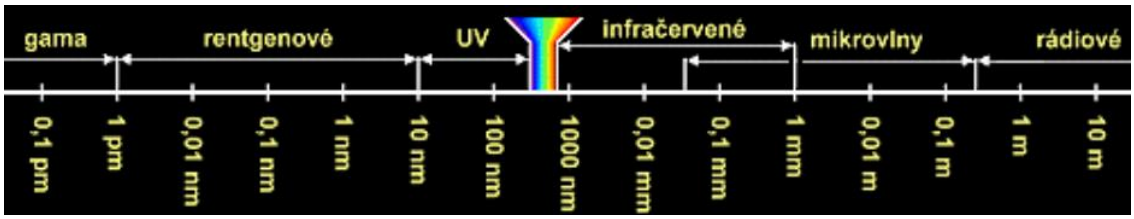
3.1 Elektromagnetické záření

Prostřednictvím elektromagnetického záření o se přenáší energie Slunce a lze jej považovat za proud částic, fotonů. Energie fotonu je spojena s vlnovou délkou záření.

$$\mathrm{E} = \frac{h \times c}{\lambda} \,(\mathrm{eV}) \tag{3.1}$$

kde ***E*** je energie fotonů (eV), ***h*** je Planckova konstanta (J×s), ***c*** je rychlost světla (km/s) a ***λ*** je vlnová délka záření (nm) [20]

Na základě velikosti vlnových délek (frekvencí) je možné elektromagnetické vlny rozdělit do několika spekter, kdy největší vlnová délka připadá rádiovým vlnám a nejkratší gama záření. [20]



Obr. 5 Spektrum elektromagnetického záření [20]

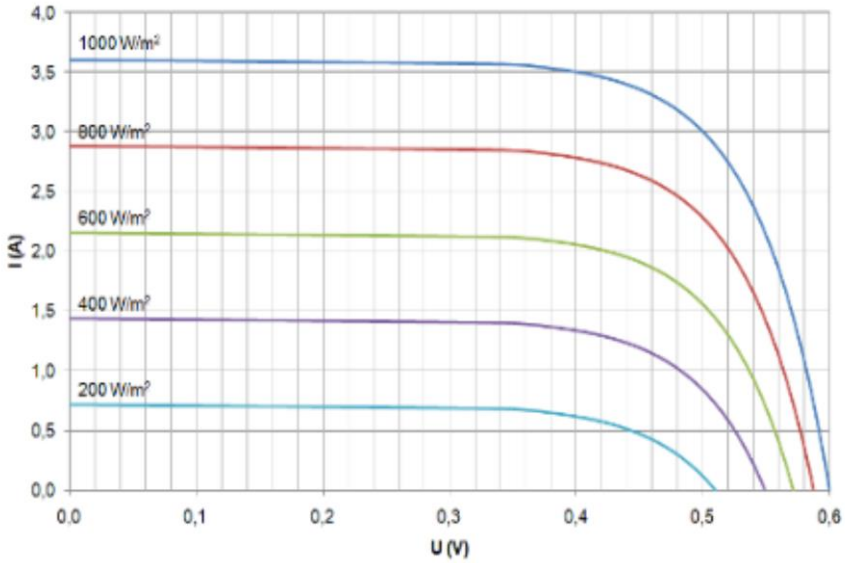
3.2 Princip fotovoltaické přeměny

Přeměnu energie z elektromagnetického záření na elektrickou energii umožňují polovodičové fotovoltaické články, nejběžněji založených na bázi krystalického křemíku.

Podle druhu nosiče náboje jsou tyto polovodiče rozděleny na vlastní a příměsové (typ N s elektrony jako majoritní nosiče náboje a typ P s dírami představující kladný náboj). PN přechod vzniká tehdy, jeli část krystalu typu P a sousední typu N. Osvětlením tohoto článku a tedy dopadem fotonů slunečního záření vznikne na polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a elektrony se začnou uvolňovat z krystalové mřížky, čímž se vytvoří elektrické napětí na PN přechodu.

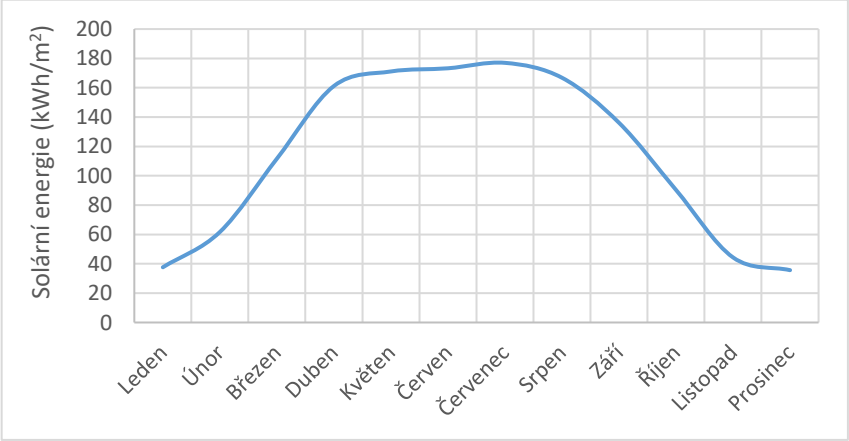
Aby se elektron mohl z krystalové mřížky uvolnit, musí foton dopadající na PN přechod mít energii alespoň 1,12 eV (vlnová délka cca 1 105 nm v oblasti infračerveného záření). [18]

Množství dopadající sluneční energie má přímý vliv na výrobu elektrické energie a řídí se následující voltampérovou charakteristikou. [16]



Obr. 6 Voltampérová charakteristika panelu [16]

Z této vlastnosti vyplývá jedna z hlavních nevýhod - kolísavá a hůře odhadnutelná výroba elektrické energie. Největší množství této energie dopadá v období s nejmenší spotřebou elektrické energie. Vliv na výrobu má také počasí a pochopitelně i denní doba. [16]



Graf 3 Hodnoty dopadající solární energie pro lokalitu TDK [11]

V důsledku tohoto kolísání je potřeba regulace napětí regulátorem, například s vestavěným DC/DC měničem.

Dalším důležitým vybavením elektrárny je střídač sloužící k přeměně stejnosměrného napětí na střídavé doplněný o ochranné prvky (jističe jako zkratová ochrana, napěťové svodiče jako přepěťová ochrana).

3.3 Konstrukce panelů

Podle konstrukce se dělí na monokrystalické, polykrystalické a články z amorfního křemíku.

a) Monokrystalické články

Představují nejstarší typ využívaných článků vyráběný z monokrystalického křemíku. Výroba je to velmi energeticky i ekonomicky nákladná, protože výroba spočívá na Czochralského metodě. Nejprve se musí vyrobit ingoty polykrystalického křemíku, které se následně rozřežou na plátky o tloušťce 0,25 – 0,35 mm. Tyto plátky je nutné zarovnat na stejnou tloušťku, vyleštit a vyčistit povrchové nečistoty. Jednou z možností, jak náklady na výrobu těchto panelů snížit je zmenšit velikost nařezaných plátků na 0,1 mm, případně z taveniny krystalu rovnou táhnout pásek, který se následně rozřeže. Panel vyrobených z těchto pásků má poté menší účinnost. Celková účinnost těchto článků přesahuje 20 % při vyšších intenzitách záření.

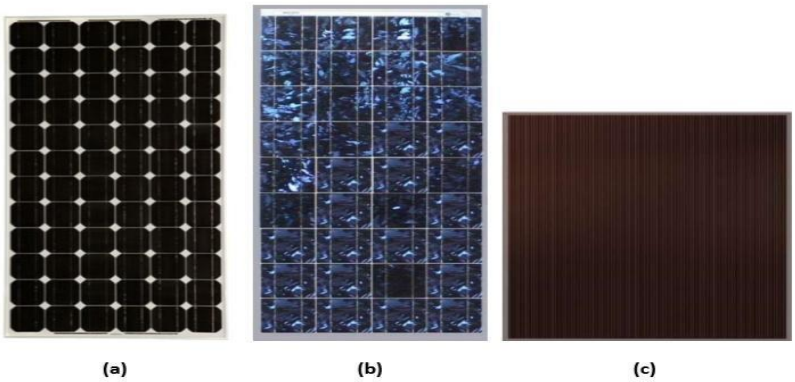
b) Polykrystalické články

V dnešní době nejvyužívanější typ článku vyráběný odléváním čistého křemíku do forem a nařezáním vzniklých ingotů. Velká úspora nákladů oproti předchozímu typu je právě v odlévání, kdy není nutné monokrystal táhnout a lze odlévat rovnou do požadovaného tvaru.
Takto vyrobený panel má menší účinnost než monokrystalické panely z důvodu většího odporu mezi jednotlivými zrny. Ta se pohybuje v rozmezí 15-17 % a dosahují ji při menší intenzitě záření.
Dalším materiálem, ze kterého lze tyto články vyrábět je arsenid galia. Účinnost těchto panelů poté dosahuje 29 %, ale jsou nákladné na výrobu.

c) Amorfní články

Výroba je založena na rozkladu sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře, čímž vznikají velice tenké vrstvy křemíků na podložce z nerezu, skla či plastu. Název článku je odvozen od právě takto nanesené tenké amorfní vrstvy s nepravidelnou krystalickou strukturou.

Materiálně je výroba oproti předchozím typům o poznání méně náročná, což má příznivý vliv na jejich cenu, avšak díky nepravidelné struktuře dochází k větším množstvím poruch. [16,18]



Obr. 7 Ukázka panelů, (a) monokrystalický, (b) polykrystalicky (c) amorfní [17]

3.4 Možnosti instalace panelů

Důležitým parametrem určující efektivitu použitých fotovoltaických panelů je bezesporu jejich umístění v prostoru a natočení.

Jedním z užitečných nástrojů pro určení správného natočení je systém vytvořený výzkumným centrem Evropské komise Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), využívaný pro fotovoltaické aplikace umožňující pomocí satelitních měření a pozemních meteostanic kalkulaci výroby elektřiny v libovolném místě v Evropě. [10]

Tradičně se u fixních panelů používá vertikální sklon 35 ° s orientací na jih, který přináší vyšší výrobu elektrické energie v zimě (snaha o minimalizaci vlivu kratších dní v zimním období) se schopností lepšího samočištění (led, nečistoty). Tato konfigurace poskytuje nejvyšší výrobu v průběhu celého roku. V případě, že chceme fotovoltaický panel optimalizovat spíše na výrobu v letním období, je výhodnější vertikální úhel 15 ° a 25 °. Nižší sklon má také výhodu v menší stínivosti a je tedy možno na umístit na danou plochu víc panelů.

Dalším dnes využívaným typem instalace je instalace panelů do střížky s orientací východ západ. Panely si takto téměř nestíní a je tedy možné zvýšit instalovaný výkon, avšak ten nedosahuje výkonu instalace typu sklon (při stejném instalovaném výkonu). Vlivem malého sklonu je schopnost samočištění omezena. [12]

3.5 Zvýšení účinnosti

Jako ve všech jiných oblastech je i zde snaha o dosažení co nejvyšší účinnosti zařízení a dosažení pokud možno nejlepšího možného průběhu vyráběného výkonu a tím alespoň částečně potlačit již zmíněnou nevýhodu v podobě nestálé dodávky výkonu.

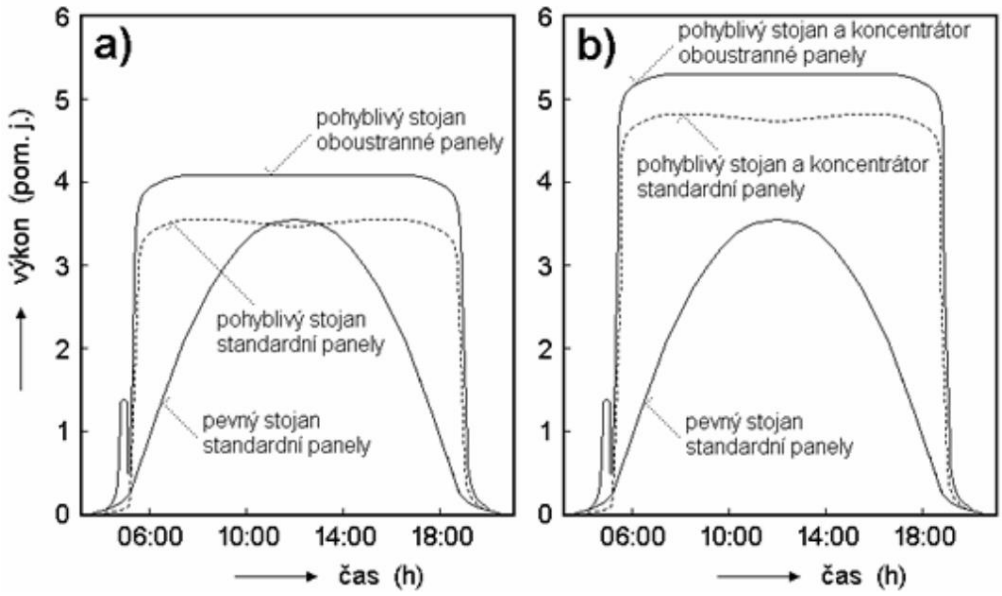
a) Oboustranné (bifaciální) panely

Jedná se o alternativu k obyčejným jednostranným panelům. Hlavní výhoda spočívá ve schopnosti využití i odraženého světla dopadajícího na zadní stranu. Této vlastnosti se využívá především v zimním období, kdy jsou panely zapadané sněhem a zároveň sníh odráží velké množství světla. Toto provedení umožňuje zvýšit množství vyrobené energie až o 15 %.

b) Sledovače (trackery)

V případě, že bychom chtěli výrazně zvýšit efektivitu fotovoltaické elektrárny je možné použít natáčecí solární panely, takzvané trackery. Princip spočívá v natáčení fotovoltaických panelů tak, aby co nejlépe kopírovaly sluneční záření od východu k západu. Mezi tyto systémy se řadí například sledovač TRAXLE a hřebenový koncentrátor Super TRAXLE.

Kombinací oboustranného panelu spolu se sledovačem je možno dosáhnout daleko příznivějšího a stabilnějšího průběhu dodávaného výkonu a navýšit tak množství vyrobené energie o dalších 10-20 %. [21]



Obr. 8 Porovnání okamžitého dodávaného výkonu jednotlivých konstrukcí [21]

3.6 Provoz FVE

Fotovoltaická elektrárna může být provozována hned v několika variantách v závislosti na potřebách a možnostech dané lokality (přítomnost napojení na distribuční síť, ekonomická případně ekologická motivace atd.)

3.6.1 Ostrovní režim (grid-off)

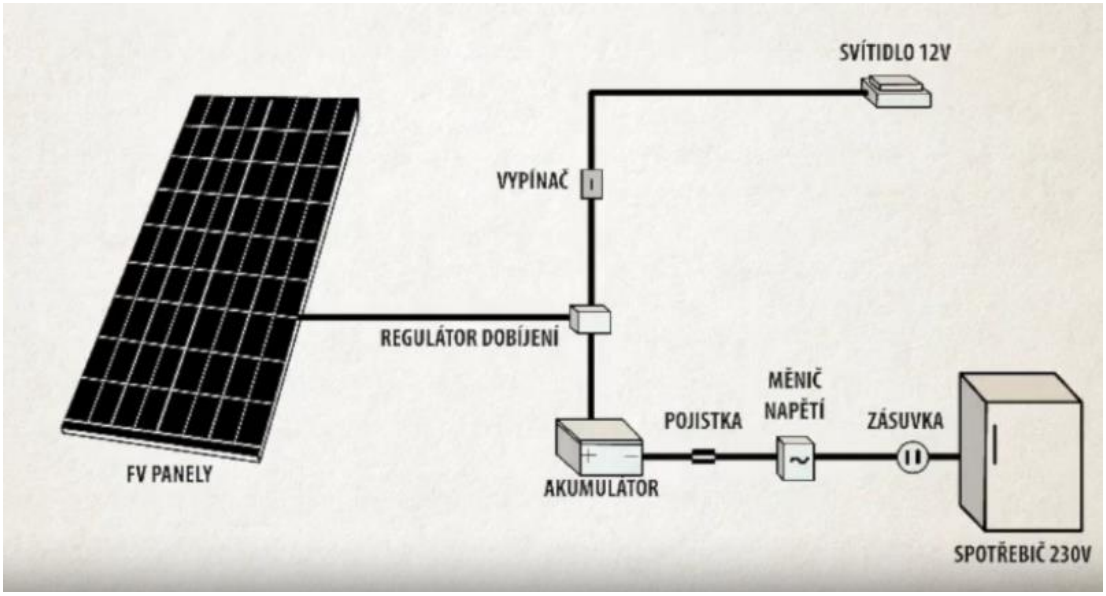
Jak již název napovídá, jedná se o provoz FVE v lokalitách, které neumožňují nebo nevyžadují připojení k distribuční síti. Toto řešení je vhodné například pro odlehlé chaty, kde by bylo potřeba vybudovat přípojku delší než 500 m a bylo by to ekonomicky nevýhodné. Dále je možné tento systém rozdělit do dalších kategorií dle způsobu napájení spotřebičů.

a) Přímé napájení

Zde se uvažuje s přímým napájením spotřebičů solárními panely. Systém obsahuje pouze FV panely, regulátor napětí a spotřebiče. Spotřebiče jsou v tomto případě napájeny výhradně stejnosměrným proudem.

b) S akumulací elektrické energie

Toto řešení již bere v úvahu akumulaci přebytečné vyrobené energie v průběhu dne, například pro napájení spotřebičů v noci. Instalací měniče napětí je také možné napájet běžné spotřebiče. [16]



Obr. 9 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie [16]

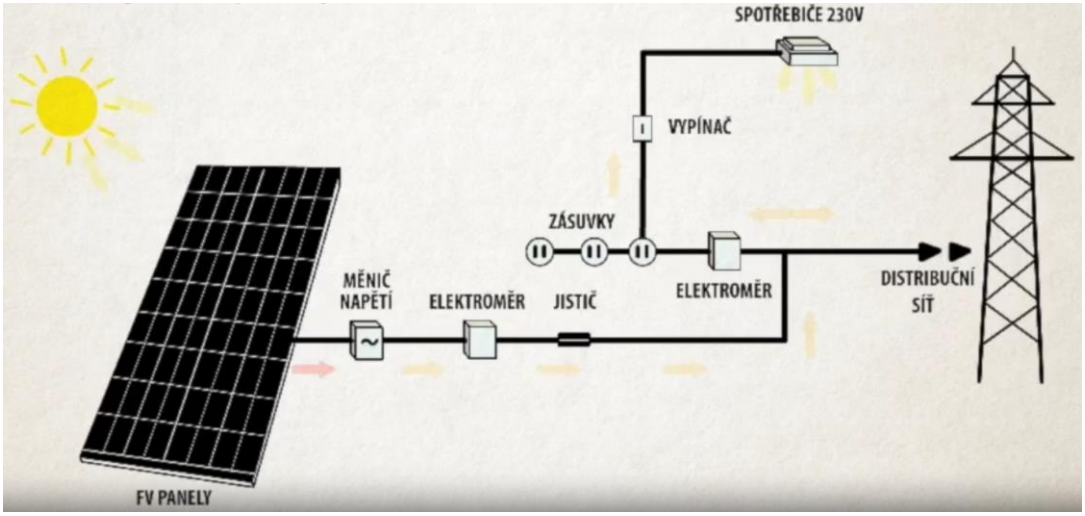
c) Hybridní ostrovní systémy

V případě, že FVE neumožňuje požadované pokrytí spotřeby v daném místě (zimní období, noční provoz), případně by to bylo neekonomické (velká akumulace energie přes den, velký počet FV panelů) je možné systém doplnit pomocným zdrojem. Tím může být například malá vodní / větrná elektrárna.

3.6.2 Systém připojení k síti (grid-connected)

Častějším způsobem provozu FVE je systém připojený k rozvodné síti. Běžně se využívá u rodinných domů, průmyslových objektech ale i jako solární parky. Podnětem pro instalaci je zpravidla ekonomický a ekologický přínos. Takto vyrobenou elektrickou energií lze snížit náklady na provoz v místě spotřeby, případně ji dodávat do distribuční sítě.

V závislosti na konfiguraci je možné systém optimalizovat pro vlastní spotřebu s prodejem přebytku (ušetření nákladů za provoz a zisk z případného prodeje energie) a nebo naopak upřednostnit prodej do sítě (veškerá vyrobená energie je přímo dodávaná do distribuční sítě).



Obr. 10 Systém pro výhradní dodávku do sítě [16]

4 Návrh fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla

4.1 Výběr fotovoltaických panelů

Na dnešním trhu se vyskytuje nepřeberné množství výrobců dodávající fotovoltaické panely v několika různých provedeních a výkonových hladinách. Pro potřeby této práce bylo tedy vybráno několik běžně dostupných panelů k jejich vzájemnému porovnání a vybráním vhodného modelu.

4.1.1 Na základě provedení

První řadě je potřeba určit, jaké provedení panelu (jednostranné nebo bifaciální) bude pro tuto aplikaci nejvhodnější. Za tímto účelem byly vybrány dva panely se stejným instalovaným výkonem. Z porovnání v Tabulce 5 vychází jednostranný panel výhodněji. I přes celkově menší rozměry a o trochu nižší účinnost nabízí stejný instalovaný výkon za podstatně nižší cenu.

Tabulka 5 Porovnání provedení panelů [19]

Výrobce		Canadian Solar	Huansun
Model		CS6L-455 MS	HJT 455Wp
Provedení		Jednostranný	Bifaciální
Výkon	Wp	455	455
Účinnost	%	21,1	21,62
Výška	mm	1 903	2 094
Šířka	mm	1 134	1 038
Plocha	m^2	2,16	2,17
Nominální teplota	°C	-40 až +85	-40 až +85
Nominální napětí	V	34,6	45,04
Nominální proud	A	13,2	10,12
Cena	Kč	2 927	3 612
Cena/výkon	Kč/Wp	6,43	7,94

4.1.2 Na základě instalovaného výkonu

Po vybrání provedení panelu je potřeba se dále zaměřit na výběr podle velikosti instalovaného výkonu. V Tabulce 6 je porovnáno několik modelů od stejného výrobce lišící se velikostí instalovaného výkonu. Účelem porovnání je zjistit, jestli se ekonomicky vyplatí instalovat větší počet méně výkonných panelů, nebo menší počet s větším výkonem.

V přímém porovnání výkonových variant 405, 455 a 550 Wp instalovaného výkonu vychází ekonomicky nejvýhodněji model CS6R-405 MS s náklady 4,46 Kč/Wp a bude tedy použit pro návrh fotovoltaické elektrárny.

Tabulka 6 Srovnání panelů s různými výkony [19]

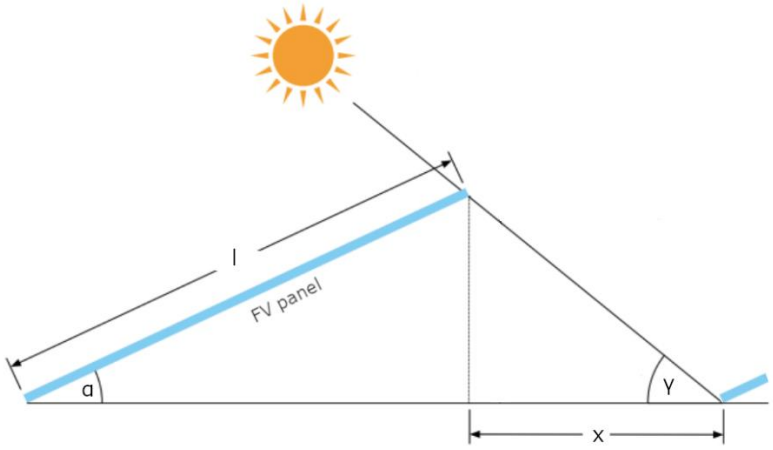
Výrobce		Canadian Solar	Canadian Solar	Canadian Solar
Model		CS6R-405 MS	CS6L-455 MS	CS6W-550 MS
Výkon	Wp	405	455	550
Účinnost	%	20,7	21,1	21,5
Výška	mm	1 722	1 903	2 261
Šířka	mm	1 134	1 134	1 134
Plocha	m^2	1,95	2,16	2,56
Nominální teplota	°C	-40 až +85	-40 až +85	-40 až +85
Nominální napětí	V	31	34,6	41,7
Nominální proud	A	13,07	13,17	13,2
Cena (bez DPH)	Kč	1 806	2 312	3 117
Cena/výkon	Kč/Wp	4,46	5,08	5,67

4.2 Instalace fotovoltaických panelů

TDK představuje poměrně složitý objekt (narozdíl například od výrobních hal, skladů, polí apod.) a není možné instalovat panely na každou střechu díky vzájemnému stínění budov a komínu. Také není možné využít přilehlé odkladiště, které i po modernizaci teplárny si zachovává svojí stávající funkci. Z tohoto důvodu byly FV panely osazeny pouze některé střechy budov teplárny.

Při zadání polohy TDK do PVGIS vychází jako ideální úhel vertikálního natočení panelu 37 ° s orientací na jih (azimut -2 °) pro panely montované na střechu a vertikální natočení 35 ° s azimutem 0 ° pro instalaci na zemi. [11]

Dále byl zvolen montážní systém, na kterém jsou upevněny vertikálně orientované moduly v jedné řadě s horizontálními rozestupy 1 cm. Pro zamezení vzájemného zastínění jednotlivými moduly je nutné provést výpočet vzdálenosti odsazení jednotlivých řad od sebe.



Obr. 11 Odsazení řad (upraveno autorem) [22]

V případě zimního slunovratu je nejnižší polední výška Slunce nad obzorem (16,5 °) a tím pádem roste i míra zastínění. Budeme tedy uvažovat tento nejhorší případ pro výpočet.

$$x = \frac{\sin\alpha \times l \times \cos\beta}{\tan\gamma} = \frac{\sin(37) \times 1722 \times \cos(-2)}{\tan(16{,}5)} = 3\,496 \text{ mm} \quad (4.1)$$

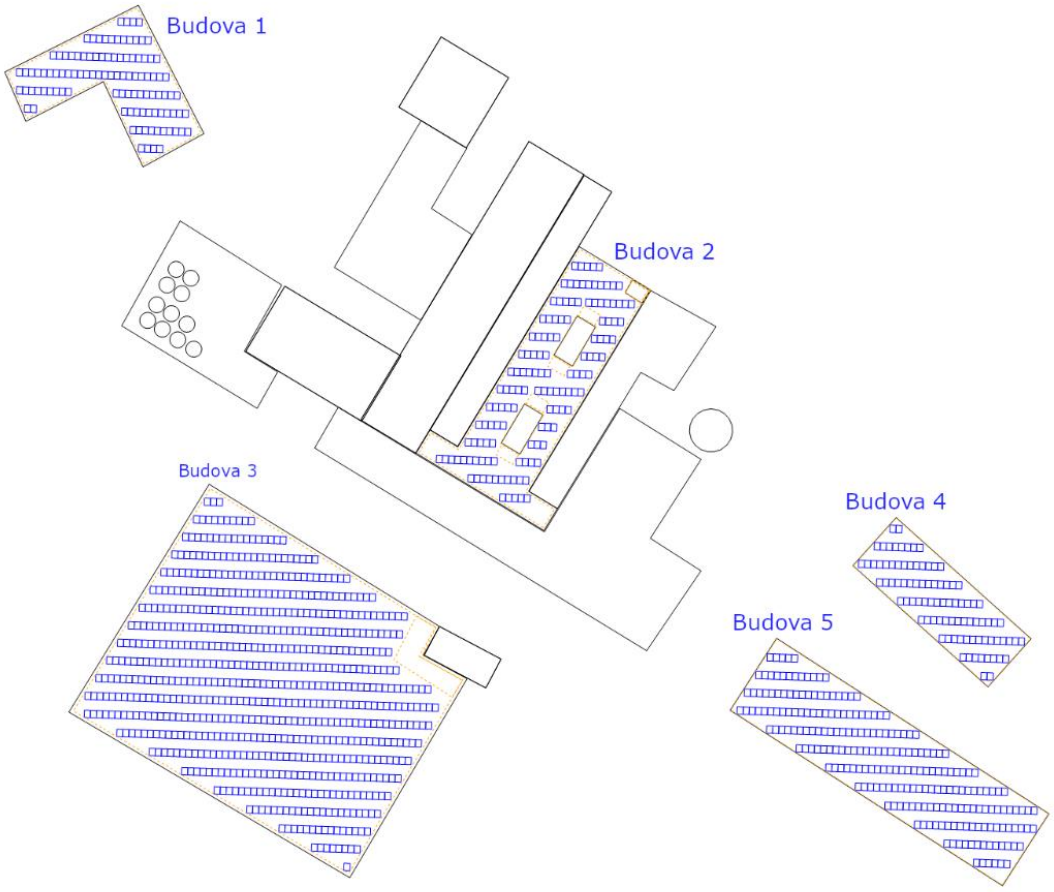
kde x je odsazení řad od sebe (mm), α je úhel vertikálního natočení (°), β je úhel azimutu (°) a γ je výška Slunce nad obzorem (°) [22]

S takto velkými rozestupy mezi řadami je poměr využití plochy střechy poměrně malý a jako kompromis byla zvolena vzdálenost 2 m.

Tímto se FVE rozdělila na několik menších dílčích částí a na každé budově je nainstalován jiný počet panelů (znázorněno na Obr. 12) a z toho vyplývající potřeba použití různě výkonných střídačů. Celkový instalovaný výkon soustavy činí 498,55 kWp z 1 231 panelů.

Tabulka 7 Počet modulů a jejich instalovaný výkon na jednotlivých budovách

	Budova 1	Budova 2	Budova 3	Budova 4	Budova 5
Počet modulů	105	133	678	90	225
Instalovaný výkon (kWp)	42,52	53,87	274	36,45	91,13



Obr. 12 Rozložení fotovoltaických panelů

4.3 Výběr střídačů

Obdobně jako u FV panelů je i zde na trhu velké množství výrobců dodávající měniče v několika výkonových hladinách. Snaha byla vybrat měniče pokud možno od jednoho výrobce.

Tabulka 8 Použité měniče

	Výrobce	Model	Počet
Budova 1	Huawei Technologies	SUN2000-50KTL-M3	1
Budova 2	Huawei Technologies	SUN2000-60KTL-M3	1
Budova 3	Huawei Technologies	SUN2000-100KTL-M1	3
Budova 4	Huawei Technologies	SUN2000-40KTL-M3	1
Budova 5	Huawei Technologies	SUN2000-100KTL-M1	1

Tabulka 9 Parametry měničů [23]

Model		40KTL-M3	50KTL-M3	60KTL-M0	100KTL-M1
Jmen. vstupní napětí	V	200-1 000	200-1 000	200-1 000	200-1 000
Max. MPPT proud	A	26	30	22	30
Výstupní napětí	V	400	400	400	400
Výstupní proud	A	57,8	72,2	95,3	144,4
Výkon	kW	40	50	60	100
Účinnost	%	98,4	98	98,5	98,6
Cena (bez DPH)	Kč	64 072	70 832	55 957	104 563

4.4 Tepelné čerpadlo

Pro výběr vhodného vzorového modelu tepelného čerpadla (s ohledem na požadovaný dodávaný tepelný výkon) je nejprve potřebné znát velikost a průběh tepelného výkonu dodávaného samotnou teplárnou. Tyto hodnoty jsou znázorněny v Grafu 1.

V případě, že by mělo tepelné čerpadlo plně nahradit v letním období plynové kotle, muselo by mít tepelný výkon pohybující se okolo 1,4 MWh_t pro pokrytí špiček. Výhoda tohoto řešení je ta, že není nutné provozovat dva zdroje tepla současně. Další možností je výběr čerpadla o nižším výkonu, které by pouze doplňovalo primární zdroj tepla. Tím by se snížilo množství vyrobeného tepla, došlo by ale k navýšení dodávané elektrické energie v případě přebytků (zejména letní slunečné dny). Jako vzorové čerpadlo bylo pro tuto práci vybráno čerpadlo Oilon S 1200 s tepelným výkonem 1488 kWh_t.

Tabulka 10 Model tepelného čerpadla [24]

Výrobce	Oilon
Model	S 1200
Tepelný výkon (kW_t)	1 488
COP	3
P_e (kW)	496

Přepočet tepelného výkonu na elektrický:

$$P_e = \frac{Pt}{COP} = \frac{1488}{3} = 496 \text{ (kWh)} \tag{4.2}$$

Vhodné umístění čerpadla je poblíž akumulační nádrže pro zamezení ztrát při přenosu teplé vody a její následná akumulace.

5 Model nasazování jednotky TČ + FVE

Nabízí se hned několik možností, jak FVE a TČ provozovat. Snahou je najít nejlepší poměr mezi vyrobeným teplem a výrobou / spotřebou elektrické energie.

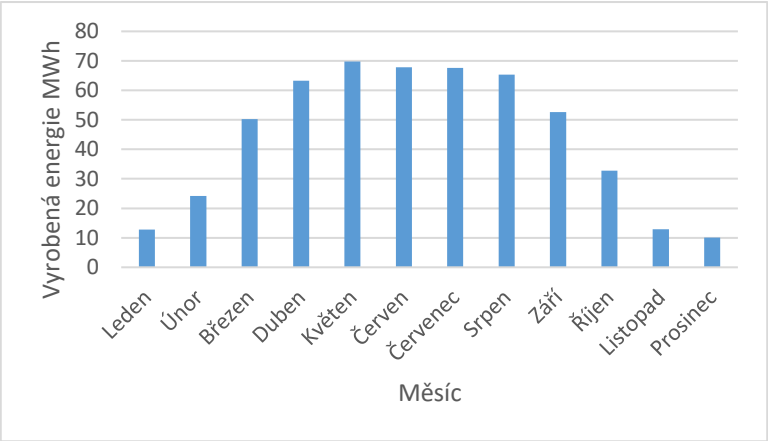
Nejdříve je ale potřeba určit množství vyrobené elektrické energie, které je pro všechny případy shodná. K tomu byl použit nástroj PVGIS.

Vstupními parametry pro výpočet jsou lokalita TDK, instalovaný výkon, systémové ztráty a orientace panelů. Systémové ztráty obsahují znečištění panelů (případné zasněžení), ztráty na kabelech, měniči a transformátoru. Doporučená hodnota pro ztráty činí 14 %.

Tabulka 11 Měsíční produkce elektrické energie FVE [11]

Měsíc	Měsíční produkce (MWh)
Leden	12,82
Únor	24,22
Březen	50,25
Duben	63,32
Květen	69,83
Červen	67,85
Červenec	67,57
Srpen	65,32
Září	52,62
Říjen	32,71
Listopad	12,95
Prosinec	10,08
Celkem	529,55

Kontrola těchto hodnot byla provedena i programem PV*SOL, ve kterém byla provedena simulace řešené FVE za účelem zjištění velikosti přebytků elektrické energie.



Graf 4 Energetický výnos FVE pro lokalitu TDK [11]

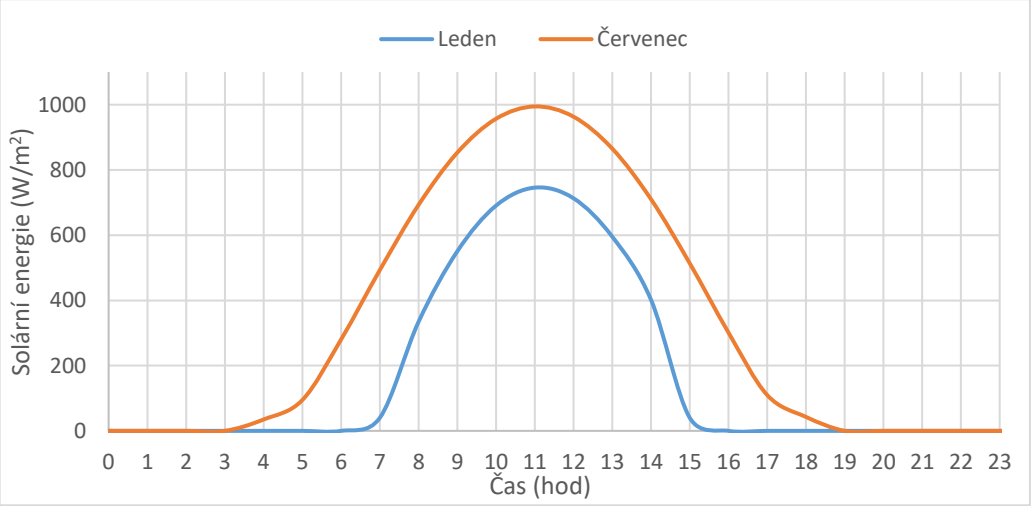
5.1 První model nasazování

První model počítá s nepřetržitým provozem TČ. V průběhu roku bude využit maximální výkonový potenciál čerpadla. V měsících, které to umožňují je využito plného výkonu čerpadla, v ostatních je kopírována aktuální poptávka.

Tabulka 12 První model nasazování

Měsíc	Doba provozu (hod/den)	Dodávaný tepelný výkon (MWt)
Leden	24	1,4880
Únor	24	1,4880
Březen	24	1,4880
Duben	24	1,4880
Květen	24	1,4880
Červen	24	1,1700
Červenec	24	1,0700
Srpen	24	1,0500
Září	24	1,4880
Říjen	24	1,4880
Listopad	24	1,4880
Prosinec	24	1,4880

Vzhledem k tomu, že FVE nevyrábí elektrickou energii v nočních hodinách, je nutné veškerou spotřebu pokrývat dodávkami ze sítě. Ukázkové průběhy dopadu solární energie v místě TDK jsou znázorněny v Grafu 5.



Graf 5 Průběh dopadající solární energie (v lednu a červenci) pro lokalitu TDK [11]

Tabulka 13 Měsíční bilance prvního modelu

Měsíc	Energetický výnos FVE	Spotřeba TČ	Energie ze sítě	Dodávka do sítě	Vyrobené teplo
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh_t
Leden	12,82	369,02	356,22	0,00	1 107,07
Únor	24,22	333,31	309,11	0,00	999,94
Březen	50,25	369,02	318,79	0,00	1 107,07
Duben	63,32	357,12	293,81	0,00	1 071,36
Květen	69,83	369,02	299,21	0,00	1 107,07
Červen	67,85	280,80	213,53	0,57	842,40
Červenec	67,57	265,38	199,47	1,64	796,15
Srpen	65,32	260,40	197,63	2,54	781,20
Září	52,63	357,12	304,51	0,00	1 071,36
Říjen	32,71	369,02	336,33	0,00	1 107,07
Listopad	12,95	357,12	344,19	0,00	1 071,36
Prosinec	10,08	369,02	358,96	0,00	1 107,07
Celkem	529,55	4 056,38	3 531,75	4,76	12 169,13

5.2 Druhý model nasazování

Tento model spočívá v provozování TČ jen v tom případě, kdy FVE vyrábí elektrickou energii. Jak je z Grafu 5 zřejmé, je zapotřebí dobu provozu v jednotlivých měsících upravovat na základě západu a východu Slunce. Tím dojde k zásadnímu snížení výroby tepla v průběhu celého roku, které bude potřeba nahradit primárním zdrojem.

Tabulka 14 Druhý model nasazování

Měsíc	Časové rozmezí provozu	Doba provozu (hod)	Dodávaný tepelný výkon (MWt)
Leden	8:00 - 16:00	8	1,488
Únor	7:00 - 17:00	10	1,488
Březen	6:00 - 18:00	12	1,488
Duben	6:00 - 20:00	14	1,488
Květen	5:00 - 20:00	15	1,488
Červen	5:00 - 21:00	16	1,170
Červenec	5:00 - 21:00	16	1,070
Srpen	6:00 - 20:00	14	1,050
Září	6:00 - 19:00	13	1,488
Říjen	7:00 - 18:00	11	1,488
Listopad	7:00 - 16:00	9	1,488
Prosinec	8:00 - 16:00	8	1,488

Tabulka 15 Měsíční bilance druhého modelu

Měsíc	Energetický výnos FVE	Spotřeba TČ	Energie ze sítě	Dodávka do sítě	Vyrobené teplo
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh_t
Leden	12,82	138,38	125,58	0,00	498,18
Únor	24,22	152,77	128,57	0,00	549,96
Březen	50,25	199,89	149,66	0,00	719,60
Duben	63,32	223,20	159,89	0,00	803,52
Květen	69,83	246,02	176,20	0,00	885,66
Červen	67,85	198,90	131,63	0,57	716,04
Červenec	67,57	187,98	122,06	1,64	676,73
Srpen	65,32	162,75	99,98	2,54	585,90
Září	52,63	208,32	155,71	0,00	749,95
Říjen	32,71	184,51	151,81	0,00	664,24
Listopad	12,95	148,80	135,87	0,00	535,68
Prosinec	10,08	138,38	128,32	0,00	498,18
Celkem	529,54	2 189,90	1 665,28	4,76	7 883,65

I přes značné snížení spotřeby elektrické energie v porovnání s prvním modelem nedochází ke zvýšení její dodávky do sítě. Je tedy zřejmé, že FVE nedokáže plně pokrýt spotřebu a přebytky vznikají jen v létě při sníženém výkonu čerpadla.

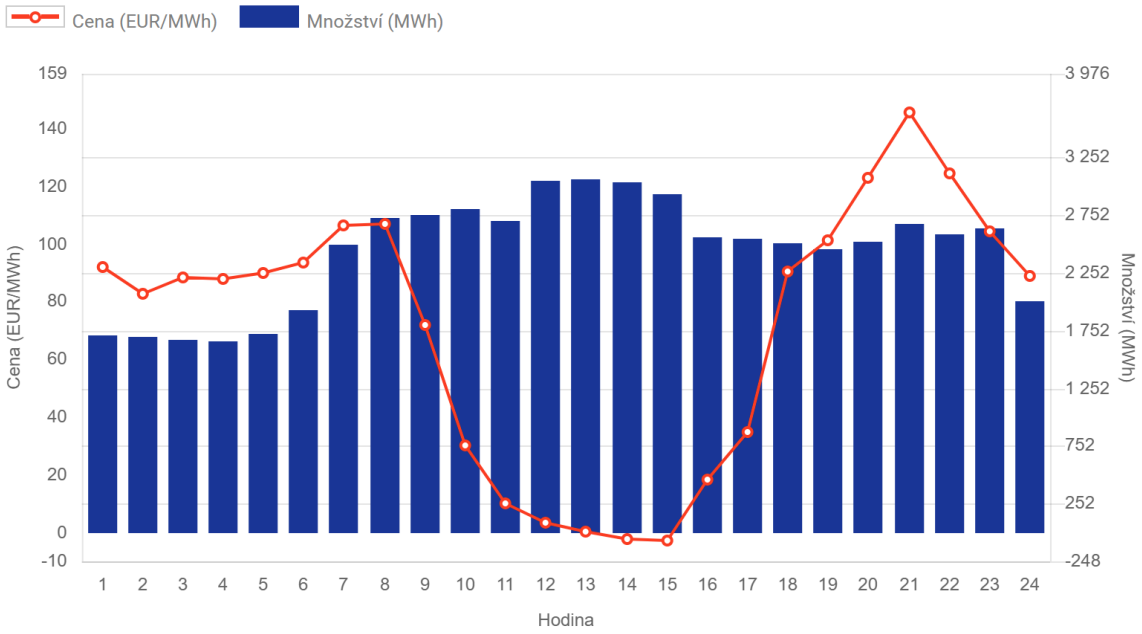
5.3 Třetí model nasazování

Posledním řešeným modelem je dodávka pouze elektrické energie do sítě bez výroby tepla. Vzhledem k vysokým počátečním investičním nákladům spojených s výstavbou FVE a TČ se tato varianta nehodí na dlouhodobý provoz. Je ale možné ji využít při odstávce TČ při servisních úkonech nebo poruše. Výrobní bilance zdroje je uvedena v Tabulce 11.

5.4 Porovnání variant

Srovnáním výše popsaných modelů na základě zisku v jednotlivých měsících bude možné vybrat ten ekonomicky nejvýhodnější, případně i navrhnout jejich kombinace v průběhu roku. K tomu je potřeba znát ceny tepelné a elektrické energie. Na základě dat získaných z OTE byla cena elektrické energie stanovena na 2 345 Kč/MWh. Cenu tepelné energie určuje ČEZ, a. s. Teplárna Dvůr Králové nad Labem a v současné době činí 850 Kč/GJ (3 060 Kč/MWh_t). Výkupní ceny elektrické energie ze solární elektrárny nejsou garantovány zákonem a záleží tedy na výkupní politice každého dodavatele.

Ceny mohou být buď fixní, nebo se řídí spotovým trhem. V případě ČEZ Distribuce je cena určována hodinovým spotovým trhem s odečtenou srážkou 750 Kč/MWh. [29]



Graf 6 Ukázka denního spotového trhu s elektrickou energií [29]

V Grafu 6 je ukázka vývoje cen na spotovém trhu s elektrickou energií. V průběhu dne může dosahovat výkupní cena i záporné hodnoty v případě velkých přebytků energie a je v tomto případě výhodnější ji použít k napájení vlastní spotřeby.

Tabulka 16 Měsíční zisky prvního modelu

Měsíc	Bilance el. energie	Vyrobené teplo	Prodej el.	Prodej tepla	Celkový zisk
	MWh	MWh_t	Kč	Kč	Kč
Leden	-356,22	1 107,07	-835 327	3 387 640	2 552 314
Únor	-309,11	999,94	-724 863	3 059 804	2 334 941
Březen	-318,79	1 107,07	-747 564	3 387 640	2 640 076
Duben	-293,81	1 071,36	-688 985	3 278 362	2 589 377
Květen	-299,21	1 107,07	-701 647	3 387 640	2 685 993
Červen	-212,96	842,40	-499 393	2 577 744	2 078 351
Červenec	-197,82	796,15	-463 890	2 436 232	1 972 342
Srpen	-195,09	781,20	-457 492	2 390 472	1 932 980
Září	-304,51	1 071,36	-714 069	3 278 362	2 564 293
Říjen	-336,33	1 107,07	-788 682	3 387 640	2 598 958
Listopad	-344,19	1 071,36	-807 121	3 278 362	2 471 241
Prosinec	-358,96	1 107,07	-841 761	3 387 640	2 545 879
Celkem	-3 526,99	12 169,13	-8 270 793	37 237 539	28 966 746

Tabulka 17 Měsíční zisky druhého modelu

Měsíc	Bilance el. energie	Vyrobené teplo	Prodej el.	Prodej tepla	Celkový zisk
	MWh	MWh_t	Kč	Kč	Kč
Leden	-125,58	498,18	-294 475	1 524 438	1 229 963
Únor	-128,57	549,96	-301 488	1 682 892	1 381 405
Březen	-149,65	719,60	-350 940	2 201 966	1 851 026
Duben	-159,89	803,52	-374 942	2 458 771	2 083 829
Květen	-176,20	885,66	-413 194	2 710 112	2 296 919
Červen	-131,06	716,04	-307 337	2 191 082	1 883 745
Červenec	-120,42	676,73	-282 378	2 070 788	1 788 410
Srpen	-97,44	585,90	-228 503	1 792 854	1 564 351
Září	-155,71	749,95	-365 133	2 294 853	1 929 720
Říjen	-151,81	664,24	-356 001	2 032 584	1 676 583
Listopad	-135,87	535,68	-318 610	1 639 181	1 320 570
Prosinec	-128,32	498,18	-300 910	1 524 438	1 223 528
Celkem	-1 660,52	7 883,65	-3 893 912	24 123 960	20 230 049

Zisky uvedené pro třetí model v Tabulce 18 jsou počítány ze základní ceny elektrické energie 2 345 Kč/MWh a neodpovídají cenám na spotovému trhu. Představují tedy spíše možné úspory za vlastní spotřebu.

Tabulka 18 Měsíční zisky třetího modelu

Měsíc	Bilance el. energie	Celkový zisk
	MWh	Kč
Leden	12,82	30 072
Únor	24,22	56 784
Březen	50,25	117 829
Duben	63,32	148 488
Květen	69,83	163 740
Červen	67,85	159 111
Červenec	67,57	158 461
Srpen	65,32	153 173
Září	52,63	123 406
Říjen	32,71	76 712
Listopad	12,95	30 363
Prosinec	10,08	23 640
Celkem	529,54	1 241 778

Ze zjištěných dat se jeví jako ekonomicky nejvýhodnější první model, tedy nepřetržitý provoz tepelného čerpadla. Je ale potřeba brát v potaz, že druhý model vyrobí méně tepla. Z tohoto důvodu je potřeba provést porovnání výrobních nákladu na 1 GJ tepla.

Výpočet výrobních nákladů na 1 GJ tepla pro první model:

$$N_{V1} = N_{EL1} / (P_{VYR1} \times 3{,}6) = 8\,270\,793 / (12\,169{,}13 \times 3{,}6) = 188{,}8 \text{ (Kč/GJ)} \quad (5.1)$$

kde N_{V1} jsou výrobní náklady na 1 GJ (Kč), N_{EL1} jsou náklady za spotřebovanou elektrickou energii prvního modelu (Kč), P_{VYR1} je množství vyrobeného tepla prvním modelem (MWh_t)

Výpočet výrobních nákladů na 1 GJ tepla pro druhý model:

$$N_{V2} = N_{EL2} / (P_{VYR2} \times 3{,}6) = 3\,893\,912 / (7\,883{,}65 \times 3{,}6) = 137{,}2 \text{ (Kč/GJ)} \quad (5.2)$$

Výrobní náklady vychází dle očekávání podstatně příznivěji pro druhý model a dochází k průměrné úspoře 51,6 Kč za vyrobený 1 GJ tepla ve srovnání s první variantou. Aby bylo možné vytvořit výsledný model nasazování je potřeba ještě vypočítat výrobní náklady v nejvíce nepříznivém případě a provést porovnání s hlavním zdrojem. Jako nejméně příznivý stav pro FVE a TČ je večerní provoz.

Výpočet výrobních nákladů na 1 GJ ve večerním provozu:

$$N_{Vnoc} = N_{ELnoc} / (COP \times 3{,}6) = 2\,345 / (3 \times 3{,}6) = 217{,}13 \text{ (Kč/GJ)} \quad (5.3)$$

kde N_{Vnoc} jsou výrobní náklady na 1 GJ (Kč) v nočním provozu, N_{ELnoc} jsou náklady za spotřebovanou elektrickou energii (Kč/MWh), COP je topný faktor čerpadla

Dle dat OTE je současná průměrná cena plynu 31 €/MWh, tedy 766,8 Kč (213 Kč/GJ). V případě kotle spalující biomasu jsou průměrné náklady 220 Kč/GJ. [28]
Při dodávce tepla v nočních hodinách je ekonomicky nejvýhodnější plynový kotel s úsporou 4,13 Kč/GJ v porovnání s TČ. Naopak spalování biomasy je o 2,87 Kč/GJ dražší.

5.5 Výsledný model nasazování

První uvažovaný model není z hlediska provozních nákladů nejvýhodnější a zvolen byl druhý model doplňující plynové kotle.

V Tabulce 14 byl uveden časový harmonogram provozu tepelného čerpadla, který byl vytvořen na základě východu a západu Slunce. Tyto časy se nemění skokově a je možné tento algoritmus upřesnit.

Výpočet potřebné ceny 1 MWh elektrické energie k vyrovnání nákladů za plyn:

$$N_{Vpotřebné} = N_{plyn} \times COP \times 3{,}6 = 213 \times 3 \times 3{,}6 = 2\,300 \text{ (Kč/MWh)} \quad (5.4)$$

kde $N_{Vpotřebné}$ jsou hledané výrobní náklady (Kč/MWh), N_{plyn} jsou náklady za plyn (Kč/GJ)

V případě provozu čerpadla na plný výkon (0,496 MWh) lze vypočítat hodinové náklady následovně:

$$0{,}496 \times 2354 = 1167{,}6 \text{ (Kč)} \quad (5.5)$$

Hledané hodinové náklady:

$$0{,}496 \times 2300 = 1140{,}8 \text{ (Kč)} \quad (5.6)$$

Požadované snížení nákladů:

$$1167{,}6 - 1140{,}8 = 26{,}8 \text{ (Kč)} \quad (5.6)$$

Výpočet potřebné dodané energie z FVE:

$$\frac{26{,}8\ (Kč)}{2354\ (\frac{Kč}{MWh})} = 0{,}0114 \text{ (MWh)} = 11{,}4 \text{ (kWh)} \quad (5.7)$$

Pro vyrovnání výrobních nákladů FVE + TČ a základního plynového kotle je zapotřebí snížit spotřebu TČ o 11,4 kW (tedy zhruba o 2,3 %). Díky tomu se výsledný model nasazování zjednoduší.

V případě nočního provozu bez výroby FVE je ekonomicky při současných cenách nejvýhodnější plynový kotel. S východem Slunce a počátkem náběhu dodávek z FVE se velice rychle výrobní náklady přesouvají ve prospěch nového zdroje.

V topné sezóně je stále hlavním zdrojem spalování biomasy s dostatečným instalovaným výkonem pro pokrytí spotřeby, při kterém probíhá současná výroba tepla a elektrické energie.

Na základě spotového trhu je dále potřeba vyhodnotit, jak naložit s přebytky výroby z FVE. Jak již bylo zmíněno, cena této energie se může pohybovat i v záporných hodnotách.

Tabulka 19 Model nasazování

	Mimo topnou sezónu	Topná sezóna
Hlavní zdroj tepla	Plynové kotle nebo tepelné čerpadlo	Biomasa
Noční provoz	Plynové kotle	Plynové kotle a biomasa
Denní provoz	Tepelné čerpadlo	Tepelné čerpadlo a biomasa
Přebytky z FVE	Dle spotového trhu (prodej/vlastní spotřeba)	Nejsou

6 Ekonomické zhodnocení

V této části práce je provedeno celkové zhodnocení ekonomické stránky navrhovaného doplňkového zdroje.

6.1 Investiční náklady

Jako první krok je potřeba vypočítat veškeré náklady spojené s počáteční investicí, tedy nákupem fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla.

6.1.1 Investiční náklady fotovoltaické elektrárny

Mezi tyto náklady spadá nejen cena samotných panelů a měničů, ale i jejich příslušenství a montážní práce.

a) Solární panely

Cena za solární panely a jejich montáž se vztahuje na 1 Wp (celkově použito 1231 panelů, každý o instalovaném výkonu 405 Wp, celkem tedy 498 555 Wp) a jsou dány následující tabulkou:

Tabulka 20 Investiční náklady FV panelů [25]

Položka	Kč/Wp	Cena za 1 panel (Kč)	Výsledné náklady (Kč)
Transformátor	2	810	997 110
Mechanické konstrukce	6	2 430	2 991 330
Kabeláž a rozvody	5	2 025	2 492 775
Stavební práce	9	3 645	4 486 995
Zabezpečovací zařízení	2	810	997 110
Zázemí pro obsluhu	2,7	1 094	1 346 099
Fotovoltaický panel	4,46	1 806	2 223 555
Celkem	31,16	12 620	15 534 974

b) Měniče

Tabulka 21 Investiční náklady měničů

Model	Počet	Cena za ks (Kč)
SUN2000-50KTL-M3	1	70 832
SUN2000-60KTL-M3	1	55 957
SUN2000-100KTL-M1	4	104 563
SUN2000-40KTL-M3	1	64 072
Celkem (Kč)	609 113	

6.1.2 Investiční náklady tepelného čerpadla

Vzhledem k tomu, že výrobce čerpadla veřejně neuvádí jeho cenu, bude proveden cenový odhad na základě zkušeností z praxe a požadavků výběrových řízení. Ty stanovují cenově rozpětí 20 – 30 tis. Kč/kW_t. Zvolena byla nejvyšší cenová hranice s předpokladem, že v ceně budou zahrnuty i náklady na výstavbu a zprovoznění čerpadla. [26]

$$N_Č = N_{OD} \times P_t = 30000 \times 1488 = 44\,640\,000 \text{ Kč} \quad (6.1)$$

kde $N_Č$ jsou investiční náklady za čerpadlo (Kč), N_{OD} je cenový odhad za 1 kW_t instalovaného tepelného výkonu (Kč/kW_t) a P_t je instalovaný tepelný výkon čerpadla (kW_t)

6.1.3 Celkové investiční náklady

Výše celkových počátečních nákladu se určí součtem všech výše zmíněných nákladů.

$$N_i = N_Č + N_M + N_{FVE} = 44\,640\,000 + 609\,113 + 15\,534\,974 = 60\,784\,087 \text{ Kč} \quad (6.2)$$

kde N_i jsou celkové náklady (Kč), $N_Č$ náklady za čerpadlo (Kč), N_M náklady za měniče (Kč) a N_{FVE} jsou náklady za FVE (Kč)

6.2 Úspora nákladů na výrobu

V předchozí kapitole byl vytvořen model nasazování nového zdroje. Hlavním požadavkem byla dodávka tepla s co nejmenšími náklady. K zjištění návratnosti investice je zapotřebí provést výpočet úspory nákladů v průběhu roku.

Výpočet úspory pro první měsíc:

$$N_Ú = (N_{PL} \times P_{VYR}) – N_{TČ} = (766{,}8 \times 498{,}18) - 294\,475 = 87\,531 \text{ Kč} \quad (6.3)$$

kde $N_Ú$ jsou úspory v daném měsíci (Kč), N_{PL} je cena plynu (Kč/MWh), P_{VYR} je množství vyrobeného tepla (MWh) a $N_{TČ}$ jsou náklady na spotřebu TČ (Kč)

Tabulka 23 Úspora nákladů

Měsíc	Náklady na spotřebu TČ	Vyrobené teplo	Náklady na plyn	Úspora nákladů
	Kč	MWh_t	Kč	Kč
Leden	294 475	498,18	382 006	87 531
Únor	301 488	549,96	421 713	120 225
Březen	350 940	719,60	551 787	200 847
Duben	374 942	803,52	616 139	241 197
Květen	413 194	885,66	679 122	265 929
Červen	307 337	716,04	549 059	241 722
Červenec	282 378	676,73	518 915	236 537
Srpen	228 503	585,90	449 268	220 765
Září	365 133	749,95	575 063	209 930
Říjen	356 001	664,24	509 342	153 340
Listopad	318 610	535,68	410 759	92 149
Prosinec	300 910	498,18	382 006	81 096
Celkem	3 893 912	7 883,65	6 045 181	2 151 269

Zaručená doba životnosti fotovoltaických panelů je výrobcem stanovena na 25 let (lineární pokles výkonu) a u tepelných čerpadel se pohybuje v rozmezí 20 až 25 let. V tento moment se znalostí investičních nákladů a úspor je možné provést orientační výpočet doby návratnosti investice.

$$T_n = \frac{Ni}{Núc} = \frac{60\,784\,087}{2\,151\,269} = 28{,}26 \text{ let} \tag{6.4}$$

kde $\boldsymbol{T_n}$ je doba návratnosti (rok), $\boldsymbol{N_i}$ jsou investiční náklady (Kč) a $\boldsymbol{N_{ÚC}}$ jsou celkové úspory za rok (Kč/rok)

Vypočítaná odhadovaná doba návratnosti přesahuje předpokládanou životnost TČ a FVE. Je tedy zřejmé, že výstavba uvažovaného tepelného zdroje jako náhrady nebo doplnění stávajícího zdroje za účelem snížení výrobních nákladů není ekonomicky výhodná.

V následující části práce je tedy provedeno ekonomické zhodnocení navrhovaného systému jako samostatného zdroje tepla za účelem ověření možnosti provozu alespoň v tomto režimu (například výstavba nové teplárny, údržba kotle v letním období, velké výkyvy cen plynu apod.). V případě samostatného zdroje ho již není možné provozovat ve druhém modelu z důvodu potřeby neustálé dodávky tepla.

6.3 Odpisy

Odpisy představují opotřebení majetku za určité období vyjádřené v penězích. Jedná se tedy o určitou část investičních nákladů, které se v daném období uplatňují jako náklad (výdaj). Počáteční investice je v tomto případě vyšší než 80000 Kč, je nutné provádět postupné odepisování investičních nákladů a nelze je uplatnit jednorázově dle Zákona o daních z příjmu č.586/1992 Sb.

Odpisy se dělí do několik skupin na základě majetku, který je odepisován a z nich vyplývající době jejich odepisování a výše sazby v jednotlivých letech. [27]

Tabulka 24 Roční odpisové sazby pro hmotný majetek [27]

Odpisová skupina	Sazby v prvním roce odpisování	Sazby v dalších letech odpisování	Počet let odepisování	Příklad majetku
1	20	33,3	3	Počítače a kancelářská technika
2	11	20	5	Firemní auto, nábytek
3	5,5	10	10	Výtahy, kotle, vytápění
4	2,12	5	20	Budovy ze dřeva, osvětlení
5	1,4	3,4	30	Mosty, silnice
6	1,02	2	50	Administrativní budovy, školy

Tepelné čerpadlo a fotovoltaická elektrárnu spadá do třetí odpisové skupiny a výpočet v případě rovnoměrných odpisů je následující:

$$N_{O1} = \frac{Ni \times kr1}{100} = \frac{60\,784\,087 \times 5{,}5}{100} = 3\,343\,125 \text{ Kč} \tag{6.5}$$

kde N_{O1} jsou odpisy v prvním roce (Kč), N_i jsou investiční náklady (Kč), kr_1 jsou sazby v prvním roce.

$$N_{On} = \frac{Ni \times krn}{100} = \frac{60\,784\,087 \times 10}{100} = 6\,078\,409 \text{ Kč} \tag{6.6}$$

kde N_{On} jsou odpisy v n-tém roce (Kč), N_i jsou investiční náklady (Kč), kr_n jsou sazby v n-tém roce.

6.4 Stárnutí FVE

Se zvyšujícím se věkem klesá výkon fotovoltaického panelu a s tím i celkové množství vyrobené energie. Výrobce udává, že v prvním roce provozu nepoklesne výkon panelu o více než 2 % a v následujících letech 0,55 %. [19]

Tabulka 25 Vliv stárnutí panelů na výrobu

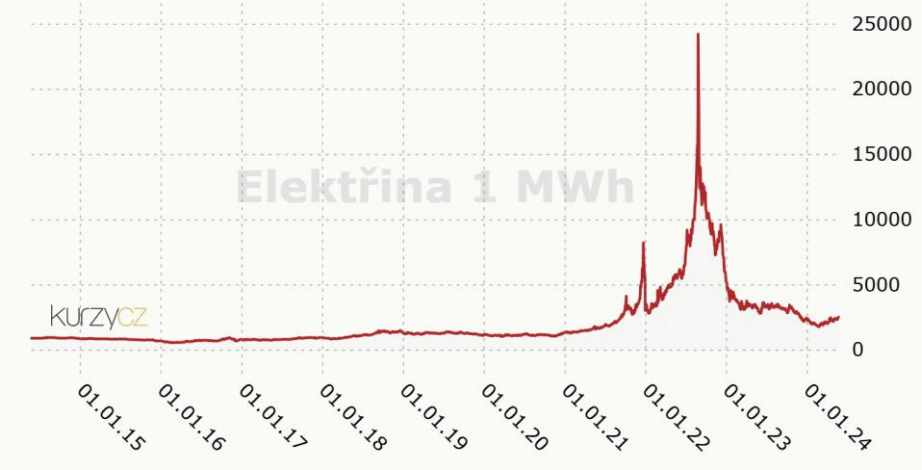
Rok	Energetický výnos FVE
	MWh
1	518,96
2	516,10
3	513,26
4	510,44
5	507,63
6	504,84
7	502,07
8	499,30
9	496,56
10	493,83
11	491,11
12	488,41
13	485,72
14	483,05
15	480,39

Po 15 letech provozu FVE lze očekávat snížení výroby o 38,57 MWh při maximálním dovoleném meziročním poklesu výkonu panelů.

6.5 Vývoj cen v následujících letech

Pro určení zisků a nákladů v následujících letech je potřeba znát cenový vývoj elektrické energie a dodávaného tepla. Vývoj cen je pro následující roky složité určit, jak je patrné na příkladu v Grafu 7. Obdobný vývoj je možné zaznamenat i u cen plynu. Provedu tedy cenový odhad na základě vývoje za posledních 10 let.

V roce 2014 stála 1 MWh elektrické energie 939 Kč a došlo k průměrnému meziročnímu zdražení o 142 Kč. V témže roce byl 1 GJ tepla prodáván teplárnou za 369 Kč, což odpovídá meziročnímu zdražení o 48 Kč. Tento odhad cen slouží pouze k teoretickému dlouhodobému zhodnocení pro účely této práce.



Graf 7 Cenový vývoj elektrické energie v průběhu let [29]

6.6 Vlastní náklady

Mezi tyto náklady jsou zařazeny například mzdové náklady a pojištění. Teplárna pracuje v nepřetržitém provozu v průběhu celého roku a je tedy potřeba zajistit dostatek pracovníků. Zvoleno bylo 10 zaměstnanců pracující za průměrnou mzdu 43 300 Kč měsíčně. Jako pojistné bude bráno 1% investiční hodnoty ročně, tedy 607 800 Kč/rok. Měsíční platy i pojištění se každý rok budou navyšovat o inflaci 3 %.

Tabulka 26 Vlastní náklady

Rok	Náklady na mzdy	Pojištění	Celkové vlastní náklady
	Kč	Kč	Kč
1	433 000	607 840	1 040 840
2	445 990	626 075	1 072 065
3	459 370	644 857	1 104 227
4	473 151	664 203	1 137 354
5	487 345	684 129	1 171 475
6	501 966	704 653	1 206 619
7	517 025	725 793	1 242 817
8	532 535	747 567	1 280 102
9	548 511	769 994	1 318 505
10	564 967	793 093	1 358 060
11	581 916	816 886	1 398 802
12	599 373	841 393	1 440 766
13	617 354	866 634	1 483 989
14	635 875	892 634	1 528 509
15	654 951	919 413	1 574 364

6.7 Výpočet odhadovaných zisků

V Tabulce 27 jsou vypočítány odhadované zisky v jednotlivých letech provozu navrhovaného zdroje. Dodávané množství tepla bylo uvažováno pro všechny roky stejné.

Výpočet zisku v prvním roce:

$$N_{T1} = N_{TEP1} - N_{EL1} - N_{VL1} - N_{O1} = 37\,237\,539 - 8\,302\,536 - 1\,040\,840 - 3\,343\,125 = 24\,551\,038 \text{ Kč} \quad (6.7)$$

kde $\boldsymbol{N_{T1}}$ jsou tržby v prvním roce (Kč), $\boldsymbol{N_{TEP1}}$ jsou tržby z tepla (Kč), $\boldsymbol{E_{L1}}$ jsou náklady za spotřebovanou elektrickou energii (Kč), $\boldsymbol{N_{VL1}}$ jsou vlastní náklady (Kč) a $\boldsymbol{N_{O1}}$ jsou odpisy v prvním roce (Kč)

Takto provozovaný tepelný zdroj vykazuje díky nízkým provozním nákladům (ve srovnání například s plynovým kotlem) a cenovému nastavení dodávky tepla krátkou dobu návratnosti, která nepřekračuje 5 let.

Je ale zapotřebí brát v potaz, že v předkládaných výpočtech nejsou zahrnuty všechny náklady spojeny s dlouhodobým provozem (údržba a nákup náhradních dílů pro TČ a FVE, údržba objektu a tepelných rozvodů, vlastní spotřeba, budoucí investice apod.) a bylo použito několik zjednodušujících předpokladů (vývoj cen energií, nejhorší možné průběhy stárnutí, stále opakující se počasí apod.). Velký podíl také mohou mít případné úroky z úvěru vzhledem k výši počáteční investice.

Tabulka 27 Roční odhadované zisky

Rok	Bilance el. energie	Cena elektrické energie	Nákup elektrické energie	Výrobené teplo	Cena tepelné energie	Tržby z prodej tepla	Vlastní náklady	Odpisy	Zisk před zdaněním	Zisk po zdanění (21 %)
	MWh	Kč/MWh	Kč	MWht	Kč/MWht	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
1	-3 526,99	2 354	8 302 536	12 169,13	3 060,00	37 237 539	1 040 840	3 343 125	24 551 038	19 395 320
2	-3 529,85	2 496	8 810 493	12 169,13	3 232,80	39 340 365	1 072 065	6 078 409	23 379 397	18 469 724
3	-3 532,68	2 638	9 319 219	12 169,13	3 280,80	39 924 483	1 104 227	6 078 409	23 422 627	18 503 876
4	-3 535,51	2 780	9 828 708	12 169,13	3 328,80	40 508 601	1 137 354	6 078 409	23 464 130	18 536 663
5	-3 538,31	2 922	10 338 954	12 169,13	3 376,80	41 092 720	1 171 475	6 078 409	23 503 882	18 568 067
6	-3 541,11	3 064	10 849 949	12 169,13	3 424,80	41 676 838	1 206 619	6 078 409	23 541 861	18 598 070
7	-3 543,88	3 206	11 361 688	12 169,13	3 472,80	42 260 956	1 242 817	6 078 409	23 578 042	18 626 653
8	-3 546,64	3 348	11 874 164	12 169,13	3 520,80	42 845 074	1 280 102	6 078 409	23 612 399	18 653 795
9	-3 549,39	3 490	12 387 372	12 169,13	3 568,80	43 429 193	1 318 505	6 078 409	23 644 907	18 679 477
10	-3 552,12	3 632	12 901 304	12 169,13	3 616,80	44 013 311	1 358 060	6 078 409	23 675 537	18 703 675
11	-3 554,84	3 774	13 415 956	12 169,13	3 664,80	44 597 429	1 398 802	0	29 782 671	23 528 310
12	-3 557,54	3 916	13 931 320	12 169,13	3 712,80	45 181 547	1 440 766	0	29 809 461	23 549 474
13	-3 560,22	4 058	14 447 391	12 169,13	3 760,80	45 765 666	1 483 989	0	29 834 285	23 569 085
14	-3 562,90	4 200	14 964 164	12 169,13	3 808,80	46 349 784	1 528 509	0	29 857 112	23 587 118
15	-3 565,55	4 342	15 481 631	12 169,13	3 856,80	46 933 902	1 574 364	0	29 877 908	23 603 547

7 Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo provést návrh doplňkového zdroje tepla ke stávajícím zdrojům v teplárně Dvůr Králové nad Labem.

V úvodu práce jsem provedl popsání stávajícího provozu teplárny za účelem zjištění požadavků na dodávaný výkon tepelného čerpadla. V teoretické části jsou následně popsány základní principy fungovaní tepelných čerpadel a fotovoltaické elektrárny.

Praktická část obsahuje konkrétní návrh jednotlivých částí nového zdroje. U fotovoltaické elektrárny jsem vycházel z prostorových limitací objektu teplárny a vytvořil model rozmístění panelů, jejich počet a prostorovou orientaci.

Z běžně dostupných fotovoltaických panelů je proveden výběr konkrétního typu na základě poměru cena/výkon a k jednotlivým blokům FVE jsem přiřadil střídače. Se znalostí velikosti a průběhu dodávek tepla byl proveden výběr adekvátního tepelného čerpadla.

Další kapitola se zabývá modely nasazování TČ a FVE. Řešeny byly tři různé modely, každý pracující v jiném režimu. První model spočíval v nepřetržitém provozu tepelného čerpadla, který by zejména v letních měsících nahrazoval stávající plynový kotel. Druhým modelem byla kombinace plynového kolte a tepelného čerpadla v závislosti na výrobě elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou. Poslední řešený model byl pak spíše okrajový ve formě čisté dodávky elektrické energie do sítě bez výroby tepla. K těmto modelům jsem vypracoval bilanční výpočty za účelem výběru toho ekonomicky nejvýhodnějšího.

Kombinace tepelného čerpadla a plynového kotle vedla k nejnižším provozním nákladům ze všech řešených modelů. Tyto provozní náklady by bylo možné ještě dále snížit výběrem výkonnějších fotovoltaických panelů, které by vzhledem k již vysokým investičním nákladům za FVE nepředstavovaly dramatické navýšení ceny. Případně zvolit jiné natočení fotovoltaických panelů, které by umožnilo instalaci většího počtu modulů i za cenu snížení účinnosti.

Ukázalo se ale, že ačkoliv navrhovaný doplňkový zdroj by umožnil snížit stávající provozní náklady, díky velikosti počáteční investice není jako náhrada stávajícího zdroje ekonomicky výhodný a jeho doba návratnosti přesahuje garantovanou dobu životnosti výrobce.

Literatura

[1] Dvůr Králové nad Labem, *Strategie a rozvoj města 2016-2022* [online]. [cit. 2023.10.11]. Dostupné z https://www.mudk.cz/cs/rozvoj/rozvoj-mesta/strategie-rozvoje-2016-2022/

[2] Svět energie, *Elektrárny Poříčí* [online]. [cit. 2023.10.11]. Dostupné z https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelne-elektrarny-cez/elektrarny-porici

[3] Skupina ČEZ, *Mapa výrobních zdrojů* [online]. [cit. 2023.10.11]. Dostupné z https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/mapa-vyrobnich-zdroju

[4] Skupina ČEZ, *O společnosti* [online]. [cit. 2023.10.15]. Dostupné z https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/elektrarna-porici-soucasti-organizacni-jednotky-teplarny-hodonin-porici-tisova-50569

[5] ČEZ Teplárenská, *Provozní oddělení Dvůr Králové nad Labem* [online]. [cit. 2023.10.11]. Dostupné z https://www.cezteplarenska.cz/cs/kontakty/zakladni-kontakty/provozni-jednotka-dvur-kralove-12045

[6] TZB-info, *Tepelné čerpadla* [online]. [cit. 2023.10.15]. Dostupné z https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace

[7] TZB-info, *AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2022.10.11]. Dostupné z https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel

[8] Abeceda čerpadel, *Topný faktor* [online]. [cit. 2023.11.18]. Dostupné z https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla

[9] E15 FinExpert.cz, *Jak funguje tepelné čerpadlo? Cena, dotace a jak vybrat správný typ pro domácnost* [online]. [cit. 2023.11.20]. Dostupné zhttps://www.e15.cz/finexpert/setrime/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-cena-dotace-a-jak-vybrat-spravny-typ-pro-domacnost-1389518#zeme_voda

[10] EkoWatt, *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS)* [online]. [cit. 2023.12.11]. Dostupné z https://fotovoltaika.ekowatt.cz/pvgis.php

[11] PVGIS, *Interactive tools* [online]. [cit. 2023.12.11]. Dostupné z https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[12] TZB-info, *Jaký je nejlepší sklon a orientace fotovoltaických panelů pro solární pole?* [online]. [cit. 2023.12.11]. Dostupné z https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22703-jaky-je-nejlepsi-sklon-a-orientace-fotovoltaickych-panelu-pro-solarni-pole

[13] ČVUT, *Základy tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2023.12.15]. Dostupné z http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf

[14] TZB-info, *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP* [online]. [cit. 2023.12.18]. Dostupné zhttps://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivity-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop

[15] VRTEK, Mojmírek, *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2023.12.20]. Dostupné z https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9542.pdf

[16] Ing. Ladislav Chmel, Ing. Ivo Hamerník. *Fotovoltaika, fototermika*. Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno, ISBN 978-80-88058-02-1

[17] ResearchGate, *Solar panel types* [online]. [cit. 2024.1.2] Dostupné z https://www.researchgate.net/figure/Solar-panel-types-a-mono-crystalline-silicon-b-poly-crystalline-silicon-and-c_fig20_305689374

[18] O energetice, *Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2024.1.3]. Dostupné z https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti

[19] ARGOS elektro, *Fotovoltaika, e-mobilita* [online]. [cit. 2024.1.3]. Dostupné z https://argos.cz/sekce/32-fotovoltaika

[20] ČEZ, *Fyzikální principy záření* [online]. [cit. 2024.1.3]. Dostupné z https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k11.htm

[21] TZB-info, *Vysoce účinné fotovoltaické systémy s trackery a koncentrátory záření* [online]. [cit. 2024.1.5]. Dostupné z https://www.tzb-info.cz/3542-vysoce-ucinne-fotovoltaicke-systemy-s-trackery-a-koncentratory-zareni

[22] Greenwoodsolutions, *Panel row spacing, the space race* [online]. [cit. 2024.2.14]. Dostupné z https://www.greenwoodsolutions.com.au/news-posts/panel-row-spacing-the-space-race

[23] Solar Huawie, *Produkty* [online]. [cit. 2024.2.16]. Dostupné z https://solar.huawei.com/cz/professionals/all-products

[24] Oilon, *Industrial heat pumps* [online]. [cit. 2024.3.11]. Dostupné z https://oilon.com/en-gb/products-gb/industrial-heat-pumps/

[25] Ing. Tomáš Novák, Ph.D., Ing. Jaroslav Šnobl, prof. Ing. Karel Sokanský, CSc, *FVE z pohledu investičních nákladů a návratnost*, časopis Světlo 2010/6, strana 49. Dostupné z http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42562.pdf

[26] ČEZ, *Potenciál průmyslových tepelných čerpadel v ČEZ, a.s.* [online]. [cit. 2024.3.15] Dostupné z https://www.tespo-eng.cz/images/zpravy/48-25-rocnik-konference-technologie-pro-elektrarny-a-teplarny-na-tuha-paliva-minulosti/Prednasky_MEDLOV_2023_pdf/CEZ-Potencil_prmyslovch_tepelnch_erpadel_v_CEZ.pdf

[27] Kurzy, *Zákon o daních z příjmů č. 586/1992 Sb.* [online]. [cit. 2024.3.19]. Dostupné z § https://www.kurzy.cz/zakony/586-1992-zakon-o-danich-z-prijmu/paragraf-31/

[28] Energetický regulační úřad, *Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj* [online]. [cit. 2024.4.14]. Dostupné z https://eru.gov.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/vyhodnoceni-cen-tepelne-energie-jejich-vyvoj.pdf

[29] Kurzy, *Energie – vývoj cen energií na komoditních trzích* [online]. [cit. 2024.5.10]. Dostupné z https://www.kurzy.cz/komodity/energie/

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: Lokalita TDK 2
OBRÁZEK 2: Princip tepelného čerpadla 6
OBRÁZEK 3: Idealizovaný Rankinův oběh 7
OBRÁZEK 4: Princip absorpčního tepelného čerpadla 8
OBRÁZEK 5: Spektrum elektromagnetického záření 11
OBRÁZEK 6: Voltampérová charakteristika panelu 12
OBRÁZEK 7: Ukázka panelů, (a) monokrystalický, (b) polykrystalicky (c) amorfní .. 14
OBRÁZEK 8: Porovnání okamžitého dodávaného výkonu jednotlivých konstrukcí .. 15
OBRÁZEK 9: Ostrovní systém s akumulací elektrické energie 16
OBRÁZEK 10: Systém pro výhradní dodávku do sítě 17
OBRÁZEK 11: Odsazení řad (upraveno autorem) 20
OBRÁZEK 12: Rozložení fotovoltaických panelů 21

Seznam grafů

GRAF 1: Hodnoty dodávaného tepelného výkonu a teploty dodávané vody 5
GRAF 2: Průběhy dodávaného tepelného výkonu během zimního a letního dne 5
GRAF 3: Hodnoty dopadající solární energie pro lokalitu TDK 12
GRAF 4: Energetický výnos FVE pro lokalitu TDK 23
GRAF 5: Průběh dopadající solární energie (v lednu a červenci) pro lokalitu TDK 24
GRAF 6: Ukázka denního spotového trhu s elektrickou energií 27
GRAF 7: Cenový vývoj elektrické energie v průběhu let 37

Seznam tabulek

TABULKA 1: Přehled instalovaných kotlů 3
TABULKA 2: Parametry dodávané teplonosné látky 4
TABULKA 3: Hodnoty dodávaného tepelného výkonu a tepla 4
TABULKA 4: Minimální topné faktory čerpadel 9
TABULKA 5: Porovnání provedení panelů 18
TABULKA 6: Srovnání panelů s různými výkony 19
TABULKA 7: Počet modulů a jejich instalovaný výkon na jednotlivých budovách 20

TABULKA 8: Použité měniče 21
TABULKA 9: Parametry měničů 22
TABULKA 10: Model tepelného čerpadla 22
TABULKA 11: Měsíční produkce elektrické energie FVE 23
TABULKA 12: První model nasazování 24
TABULKA 13: Měsíční bilance prvního modelu 25
TABULKA 14: Druhý model nasazování 25
TABULKA 15: Měsíční bilance druhého modelu 26
TABULKA 16: Měsíční zisky prvního modelu 27
TABULKA 17: Měsíční zisky druhého modelu 28
TABULKA 18: Měsíční zisky třetího modelu 29
TABULKA 19: Model nasazování 31
TABULKA 21: Investiční náklady FV panelů 32
TABULKA 22: Investiční náklady měničů 33
TABULKA 23: Úspora nákladů 34
TABULKA 24: Roční odpisové sazby pro hmotný majetek 35
TABULKA 25: Vliv stárnutí panelů na výrobu 36
TABULKA 26: Vlastní náklady 37
TABULKA 27: Roční odhadované zisky 39

Přílohy