

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh integrace sluneční elektrárny v provozu malé  
teplárny spalující biomasu (TDK)**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal VELÍŠEK**  
Osobní číslo: **E11N0141P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**  
Název tématu: **Návrh integrace sluneční elektrárny v provozu malé teplárny spalující biomasu (TDK)**  
Zadávací 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 princip provozu teplárny Dvůr Králové a definujte princip sluneční elektrárny.
2. Proveďte swot analýzu společné výroby elektřiny a tepla z OZE.
3. Navrhněte možné aplikace sluneční elektrárny do technologické koncepce teplárny.
4. Vypočtěte provozní veličiny a stanovte možné úspory.
5. Proveďte ekonomické posouzení výhodnosti společného provozu teplárny a sluneční elektrárny (NPV, CF, IRR, Tnávr, break-even).

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 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: **Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**



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



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

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Tato diplomová práce je zaměřena na integraci solárního systému do provozu malé teplárny spalující biomasu ve Dvoře Králové nad Labem. V první části jsou popsány technologie využívající solární energii. Další část je zaměřena na popis provozu teplárny a hlavních technologických celků. V další je vytvořena SWOT analýza společné výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie. Hlavní částí práce je návrh integrace termického solárního systému a fotovoltaického systému a jejich ekonomické hodnocení.

## **Klíčová slova**

Obnovitelné zdroje energie, solární energie, fotovoltaická elektrárna, koncentrační solární elektrárna, solární termický systém, SWOT analýza, finanční toky, bod zvratu, vnitřní míra výnosu, čistá současná hodnota

## **Abstract**

This diploma thesis is focused on integration of solar system in a small heating plant combusting a biomass in Dvůr Králové nad Labem. In the first part are described technologies used for utilization of solar energy. The next part is focused on description of heating plant operation and main technological units. In the next one is created a SWOT analysis of cogeneration electricity and heating from recoverable resources of energy. The main part of this thesis is the proposal of integration thermal solar system and photovoltaic system and their economical evaluation.

## **Key words**

Renewable sources of energy, solar energy, photovoltaic power plant, concentrating solar power plant, solar thermal system, SWOT analysis, cash flow, break-even, internal rate of return, net present value

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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 bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7.5.2013

Podpis

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Zbyňku Martínkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Stejně tak i konzultantovi Ing. Jiřímu Benešovi, Ph.D. za poskytnutí důležitých informací pro vypracování této diplomové práce.

Dále děkuji společnosti INTERSEKCE s.r.o. za poskytnutí praktických informací k vypracování této diplomové práce, zejména panu Ing. Josefu Ledvinovi za jeho ochotu a věnovaný čas.

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk .....	4
1 Úvod.....	5
2 Obnovitelné zdroje energie (OZE) .....	6
2.1 Využití obnovitelných zdrojů energie.....	6
3 Systémy využívající obnovitelné zdroje energie .....	8
3.1 Solární energie .....	9
3.2 Solární systémy.....	9
3.2.1 Fotovoltaika (přímá přeměna solární energie na elektrickou) .....	9
3.2.1.1 Princip fotovoltaického článku.....	9
3.2.1.2 Fotovoltaické systémy .....	10
3.2.1.3 Rozdělení fotovoltaických systémů.....	10
3.2.1.3.1 Drobné aplikace .....	11
3.2.1.3.2 Ostrovní systémy (Off-Grid).....	11
3.2.1.3.3 Síťové systémy (On-Grid).....	13
3.2.2 Koncentrační (fokusační) solární elektrárny (CSP) (nepřímá přeměna solární energie na elektrickou).....	14
3.2.2.1 Typy systémů.....	16
3.2.2.1.1 Korytové systémy.....	16
3.2.2.1.2 Polokulové systémy .....	17
3.2.2.1.3 Systém centrálního přijímače .....	18
3.2.3 Solární termické systémy.....	19
3.2.3.1 Solární kolektory .....	19
3.2.3.1.1 Ploché kolektory.....	20
3.2.3.1.2 Vakuové trubicové kolektory .....	21
3.2.3.1.3 Vzduchové kolektory .....	22
3.2.3.2 Další prvky systému .....	23



4	Teplárna Dvůr Králové (TDK) .....	24
4.1	Základní informace .....	25
4.2	Současný stav zařízení .....	25
4.2.1	Kotelna.....	25
4.2.2	Strojovna.....	27
4.2.3	Chladicí systém.....	28
4.2.4	Vyvedení výkonu .....	29
4.2.5	Ekologie .....	32
5	SWOT analýza společné výroby elektřiny a tepla z OZE .....	33
5.1	Grafické znázornění .....	33
5.2	Silné stránky .....	33
5.3	Slabé stránky.....	35
5.4	Příležitosti .....	35
5.5	Hrozby .....	36
6	Návrh integrace solárního systému do provozu TDK .....	37
6.1	Prostorové a solární podmínky .....	37
6.2	Návrh solárního termického systému .....	39
6.2.1	Stanovení využitelného tepelného zisku solární soustavy .....	40
6.2.2	Ekonomické hodnocení.....	43
6.3	Návrh fotovoltaické elektrárny .....	44
6.3.1	Volba panelů .....	44
6.3.2	Rozestupy mezi nosnými konstrukcemi .....	45
6.3.3	Návrh solárních polí.....	46
6.3.4	Volba měničů (střídačů).....	48
6.3.5	Popis zapojení .....	49
6.3.6	Roční výroba elektrické energie .....	51
6.3.7	Ekonomické hodnocení.....	54

---

6.3.7.1	Cenová kalkulace.....	54
6.3.7.2	Hodnocení ekonomické efektivity investice.....	55
7	Závěr.....	62
8	Zdroje.....	64

## Seznam symbolů a zkratk

CSP	Koncentrační solární elektrárna
DPH	Daň z přidané hodnoty
ERÚ	Energetický regulační úřad
FV	Fotovoltaický
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PEZ	Primární energetické zdroje
SEK	Státní energetická koncepce
TDK	Teplárna Dvůr Králové nad Labem
$a_1$	Lineární součinitel tepelných ztrát [-]
$a_2$	Kvadratický součinitel tepelných ztrát [-]
$A_k$	Plocha apertury kolektoru [ $m^2$ ]
$C_{PE}$	Předpokládané cena prodávané elektrické energie ostatním subjektům [Kč]
$C_{pp}$	Výkupní valorizovaná cena pro přímý prodej v daném roce [Kč]
$C_{ZB}$	Výkupní valorizovaná cena pro zelený bonus v daném roce [Kč]
$E_c$	Celková vyrobená elektrická energie [kWh]
$G$	Střední denní sluneční ozáření [ $W/m^2$ ]
$h$	Výška panelů [m]
$H_m$	Průměrná měsíční dopadající solární energie [ $kWh/m^2$ ]
$l$	Ideální vzdálenost mezi počátky jednotlivých konstrukcí [m]
$l_1$	Délka podstavy konstrukce [m]
$l_2$	Vzdálenost mezi konstrukcemi [m]
$\eta_0$	optická účinnost kolektoru [%]
$N_c$	Celkové náklady na výstavbu [Kč]
$\eta_k$	průměrná měsíční účinnost solárních kolektorů [%]
$O_n$	Odpisy v n-tém roce [Kč]
$p$	Srážky tepelného zisku vlivem tepelných ztrát solární soustavy [-]
$pe$	Objem prodané energie z celkové vyrobené elektrické energie [%]
$t_1$	Teplota teplotonosné látky na vstupu do kolektorů [ $^{\circ}C$ ]
$t_2$	Teplota teplotonosné látky na výstupu z kolektorů [ $^{\circ}C$ ]
$t_e$	Průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu [ $^{\circ}C$ ]
$t_m$	Střední teplota teplotonosné látky [ $^{\circ}C$ ]
$T_n$	Tržby v n-tém roce provozu [Kč]
$v$	Celková délka panelů [m]
$\alpha$	Součinitel pohltivosti [-]
$\Delta/l$	Možné přiblížení konstrukcí, kdy je zastíněna max. spodní řada panelů [m]
$\varepsilon$	Součinitel poměrné zářivosti [-]
$\lambda$	Vlnová délka [m]

## 1 Úvod

Zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na celosvětovém energetickém mixu je aktuálním tématem již velmi dlouhou dobu. Neustále se v tomto ohledu skloňují pojmy ochrany životního prostředí a globálního oteplování. Hlavním zdrojem ohrožení životního prostředí v energetice je spalování fosilních paliv, během kterého se do ovzduší uvolňuje značné množství škodlivých látek. Mimo jiné i oxid uhličitý, který je jedním ze skleníkových plynů. Ty se hromadí v atmosféře a brání průchodu tepelného záření vyzařovaného z povrchu Země do volného prostoru a zemská atmosféra se tak otepluje. Velký dopad na životní prostředí má také samotná těžba fosilních paliv, kterou se devastují velké přírodní plochy a i přes snahu o rekultivaci krajiny jsou tyto zásahy velmi znatelné.

Větší podíl obnovitelných zdrojů na celosvětovém energetickém mixu má za následek úsporu ekvivalentního množství fosilních paliv, menší množství vypuštěných škodlivin do ovzduší a celkové zkvalitnění životního prostředí do budoucna. V České republice je z obnovitelných zdrojů využíváno zejména energie vody, větru, slunečního záření a spalování biomasy. Potenciální velké zdroje, na které by bylo možné umístit vodní elektrárny, jsou dnes prakticky vyčerpány. Lokality pro umístění větrných farem se často nacházejí v horských oblastech, které bývají vedeny jako chráněné krajinné oblasti a výstavba zde tedy není možná. Zbylých lokalit, ve kterých by byla výstavba možná a zároveň by v nich byly dostatečné větrné podmínky, není mnoho. Energetická zařízení využívající jako zdroj energie biomasu se zase potýkají s problémem sezónnosti biomasy a s tím spojenou její nepravidelnou dodávkou.

Proto je pro zvyšování podílu obnovitelných zdrojů potřeba využívat stále další možnosti a jednou z těchto možností je solární energie. Ta je dnes využívána zejména pro ohřev užitkové vody, vytápění objektů, nebo pro přímou výrobu elektřiny ve fotovoltaických systémech.

Úvodem své diplomové práce jsem považoval za důležité popsat základní typy systémů přeměňujících solární záření na jiný druh využitelné energie.

V další části se chci zaměřit na popis provozu TDK, do kterého má být podle zadání diplomové práce integrován solární systém. Provedu základní popis teplárny, jejich

technologických částí, objemu výroby, ekologické hodnocení provozu a nakládání s odpady.

Dalším bodem je vytvoření SWOT analýzy společné výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie, kde porovnáím silné a slabé stránky takového systému a zároveň příležitosti a hrozby, které skýtá pro tento typ systému vnější prostředí.

Poslední část bude věnována praktickému návrhu možností integrace solárního systému do provozu TDK. Nejprve provedu zhodnocení solárních a prostorových podmínek v areálu. A následně návrh nejprve termického solárního systému, výpočet základních provozních veličin a jednoduché ekonomické zhodnocení. Jako druhou variantu jsem zvolil instalaci fotovoltaického systému, který vzhledem k lepší ekonomické návratnosti rozpracuji podrobně.

## 2 Obnovitelné zdroje energie (OZE)

Jak je zřejmé z názvu, jde o zdroje energie, které mají schopnost se částečně nebo plně obnovovat. Jejich čerpání je tedy v určitém objemu možné další miliardy let.

Primárním zdrojem je především termonukleární reakce ve Slunci, dále pak teplo zemského jádra a síly způsobující tzv. slapové jevy. Tedy síly, kterými působí Slunce a Měsíc na vodní masu.

Pokud se podíváme na OZE do legislativy, najdeme následující definice:

Podle zákona 17/1992 Sb., o životním prostředí: „*Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají.*“

Podle předpisu 180/2005 Sb., zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů: „*Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.*“

### 2.1 Využití obnovitelných zdrojů energie

První seriózní studie pracující s faktem, že konvenční zdroje energie nejsou nevyčerpatelné, byly publikovány v souvislosti se světovou energetickou krizí

v sedmdesátých letech dvacátého století. Tento fakt výrazně zvýšil zájem o obnovitelné zdroje energie. V dnešní době je dalším důvodem zvyšování významu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu rostoucí závislost na dovozu energetických komodit. Obnovitelné zdroje jsou jediné, které jsou dostupné v místě spotřeby.

Podle aktualizace Státní energetické koncepce (SEK) z roku 2012 všechny konvenční zdroje na území České republiky (černé, hnědé uhlí) i při prolomení těžebních limitů v dohledné době dojdou, nebo v případě dnes již výhradně dovážených (ropy, zemního plynu a jaderného paliva) jsou zásoby na našem území minimální. To je tažnou silou pro zapojení dostupných obnovitelných zdrojů do energetického mixu.

Vstupem do Evropské unie jsme se zavázali respektovat takzvanou společnou politiku, do které mimo jiné patří i závazek zvýšit podíl výroby elektřiny z OZE na 20 % do roku 2020. Pro Českou republiku byl tento požadavek s ohledem na regionální podmínky zmírněn na závazných 13 % podílu OZE v roce 2020.

Předpokládaný vývoj podílu OZE na celkové spotřebě energetických zdrojů a na výrobě elektrické energie do roku 2040 podle Státní energetické koncepce uvádí tabulky 2.1 a 2.2.

<b>PEZ</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>
Černé uhlí	11 %	10 %	7 %	6 %
Hnědé uhlí	31 %	22 %	13 %	10 %
Zemní plyn	18 %	19 %	19 %	20 %
Ropa a ropné produkty	20 %	20 %	19 %	17 %
Jaderné palivo	17 %	18 %	28 %	31 %
Elektřina (saldo)	-3 %	0 %	-1 %	-2 %
Ostatní paliva degazační plyn, průmyslové odpady a alternativní paliva, tuhý komunální odpad (neobn.)	1 %	1 %	1 %	1 %
Obnovitelné a druhotné zdroje energie	6 %	11 %	14 %	16 %

*Tabulka 2.1: Vývoj a struktura primárních energetických zdrojů (PEZ) [8]*

Hrubá výroba elektrické energie	2010	2020	2030	2040
Černé uhlí	7 %	5 %	1 %	1 %
Hnědé uhlí	50 %	38 %	24 %	19 %
Zemní plyn	1 %	5 %	4 %	4 %
Ostatní plyny (koksárenský, vysokopecní, degazační a ostatní)	1 %	1 %	1 %	1 %
Jádro	33 %	36 %	50 %	53 %
Ostatní paliva (ropné produkty, průmyslové odpady a alternativní paliva, tuhý komunální odpady (neobn.), odpadní teplo)	1 %	1 %	3 %	3 %
Obnovitelné a druhotné zdroje energie	7 %	13 %	16 %	18 %

Tabulka 2.2: Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny [8]

### 3 Systémy využívající obnovitelné zdroje energie

Přestože systémů, které využívají OZE je celá řada. Jak ukazuje tabulka 3.1, dále se budu zabývat pouze systémy, které úzce souvisejí s tématem této diplomové práce, tedy systémy solárními a systémy spalující biomasu.

Využívaná energie	Typ zařízení	Získaná energie
Potenciální a kinetická energie	Větrná energie	Větrná elektrárna
	Vodní energie	Vodní elektrárna
	Energie moře	Přílivová elektrárna
Tepelná a zářivá energie	Geotermální energie	Geotermální teplárna, elektrárna
	Sluneční energie	Solární elektrárna Kolektor Sluneční tepelná elektrárna Absorbér Pasivní využití Fotoelektrochemické články
	Teplo okolního prostředí	Elektrárna využívající tepla moře Tepelná čerpadla
Chemicky vázaná energie	Biomasa	Elektrárna spalující odpadky Kotel na pevná paliva Zařízení pro bioplyn
	Odpadky	...

Tabulka 3.1: Přehled systémů využívajících obnovitelné zdroje energie

### 3.1 Solární energie

Jak již bylo zmíněno, zdrojem solární energie je termonukleární reakce ve Slunci, při které se za teploty 15 milionů °C přeměňuje vodík na hélium. Z celkového objemu vyzářené energie ze Slunce dopadají na Zemi v každém okamžiku asi jen dvě miliardy, i to by ale teoreticky 140 krát pokrylo energetickou spotřebu lidstva. V ČR se doba slunečního svitu pohybuje mezi 1400 až 1700 hodinami za rok, během kterých dopadne na jeden metr čtvereční plochy cca 1100 kWh energie. [2]

### 3.2 Solární systémy

Solární energie se dnes hojně využívá k výrobě elektřiny. Tento proces může být realizován dvěma způsoby:

**Přímou přeměnou** solární energie na elektrickou pomocí fotovoltaických systémů

**Nepřímou přeměnou** solární energie na elektrickou pomocí koncentračních (fokusačních) solárních elektráren (CSP)

Pro výrobu tepla v menších aplikacích, respektive pro ohřev užitkové vody nebo vytápění budov, jsou využívány solární termické systémy.

#### 3.2.1 Fotovoltaika (přímá přeměna solární energie na elektrickou)

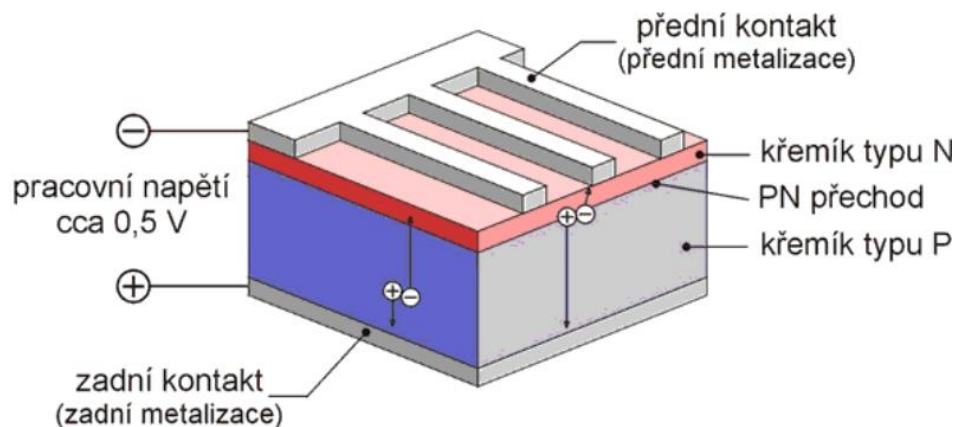
První fotovoltaické články se začaly vyrábět v roce 1958 díky jejich využití v kosmickém průmyslu, jako zdroj energie pro družice. Jejich tehdejší nízká účinnost (4,5 – 6 %) a vysoká cena vylučovaly komerční využití. Většímu rozvoji přispěl zejména zájem o využití v leteckém průmyslu. Právě vývoj pro letectví a kosmonautiku přinesl zvýšení účinnosti a snížení ceny na hodnotu dostupnou pro komerční využití. První větší fotovoltaická elektrárna byla vybudována v USA koncem 80. let 20. století. Dnešní solární články dosahují v laboratorních podmínkách účinnosti až 25%. Běžně nabízené se s účinností pohybují kolem 14-15%.

##### 3.2.1.1 Princip fotovoltaického článku

V solárním článku probíhá fotovoltaický jev, při kterém se v určité látce působením dopadajícího záření (fotonů) uvolňují elektrony, jde tedy v podstatě o velkoplošnou diodu. Tento jev může nastat v některých polovodičích (např. v křemíku, germaniu, selenu, kadmia aj.). Fotovoltaický článek je tvořen nejčastěji tenkou destičkou z



monokrystalu křemíku, použit lze i polykrystalický materiál. Destička je z jedné strany obohacena atomy trojmocného prvku (např. bóru), z druhé strany atomy pětímocného prvku (např. arzenu) a tvoří P-N přechod. To znamená, že při absorpci záření jsou generovány záporně nabitě částice (elektrony) a zůstávají kladně nabitě díry. Rozdělení náboje vlivem vnitřního elektrického pole P-N přechodu má za následek napěťový rozdíl mezi předním „-“ a zadním „+“ kontaktem solárního článku. Propojíme-li tyto kontakty vnějším obvodem (spotřebičem), začne protékat stejnosměrný elektrický proud, který je úměrný ploše článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. [2]



Obrázek 3.1: Princip fotovoltaického článku [2]

Přes 90% komerčně dostupných fotovoltaických článků je vyráběno z křemíku. Jeho současná spotřeba na výrobu fotovoltaických článků je tak vysoká, že i přes jeho relativně dobrou dostupnost (26% v zemské kůře), je potřeba hledat nové materiály vhodné pro tyto systémy.

### 3.2.1.2 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaický článek je sice základním prvkem, bez kterého by přímá výroba elektrické energie ze solárního záření nebyla možná, ale samostatně nedokáže dosáhnout požadované hodnoty napětí, ani vyrobit dostatečné množství energie. A proto, aby bylo možné dosáhnout požadovaného napětí, vznikají fotovoltaické panely (sériové spojení více fotovoltaických článků) a pro dosažení požadovaného výkonu jsou tyto panely spojovány do systémů různého rozsahu.

### 3.2.1.3 Rozdělení fotovoltaických systémů

Systémy s fotovoltaickými panely jsou v dnešní době nejvyužívanější z aplikací pro přeměnu solární energie na elektrickou. Tyto systémy jsou vyráběny od nejmenších

výkonů řádově jednotek wattů, až po velké elektrárenské aplikace o výkonech několika megawatt. Lze je rozdělit do skupin podle účelu jejich použití:

#### 3.2.1.3.1 Drobné aplikace

Drobné aplikace tvoří nejmenší, avšak nezanedbatelný podíl na FV trhu. Každý jistě zná FV články v kalkulačkách nebo také solární nabíječky akumulátorů. Trh drobných aplikací nabývá na významu, protože se množí poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů (mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, MP3 přehrávače apod.) na dovolených, v kempech popř. ve volné přírodě. [2]

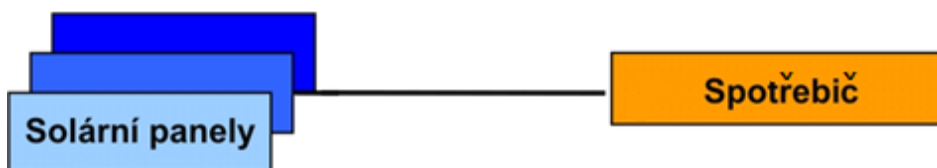
#### 3.2.1.3.2 Ostrovní systémy (Off-Grid)

Ostrovní provoz fotovoltaického systému se nejčastěji uplatňuje tam, kde z ekonomického hlediska není výhodné, nebo z technických důvodů není možné zbudovat elektrickou přípojku. To znamená, že vzdálenost těchto míst od elektrické sítě je větší než 0,5 – 1 km, případně v těžko přístupném terénu ještě menší. A tedy náklady na výstavbu přípojky by byly srovnatelné, nebo vyšší než celková cenová bilance fotovoltaického systému.

Další terminologii, kterou je nutno zavést v souvislosti s ostrovními systémy, je jejich dělení podle způsobu napájení spotřeby:

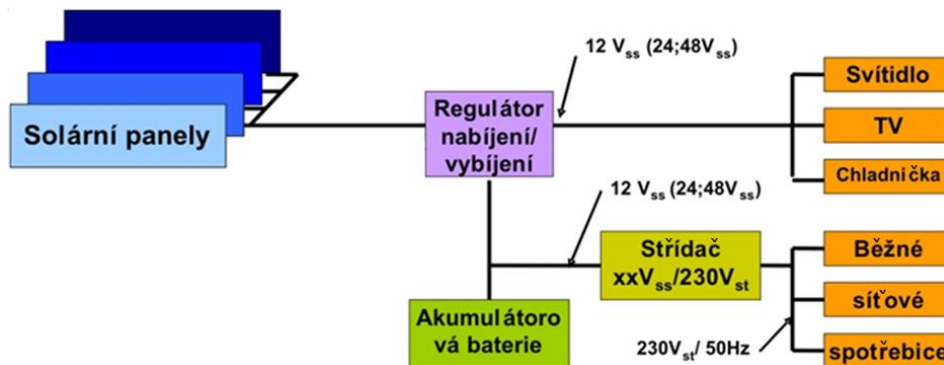
- Přímé napájení
- Systémy s akumulací elektrické energie
- Hybridní systémy

Systém s přímým napájením lze použít tam, kde není potřeba napájení celodenní nebo v určitém okamžiku a postačí napájení zařízení pouze v době dostatečné intenzity slunečního záření (nabíjení akumulátorů malých přístrojů, čerpání vody pro závlahu, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor atd. [2]). Jedná se o přímé propojení solárního panelu a spotřebiče.



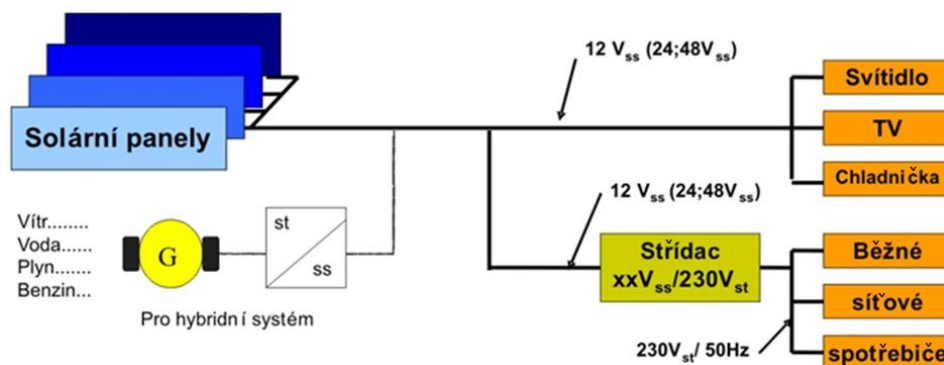
Obrázek 3.2: Fotovoltaický systém s přímým napájením [2]

Pro zajištění pokrytí dodávky energie se tyto systémy ještě dovybavují akumulátorovými bateriemi, ze kterých je v okamžiku nedostatečné intenzity slunečního záření energie dodávána spotřebičům a v okamžiku dodávky z fotovoltaických panelů se do nich přebytečná energie ukládá. Pro zajištění maximální životnosti baterií je potřeba je pravidelně nabíjet a vybíjet. O toto se stará elektronický regulátor.



Obrázek 3.3: Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie [2]

Hybridní systémy, jsou navrhovány tak, aby dokázaly pokrýt požadovaný výkon v požadovanou dobu. Pro menší energetický zisk fotovoltaických panelů v zimních měsících by bylo nutné jejich výkon pro celoroční pokrytí dodávky značně naddimenzovávat, což značnou měrou zvyšuje investiční náklady a i přes to by nebylo možné zajistit noční dodávku energie. Proto jsou tyto systémy doplňovány ještě o „záložní“ zdroj energie, kterým může být například malá vodní elektrárna, dieselgenerátor, atd.



Obrázek 3.4: Hybridní systém dodávky energie [2]

### 3.2.1.3.3 Sít'ové systémy (On-Grid)

Sít'ové systémy, jak je již z názvu zřejmé, jsou připojeny k elektrické síti. Mohou energii do sítě dodávat a také ji mohou v případě potřeby ze sítě odebírat. Tento proces probíhá naprosto automaticky díky moderním měničům, které systém mimo jiné dokáží sfázovat se sítí a v případě potřeby úplně odpojit a zabránit tak například toku výkonu do odstavené sítě.

Výkony fotovoltaických systémů připojených na síť se pohybují od jednotek kilowatt do jednotek megawatt. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u distributora elektřiny (ČEZ, E.ON, PRE) a je nutné dodržet dané technické parametry.

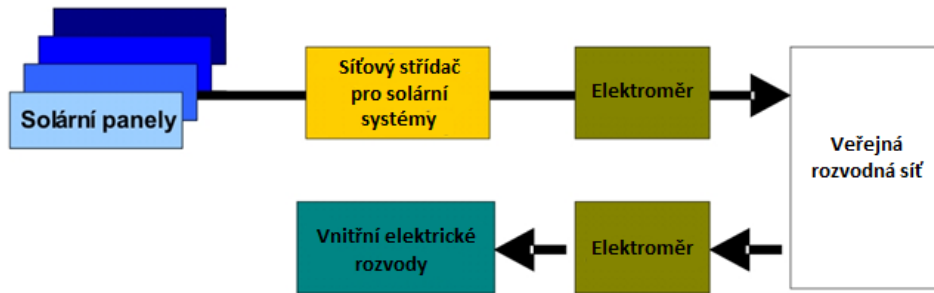
Největší rozvoj fotovoltaických elektráren zažila Česká Republika po 1. lednu 2006, kdy se více než zdvojnásobila výkupní cena elektřiny vyráběné využitím solárního záření, jak ukazuje tabulka 3.2. To udělalo z této oblasti velmi zajímavý investiční trh.

Druh podporovaného zdroje (výroby)	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Jednotarifní pásmo provozování	
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
a	b	c	d	e	j	k
Výroba elektřiny využitím slunečního záření	-	31.12.2005	-	-	7 273	6 343
	1.1.2006	31.12.2007	-	-	15 260	14 330
	1.1.2008	31.12.2008	-	-	14 882	13 952
	1.1.2009	31.12.2009	0	30	13 964	13 414
	1.1.2009	31.12.2009	30	-	13 862	12 932
	1.1.2010	31.12.2010	0	30	13 005	12 455
	1.1.2010	31.12.2010	30	-	12 903	11 973
	1.1.2011	31.12.2011	0	30	7 803	7 253
	1.1.2011	31.12.2011	30	100	6 141	5 211
	1.1.2011	31.12.2011	100	-	5 723	4 793
	1.1.2012	31.12.2012	0	30	6 284	5 734
	1.1.2013	30.6.2013	0	5	3 410	2 860
	1.1.2013	30.6.2013	5	30	2 830	2 280
	1.7.2013	31.12.2013	0	5	2 990	2 440
	1.7.2013	31.12.2013	5	30	2 430	1 880

Tabulka 3.2: Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření [4]

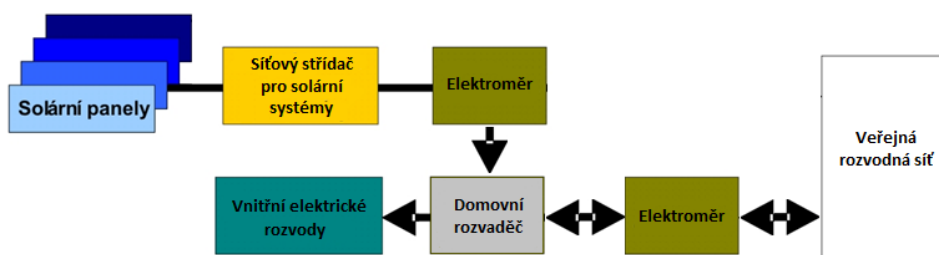
Elektrárna dodávající elektřinu pouze do sítě, prodává tuto elektřinu za státem garantovanou tzv. výkupní cenu (Tab. 3.2) stanovenou podle data jejího uvedení do provozu. Elektřinu, kterou takovýto systém potřebuje zásobovat vnitřní elektrické obvody objektu, odebírá poté ze sítě za standardní tarif.

Výkupní cena byla fixována jako minimální na minimální dobu 20 let s maximálním snížením o 5% ročně. Novela zákona o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů z roku 2010, umožnila Energetickému regulačnímu úřadu (ERÚ) snížit výkupní ceny elektřiny od roku 2011 o více než 5% za předpokladu, že návratnost investice bude kratší než 11 let.



Obrázek 3.5: Schéma síťového fotovoltaického systému pro dodávku do sítě [2]

Druhou možností jak provozovat síťovou fotovoltaickou elektrárnu je využití tzv. zeleného bonusu. Tohoto mohou využít majitelé elektráren, kteří se rozhodnou vyrobenou elektřinu spotřebovat sami. Pak za takto vyrobenou/spotřebovanou elektřinu inkasují od distributora (ČEZ, E.ON, PRE) tzv. zelený bonus (Tab. 3.2). Přebytečnou energii může za stejných podmínek distribuovat do sítě. Zelený bonus je vhodný pro objekty se stálou spotřebou energie, jako jsou mrazírny nebo budovy s klimatizací.

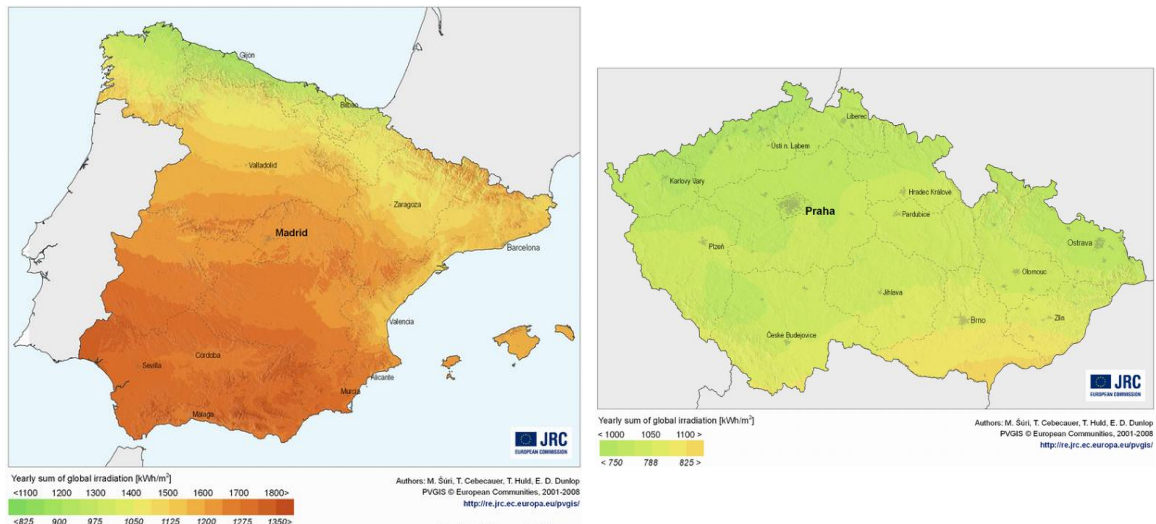


Obrázek 3.6: Schéma síťového fotovoltaického systému pro zelený bonus [2]

### 3.2.2 Koncentrační (fokusační) solární elektrárny (CSP) (nepřímá přeměna solární energie na elektrickou)

Dnes nejběžnější využití solární energie je pro ohřev vody pomocí solárních kolektorů, nebo výroba elektřiny pomocí fotovoltaických článků. Na jihozápadě Spojených Států se ale již od počátku osmdesátých let zabývají vývojem tzv. koncentračních solárních elektráren, které využitím zrcadel pro soustředění solární energie a výrobu ekologicky šetrné elektrické energie.

Vývoj těchto systémů byl zahájen právě tam, protože jde o jednu z oblastí s celosvětově nejlepšími solárními podmínkami. Na jihozápad dopadá až dvojnásobek slunečního záření než na ostatní regiony Spojených Států. Takové množství sluneční energie je při využití koncentračních solárních elektráren atraktivní alternativou ke konvenčním elektrárnám, které spalují fosilní paliva (uhlí, ropa).



Obrázek 3.7: Porovnání solárních podmínek Španělska a České Republiky [13]

V Evropě se tyto solární elektrárny začaly využívat a vyvíjet zejména ve středomořských oblastech (Španělsko, Řecko), kde jsou nejlepší evropské solární podmínky. Tyto technologie by mohly být dobrou volbou pro dosažení ekologických cílů, ke kterým se zavázaly členské státy EU.

Na rozdíl od konvenčních elektráren, koncentrační solární elektrárny jsou ekologicky nenáročným zdrojem energie, neprodukují prakticky žádné emise a nespotřebovávají, kromě slunečního záření, žádné palivo. Jediným na první pohled negativním dopadem koncentračních solárních elektráren na životní prostředí je větší zastavěná plocha. Ačkoli je množství zabrané půdy větší než u elektráren spalující fosilní paliva, pokud započteme i pozemky nutné pro těžbu fosilních paliv, průzkum a stavbu přístupových komunikací, je zabraná plocha obou těchto technologií téměř srovnatelná.

Další výhody koncentračních solárních elektráren jsou nízké provozní náklady, a schopnost produkovat výkon v době vysoké poptávky, obzvláště v těchto velmi teplých oblastech, kde v době kdy mají CSP největší výkon (ve dne), tvoří velkou část spotřeby energie klimatizační jednotky. Vzhledem k tomu, že se systémem skladováním energie,

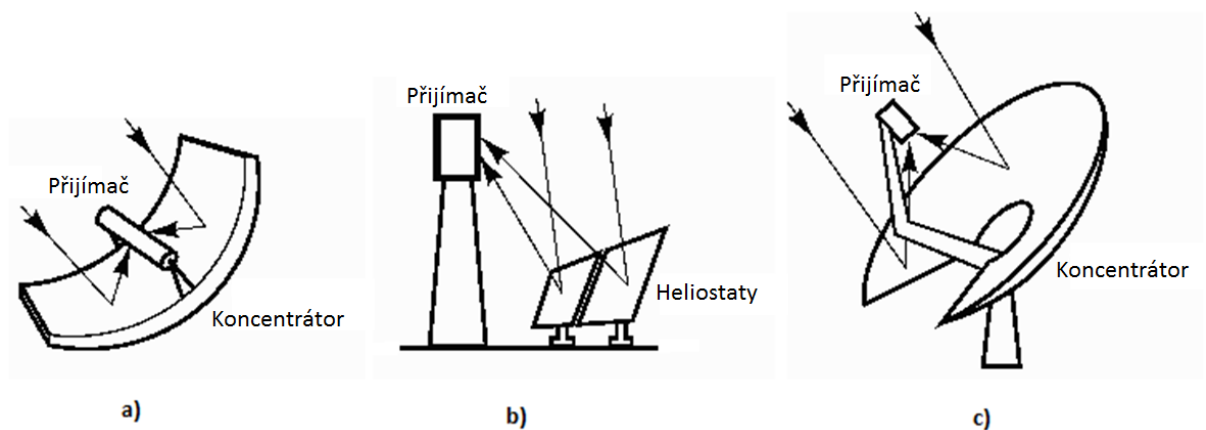


mohou pracovat i v oblačném počasí a po západu slunce se jejich doba využití může výrazně prodloužit. V kombinaci se spalováním tuhých paliv, u hybridního systému, mohou dodávat energii po celý den bez ohledu na počasí.

### 3.2.2.1 Typy systémů

Na rozdíl od solárních (fotovoltaických) panelů, které používají sluneční záření k výrobě elektřiny, koncentrační solární systémy generují elektřinu pomocí tepla. Koncentrační solární kolektory využívají zrcadla a čočky pro soustředění slunečního záření na tepelný přijímač. Přijímač pohlcuje a přeměňuje sluneční záření na teplo. Teplo je pak vedeno teplotnosnou látkou do parogenerátoru nebo tepelného motoru, a pak přeměňováno na mechanickou a elektrickou energii.

Existují tři hlavní typy koncentračních solárních elektráren: parabolické žlaby, polokulové sběrače a centrální přijímače (věžové systémy). Tyto technologie mohou být použity k výrobě elektřiny pro celou řadu aplikací, od malých energetických systémů řádově několika kilowattů, až po síťové aplikace řádu desítek megawattů nebo více. Koncentrační solární systém, který produkuje 350 MW elektřiny, vyjadřuje energetický ekvivalent 2,3 milionu barelů ropy. [6]



Obrázek 3.8: Schémata tří hlavních systémů CSP: a) Parabolické koryto, b) Centrální přijímač (věž), c) polokulový sběrač [7]

#### 3.2.2.1.1 Korytové systémy

Tyto solární kolektory používají zrcadlové parabolické žlaby, zaměřující sluneční energii na přijímací trubky s pracovní látkou, nacházející se v ohnisku parabolicky zakřivených reflektorů. Sluneční energie absorbovaná trubkou ohřívá pracovní látku

(olej, voda) a tepelná energie se pak používá k výrobě elektřiny v konvenčním parním cyklu.

Více žlabů uspořádaných v souběžných řadách, se nazývá "kolektorové pole." Žlaby v poli jsou orientovány ze severu na jih, aby mohly sledovat slunce během dne od východu k západu, což zajišťuje, že sluneční záření je průběžně zaměřováno na absorpční trubky. Tyto systémy mohou zahrnovat úložiště tepla – založené na ukládání tepla v roztavených solích - umožňující dodávku elektřiny i v oblačném počasí a ve večerních hodinách.

V současné době je většina parabolických žlabových elektráren provozováno jako "hybridní", což znamená, že používají spalování tuhých nebo plyných paliv pro doplnění solárního výkonu během období nízkého slunečního záření. Typicky se používá zemní plyn nebo plynový parní kotel. Žlaby mohou být také integrovány k existujícím uhelným elektrárnám.

#### *3.2.2.1.2 Polokulové systémy*

Tyto systémy používají polokulová parabolická zrcadla jako reflektor, který soustřeďuje sluneční záření na přijímač, který je umístěn nad jeho středem. Polokulový systém je samostatná jednotka skládající se z reflektoru, přijímače, a Stirlingova motoru. Funguje tak, že soustřeďuje sluneční energii z parabolického reflektoru na přijímač, který energii pohlcuje a přenáší ji do motoru. Motor pak převede energii na teplo. Teplo se převede na mechanickou energii, a to způsobem podobným konvenčním motorům, stlačením pracovní kapaliny za studena a ohřátí této stlačené pracovní kapaliny. Ta pak expanduje v turbíně nebo v pístu pro výrobu mechanické energie. Elektrický generátor pak převádí mechanickou energii na elektrickou.

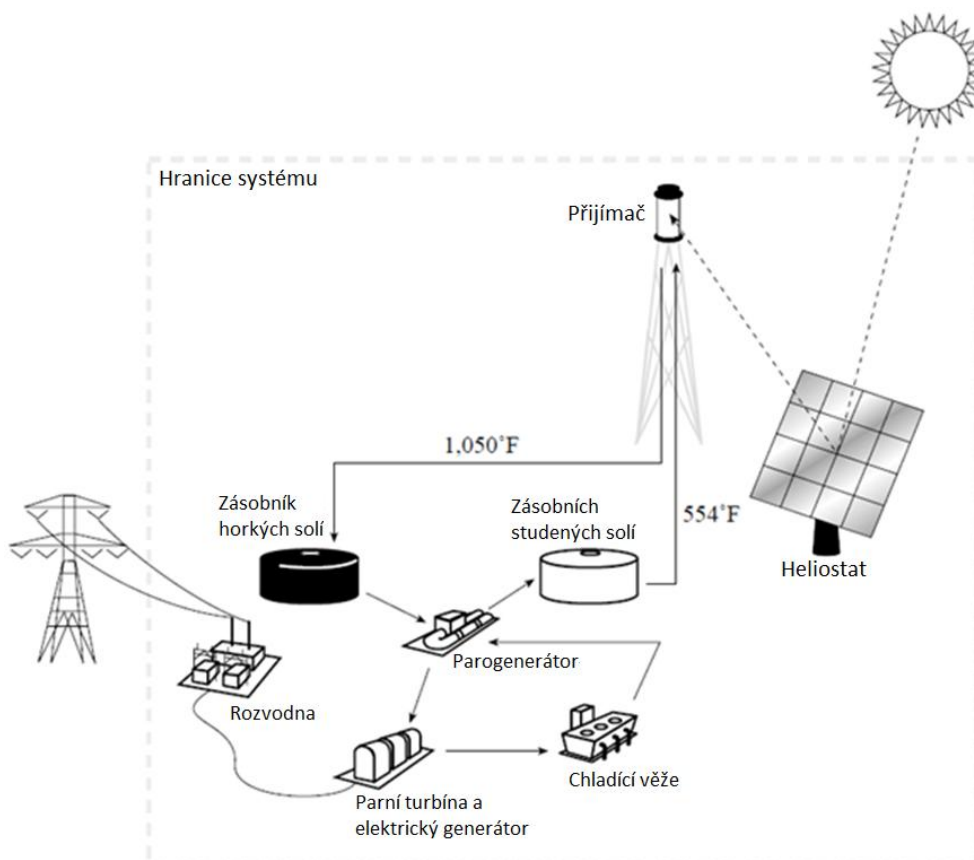
Tento systém používá kolektory, které umožňují sledování slunce ve dvou osách. Ideální koncentrátor má tvar paraboly, vytvořený buď jednou odraznou plochou, nebo více reflektory. Existuje více druhů přijímačů a typů motorů, včetně Stirlingových motorů, mikroturbín, a koncentračních fotovoltaických modulů. Každá jednotka může produkovat 5-50 kW elektřiny a mohou být použity samostatně, nebo ve skupině pro zvýšení výrobní kapacity. 700 kW elektrárna skládající se z 25 kW polokulových jednotek vyžaduje méně než hektar půdy. [6]



I tento systém lze kombinovat s konvenčními zdroji tepla, pro zajištění nepřetržité výroby elektrické energie.

### 3.2.2.1.3 Systém centrálního přijímače

Centrální přijímače (elektrárenské věže) používají tisíce jednotlivých sledovacích zrcadel tzv. "heliostaty", které zachycenou solární energii koncentrují na přijímači, nacházející se na vrcholu vysoké věže. V přijímači je předáváno teplo zachyceného solárního záření teplotnosné kapalině (roztavené soli), která přijímačem protéká. Tepelná energie z těchto solí je pak používána k výrobě páry v konvenčním parogenerátoru, který se nachází na úpatí věže. Systém pro ukládání tepla v roztavených solích udržuje teplo efektivně, takže může být skladováno hodiny nebo dokonce dny před použitím k výrobě elektřiny. Systém s centrálním přijímačem je složený z pěti hlavních částí: heliostaty, přijímač, transport tepla, výměník, tepelné skladování a ovládací prvky (viz obr. 3.9).



Obrázek 3.9: Schéma elektrárny s centrálním přijímačem [6]

### 3.2.3 Solární termické systémy

U nás nejrozšířenější a nejznámější variantou přeměny solární energie na energii tepelnou jsou aktivní a pasivní solární systémy.

Pasivní systémy využívají stavebních prvků budov, které plní funkci kolektorů. Takto získané teplo je za pomoci ventilačního systému rozváděno pro podporu vytápění budovy.

Aktivní solární systémy využívají pro zachytávání sluneční energie kolektory, ve kterých je ohřívána pracovní látka. Takto získané teplo je pak nejčastěji využíváno pro ohřev užitkové vody, podporu vytápění nebo pro teplovzdušné sušení v průmyslu.

#### 3.2.3.1 Solární kolektory

Solární kolektory jsou stejně jako fotovoltaické panely u fotovoltaické elektrárny, nejdůležitějším prvkem solárního termického systému.

Solární energie dopadající na kolektor je zachycována absorpční plochou a ta ji předává jako teplo do teplotosné látky. Absorbér bývá nejčastěji vyroben z ocelových, hliníkových nebo mosazných plechů a na jeho účinném povrchu bývá ještě vytvořena vrstva z materiálu s vysokou absorpční schopností, pro dosažení maximální účinnosti. Vývoj jde dvěma směry, na jedné straně se snaží využívat materiálů a technologií budoucnosti (nanotechnologie) a na druhé straně se technologie snaží být finančně dostupné při zachování co možná nejlepších parametrů.

U levných kolektorů jsou na absorbér nanášeny nátěry s dobrými absorpčními schopnostmi. Jejich absorpční schopnost je velmi dobrá pro krátkovlnné sluneční záření, ale vykazují velké ztráty sáláním, což snižují jejich účinnost.

Dnes nejefektivnější v poměru cena vs. výkon jsou absorbéry se spektrálně selektivními optickými vlastnostmi povrchu. Takto upravené povrchy mají vysokou pohltivost v oblasti vlnových délek ( $\lambda = 0,3 - 3 \mu\text{m}$ ) ve kterých dopadá 95% energie slunečního záření. A na druhou stranu mají velmi nízké ztráty sáláním v infračerveném spektru ( $\lambda = 3 - 50 \mu\text{m}$ ). Mezi tyto materiály patří například dusičnany titanu ( $\text{TiNO}_x$ ), které mají součinitel pohltivosti  $\alpha = 0,95$  a součinitel poměrné zářivosti  $\varepsilon = 0,05$ . Ještě lepší optické vlastnosti má borid hliníku  $\text{AlB}_2$ , se součinitelem pohltivosti  $\alpha = 0,99$  a součinitelem poměrné zářivosti  $\varepsilon = 0,05$ . Vlastnosti těchto povrchů lze ještě vylepšit vrchní antireflexní vrstvou. [16, 17]

### 3.2.3.1.1 Ploché kolektory

Nejpoužívanější typ solárních kolektor, který díky své relativně jednoduché konstrukci dosahuje ve srovnání s ostatními typy kolektorů příznivé ceny.

Skládají se z vany, která tvoří ochranou obálku kolektoru. Uvnitř vany je umístěný absorbér s rozvodnou a sběrnou trubkou teplotnosného média.

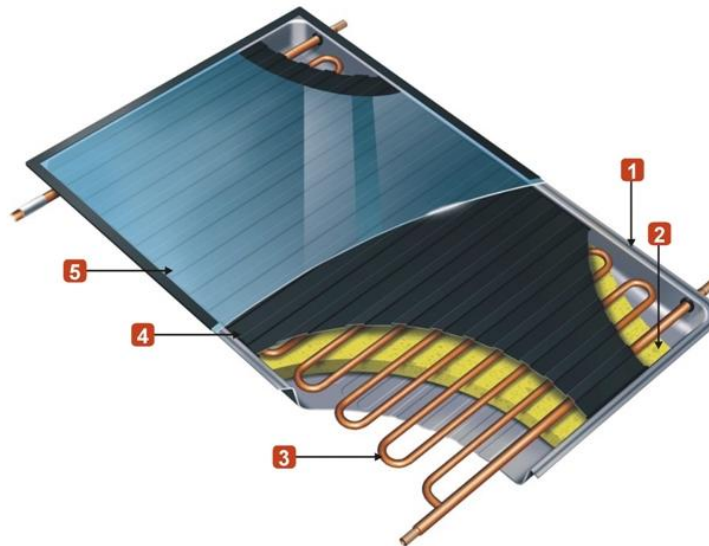
Typy konstrukce absorbérů:

- Lamelový
- Deskový
- Polštářový
- Válcovaný

Absorbér je zakryt transparentním krytem, který musí splňovat podmínky optimálního průchodu záření, dostatečné tepelné izolace a dostatečné pevnosti, aby odolal například krupobití. Tyto kryty bývají obvykle vyráběny jako jednoduché nebo dvojité sklo. Dvojité sklo sice snižuje tepelné ztráty kolektoru, ale také je u něj nižší propustnost světla, zvyšuje hmotnost i cenu kolektoru.

Pro dosažení vyšší účinnosti omezením tepelných ztrát jsou dno a boky vany pokryty vysoce účinnou tepelnou izolací o tloušťce 6 – 10 cm. Nejčastěji se používají desky z pěnového polyuretanu nebo izolace na bázi čedičových či skelných rohoží. Celý kolektor musí být utěsněn proti vniku vlhkosti a prachu.

Dalšího snížení ztrát kolektoru lze dosáhnout vytvořením vakua kolem absorbérů. Každý prvek kolektoru pak musí být dokonale utěsněn, krycí sklo musí být zesíleno, a aby odolalo působení atmosférického tlaku, bývá ještě vyztuženo nerezovými opěrami.  
[16, 17]



Obrázek 3.10: Plochý kolektor, 1) plášť kolektoru většinou v podobě hliníkové vany, 2) tepelná izolace, 3) sběrné potrubí teplotonosné kapaliny, 4) absorbér se selektivní povrchovou vrstvou, 5) krycí sklo [19]

#### 3.2.3.1.2 Vakuové trubicové kolektory

U vakuových trubicových kolektorů je absorpční plocha vložena do skleněné trubice, ve které je vytvořené vakuum. To stejně jako u plochých vakuových kolektorů snižuje tepelné ztráty do okolí a umožní zachycovat i záření o velmi malé intenzitě. Jsou výhodné pro průmyslové aplikace, ve kterých je vyžadováno dosažení vyšších teplot a mohou pracovat i při velmi rozdílných teplotách kolektoru a okolí. Technologické dosažení těchto vlastností se projevuje také ve vysoké ceně vakuových trubicových kolektorů, která může být ve srovnání s běžnými plochými kolektory 2x až 3x vyšší.

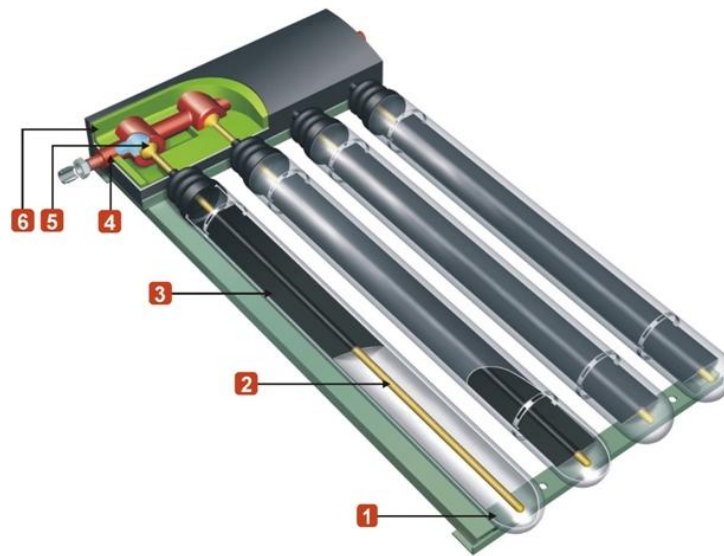
Trubice jsou vyráběny z bórsilikátového skla o tloušťce 1,5 až 3 mm. Toto sklo vykazuje výrazně vyšší mechanickou a tepelnou stabilitu. Optické vlastnosti jsou srovnatelné s plochými kolektory, ale bórsilikátové sklo je dražší. Trubice se skládá ze dvou skleněných rour, které jsou na jedné straně polokruhově uzavřeny a na druhé straně jsou staveny. Z prostoru mezi oběma trubicemi se vyčerpá vzduch a prostor se hermeticky uzavře. [18]

Tyto kolektory se podle konstrukce absorberu dělí na:

**Kolektory s přímo protékajícím absorbérem.** U této konstrukce protéká teplotonosné médium buď trubicí ve tvaru U, nebo vnitřní koaxiální trubicí (trubka v trubce) až ke spodnímu konci absorberu a zpět protéká vnější trubicí v protiproudu a odebírá při tom

teplo z absorberu. Lze tak dosáhnout teploty až 300 °C. Využívají se tak například pro výrobu technologického tepla nebo páry. [18]

**Kolektory s tepelnou trubicí (Heat pipe).** Tato konstrukce vyžaduje montáž ve svislé nebo šikmé poloze – nejméně 15–20°. Tepelná trubice je vyplněna snadno se vypařující kapalinou (od 25 °C). Ta se již při menším záření vypařuje, stoupá tepelnou trubicí vzhůru do kondenzátoru, kde předá teplo, kondenzuje a zase stéká vlivem gravitace zpět do spodní části. Předané teplo je odváděno teplotnosným médiem, protékajícím kolektorovým okruhem. [18]



*Obrázek 3.11: Vakuový trubicový kolektor, 1) skleněná trubice s vakuem, 2) tepelná trubice „Heat Pipe“, 3) absorber, 4) výměník tepla (kondenzátor), 5) sběrná měděná trubka teplotnosné kapaliny, 6) tepelná izolace [19]*

#### 3.2.3.1.3 Vzduchové kolektory

Konstrukční provedení vzduchových kolektorů je podobné výše popsaným plochým kolektorům. Skrz krycí sklo prostupuje sluneční záření do izolované skříně kolektoru, ve které je umístěn absorber. Ohříváný vzduch buďto absorber obtéká nebo protéká skrz něj.

Vzhledem k nižší hustotě vzduchu (ve srovnání s vodou 1000x nižší hustota) zabírají kanály vzduchových kolektorů větší prostor. Další nevýhodou je také nemalá spotřeba pohonů ventilátorů nutných pro zajištění cirkulace vzduchu. Vzdušná vlhkost a nečistoty se mohou usazovat na vnitřku kolektoru a snižovat tak jeho účinnost.

Naopak výhodou vzduchových kolektorů je, že i při malé intenzitě dopadajícího záření dokáží vzduch ohřát na teplotu využitelnou pro teplovzdušné přitápění. Účinnost kolektorů při teplotách do 40 °C je velmi vysoká a vzhledem k tomu, že kolektory nenamrzají, je možné je využívat i nárazově.

Tento typ kolektorů je využíván zejména v systémech vzduchového vytápění budov.

### **3.2.3.2 Další prvky systému**

**Tepelný zásobník** – U systémů na ohřev užitkové vody se v tepelném zásobníku předává a ukládá teplo vyprodukované solárními kolektory do užitkové vody a při nedostatku sluneční energie může být tato voda doplňkově ohřívána jiným zdrojem, kterým může být kotel ústředního vytápění nebo elektrické spirála. Objem zásobníku musí odpovídat ploše kolektorů, aby měl i v letních měsících dostatečnou kapacitu a nedošlo k poškození systému přehřátím nebo nárůstem tlaku. Aby na zásobníku nedocházelo k nežádoucím tepelným ztrátám, je nutné, aby byl dostatečně izolován. Nejčastěji jsou vyráběny z oceli nebo plastu.

**Výměník tepla** – Je umístěn ve spodní části tepelného zásobníku, a slouží k předání tepla z teplotnosného média solárního okruhu médiu v tepelném zásobníku. Využívá se přirozené cirkulace média, kdy ohřátá kapalina stoupá vzhůru a chladnější klesá do spodní části k výměníku. Při návrhu plochy výměníku musí být brán ohled na materiál, ze kterého je vyroben, na teplotu kapaliny v solárním okruhu, na objem a průtok zásobníku.

**Potrubí** – Zajišťuje přenos teplotnosného média mezi kolektory a výměníkem. Pro omezení ztrát by mělo být co možná nejkratší a kvalitně izolované. Navržené by mělo být na požadovanou teplotu, tlak a průtok teplotnosné kapaliny. Nejčastěji se používají měděné, ocelové nebo nerezové trubky, nedoporučují se plasty.

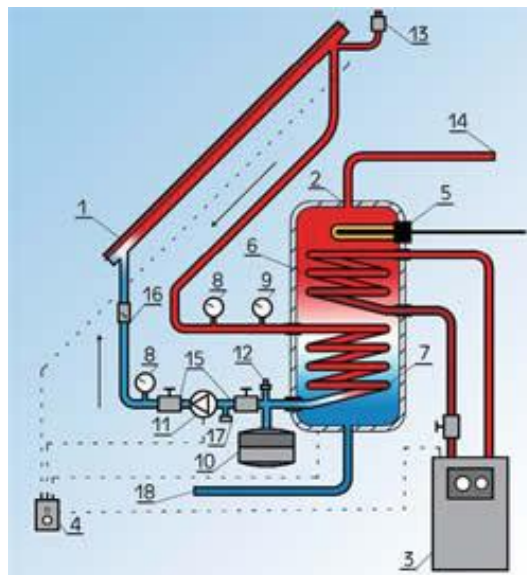
**Oběhové čerpadlo** – Zajišťuje cirkulaci teplotnosné kapaliny u systémů s nuceným oběhem. Navrhuje se podle plochy kolektorového pole.

**Armatury** – Pro zabezpečení spolehlivosti, bezpečnosti, kontroly a regulace. Může se jednat o manometry, teploměry, nebo zpětné ventily. Jako ochrana proti extrémnímu zvýšení tlaku při výpadku elektřiny se instaluje pojistný ventil.

**Expanzní nádoba** - Zajišťují vyrovnávání tlaku, který kolísá vlivem značného kolísání teploty. Při jejím návrhu je potřeba zohlednit předpokládané hodnoty maximálního objemu, teploty a tepelné roztažnosti teplotnosné kapaliny.

**Automatická regulace** - Zabezpečuje řízení a optimalizaci výkonu systému, chrání ho před poškozením a umožňuje potřebnou regulaci tepla mezi spotřebiči.

**Teplotnosná kapalina** – U systémů, které jsou během zimního období vypuštěné, se používá voda. Pro celoroční provoz systému je nutné použití nemrznoucí směsi. Používají se kapaliny na bázi roztoku vody a propylenglykolu s inhibitory koroze, které mají kromě bodu tuhnutí podobné vlastnosti jako voda. [20]



*Obrázek 3.12: Popis solárního termického systému, 1) solární kolektor, 2) tepelný zásobník, 3) kotel ústředního vytápění, 4) regulace solárního systému, 5) elektrické topné těleso, 6) výměník tepla okruhu ústředního vytápění, 7) výměník tepla solárního okruhu, 8) teploměry, 9) manometr, 10) expanzní nádoba, 11) oběhové čerpadlo, 12) pojistný ventil, 13) odvzdušňovací ventil, 14) výstup teplé vody, 15) uzavírací ventily, 16) zpětná klapka, 17) plnicí kohout, 18) vstup studené vody z vodovodního řadu; pozice č. 8, 9, 10, 11, 12, 16 spolu s průtokoměrem jsou na solární instalační jednotce [20]*

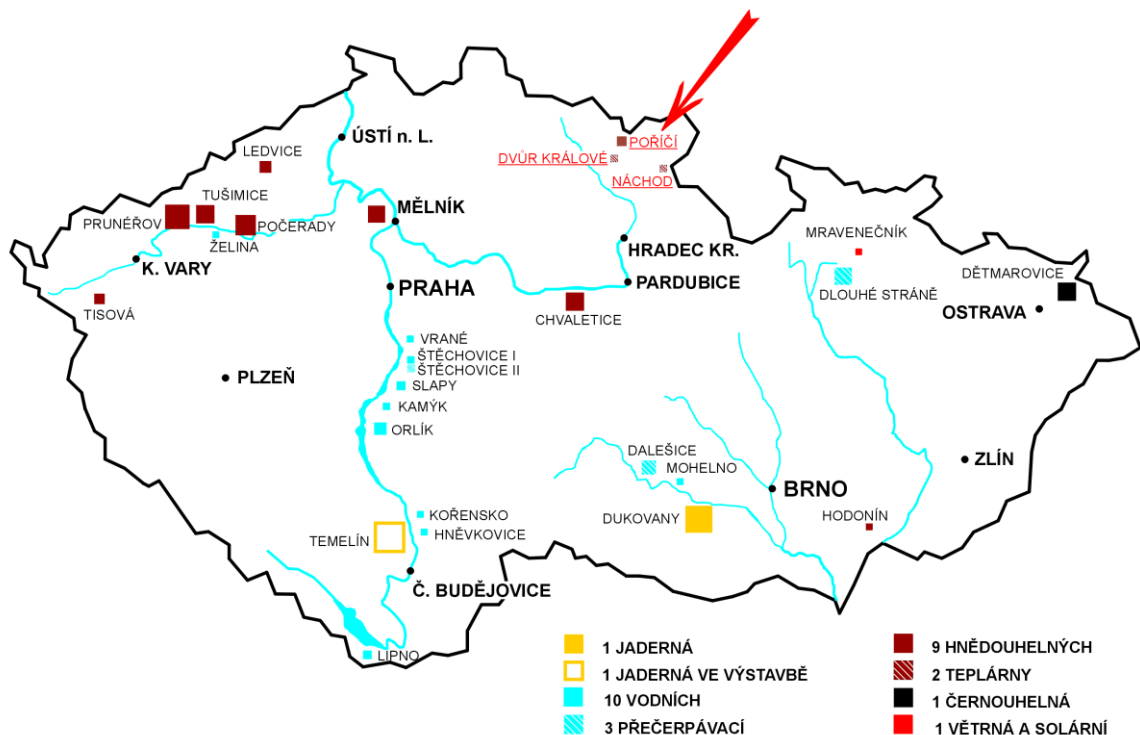
## 4 Teplárna Dvůr Králové (TDK)

Tato část diplomové práce je převážně zpracována z dat, které mi byly poskytnuty Ing. Jiřím Benešem, Ph.D., zejména pak z projektu Optimalizace výroby elektřiny v TDK.

## 4.1 Základní informace

Teplárna Dvůr Králové byla vybudována počátkem padesátých let jako centrální zdroj tepla pro Dvůr Králové nad Labem a nahradila tak nevyhovující lokální zdroje v tomto městě. První dodávky páry pro průmyslové podniky byly zahájeny koncem roku 1955. [10]

Teplárna Dvůr Králové spadá spolu s Elektrárnou Poříčí II pod organizační jednotku Elektrárna Poříčí (součást ČEZ a.s.). Je umístěna v malebné krajině Trutnovska v Královéhradeckém kraji.



Obrázek 4.1: Rozmístění velkých zdrojů elektřiny a tepla v ČR [10]

## 4.2 Současný stav zařízení

### 4.2.1 Kotelna

Pro výrobu elektrické energie v Teplárně Dvůr Králové jsou v současné době instalovány tři uhelné kotle K1-K3 a tři olejové špičkové kotle K11-K13.

Kotle K1 a K2 byly v teplárně instalovány již v rámci původního projektu v roce 1955. Výrobce je ZVU Hradec Králové a jde o hnědouhelné roštové kotle s přirozenou cirkulací. S nástupem podpory výroby elektrické energie z biopaliv se v Teplárně Dvůr Králové objevila možnost pro efektivní využití zařízení. Kotle K1 a K2 jsou



přizpůsobeny od roku 2003 pro celoroční spalování biomasy. Jejich jmenovitý výkon je 25 MWt.

Kotel K3 byl do teplárny nainstalován v roce 1967. Výrobce je Slovenská společnost SES Tlmače. Jde o granulační kotel s nuceným oběhem, spalující hnědé uhlí. Tento kotel není uzpůsoben pro spalování biomasy. Dosahuje jmenovitého výkonu 58 MWt.

Kotle K11, K12 a K13 od ČKD Kolín byly doinstalovány v roce 1982, jako zdroj špičkového výkonu. Tyto kotle mají stejně jako kotel K3 nucenou cirkulaci a spalují lehké topné oleje. Jmenovitý výkon je 3x5 MWt. Jsou provozovány při celozávodní odstávce uhelných kotlů, popř. v přechodovém období.

KOTELNA TDK								
Označení kotle			K 1	K 2	K 3	K 11	K12	K13
rok uvedení do provozu			1955	1955	1967	1982	1982	1982
výrobce			ZVU Hradec Králové		Tlmače	ČKD Kolín		
druh ohniště			roštové	roštové	granulační	olejové	olejové	olejové
oběh vody v kotli			přirozená cirkulace		nucený oběh			
výkon	jmenovitý	MW <sub>t</sub>	25	25	58	5	5	5
		t/h	32	32	75	8	8	8
	ekonomický	MW <sub>t</sub>	19	19	54			
		t/h	25	25	70			
	minimální bez stabilizace	MW <sub>t</sub>	11,5	11,5	31			
		t/h	15	15	41			
minimální se stabilizací	MW <sub>t</sub>	5	5	11	4	4	4	
	t/h	6,5	6,5	15	6	6	6	
druh základního paliva		HU / ČU / lignit	HU	HU	HU	LTO	LTO	LTO
spotřeba projektovaného základního paliva při jmenovitém výkonu		t/hod	8 *)	7 *)	17 *)	0,6	0,47	0,53
průměrná roční účinnost kotle		%	77,45	87,03	83,61	71,1	92,07	80,41
doba potřebná na najetí bloku	po odstávce do 8 hodin (horký stav)	hod.	2	2	2	<1	<1	<1
	po odstávce od 8 do 50 hodin (teplý stav)	hod.	6	6	6	<1	<1	<1
	po odstávce nad 50 hodin (studený stav)	hod.	8	8	8	<1	<1	<1
odsíření	technologie		není	není	není	není	není	není
průměrné roční emise	SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1 518	1 986	772	1 312	1 312	1 312
	tuhé látky	mg/Nm <sup>3</sup>	43	32	10	29	29	29
	NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	523	481	443	278	278	278
	CO	mg/Nm <sup>3</sup>	261	245	19	3	3	3

Tabulka 4.1: Podrobný přehled parametrů kotlů TDK [10]

#### 4.2.2 Strojovna

Na kotelní zařízení navazují turbosoustrojí TG1 a TG3. TG1 je protitlaké soustrojí s hlností cca 70 t/h a výkonem 6,3 MW. TG3 je kondenzační turbosoustrojí s hlností 25 t/h a výkonem 3,6 MW. Toto soustrojí nahradilo v roce 2010 soustrojí označované jako TG2, které bylo pro výkony roštových kotlů cca. dvojnásobně předimenzováno a celoroční provoz byl velmi neekonomický. Jeho hlnost byla stejně jako v případě TG1 70 t/h a výkon generátoru dosahoval 12 MW.

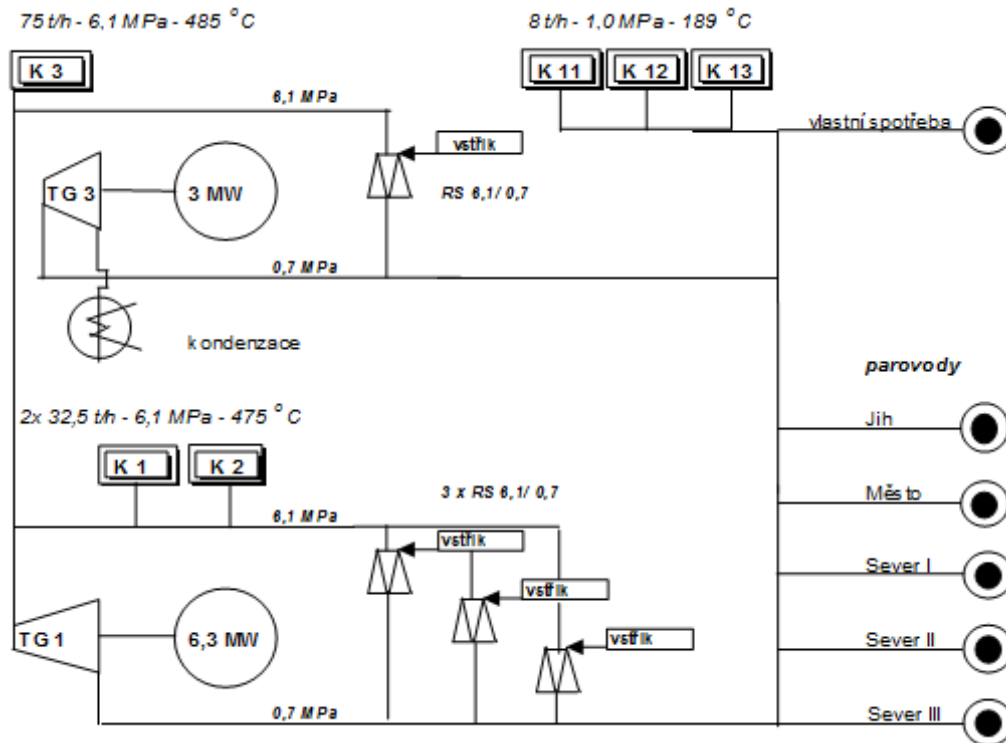
Soustrojí TG1 a TG3 pracují v tandemovém provozu, kdy nové turbosoustrojí TG3 je napojeno na protitlak turbosoustrojí TG1 tak, aby bylo umožněno využívání standardního efektu tandemového provozu s co nejvyšším ročním využitím v ekonomicky efektivní oblasti měrné spotřeby páry na výrobu el. energie.

STROJOVNA TDK			
Označení turbosoustrojí		TG 1	TG 3
turbína	typové označení	-----	-----
	rok uvedení do provozu	1955	2010
	počet těles	ks	1
	druh turbíny	protitlaká	kondenzační
	jmenovitý výkon	MW	6,3
	trend zatěžování v sekundární regulaci	MW/min	1,5
	jmenovitý tlak admisní páry	MPa	5,8
	jmenovitá teplota admisní páry	°C	450
	průměrná roční měrná spotřeba tepla	GJ/MWh	4,14
	druh chladicích věží		průtočné

Tabulka 4.2: Podrobný přehled parametrů turbosoustrojí TDK [10]

Pro kondenzaci je využíván kondenzátor připojený na výstup z TG3, do kterého je při jmenovitém výkonu přiváděno 2220 m<sup>3</sup>/h chladicí vody.

V kondenzátoru vzniklý kondenzát je shromažďován ve sběrači kondenzátoru a následně je čerpán dvojicí kondenzátních čerpadel přes nízkotlakou regeneraci do napájecích nádrží.



Obrázek 4.2: Zjednodušené schéma hlavního výrobního zařízení TDK [12]

### 4.2.3 Chladicí systém

Chladicí systém v Teplárně Dvůr Králové byl vybudován jako otevřený – průtočný (tzn. bez chladicí věže). Vstupní objekt čerpací stanice je vybaven hrubými česlemi. Takto mechanicky předčištěná přivedená chladicí voda není dále nijak upravována, ani do ní nejsou dávkovány žádné chemikálie.

Chladicí voda pro kondenzátor je do strojovny čerpána z čerpací stanice chladicí vody dvojicí chladicích čerpadel. Pro regulaci množství chladicí vody do kondenzátoru je využíváno frekvenčního měniče, který umožňuje přepínání z jednoho čerpadla na druhé i provoz obou čerpadel současně.

Aby bylo zamezeno usazování solí a mechanických nečistot, při provozu s nedostatečně upravenou chladicí vodou, čímž se snižuje koeficient přestupu tepla, a tím i chladicí výkon tepelného výměníku, je instalován systém kontinuálního čištění kondenzátu. Vlastní čištění je prováděno dávkováním pryžových kuliček před kondenzátor. Tyto kuličky mají průměr o něco málo větší než je jmenovitý průměr kondenzátorových trubek. Kuličky jsou nesené chladicí vodou a procházejí přes trubky kondenzátoru, čímž stírají usazené nečistoty, které jsou následně odnášeny chladicí vodou. Po průchodu přes kondenzátor jsou kuličky zachyceny na speciálním sítu, kde jsou z chladicí vody

odloučeny. Následně jsou nasávány (společně s částí chladicí vody) odstředivým čerpadlem a jsou čerpány do sběrače kuliček, a odtud jsou přes rozdělovač dávkovány zpět do potrubí před kondenzátor.

Pro potřeby chlazení generátoru a olejového hospodářství je využito upravené chladicí vody.

#### 4.2.4 Vyvedení výkonu

Výkon z obou generátorů je vyveden do rozvodny 6 kV, což je hladina, na které jsou napájeny městské rozvody ve Dvoře Králové. V rámci výměny TG3 byla částečně zrekonstruována, aby část do které je připojen právě TG3 odpovídala požadované hodnotě zkratového výkonu 300 MVA. Tato rozvodna je vybavena dvojitým systémem přípojníc a je tedy provozována ve dvou oddělených částech, s možností propojení přes podélný spínač přípojníc (obrázek 4.3).

Dále je výkon vyveden přes transformátory T1 a T2 se jmenovitým výkonem 8 MVA do rozvodny 35 kV. Na této napěťové hladině je zajištěno celoplošné napájení v oblasti. Tato rozvodna je rovněž v konstrukčním uspořádání s dvojitým systémem přípojníc a její zkratový výkon je 400 MVA.

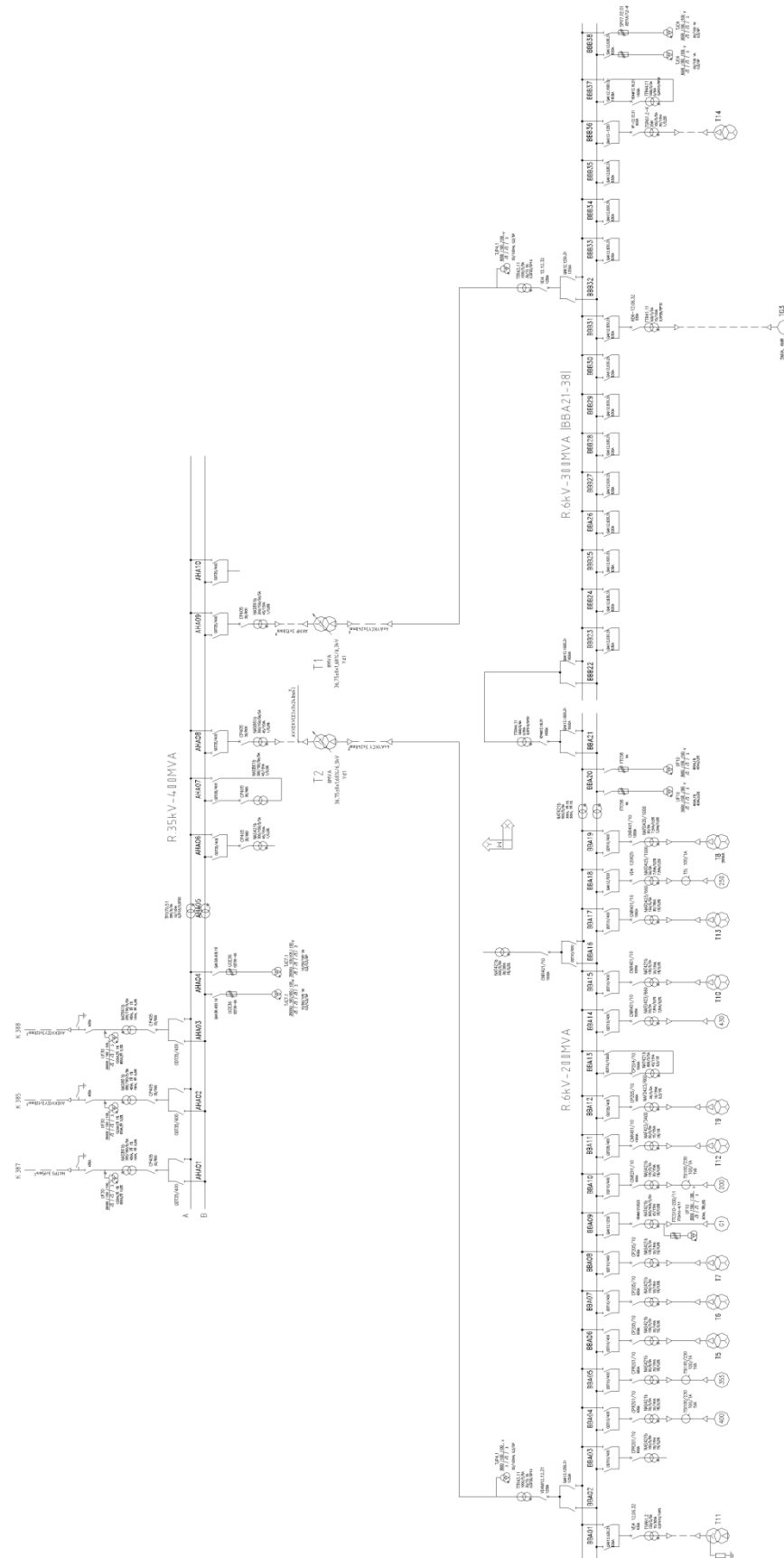
Instalovaný teplárenský výkon zde činí 124 MWt. Ročně je parní sítí (délka 18,4 km) dodáno teplo v celkovém objemu asi 220 000 GJ do 106 předávacích míst. Z tohoto objemu činí většinu odběru průmysl (cca 54–58%), dále pro obyvatelstvo (25–30%) a pro ostatní (16%).

Odběr tepla je zajištěn pomocí pěti větví (obrázek 4.4):

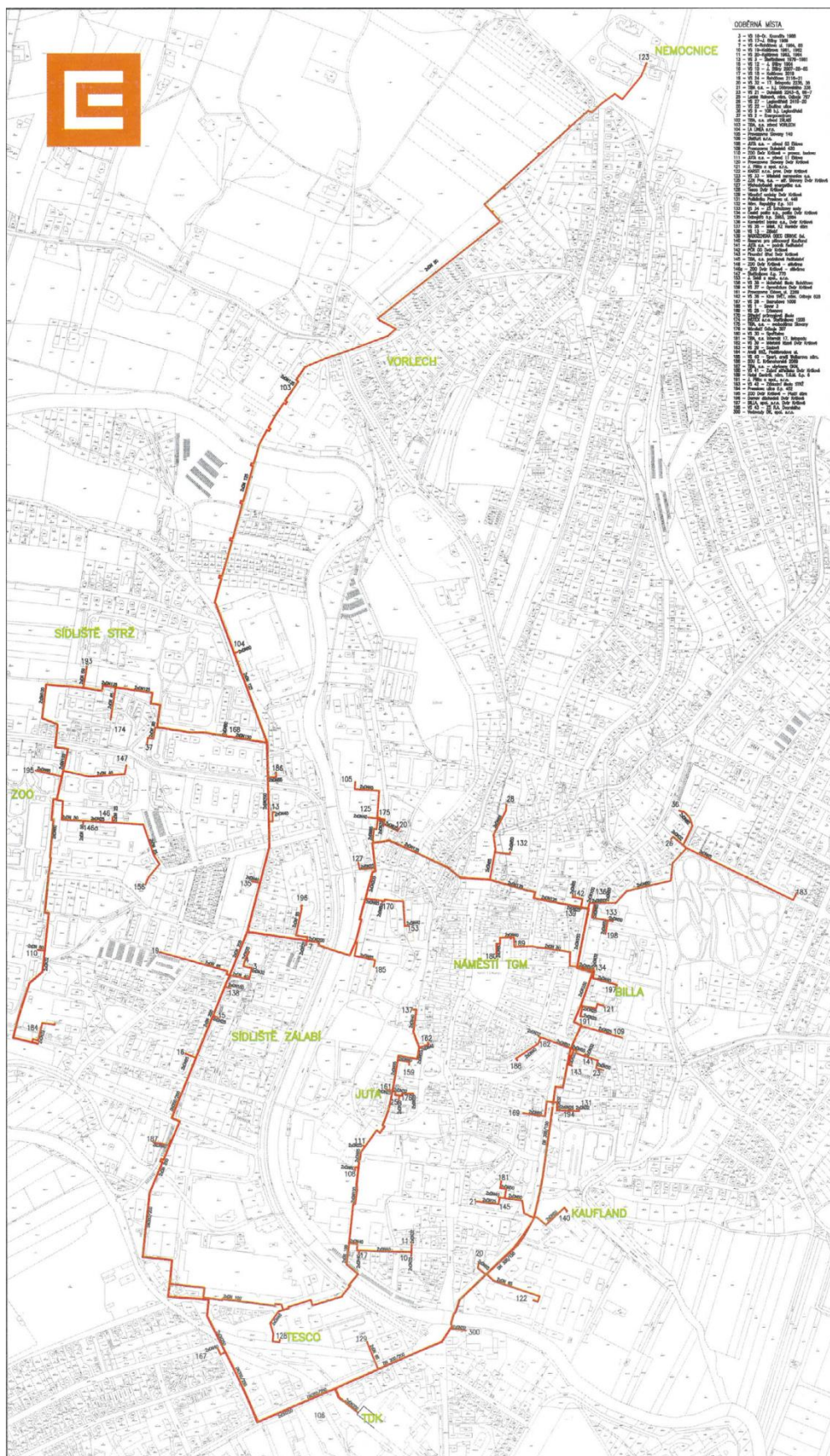
- Sever 1 (Zálabí, Vorlech, Nemocnice)
- Sever 2 (Tiba Zálabí, nám. Odboje)
- Sever 3 (ZOO, Strž)
- Město (Centrum, Slovany, Zálabí)
- Jih (Juta 01)

Z průmyslového odběru jsou největší odběratelé JUTA, a.s. a LA Linea s.r.o. odebírající každý cca 15 % průmyslového odběru.

Pro obyvatelstvo je teplo dodáváno do cca 1710 bytů, což představuje dodávku pro cca 33 % obyvatel města.



Obrázek 4.3: Schéma vyvedení elektrického výkonu TDK [12]



Obrázek 4.4: Centrální rozvod tepla ve Dvoře Králové nad Labem [www.cez.cz ]

#### 4.2.5 Ekologie

Teplárna je orientována na kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (tzv. kogeneraci). Tepelná účinnost provozu jako celku se pohybuje dlouhodobě nad 60 %, přičemž dosahování těchto hodnot je zásadně ovlivněno podílem kogenerace na celkové produkci teplárny Dvůr Králové, a tedy sekundárně i klimatickou a hospodářskou situací v daném roce, v dané lokalitě.

I přes to, že v teplárně není instalované odsíření spalin, jsou dodrženy limity pro vypouštění emisí do ovzduší jak pro SO<sub>2</sub>, tak pro NO<sub>x</sub>, CO a tuhé znečišťující látky. Od 1.1.2005 je provozováno zařízení pro sledování koncentrací znečišťujících látek do ovzduší (TZL, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO) z kotlů K1, K2 a K3 pro optimalizaci spalování a monitorování dodržování emisních limitů znečišťujících látek.

V roce 1996 proběhla v teplárně rekonstrukce kotlů pro splnění emisních limitů. Kotel K3 byl vybaven tkaninovým filtrem (účinnost 97,5 %), kotle K1 a K2 byly vybaveny společným elektroodlučovačem (účinnost 99,9 %). Všechny tři kotle byly vybaveny plynovými hořáky pro zlepšení emisí. Vzhledem ke spalování uhlí s nižším obsahem síry (kotel K3 – 0,6 % S, kotle K1 a K2 – 1,2 % S) nejsou emisní limity překračovány, takže není prakticky nutno plynové hořáky provozovat.

Je zaveden systém kontroly jakosti produkovaných popelovin, současně je i minimalizována jejich produkce spoluspalováním biomasy.

Zbytky po spalování hnědého uhlí jsou plaveny na odkaliště, nebo využívány jako surovina pro výrobu stabilizátu v Elektrárně Poříčí, který je certifikován jako výrobek. Nebo jsou upravovány pro produkci certifikovaného stavebního materiálu pro rekultivace, tvarování krajiny, násypy apod.

Veškeré silně zasolené odpadní vody z technologie jsou využívány jako součást dopravních vod pro transport tuhých zbytků po spalování hydraulickou dopravou, při níž je eliminována jejich nebezpečnost (vzájemná neutralizace, navázání vysrážených částic na popílek).

Teplárna vypouští odpadní technologické vody, včetně vod z odkaliště, do řeky Labe, přičemž dodržuje stanovené limity znečištění. Předčištěné zaolejované, dešťové a splaškové vody odtékají do veřejné kanalizace.

Do budoucna je zpracován projekt na snížení odběru vody z Labe, který počítá s technickým opatřením pro využití části dešťové vody pro technologické účely.

## 5 SWOT analýza společné výroby elektřiny a tepla z OZE

### 5.1 Grafické znázornění

	Silné stránky	Slabé stránky
Vnitřní prostředí	<p>Vyšší účinnost díky kogeneraci (KVET)</p> <p>Využití OZE</p> <p>Úspora fosilních paliv</p> <p>Ekologické výhody spalování biomasy</p> <p>Využití částí technologie oběma systémy</p> <p>Možnost nepřerušného provozu</p>	<p>Solární podmínky ČR</p> <p>Zastavěná plocha</p> <p>Vysoké investiční náklady</p>
Vnější prostředí	Příležitosti	Hrozby
	<p>Rozvoj a zdokonalování technologie</p> <p>Podpora ze strany ČR a EU</p> <p>Snížení závislosti na fosilních palivech a dovozu energetických surovin</p> <p>Zvyšování cen energetických surovin</p> <p>Přiblížení ke splnění závazků vůči EU</p>	<p>Změny legislativy</p> <p>Závislost na klimatu a prostředí</p> <p>Přírodní živly</p> <p>Vývoje kvalitnějších technologií</p> <p>Současná situace kolem slunečních elektráren</p>

### 5.2 Silné stránky

- **Kogenerace** je kombinované výroba elektřiny a tepla (KVET). Přináší hned několik výhod pro zvýšení využitelnosti a účinnosti zařízení. Výrobní kapacita teplárny bez kogenerace je mimo topnou sezónu značně nevyužitá, to závisí na skladbě odběratelů, v případě TDK jde zejména o dodávku tepla domácnostem,



kteřá činí asi 25-30% celkového odběru tepla. Díky využití kogenerace může být tento výkon využit pro výrobu elektrické energie, což zvyšuje ekonomickou výnosnost provozu. Oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla, kde zejména výroba elektřiny má výrazně nižší účinnost, se dá využitím KVET tento nedostatek odstranit (obrázek 5.1). Dosáhne se tak vyššího využití paliva a tím dalších ekonomických úspor.



Obrázek 5.1: Porovnání účinností oddělené výroby elektřiny a tepla a KVET

[[www.cez.cz](http://www.cez.cz)]

- **Využití OZE** je výhodné zejména u solární energie. Tato technologie sice vyžaduje vyšší investiční náklady, další provoz je ale již ve srovnání s technologiemi spalujícími pevná paliva velice levný a ekologický. Slunce je v dohledné době nevyčerpatelný zdroj energie, která je zdarma. Přináší tedy úsporu provozních nákladů spojených s nákupem a dalším zpracováním paliva a nevypouští do ovzduší žádné škodlivé látky.
- **Úspora fosilních paliv** – Náhraď stávajících technologií spalující fosilní paliva (hnědé a černé uhlí, zemní plyn), alternativními technologiemi využívající obnovitelné zdroje energie, je důležitá vzhledem ke snižujícím se zásobám fosilních paliv v přírodě.
- **Ekologické výhody spalování biomasy** jsou neoddiskutovatelné. Dřevo či sláma, jsou-li správně spáleny, jsou hned po vodíku nejekologičtějším palivem. Jediným příspěvkem ke znečištění ovzduší jsou oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), které vznikají při každém spalování za přítomnosti vzduchu. Jejich množství závisí na kvalitě spalování, zejména pak na teplotě. Bilance  $\text{CO}_2$  je při spalování organických hmot vyrovnaná vzhledem k tomu, že je znovu absorbován při růstu rostlin. Nelze tedy v tomto směru hovořit o problému s emisemi skleníkových plynů. Obsah síry ve slámě je asi 0,1%, ve dřevě dokonce síra vůbec není. Tyto hodnoty jsou v porovnání se 2% síry v hnědém uhlí minimální.

- **Využití částí technologie oběma systémy** – Jak je popsáno výše, některé součásti technologie jsou využívány oběma systémy. Jsou to zejména soustrojí turbína-generátor, kondenzátor, chladicí systém a zařízení vyvedení výkonu. To je jednou z velkých ekonomických výhod hybridního systému. Snižují se tak investiční náklady v porovnání s vybudováním obou provozů odděleně.
- **Možnost nepřerušného provozu** – Při spalování biomasy je nepřetržitý provoz závislý zejména na dostupnosti paliva. U solární elektrárny je dosažení nepřetržitého provozu mnohem obtížnější vzhledem k nestálosti slunečního svitu. To je řešeno různými zařízeními pro ukládání tepla, ze kterých se teplo čerpá při nedostatku slunečního záření. Tato zařízení jsou ale velice nákladná, nebo v současné době technicky nedokonalá. U hybridního systému je zařízení na ukládání tepla nahrazeno zařízením spalující biomasu.

### 5.3 Slabé stránky

- **Solární podmínky ČR** – Oproti oblastem na jihozápadě Spojených Států a kolem Středozemního moře, kde za rok na plochu 1 m<sup>2</sup> dopadne asi 2000 kWh/m<sup>2</sup> energie, na území České Republiky je tato hodnota přibližně poloviční 1000-1100 kWh/m<sup>2</sup> energie za rok.
- **Zastavěná plocha** – Pokud budu uvažovat přímo TDK, tak zastavěná plocha tohoto výrobního závodu je cca. 30 000 m<sup>2</sup>, bude li se uvažovat i plocha odkaliště, přibude dalších cca. 90 000 m<sup>2</sup>. Solární systém, který by mohl pracovat paralelně s kotli teplárny a doplňovat tak jejich výkon, by vyžadoval minimálně cca. 100 000 m<sup>2</sup>. Takového rozšíření může být v dnešní době obtížné.
- **Vysoké investiční náklady** – Investiční náklady na výstavbu samostatného solárního systému jsou asi 1,6 krát vyšší, než na výstavbu systému spalujícího tuhá paliva. Výstavbou hybridního systému dojde k úspoře díky využití společných prvků pro obě technologie, nutné investiční náklady jsou ale stále velmi vysoké. [9]

### 5.4 Příležitosti

- **Rozvoj a zdokonalování technologie** do budoucna pomůže ke snížení investičních i provozních nákladů. To mohou podpořit v současné době zejména bohaté státy z Perského zálivu, jako jsou Spojené arabské emiráty, které

projevují zájem o spolupráci se Španělskem, které má již s budováním solárních tepelných elektráren bohaté zkušenosti.

- **Podpora ze strany ČR a EU** – KVET i výroba energie pomocí OZE jsou podporovány různými způsoby. Tato podpora je deklarována ve Státní energetické koncepci, i ve Státní politice životního prostředí. ERÚ stanovuje příspěvky k cenám elektřiny tak, aby příspěvek umožnil uplatnění elektřiny na trhu s ohledem na efektivní využívání primárních energetických zdrojů. Projekty výstavby a provozování kogeneračních jednotek a jednotek využívajících OZE lze spolufinancovat také z prostředků strukturálních fondů EU.
- **Snížení závislosti na fosilních palivech a dovozu energetických surovin** – Zapracování vyššího poměru zdrojů využívajících OZE do energetického mixu sníží závislost státu na tenčících se zásobách fosilních paliv a dovozu energetických surovin (zejména zemního plynu) ze zahraničí.
- **Zvyšování cen energetických surovin** – Se snižujícími se zásobami zemního plynu, hnědého a černého uhlí, se jejich ceny neustále zvyšují a tento trend se podle všech předpokladů do budoucna nezastaví. Využívání solární energie, bude díky její volné dostupnosti ekonomicky stále výhodnější.
- **Přiblížení ke splnění závazků vůči EU** – Jak je popsáno výše, vstupem do EU jsme se zavázali ke zvýšení podílu výroby elektřiny z OZE na 13% do roku 2020. Ke splnění tohoto závazku by mohly přispět také úpravy tepláren využívajících kombinovanou výrobu elektřiny a tepla pro využívání OZE.

## 5.5 Hrozby

- **Změny legislativy** – Vzhledem k předpokládané životnosti (až 50 let) jsou během tohoto období pravděpodobné legislativní změny, které mohou do značné míry ovlivnit fungování a ekonomiku provozu.
- **Závislost na klimatu a prostředí** – Stejně jako je výroba solární elektrárny závislá na periodickém střídání solárních podmínek (den/noc, léto/zima), tak i produkce biomasy je závislá zejména na střídání ročních období. Z tohoto důvodu je potřeba využívat různé typy biomasy pro pokrytí celoroční dodávky.
- **Přírodní živly** – Velké ohrožení pro solární elektrárny přináší v ČR zejména silný vítr, který může buď přímo poničit konstrukci zařízení, nebo jej mohou poškodit předměty nesené větrem. Dalším ohrožením může být silné krupobíť,

kdy padající velké kroupy mohou promáčkout nebo dokonce prorazit reflektor solárního panelu.

- **Vývoj kvalitnějších technologií** je kontinuální proces, který v budoucnu může přinést účinnější technologii využívající sluneční záření.
- **Současná situace kolem slunečních elektráren**, kdy je rozebíráno legislativní pochybení při stanovování garantovaných výkupních cen energie vyráběné pomocí obnovitelných zdrojů, jak ukazuje tabulka 3.2. V souvislosti s tímto je těžko odhadnutelný další vývoj tohoto odvětví v ČR.

## 6 Návrh integrace solárního systému do provozu TDK

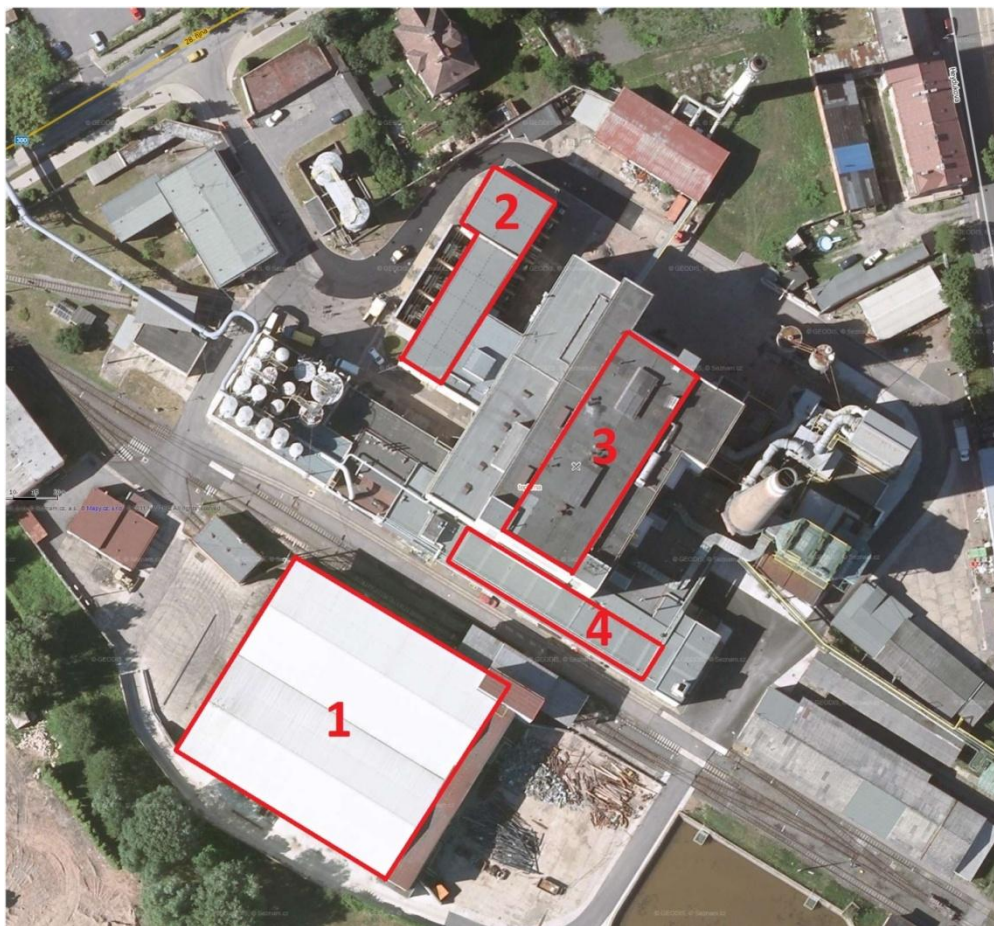
V této části diplomové práce se budu zabývat možnostmi integrace solárních systémů do provozu Teplárny Dvůr Králové nad Labem, hodnocením přínosů, technické realizovatelnosti a ekonomické návratnosti jednotlivých variant.

Jsou uvažovány dvě možnosti využití solárního systému:

- 1) Využití solárních kolektorů pro ohřev vody z vratného potrubí centralizovaného zásobování teplem.
- 2) Instalace fotovoltaické elektrárny na volné střechy teplárny.

### 6.1 Prostorové a solární podmínky

Teplárna Dvůr Králové nad Labem je umístěna v průmyslové zóně na jižní straně města. Pro rozmístění solárních panelů v areálu je potřeba brát ohled zejména na možné zastínění vybraných prostor samotnou teplárnou, která je v okolí nejvyšší stavbou. Další vysoké budovy nebo stromy, které by zastiňovaly prostory v areálu TDK, v okolí nejsou.



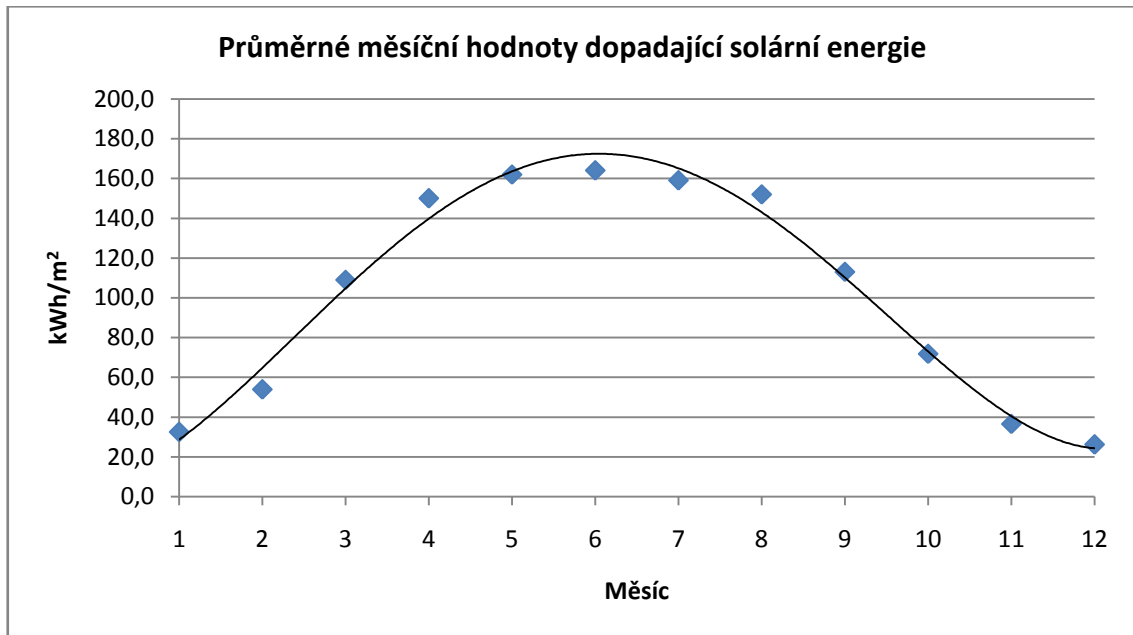
Obrázek 6.1: Prostory vhodné pro umístění solárních panelů [www.mapy.cz]

Prostory, které jsem vybral pro instalaci solárních systémů, jsou znázorněny na obrázku 6.1. Jde o střechy budov, které během dne budou jen minimálně zastíněny. Jejich celková plocha je cca. 4475 m<sup>2</sup> a to v poměru:

- Objekt 1 – 2500 m<sup>2</sup>
- Objekt 2 – 525 m<sup>2</sup>
- Objekt 3 – 900 m<sup>2</sup>
- Objekt 4 – 550 m<sup>2</sup>

Pro určení solárních podmínek pro Dvůr Králové nad Labem jsem použil Geografický informační systém Evropské komise [13]. Ten pro tuto lokalitu udává ideální sklon pevných solárních panelů 35° a azimut -2°, to znamená natočení o 2° od základního jižního směru na východ. Azimut budov TDK je ale asi 30°. Na takto nasměrované panely dopadne za rok průměrně 1230 kWh/m<sup>2</sup> v ideálním případě by tato hodnota

dosahovala 1260 kWh/m<sup>2</sup>. Graf 6.1 znázorňuje úhrny dopadající energie v jednotlivých měsících.



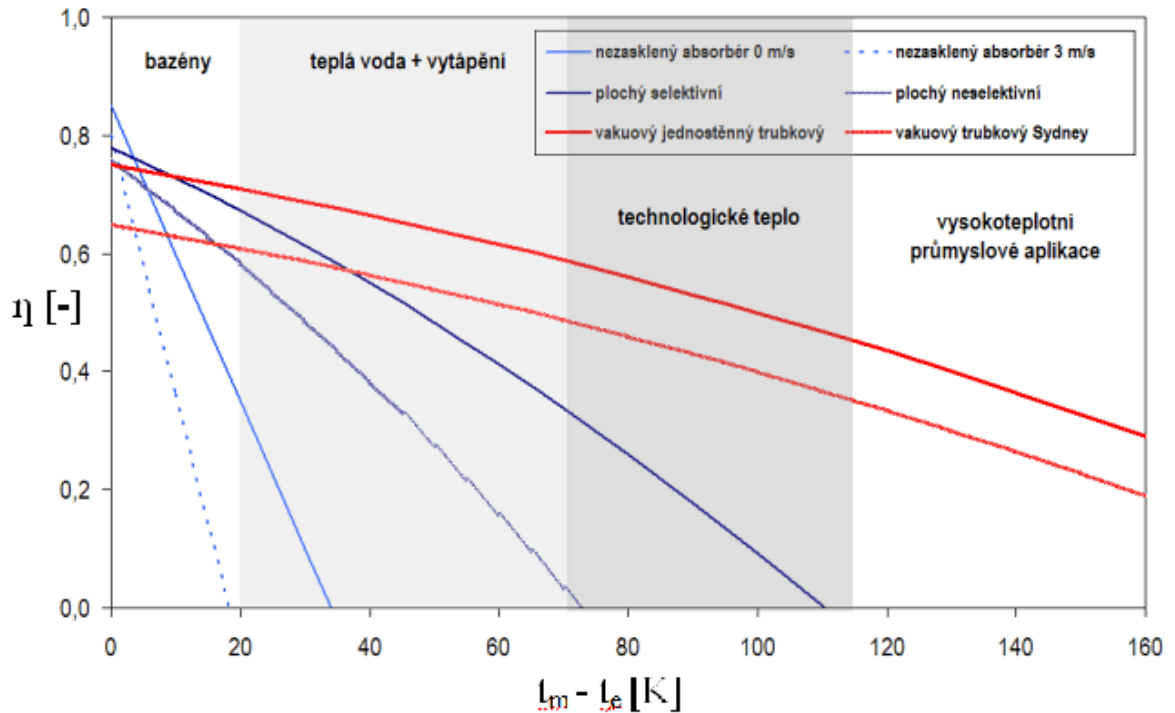
Graf 6.1: Průměrné hodnoty dopadající solární energie v lokalitě Dvůr Králové nad Labem

## 6.2 Návrh solárního termického systému

Využití solárního ohřevu pro velké průmyslové aplikace je velmi specifický problém. Nejvhodnější aplikace pro jeho využití jsou:

- příprava teplé vody pro umývání a čištění
- předehřev napájecí vody pro parní síť
- ohřev lázní a nádob
- konvektivní sušení horkým vzduchem
- příprava teplé vody jako „suroviny“ pro další využití

Ideální je využití u aplikací, kde je vyžadováno celoroční zásobování médiem o teplotě co nejméně se lišící od teploty okolí. V takovém případě mají solární kolektory nejvyšší účinnost, jak ukazuje graf 6.2, kde  $t_m$  je střední teplota teplotnosné látky a  $t_e$  je teplota okolního vzduchu.



Graf 6.2: Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [16]

Voda vracející se do TDK z centralizovaného zásobování teplem má v letním období asi 50 °C a je nutné ji ohřívat na teplotu 100 °C v topné sezóně je pak teplota vratné vody 60 °C a ohřívá se na 130 °C.


Z toho vyplývá, že vzhledem k účinnosti je pro tuto aplikaci nejvhodnější použít vakuové solární kolektory. Jejich dalšími výhodami je schopnost pracovat i ve vysokých mrazech, takže jsou vhodné pro celoroční provoz a ve srovnání s deskovými kolektory mají také vyrovnanější výkonovou bilanci v ranních a večerních hodinách i v zimním období.

### 6.2.1 Stanovení využitelného tepelného zisku solární soustavy

Nejprve je potřeba vybrat vhodný typ kolektorů a vypočítat jejich účinnost podle pracovních teplot pro danou aplikaci.

Jako vhodnou variantu jsem zvolil kolektory TURBOSOL TP 30/1800. Parametry tohoto kolektoru jsou zobrazeny v tabulce 6.1.



Model		TP 30	
Počet trubic	ks	30	
Plocha apertury	m <sup>2</sup>	2,791	
Absorbční plocha	m <sup>2</sup>	2,424	
Rozměry	mm	2010 x 2420 x 189	
Absorbivita	%	94	
Emisivita	%	7	
Maximální provozní tlak	MPa	0,6	
Minimální provozní teplota	°C	-40	
Účinnost kolektoru	%	85	
Lineární součinitel tepelné ztráty (a <sub>1</sub> )	W/m <sup>2</sup> *K	1,771	
Kvadratický součinitel tepelné ztráty (a <sub>2</sub> )	W/m <sup>2</sup> *K <sup>2</sup>	0,0192	
Cena	Kč	18 990	

Tabulka 6.1: Parametry kolektoru TURBOSOL TP 30/1800

Výpočet účinnosti kolektoru a následně výpočet energetického zisku provedu pro každý měsíc samostatně, aby byl zjevný vliv okolní teploty na účinnost a rozdílný objem výroby v průběhu roku.

Výpočet účinnosti pro leden [16]:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{60 + 130}{2} = 95^\circ\text{C} \quad 6.1$$

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} = 85 - 1,771 * \frac{95 - 1,6}{312} - 0,0192 \frac{(95 - 1,6)^2}{312} = 83,93 \% \quad 6.2$$

$\eta_k$  – průměrná měsíční účinnost solárních kolektorů [%]

$\eta_0$  – optická účinnost kolektoru [%]

$t_m$  – střední teplota teplotnosné látky [°C]

$t_1$  – teplota teplotnosné látky na vstupu do kolektorů [°C]

$t_2$  – teplota teplotnosné látky na výstupu z kolektorů [°C]

$\eta_0$  – průměrná měsíční účinnost solárních kolektorů [%]

$a_1$  – lineární součinitel tepelných ztrát [-]

$a_2$  – kvadratický součinitel tepelných ztrát [-]

$t_e$  – průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu [°C]

$G$  – střední denní sluneční ozáření [W/m<sup>2</sup>]



Budu-li uvažovat celkovou plochu kolektorů 2000m<sup>2</sup>, půjde o instalaci 410 takovýchto kolektorů. V tabulce 6.2 jsou zobrazeny jednotlivé hodnoty nutné pro výpočet využitelného solárního zisku. Hodnoty  $t_e$  a  $G$  jsou převzaty z knihy Solární tepelná technika [17] a hodnoty průměrné měsíční dopadající solární energie  $H_m$  jsou převzaty z Geografického informačního systému Evropské komise [13].

$$A_k = n * A_{k1} = 410 * 2,791 = \mathbf{1144,31m^2} \quad 6.3$$

$n$  – počet instalovaných kolektorů [ks]

$A_{k1}$  – plocha apertury jednoho kolektoru [m<sup>2</sup>]

Plochou apertury u trubkového kolektoru bez reflektoru je průmět vnější krycí trubky.

Výpočet teoretického měsíčního tepelného zisku  $Q_k$  pro leden:

$$Q_k = 0,9 * \eta_k * H_m * A_k * (1 - p) = 0,9 * 83,93 * 34,5 * 1144,31 * (1 - 0,06) = \mathbf{28,03 MWh} \quad 6.4$$

$H_m$  – průměrná měsíční dopadající solární energie [kWh/m<sup>2</sup>]

$A_k$  – plocha apertury solárních kolektorů [m<sup>2</sup>]

$p$  – srážky tepelného zisku vlivem tepelných ztrát solární soustavy [-]

Měsíc	$t_m$ [°C]	$t_e$ [°C]	$G$ [W/m <sup>2</sup> ]	$\eta_k$ [%]	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [MWh]
1.	95	1,6	312	83,93	34,5	1144,31	28,03
2.	95	2,4	403	84,18	56,8	1144,31	46,29
3.	95	6	492	84,37	113	1144,31	92,30
4.	95	10,7	543	84,47	154	1144,31	125,94
5.	75	15,9	551	84,69	163	1144,31	133,64
6.	75	18,9	568	84,72	164	1144,31	134,50
7.	75	20,7	551	84,72	159	1144,31	130,41
8.	75	20,8	543	84,72	155	1144,31	127,12
9.	75	18	492	84,67	117	1144,31	95,90
10.	95	12,7	403	84,32	75,7	1144,31	61,79
11.	95	7,2	312	84,03	38,9	1144,31	31,64
12.	95	3,3	247	83,69	27,7	1144,31	22,44
<b>Celkem</b>							<b>1030,01</b>

Tabulka 6.2: Stanovení využitelného tepelného zisku

### 6.2.2 Ekonomické hodnocení

Hodnocení úspor vzniklých díky využití solárního termického systému je poměrně jednoduché. Stačí přepočítat vypočítaný roční tepelný zisk na objem primárního paliva, v tomto případě na hnědé uhlí nebo na biomasu.

Roční využitelný tepelný zisk:

$$1 Wh \Rightarrow 3600 J \quad 6.5$$

$$1030,01 MWh \Rightarrow 3708 GJ \quad 6.6$$

Aktuální ceny hnědého uhlí a biomasy pro elektrárny:

Hnědé uhlí cca. 40 Kč/GJ

Biomasa cca. 100 Kč/GJ

Roční úspora z hnědého uhlí:

$$3708 GJ * 40 \frac{Kč}{GJ} = 148\,320 \frac{Kč}{rok} \quad 6.7$$

Roční úspora z biomasy:

$$3708 GJ * 100 \frac{Kč}{GJ} = 370\,800 \frac{Kč}{rok} \quad 6.8$$

Investiční náklady:

Cena kolektorů:

$$410 ks * 18990 Kč = 7\,785\,900 Kč \quad 6.9$$

Investiční náklady na solární termický systém jsou poměrně vysoké. Již z pořizovací ceny samotných solárních kolektorů je patrné, že ekonomická návratnost investice je při variantě úspory na hnědém uhlí vyšší než 50 let. Při uvážení úspor z biomasy se návratnost sníží na cca. 21 let. Tato cena ale neobsahuje další náklady spojené s instalací systému a s vybudováním výměňkové stanice, která je nutnou součástí.

Při výrobcem udávané životnosti kolektorů 25 let je tedy tato investice z ekonomického hlediska nenávratná a nemohu tak tuto variantu označit jako vhodnou pro realizaci.

## 6.3 Návrh fotovoltaické elektrárny

### 6.3.1 Volba panelů

Nejdůležitějším pro samotný návrh je výběr fotovoltaických panelů, které jsou základním prvkem systému a záleží na nich ekonomické výsledky celého projektu. Proto jsem provedl průzkum trhu a výběr některých vhodných panelů uvádím v následující tabulce.


Výrobce	Canadian Solar	Canadian Solar	Fire Energy	Fire Energy
Typ	CS5A-195M	CS6P-245M	FE-190M	FE-250M
Technologie	monokrystalický	monokrystalický	monokrystalický	monokrystalický
$P_{MAX}$ [Wp]	195	245	190	250
$\eta$ [%]	15,26	15,23	14,90	15,00
Rozměry [mm]	1595 x 801 x 40	1638 x 982 x 40	1580 x 808 x 35	1646 x 992 x 45
Cena (včetně DPH) [Kč]	3315	4226	3087	4125
Plocha [m <sup>2</sup> ]	1,278	1,609	1,277	1,633
Měrný výkon [W/m <sup>2</sup> ]	152,58	152,27	148,79	153,09
Poměrná cena [Kč/Wp]	17,00	17,25	16,25	16,50
Prodejce	<a href="http://www.solarf.com">http://www.solarf.com</a>			

Výrobce	Canadian Solar	Canadian Solar	Canadian Solar	<b>Fire Energy</b>
Typ	CS6P-230P	CS6P-240P	CS6P-250P	<b>FE-240P</b>
Technologie	polykrystalický	polykrystalický	polykrystalický	<b>polykrystalický</b>
$P_{MAX}$ [Wp]	230	240	250	<b>240</b>
$\eta$ [%]	14,30	14,92	15,54	<b>14,70</b>
Rozměry [mm]	1638 x 982 x 40	1638 x 982 x 40	1638 x 982 x 40	<b>1650 x 992 x 45</b>
Cena (včetně DPH) [Kč]	3622	3900	4187	<b>3600</b>
Plocha [m <sup>2</sup> ]	1,609	1,609	1,609	<b>1,637</b>
Měrný výkon [W/m <sup>2</sup> ]	142,95	149,16	155,38	<b>146,60</b>
Poměrná cena [Kč/Wp]	15,75	16,25	16,75	<b>15,00</b>
Prodejce	<a href="http://www.solarf.com">http://www.solarf.com</a>			

*Tabulka 6.1: Přehled vybraných fotovoltaických panelů*

Pro výběr vhodného typu fotovoltaických panelů jsem si z běžně uváděných hodnot vypočítal ještě hodnoty měrného výkonu [W/m<sup>2</sup>] a poměrnou cenu [Kč/W], aby bylo možné objektivně posoudit rozdíly mezi panely o různých rozměrech. Podle těchto kritérií jsem se rozhodl pro použití polykrystalických panelů Fire Energy – FE-240P, které mají sice jeden z nejnižších měrných výkonů z vybraných panelů, ale zároveň je jejich cena na watt instalovaného výkonu výrazně nižší než u ostatních panelů a díky tomu dosahují vyššího ekonomického výnosu.

Fire Energy FE-240P		
Maximální výkon	W	240
Napětí naprázdno	V	37,2
Optimální provozní napětí	V	30,0
Zkratový proud	A	8,56
Optimální provozní proud	A	8,1
Účinnost	%	14,7
Pracovní teplota	°C	-40 ~ 85
Maximální izolace systému	V	1000
Tolerance výkonu	W	± 5
Rozměry	mm	1650 x 992 x 45
Hmotnost	kg	19,0



Tabulka 6.2: Parametry panelu FE-240P

### 6.3.2 Rozestupy mezi nosnými konstrukcemi

Pro výpočet rozestupu mezi jednotlivými nosnými konstrukcemi uvažují uspořádání, kdy panely ve stringu jsou orientovány na šířku ve třech řadách nad sebou. Tyto tři řady jsou spojeny paralelně, a tak je docíleno, že panely budou dodávat výkon (1/3 nebo 2/3) i při částečném zastínění. To umožní snížit rozestupy mezi jednotlivými řadami, tím dosáhnout vyššího celkového instalovaného výkonu a vyššího zisku ve slunných měsících, kdy je slunce vysoko na obloze.

Pro výpočet ideálního rozestupu, kdy by panely byly zastíněny minimálně, použijí hodnotu úhlu dopadajících paprsků  $\alpha = 16,5^\circ$ . To odpovídá poloze slunce v poledne při prosincovém zimním slunovratu, kdy je na obloze nejnižší.

$$v = 3 * 0,992 = 2,976 \text{ m} \quad 6.10$$

$$\alpha = 16,5^\circ, \quad \beta = 35^\circ \quad 6.11$$

$$h = v * \sin \beta = 2,976 * \sin 35^\circ = 1,707 \text{ m} \quad 6.12$$

$$l_1 = v * \cos \beta = 2,976 * \cos 35^\circ = 2,438 \text{ m} \quad 6.13$$

$$l_2 = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{1,707}{\operatorname{tg} 16,5^\circ} = 5,763 \text{ m} \quad 6.14$$

$$l = l_1 + l_2 = 2,438 + 5,763 = 8,201 \text{ m} \quad 6.15$$

$$\Delta l = \frac{1}{3}l_1 + \frac{\frac{1}{3}h}{\text{tg } \alpha} = \frac{1}{3}2,438 + \frac{\frac{1}{3}1,707}{\text{tg } 16,5^\circ} = 2,734 \text{ m} \quad 6.16$$

$v$  - celková délka panelů [m]

$l$  - ideální vzdálenost mezi počátky jednotlivých konstrukcí [m]

$l_1$  - délka podstavy konstrukce [m]

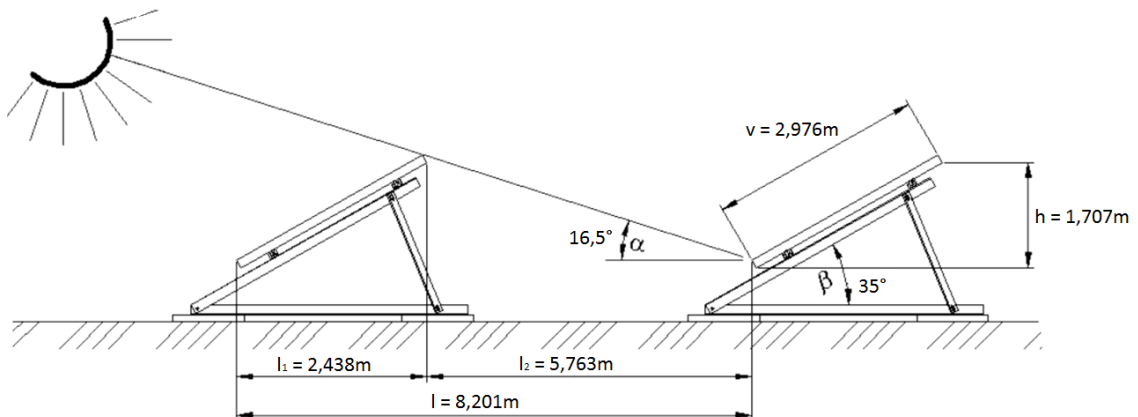
$l_2$  - vzdálenost mezi konstrukcemi [m]

$\Delta l$  - možné přiblížení konstrukcí, kdy je zastíněna max. spodní řada panelů [m]

$h$  - výška panelů [m]

$\beta$  - úhel sklonu panelů [°]

$\alpha$  - úhel dopadu slunečních paprsků [°]



Obrázek 6.2: Rozestup mezi řadami pro minimalizaci zastínění [14]

### 6.3.3 Návrh solárních polí

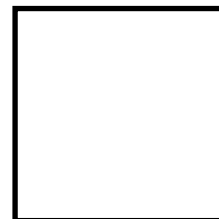
Proto, aby bylo možné dosáhnout na výkupní ceny elektřiny viz. tabulka 3.2, je nutné, aby jednotlivé systémy nepřesahovaly instalovaný výkon 30 kWp. Toho lze podle stanoviska ERÚ ze dne 18. 2. 2011 dosáhnout rozdělením velkého systému na systémy menší do 30 kWp, které mají vlastní měnič, systém měření a vyvedení výkonu. Toto je nutné zohlednit v ekonomické bilanci.

Pro návrh jednotlivých solárních polí použijí stejný typ fotovoltaických panelů (Fire Energy – FE-240P). Rozestupy mezi jednotlivými řadami budou volit na základě

posouzení rozměrů zvolené plochy v rozmezí 8,2 – 5,47 m. Tedy od hodnoty ideálního rozestupu, až po hodnotu, kdy je při nízké poloze slunce zastíněna spodní řada panelů.

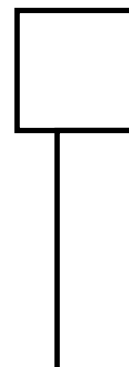
### Objekt 1:

Plocha: 50 x 50 m  
Rozestup: 7,5 m → 7 řad  
Řada: 29 x 3 → 87 panelů  
Celkem: 609 panelů → 146,16 kWp



### Objekt 2:

Plocha: 15 x 15 m + 10 x 30 m  
Rozestup: 8 m → 6 řad  
Řada: 4 řady - 5 x 3 → 15 panelů  
2 řady - 8 x 3 → 24 panelů  
Celkem: 123 panelů → 29,52 kWp



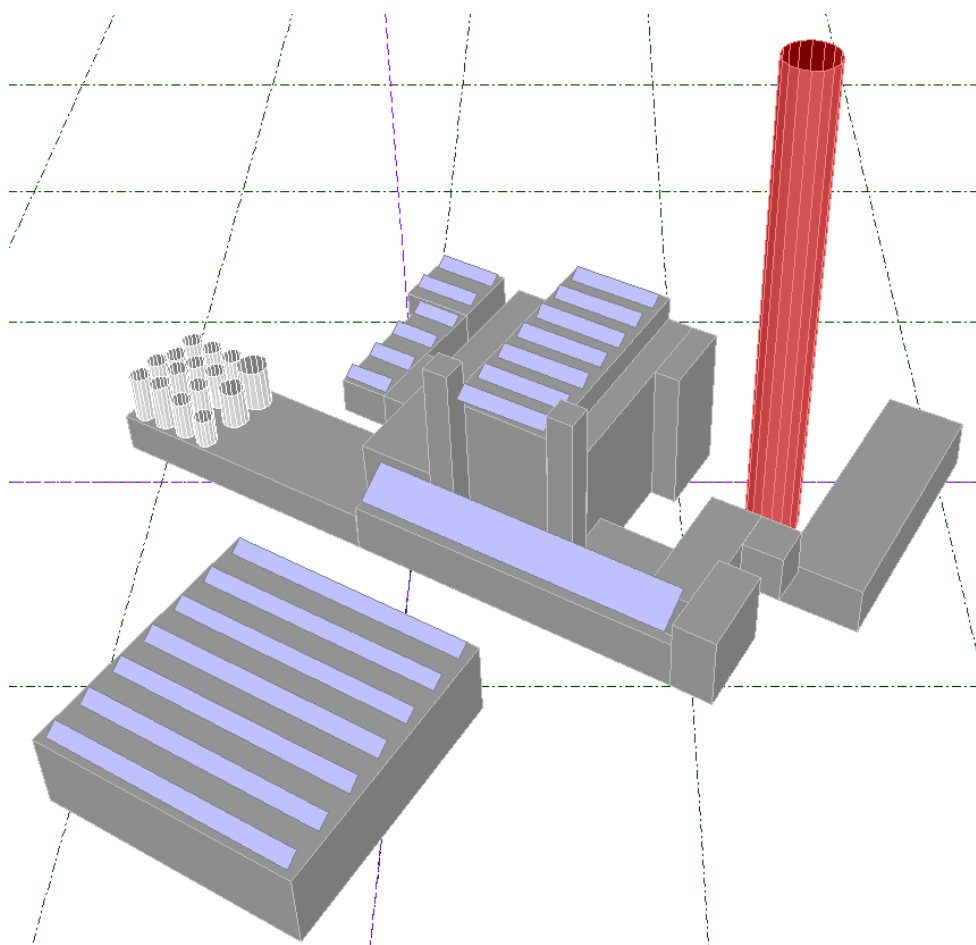
### Objekt 3:

Plocha: 20 x 45 m  
Rozestup: 6,6 m → 7 řad  
Řada: 11 x 3 → 33 panelů  
Celkem: 231 panelů → 55,44 kWp



#### Objekt 4:

Plocha: 55 x 10 m  
Rozestup: pouze jedna řada panelů  
Řada: 31 x 8 → 248 panelů  
Celkem: 248 panelů → 59,52 kWp



Obrázek 6.3: 3D model TDK vytvořený v programu PVsyst

#### 6.3.4 Volba měničů (střídačů)

Měniče jsou po fotovoltaických panelech druhou nejvyšší finanční položkou v rozpočtu pro výstavbu fotovoltaické elektrárny. Proto je jejich správné volba velice důležitá a vzhledem k velkému množství parametrů, které jejich volbu ovlivňují, je potřeba věnovat tomuto patřičnou pozornost.

Volba výkonu střídačů se odvíjí od velikosti navržených solárních polí. Jejich zapojení je poté nutné přizpůsobit hodnotám maximálního vstupního proudu a maximálního vstupního napětí. V tomto konkrétním případě bylo dále nutné rozvrhnout panely v jednotlivých polích do samostatných oddílů, jejichž instalovaný výkon nepřesahuje 30 kWp.

Z nabídky na českém trhu nejrozšířenějších výrobců Fronius, Kostal, Power one a SMA jsem pro svůj návrh zvolil měniče Fronius. Konkrétně jsem zúžil výběr na modely IG PLUS 120 V-3 a IG PLUS 150 V-3, jejichž parametry jsou uvedeny v tabulce 6.3. Volby střídačů s vyšším jmenovitým výkonem by značně komplikovala rozdělení jednotlivých polí.

	Froinius IG PLUS 120 V-3	Froinius IG PLUS 150 V-3
Max. výkon DC při $\cos\phi = 1$	10590 W	12770 W
Max. vstupní proud	46,0 A	55,5 A
Max. vstupní napětí	600 V	
Rozsah napětí	230 – 500 V	
Jmenovitý výkon AC při $\cos\phi = 1$	10000 W	12000 W
Max. výstupní výkon	10000 VA	12000 VA
Max. výstupní proud	14,5 A	17,4 A
Max. účinnost	95,9 %	95,9 %
Účinnost Euro	95,4 %	95,4 %
Frekvence	50 Hz / 60 Hz	
Činitel zkreslení	< 3 %	
Účinník	0,85 – 1 induktivní/kapacitní	
Vlastní spotřeba	< 1 W	
<b>Cena (včetně DPH)</b>	<b>67413 Kč</b>	<b>75271 Kč</b>

*Tabulka 6.3: Parametry zvolených měničů*

### 6.3.5 Popis zapojení

Vzhledem k nutnosti rozdělit jednotlivá pole panelů po maximálně 30 kWp, je velmi důležitá volba vhodného zapojení při zachování maximálního možného instalovaného výkonu.

Pro výběr nejvhodnějšího zapojení jsem využil software Solar.configurator poskytovaný výrobcem zvolených měničů. Který podle parametrů navržených v kapitole 6.3.3 určí možné kombinace zapojení panelů k jednotlivým měničům. Jako nejvhodnější kombinaci pro každou 30 kWp část jsem zvolil vždy kombinaci tří měničů Fronius IG PLUS 120 V-3. Počet fotovoltaických panelů zapojených k jednotlivým měničům se odvíjí podle počtu panelů instalovaných na jednotlivých objektech, jak je znázorněno v následujících tabulkách.



<b>Objekt 1</b>		
Typ měniče	Froinius IG PLUS 120 V-3	Froinius IG PLUS 120 V-3
<b>Počet měničů</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Počet větví	3	3
Počet modulů ve větvi	13	14
Počet FV modulů	39	42
Výkon FV	9360 W	10080 W
Výkonový poměr	88 %	95 %

*Tabulka 6.4: Zapojení měničů na objektu 1*

Na objektu 1 bude systém rozdělen do pěti částí o instalovaném výkonu 4 x 29,52 kWp a 1 x 28,08 kWp.

<b>Objekt 2</b>		
Typ měniče	Froinius IG PLUS 120 V-3	Froinius IG PLUS 120 V-3
<b>Počet měničů</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Počet větví	3	3
Počet modulů ve větvi	13	14
Počet FV modulů	39	42
Výkon FV	9350 W	10080 W
Výkonový poměr	88 %	95 %

*Tabulka 6.5: Zapojení měničů na objektu 2*

Na objektu 2 bude instalován jeden systém o instalovaném výkonu 29,52 kWp.

<b>Objekt 3</b>		
Typ měniče	Froinius IG PLUS 120 V-3	Froinius IG PLUS 120 V-3
<b>Počet měničů</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
Počet větví	3	3
Počet modulů ve větvi	12	13
Počet FV modulů	36	39
Výkon FV	8640 W	9360 W
Výkonový poměr	82 %	88 %

*Tabulka 6.6: Zapojení měničů na objektu 3*

Na objektu 3 bude systém rozdělen do dvou částí o instalovaném výkonu 1 x 28,08 kWp a 1 x 27,36 kWp.

<b>Objekt 4</b>		
Typ měniče	Froinius IG PLUS 120 V-3	Froinius IG PLUS 120 V-3
<b>Počet měničů</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
Počet větví	4	3
Počet modulů ve větvi	10	14
Počet FV modulů	40	42
Výkon FV	9600 W	10080 W
Výkonový poměr	91 %	95 %

Tabulka 6.7: Zapojení měničů na objektu 4

Na objektu 4 bude systém rozdělen do dvou částí o instalovaném výkonu 2 x 29,76.

### 6.3.6 Roční výroba elektrické energie

Data pro tuto část jsem použil ze serveru PVGIS-CMSAF [13] a ze simulačního programu PVsyst.

Pomocí softwaru PVsyst jsem vytvořil 3D model TDK (obrázek 6.3), který zohledňuje orientaci budov odchýlenou od jižního směru, a také ztráty způsobené zastíněním panelů při různé poloze slunce na obloze během celého roku. Jak je vidět z následujících údajů, právě ztráty způsobené zastíněním mají nezanedbatelný vliv na zisk jednotlivých polí fotovoltaických panelů.

$$E_C = E_{m30} - \left[ \left( E_{m30} * \frac{\Delta E_Z}{100} \right) + \Delta E_M \right] =$$

$$4480 - \left[ \left( 4480 * \frac{10,7}{100} \right) + 164 \right] = \mathbf{3837 kWh}$$
6.17

$H_m$  průměrná energie dopadajícího záření na plochu 1m<sup>2</sup> panelů [kWh/m<sup>2</sup>]

$E_m$  průměrná výroba elektrické energie při orientaci panelů na jih [kWh]

$E_{m30}$  průměrná výroba el. energie při orientaci panelů 30° na západ [kWh]

$\Delta E_Z$  průměrné ztráty způsobené zastíněním panelů [%]

$\Delta E_M$  ztráty na měniči [kWh]

$E_C$  celková vyrobená elektrická energie [kWh]

Objekt 1						
Měsíc	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$E_m$ [kWh]	$E_{m30}$ [kWh]	$\Delta E_z$ [%]	$\Delta E_M$ [kWh]	$E_C$ [kWh]
Leden	34,5	4810	4480	10,7	164	3837
Únor	56,8	7710	7250	4,2	285	6661
Březen	113	15100	14500	1,2	587	13739
Duben	154	19700	19200	0	787	18413
Květen	163	20300	20100	0	824	19276
Červen	164	20000	20000	0	820	19180
Červenec	159	19200	19100	0	783	18317
Srpen	155	18800	18500	0	759	17742
Září	117	14800	14200	1,2	575	13454
Říjen	75,7	9840	9300	4,4	365	8526
Listopad	38,9	5230	4850	11,1	177	4135
Prosinec	27,7	3790	3520	17,4	119	2788
<b>Celkem za rok</b>	<b>1258,6</b>	<b>159280</b>	<b>155000</b>		<b>6245</b>	<b>146067</b>

Tabulka 6.8: Výroba elektrické energie objekt 1

Objekt 2						
Měsíc	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$E_m$ [kWh]	$E_{m30}$ [kWh]	$\Delta E_z$ [%]	$\Delta E_M$ [kWh]	$E_C$ [kWh]
Leden	34,5	971	905	39,1	23	529
Únor	56,8	1560	1460	28	43	1008
Březen	113	3050	2920	16,2	100	2347
Duben	154	3980	3890	6,4	149	3492
Květen	163	4090	4060	2,5	162	3796
Červen	164	4040	4040	1,3	163	3824
Červenec	159	3870	3860	1,9	155	3631
Srpen	155	3790	3730	6,9	142	3330
Září	117	2980	2870	16,5	98	2298
Říjen	75,7	1990	1880	29,3	54	1275
Listopad	38,9	1060	980	41,9	23	546
Prosinec	27,7	766	712	45,5	16	372
<b>Celkem za rok</b>	<b>1258,6</b>	<b>32147</b>	<b>31307</b>		<b>1131</b>	<b>26448</b>

Tabulka 6.9: Výroba elektrické energie objekt 2

Objekt 3						
Měsíc	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$E_m$ [kWh]	$E_{m30}$ [kWh]	$\Delta E_z$ [%]	$\Delta E_M$ [kWh]	$E_c$ [kWh]
Leden	34,5	1820	1700	29,5	49	1149
Únor	56,8	2930	2750	16	95	2215
Březen	113	5730	5480	9,3	204	4767
Duben	154	7470	7300	8,5	274	6406
Květen	163	7680	7630	9,5	283	6622
Červen	164	7600	7590	9	283	6624
Červenec	159	7270	7250	9,5	269	6292
Srpen	155	7130	7000	10	258	6042
Září	117	5600	5390	12,3	194	4533
Říjen	75,7	3730	3530	17,9	119	2779
Listopad	38,9	1980	1840	24	57	1341
Prosinec	27,7	1440	1340	45,6	30	699
<b>Celkem za rok</b>	<b>1258,6</b>	<b>60380</b>	<b>58800</b>		<b>2115</b>	<b>49469</b>

Tabulka 6.10: Výroba elektrické energie objekt 3

Objekt 4						
Měsíc	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$E_m$ [kWh]	$E_{m30}$ [kWh]	$\Delta E_z$ [%]	$\Delta E_M$ [kWh]	$E_c$ [kWh]
Leden	34,5	1980	1850	7,8	70	1636
Únor	56,8	3200	3010	4,8	117	2748
Březen	113	6250	5980	2,4	239	5597
Duben	154	8060	7880	1,8	317	7421
Květen	163	8320	8260	3,6	326	7636
Červen	164	8230	8220	3,8	324	7583
Červenec	159	7890	7870	3,7	311	7268
Srpen	155	7700	7560	1,6	305	7134
Září	117	6050	5830	2	234	5479
Říjen	75,7	4050	3840	5,4	149	3484
Listopad	38,9	2210	2060	7,7	78	1823
Prosinec	27,7	1670	1570	9	59	1370
<b>Celkem za rok</b>	<b>1258,6</b>	<b>65610</b>	<b>63930</b>		<b>2530</b>	<b>59180</b>

Tabulka 6.11: Výroba elektrické energie objekt 4

Ze získaných hodnot je patrné, že zastínění panelů má největší vliv na systémy umístěné na objektech 2 a 3. Objekt 2 je v měsících, kdy se slunce pohybuje nízko na obloze, částečně zastiňován vysokou budovou kotelny TDK. Systém umístěný přímo na budově kotelny (objekt 3) je prakticky po celý rok v dopoledních hodinách vždy z části zakrýván stínem komína.

Vzájemné zastínění jednotlivých řad panelů, se kterým bylo počítáno již při návrhu rozestupů mezi řadami, má na ztráty vliv zejména v listopadu, prosinci a lednu. V těchto měsících je nízká intenzita slunečního záření a vliv zastínění na celkovou roční výrobu elektřiny je tedy poměrně nízký.

### 6.3.7 Ekonomické hodnocení

Přestože celá navrhovaná instalace se skládá z deseti menších bloků o instalovaném výkonu do 30 kWp, ekonomické hodnocení provedu pro systém jako celek se zahrnutím nákladů spojených s rozdělením do bloků. V tabulce 6.12 jsou zobrazeny základní parametry celého systému.

<b>Globální záření:</b>	<b>1230,00</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>*rok</b>
Typ modulu:	FE 240P	polycrystal
Výkon modulu	240	Wp
Plocha modulu:	1,633	m <sup>2</sup>
Počet modulů:	1211	ks
Plocha modulů:	1977,36	m <sup>2</sup>
<b>PV maximální výkon:</b>	<b>290,64</b>	<b>kWp</b>
Účinnost modulu:	14,7	%
Teplotní koeficient:	-0,43	%/°C
Ztráta vlivem teploty	3,870	%
Účinnost modulů	91,38	%
Účinnost měničů	95,9	%
Ztráty zastíněním	10,3	%
<b>Roční energetický zisk:</b>	<b>281 164</b>	<b>kWh</b>

Tabulka 6.12: Parametry instalovaného fotovoltaického systému

#### 6.3.7.1 Cenová kalkulace

Pro přehlednost a jednoduchost cenového návrhu fotovoltaické elektrárny se používají u všech položek poměrné ceny na jeden instalovaný Wp. Ceny pro fotovoltaické panely a pro měniče jsem určil podle cen dodavatelů, které jsou k dispozici na internetu. Ceny pro nosné konstrukce, kabeláž, montáž a další položky z tabulky 6.13 jsem získal od společnosti INTERSEKCE s.r.o. Jde o kvalifikovaný odhad současných cen, který lze

považovat za reálný a v případě realizace takového projektu by se cena lišila pouze minimálně. Je předpokládáno, že investor projektu je plátcem DPH, proto jsou ceny uváděny bez DPH.

Položka	Kč/Wp	Cena celkem (Kč)
FV moduly	12,40	3 603 936
Měniče (invertory)	5,80	1 685 712
AL-konstrukce	5,00	1 453 200
AC/DC kabely a konektory	1,00	290 640
Drobný instalační materiál	1,30	377 832
Projednáání připojení k distribuční síti, prováděcí projektová dokumentace, přípojka mezi střídačem a místem měření, revize	1,00	290 640
Montáž FVE, zprovoznění, zkoušky	5,00	1 453 200
Příplatek za nestandardní provedení (rozložení FV modulů do několika bloků na střeše, uložení FV modulů na nosné konstrukce pod žadáným úhlem)	0,50	145 320
<b>Cena celkem</b>	<b>32,00</b>	<b>9 300 480</b>

Tabulka 6.13: Kalkulace celkových investičních nákladů

### 6.3.7.2 Hodnocení ekonomické efektivity investice

Pro hodnocení efektivity investice je důležité provést rozhodnutí, jestli využívat přímého prodeje vyrobené elektrické energie, nebo zeleného bonusu, kdy by se vyrobenou elektrickou energií pokrývala část vlastní spotřeby TDK. Proto provedu výpočet a hodnocení pro obě tyto varianty.

Roční energetický zisk:	281 164	kWh		
Celkové náklady:	9 300 480	Kč		
Provozní náklady:	50 000	Kč	Výkupní cena	
Finanční výnos přímý prodej:	<b>795 694</b>	Kč	2,83	Kč/kWh
Finanční výnos zelený bonus: (vlastní spotřeba 0 %)	641 054	Kč	2,28	Kč/kWh
Finanční výnos zelený bonus: (při prodeji 100 %)	<b>978 451</b>	Kč	Cena silové elektřiny	
			1,20	Kč/kWh

Tabulka 6.14: Základní údaje a výpočet ročních výnosů

Výkupní ceny (tabulka 6.14) jsou určeny podle cenového rozhodnutí ERÚ pro elektrárny uvedené do provozu v prvním pololetí roku 2013. Cena silové elektřiny je odvozena podle přibližných výrobních nákladů. Vzhledem k tomu, že není potřeba v areálu TDK zařizovat pro elektrárnu bezpečnostní opatření, oplocení, ostrahu ani

další. Je počítáno pouze s nízkými provozními náklady na údržbu, případné čištění panelů a pojištění v hodnotě 50 000 Kč s ročním nárůstem o 2%.

Pro výpočet cash flow budu podle vyhlášky č. 150/2007 Sb., uvažovat valorizaci výkupní ceny elektřiny na nejnižší možné hodnotě 2% ročně. Pro aktuální ceny zeleného bonusu budu počítat s valorizací 1% ročně. A pro nákupní ceny elektrické energie budu uvažovat meziroční nárůst ceny o 5%. Diskontní sazbu budu uvažovat v hodnotě 7%.

Ukázka výpočtu ročního výnosu pro variantu přímého prodeje elektřiny, se započítáním meziročního snížení účinnosti panelů o 1%:

$$\begin{aligned} T_n &= E_C * C_{PP} - [0,01 * (n - 1) * E_C * C_{PP}] \\ &= 281\,164 * 2,83 - [0,01 * (1 - 1) * 281\,164 * 2,83] = \mathbf{795694\,Kč} \end{aligned} \quad 6.18$$

- $T_n$  tržby v n-tém roce provozu [Kč]  
 $E_C$  celková vyrobená elektrická energie [kWh]  
 $C_{PP}$  výkupní valorizovaná cena pro přímý prodej v daném roce [Kč]  
 $n$  rok provozu  
0,01 konstanta zohledňující snižování účinnosti panelů o 1% ročně

Stavbu jsem zařadil do 3. odpisové skupiny podle zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmu. Podle tohoto zařazení se takováto položka odepisuje po dobu 10 let v poměru daným odpisovými koeficienty.

Odpisy v 1. roce:

$$O_1 = \frac{N_C * 5,5}{100} = \frac{9\,300\,480 * 5,5}{100} = \mathbf{511\,526\,Kč} \quad 6.19$$

Odpisy v 2. - 10. roce:

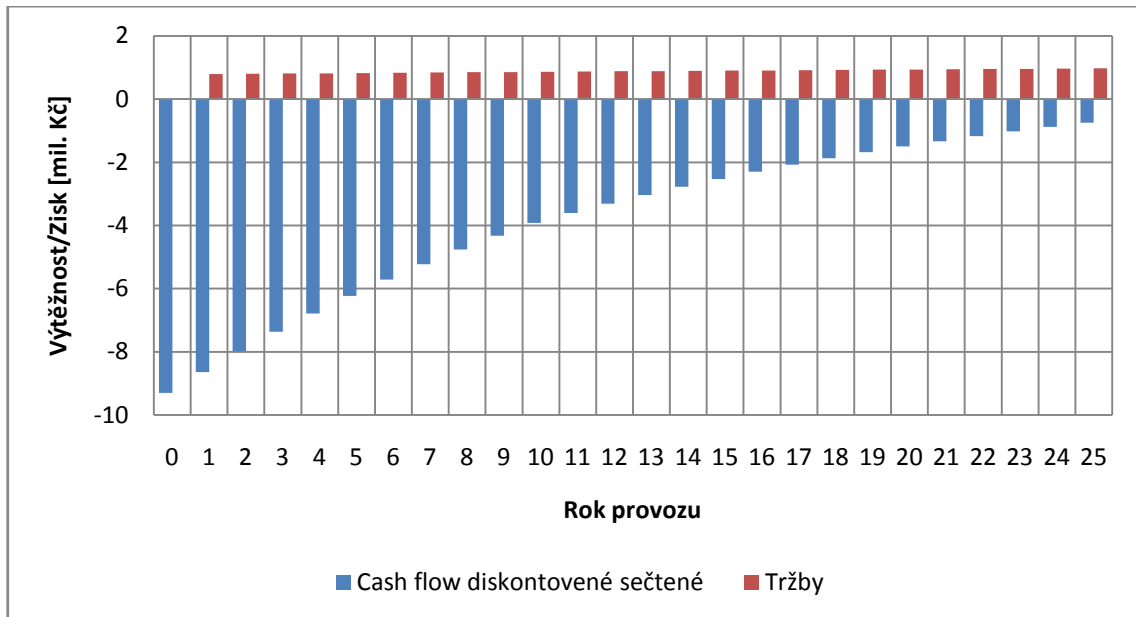
$$O_{2-10} = \frac{N_C * 10,5}{100} = \frac{9\,300\,480 * 10,5}{100} = \mathbf{976\,550\,Kč} \quad 6.20$$

- $O_1$  odpisy v 1. roce [Kč]  
 $O_{2-10}$  odpisy v 2. – 10. roce [Kč]  
 $N_C$  celkové náklady na výstavbu [Kč]

Rok (ode dne spuštění)	Výkupní cena	Tržby	Náklady	Odpisy	Zisk před zdaněním	Daň z příjmu (19%)	Zisk po zdanění	Cash flow	Cash flow diskontované	Cash flow diskontované sečtené	diskont [%]	diskontní index
Výstavba			9300480					-9300480	-9 300 480	-9 300 480	7	1
1	2,83	795694	50 000	511 526	234 168	44 492	189 676	701202	655 329	-8 645 151	7	0,93
2	2,89	803492	51 000	976 550	-224 058	0	-224 058	752492	657 256	-7 987 895	7	0,87
3	2,94	811284	52 020	976 550	-217 287	0	-217 287	759264	619 785	-7 368 110	7	0,82
4	3,00	819065	53 060	976 550	-210 546	0	-210 546	766005	584 381	-6 783 728	7	0,76
5	3,06	826834	54 122	976 550	-203 838	0	-203 838	772712	550 933	-6 232 795	7	0,71
6	3,12	834585	55 204	976 550	-197 169	0	-197 169	779381	519 335	-5 713 460	7	0,67
7	3,19	842316	56 308	976 550	-190 542	0	-190 542	786008	489 486	-5 223 974	7	0,62
8	3,25	850023	57 434	976 550	-183 962	0	-183 962	792588	461 294	-4 762 680	7	0,58
9	3,32	857700	58 583	976 550	-177 433	0	-177 433	799117	434 667	-4 328 014	7	0,54
10	3,38	865345	59 755	976 550	-170 960	0	-170 960	805590	409 521	-3 918 492	7	0,51
11	3,45	872952	60 950		812 003	154 280	657 722	657722	312 479	-3 606 013	7	0,48
12	3,52	880518	62 169		818 349	155 486	662 863	662863	294 319	-3 311 694	7	0,44
13	3,59	888037	63 412		824 625	156 679	667 946	667946	277 174	-3 034 521	7	0,41
14	3,66	895504	64 680		830 824	157 857	672 968	672968	260 988	-2 773 532	7	0,39
15	3,73	902916	65 974		836 942	159 019	677 923	677923	245 710	-2 527 822	7	0,36
16	3,81	910265	67 293		842 971	160 165	682 807	682807	231 290	-2 296 531	7	0,34
17	3,88	917547	68 639		848 908	161 292	687 615	687615	217 681	-2 078 850	7	0,32
18	3,96	924756	70 012		854 744	162 401	692 343	692343	204 839	-1 874 011	7	0,30
19	4,04	931887	71 412		860 475	163 490	696 984	696984	192 722	-1 681 289	7	0,28
20	4,12	938933	72 841		866 092	164 558	701 535	701535	181 290	-1 499 999	7	0,26
21	4,21	945888	74 297		871 591	165 602	705 988	705988	170 505	-1 329 493	7	0,24
22	4,29	952746	75 783		876 962	166 623	710 339	710339	160 333	-1 169 161	7	0,23
23	4,38	959499	77 299		882 200	167 618	714 582	714582	150 739	-1 018 422	7	0,21
24	4,46	966142	78 845		887 297	168 586	718 711	718711	141 691	-876 730	7	0,20
25	4,55	972667	80 422		892 245	169 526	722 718	722718	133 160	-743 570	7	0,18

Tabulka 6.15: Model NPV pro variantu přímého prodeje elektriny (ceny uváděny v Kč)





Graf 6.2: Cash flow pro variantu přímého prodeje elektřiny

Ekonomický ukazatel	Hodnota	
NPV CF	-743 570,01	Kč
IRR	6,08	%
$T_{\text{návr}}$	>25	let

Tabulka 6.16: Ekonomické ukazatele

V případě přímého prodeje je veškerá vyrobená elektřina prodávána distributorovi za cenu stanovenou podle data uvedení elektrárny do provozu. V tomto konkrétním případě je tzv. bod zvratu (break-even), kdy zisk projektu přechází ze záporných hodnot do kladných, vzdálenější než je předpokládaná životnost fotovoltaických elektráren, tedy více než 25 let.

To ukazují i ostatní ekonomické ukazatele. Hodnota IRR (Internal Rate of Return), neboli vnitřní míra výnosu, je nižší než diskontní míra. Hodnota NPV CF (Net Present Value), neboli čistá současná hodnota, je záporná. Z toho vyplývá, že tato varianta je při životnosti 25 let ekonomicky nevýhodná, tedy prodělečná.

Výhodnost využití zeleného bonusu je nutné posuzovat buď podle ceny (tarifu) za kWh nakupované elektrické energie od distributora, nebo podle možné prodejní ceny vyrobené elektrické energie na trhu.

Zapojení fotovoltaické elektrárny pro vlastní spotřebu v objektu kde je instalována, je výhodné pro objekty s vysokou spotřebou elektřiny. Za každou vyrobenou

kilowatthodinu inkasuje majitel zelený bonus a navíc podle podílu vlastní spotřeby vyrobené elektřiny dosahuje dalších úspor, když tuto energii nemusí nakupovat. V součtu (úspora + zelený bonus) se tedy může dostat na významně vyšší částku, než je cena přímého výkupu.

Vzhledem k tomu, že vlastní spotřeba TDK je pokryta z výroby generátorů TG1 a TG3, je pro využití zeleného bonusu vhodné počítat s variantou prodeje vyrobené elektrické energie dalším subjektům na trhu.

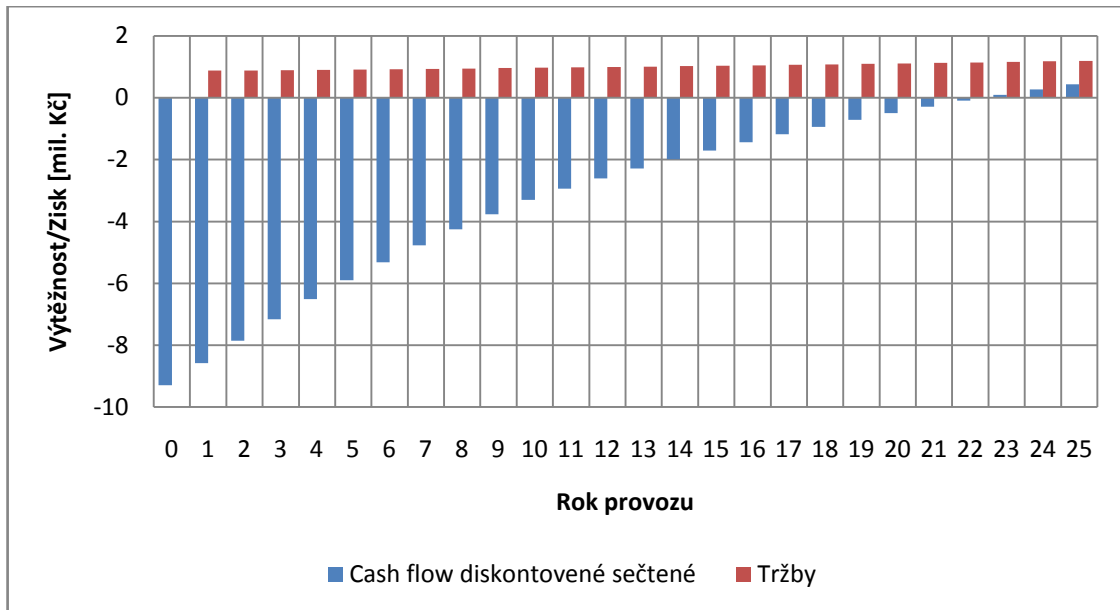
Ukázka výpočtu ročního výnosu pro variantu využití zeleného bonusu:

$$\begin{aligned}
 T_n &= \{E_C * C_{ZB} - [0,01 * (n - 1) * E_C * C_{ZB}]\} \\
 &+ \left\{ E_C * \frac{pe}{100} * C_{PE} - \left[ 0,01 * (n - 1) * E_C * \frac{pe}{100} * C_{PE} \right] \right\} = \\
 &\{281\,164 * 2,28 - [0,01 * (1 - 1) * 281\,164 * 2,28]\} + \left\{ 281\,164 * \frac{100}{100} * 1,2 - \right. \\
 &\left. [0,01 * (1 - 1) * 281\,164 * \frac{100}{100} * 1,2] \right\} = \mathbf{877\,232\,Kč}
 \end{aligned}
 \tag{6.21}$$

- $T_n$  tržby v n-tém roce provozu [Kč]
- $E_C$  celková vyrobená elektrické energie [kWh]
- $C_{ZB}$  výkupní valorizovaná cena pro zelený bonus v daném roce [Kč]
- $n$  rok provozu
- $pe$  objem prodané energie z celkové vyrobené elektrické energie [%]
- $C_{PE}$  předpokládané cena prodávané el. energie ostatním subjektům [Kč]
- $0,01$  konstanta zohledňující snižování účinnosti panelů o 1% ročně

rok (ode dne spuštění)	Výkupní cena	Nákupní cena	Tržby	Náklady	Odpisy	Zisk před zdaněním	Daň z příjmu (19%)	Zisk po zdanění	Cash flow	Cash flow diskontované	Cash flow diskontované sečtené	diskont	diskontní index
Výstavba			9 300 480						-9300480	-9 300 480	-9 300 480	7	1
1	2,28	1,2	877 232	50 000	511 526	315 706	59 984	255 722	767248	717 054	-8 583 426	7	0,93
2	2,30	1,26	886 497	51 000	976 550	-141 054	0	-141 054	835497	729 755	-7 853 671	7	0,87
3	2,33	1,32	896 039	52 020	976 550	-132 532	0	-132 532	844019	688 971	-7 164 700	7	0,82
4	2,35	1,39	905 868	53 060	976 550	-123 743	0	-123 743	852807	650 602	-6 514 097	7	0,76
5	2,37	1,46	915 993	54 122	976 550	-114 679	0	-114 679	861871	614 502	-5 899 595	7	0,71
6	2,40	1,53	926 425	55 204	976 550	-105 330	0	-105 330	871220	580 531	-5 319 064	7	0,67
7	2,42	1,61	937 173	56 308	976 550	-95 685	0	-95 685	880865	548 558	-4 770 506	7	0,62
8	2,44	1,69	948 249	57 434	976 550	-85 736	0	-85 736	890815	518 462	-4 252 043	7	0,58
9	2,47	1,77	959 663	58 583	976 550	-75 470	0	-75 470	901080	490 128	-3 761 915	7	0,54
10	2,49	1,86	971 426	59 755	976 550	-64 879	0	-64 879	911671	463 447	-3 298 468	7	0,51
11	2,52	1,95	983 548	60 950	976 550	-53 298	175 294	747 305	747305	355 039	-2 943 429	7	0,48
12	2,54	2,05	996 042	62 169	976 550	-41 627	177 436	756 437	756437	335 867	-2 607 562	7	0,44
13	2,57	2,16	1 008 918	63 412	976 550	-29 958	179 646	765 859	765859	317 804	-2 289 757	7	0,41
14	2,59	2,26	1 022 187	64 680	976 550	-18 289	181 926	775 581	775581	300 784	-1 988 974	7	0,39
15	2,62	2,38	1 035 862	65 974	976 550	-7 623	184 279	785 610	785610	284 741	-1 704 233	7	0,36
16	2,65	2,49	1 049 955	67 293	976 550	3 327	186 706	795 956	795956	269 618	-1 434 615	7	0,34
17	2,67	2,62	1 064 476	68 639	976 550	16 687	189 209	806 627	806627	255 358	-1 179 258	7	0,32
18	2,70	2,75	1 079 438	70 012	976 550	31 636	191 791	817 635	817635	241 909	-937 349	7	0,30
19	2,73	2,89	1 094 852	71 412	976 550	36 585	194 454	828 986	828986	229 222	-708 127	7	0,28
20	2,75	3,03	1 110 731	72 841	976 550	41 534	197 199	840 691	840691	217 251	-490 877	7	0,26
21	2,78	3,18	1 127 086	74 297	976 550	46 483	200 030	852 759	852759	205 952	-284 924	7	0,24
22	2,81	3,34	1 143 930	75 793	976 550	51 432	202 948	865 199	865199	195 287	-89 638	7	0,23
23	2,84	3,51	1 161 273	77 299	976 550	56 381	205 955	878 019	878019	185 215	95 578	7	0,21
24	2,87	3,69	1 179 128	78 845	976 550	61 330	209 054	891 229	891229	175 703	211 281	7	0,20
25	2,89	3,87	1 197 506	80 422	976 550	66 279	212 246	904 838	904838	166 716	437 996	7	0,18

Tabulka 6.17: Cash flow pro variantu využití zeleného bonusu s prodejem 100% vyrobené elektrické energie dalším subjektům (ceny uváděny v Kč)



Graf 6.3: Cash flow pro variantu využití zeleného bonusu s prodejem 100% vyrobené elektrické energie dalším subjektům

Ekonomický ukazatel	Hodnota
NPV CF	437 996,39 Kč
IRR	7,52 %
$T_{\text{návr}}$	22 let

Tabulka 6.18: Ekonomické ukazatele

Ze získaných hodnot je zřejmé, že při využití zeleného bonusu je návratnost investice o něco rychlejší než při přímém prodeji. Bod zvratu (break-even) je dosažen po 22 letech provozu.

Celkový zisk za 25 let provozu není ani u této varianty příliš výrazný. Hodnota NPV CF (Net Present Value) vykazuje hodnotu 437 996 Kč. Hodnota IRR (Internal Rate of Return) je sice vyšší než diskontní míra, ale pouze o 0,52%. Z toho vyplývá, že tato varianta má jako jediná z uvažovaných za dobu životnosti ekonomickou návratnost, ale předpokládaný zisk nemusí do budoucna pokrýt případné nové požadavky stanovené legislativou.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a zhodnotit možnosti integrace systému využívajícího solární energii do prostor Teplárny Dvůr Králové nad Labem.

Podle stanovených bodů zadání jsem práci rozdělil do pěti částí.

V první části jsem provedl základní popis obnovitelných zdrojů, jejich zastoupení a předpokládaný vývoj na celkové spotřebě energetických zdrojů a na výrobě elektrické energie do roku 2040 podle Státní energetické koncepce.

Druhou část jsem zaměřil na popis systémů využívajících obnovitelné zdroje energie, s důrazem na systémy využívající solární energii. Jsou to fotovoltaické systémy, které přeměňují solární záření přímo na elektrickou energii. Koncentrační sluneční elektrárny, které využívají koncentračních kolektorů pro ohřev teplonosného média a poté k výrobě páry, který roztáčí turbínu stejně jako v klasické tepelné elektrárně. A v neposlední řadě termické solární systémy, které jsou v současné době nejrozšířenější aplikací využívající solární energii pro ohřev zejména užitkové vody, podporu vytápění, nebo například průmyslové sušení rostlinných produktů.

Ve třetí části popisuji provoz Teplárny Dvůr Králové nad Labem. Provedl jsem základní popis teplárny, popis jednotlivých kotlů, které v teplárně pracují a zařízení strojovny. Dále provedení chladicího systému teplárny, vyvedení elektrického a tepelného výkonu. V neposlední řadě jsem se zaměřil i na ekologii celého provozu od produkce škodlivin, až po využití odpadů z technologie v jiných odvětvích jako je například stavebnictví.

Další část jsem zaměřil na vytvoření SWOT analýzy společné výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie. Hlavním benefitem využití obnovitelných zdrojů energie je samozřejmě zlepšení ekologických podmínek a úspora tenčících se zásob fosilních paliv. Využití solárního záření sebou přináší samozřejmě také problémy. Solární podmínky v ČR se nedají srovnávat s podmínkami například jižních částí Španělska, ale v případě hybridního systému mohou být výkyvy výkonu solárního systému vykrývány například dobře regulovatelným plynovým kotlem. Takovéto provedení sebou samozřejmě přináší vysoké investiční náklady.

V poslední části diplomové práce jsem se zaměřil na návrh a hodnocení možných variant integrace solárního systému do provozu TDK.

Jako první možnou variantu jsem zvolil využití termického solárního systému. Takto získané teplo by se využívalo jako příspěvek pro ohřev média centralizovaného zásobování teplem. Zjednodušeným výpočtem jsem dospěl k závěru, že takovýto systém by svým ročním ziskem přispěl k celkovému objemu dodávky tepla pouze cca. z 1,7%. Vysoká pořizovací cena systému s ohledem na nutnost využití trubicových vakuových kolektorů a s tím spojená ekonomická návratnost investice, která je delší než životnost systému, dávají jasně najevo, že tato varianta nemá reálné uplatnění.

Druhou zvolenou variantou je instalace fotovoltaické elektrárny. Vzhledem k předpokládané lepší ekonomické návratnosti oproti předchozí variantě jsem tento návrh rozpracoval podrobněji. Včetně návrhu nejdůležitějších komponent, simulace zastínění jednotlivých fotovoltaických polí a výpočtu energetického zisku. Ekonomickou návratnost investice jsem počítal pro variantu přímého prodeje i pro možnost využití zeleného bonusu. Varianta využití zeleného bonusu, při uvažované 100% prodeje vyrobené energie dalším subjektům, se jeví ekonomicky nejpříznivěji. Pro realizaci takového projektu v druhé polovině roku 2013 by ekonomická návratnost, vzhledem ke snížení výkupních cen, vycházela ještě o něco hůře a pro rok 2014 by se již ekonomicky nevyplatilo realizovat ani tuto variantu, jelikož podpora výroby elektrické energie ze slunečního záření bude zřejmě nulová.

Z environmentálního hlediska má využívání energie slunečního záření velký potenciál. Solární termické systémy dosahují vynikající účinnosti, ale nejsou příliš vhodné pro aplikace, kde je potřeba ohřívát médium o vyšší počáteční teplotě. Fotovoltaické systémy mají podle mého názoru svou pozici právě na střeších velkých průmyslových hal, nebo naopak jako malé systémy na střeších rodinných domků. Rozhodně by se neměly budovat na polích a loukách, jako tomu v poslední době bylo v ČR.

## 8 Zdroje

- [1] <http://www.mpo.cz/dokument5903.html> (15. 10. 2012)
- [2] <http://www.czrea.org/cs/> (27.10.2012)
- [3] časopis Vesmír 82, str. 237, 2003/4
- [4] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2012 ze dne 27. listopadu 2012, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů
- [5] Concentrating Solar Power Commercial Application Study: Reducing Water Consumption of Concentrating Solar Power Electricity Generation, Report to Congress U.S. Department of Energy
- [6] Concentrating Solar Power: Energy from Mirrors, U.S. Department of Energy (DOE) by the National Renewable Energy Laboratory (NREL), březen 2001
- [7] M. BECKER, W. MEINECKE, M. GEYER, F. TRIEB, M. BLANCO, M. ROMERO, FERRIÈRE, A., Solar Thermal Power Plants, 2000
- [8] AKTUALIZACE STÁTNÍ ENERGETICKÉ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY, Praha – červenec 2012
- [9] J. SERVERT, G. SAN MIGUEL, D. LÓPEZ, Hybrid solar - biomass plants for power generation; technical and economic assessment, Universidad Politécnica de Madrid, 2011
- [10] [www.cez.cz](http://www.cez.cz); Struktura informací o uhelných elektrárnách ČEZ, a. s.; Elektrárny Poříčí, Teplárna Dvůr Králové
- [11] <http://www.kr-kralovehradecky.cz/assets/rozvoj-kraje/SO-ORP-Dvur-Kralove.pdf> (1.2.2013)
- [12] projekt: Optimalizace výroby el. v TDK, ČEZ, a.s.
- [13] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (24.2.2013)
- [14] Bc. JAN LIŠKA, Praktické aplikace fotovoltaických systémů, ZČU 2011
- [15] [www.eru.cz/user\\_data/files/sdelen%C3%AD\\_elektro/FVE\\_rozdeleni\\_vyroben.pdf](http://www.eru.cz/user_data/files/sdelen%C3%AD_elektro/FVE_rozdeleni_vyroben.pdf) (10. 4. 2013)

- [16] <http://oze.tzb-info.cz> (10. 4. 2013)
- [17] Ing, Dr. JAROMÍR CIHELKA, Solární tepelná technika, Praha 1994, ISBN 80-900759-5-9
- [18] LADENER H., SPATE F., Solární zařízení, 1. vydání, Praha 2003: Grada Publishing a.s., 268s., ISBN 80-247-0362-9
- [19] [http://www.siea.sk/letaky\\_1/c-259/ako-vybrat-slnečný-kolektor/](http://www.siea.sk/letaky_1/c-259/ako-vybrat-slnečný-kolektor/) (23. 4. 2013)
- [20] <http://www.wodagreen.com/jaknato/tuv/wdstuv.htm> (23. 4. 2013)