

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Projekt vícezdrojové teplárny

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub LOCHMAN**
Osobní číslo: **E15N0108P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Projekt vícezdrojové teplárny**
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 problematiku dodávky tepla a výroby elektřiny na stávajících teplárenských zdrojích a zdrojích OZE a přibližte technologie akumulace elektřiny a tepla.
2. Navrhněte koncepci projektu teplárny s doplněním o fotovoltaickou elektrárnu (FVE), akumulaci tepla a akumulaci elektřiny.
3. Vytvořte model pro provozní a ekonomické vyhodnocení spolupráce teplárny a FVE s možností využití akumulace.
4. Model aplikujte na vybrané existující teplárně, vypočtěte bilanční toky.
5. Proveďte ekonomické zhodnocení návrhu.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Pavla Hejtmánková, Ph.D.


Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


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




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na projekt vícezdrojové teplárny. V úvodu práce je popsána problematika dodávky tepla a výroby elektřiny na teplárenských zdrojích a zdrojích obnovitelných (OZE). Práce dále přibližuje technologii akumulace tepla a elektřiny. Další část se zabývá návrhem koncepce projektu teplárny a fotovoltaické elektrárny (FVE) s doplněním o akumulaci tepla a elektřiny. Je zde vytvořen model pro provozní a ekonomické vyhodnocení spolupráce teplárny, FVE a akumulace. Model je aplikován na existující teplárně. V poslední části je provedeno ekonomické zhodnocení návrhu.

Klíčová slova

OZE, teplárna, FVE, dodávka tepla, elektřina, model, koncept, ekonomické vyhodnocení, akumulace, bilanční rovnice.

Abstract

This thesis is focused on multi-source plant project. The introduction describes the problematics of heat supply and electricity production at rating plants and at renewable energy sources (RES). The thesis describes the technology of heat and electricity accumulation. Another part deals with draft concept of a heating plant project and of a photovoltaic plant (PVP), with addition of heat and electricity accumulation. There is created a model for operational and economic valuation of the heating plant, photovoltaic plant and accumulation. The model is applied to an existing heating plant. The last part shows the economic valuation of the draft.

Key words

RES, heating plant, PVP, heat, electricity, model, concept, economic evaluation, accumulation, balance equations.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 18.5.2017

Jakub Lochman

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavle Hejtmánkové, Ph.D. a panu Ing. Jiří Benešovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za trpělivost a podporu během celého mého studia.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 TEPLÁRENSTVÍ.....	12
1.1 TEPLÁRNÝ	12
1.1.1 Zdroje energie.....	14
1.1.2 Vzduch, voda, organické oleje a pára	14
1.1.3 Tepelný zdroj	15
1.1.4 Tepelný motor	16
1.1.5 Čištění spalin	17
1.2 TEPelnÉ SÍTĚ	18
1.2.1 Přenosové médium	19
1.2.2 Sítě.....	19
1.2.3 Výměníkové stanice	21
2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	21
2.1 VODNÍ ENERGETIKA	22
2.1.1 Vodní elektrárny.....	23
2.2 VĚTRNÁ ENERGETIKA	26
2.2.1 Větrné elektrárny.....	26
2.3 SLUNEČNÍ ENERGETIKA	31
2.3.1 Tepelné solární systémy.....	32
2.3.2 Fotovoltaické solární systémy.....	33
2.4 BIOMASA	35
2.4.1 Druhy biomasy.....	36
2.4.2 Zpracování biomasy.....	37
3 AKUMULACE ENERGIE.....	38
3.1 ZPŮSOBY AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	38
3.1.1 Setrvačnický.....	38
3.1.2 Přečerpávací vodní elektrárna.....	38
3.1.3 Tlaková energie.....	39
3.1.4 Elektrochemické akumulátory.....	39
3.1.5 Chemická akumulace - Vodík.....	40
3.1.6 Superkapacitory	40
3.1.7 Tepelná akumulace.....	40
3.2 AKUMULACE TEPelnÉ ENERGIE	41
4 NÁVRH PROJEKTU TEPLÁRNÝ S DOPLNĚNÍM O FVE, AKUMULACI TEPLA A AKUMULACI ELEKTRINY.....	42
5 MODEL PRO PROVOZNÍ A EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ SPOLUPRÁCE TEPLÁRNÝ A FVE S MOŽNOSTÍ AKUMULACE	44
5.1 VÝPOČET TEPLÁRNÝ	44
5.1.1 Protitlaký provoz.....	47
5.1.2 Kombinovaný provoz.....	48
5.2 VÝPOČET FVE	50
5.2.1 Kombinovaný provoz s doplněním o FVE a akumulaci tepla.....	51
5.3 VÝPOČET PRO AKUMULACI ELEKTRICKÉ ENERGIE	52

5.4	EKONOMICKÝ VÝPOČET	53
6	APLIKACE MODELU NA EXISTUJÍCÍ TEPLÁRNĚ.....	54
6.1	TEPLÁRNA	55
6.2	TEPLÁRNA DOPLNĚNÁ O AKUMULACI	58
6.2.1	<i>Výpočet velikosti akumulční nádrže.....</i>	<i>62</i>
6.3	VÝPOČET FVE	62
6.3.1	<i>Výpočet akumulace elektrické energie.....</i>	<i>64</i>
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU	67
7.1	NPV	67
7.2	IRR	68
7.3	ZHODNOCENÍ	70
8	ZÁVĚR.....	71
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	75
	GRAFY	75
	TABULKY	75

Seznam symbolů a zkratek

OZE	Obnovitelný zdroj energie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaický
SO ₂	Oxid siřičitý (mg/m ³)
CO ₂	Oxid uhličitý (mg/m ³)
NiCd	Nikl-cadmium
PEM.....	Proton Exchange Membrane
M	Množství páry (t/h)
m.....	Hmotnost (kg)
p.....	Tlak (Pa)
P.....	Elektrický výkon (W)
I	Elektrický proud (A)
U	Elektrické napětí (V)
i.....	Entalpie (kJ/kg)
η.....	Účinnost (%)
t.....	Teplota (°C)
t.....	Čas (rok)
A _o	Ztráty (W)
Q.....	Množství tepla (kJ/h)
S _{PAL_ED}	Měrná spotřeba tepla na elektrickou energii (GJ/MWh)
S _{PAL_EV}	Měrná spotřeba tepla na elektrickou energii (GJ/MWh)
q.....	Měrná spotřeba tepla (GJ/MWh)
c	Měrná tepelná kapacita (J/kg.K)
EVA.....	Ethylen vinyl acetát - ochranná fólie
Tedlar.....	Polyvinyl fluorid - ochranná fólie
k _e	koeficient vlastní spotřeby

Úvod

Dodávky tepla a výroba elektřiny neboli kogenerační výroba je v České republice velmi rozšířená, přibližně 38,1 % domácností využívá k vytápění centrální zdroj tepla, většinou ve městech. Pro lepší účinnost a ekonomičtější provoz teplárny je možné udělat různá opatření. A právě v této práci se zabývám dvěma způsoby, jak toho dosáhnout. A to za pomoci akumulace energie a přidáním dalšího zdroje energie. Akumulační jednotky jsou schopny pojmout různé druhy energie a umožňují jejich použití až v příznivějším čase, tedy až to bude více ekonomicky výhodné. Jako druhý zdroj k teplárně by mohl být použit OZE, který by doplňoval výrobu elektřiny teplárny.

Zprvu zde popisuji teorii problematiky dodávky tepla a výroby elektřiny u stávajících teplárenských zdrojů a OZE, přibližují současné technologie pro akumulaci tepla a elektřiny.

V další části této práce je navržen projekt teplárny s doplněním o FVE a s možností akumulace tepla a elektřiny. Poté je vytvořen model pro provozní a ekonomické vyhodnocení spolupráce teplárny a FVE s možností akumulace tepla a elektřiny Model je aplikován na existující teplárně a jsou vypočteny bilanční toky. V poslední části práce je provedeno celkové ekonomické zhodnocení návrhu teplárny a FVE s doplněním o akumulaci elektrické energie.

1 Teplárenství

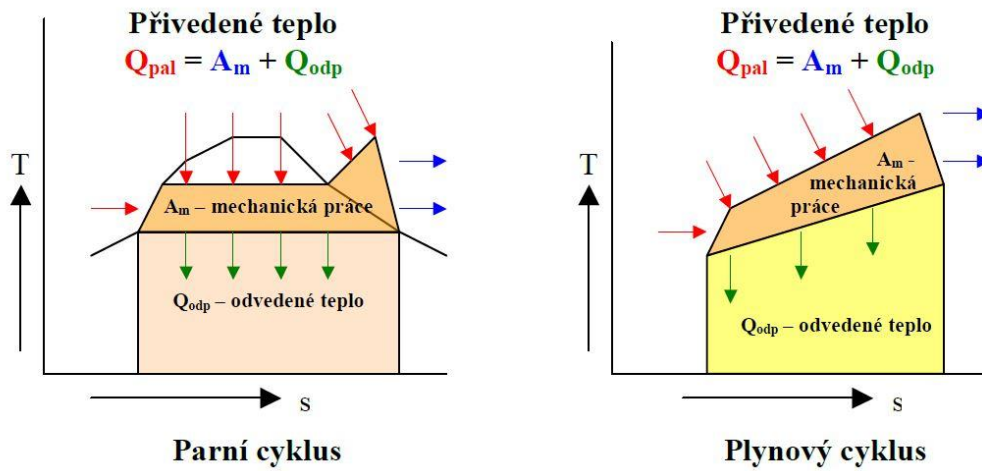
Historie teplárenství sahá do 20. až 40. let 20. století, kdy se v naší zemi začalo rozvíjet dálkové zásobování teplem. První soustavy vznikaly v důsledku rozvíjejícího se průmyslu ve městech. Bylo potřeba velkého množství tepla pro technologické účely a pro vytápění dělnických čtvrtí. S rozvojem elektroenergetiky byly potřeba nové, větší zdroje pro provoz místních elektrizačních soustav. K tomu byly dobré právě teplárny, které nabízely výrobu tepla i elektřiny. Proto ve 30. letech vznikaly na svoji dobu moderní a progresivní soustavy dálkového zásobování teplem. Ty byly budovány ve větších městech, jako bylo Ústí nad Labem, Brno a také v Praze. V 50. a 60. letech docházelo k velkému rozvoji teplárenských soustav, zejména kvůli rozvoji těžkého průmyslu a migrace obyvatel do průmyslových aglomerací právě za prací v průmyslu. Díky tomu byly v těchto letech vybudovány rozsáhlé soustavy zásobování teplem. Bylo to zejména na Ostravsku, v severních Čechách, v Hradci Králové, v Plzni a také v dalších krajských městech. V 70. a 80. letech byl nedostatek investičních prostředků. Stavěla se energeticky náročná panelová sídliště. Ta byla vytápěna spíše z menších levných výtopen, ale s velkou energetickou náročností. V těchto letech teplárenství strádalo. V 90. letech 20. století až do současnosti vývoj sítí spíše stagnoval. Přibýlo několik nových zdrojů na biomasu, ale spíše se investovalo do ekologizace soustav a zdrojů. [5]

1.1 Teplárny

Teplárna neboli kombinovaná výrobní tepla a elektřiny, vyrábí z primárního zdroje paliva jak tepelnou, tak elektrickou energii. Teplárny pracují v parním nebo plynovém cyklu, využívají uvolněného tepla při spalování paliva. Z toho se získá omezená mechanická práce, protože transformace není nikdy 100 %. Tuto omezenost lze znázornit na T-s diagramech parního a plynového cyklu, které jsou ukázány na Obr. 1. Na tomto obrázku můžeme vidět, že maximální účinnosti dosáhneme při maximálním rozdílu horní a dolní teploty. Horní teplota je limitována konstrukčními prvky a dolní pak možností odvedení tepla do okolí.

A právě snahou teplárny je kromě mechanické práce také efektivně využít i co možná největší část odpadního tepla, ale za cenu mírného snížení mechanické práce, z důvodu toho,

aby spodní hodnota teplotní úrovně byla využitelná pro topné účely. [20], [6]



Obr. 1: Znárodnění parního a plynového cyklu v T-s diagramech [20]

Mezi velké výhody kogenerace patří lepší využití paliva, kdy oproti samostatné výrobě tepla ve výtopnách a elektřiny v elektrárnách je u kombinované výroby ušetřena část paliva, což můžeme vidět graficky na Obr. 1. 1. [20], [6]



Obr. 1. 1: Úspora paliva u kogeneračních zdrojů [15]

1.1.1 Zdroje energie

Hlavním zdrojem energie v teplárenství je dnes uhlí. Je to způsobeno tím, že jsme ho měli celkem velké zásoby, proto se teplárenství dlouhou dobu vyvíjelo tímto směrem. Spotřeba uhlí závisí na jeho výhřevnosti, neboli na energii, kterou lze uvolnit spálením 1 kg paliva. Palivo se skládá ze tří základních částí: hořlaviny, popeloviny a vody. Poměr těchto složek v palivu ovlivňuje vlastnosti paliva. Voda se odstraňuje vysušováním, protože má negativní vliv na výhřevnost paliva. Popelovina má vliv na množství nespáleného zbytku, se kterým je nutné dále nakládat. Hlavní nevýhodou uhlí je zátěž, kterou působí životnímu prostředí.

A proto se začaly nabízet další možné zdroje energie. Jako je zemní plyn, ten produkuje o polovinu méně škodlivin než uhlí. Ale vytápění plynem je dražší než uhlím. V naší zemi nemáme velké zásoby plynu, a proto bychom byli závislí na dodávkách ze zahraničí. Dalším zdrojem energie jsou ropné produkty. V teplárenství se využívají hlavně lehké topné oleje. Mají vysokou výhřevnost a méně škodlivin, ale jejich cena je moc vysoká. Možným dalším zdrojem jsou OZE. Mezi tyto zdroje můžeme zařadit dřevo, bioplyn, biomasu, skládkové plyny, slunce a geotermální energie. OZE zaznamenaly nárůst hlavně v posledních letech, a to zejména díky dotacím, ale i přesto se některé zdroje nepoužívají a převládá energie z uhlí. Dalším možným zdrojem je komunální odpad. Ten by mohl být zajímavý, protože odpadu je hodně a je prakticky nevyčerpatelný. A také by se tím mohlo vyřešit ukládání odpadu. [11]

1.1.2 Vzduch, voda, organické oleje a pára

Vzduch se v teplárně používá k lepšímu hoření. Přivádí se spolu s rozemletým uhlím do spalovací komory pomocí ventilátorů. Množství vzduchu přidávaného do spalovací komory je závislé na chemickém složení paliva. Dále se vzduch používá k ochlazení vody v chladicích věžích.

Voda se používá jako teplotonosná látka. Obíhá v uzavřeném okruhu. Aby ve vodě nebyly žádné minerální zbytky a nezpůsobovala korozi materiálů, je voda chemicky upravována. Voda se dodává do kotle, kde se ohřívá a mění se na páru. Jako další teplotonosná látka se používá organický olej. [11]

1.1.3 Tepelný zdroj

Tepelný zdroj je zařízení, které přeměňuje primární zdroj energie na energii tepelnou. Nejčastější přeměny jsou spalování fosilních paliv a jaderná reakce. Ta se u nás používá pouze k elektrárenským účelům. Spalováním fosilních paliv se chemicky vázaná energie v palivu mění na energii tepelnou. Hoření je oxidační exotermický děj. V tepelném zdroji se přenosem energie voda mění na sytou nebo přehřátou páru podle použitého systému, dále se používá v dalších částech výroby. V teplárenství se využívá několik druhů kotlů, které se liší podle typu spalování. [2], [3], [4]

Roštové kotle

Tento druh kotle se používá v průmyslu a v domácnostech. Roštové kotle se kvůli starší technologii už nestaví, ale je jich velké množství v provozu. Nově se staví jen pro spalování biomasy a odpadů. Fungují na principu podávání paliva na pohyblivý rošt, kde palivo prochází čtyřmi fázemi: sušení, odplynování, hoření a dohořívání. Aby všechny fáze proběhly správně, musí se část tepla uvolněného při spalování vrátit zpět do reakce, aby umožnilo zapálení dalšího paliva. Spalování probíhá jak ve vrstvě na roštu, tak nad vrstvou paliva na roštu. [3], [4]

Fluidní kotle

Palivo je dodáváno rozdrčené na prášek a spalováno ve fluidní vrstvě. Fluidní vrstvu nadnáší proud vzduchu a tento děj nazýváme fluidizace. Fluidní vrstva je tvořena z paliva, vápence a písku, který funguje jako pojivo. Výhodou fluidních kotlů je možnost spalování velké šíře paliv, a to i méněhodnotných. Je zde i možnost odsíření při dávkování vápence do fluidní vrstvy s účinností až 95 % podle typu kotle. Díky tomu se u fluidních kotlů nevyžaduje vybudování odsířovacího zařízení za kotlem. Účinnost těchto kotlů je při jmenovitých parametrech 92 - 94 %. Nevýhodou je citlivost na velikost paliva, kdy palivo nesmí být větší než 10 mm. Fluidní kotle jsou dnes nejpoužívanější kotle v elektrárenství a teplárenství. [3], [4]

Práškové kotle

Palivo se rozemele v mlecích okruzích na prášek o velikosti pod 1 mm. Díky tomu dochází ke zvětšení měrného povrchu paliva, a tím i k intenzivnějšímu spalování tohoto paliva. V mlýnicích se palivo také vysušuje. Prášek je pak spalován v hořácích, kam je přiváděn pneumaticky, a to buďto vzduchem, spalinami, nebo jejich směsí. Jelikož práškové kotle nemají rošt, tak nejsou omezeny teplotou primárního vzduchu a používají se pro nejvyšší výkony. [3], [4]

1.1.4 Tepelný motor

Tepelný motor mění teplo na mechanickou práci za pomoci teplonosné látky. U tepláren je to pomocí páry. Jako tepelný motor je používána parní turbína. Ta pomocí expanze páry přeměňuje energii v páře na energii mechanickou. Turbína je zařazena do uzavřeného cyklu, pracovní látka prochází termodynamickými změnami. V současné době se používají dva typy turbín. Liší se od sebe v metodě odběru páry, čímž se mění poměr výroby elektrické a tepelné energie. [6], [20]

Protitlaká turbína

U této turbíny je expanze páry ukončena při tlaku vyšším než atmosférickém, a tedy teplotou emisní páry vyšší než 100 °C. Je využita veškerá energie admisní páry pro výrobu tepelné a elektrické energie. Díky tomu je pára na výstupu, použita pro dodávky tepla. U protitlaké turbíny při admisních parametrech páry platí, že čím je vyšší protitlak, tak tím je podíl vyráběné elektřiny menší vůči dodávkám tepla. Nevýhodou protitlaké turbíny je nemožnost řízení výroby energie, tedy poměru výroby elektrické a tepelné energie. Tento poměr dávají parametry turbíny a ty jsou pevně dány a nelze je měnit. Nelze tedy samostatně vyrábět tepelnou nebo elektrickou energii jako u kondenzační turbíny. Protitlaké turbíny mají větší účinnost přeměny energie než kondenzační. [6], [20]

Kondenzační turbína

U kondenzační turbíny je teplota emisní páry na výstupu tak malá, že využití pro vytápění už není možné. Dochlazuje se pouze v kondenzátoru. Tento typ turbíny se používá v elektrárnách. V teplárnách se dají použít kondenzační turbíny s regulovanými odběry. Kde jde množství odebírané páry regulovat od nuly, tedy čistě kondenzačního režimu až po maximální množství odebírané páry podle konstrukce turbíny. Maximální množství odebírané páry není limitováno jen konstrukcí, ale ještě minimálním množstvím páry, které musí protékat kondenzační částí. [6], [20]

1.1.5 Čištění spalin

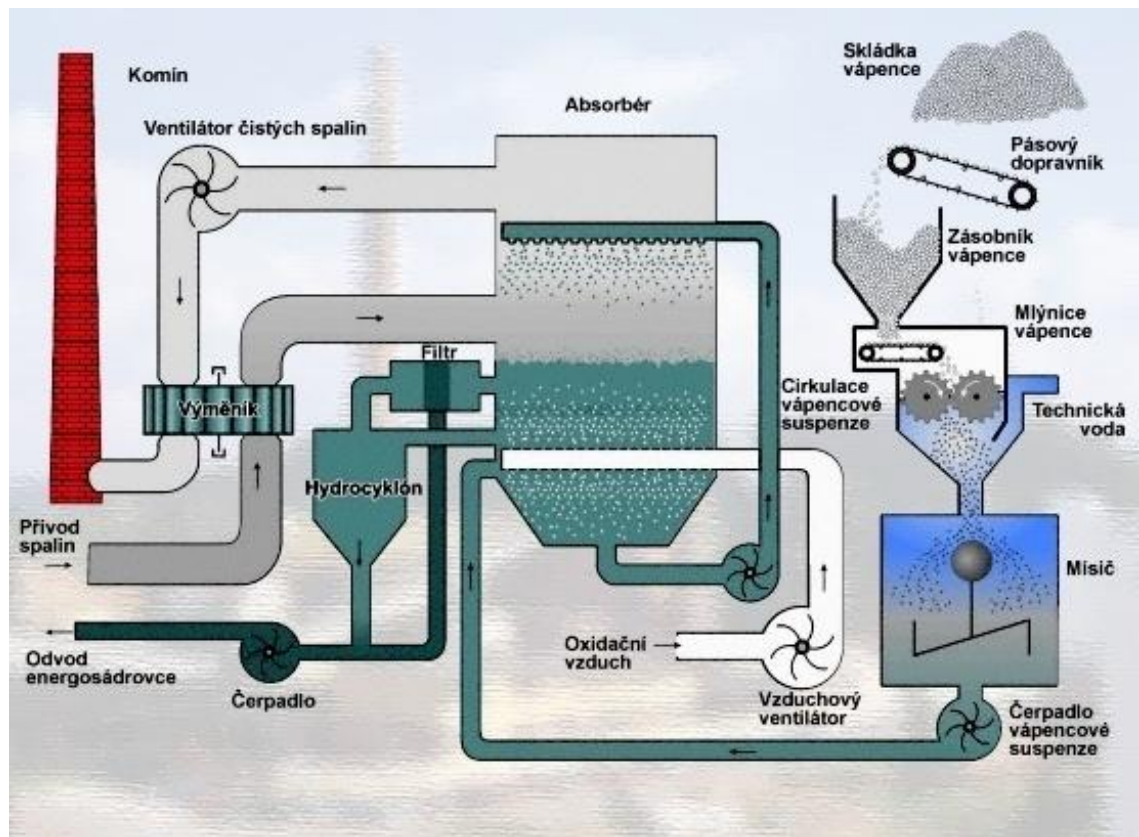
Spaliny jsou brány jako odpad při výrobě elektrické a tepelné energie. Při spalování fosilních paliv vznikají škodlivé látky a popílek. Proto je nutné tyto spaliny čistit, a to jak od popílku, tak i od dalších škodlivých látek jako je oxid siřičitý, který byl jedním z hlavních příčin vzniku kyselých dešťů, což vedlo k poškození lesních porostů. Proto jsou dnes zavedeny emisní limity. [16]

Metody odsiřování spalin

Emise SO_2 můžeme snížit i úpravou nebo mícháním paliva, kdy přidáváme nízkosirná paliva k palivům s vyšším obsahem síry. Pro odsiřování spalin máme tři metody:

- suchá metoda,
- polosuchá metoda,
- mokrá metoda.

Mokrá metoda se dnes používá u 80 % instalovaných odsiřovacích zařízení. Jako nejčastěji používaný sorbent je vápenec, z důvodu snadné dostupnosti. Tato metoda probíhá v mokrých pračkách, proto se nejčastěji používaná metoda jmenuje mokrá vápencová vypírka. Jejím principem je vypírání spalin vápencovou suspenzí. Tato suspenze reaguje s SO_2 a po jejich sloučení vzniká takzvaný energosádrovec, který se dále prodává, a tím se snižují provozní náklady. [16]



Obr. 2: Schéma odsíření mokrou vápencovou cestou [16]

Popílek

Jsou to jemné části paliva, které jsou nespalitelné a zároveň se neuchytí v kotli spolu se struskou. Odvádí se z kotle spolu se spalinami. Tyto malé částice je nutné filtrovat, protože mohou způsobovat zdravotní potíže. K filtraci popílku se používají elektrostatické odlučovače. Kde jsou umístěny dva druhy elektrod. Jedny elektrody jsou nabíjecí a nabíjí částice popílku, ty jsou poté přitahovány sběrnou elektrodou. Sběrné elektrody jsou oklepávány a popílek padá do výsypky. Popílek se používá pro rekultivaci lomů nebo k výrobě betonu.

1.2 Tepelné sítě

Tepelné sítě slouží k přenosu tepla od zdroje k odběrateli, používá se voda nebo pára. Podle toho se sítě dělí na horkovody, teplovody nebo parovody.

1.2.1 Přenosové médium

Pro přenos tepla se používá pára v parovodech nebo voda v horkovodech a teplovodech.

Pára nepotřebuje oběhová čerpadla, protože má tlakovou energii, která zajistí proudění v potrubí. V parovodech je maximální teplota páry 240 °C a tlak 1,8 MPa. Problém v parovodech nastává při poklesu teploty a tlaku páru, začíná se tvořit kondenzát v podobě malých kapek vody. Ty při proudění uvnitř trubek parovodů způsobují jejich obrušování, a tedy úbytek materiálu. Pára je použita přímo pro technologické účely nebo se její parametry upravují v předávacích stanicích a poté slouží k vytápění nebo jako teplá užitková voda. Dnes dochází k nahrazování parovodů horkovody. Protože parovody už nesplňují požadavky na tepelné ztráty. Parovody se používají spíše už jen pro napájení průmyslových objektů, které nejsou daleko od výroby tepla a pára se zde používá i k technologickým účelům.

I když se voda musí oproti páře pohánět čerpadly a musí se vynaložit elektrická energie pro tato čerpadla, je provoz tohoto potrubí hospodárnější, a to díky menším tepelným ztrátám a nákladům na údržbu potrubí. Voda v horkovodech má teplotu maximálně 180 °C a tlak 2,5 MPa. Voda je distribuována přímo k odběrateli nebo do předávacích stanic. Voda u teplovodů má maximální teplotu 110 °C, což je hranice mezi horkovodem a teplovodem a tlak 1,6 MPa. [10], [12], [13]

1.2.2 Sítě

Sítě podle umístění lze rozdělit podle provedení potrubí na podzemní a nadzemní. Podzemní sítě se používají v hustě zastavěných oblastech, kde není nadzemní provedení možné vystavět, nebo by to bylo velice komplikované, také po estetické stránce by to nevypadalo dobře. Podzemní sítě jsou chráněny před mrazem svojí polohou, ale je zde komplikovanější hledání poruchy. Cena je vyšší než u nadzemních sítí. Nadzemní sítě se používají u nezastavěných území a v průmyslových objektech. Je nutno je použít v místech s vysokou hladinou spodní vody a v seizmicky problematických oblastech. [10], [12], [13]

Dále můžeme síť rozdělit podle počtu trubek a to na:

- jednotrubkové,
- dvoutrubkové,
- třítrubkové.

Jednotrubkové sítě byly využívány v dřívějších dobách, kdy přístroje používaly páru k výrobním účelům. Pára se tedy spotřebovala a nemusela se vracet zpět. Cena těchto sítí byla nízká, a i provozní náklady byly nižší.

Dvoutrubkové sítě se používají tak, že jedno potrubí je přívodní a druhé vrací médium zpět. Tento druh sítě je dnes nejrozšířenější způsob přenosu média. Potrubí, které vracelo médium zpět, bylo různé u horkovodů a parovodů. U horkovodů byly průměry potrubí stejné, neboť voda při předání tepla změní minimálně svůj objem. Ale u parovodů mělo vratné potrubí skoro poloviční průměr oproti průměru přívodního potrubí, protože po kondenzaci páry dochází k velké redukci objemu.

Třítrubkové sítě mají dvě přívodní potrubí a jedno společné vratné. Jsou zde dvě možnosti využití těchto potrubí, buďto v každém z přívodních potrubí jsou jiné teplotní a tlakové parametry, nebo průměr přívodního potrubí je rozdílný. Větší potrubí je používáno v zimě, kdy je potřeba větší množství tepelné energie. Menší potrubí se používá v létě, kdy je zapotřebí méně energie. Vratné potrubí funguje celoročně. [10], [12], [13]

Sítě můžeme rozdělit ještě podle topologie sítě na:

- paprskové,
- okružní,
- mřížové.

Paprskové sítě jsou jedny z nejpoužívanějších. Potrubí vede od zdroje tepla až k cíli. Toto potrubí je dále větveno, a tím dochází k distribuci na další místa. Jedná se o nejlevnější síť.

Okružní sítě se používají ve větších zástavbách. Jedná se o zálohovanou síť, neboť je síť uzavřená do smyčky a teplo v případě poruchy může být dodávané z druhé strany. Tento způsob je ale dražší.

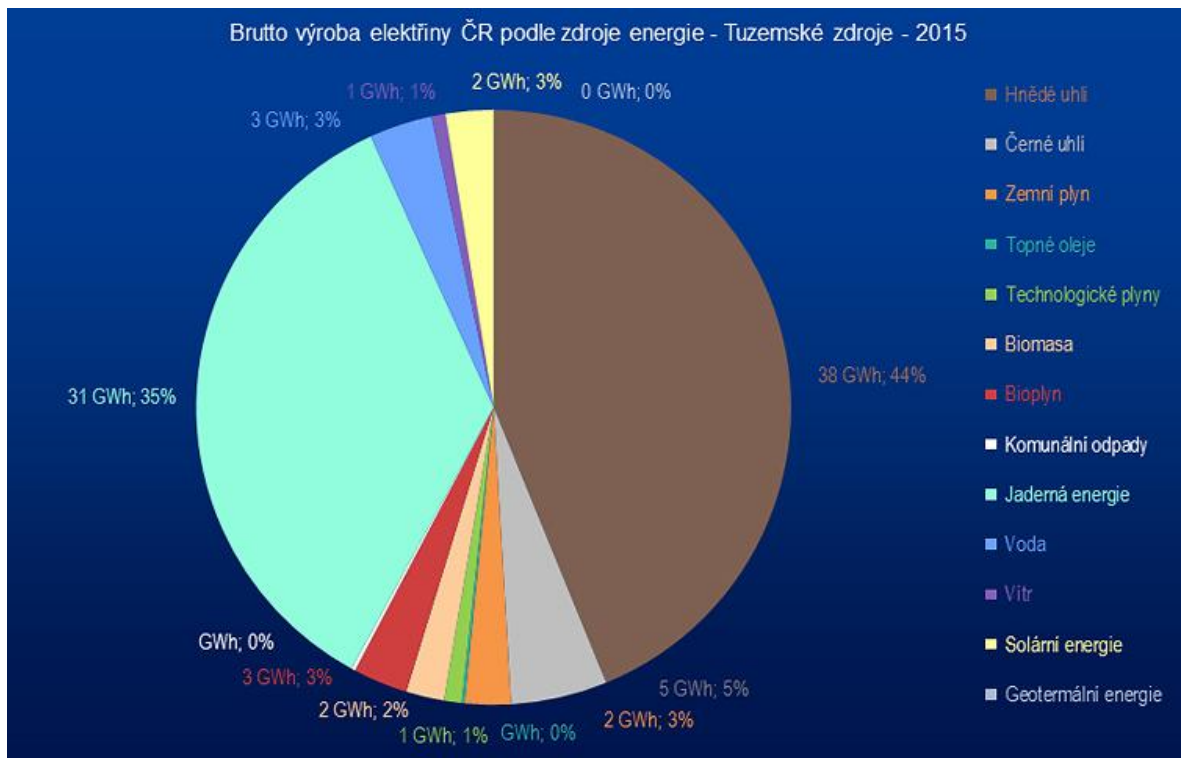
Mřížové sítě jsou napájené ze dvou tepelných zdrojů. Jsou propojenější verzí okružní sítě. Náklady jsou ale příliš velké a v reálném využití se prakticky nepoužívají. [10], [12], [13]

1.2.3 Výměníkové stanice

Ve výměňkových stanicích se upravují hodnoty tepelné energie a stanice propojuje primární a sekundární tepelnou síť, kdy primární rozvodná tepelná síť je síť mezi výrobnou tepla a výměňkovou stanicí. Sekundární rozvodná tepelná síť je síť mezi výměňkovou stanicí a odběratelem. [10]

2 Obnovitelné zdroje energie

V naší zemi mají největší podíl na výrobě elektřiny fosilní paliva. Největší podíl má hnědé uhlí 44 %, což můžeme vidět na *Obr. 3*. Jelikož zdroje fosilních paliv nejsou nekonečné, musí se hledat další možnosti výroby elektrické energie. Proto dobrou náhradou jsou obnovitelné zdroje energie, které u nás ale moc velká procenta v celkové výrobě elektrické energie nemají, je to něco okolo 13 %. Obnovitelný zdroj energie je označení pro vybrané formy energie, které jsou na Zemi přístupné. Tyto energie jsou získávány zejména z jaderných přeměn v nitru Slunce. Dále pak ze zemského nitra, z větru, z vody a dalších zdrojů. Nevýhodou obnovitelných zdrojů je však malá plošná koncentrace, velké investiční náklady, nerovnoměrná intenzita během dne i roku a nestejněměrné územní rozložení. [7]



Obr. 3: Výroba elektřiny v ČR podle zdrojů [18]

2.1 Vodní energetika

Podíl výroby elektrické energie z vodních elektráren je v naší zemi nízký oproti výrobě z uhelných a jaderných elektráren. V naší zemi nejsou ideální přírodní podmínky pro stavbu vodních energetických děl. Vodní toky zde nemají dostatečné množství vody ani potřebný spád pro tato díla. Na našem území jsou energeticky nejvýhodnější řeky Labe, Vltava a Morava z hlediska průměrných průtoků vody. Nejvíce je využita Vltava, kde je postavena tak zvaná Vltavská kaskáda, kterou můžeme vidět na Obr. 4. Na ostatních tocích jsou elektrárny s menšími kapacitami. V těchto malých vodních elektrárnách se skrývá určitý potenciál. Výhodami vodních elektráren je možnost rychlého spouštění a odstavení, možnost automatického provozu, vysoká spolehlivost, vysoká účinnost přeměny mechanické energie vody na energii elektrickou a to, že neznečišťují okolí spaliny a odpadem z výroby. [7]



Obr. 4: Schéma Vltavské kaskády vodních elektráren [7]

2.1.1 Vodní elektrárny

Vodní elektrárny jsou levným a rychlým zdrojem elektrické energie. Díky tomu, že zvládají velmi rychle reagovat na okamžitou spotřebu elektrické energie. Mezi nejznámější vodní elektrárny patří průtočné, akumulární a přečerpávací elektrárny. Princip vodních elektráren spočívá v tom, že voda roztáčí turbínu a ta pak dále roztáčí generátor. Mění se tedy mechanická energie vody na energii elektrickou. [7]

Vodní turbíny

Vodní turbína se vybírá podle místa výstavby elektrárny. Nejčastěji se používá turbína reakčního typu tedy Francisova a Kaplanova turbína v řadě modifikací. Akční Peltonova turbína se používá pro vysoké spády. V malých vodních elektrárnách se používají horizontální Bánkiho turbíny a jednoduché upravené Francisovy turbíny. V přečerpávacích elektrárnách se používají turbíny s reverzním chodem, tedy s přestavitelnými lopatkami. Vodní turbína je nejdokonalejší mechanický motor s účinností až 95 %. Moderní turbíny

se dělí podle druhu práce na rovnotlaké a přetlakové. V rovnotlakých turbínách je tlak všude stejný. Voda tedy vstupuje i vystupuje pod stejným tlakem. U přetlakové turbíny je tlak vody na vstupu vyšší než na výstupu. Tlak při prostupu turbínou klesá. Takto pracuje Francisova turbína, která je vhodná pro střední spády. Dále se turbíny dělí na horizontální a vertikální. Horizontální turbíny se hodí pro malé výkony a malé spády. Vertikální turbíny se hodí pro velké výkony a malé spády. Voda je do turbíny přiváděna pomocí přívodního potrubí. [7]

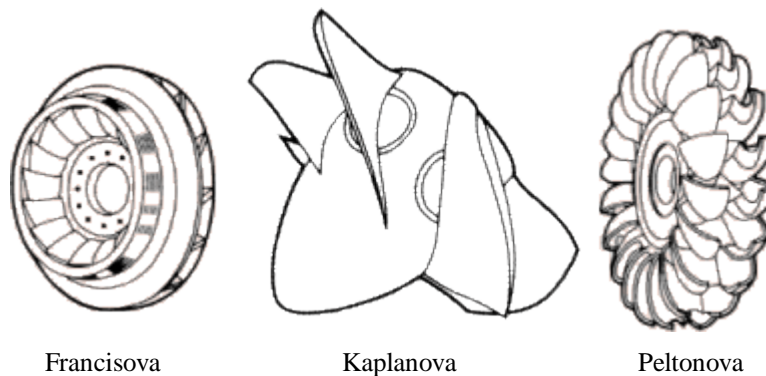
Výkon vodní turbíny je dán spádem H (m), objemovým průtokem Q (m³/s), účinností η (%), hustotou vody ρ (kg/m³) a vzorcem:

$$P = Q \cdot H \cdot \eta \cdot \rho \text{ (W)}$$

Výkon turbíny lze měnit pouze změnou objemového průtoku. Ten se mění obvykle řízením přítoku vody, natáčením lopatek nebo jejich kombinací.

Nejčastěji používanými turbínami tedy jsou:

- Francisova turbína,
- Kaplanova turbína,
- Peltonova turbína.



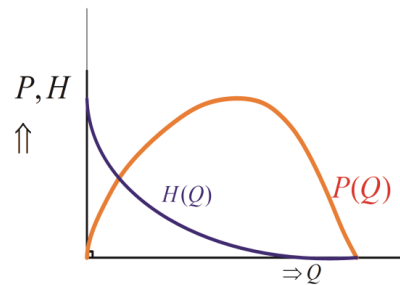
Obr. 5: Rozdělení vodních turbín [19]

Druhy vodních elektráren

Vodní elektrárny se v základu dělí na:

- průtočné vodní elektrárny,
- akumulární vodní elektrárny,
- přečerpávací vodní elektrárny.

Průtočné elektrárny pracují v základním pásmu diagramu zatížení. Je to dáno tím, že elektrárny používají ke generování svého výkonu aktuální hodnotu průtoku vody. Bývají to většinou malé vodní elektrárny, které jsou řízeny automaticky. Výkon elektrárny s rostoucím průtokem roste, až se dostane do maxima a poté začne klesat k nule, což můžeme vidět na Obr. 6. [7]



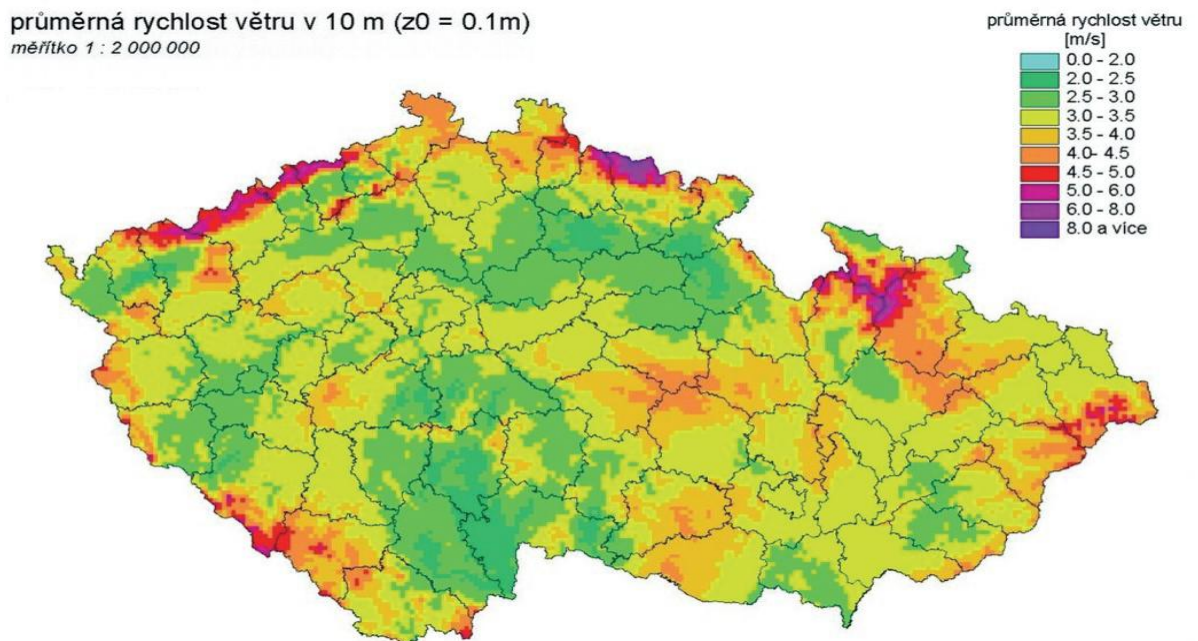
Obr. 6: Závislost výkonu a spádu na průtoku [7]

Akumulační vodní elektrárny se používají ve špičkové nebo pološpičkové části diagramu zatížení. Tento druh elektrárny potřebuje ke své funkci vhodný prostor pro akumulaci vody. Tento prostor je realizován, buďto cestou přirozenou nebo umělou. Přirozené prostory jsou jezera. Umělé prostory jsou tvořeny přehradami nebo spojovacími kanály. Tato vodní díla dále stabilizují průtoky, chrání před povodněmi a umožňují splavnost. Ještě mohou břehy sloužit k rekreačním činnostem. Také jsou často zdrojem pitné vody, technologické vody a vody pro zalévání v zemědělství. [7]

Přečerpávací vodní elektrárny se používají ve špičkové části diagramu zatížení a vykrývají rychlé výkonové změny v diagramu zatížení. Tato elektrárna pracuje s dvěma nádržemi. Jenda nádrž je pod elektrárnou a druhá je nad elektrárnou. Nádrže jsou spojené s elektrárnou pomocí tlakového potrubí. Dnes se používá dvojstrojové uspořádání, tvořené synchronním strojem a čerpadlovou turbínou. Čerpadlová Kaplanova turbína mění natočení lopatek při změně provozu turbíny, podle toho, jestli pracuje jako čerpadlo nebo jako turbína. Tato čerpadlová Francisova turbína mění při změně provozu svůj smysl otáčení. Přečerpávací vodní elektrárny umožňují akumulaci energie, a to při účinnosti procesu okolo 70 %. [7]

2.2 Větrná energetika

Poloha naší země není moc příznivá pro použití větrné energii. A to díky tomu, že nejsme přímořskou zemí a máme tedy problém s intenzitou větru a s výběrem správného místa pro stavbu větrných elektráren. V ČR jsou dobré větrné podmínky pro stavbu v horských oblastech a na vrchovinách. Energetické využití větrných elektráren začíná na rychlosti větru 5 m/s a končí na 25 m/s, kdy se elektrárny z bezpečnostních důvodů odstavují. Situaci ohledně rychlosti větru u nás můžeme vidět na Obr. 7. [7]



Obr. 7: Větrná mapa ČR [9]

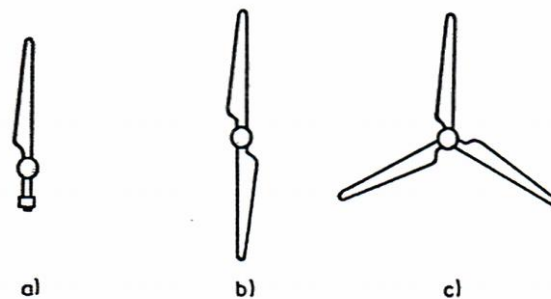
2.2.1 Větrné elektrárny

Větrné elektrárny jsou ekologický zdroj energie a nevznikají při jejich funkci žádné odpady. Elektrárny pohání větrný motor, to je zařízení, které přeměňuje kinetickou energii na mechanickou, ta je dále transformována na energii elektrickou. Základní rozdělení větrných motorů je podle využitého aerodynamického principu na:

- motory odporové,
- motory vztlakové.

Odporové větrné motory patří mezi nejstarší. Mají nastavenou plochu proti větru a tím vzniká aerodynamický odpor. Díky tomu se na ploše vytváří síla, která se přeměňuje na rotační pohyb. K správné funkci musí být obvodová rychlost vždy menší než rychlost větru. Tento druh motorů pracuje s účinností v rozmezí 15 % až 23 %. To je důvod, proč se v moderní energetice příliš neobjevují. Mezi nevýhody patří malá rychloběžnost, nízké otáčky a nízký součinitel využití větru.

Vztlakové větrné motory pracují na principu zpomalování proudu vzduchu. Vítr protéká pracovní plochou větrného motoru, a tím se větru odnímá část jeho energie. Tato kinetická energie je pak větrným motorem přeměněna na energii mechanickou. Mezi motory, které pracují na vztlakovém principu, patří rotory a větrná kola s vodorovnou osou otáčení, které jsou orientovány ke směru větru. Nejvíce jsou vztlakové rychloběžné motory konstruovány jako dvou nebo třílisté. Mohou být ale i jednolísté nebo čtyřlísté. Rychloběžné motory jsou neustále zdokonalovány a jejich účinnost je okolo 40 %. Rychlost konců lopatek dosahuje až dvou či deseti násobku rychlosti větru. Výhodou je jejich relativně nízká hmotnost, nevýhodou je zhoršený rozběh při nízkých rychlostech, kdy minimální rychlost pro rozběh je 5 m/s. [7], [8], [19]



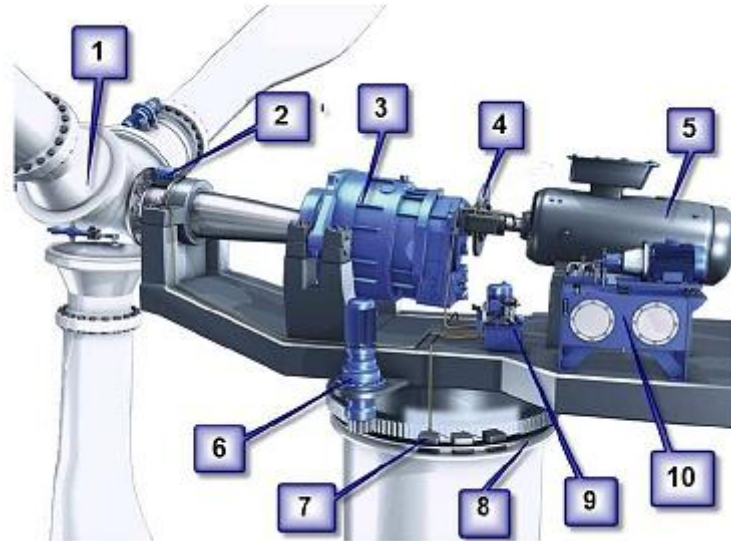
Obr. 8: Ukázka vztlakových motorů a) jednolísté provedení b) dvoulísté provedení c) třílísté provedení [8]

Elektrická energie se u větrných elektráren vyrábí za použití asynchronního nebo synchronního generátoru.

Asynchronní generátor je jednodušší a levnější než generátor synchronní. Mezi výhody generátoru patří jednoduchá regulace výkonu, jednoduchý rozběh a jednoduché připojení na síť. A je spolehlivější z hlediska provozu než synchronní generátor. Nevýhodou generátoru je malé rozpětí otáček.

Synchronní generátor je možné provozovat jen v synchronních otáčkách větrné turbíny. Abychom mohli generátor používat v širším rozmezí otáček, musíme vyrobenou elektrickou energii usměrnit a pak znovu rozstřídat pomocí střídače a převést na frekvenci sítě. [7]

Ukázku konstrukce větrné elektrárny můžeme vidět na Obr. 9.



1 - rotor s rotorovou hlavicí; 2 - brzda rotoru; 3 - planetová převodovka; 4 - spojka a brzda generátorového hřídele; 5 - generátor; 6 - pohon natáčení strojovny; 7 - brzda točny strojovny (gondoly); 8 - ložisko točny strojovny; 9 - hydraulický agregát brzdy rotoru a generátorového hřídele; 10 – hydraulický agregát změny geometrie lopatek rotoru

Obr. 9: Popis typické větrné elektrárny [19]

Větrné elektrárny malých výkonů

Pro výrobu elektrické energie se u malých větrných elektráren do 10 kW používá vícepólový synchronní generátor s permanentními magnety. Tyto malé větrné elektrárny mohou sloužit k napájení akumulátorových baterií nebo autonomních stejnosměrných sítí, ale musí být vybaveny usměrňovači. Pokud jsou vybaveny střídači, mohou napájet malé jednofázové spotřebiče. [7]

Větrné elektrárny středních a velkých výkonů

Pro výrobu elektrické energie se v těchto větrných elektrárnách používají asynchronní motory s kotvou nakrátko pracující v generátorickém režimu. Výhodou těchto generátorů je vysoká spolehlivost, nízké náklady a nenáročná údržba. Nevýhodou pak je malý rozsah rozpětí otáček generátoru. Ten ale můžeme potlačit využitím asynchronního generátoru s napájeným rotorem. Tento generátor umožňuje provoz generátoru i při nižších otáčkách turbíny tedy při nízkých rychlostech větru.

Další je využití synchronní generátor, který se používá pro velké výkony nebo ve speciálním provedení. Nyní se hojně používají synchronní generátory poháněné přímo turbínou bez převodovky. Synchronní generátor je osazen budícím vinutím na rotoru. Elektrárna může pracovat v širokém rozsahu otáček turbíny. Výhodou je nižší hmotnost gondoly větrné elektrárny. Ale zvětší se rozměry generátoru. Ke generátoru je připojen měnič frekvence s možností regulace výkonu. [7]

Regulace výkonu větrných elektráren

Ve větrných elektrárnách se reguluje výkon kvůli ochraně proti překročení maximálních otáček. Omezuje se jak výkon stroje, tak otáčky stroje. Konstrukce větrné elektrárny je uzpůsobena tomu, aby bylo možné docílit maximálního energetického výnosu při 15 m/s. Pro vyšší rychlosti větru se to nevyplácí, protože se vyšší rychlosti větru objevují jen zřídka. Naopak pokud je vítr až moc silný asi tak 25 m/s, musí se elektrárny odstavovat z bezpečnostních důvodů. Pro rozběh elektrárny je potřeba minimální rychlost větru 3 – 5,5 m/s. [7]

Existují dvě základní skupiny regulačních principů, které se liší podle provedení větrných motorů, jsou to:

- větrné motory s pevnými lopatkami nebo listy,
- větrné motory s natáčivými listy.

Regulace výkonu malých větrných elektráren

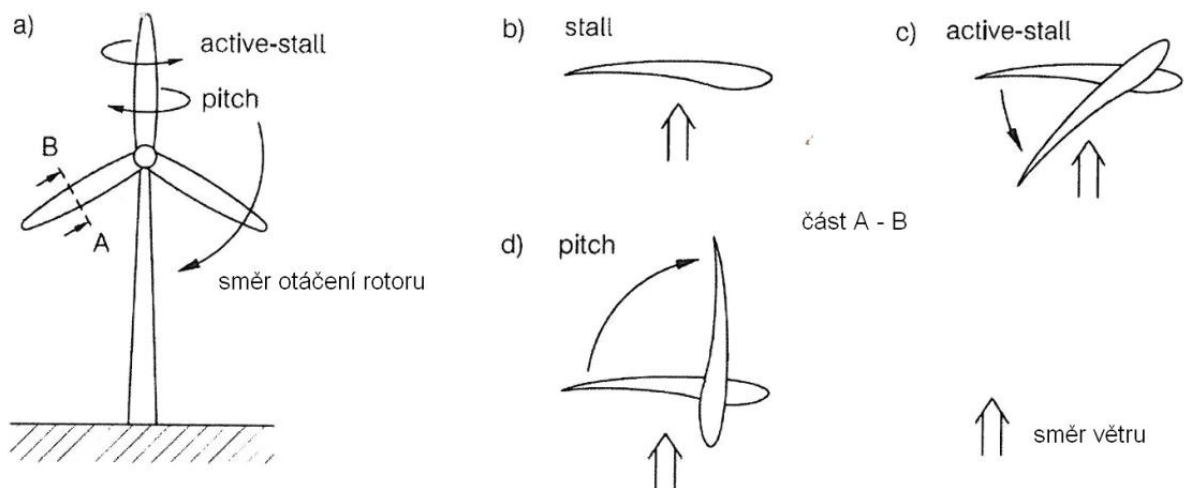
Aby bylo dosaženo maximální účinnosti transformace, musí být rotor natočen do směru větru. To zde zajišťuje směrové kormidlo. Pokud by rotor nebyl ve směru větru, docházelo by ke ztrátám výkonu. U starších typů se pro regulaci používalo regulační kormidlo. To při určité rychlosti větru rotor natáčelo a v případě mezní rychlosti větru ho odstavilo tím, že byla osa rotoru kolmá ke směru větru. Dnes jsou brzděny pomocí pomaluběžných generátorů s usměrňovačem. [7]

Regulace výkonu u velkých větrných elektráren

Výkon se reguluje u velkých větrných elektráren pomocí následujících regulací:

- regulace STALL,
- regulace PITCH,
- regulace ACTIVE STALL,
- regulace STALL-PITCH a PITCH-STALL.

Principy regulací můžete vidět na *Obr. 10*.



Obr. 10: Principy regulace výkonu u velkých větrných elektráren [7]

U STALL regulace jsou lopatky pevně kotveny k rotoru. Výkon se zde reguluje proměnným tvarem lopatek. Pokud naroste rychlost větru, tak dojde k elastické změně geometrie konce lopatek. Tím se zvýší úhel náběhu na konci lopatek a dojde k postupnému

odtržení proudu vzduchu od lopatek. Proudění se změní na turbulentní, a tím se sníží tlak a poklesne moment na hřídeli. Nevýhodou je, že při vysokých rychlostech větru klesá účinnost a výkon. Dále se rotor sám nerozeběhne, musí se rozbíhat za pomoci elektrického motoru.

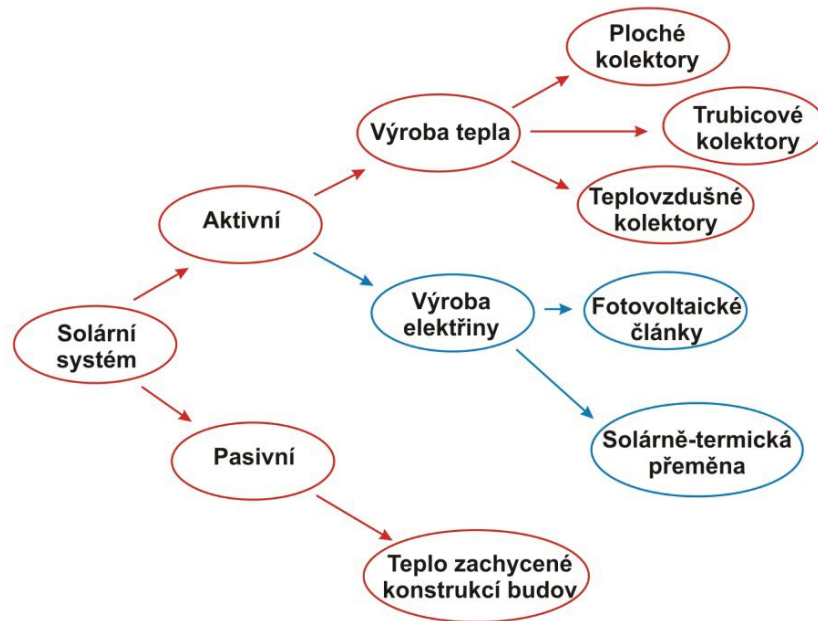
Regulace PITCH je regulace aktivní. Tato regulace pracuje se vstupním signálem výkonu generátoru, a když výkon překračuje bezpečné meze, tak za pomoci elektrického signálu hydraulický systém vychýlí lopatky rotoru. Poté, co dojde k vychýlení lopatek, se sníží vztlak a sníží se i moment na hřídeli. Když se rychlost větru sníží, hydraulický systém natočí lopatky zpět. Pro natáčení lopatek se v hydraulickém systému používají zpravidla krokové motory. Nevýhodou tohoto systému regulace je náročnější konstrukce a tím způsobená menší provozní spolehlivost. Rychlost regulace je pomalá a při velkých výkyvech větru není dostatečná. Výhodami regulace jsou vyšší produkce energie oproti STALL regulaci, kontrola výkonu v celém rozsahu, jednoduchý start elektrárny za pomoci natáčení lopatek a nižší hmotnost listů.

Regulace ACTIVE-STALL je při malých rychlostech větru stejná jako regulace PITCH. Pokud dojde k překročení limitní hodnoty větru, tak hydraulický systém natočí lopatky ale v opačném smyslu, než tomu bylo u regulace PITCH. Tím dojde k odtržení proudu vzduchu a k poklesu vztlaku. Rychlost regulace je dostačující i při náhlých nárůstech rychlosti větru. Výhodou je menší citlivost na znečištění náběžných hran listů například hmyzem.

U kombinované regulace STALL-PITCH nebo naopak musí být turbína vybavena jak konstrukcí listů STALL, tak natáčivými listy. Při nízkých rychlostech se používá regulace PITCH a při zvýšení rychlosti větru začne fungovat regulace STALL změnou geometrie lopatek. Nevýhodou je vyšší hlučnost. [7]

2.3 Sluneční energetika

Sluneční energii můžeme využít pro výrobu tepelné a elektrické energie. A to za pomoci aktivních a pasivních solárních systémů. Podle toho, jakou energii vyrábí, je dělíme na tepelné solární systémy a fotovoltaické solární systémy. Rozdělení můžeme vidět na *Obr. 11*. [7], [21]



Obr. 11: Rozdělení solárních systémů [7]

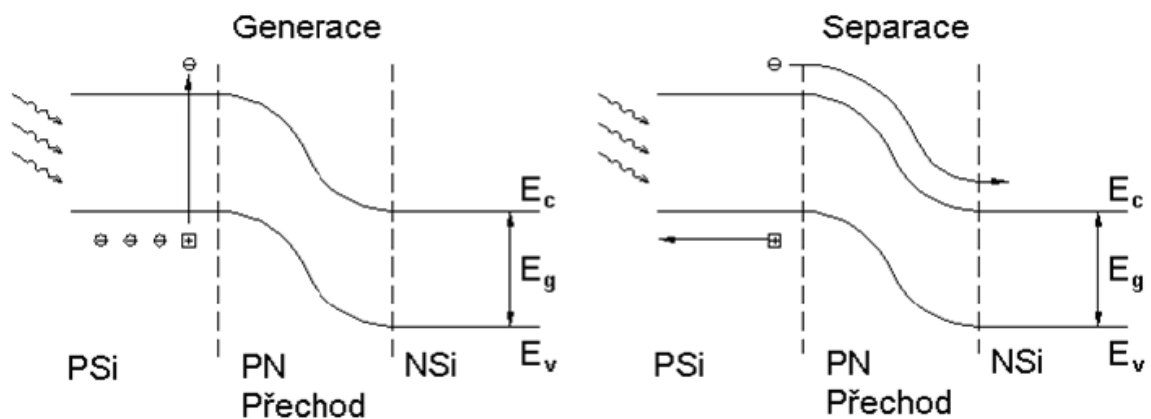
2.3.1 Tepelné solární systémy

U teplot okolo 50 až 60 °C se nejčastěji používají ploché kolektory a pak méně často koncentrující nebo vakuované. Výhodnější je použití jednoduchých kolektorů, mají sice horší účinnost, ale jsou zase levnější, vcelku spolehlivé a mají i slušnou životnost. U pasivních solárních systémů se teplo transformuje pomocí konvekce, jinak řečeno pohybem vzduchu. U pasivního využívání solární energie musí být vhodné stavební řešení objektu. V dnešní době se věnuje pozornost solárním absorbérům. Mohou být uplatňovány jako takzvané absorpční střechy nebo absorpční fasády. Kde tyto absorbéry mění sluneční záření na tepelnou energii a chrání budovu před povětrnostními vlivy. Dalším solárním systémem je hybridní systém. Muže být například proveden jako transparentní skleněná deska zavěšená na jižní straně budovy. Pro vytápění místností se používá vzduch, který proudí za sklem a je zde ohříván slunečním zářením. Jako další solární systém je aktivní systém, ten se skládá z kolektoru, akumulátoru tepla, potrubí, armatur, čerpadla a otopné soustavy. V kolektorech se zachycuje sluneční energie a přeměňuje se v teplo, které je přepravováno do akumulátoru tepla a tam se skladuje. Nosnou látkou, která přepravuje teplo, může být nemrzoucí směs nebo i vzduch. [7], [21]

2.3.2 Fotovoltaické solární systémy

První fotovoltaické systémy byly použity v kosmonautice, kde sloužily k napájení satelitů. Dále se FV články začaly komerčně používat v malých přístrojích jako například kalkulačky a hodinky. Nejvíce se FV systémy začaly rozvíjet v poslední době, a to zejména díky dotačním programům, které přitáhly mnoho investorů.

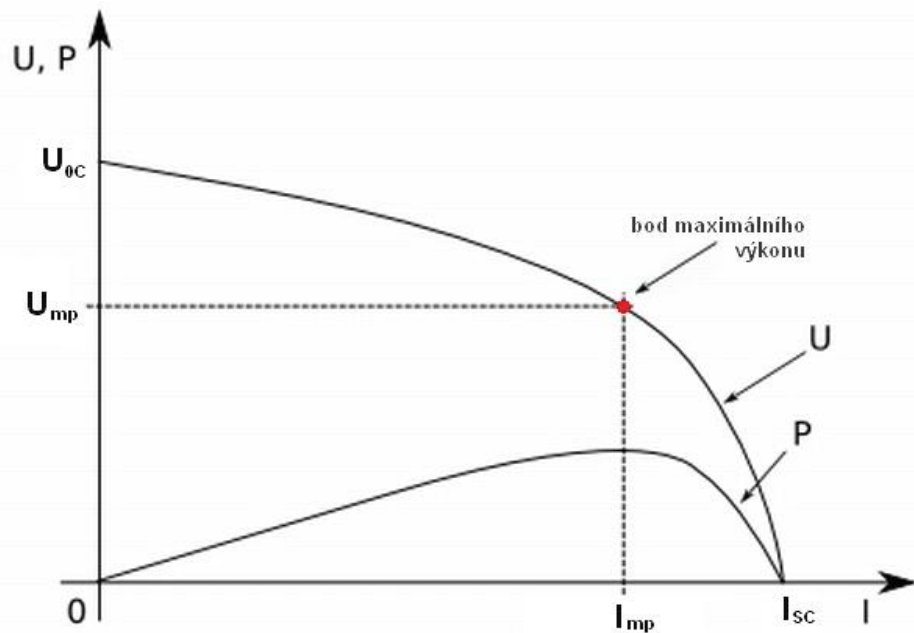
Principem FV článků je fotoelektrický jev. V důsledku absorpce elektromagnetického záření se uvolňují z látky elektrony. Absorpci způsobuje interakce světla s částicemi hmoty. Velmi zjednodušeně můžeme FV článek popsat jako velkoplošnou diodu s PN přechodem. Jeden PN přechod moc energie nevyrobí, ale pokud jich je zapojeno mnoho, tak to už vyrobí zajímavou hodnotu elektrické energie. Při slunečním záření se uvolní v látce elektron a vznikne pár elektron - díra. Základní princip funkce fotoelektrického jevu můžeme vidět na Obr. 12. [7], [21]



PSi – polovodičový křemík typu P, NSi – polovodičový křemík typu N, EC – energie vodivostního pásu,
EV – energie valenčního pásu

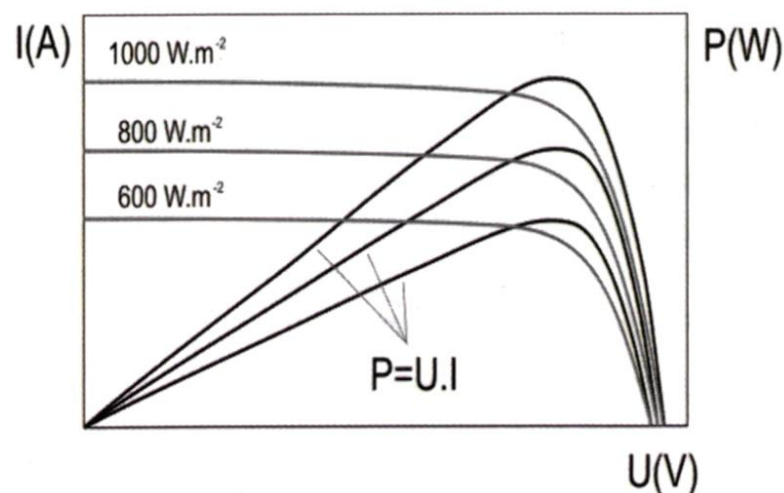
Obr. 12: Princip přímé přeměny energie slunečního záření na elektrickou s využitím fotoelektrického jevu [7]

Výkon FV článku je dán součinem napětí a proudu. V pracovní charakteristice FV článku je pracovní bod, tam je výkon největší. Tento bod je nazýván jako bod maximálního výkonu. A je dán napětím U_{mp} a proudem I_{mp} .



Obr. 13: Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku [7]

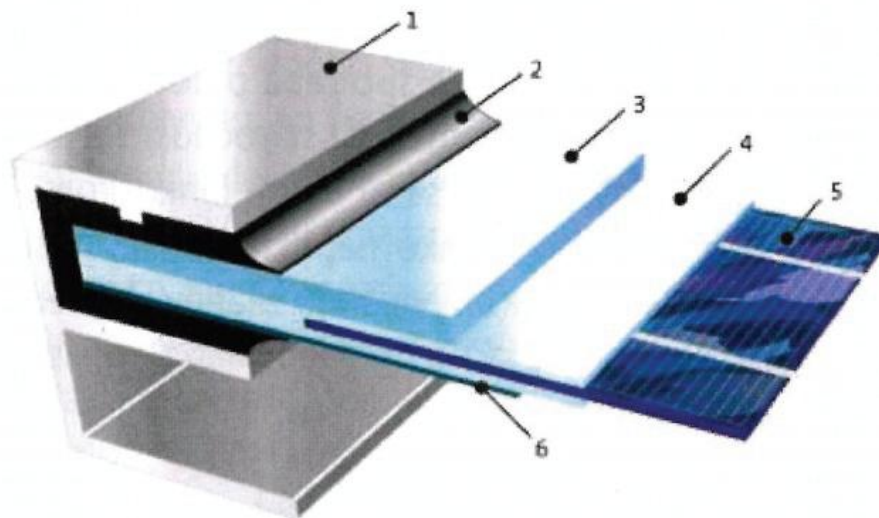
Pokud jsou zhoršené podmínky pro chlazení článku nebo při déle trvající sluneční intenzitě dochází ke zvyšování povrchové teploty článku. Při vysokých teplotách dochází ke změně elektrických vlastností článku, a to vede ke snížení zatěžovací charakteristiky. Klesne optimální napětí a díky tomu klesne i výkon. Účinnost FV článku je závislá i na intenzitě dopadajícího záření, což můžeme vidět na Obr. 14. [7], [21]



Obr. 14: Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [7]

Jako konstrukční materiál pro výrobu FV článků je nejvíce využíván křemík (Si). A to díky tomu, že se u něj dá dosáhnout velmi vysoké účinnosti generace volných nosičů dopadajícím

slunečním zářením. Materiálem pro výrobu FV článků jsou křemíkové destičky. Jsou čtvercového typu o rozměrech až 200 x 200 mm. Z jedné destičky je vyroben jeden článek. Aby články měly větší životnost, musí se chránit před okolními vlivy. A proto se FV články vkládají do etylvinylacetátové fólie. Ještě je na přední straně článku tvrzené sklo, které slouží pro ochranu před vlhkostí, větrem, kroupami a dalšími vlivy, ale zároveň sklo propouští co nejvíce slunečního záření. Na zadní straně je vícevrstvá fólie. Moduly s více FV články jsou pak upevněné v hliníkovém rámu pro lepší uchycení. Na zadní straně je svorkovnice s kabelovými vývody. [7], [21]



1. hliníkový rám, 2. těsnění, 3. tvrzené sklo, 4. EVA, 5. fotovoltaický článek, 6. krycí fólie (tedlar)

Obr. 15: Struktura fotovoltaického modulu z Si [7]

2.4 Biomasa

Biomasa je nedílnou součástí obnovitelných zdrojů energie. V podstatě je to přeměněná sluneční energie, která je zachycena rostlinami a je uložena ve formě chemické energie. Biomasa pochází z chovu živočichů, pěstování rostlin, z organických odpadů a z produkce organického původu. Je to tedy materiál biologického původu nefosilního charakteru. Velkou výhodou biomasy je malé množství CO_2 při jejím spalování. Kvalita biomasy je ovlivňována obsahem vody, kdy čerstvá biomasa má velký obsah vody, a proto jí musíme vysušovat. Vlhkost by měla být pod 30 %.

Využití biomasy je velké. Nejčastěji se s ní můžeme potkat při topení ve formě kusového dřeva, kdy dřevo je poměrně levné a dostupné. Další rozšířenou formou biomasy jsou pelety. Jsou vyráběny lisováním, mají malý obsah vody, a proto i dobrou výhřevnost. Další známou biomasou je štěpka. Ta se získává z odpadu při těžbě dřeva. Jsou to tedy zbytky větví, kůry a dalších věcí. Štěpka má vyšší obsah vody, ale je zase levnější než pelety, tak se vyplatí jí spalovat i s vyšším obsahem vody. [7]

2.4.1 Druhy biomasy

- fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy,
- fytomasa olejnatých plodin,
- fytomasa s vysokým podílem škrobu a cukru,
- organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu,
- směsi různých organických odpadů.

Možnosti využití biomasy v energetice jsou dány jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Vlhkost je jeden z nejdůležitějších parametrů využití biomasy k energetickým účelům. [7]

Biomasa rostlinného původu

Tento druh biomasy můžeme rozdělit na biomasu odpadní, kdy se zbavíme odpadu, který by nebyl jinak využit nebo by byl proplýtván, a můžeme tím nahradit alespoň částečně spotřebu fosilních paliv. A na biomasu, kterou pěstujeme za účelem energetického využití. Biomasu z této kategorie můžeme rozdělit na:

- Dřevo a dřevní odpady,
- Rychle rostoucí dřeviny,
- Obilí a řepná sláma,
- Olejnaté plodiny.

Biomasa živočišného původu

Zde biomasu tvoří exkrementy hospodářských zvířat. Kdy na kvalitu má vliv druh zvířat a způsob jejich ustájení. Z biomasy se při anaerobní fermentaci vyprodukuje metan. Jeho

množství je dáno podílem sušiny, způsobem chovu, druhem podestýlky, krmivem ale i vyšší koncentrací vybraných antibiotik.

Biomasu živočišného původu můžeme rozdělit na:

- kejdu,
- pevný hnůj,
- kejdu a hnůj z volného ustájení.

Biomasa z komunálního odpadu

Zde je základ správné rozřídění odpadu, pak je možné ho energeticky zpracovávat. Odpad se rozřídí na fosilní část a na organickou část. Aby bylo zpracování organické části energeticky výhodné, musí tato část splňovat základní podmínky pro zpracování. [7]

2.4.2 Zpracování biomasy

Biomasa se zpracovává celou řadou chemických procesů. Ty ji mění přímo na tepelnou energii nebo na jiný druh paliva. Tyto procesy, kterými se zpracovává biomasa, si uvedeme níže.

- Termochemická přeměna biomasy:
 - spalování,
 - zplyňování,
 - pyrolýza.

- Biochemická přeměna biomasy:
 - alkoholové kvašení,
 - metanové kvašení.

- Fyzikální a chemická přeměna biomasy:
 - mechanicky,
 - chemicky.

- Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy:
 - kompostování,
 - aerobní čištění odpadních vod,
 - anaerobní fermentace pevných organických odpadů.

3 Akumulace energie

Akumulace energie je v podstatě hromadění nebo uchovávání energie na dobu, kdy bude lepší ji využít. Ukládání vyrobené energie se dnes stává pomalu nezbytností. Právě využití akumulace je v současné době hodně probírané s výrobou elektřiny z obnovitelných zdrojů, kdy právě akumulace energie by řešila diskontinuitu dodávky elektrické energie.

3.1 Způsoby akumulace elektrické energie

3.1.1 Setrvačníky

Setrvačníky akumulují mechanickou energii. V podstatě je to rotační energie, která se ukládá do tělesa a toto těleso je přichyceno na hřídeli. Moderní setrvačníky mají rychlost přes 20 000 ot/min, ale mohou mít i rychlost přes 50 000 ot/min. Díky speciálním konstrukčním prvkům jsou snižovány mechanické ztráty na minimum, je zde vysoká účinnost. Používají se zde například magnetická ložiska, u kterých nedochází ke kontaktu, a tedy opotřebování materiálu. Napájení magnetických ložisek je méně náročné na energii, než napájení olejových čerpadel. Tepelné ztráty jsou zde redukovány díky použití vakua, jako provozního prostředí, kde je setrvačnicko umístěn. Synchronní stroj je k setrvačnicko připojen za pomoci převodovky a v případě akumulace se chová jako motor. A v případě spotřeby energie se chová jako generátor. Těleso je tvořeno z uhlíkových vláken, ty mají velkou pevnost. Účinnost setrvačnicko se pohybuje kolem 90 %. Používají se v automobilovém průmyslu. V energetice se využívají jako akumulační elektrárny. Buďto samostatně, nebo jako záložní zdroje. Další možnosti využití je akumulace u OZE. [7]

3.1.2 Přečerpávací vodní elektrárna

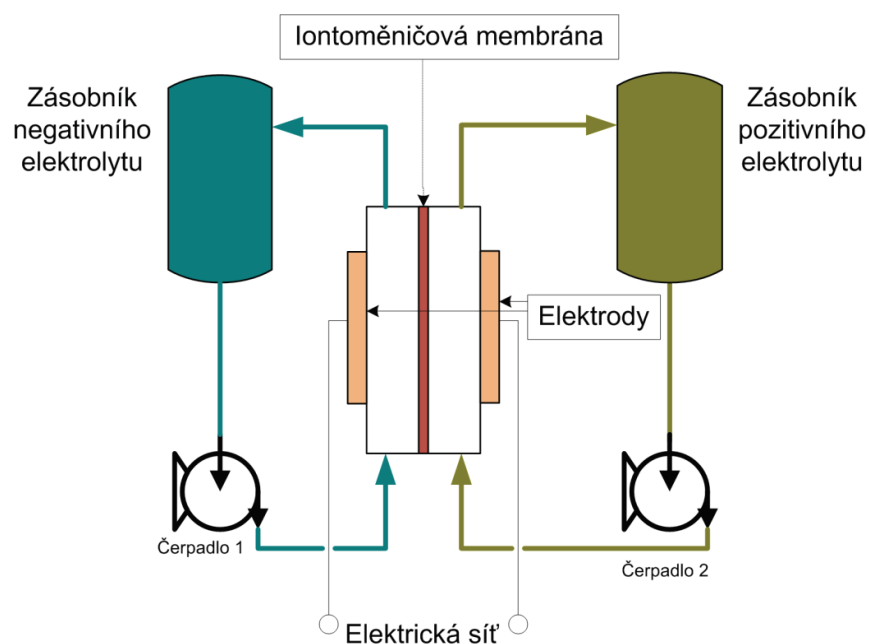
O této elektrárně už zde bylo psáno, viz strana 24.

3.1.3 Tlaková energie

Jedná se o způsob akumulace energie prostřednictvím stlačeného vzduchu. Účinnost je kolem 70 %. V Německu a v USA už běží dva projekty s touto akumulací. Princip spočívá v tom, že je vzduch přiváděn do spalovací komory a je zde spalován spolu se zemním plynem. Tím se zvýší entalpie fluida a to je pak hnáno do turbíny, kde se vytváří točivý moment. Díky tlakovému vzduchu se uspoří energie, které by se jinak spotřebovala v pohonech kompresorů. [7]

3.1.4 Elektrochemické akumulátory

Tyto akumulátory patří mezi nejrozšířenější akumulátory ve světě. Akumulátor je tvořen dvěma elektrodami. Na tyto elektrody je přiváděna elektrická energie, iontově vodivým elektrolytem a separátorem. Separátor brání vzniku zkratu mezi elektrodami. Pokud přivedeme elektrický proud na elektrody, dojde k oxidaci a redukcí elektrolytu a zároveň k změně chemických vazeb. Tyto akumulátory se v energetice nejčastěji používají jako poslední stupeň zabezpečení dodávky elektrické energie v elektrárnách. Nejznámější je olověná baterie. Ale jsou i mnohé další, jako lithiové baterie, NiCd akumulátory, sodíkové baterie nebo průtokové baterie, které jsou poměrně novou technologií. [7]



Obr. 16: Princip průtokové baterie [7]

3.1.5 Chemická akumulace - Vodík

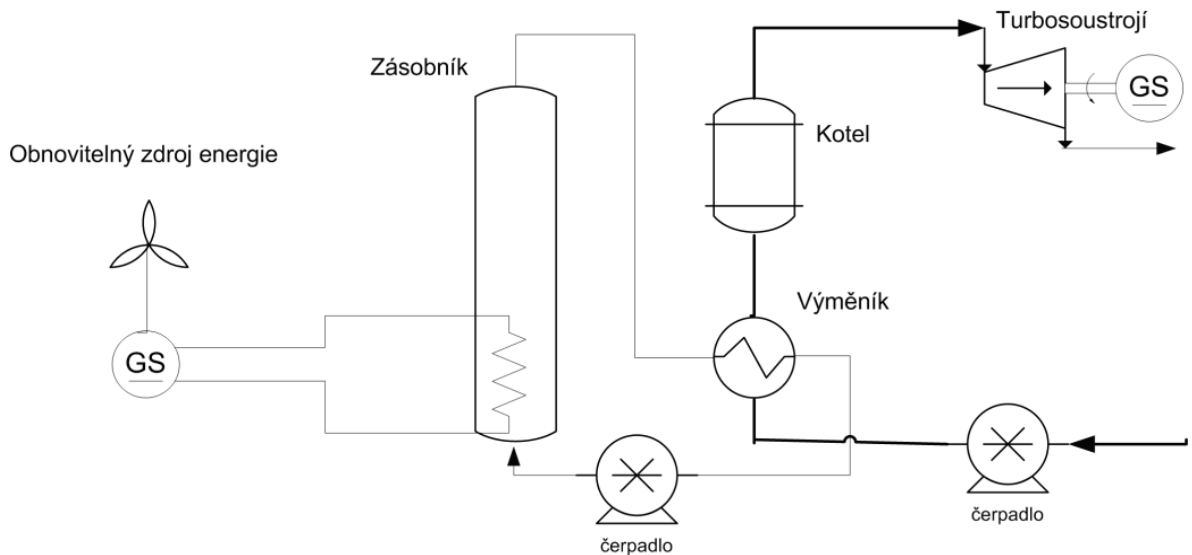
Vodík je bezbarvý plyn bez zápachu, který je lehčí než vzduch. Vodík se vyrábí pomocí elektrolýzy, Je to proces, kdy se vodík uvolňuje na katodě a kyslík na anodě. A to s použitím vody, která je rozkládána za pomoci elektrické energie. Nejrozšířenější typ elektrolyzéro je PEM, kde je klasický elektrolyt nahrazen nejčastěji sulfonovaným fluoropolymerem. Vodík můžeme skladovat ve třech fázích, a to v plynné, kapalně, nebo s pomocí metal-hydridových zásobníků. Skladování vodíku ve velkém není ještě dostatečně vyřešené, protože jsou atomy vodíku malé, lehké a unikají skrze krystalovou mřížku kovů a slitin. Vodík je možné zpět transformovat na elektrickou energii za pomoci palivových článků. Ty využívají opačnou reverzaci oproti elektrolyzéro. Vodík se používá i k chlazení. Účinnost palivových článků je okolo 30 %, takže je relativně nízká. Většimu použití brání vysoké výrobní náklady. [7]

3.1.6 Superkapacitory

Jde o velkoobjemový systém akumulace energie. Superkapacitory mají delší životnost než konvekční baterie a účinnost až 95 %. Předností jsou zejména vysoké krátkodobé dodávky výkonu. Doba nabíjení je extrémně krátká. [7]

3.1.7 Tepelná akumulace

Jde o metodu Ruths, která je založena na termální akumulaci. Elektrická energie je zde akumulována prostřednictvím teplé vody. Voda je posléze přes regenerační oběh kondenzované vody z turbíny opět využita. Výhodou je vysoká míra efektivnosti a akumulací kapacita. [7]



Obr. 17: Principiální schéma [7]

3.2 Akumulace tepelné energie

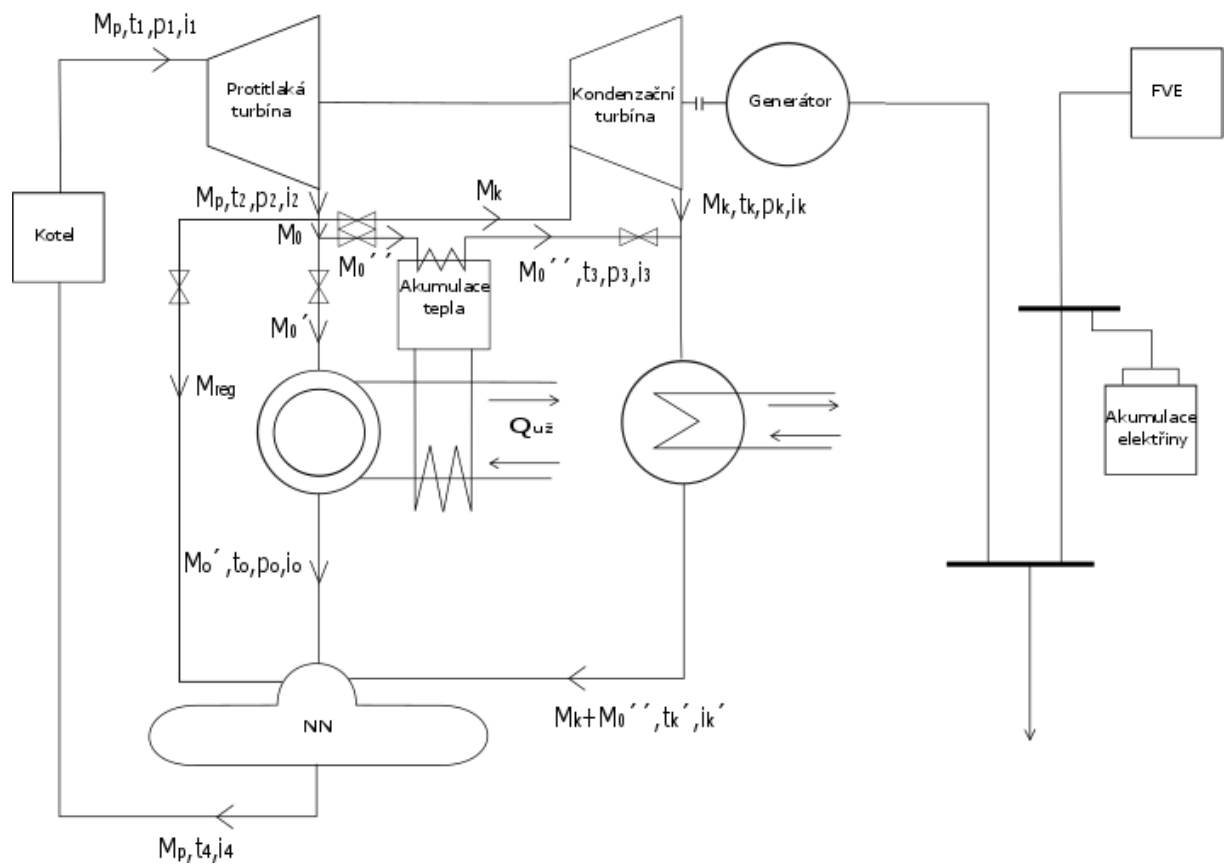
Pro akumulaci tepla se nejčastěji používá voda. Je to díky výborným přenosovým vlastnostem a také vysoké tepelné kapacitě. Dále je voda levná, dostupná, nejedovatá a nehořlavá. Nevýhodou vody je, že při 0 °C tuhne a mění svůj objem a při 100 °C se vypařuje a také mění svůj objem. Nejvíce se používá ukládání tepelné energie do vodních nádrží. V dnešní době se to hojně používá v domácnostech, pro akumulaci tepla z fototermických panelů. Mimo vodní zásobníky se také využívají zemní zásobníky. Zde se pro akumulaci tepla využívá zemního podloží, kde jsou zásobníky tvořeny soustavou zemních vrtů. Kvůli tepelným ztrátám se zemní zásobníky navrhují na nižší maximální teplotu a to okolo 60 °C. V tepelných soustavách se rozlišuje akumulace tepla na přirozenou a umělou.

Přirozená akumulace je vlastní akumulární schopnost materiálů, které jsou zásobovány teplem. Panelové konstrukce dokážou krýt tepelné ztráty zhruba půl hodiny a cihlové konstrukce asi dvě a půl hodiny. Teplo je akumulováno ještě v samotném materiálu teplovodu i v teplonosné látce.

Umělá akumulace se používá, když už akumulární schopnost sítě není dostačující. [7]

4 Návrh projektu teplárny s doplněním o FVE, akumulaci tepla a akumulaci elektřiny.

V návrhu se uvažuje, že do existující teplárny se nově přidá akumulace tepla, akumulace elektřiny a fotovoltaická elektrárna. Návrh schématu tepelného oběhu teplárny s doplněním o akumulaci tepla a FVE s doplněním o akumulaci elektřiny je vidět na *Obr. 18*.



Obr. 18: Schéma tepelného oběhu teplárny s akumulací tepla a FVE s akumulací elektřiny

V této práci se uvažuje s několika stavy provozu teplárny, kdy spolu spolupracují teplárna a FVE doplněné o akumulaci tepla a elektřiny. Díky akumulaci tepla se vyhladí špičky a off píky v odběrovém diagramu $Q_{už}$. U špiček není potřeba rychle zvedat tepelný výkon teplárny, a proto nebude třeba připojení dalšího kotle, který by tento výkon dorovnal. U off píků se nemusí posílat přebytečný výkon do kondenzační turbíny a tím provozovat teplárnu neekonomicky. Odběr $Q_{už}$ se v podstatě zlinearizuje. Spolupráce teplárny a FVE spočívá v maximálním elektrickém výkonu, který dokážou dodat. Součet těchto výkonů nesmí

přesáhnout výkon blokového transformátoru. Akumulace elektřiny se využije k větší ziskovosti vyrobené energie z FVE, v období s nízkými cenami se elektřina bude akumulovat do elektrických akumulátorů a v době s vysokou cenou se prodá.

Teplu se bude akumulovat do vody. A to kvůli její dobré dostupnosti, ceně a měrné tepelné kapacitě. Voda se umístí do akumulární nádrže. Nádrž může být s atmosférickým tlakem nebo vyšším. V tlakové nádrži lze díky zvýšení tlaku zvýšit teplotu média uvnitř, čímž se zvýší akumulární schopnost nádrže. Velikost akumulární nádrže závisí velikosti teplárny. Vodní nádrž se umístí na pozemek teplárny, takže velikost nádrže závisí i na ploše volného místa v areálu teplárny. V návrhu volím atmosférickou akumulární nádrž.

Elektřina se dá akumulovat mnoha způsoby, které už jsou popsány výše. Zde bude elektřina akumulována do elektrochemických akumulátorů. Budou to olověné akumulátory, protože u nás jsou nejrozšířenější a mají i příznivou cenu. Akumulátory se mohou umístit do nevyužívaných prostor, ale ty se musejí k tomuto účelu přizpůsobit. Nebo se může vystavět nová budova na pozemcích teplárny.

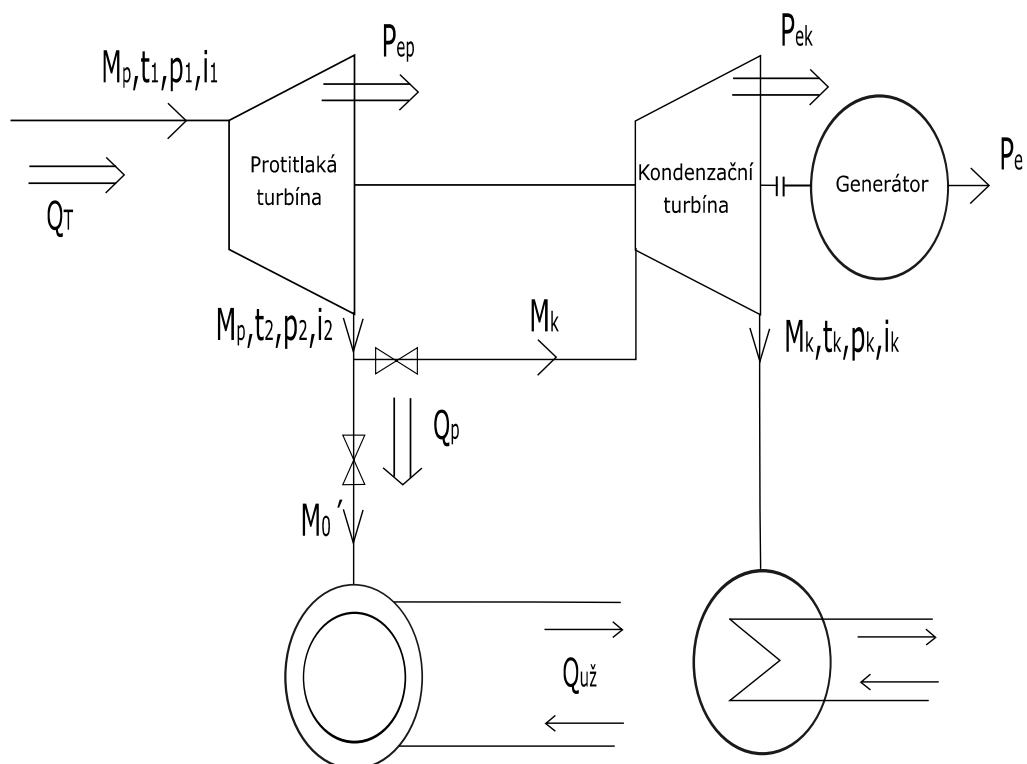
Fotovoltaická elektrárna se umístí na střechu teplárny a na přilehlé budovy teplárny z důvodu úspory místa. Výrobci FV panelů je dnes mnoho, a díky tomu je velký výběr. Velikost FV elektrárny závisí na velikosti objektů, kde bude elektrárna stavěna. Její velikost také závisí na ekonomickém hledisku, výstavba nových FV zdrojů už není tolik podporována jako dříve. Podle zákona 165/2012 Sb. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění účinném k 17. 6. 2016 se podpora elektřiny z FVE vztahuje pouze na elektrárny s výkonem do 30 kWp. Stát dále vyplácí podporu až 100 000 Kč, ale pouze do výkonu 10 kWp. Výkupní bonusy pro nově vybudované zdroje už také nejsou, tyto bonusy skončily pro nově postavené FVE v roce 2014. Proto se dnes vyplatí výstavba jen menších FVE instalovaných na domy, kde se ještě dotace dostávají. Naproti tomu je výhodou, že se nemusí platit za připojený nový výkon do sítě, kdy asi 1 MW stojí cca 1 mil. Kč. Dále odpadá potřeba koupě nového transformátoru, protože FVE se připojí k transformátoru teplárny. Problémem u FVE je i s připojením do distribuční soustavy, elektrárny mají špatný vliv na kvalitu elektrické energie v síti. Proto by bylo nutno splnit podmínky připojení do distribuční soustavy, které uvádí distributor. Špatný vliv FVE může částečně vyřešit akumulace elektrické energie. Když by při změně počasí nedocházelo ke skokovému snížení nebo zvýšení výkonu FVE.

5 Model pro provozní a ekonomické vyhodnocení spolupráce teplárny a FVE s možností akumulace

Model pro výpočet provozního a ekonomického vyhodnocení je vytvořen v programu Excel. Po otevření je na úvodní straně pracovní schéma, do kterého se zadávají vstupní data. Na další dva listy se zadávají hodnoty k FVE a k dodávkám tepla. Dále je tu list s cenami elektřiny a pak už jen listy k výpočtu. Jeden list je pro výpočet v hodinách ve dnech, druhý pro měsíce a třetí pro ekonomické zhodnocení.

5.1 Výpočet teplárny

Teplárnu lze provozovat v kondenzačním, protitlakém a kombinovaném provozu, viz *Obr. 19*. Jak spolu spolupracují protitlaká a kondenzační turbína je znázorněné na spotřební charakteristice těchto turbosoustrojí, viz *Obr. 20*.



Obr. 19: Toky energií v turbosoustrojích

Tepelný výkon dodávaný do turbosoustrojí je funkcí dvou proměnných $Q_T = f(P_e, Q_p)$, kde P_e se skládá z výkonu protitlaké a kondenzační turbíny. Jako první provoz je uvažován

pouze kondenzační, kdy $Q_p = 0$ a $M_0 = 0$. V kondenzačním režimu je pára vedena nejprve do protitlaké turbíny, poté do kondenzační a nakonec je pára vedena do kondenzátoru, kde dochází ke kondenzaci na vodu. Elektrický výkon na svorkách alternátoru při kondenzačním provozu se spočítá ($P_{ek} = P_e$, $M_1 = M_k$) :

$$3\,600 \cdot P_e = M_p \cdot (i_1 - i_k) \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (1)$$

Druhý provoz je protitlaký, kdy $M_k = 0$. V protitlakém provozu je pára vedena do protitlaké turbíny a poté do tepelného výměníku, kde se teplo v ní obsažené předává do tepelné sítě. Zde nedochází k maření tepla jako v kondenzátoru, ale teplo je užítkováno k topným účelům. Elektrický výkon při protitlakém provozu se spočte ($P_{ep} = P_e$, $M_1 = M_0$)

$$3\,600 \cdot P_e = M_p \cdot (i_1 - i_2) \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (2)$$

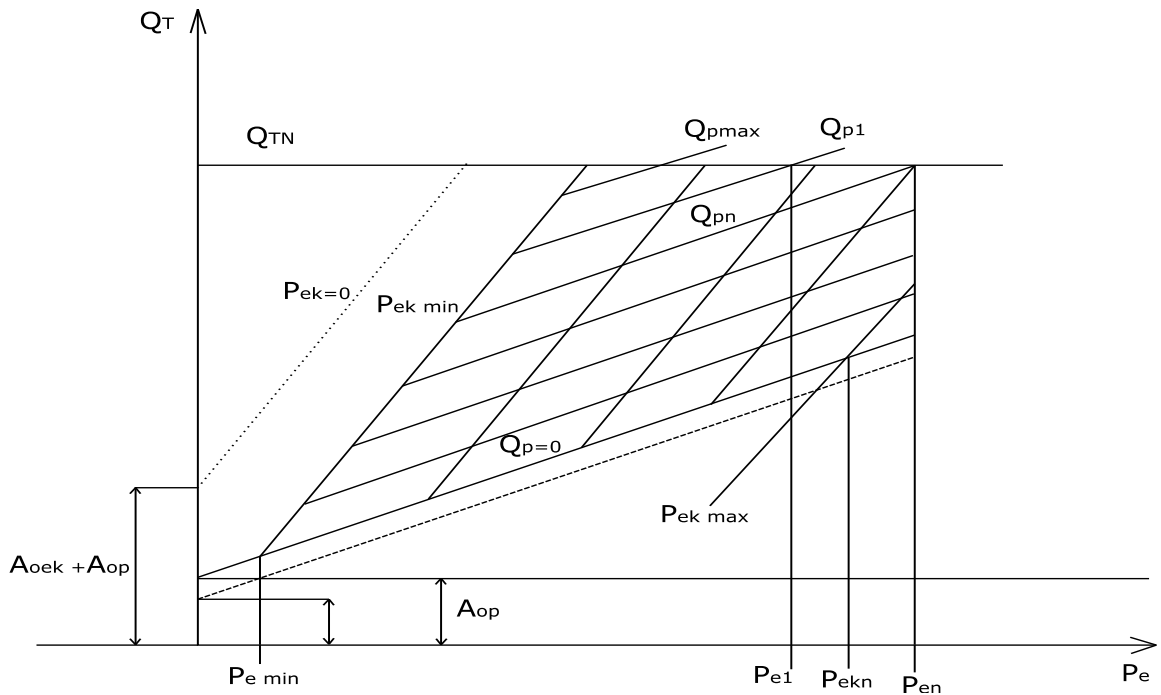
Poslední provoz je kombinovaný, kdy celkový tepelný výkon je dán součtem tepelného kondenzačního a protitlakého výkonu.

$$Q_T = Q_{Tp} + Q_{Tk} = A_{oek} + k_{ek} \cdot P_{ek} + k_{ep} \cdot P_{ep} + Q_p \text{ (GJ)} \quad (3)$$

Celkový elektrický výkon na svorkách generátoru je dán součtem elektrického výkonu protitlaké a kondenzační turbíny.

$$P_e = P_{ek} + P_{ep} \text{ (MW)} \quad (4)$$

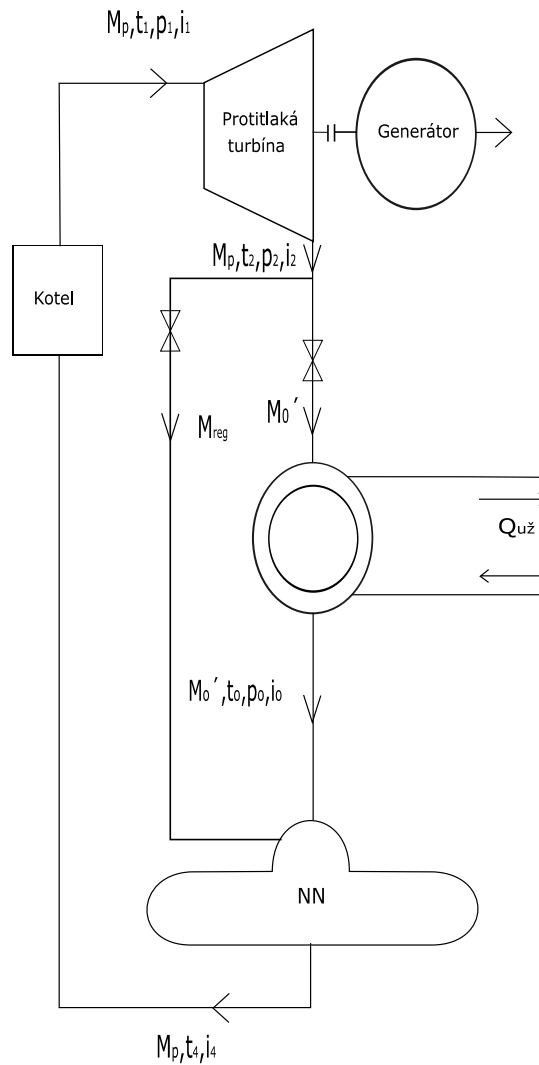
Spolupráce obou turbín je znázorněna na spotřební charakteristice Obr. 20.



Obr. 20: Spotřební charakteristika

Plně kondenzační režim je značen přímkou $Q_p = 0$. S narůstajícím odběrem se přímka posouvá až do hodnoty Q_{pn} . Maximální hodnota, kterou lze odvádět protitlakem je Q_{pmax} . Pokud $Q_{p1} > Q_{pn}$ a zároveň jsme omezeni výkonem tepelného zdroje, tak klesá elektrický výkon z P_{en} na novou hodnotu P_{e1} . $P_{ek} = 0$ (tečkovaná přímka) je čistě protitlaký provoz, ale jelikož nelze provozovat čistě protitlaký provoz musí přes kondenzační turbínu procházet M_{kmin} , kvůli tomu je přímka posunuta o $P_{ek min}$. Pokud se zvyšuje průtok M_k , přímka se posouvá až do výkonu daného maximální hltností kondenzační turbíny $P_{ek max}$.

5.1.1 Protitlaký provoz



Obr. 22: Protitlaký provoz

$$\frac{3600 \cdot P_e}{\eta_m \cdot \eta_g} = M_p \cdot (i_1 - i_2) \quad (5)$$

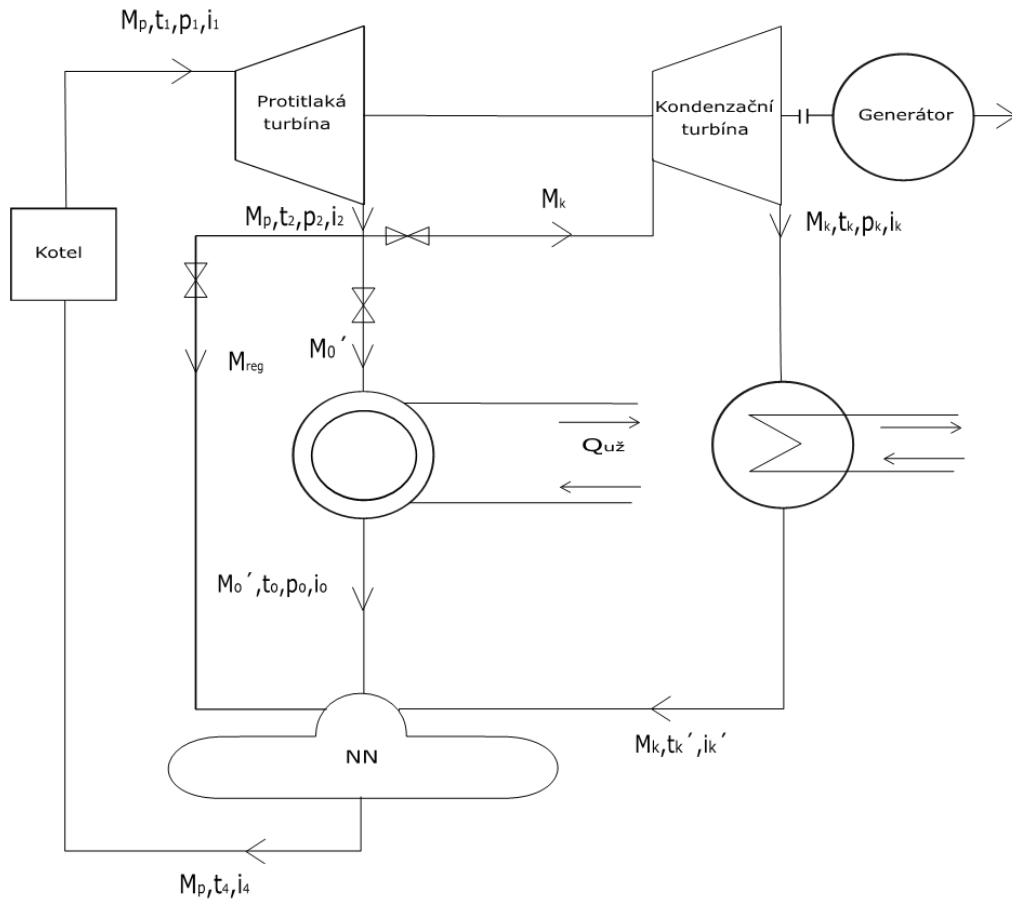
$$M_{CZT} = M_0' \quad (t/h) \quad (6)$$

$$M_p \cdot i_4 = M_{reg} \cdot i_2 + M_0' \cdot i_0 \quad (7)$$

$$M_p = M_{reg} + M_0' \quad (t/h) \quad (8)$$

$$M_{reg} = \frac{M_0' \cdot (i_0 - i_4)}{(i_4 - i_2)} \quad (t/h) \quad (9)$$

5.1.2 Kombinovaný provoz



Obr. 23: Kombinovaný provoz

$$\frac{3600 \cdot Pe}{\eta_m \cdot \eta_g} = M_p \cdot (i_1 - i_2) + M_k \cdot (i_2 - i_k) \quad (10)$$

$$M_p \cdot i_4 = M_{reg} \cdot i_2 + M'_0 \cdot i_0 + M_k \cdot i'_k \quad (11)$$

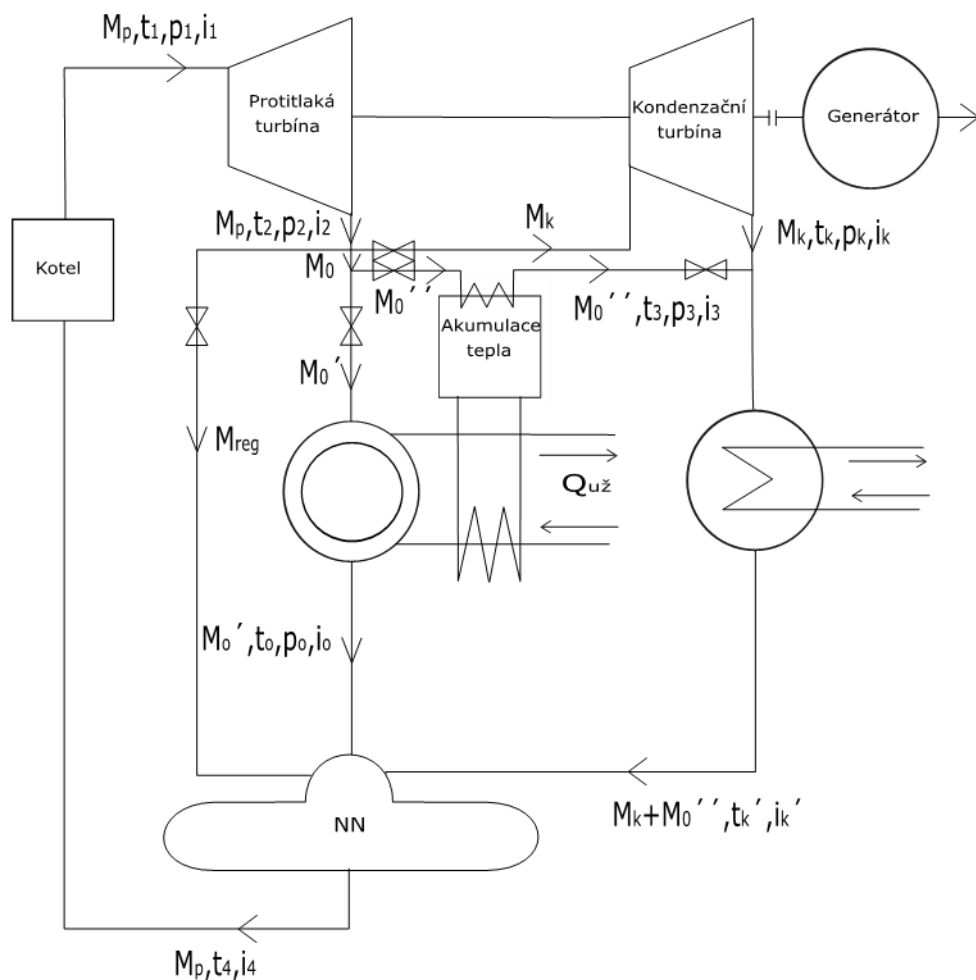
$$M_p = M_{reg} + M'_0 + M_k \quad (t/h) \quad (12)$$

$$M_{reg} = \frac{M'_0 \cdot (i_0 - i_4) + M_k \cdot (i'_k - i_4)}{(i_4 - i_2)} \quad (t/h) \quad (13)$$

$$M_k = M_{min} - (M_{reg} + M'_0) \quad (t/h) \quad (14)$$

Kombinovaný provoz s doplněním o akumulaci tepla

Další uvažovaný provoz je kombinovaný s doplněním o akumulaci tepla. Dodávané teplo se zde částečně zlinearizuje, kdy v době off píků se teplo akumuluje do tepelných akumulátorů, díky tomu se přebytečné teplo nemusí posílat do kondenzační turbíny nebo se nemusí rychle snižovat výkon kotle. V době špiček se teplo z akumulátorů dodává do tepelné sítě, díky tomu nedochází k rychlé změně výkonu kotle a nemusí se nasazovat například další kotel.



Obr. 24: Kombinovaný provoz s akumulací tepla

Po zlinearizování se zjistí nejvyšší hodnota Q_{aku} , která bude potřeba. Z této hodnoty se spočte objem akumulční nádrže a to pomocí maximální a minimální teploty vody

v nádrži, tepelné kapacity vody a měrné spotřeby tepla.

$$m = \rho \cdot V (t) \quad (15)$$

$$Q_{max} = m \cdot c \cdot t_{max} (GJ) \quad (16)$$

$$Q_{min} = m \cdot c \cdot t_{min} (GJ) \quad (17)$$

$$Q_{aku} = Q_{max} - Q_{min} (GJ) \quad (18)$$

$$\frac{3600 \cdot Pe}{\eta_m \cdot \eta_g} = M_p \cdot (i_1 - i_2) + M_k \cdot (i_2 - i_k) \quad (19)$$

$$M_p \cdot i_4 = M_{reg} \cdot i_2 + M'_0 \cdot i_0 + (M_k + M''_0) \cdot i'_k \quad (20)$$

$$M_p = M_{reg} + M'_0 + (M_k + M''_0) (t/h) \quad (21)$$

$$M_{reg} = \frac{M'_{0_{nové}} \cdot (i_0 - i_4) + (M_k + M''_0) \cdot (i'_k - i_4)}{(i_4 - i_2)} (t/h) \quad (22)$$

$$M_k = M_{min} - (M_{reg} + M'_{0_{nové}}) (t/h) \quad (23)$$

$$M'_{0_{nové}} = \frac{Q_{už_{nové}}}{(i_2 - i_0)} (t/h) \quad (24)$$

$$M''_0 = M'_0 - M'_{0_{nové}} (t/h) \quad (25)$$

$$Q_{aku} = M''_0 \cdot (i_2 - i_3) (GJ/h) \quad (26)$$

5.2 Výpočet FVE

Pro výpočet FVE jsou použity hodnoty od výrobců FV panelů a ze systému PVGIS (Fotovoltaický grafický informační systém), ten byl vytvořen výzkumným centrem Evropské komise. Systém umožňuje zobrazení intenzity slunečního záření a teploty v celé Evropě a to díky dlouhodobému sběru dat. Dále můžeme rovnou v tomto systému odhadnout potenciální výrobu z FVE v jednotlivých měsících. Ukázka je vidět na *Obr. 26*, kde je uvažovaný výkon fotovoltaické elektrárny 26 kWp umístěné ve Dvoře Králové. Sklon panelů je 45 ° a FVE s orientací na jih. Systém počítá s odhadnutými ztrátami vlivem teploty 7,4 %, vlivem odrazu od povrchu FV panelů 2,9 %, se ztrátami na vodičích, měniči a ztrátami

vlivem znečištění FV panelu. Tyto ztráty si uživatel zadává sám, já zvolil 14 %.

Fixed system: inclination=45°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	24.30	752	1.11	34.4
Feb	42.80	1200	1.99	55.6
Mar	79.00	2450	3.79	117
Apr	100.00	3010	5.00	150
May	98.40	3050	5.02	156
Jun	99.50	2980	5.17	155
Jul	96.30	2980	5.07	157
Aug	94.60	2930	4.93	153
Sep	78.70	2360	3.97	119
Oct	55.10	1710	2.68	82.9
Nov	27.80	834	1.32	39.5
Dec	19.20	594	0.89	27.4
Yearly average	68.1	2070	3.42	104
Total for year		24900		1250

Obr. 26: Data ze systému PVGIS

E_d - průměrná denní výroba elektrické energie (kWh)

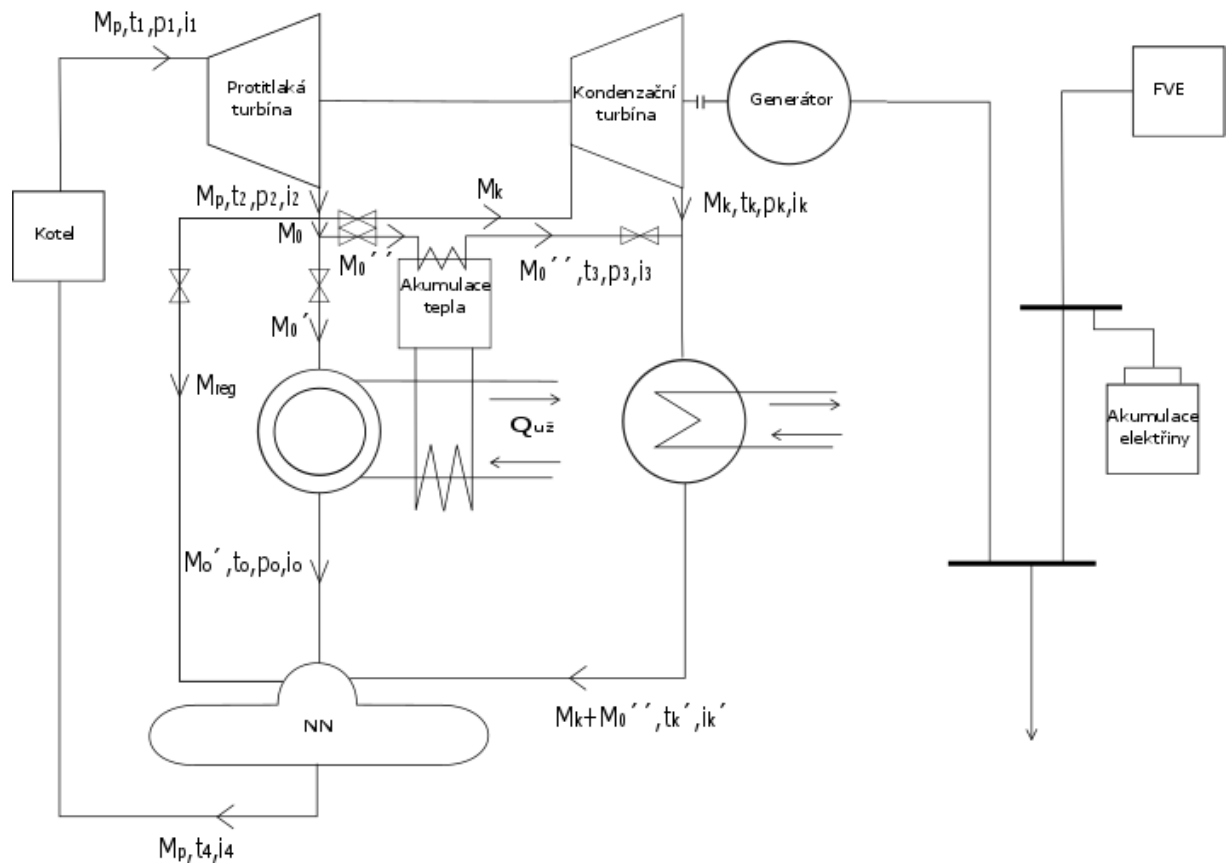
E_m - průměrná měsíční výroba elektrické energie (kWh)

H_d - průměrné denní množství dopadajícího globálního záření (kWh/m²)

H_m - průměrné měsíční množství dopadajícího globálního záření (kWh/m²)

5.2.1 Kombinovaný provoz s doplněním o FVE a akumulaci tepla

Třetí model simuluje případ teplárny doplněné o FVE. Součet výkonů teplárny a FVE v jednotlivých hodinách nesmí překročit výkon blokového transformátoru. Kdyby výkon obou zdrojů přesáhl výkon transformátoru, musela by teplárna snížit vyráběný výkon, a to buďto snížením výkonu kotle, nebo naakumulováním přebytečné energie do tepelného akumulátoru. Nebo by se část výkonu z FVE, která by byla přes hranici výkonu transformátoru, naakumulovala do elektrických akumulátorů.



Obr. 25: Kombinovaná provoz s akumulace tepla a FVE

$$P_{Traf} > P_{e_FVE} + P_{e_teplárna} \text{ (MW)} \quad (27)$$

5.3 Výpočet pro akumulaci elektrické energie

Čtvrtý model simuluje případ, kdy je FVE doplněná o akumulaci elektřiny. Část energie se bude akumulovat do elektrických akumulátorů v okamžiku nízké ceny a v době vysoké ceny by se elektrická energie z akumulátorů vybíjela a prodávala. Z modelu PVGIS se získá odhadnutý výkon za den v jednotlivých měsících. Výkon za den se rozloží do jednotlivých hodin v tento den. V každém měsíci je to provedeno pro jeden den. Sleduje se cena elektřiny, jestli se vyplatí spíše akumulace nebo prodej elektřiny.

5.4 Ekonomický výpočet

V této kapitole je proveden ekonomický výpočet, jsou zde spočteny náklady a zisky teplárny. Kde cena uhlí a ostatních provozních nákladů (voda a další) se udává v Kč/GJ, povolenky CO₂ se berou v €/t a měrné emise v t/GJ.

$$Q_{výstup} = M_p \cdot i_1 \quad (GJ) \quad (28)$$

$$Q_{vstup} = M_p \cdot i_4 \quad (GJ) \quad (29)$$

$$Q_{kotle} = Q_{výstup} - Q_{vstup} \quad (GJ) \quad (30)$$

$$q_{el} = \frac{Q_{kotle} - Q_{už}}{P_e} \quad (GJ/MWh) \quad (31)$$

$$S_{PAL_EV} = \frac{q_{el}}{\eta_{kotel}} \quad (GJ/MWh) \quad (32)$$

$$S_{PAL_ED} = S_{PAL_EV} \cdot k_e \quad (GJ/MWh) \quad (33)$$

$$Palivové \text{ náklady} = S_{PAL_ED} \cdot \text{Cena uhlí} \quad (Kč/MWh) \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \text{Ostatní náklady} = \\ S_{PAL_ED} \cdot \text{Cena ostatních provozních nákladů} \quad (Kč/MWh) \end{aligned} \quad (35)$$

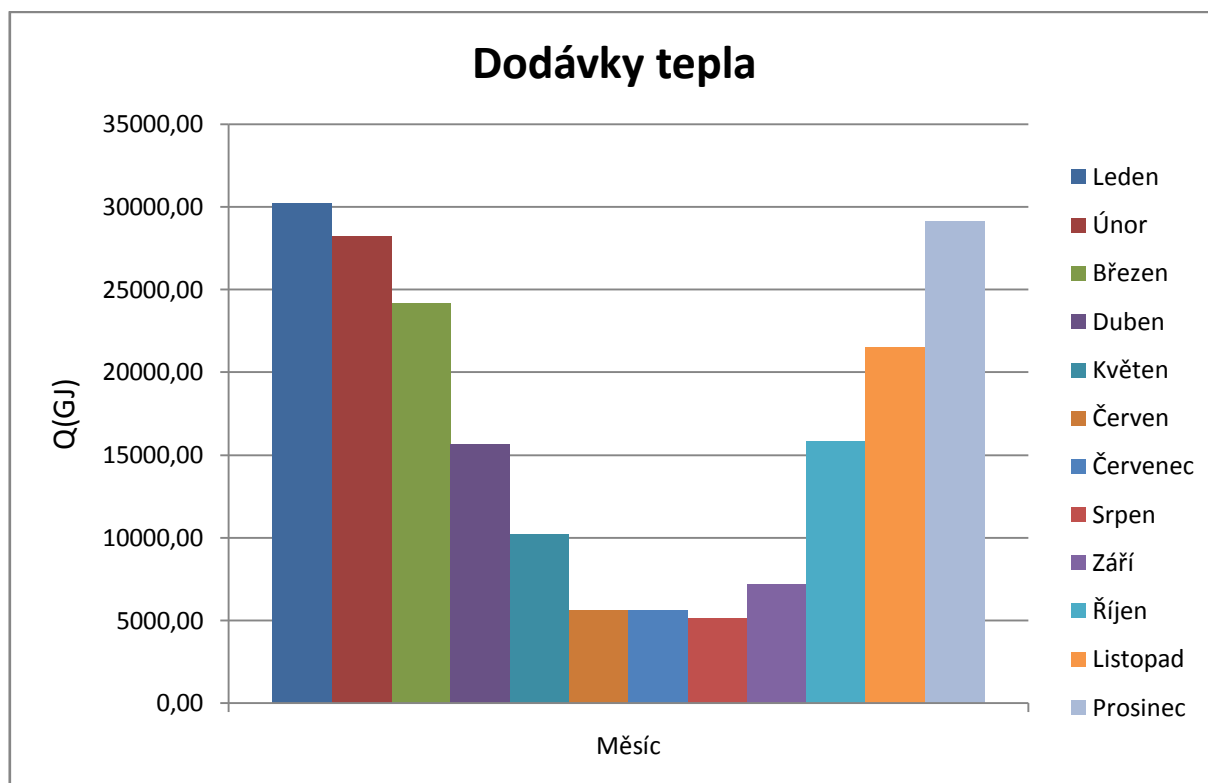
$$\begin{aligned} \text{Náklady na povolenky} = \\ \text{Cena povolenky} \cdot \text{měrné emise} \cdot S_{PAL_ED} \cdot \text{kurz} \quad (Kč/MWh) \end{aligned} \quad (36)$$

$$\text{Tržby ze elektřinu} = \text{cena elektřiny} \quad (Kč/MWh) \quad (37)$$

$$\text{Výnos/Ztráta} = \text{Tržby} - \sum \text{Náklady} \quad (Kč/MWh) \quad (38)$$

6 Aplikace modelu na existující teplárně

Model byl aplikován na teplárnu Dvůr Králové nad Labem. Výpočet vycházel z celoročního odběru tepla, viz *Graf 1* a *Tabulka 1*.



Graf 1: Roční dodávka tepla

Tabulka 1: Dodávky tepla

Měsíc	Q _{už} (GJ)
Leden	30226,19
Únor	28248,40
Březen	24221,00
Duben	15681,02
Květen	10256,71
Červen	5632,51
Červenec	5604,20
Srpen	5147,04
Září	7242,89
Říjen	15871,29
Listopad	21548,93
Prosinec	29143,56
Celkem	198823,73

6.1 Teplárna

V první části výpočtu se počítalo s teplárnou bez akumulace tepla, elektřiny a FVE, schéma k výpočtu znázorňuje Obr. 23 a vychází se ze vzorců 10 až 14 a 28 až 38. Výpočet byl uvažován s nucenou výrobou elektrické energie, teplárna tedy vyrábí minimální množství elektrické energie, při dané dodávce tepla. Teplota kondenzátu závisí na okolní teplotě, bylo uvažováno v letním období 35 °C a v zimním 15 °C.

$$\begin{aligned}t_1 &= 460 \text{ C}^0 \\p_1 &= 6 \text{ MPa} \\i_1 &= 3327 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= 6,755 \text{ kJ/kgK} \\p_2 &= 1,5 \text{ MPa} \\\eta_{TD} &= 70 \% \\i_2 &= 3061 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_0 &= 80 \text{ C}^0 \\p_0 &= 1,5 \text{ MPa} \\i_0 &= 336 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_k &= 40 \text{ C}^0 \\p_k &= 0,007 \text{ MPa} \\i_k &= 2574 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t'_k &= 35 \text{ C}^0 \\p'_k &= 0,007 \text{ MPa} \\i'_k &= 147 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_4 &= 140 \text{ C}^0 \\p_4 &= 0,6 \text{ MPa} \\i_4 &= 589 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{CZT} &= 11,86 \text{ t/h} \\M_{min} &= 6 \text{ t/h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_m &= 99 \% \\\eta_g &= 98 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cena elektrické energie} &= 528,24 \text{ Kč} \\ \text{Kurz } \text{€} &= 26,77 \text{ Kč/€} \\ \text{Cena uhlí} &= 50 \text{ Kč/GJ}\end{aligned}$$

Povolenky $CO_2 = 6 \text{ €/t}$

Měrné emise = $0,095 \text{ t/GJ}$

Ostatní náklady = 10 Kč/GJ

$$M_{CZT} = M'_0$$

$$M_{reg} = \frac{11,86 \cdot (336 - 589) + 0 \cdot (80 - 589)}{(589 - 3061)} = 1,22 \text{ t/h}$$

$$M_k = 6 - (1,53 + 14,94) = -7,08 = 0 \text{ t/h}$$

Pokud nabyla hodnota M_k záporného čísla, automaticky se brala jako nula. Pokud by byla hodnota průtoku záporná, pára by se do turbíny nedodávala, ale odebírala se z ní. Uvažuje se s koeficientem vlastní spotřeby k_e 1,1.

$$M_p = 1,22 + 11,86 + 0 = 13,08 \text{ t/h}$$

$$P_e = \frac{(13,08 \cdot (3327 - 3061) + 0 \cdot (3061 - 84)) \cdot 0,98 \cdot 0,99}{3600} = 0,94 \text{ MW}$$

$$Q_{Výstup} = 13,08 \cdot 3327 = 43,49 \text{ GJ}$$

$$Q_{Vstup} = 13,08 \cdot 589 = 7,70 \text{ GJ}$$

$$Q_{kotle} = 43,49 - 7,70 = 35,79 \text{ GJ}$$

$$q_{el} = \frac{35,79 - 32,31}{0,94} = 3,71 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PAL_{EV}} = \frac{3,71}{0,85} = 4,37 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PAL_{ED}} = 4,37 \cdot 1,1 = 4,8 \text{ GJ/MWh}$$

$$\text{Palivové náklady} = 4,8 \cdot 50 = 240,1 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Ostatní náklady} = 4,8 \cdot 10 = 48,02 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Náklady na povolenky} = 6 \cdot 0,095 \cdot 4,8 \cdot 26,77 = 73,27 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Tržby ze elektřiny} = 528,24 \text{ Kč/MWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Výnos/Ztráta} &= 528,24 - (240,1 + 48,02 + 73,27) \\ &= 166,85 \text{ Kč/MWh} \end{aligned}$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že v zimních obdobích nabýval protitlaký provoz teplárny ziskovosti a to i při snižující se výkupní ceně silové elektřiny, kdy teplárna za vyrobenou MWh vydělala 166,85 Kč. V letních obdobích, kdy musí najíždět i kondenzační turbína není teplárna zisková, více v *Tabulka 2*, *Tabulka 3*, které zobrazují měsíční bilance spočtené z hodinových dat dodávek tepla.

Tabulka 2: Hodnoty v jednotlivých měsících I

Měsíc	Q_{vstup} (GJ)	$Q_{\text{výstup}}$ (GJ)	Q_{kot} (GJ)	P_e (MW)	q_{el} (GJ/MWh)	$S_{\text{pal_Ev}}$ (GJ/MWh)	$S_{\text{pal_Ed}}$ (GJ/MWh)
Leden	7045,60	39769,70	32724,11	856,70	3,71	4,37	4,80
Únor	6584,58	37167,46	30582,87	800,64	3,71	4,37	4,80
Březen	5645,81	31868,46	26222,64	686,49	3,71	4,37	4,80
Duben	3769,89	21279,61	17509,71	587,86	3,71	4,37	4,80
Květen	2911,39	16433,66	13522,28	444,42	6,94	8,16	8,98
Červen	2546,29	14372,85	11826,56	544,08	11,54	13,58	14,93
Červenec	2631,17	14851,94	12220,77	571,79	11,70	13,77	15,15
Srpen	2631,26	14852,43	12221,18	592,07	12,06	14,19	15,61
Září	2568,76	14499,67	11930,91	479,72	9,88	11,62	12,79
Říjen	3759,49	21220,88	17461,39	524,79	3,71	4,37	4,80
Listopad	5023,27	28354,44	23331,17	611,14	3,71	4,37	4,80
Prosinec	6799,02	38377,87	31578,85	833,24	3,71	4,37	4,80

Tabulka 3: Hodnoty v jednotlivých měsících II

Měsíc	Náklady na palivo (Kč/MWh)	Náklady ostatní (Kč/MWh)	Náklady na povolenky (Kč/MWh)	Bilance (Kč/MWh)
Leden	178631,45	35726,29	54514,39	372564,43
Únor	167106,84	33421,37	50997,33	188352,30
Březen	178631,45	35726,29	54514,39	208280,46
Duben	172901,25	34580,25	52765,66	220517,72
Květen	334006,02	66801,20	101931,29	-13161,49
Červen	537611,89	107522,38	164067,32	-182934,20
Červenec	563490,31	112698,06	171964,85	-254902,71
Srpen	580694,27	116138,85	177215,12	-318510,18
Září	460278,18	92055,64	140466,77	-42824,22
Říjen	178653,03	35730,61	54520,97	604123,49
Listopad	172869,30	34573,86	52755,91	519076,18
Prosinec	178632,49	35726,50	54514,70	521855,17

Tabulky ukazují, že v letních měsících, kdy dodávky tepla nebyly velké a také proto, aby bylo dosaženo minimálního průtoku kotlem, musela najíždět kondenzační turbína a provoz teplárny nebyl ziskový jako v zimních obdobích. Ale i přesto se zatím provoz vyplatí, protože teplárna převážně vydělávala. Teplárna v průměru za rok vydělala na každé vyrobené MWh 208,04 Kč.

6.2 Teplárna doplněná o akumulaci

V druhé části výpočtu se uvažovalo s teplárnou doplněnou o akumulaci tepla, bez FVE a akumulace elektřiny. I zde byl výpočet proveden pro nucenou výrobu elektrické energie. Vycházelo se z Obr. 24 a z rovnic 15 až 26 a 28 až 38.

$$\begin{aligned}t_1 &= 460 \text{ C}^0 \\p_1 &= 6 \text{ MPa} \\i_1 &= 3327 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= 6,755 \text{ kJ/kgK} \\p_2 &= 1,5 \text{ MPa} \\\eta_{TD} &= 70 \% \\i_2 &= 3061 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_0 &= 65 \text{ C}^0 \\p_0 &= 1,5 \text{ MPa} \\i_0 &= 273 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_k &= 40 \text{ C}^0 \\p_k &= 0,007 \text{ MPa} \\i_k &= 2574 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t'_k &= 35 \text{ C}^0 \\p'_k &= 0,007 \text{ MPa} \\i'_k &= 147 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_4 &= 120 \text{ C}^0 \\p_4 &= 0,6 \text{ MPa} \\i_4 &= 504 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_3 &= 60 \text{ C}^0 \\p_3 &= 1,5 \text{ MPa} \\i_3 &= 252 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$M_{CZT} = 11,86 \text{ t/h}$$

$$M_{min} = 6 \text{ t/h}$$

$$\eta_m = 99 \%$$

$$\eta_g = 98 \%$$

Cena elektrické energie = 528,24 Kč

Kurz € = 26,77 Kč/€

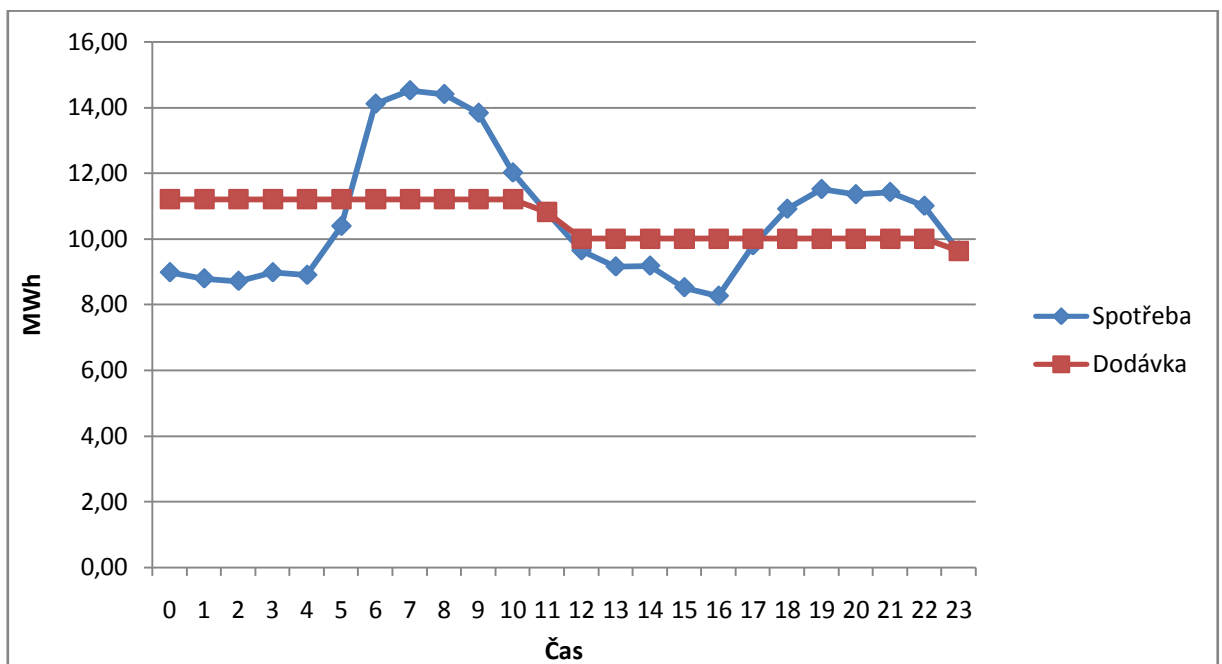
Cena uhlí = 50 Kč/GJ

Povolenky CO₂ = 6 €/t

Měrné emise = 0,095 t/GJ

Ostatní náklady = 10 Kč/GJ

Nejprve se upravil denní odběr tepla, kdy byly sníženy odběrové špičky a naopak zvýšeny odběrové poklesy, viz *Graf 2*. Tepelná energie, která vznikla při vyšší dodávce tepla, než byla poptávka, se naakumulovala do tepelného akumulátoru a naopak při špičce se tepelná energie odebírala z tepelného akumulátoru.



Graf 2: Vyhlazení ve spotřebě tepla

$$M_{CZT} = M'_0$$

$$M_{CZT_nové} = \frac{40,32}{3061 - 336} = 14,80 \text{ t/h}$$

$$M_0'' = 14,80 - 11,86 = 2,94 \text{ t/h}$$

Pokud získal průtok M_0'' kladnou hodnotu, energie se akumulovala do tepelného akumulátoru, pokud byl průtok záporný, tak hodnota průtoku byla automaticky nula a naakumulovaná energie z akumulátoru se použila do tepelné sítě.

$$M_{reg} = \frac{14,80 \cdot (273 - 504) + 2,94 \cdot (147 - 504)}{(504 - 3061)} = 2,02 \text{ t/h}$$

$$M_k = 6 - (2,02 + 14,8) = -10,82 = 0 \text{ t/h}$$

Pokud nabyla hodnota průtoku M_k záporu, automaticky se brala jako nula. Pokud by byla hodnota průtoku záporná, pára by se do turbíny nedodávala, ale odebírala se z ní.

$$M_p = 2,02 + 14,80 + 2,94 = 19,76 \text{ t/h}$$

$$P_e = \frac{(19,76 \cdot (3327 - 3061) + 0 \cdot (3061 - 2574)) \cdot 0,98 \cdot 0,99}{3600} = 1,21 \text{ MW}$$

$$Q_{aku} = 2,94 \cdot (3061 - 252) = 8,25 \text{ GJ}$$

$$Q_{výstup} = 19,76 \cdot 3327 = 55,96 \text{ GJ}$$

$$Q_{vstup} = 19,76 \cdot 589 = 9,91 \text{ GJ}$$

$$Q_{kotle} = 55,96 - 9,91 = 46,05 \text{ GJ}$$

$$q_{el} = \frac{46,05 - 32,31}{1,21} = 4,75 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PAL_{EV}} = \frac{4,75}{0,85} = 5,59 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PAL_{ED}} = 5,59 \cdot 1,1 = 6,15 \text{ GJ/MWh}$$

$$\text{Palivové náklady} = 6,15 \cdot 50 = 307,33 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Ostatní náklady} = 6,15 \cdot 10 = 61,47 \text{ Kč/MWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Náklady na povolenky} &= 6 \cdot 0,095 \cdot 6,15 \cdot 26,77 \\ &= 93,79 \text{ Kč/MWh} \end{aligned}$$

$$\text{Tržby ze elektřinu} = 528,24 \text{ Kč/MWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Výnos/Ztráta} &= 528,24 - (307,33 + 61,47 + 93,79) \\ &= 65,66 \text{ Kč/MWh} \end{aligned}$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že tento provoz se také vyplatil, když za vyrobenou MWh získal 65,66 Kč. Tento zisk byl menší, než tomu bylo u teplárny bez akumulace, je to způsobeno tím, že výkon kotle se snažil být zlinearizován a akumulace nebyla navržena na cenovou křivku, ale spíše na provoz. V *Tabulka 4.* a *Tabulka 5.* jsou zobrazeny hodnoty pro zimní, přechodné a letní období, a to vždy pro jeden měsíc z daného období, v ostatních měsících pro dané období je to podobné.

Tabulka 4: Hodnoty v jednotlivých měsících III

Měsíc	Q_{vstup} (GJ)	$Q_{\text{výstup}}$ (GJ)	Q_{kot} (GJ)	P_e (MW)	q_{el} (GJ/MWh)	$S_{\text{pal_Ev}}$ (GJ/MWh)	$S_{\text{pal_Ed}}$ (GJ/MWh)
Leden	7076,94	39946,61	32869,67	860,51	3,89	4,58	5,04
Červenec	2631,17	14851,94	12220,77	570,87	11,75	13,82	15,21
Září	2554,50	14419,20	11864,70	473,93	9,88	11,62	12,79

Tabulka 5: Hodnoty v jednotlivých měsících IV

Měsíc	Náklady na palivo (Kč/MWh)	Náklady ostatní (Kč/MWh)	Náklady na povolenky (Kč/MWh)	Bilance (Kč/MWh)
Leden	187435,72	37487,14	57201,26	359312,44
Červenec	565648,41	113129,68	172623,45	-258151,02
Září	460275,67	92055,13	140466,01	-42820,44

Z tabulek vyplývá, že teplárna s tepelným akumulátorem byla také zisková v zimních obdobích a v letních ztrátová. Z porovnání ekonomické bilance teplárny a teplárny s akumulací tepla vyplývá, že teplárna byla ziskovější o 13 251,99 Kč za měsíc. To je způsobeno tím, že akumulace tepla byla navržena spíše na konstantní provoz kotle a ne na cenovou křivku. V letních měsících se ztráta teplárny s akumulací snižovala a v přechodném období, kdy je spotřeba značně nestálá, byla dokonce ziskovější o 3,78 Kč za měsíc.

6.2.1 Výpočet velikosti akumulční nádrže

Velikost akumulční nádrže závisí na největší hodnotě Q_{aku} za rok. U mého případu to bylo 57,27 GJ. Z této hodnoty a zároveň z minimální a maximální teploty v nádrži, měrné spotřeby tepla a měrné tepelné kapacity se dopočetl požadovaný objem nádrže.

$$q = 998 \text{ GJ/MWh}$$

$$c = 4,18 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$t_{\text{min}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{max}} = 98^\circ\text{C}$$

$$V = \frac{57,27}{((998 \cdot 4,18 \cdot 98) - (998 \cdot 4,18 \cdot 65))} = 461 \text{ m}^3$$

Pro akumulaci je potřeba atmosférická nádrž o objemu 461 m³. Z důvodu rezervy by bylo lepší vystavět nádrž o objemu 500 m³. Buďto jako jednu velkou nádrž nebo jí rozdělit na dvě, každé o objemu 250 m³. Takto velká akumulční nádrž stojí okolo 7 mil. Kč.

6.3 Výpočet FVE

Potřebné hodnoty pro FVE spočetl systém PVGIS, ten umí odhadnout výkon z FVE ve dnech a měsících. Zadána byla přesná poloha teplárny Dvůr Králové nad Labem a výkon FVE 5 MWp. Systém počítal s odhadnutými ztrátami vlivem teploty 7,4 %, vlivem odrazu od povrchu FV panelů 2,9 %, ztrátami na vodičích, měniči a ztrátami vlivem znečištění FV panelu. Tyto ztráty si uživatel zadává sám, já zvolil 14 %. Dále se volí natočení a sklon panelů, zvolil jsem optimální variantu, kdy jsou orientované na jih se sklonem 34 °.

Tabulka 6: Odhadnutý výkon FVE a počet slunečních hodin v měsících

Měsíc	$E_{FVE_za_měsíc}$ (MWh)	Počet slunečních hodin
Leden	134,00	34,40
Únor	219,00	55,50
Březen	457,00	92,10
Duben	580,00	150,60
Květen	605,00	133,60
Červen	600,00	148,80
Červenec	597,00	157,60
Srpen	572,00	167,00
Září	446,00	111,70
Říjen	313,00	73,60
Listopad	149,00	39,90
Prosinec	104,00	34,30

S pomocí odhadnutého výkonu za měsíc a počtu slunečních hodin v jednotlivých měsících se spočetl maximální výkon z FVE za hodinu, viz *Tabulka 7*. Odhadnutý výkon za týden byl vydělen počtem hodin v daném měsíci.

Tabulka 7: Maximální výkon z FVE za hodinu

Měsíc	P_{e_FVE} (MW) max. vyrobený za hodinu
Leden	3,90
Únor	3,95
Březen	4,96
Duben	3,85
Květen	4,53
Červen	4,03
Červenec	3,79
Srpen	3,43
Září	3,99
Říjen	4,25
Listopad	3,73
Prosinec	3,03

Spolupráce teplárny a FVE spočívá v tom, že výkon z teplárny a FVE nesmí překročit výkon blokového transformátoru. Sečetl se tedy výkon z teplárny s výkonem z FVE a ten nesměl přesáhnout hodnotu 16 MW. V modelu kontroluje tuto podmínku barva buňky

($P_{e_teplárny_za_hodinu}$). Pokud je buňka zelená, je splněna, když buňka zčervená, není splněna, viz *Tabulka 8*. Jestliže je výkon vyšší než výkon transformátoru, jsou tři možnosti nápravy. Zprvke snížení výkonu kotle, zadruhé naakumulovat energii, která by jinak byla využita pro výrobu elektrické energie v kondenzační turbíně do tepelného akumulátoru pro možnost teplárny s tepelnou akumulací, nebo zatřetí naakumulovat elektrickou energii z FVE do elektrického akumulátoru.

Tabulka 8: Ukázka kontroly výkonu transformátoru

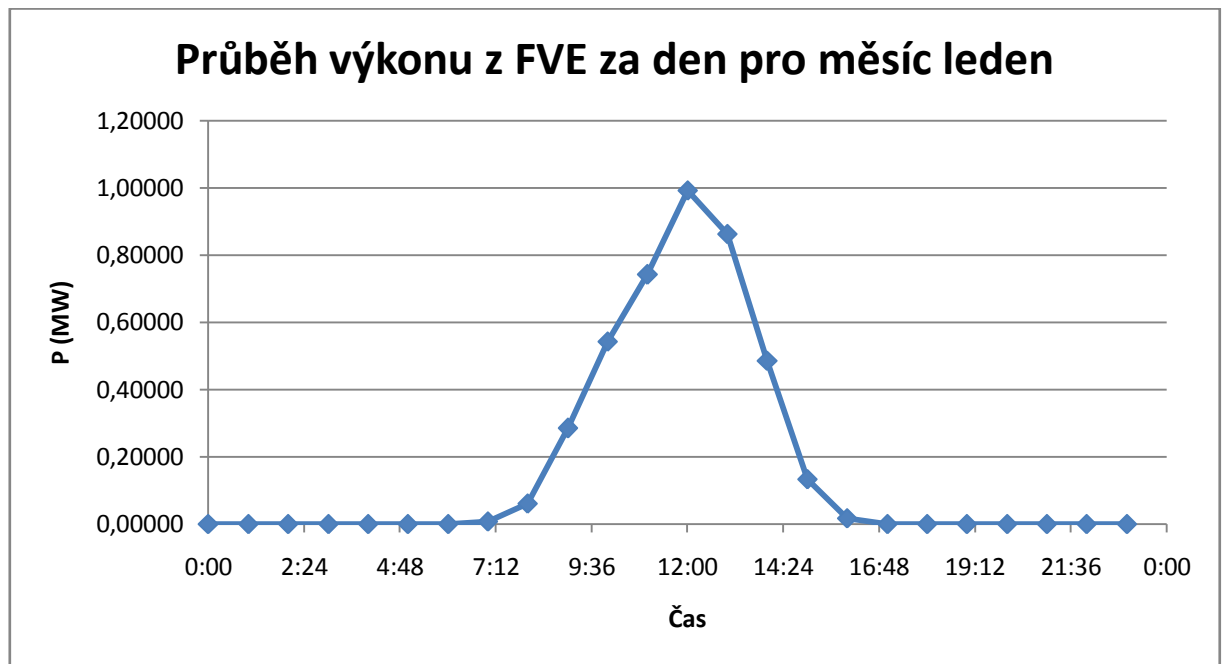
Měsíc	P_{e_FVE} (MW) max vyrobený za hodinu	P_{e_max} (MW)	$P_{e_teplárny_za_hodinu}$ (MW)
Leden	3,90	16,00	4,00
			13,00

6.3.1 Výpočet akumulace elektrické energie.

Akumulace se využívala v době s nižší cenou elektřiny a v době s vyšší cenou se posílala elektrická energie z akumulátorů do sítě. Ze systému PVGIS byl získán průměrný výkon v jednom dnu v měsíci, viz *Tabulka 9*. Z dat ČEPSu bylo odhadnuto rozložení výkonu do jednotlivých hodin, vždy pro jeden den v měsíci, viz *Graf 3*.

Tabulka 9: Výkon z FVE průměrně za den

Měsíc	E_{FVE} průměrně za den (MWh)
Leden	4,13
Únor	7,83
Březen	14,70
Duben	19,30
Květen	19,50
Červen	20,00
Červenec	19,20
Srpen	18,40
Září	14,90
Říjen	10,10
Listopad	4,98
Prosinec	3,37

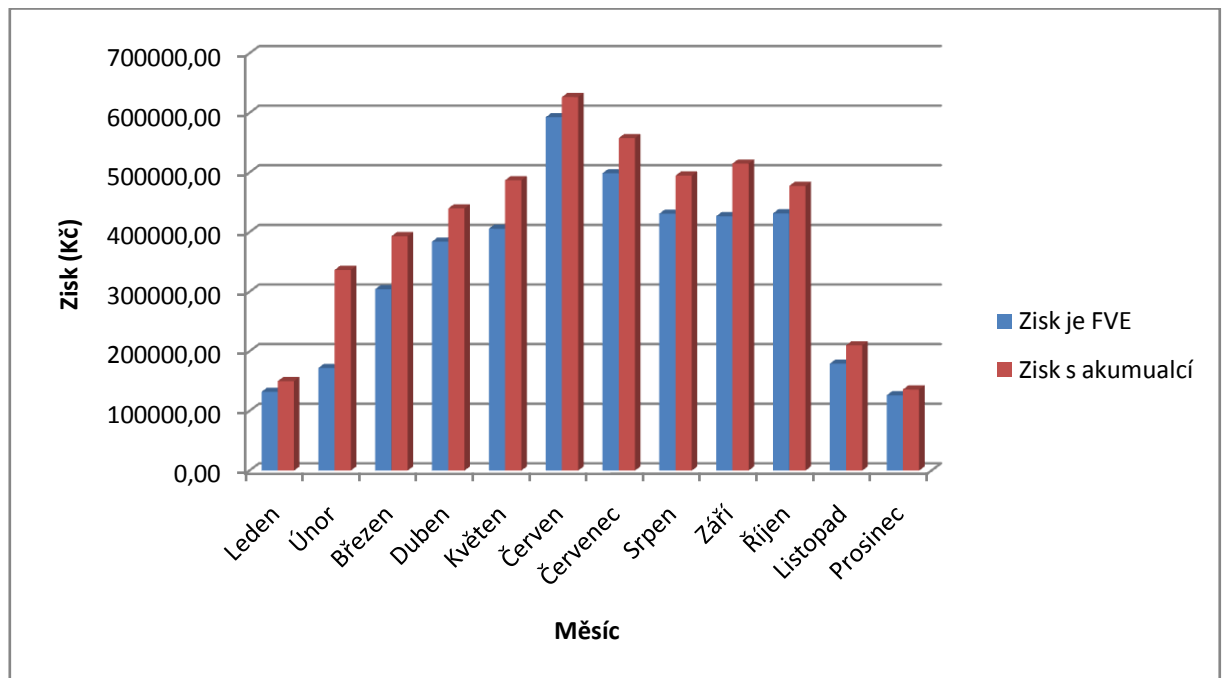


Graf 3: Průběh výkonu z FVE za den pro měsíc leden

Z těchto hodnot byl spočten výtěžek za jednotlivé měsíce pro FVE bez akumulace a s akumulací elektřiny, dle cen elektřiny v jednotlivých hodinách. Výsledný zisk v jednotlivých měsících znázorňuje *Tabulka 10* a *Graf 4*, celkově za rok pak *Tabulka 11*.

Tabulka 10: Zisky v jednotlivých měsících

Měsíc	Zisk _{bez akumulace} (Kč)	Zisk _{s akumulací} (Kč)
Leden	132200,83	150166,87
Únor	172168,19	336659,62
Březen	304437,21	393207,28
Duben	384233,04	439844,28
Květen	405809,44	487105,82
Červen	592808,60	626719,59
Červenec	498895,88	557872,78
Srpen	431063,65	494993,09
Září	426804,85	515067,08
Říjen	431566,74	477632,17
Listopad	179405,05	210145,48
Prosinec	126311,79	136054,68



Graf 4: Zisky v jednotlivých měsících

Tabulka 11: Zisky za rok

Zisk _{rok} (Kč)	Zisk _{s akumulací rok} (Kč)
4085705,28	4688862,86

Z výsledku vyplývá, že zisk za rok vydělala okolo 4 mil. Kč a FVE s akumulací okolo 4,6 mil. Kč. Z toho plyne, že zisk akumulace byl 0,6 mil. Kč, s ohledem na cenu baterií se tento provoz nevyplatí.

7 Ekonomické zhodnocení návrhu

Finanční úspory, které by přinesla výstavba FVE a akumulace elektrické energie, byly vypočteny v předchozí kapitole. Tyto finanční úspory není možné odečíst pouze od investičních nákladů, ale je třeba vypočítat diskontovanou hodnotu. Proto se ekonomické zhodnocení provedlo pomocí ukazatele NPV (Net Present Value) představujícího čistou současnou hodnotu. A pomocí IRR (Internal Rate of Return) představující vnitřní výnosové procento.

7.1 NPV

NPV je ukazatel, který počítá jen s budoucím tokem peněz. V podstatě nám tento ukazatel říká, kolik peněz nám během životnosti projektu daný projekt vydělá nebo prodělá. NPV zahrnuje celou dobu životnosti projektu. [25]

Vzorec pro výpočet NPV je znázorněný zde:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (39)$$

kde CF je cash flow (tok peněz), r je úroková míra a t je doba životnosti daného projektu. Pro výpočet bylo uvažováno s dobou provozu 20 let pro FVE a s 20 lety i pro FVE s doplněním o akumulátory, úroková míra byla zvolena 10 %, odhadnutá cena FVE činí 88 mil. Kč a cena elektrické akumulace byla odhadnuta na 137 mil. Kč. Ukázka výpočtu pro dobu 3 let:

$$\begin{aligned} NPV_{FVE3} &= -88000000 + \frac{4085705,28}{(1+0,1)^1} + \frac{4085705,28}{(1+0,1)^2} + \frac{4085705,28}{(1+0,1)^3} \\ &= -77839455,68 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NPV_{FVE_AKU3} &= -225000000 + \frac{4688862,86}{(1+0,1)^1} + \frac{4688862,86}{(1+0,1)^2} + \frac{4688862,86}{(1+0,1)^3} \\ &= -213339492,1 \text{ Kč.} \end{aligned}$$

Tabulka 12: NPV pro FVE za 20 let a FVE + akumulace 20 let

Rok	NPV	
	FVE	FVE+akumulace
	Bilance (Kč)	Bilance (Kč)
1.	-84285722,47	-220737397,40
2.	-80909106,53	-216862304,12
3.	-77839455,68	-213339492,05
4.	-75048863,99	-210136935,63
5.	-72511962,46	-207225520,70
6.	-70205688,34	-204578779,85
7.	-68109075,51	-202172651,80
8.	-66203063,84	-199985262,67
9.	-64470325,96	-197996727,10
10.	-62895109,71	-196188967,49
11.	-61463094,93	-331545549,66
12.	-60161263,31	-330051533,45
13.	-58977780,03	-328693336,90
14.	-57901886,13	-327458612,76
15.	-56923800,77	-326336136,27
16.	-56034632,26	-325315703,10
17.	-55226297,25	-324388036,58
18.	-54491447,24	-323544703,38
19.	-53823401,78	-322778036,83
20.	-53216087,72	-322081067,24

7.2 IRR

IRR je finanční ukazatel, který dává informaci o relativním procentním výnosu za dobu životnosti projektu. V podstatě říká, kolik procent vyděláme na daném projektu. Tento ukazatel má omezenou možnost použití záporných peněžních toků, a to pouze na začátku uvažovaného období. Není možné ho tedy použít v případě, kdy během životnosti projektu budou vyžadány další investice. [25]

Vzorec pro výpočet IRR je znázorněný zde:

$$0 = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IN \quad (40)$$

kde CF je peněžní tok, t je časové období a IN je počáteční investice. Uvažovaná doba

provozu byla pro FVE 20 let a pro FVE s akumulací 10 let. Pokud výpočet vyjde záporný je automaticky nula. Ukázku výpočtu pro dobu tří let:

$$0 = -88000000 + \frac{4085705,28}{(1 + IRR_{FVE3})^1} + \frac{4085705,28}{(1 + IRR_{FVE3})^2} + \frac{4085705,28}{(1 + IRR_{FVE3})^3}$$

$$IRR_{FVE3} = -57,99 \% = 0 \%$$

$$0 = -225000000 + \frac{4688862,86}{(1 + IRR_{FVE_aku3})^1} + \frac{4688862,86}{(1 + IRR_{FVE_aku3})^2} + \frac{4688862,86}{(1 + IRR_{FVE_aku3})^3}$$

$$IRR_{FVE_aku3} = -69,19 \% = 0 \%$$

Tabulka 13: IRR pro FVE za 20 let a FVE + akumulace 10 let

Rok	IRR	
	FVE Bilance (%)	FVE+akumulace Bilance (%)
1.	0%	0%
2.	0%	0%
3.	0%	0%
4.	0%	0%
5.	0%	0%
6.	0%	0%
7.	0%	0%
8.	0%	0%
9.	0%	0%
10.	0%	0%
11.	0%	
12.	0%	
13.	0%	
14.	0%	
15.	0%	
16.	0%	
17.	0%	
18.	0%	
19.	0%	
20.	0%	

7.3 Zhodnocení

Z výpočtu NPV a IRR vyplývá, že pořízení FVE a akumulace elektřiny je značně neziskové. Pokud byla vzata životnost FVE dvacet let, tak ani po této době se projekt nedostal do kladných čísel a byl by ve ztrátě 53 216 087,72 Kč. U akumulace elektřiny je tomu také tak, při životnosti deset let se musí akumulátory v půlce životnosti FVE vyměnit za nové. Životnost akumulátorů 10 let se bere v případě správného zacházení. Při nedodržení této podmínky by došlo k dřívější výměně baterií, kvůli rychleji klesající kapacitě. Ztráta FVE s doplněním o akumulaci by byla 322 081 067,24 Kč. I když se ušetří za nový blokový transformátor a za připojení nového zdroje do sítě, díky jednomu připojovacímu místu s teplárnou, pořád je projekt ztrátový. Je to dáno zejména tím, že v současné době nejsou poskytovány dotace na výstavbu velkých FVE a ani není dána garantovaná cena elektřiny.

8 Závěr

Úkolem mé diplomové práce bylo navrhnout koncepci projektu vícezdrojové teplárny. Do existující teplárny jsem měl přidat FVE a akumulaci tepla a elektřiny. Dále vytvořit model pro provozní a ekonomické vyhodnocení spolupráce teplárny s FVE doplněné o akumulaci tepla a elektřiny. Pro akumulaci tepla jsem zvolil atmosférickou nádrž s vodou, teplo se bude tedy akumulovat do vody a to díky její dobré dostupnosti, ceně a měrné tepelné kapacitě. FVE se umístí převážně na budovy teplárny a popřípadě na pozemky teplárny. Elektrická energie se akumuluje do olověných akumulátorů, z důvodu výhodné ceny.

Akumulace tepla dává možnost snížit vlastní instalovaný tepelný výkon teplárny, díky dodávání energie v období špiček. Tím odpadá nutnost pořízování záložního bloku výroby. Dalšími výhodami akumulace jsou krátkodobá záloha při poruše primárního zdroje, záloha při opravách a revizích. Snažíme se provozovat teplárnu co nejméně v kondenzačním provozu a toho se dá docílit za pomoci akumulace, kdy se v době off píků vytáhne spotřeba nahoru a přebytek se naakumuluje do tepelných akumulátorů.

Výhoda spolupráce FVE a teplárny byla potvrzena zjištěním, že špičky výroby elektrické energie u FVE a u teplárny jsou v jiných dnech. Proto spolu mohou spolupracovat a být připojeny na společný blokový transformátor. Jejich společný výkon nesmí přesáhnout výkon tohoto transformátoru. Výhodou společného provozu je využití jednoho přípojného místa a tedy ušetření za transformátor a za náklady za připojení nového zdroje.

Úkol akumulace elektrické energie spočívá v uložení energie v době s nízkými cenami elektřiny a dodávání elektřiny z akumulátorů do sítě v době vysoké ceny elektřiny.

Výpočtový model, který jsem vytvořil v programu Excel, řeší energetické a ekonomické vyhodnocení teplárny a FVE s doplněním o akumulaci tepla a elektřiny. Model jsem aplikoval na teplárnu Dvůr Králové nad Labem. Z výpočtů vyplývá, že provoz teplárny je v zimním období ziskový. V letních měsících, kdy musíme provozovat kondenzační turbínu, je provoz ztrátový. Avšak celkový provoz vykazuje zisk. Teplárna za každou vyrobenou MWh v průměru vydělá 208,04 Kč. Když jsem teplárnu doplnil o akumulaci, provoz zůstal ziskový, ale nevyplatil se, tak jako provoz samotné teplárny. To bylo způsobeno tím, že jsem se snažil dodávku tepla zlinearizovat, aby byl kotel provozován na konstantním

výkonu. Při použití akumulace na cenovou křivku, tedy akumulování podle ceny elektrické energie, by byl provoz ziskovější. Zvolil jsem FVE o výkonu 5 MWp, výtěžek za elektrickou energii činil za rok okolo 4 mil. Kč, když jsem energii akumuloval podle ceny, výtěžek byl cca 4,6 mil. Kč.

Jelikož jsou investiční náklady na výstavbu FVE 88 mil. Kč a na pořízení akumulátorů 137 mil. Kč, je jejich pořízení neekonomické. Při ekonomickém zhodnocení metodou NPV nevygenerovala FVE za dobu životnosti žádný zisk. Stejně tak tomu bylo i při využití FVE s doplněním o akumulaci elektřiny, kdy jsem bral v úvahu dobu životnosti baterií 10 let.

S ohledem na dosavadní výpočty a výsledky vidím v akumulaci tepla a elektřiny budoucnost, i přestože výše uvedené výpočty nedopadly dobře. Výhody tepelné akumulace spočívají ve snížení tepelného výkonu teplárny, doby kondenzačního provozu a v možnosti akumulace na cenovou křivku. Akumulátory pro elektrickou energii se vyvíjejí každým rokem, zvyšuje se jejich účinnost a snižuje se cena. Jelikož se cena elektrické energie mění každou hodinu, vidím v její akumulaci budoucnost. Například využitím uložené energie v akumulátorech pro ČEPS, jako podpůrné služby.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DVORSKÝ, Emil. Elektrárny: základy výroby elektrické energie v tepelných elektrárnách - příklady. Plzeň: Západočeská univerzita, 1994. ISBN 80-7082-133-7.
- [2] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Elektrárny: zvyšování účinnosti přeměn energie v tepelných elektrárnách - příklady. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 1999, 184 s. ISBN 80-708-2523-5.
- [3] BALÁŠ, Marek. Kotle: 1. část. *Kotle* [online]. 2012, č. 1 [cit. 2016-07-10]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [4] BALÁŠ, Marek. Kotle: 2. část. *Kotle* [online]. 2012, č. 2 [cit. 2016-07-10]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [5] KAUFMANN, Pavel. Vývoj teplárenství v České republice. [online]. [cit. 2016-07-25]. Dostupné z: <http://www.pro-energy.cz/clanky4/2.pdf>
- [6] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-730-0118-7
- [7] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT, 2011, 257 s. ISBN 979-80-01-04937-2.
- [8] *Technická problematika větrných motorů* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/07.html>
- [9] *Průměrná rychlost větru v ČR* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://www.draci.net/prumerna-rychlost-vetru-v-cr.a133.html>
- [10] DVOŘÁK, Ladislav a Karel BROŤ. *Teplárenství a potrubní síť*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00946-7.
- [11] *PROVOZ ELEKTRÁRNY* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.3.2
- [12] *Teplárenství - Dodávka energie* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/teplarenstvi-dodavka-energie>
- [13] *Tepelné síť* [online]. ČVUT, 2015 [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P3-hydraulika.pdf>

- [14] *Vliv slunečního záření na výkon solárních elektráren v podmínkách České republiky* [online]. 2010 [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/index.php?par=rs_4-rl_2010012104-rm_15:91#.WAjNPfmLTIV
- [15] *Výroba elektřiny a tepla KVET* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://www.pe.cz/ekologie/vyroba-elektriny-a-tepla-kvet.htm>
- [16] *MOKRÁ VÁPENCOVÁ VYPÍRKA SPALIN* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/vypirka_5.html
- [17] *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina>
- [18] *Vodní turbína* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/vod_turb.html
- [19] *Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [20] KARAFIÁT, Josef. Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. [online]. s. 67 [cit. 2016-10-20].
- [21] HENZE, Andreas. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi: technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. Ostrava: HEL, c2000. ISBN 80-86167-12-7.
- [22] ČEPS, a.s. [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/Stranky/default.aspx>
- [23] *PVGIS* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [24] *Podrobné údaje o slunečním záření* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://meteo-jirkalina.com/wx38.php>
- [25] *IRR a NPV* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz>

Seznam obrázků

OBR. 1: ZNÁZORNĚNÍ PARNÍHO A PLYNOVÉHO CYKLU V T-S DIAGRAMECH [20].....	13
OBR. 1. 1: ÚSPORA PALIVA U KOGENERAČNÍCH ZDROJŮ [15].....	13
OBR. 2: SCHÉMA ODSÍŘENÍ MOKROU VÁPENCOVOU CESTOU [16]	18
OBR. 3: VÝROBA ELEKTŘINY V ČR PODLE ZDROJŮ [18].....	22
OBR. 4: SCHÉMA VLTAVSKÉ KASKÁDY VODNÍCH ELEKTRÁREN [7]	23
OBR. 5: ROZDĚLENÍ VODNÍCH TURBÍN [19]	24
OBR. 6: ZÁVISLOST VÝKONU A SPÁDU NA PRŮTOKU [7].....	25
OBR. 7: VĚTRNÁ MAPA ČR [9]	26
OBR. 8: UKÁZKA VZTLAKOVÝCH MOTORŮ A) JEDNOLISTÉ PŘÍKONÍ B) DVOULISTÉ PŘÍKONÍ C) TŘÍLISTÉ PŘÍKONÍ [8].....	27
OBR. 9: POPIS TYPICKÉ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY [19].....	28
OBR. 10: PRINCIPY REGULACE VÝKONU U VELKÝCH VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN [7].....	30
OBR. 11: ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ [7]	32
OBR. 12: PRINCIP PŘÍMÉ PŘEMĚNY ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA ELEKTRICKOU S VYUŽITÍM FOTOELEKTRICKÉHO JEVU [7]	33
OBR. 13: ZATĚŽOVACÍ A VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA FV ČLÁNKU [7].....	34
OBR. 14: VLIV INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA VÝKON FV ČLÁNKU [7]	34
OBR. 15: STRUKTURA FOTOVOLTAICKÉHO MODULU Z SI [7]	35
OBR. 16: PRINCIP PRŮTOKOVÉ BATERIE [7]	39
OBR. 17: PRINCIPÁLNÍ SCHÉMA [7]	41
OBR. 18: SCHÉMA TEPELNÉHO OBĚHU TEPLÁRNY S AKUMULACÍ TEPLA A FVE S AKUMULACÍ ELEKTŘINY.....	42
OBR. 19: TOKY ENERGIÍ V TURBOSOUSTROJÍCH.....	44
OBR. 20: SPOTŘEBNÍ CHARAKTERISTIKA.....	46
OBR. 22: PROTITLAKÝ PROVOZ.....	47
OBR. 23: KOMBINOVANÝ PROVOZ	48
OBR. 24: KOMBINOVANÝ PROVOZ S AKUMULACÍ TEPLA	49
OBR. 26: DATA ZE SYSTÉMU PVGIS.....	51
OBR. 25: KOMBINOVANÝ PROVOZ S AKUMULACÍ TEPLA A FVE.....	52

Grafy

GRAF 1: ROČNÍ DODÁVKA TEPLA.....	54
GRAF 2: VYHLAZENÍ VE SPOTŘEBĚ TEPLA	59
GRAF 3: PRŮBĚH VÝKONU Z FVE ZA DEN PRO MĚSÍC LEDEN	65
GRAF 4: ZISKY V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH.....	66

Tabulky

TABULKA 1: DODÁVKY TEPLA	54
TABULKA 2: HODNOTY V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH I	57
TABULKA 3: HODNOTY V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH II	57
TABULKA 4: HODNOTY V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH III.....	61
TABULKA 5: HODNOTY V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH IV	61
TABULKA 6: ODHADNUTÝ VÝKON FVE A POČET SLUNEČNÍCH HODIN V MĚSÍCÍCH	63
TABULKA 7: MAXIMÁLNÍ VÝKON Z FVE ZA HODINU	63
TABULKA 8: UKÁZKA KONTROLY VÝKONU TRANSFORMÁTORU	64
TABULKA 9: VÝKON Z FVE PRŮMĚRNĚ ZA DEN	64
TABULKA 10: ZISKY V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH.....	65
TABULKA 11: ZISKY ZA ROK	66
TABULKA 12: NPV PRO FVE ZA 20 LET A FVE + AKUMULACE 20 LET	68
TABULKA 13: IRR PRO FVE ZA 20 LET A FVE + AKUMULACE 10 LET	69