

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh akumulace tepla v soustavě CZT TDK

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

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

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej KLEMENT**
Osobní číslo: **E13N0073P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Návrh akumulace tepla v soustavě CZT TDK**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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


1. Popište výrobu a rozvod tepla v teplárně Dvůr Králové (TDK).
2. Analyzujte možnosti dosažení cíle.
3. Navrhněte technické řešení dané problematiky.
4. Proveďte výpočet provozních veličin a očekávaných úspor.
5. Posudte ekonomickou výhodnost provozu akumulace (NPV CF, IRR).

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. www stránky, katalogové listy.
2. Projektová dokumentace TDK
3. Přednášky TTS 2014

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

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015


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




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

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh a výpočet tepelné akumulační jednotky pro teplárnu ve Dvoře Králové nad Labem. V teoretické části práce jsou popsány technologické části tepláren a historie řešeného objektu. Dále jsou zmíněny jednotlivé způsoby akumulace energií, které nám současné technologie umožňují. V praktické části je proveden kompletní návrh akumulačních jednotek, který zahrnuje zjištění výhodnosti provozování akumulace, výběr z různých technologických způsobů, nasimulování využitelnosti v jednotlivých obdobích a výpočet jejich finanční návratnosti.

Klíčová slova

kogenerační výroba, centralizované zásobování teplem, teplárna, Dvůr Králové nad Labem, akumulace, účinnost výroby

Abstract

This thesis is focused on the draft and calculation of the heat storage unit for the heating plant in Dvůr Králové nad Labem. The theoretical part of thesis describes technological parts of heating plants and the history of solved object. There are also mentioned various ways of accumulation of energy that current technology allows us. In the practical part, complete design of the accumulation units is done, which includes detection of advantages of the accumulation, variety of technological ways, simulation of usability in different seasons and calculation of their financial returns.

Key words

cogeneration, centralized heat supply, heating plant, Dvůr Králové nad Labem, accumulation, production efficiency

Prohlášení

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

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, který byl použit při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 6. 5. 2015

Ondřej Klement

.....

Poděkování

Touto formou bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Benešovi, Ph.D. za cenné konzultace a rady o provozu tepláren, doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za odborné metodické vedení. Dále děkuji své rodině a přítelkyni za psychickou podporu po celou dobu studia.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH	14
1 VÝROBA A ROZVOD TEPLA	15
1.1 TEPLÁRNY	15
1.1.1 Primární zdroj energie	16
1.1.2 Tepelný zdroj	17
1.1.3 Tepelný motor	19
1.1.4 Systém čištění spalin	20
1.2 TEPELNÉ SÍTĚ	21
1.2.1 Přenosové médium	21
1.2.2 Provedení sítí	22
1.3 VÝMĚNÍKOVÉ STANICE	24
1.3.1 Připojení tlakově závislé	24
1.3.2 Připojení tlakově nezávislé	25
2 TEPLÁRNA DVŮR KRÁLOVÉ	25
2.1 HISTORIE A SOUČASNÝ STAV	25
2.2 VIZE DO BUDOUCNA A SWOT ANALÝZA	27
3 AKUMULACE ENERGIE	28
3.1 ZPŮSOBY ULOŽENÍ ENERGIE	28
3.1.1 Elektrochemické akumulátory	29
3.1.2 Mechanické setrvačníky	29
3.1.3 Přečerpávací elektrárny	31
3.1.4 Vodíkové hospodářství	32
3.1.5 Tepelná kapacita materiálů	33
3.2 VYUŽITÍ AKUMULACE	34
4 NÁVRH A VÝPOČET ŘEŠENÍ	35
4.1 ZPŮSOBY PROVOZU	35
4.1.1 Kondenzační provoz	35
4.1.2 Protitlaký provoz	39
4.2 ZPŮSOB AKUMULACE	41
4.2.1 Atmosférická vodní nádrž	42
4.2.2 Tlaková vodní nádrž	43
4.2.3 Parní nádrž	44
4.2.4 Vyhodnocení a technické provedení	44
4.3 PROVOZNÍ BILANCE	46
4.3.1 Zimní období	47
4.3.2 Letní období	48
4.3.3 Přechodné období	48

5	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	49
5.1	NPV	49
5.2	IRR.....	51
5.3	POROVNÁNÍ A ZHODNOCENÍ	52
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	56
	PŘÍLOHY	1

Úvod

Kogenerační výroba elektrické a tepelné energie patří v České republice mezi nejvyužívanější zdroje. Podle statistik Českého hydrometeorologického úřadu využívá pro vytápění centrální zdroje tepla 36% všech českých domácností. Celková spotřeba tepla objektů, které jsou připojeny do soustavy CZT, činí přibližně 147 000 TJ.

Vzhledem k takto velkému množství spotřebované tepelné energie je důležité, aby přeměna primárního zdroje tepla probíhala s co největší možnou účinností, jaké jsme schopni dosáhnout. Přechodem na kogenerační výrobu z oddělených provozů elektráren a výtopen došlo v minulých letech k velkým úsporám primárního paliva. V posledních letech se však na trh dostává stále větší množství cenově dostupných zdrojů tepla, kterými jsou například tepelná čerpadla, zemní plyn či alternativní zdroje energie. Právě přechod zákazníků na jiné tepelné zdroje je pro CZT problematický, neboť finanční příjmy z dodávaného tepla klesají, zatímco náklady na provoz tras k zákazníkům zůstávají stejné. Dalším problémem je také nutnost snižování výkonu tepelných zdrojů, které jsou svojí velikostí dimenzovány na podstatně vyšší výkony, čímž dochází ke snižování jeho účinnosti či neekonomickému provozu.

Jednou z možností kompenzace takto vzniklých problémů je využití akumulačních jednotek, které jsou schopny pojmout různé typy energie a umožnit jejich využití v příznivějším a výhodnějším čase.

Právě touto problematikou se zabývá tato diplomová práce. Její teoretická část je rozdělena na 3 kapitoly. V první kapitole jsou probrány technologické celky kombinované výroby tepelné a elektrické energie, které v sobě zahrnují jak vybavení samotných tepláren, tak způsoby provedení přenosových sítí či výměňkových stanic.

Kapitola druhá popisuje historii teplárny ve Dvoře Králové nad Labem a její kompletní vývoj. Díky této části lze pochopit, z jakých důvodů se teplárna dostala do dnešního stavu, který není efektivní pro provozování a který je třeba kompenzovat využitím akumulace.

Poslední z teoretických kapitol zkoumá různé způsoby akumulace energií, které by mohly být potenciálně využity pro provoz. Kromě klasických a ověřených metod jsou zde uvedeny i technologie, které stále procházejí vývojem, a na jejich plném komerčním využití se stále pracuje.

V praktické výpočtové části je nejprve ověřena výhodnost provozování teplárny v režimu s přebytkem tepelného výkonu a spuštěnou kondenzační turbínou v porovnání s čistě protilakým provozem. Následně je zváženo několik způsobů provedení akumulčních nádrží při využití stávající technologické zástavby a vybavení. V konečném kroku je vyhodnocen vliv provozování akumulčních jednotek vzhledem k odběrovým charakteristikám tepla sítí, které jsou proměnné v různých obdobích roku.

Závěrečná kapitola vyhodnocuje vybrané projekty z hlediska jejich finanční náročnosti a návratnosti pomocí finančních ukazatelů NPV a IRR. Na základě těchto výsledků je vybrán a doporučeno finální provedení akumulční jednotky.

Seznam symbolů a zkratek

A	Obsah popeloviny v palivu	(-)
c	Měrná tepelná kapacita	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
CF	Peněžní tok	Kč
CZT	Centralizované zásobování teplem	(-)
d	Vnitřní průměr potrubí	mm
DN	Jmenovitá světlost potrubí	mm
E_k	Rotační mechanická energie	J
E_p	Potenciální mechanická energie	J
f	Frekvence otáčení	ot.min^{-1}
g	Vnitřní výnosové procento	$\text{N.m}^2.\text{kg}^{-2}$
h	Obsah hořlaviny v palivu	(-)
h	Spád	m
H_2	Obsah vodíku v surovém palivu	W
i_a	Entalpie admisní páry	kJ.kg^{-1}
i_e	Entalpie emisní páry	kJ.kg^{-1}
i_k	Entalpie zkondenzované vody	kJ.kg^{-1}
i_{NV}	Entalpie napájecí vody	kJ.kg^{-1}
IRR	Vnitřní výnosové procento	(-)
J	Moment setrvačnosti	kg.m^2
K1	Roštový kotel 1	(-)
K2	Roštový kotel 2	(-)
K3	Granulační kotel 3	(-)
LTO	Lehký topný olej	(-)
M	Procházející množství páry	t.h^{-1}
m	Hmotnost	kg
NPV	Čistá současná hodnota	(-)
P	Elektrický výkon	W
p	Tlak	Pa
Q	Regulovaný průtok	l.s^{-1}
q_{EL}	Měrná spotřeba tepla na elektrickou energii	GJ.MWh^{-1}
Q_i	Výhřevnost	kJ.kg^{-1}

Q_x	Akumulační schopnost	J
r	Výparné teplo vody	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
r	Úroková míra	(-)
SO_2	Oxid siřičitý	(-)
$S_{\text{PAL_ED}}$	Měrná spotřeba tepla na elektrickou energii	$\text{GJ}\cdot\text{MWh}^{-1}$
$S_{\text{PAL_EV}}$	Měrná spotřeba tepla na elektrickou energii	$\text{GJ}\cdot\text{MWh}^{-1}$
t	Teplota	$^{\circ}\text{C}$
t	Čas	rok
TDK	Teplárna Dvůr Králové nad Labem	(-)
TG1	Protitlaké turbosoustrojí 1	(-)
TG2	Kondenzační turbosoustrojí 2	(-)
TG3	Kondenzační turbosoustrojí 3	(-)
V	Objem	m^3
W	Obsah vody v palivu	(-)
α	Součinitel hydraulického tření	(-)
Δp	Tlakové ztráty třením	Pa
η_{KOT}	Účinnost kotle	(-)
ρ	Hustota	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
ω	Úhlová rychlost	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
μ	Účinnost	(-)

Seznam obrázků, tabulek a příloh

OBR. 1 – ÚSPORA PALIVA POMOCÍ KOGENERAČNÍ VÝROBY ENERGIE.....	16
[7] OBR. 2 - ZÁVISLOST VÝHŘEVNOSTI PALIVA NA OBSAHU VODY	17
OBR. 3 - ELEKTROSTATICKÉ ODLUČOVAČE BLOKU 2,3 - ELEKTRÁRNA TUŠIMICE II	20
OBR. 4 - MOKRÁ VÁPENCOVÁ PROPÍRKA - ELEKTRÁRNA TUŠIMICE II	21
[13] OBR. 5 - VÝSTAVBA ZAŘÍZENÍ PRO KOTEL K3	26
OBR. 6 – SWOT ANALÝZA	28
OBR. 7 - AKUMULÁTOROVÝ BLOK	29
[6] OBR. 8 - SETRVAČNÍKOVÁ AKUMULAČNÍ ELEKTRÁRNA STEPHENTOWN, NEW YORK 20 MW	30
OBR. 9 - PŘÍVODNÍ SPIRÁLA A ROZVÁDĚCÍ KOLO FRANCISOVY TURBÍNY PVE DLOUHÉ STRÁNĚ	32
OBR. 10 - KONDENZAČNÍ PROVOZ TDK	36
OBR. 11 - PROTITLAKÝ PROVOZ TDK.....	39
OBR. 12 - ZAPOJENÍ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE A) ZAPOJENÍ POMOCÍ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU, B) PŘÍMÉ PROPOJENÍ S PRIMÁRNÍM OKRUHEM	46
OBR. 13 - POROVNÁNÍ NÁVRATNOSTI POMOCÍ NPV	51
OBR. 14 - POROVNÁNÍ NÁVRATNOSTI POMOCÍ IRR	52
TAB. 1 – TEPELNÉ ZDROJE TDK	46
TAB. 2 - FINANČNÍ ÚSPORA AKUMULAČNÍCH NÁDRŽÍ	49
TAB. 3 - POROVNÁNÍ NPV NÁVRHŮ ZA DOBU 10 LET	50
TAB. 4 - POROVNÁNÍ IRR NÁVRHŮ ZA DOBU 10 LET.....	52
PŘÍLOHA 1 - UKÁZKA REGULACE VÝKONU KOTLŮ TDK	
PŘÍLOHA 2 - DENNÍ DIAGRAM VÝKONŮ A PROVOZU AKUMULACE V ZIMNÍM OBDOBÍ	
PŘÍLOHA 3 - DENNÍ DIAGRAM VÝKONŮ A PROVOZU AKUMULACE V LETNÍM OBDOBÍ 1 (OBA KOTLE)	
PŘÍLOHA 4 - DENNÍ DIAGRAM VÝKONŮ A PROVOZU AKUMULACE V LETNÍM OBDOBÍ 2 (JEDEN KOTEL)	

1 Výroba a rozvod tepla

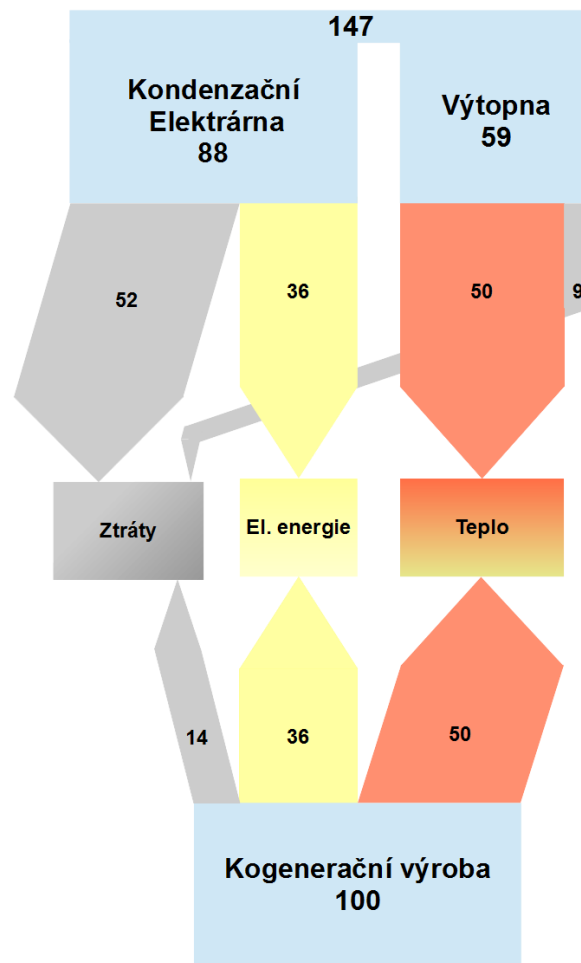
[11], [12] Soustava centralizovaného zásobování teplem v sobě zahrnuje tři základní technologické části:

- Zdroje tepla - kogenerační výroba, výtopy
- Přenos a rozvod - tepelné sítě, výměňkové stanice
- Využití energie - spotřebitelská soustava

První snaha o vytvoření centralizované dodávky tepelné energie sahá až do 30. let minulého století. V této době docházelo k razantnímu rozvíjení průmyslu, který vyžadoval jednak dodávku tepla, jednak páry pro pohon zařízení. Velký rozvoj zaznamenala soustava také na přelomu 50. a 60. let, kdy panovala velká snaha o kompletní vzájemné propojení samostatných oblastí a jejich sjednocení do uceleného systému. Tuto myšlenku nebylo ve výsledku možno provést globálně po celém území ČSR, tudíž došlo k jejímu provedení pouze v hustěji zastavěných a průmyslových oblastech, kterými byla například Praha, Plzeň, Hradec Králové a Ostravsko. Následující 70. léta se bohužel na kogenerační výrobě projevila negativně z hlediska velmi rychlé a masivní výstavby energeticky náročných panelových sídlišť. Jejich spotřeba začala být pokrývána z menších zdrojů, které byly charakteristické nízkými investičními náklady postrádající doplňkové měření a regulaci, čímž ovšem dosahovaly pouze malé účinnosti. V současné době vývoj sítí spíše stagnuje a investice jsou vkládány především do takových úprav výroben, jejichž výsledkem je ekologicky méně zatěžující provoz. Mezi ně patří primárně stále se zvyšující požadavky na regulování emisí oxidu siřičitého.

1.1 Teplárny

[11], [12] Kombinované výroby tepelné a elektrické energie neboli teplárny jsou schopné vyrábět ze vstupní energie primárního paliva jak tepelnou, tak elektrickou energii. Nejčastěji používané systémy v ČR jsou provozovány s jedním transformačním řetězcem, který bude rozebírán v následujících kapitolách. Mezi obecné výhody patří především lepší využití paliva, což přispívá k celkově vyšší účinnosti výroby těchto energií oproti samostatně fungujícím elektrárnám a výtopym. Poměr ztrát těchto dvou systémů pro výrobu stejného množství tepelné a elektrické energie můžete vidět na obr. 1.



Obr. 1 – Úspora paliva pomocí kogenerační výroby energie

1.1.1 Primární zdroj energie

[14], [7] Mezi nejčastěji využívaný primární zdroj energie v CZT patří s podílem necelých 70% uhlí. I přes malý nárůst výroby za pomoci biomasy a alternativních plynů je trend v teplárenství za posledních 10 let prakticky neměnný. Uhlí jakožto tuhé palivo obsahuje 3 hlavní složky, které jsou:

- hořlavina (h),
- popelovina (A),
- voda (W).

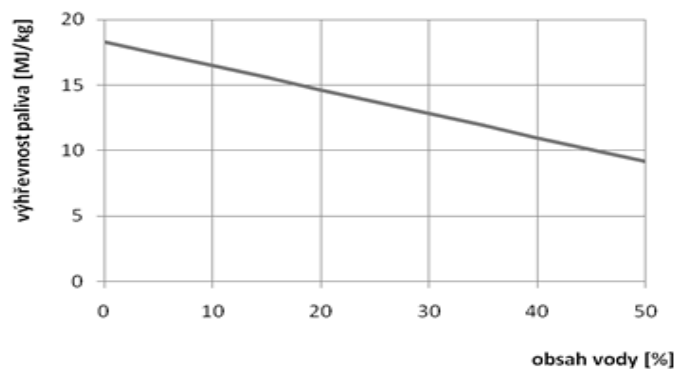
Vzájemný poměr těchto složek ovlivňuje výsledné vlastnosti použitého paliva, které se projevují v účinnosti přeměny na tepelnou energii.

Voda je z paliva odstraňována vysušováním, neboť má řadu negativních vlivů. Hlavním důvodem je snížení výhřevnosti paliva. Dále způsobuje komplikace v oblasti přepravy, zpracování a spalování. Například zamrzání v zimním období, urychlování koroze spalovacího zařízení a zvyšování celkového objemu spalin. Výsledná výhřevnost je tedy dána vztahem:

$$Q_i = Q_n - r \cdot (W + 8,94 \cdot H_2), \quad (1.1)$$

kde:

- Q_n – spalné teplo (při dokonalém spálení)
- r – výparné teplo vody
- H_2 – obsah vodíku



[7] Obr. 2 - Závislost výhřevnosti paliva na obsahu vody

Poměr popeloviny v palivu má vliv na množství nespáleného zbytku (popele), se kterým je nutné dále nakládat. Jeho hlavním problémem je však teplota tavení a tečení t_b a t_c , při kterých se zbytkový popel v kotli začne rozpouštět a nalepovat na stěny kotle, čímž dochází ke zhoršení proudění vzduchu a přenosu tepla k médiu.

1.1.2 Tepelný zdroj

[2], [8] Za tepelný zdroj považujeme zařízení, které přeměňuje primární zdroj energie na energii tepelnou. Ta je dále využívána pro ohřev vody, které byl za pomoci čerpadla dodán velký tlak. Přenosem energie se voda podle použitého systému mění na sytou, nebo přehřátou páru, která je využívána v dalších částech výroby. V kogeneračním provozu je možné získávat energii spalováním fosilních paliv nebo řízenou štěpnou reakcí. Jaderné zdroje v ČR jsou však využívány pouze pro elektrárenský provoz a nebudou dále zvažovány. Hoření je oxidační exotermický děj, probíhající ve spalovacích kotlích, který uvolňuje chemickou vazební energii paliva a přeměňuje ji na energii tepelnou. Existuje několik typů kotlů, které se dělí podle typu spalování.

1.1.2.1 Roštové kotle

[7], [8] Princip spočívá v podávání paliva na pohyblivý pásový rošt, kde postupně prochází fázemi sušení, odplyňování a hoření. Technologicky se jedná již o starší typ zařízení, které se nově buduje jen pro biomasu. Z hlediska spalování uhlí bylo již nahrazeno modernějšími technologiemi a stávající zařízení, i když stále ve velkém množství, pomalu dožívají.

1.1.2.2 Práškové kotle

[7], [8] Uhlí dodávané do práškových kotlů je rozemleto na jemný prach (<1 mm) v různých typech mlýnic, kde také dochází k vysušení. Následně je vháněn do kotle spolu s nosným médiem, kterým může být vzduch, nebo přehřáté spaliny. Tím dochází k výraznému zvýšení intenzity spalování, neboť nemusí docházet k pomalému prohořívání velkých kusů paliva vlivem malého povrchu, jako je tomu u roštových kotlů. Tento typ kotlů je v současné době budován pro nejvyšší výkony.

1.1.2.3 Fluidní kotle

[7], [8] I zde je palivo drceno na menší části. Následně je zde spalováno ve fluidní vrstvě, která je nadnášena vháněným vzduchem. Fluidum je vytvářeno přidáváním písku, který po natavení funguje jako pojivo pro tuto vrstvu. Pracují při vysoké účinnosti 92-94% a kromě uhlí jsou schopny zpracovat i různorodá paliva jako biomasa a odpady. Je zde také možnost přidání vápence do vrstvy, čímž dochází k odsíření a v ideálním případě tak odpadá nutnost výstavby odsiřovacích jednotek. Nevýhodou je vysoká náročnost na přesnou a konstantní velikost rozdrčeného paliva, která nesmí být větší než 10mm z důvodu zachování vnosu. Tento typ kotlů patří v dnešní době k nejčastěji používaným jak pro elektrárenský, tak teplárenský provoz.

1.1.3 Tepelný motor

[11] Jako tepelný motor je využívána parní turbína, která expanzí přeměňuje energii obsaženou v páře v energii mechanickou. Takto vstupující a vystupující páry jsou nazvány admisní a emisní. Podle požadovaných vlastností výroby jsou používány či vzájemně kombinovány dva typy turbín. Jejich rozdíl spočívá primárně v metodě odběru páry, čímž ovlivňujeme vzájemný poměr výroby tepelné a elektrické energie. Všeobecně se snažíme dosáhnout parametrů turbíny, která je při zachování velké elektrické účinnosti schopna zásobovat teplem vymezené území. To bohužel není při stávajících technologiích možné, proto je nutné vždy přijmout určitý kompromis či vhodnou kombinaci turbín, která splňuje dané požadavky.

1.1.3.1 Kondenzační turbína

[11] Čistě kondenzační turbíny jsou používány prakticky jen v elektrárnách, neboť emisní pára má jen velmi malé teploty, které již není možné využít pro účely vytápění a lze je již pouze dochlazovat pomocí kondenzátoru. Z hlediska výroby elektrické energie však dosahují nejvyšší účinnosti právě z důvodu velkého rozdílu teplot admisní a emisní páry.

Pro teplotné účely je však možné využít kondenzační turbínu s regulovanými odběry. Je tak možné odebírat páru pro vytápění podle požadovaných parametrů v různých částech expanze. Tyto odběry je při zmenšení množství admisní páry možné v době bez poptávky tepelné energie úplně uzavřít. Tato regulovatelnost je bohužel vykompenzována menším poměrem výroby elektrické a tepelné energie.

1.1.3.2 Protitlaká turbína

[11] U protitlaké turbíny nedochází k odběrům páry před expanzí, a proto je veškerá energie admisní páry využita pro výrobu elektrické i tepelné energie. Důvodem je vyšší teplota emisní páry, kterou lze využívat pro účely vytápění, čímž nedochází k maření energie nízkopotenciálního tepla v kondenzátoru. Z tohoto důvodu je celková účinnost přeměny energie primárního zdroje vyšší než u kondenzačních turbín. Nevýhodou je nemožnost řízení poměru výroby energií, neboť tento poměr je pevně dán parametry turbíny a nelze jej upravovat. Výsledným efektem je tedy nemožnost samostatné výroby tepelné či elektrické energie, jako je tomu u odběrových turbín, oproti kterým však dosahují protitlaké vyšší (nižší) poměr výroby elektrické a tepelné energie.

1.1.4 Systém čištění spalin

Spaliny vznikající jako odpad při výrobě tepelné a elektrické energie byly v minulých desetiletích problémem znatelným například značným poškozením severočeských lesů a celkové kvalitě ovzduší v daných oblastech. Ovzduší se dá považovat za znečištěné z několika hledisek, přičemž každé vyžaduje určitá opatření.

1.1.4.1 Popílek

Jedná se o jemné nespalitelné části paliva, které se neuchytí v kotli spolu se struskou a které jsou odváděny se spalinami. Takto malé částice mohou způsobit zdravotní potíže, proto je nutné je filtrovat. K tomu jsou používány elektrostatické odlučovače popílku. Jedná se o zařízení, ve kterém jsou umístěny dva druhy elektrod. Nabíjecí elektrody způsobují nabití částic popílku, které jsou následně přitahovány sběrnou elektrodou. Po určitých časových intervalech dochází k jejich odklepávání a pádu popílku do výsypky, který je využíván k rekultivaci vytěžených lomů nebo výrobě betonu.



Obr. 3 - elektrostatické odlučovače bloku 2,3 - Elektrárna Tušimice II

1.1.4.2 Oxid siřičitý

Jedná se o bezbarvý jedovatý plyn, který se značí SO_2 a vzniká při spalování méně kvalitního hnědého uhlí. V minulých letech byl jednou z hlavních příčin kyselých dešťů, což jsou srážky, které mají hodnotu pH menší než 5,7. Při těchto hodnotách již dochází k poškození lesních porostů. Mezi lety 1993 – 2003 začalo docházet k masivnímu odsíření všech uhelných elektráren a tepláren. Mezi nejpoužívanější metody patří tzv. mokrá vápencová vypírka, jejíž princip spočívá ve sprchování stoupajících spalin vápencovou

suspenzí. Tato směs vody a vápence je schopna s oxidem siřičitým reagovat a po jejich sloučení vzniká síran vápenatý neboli energosádrovec. Po jeho vysušení je používán ve stavebnictví pro výrobu sádrových produktů. Doplňkové odsíření není nutné používat v podnicích, které používají pro spalování fluidní kotel. Zde je možné vápenec přidávat přímo do fluidní vrstvy, čímž dojde k odsíření přímo při procesu spalování.



Obr. 4 - Mokrá vápencová propírka - elektrárna Tušimice II

1.2 Tepelné sítě

[3], [4] Tepelné sítě se dělí podle velkého množství parametrů a jejich vhodným výběrem a použitím dochází ke snižování tepelných ztrát při přenosu a následně k omezení množství primárního zdroje, který je používán pro výrobu tepla.

1.2.1 Přenosové médium

[3], [4] Z hlediska používaného teplotnosného média dělíme tepelné sítě na horkovody (teploměry) a parovody.

Přenos tepla pomocí páry přináší výhodu v absenci oběhových čerpadel, neboť pára je poháněna vlastním tlakem. Tato vlastnost je zároveň však i nevýhodou, neboť úměrně se vzdáleností dochází poklesu tlaku a tím i teploty. Kromě výjimek v podobě starých parních otopných soustav se pro přenos používá výhradně pára středotlaká, jejíž tlak nabývá hodnot mezi 0,07 a 1,6 MPa, čemuž je úměrná velikost teplot 115,2 až 204,3 °C. Pára se pohybuje obvykle rychlostí 20 – 50 m/s, což přináší problém v případě mokré páry. Ta vzniká právě poklesem tlaku a teploty syté páry, čímž dochází ke tvorbě kondenzátu ve formě malých kapek vody, které při přenosových rychlostech obušují vnitřní stěny trubek a dlouhodobě tak dochází k úbytku materiálu.

Využití vody je další možností při přenosu tepelné energie a oproti páře poskytuje velké množství výhod. Z hlediska výroby zde přenosové médium neopouští prostor výroby, ale ve výměníku zde dochází k předání tepla přenosovému médiu tepelné sítě. Teplota vody 110 °C je hranice mezi teplovodní a horkovodní sítí. Oproti páře je vodní oběh nutno pohánět externím zdrojem energie, kterým jsou oběhová čerpadla. Tato přídavná ztráta elektrické energie je však vyvážena mnohem menšími tepelnými ztrátami při přenosu a náklady na udržování potrubí.

Aktuálně dochází na mnoha místech České republiky k postupnému nahrazování parovodů horkovody, neboť parovodní potrubí již nespĺňuje požadavky na tepelné ztráty a není schopné efektivně konkurovat vlastnostem vody. Z dlouhodobého hlediska tak nejspíše zůstane pára využívána jako přenosové médium tepla pouze pro napájení průmyslových objektů, jejichž vzdálenost od výroby tepla obvykle nedosahuje více než několik kilometrů a zároveň je zde pára využívána i pro technologické účely nebo napájení průmyslových zařízení.

1.2.2 Provedení sítí

[4] Návrh tepelné sítě je vždy nutno přizpůsobit aktuální situaci a potřebám. Kromě volby typu přenosového média, který byl popsán v předchozí kapitole, se jedná o konstrukční parametry systému samotného. Mezi ně patří světlost potrubí, jejich umístění, počet a celkové uspořádání sítě.

Jmenovitou světlostí potrubí se rozumí jejich vnitřní průměr, který je značen DN. Ten je důležitý při dimenzování celkové velikosti soustavy a jeho výpočet v sobě zahrnuje velké množství parametrů a koeficientů. Vzorec pro výpočet je:

$$d = \sqrt[5]{\frac{0,811 \cdot \alpha \cdot L \cdot M^2}{\rho \cdot \Delta p}}. \quad (1.2)$$

Použité veličiny jsou:

- L – součet délky úseku a ekvivalentní délka vřazených odporů,
- α – součinitel hydraulického tření,
- M – průtočné množství,
- ρ – hustota teplotonosné látky,
- Δp – ztráty třením.

Při umístování se často rozhoduje mezi podzemním a nadzemním provedením potrubí. Nadzemní sítě jsou nejčastější řešení při napájení nezastavěných území a průmyslových areálů. Je také nutno je používat v oblastech v seizmicky problematických oblastech a na místech s vysokou hladinou spodní vody. Jejich další výhodou jsou nízké pořizovací náklady, které dosahují přibližně 50 % při DN 80 – 300 a 25 % při DN 350+ z pořizovacích nákladů podzemní sítě. Vznikají zde však problémy v podobě nebezpečí mrazu při poruše a poškození potrubí, před kterým jsou podzemní sítě chráněny za cenu komplikovanější detekce poruchy. Podzemní síť je však prakticky nutné používat v oblastech s hustou zástavou, kde by provedení nadzemních sítí nebylo možné provést jak z hlediska technického, tak z hlediska estetického.

Podle počtu trubek lze sítě rozdělit na jednotrubkové, dvoutrubkové a třítrubkové. Jiné počty jsou realizovatelné jen ve velmi výjimečných případech.

Jednotrubkové sítě se používaly spíše v dřívějších dobách pro přístroje, které páru využívaly k výrobním účelům, docházelo tudíž k její spotřebě a nebylo potřeba médium vracet zpět skrz uzavřený okruh. Její výhodou byly nízké pořizovací a provozní náklady.

Dvoutrubkové sítě jsou v dnešní době nejvyužívanějším systémem rozvodu. Jedno potrubí je přívodní a druhé vratné (kondenzátní). Podle typu použitého média se určuje světlost vratného potrubí. U horkovodů jsou průměry potrubí stejné, neboť předáním tepla dochází u vody jen k minimálním změnám objemu. Při použití páry mívá vratné potrubí přibližně poloviční průměr oproti přívodnímu, neboť po kondenzaci páry dochází k razantní redukci objemu. Vratné potrubí je obvykle vybaveno menší tloušťkou izolace než potrubí přívodní z důvodu nižší teploty vracejícího se média.

Třítrubkové sítě mají specifický systém využití. Jednou z možností je obsluhování různých typů zařízení, které vyžadují rozdílné teplotní nebo tlakové parametry. Při tomto způsobu jsou konstruovány dvojce přívodní potrubí s rozdílnými parametry a jedno společné vratné. Toto řešení je výhodné v případech, kdy parametry vracejících se médií jsou podobné. Jedná se tedy o levnější nahrazení dvou dvoutrubkových sítí. Tato možnost však bývá návratná jen ve velmi malé části případů. Další způsob využití je napájení sezónních spotřebičů, kdy se systém skládá ze dvou přívodních potrubí, která mají různé průměry, přičemž větší potrubí je využíváno v zimním období, kdy je velká spotřeba tepelné energie a menší v období letním. Vratné potrubí je využíváno pro oba systémy celoročně. Tento systém byl využíván spíše v dřívějších dobách, neboť s příchodem tepelných čerpadel je možné tepelnou energii přeměňovat na chlad, čímž částečně dochází k zrovnomnění

množství dodávané energie během celého roku.

Dalším parametrem sítí je jejich rozdělení z hlediska topologie na paprskovité, okružní a mřížové.

Paprskovité sítě jsou nejlevnější a aktuálně nepoužívanějším způsobem rozvodu tepla. Ze zdroje vede jedna nebo více potrubních tras, které vedou přímo k cíli, přičemž postupným větvením dochází k distribuci tepla na další odběrná místa.

Okružní síť vniká uzavřením sítě do smyčky. Získáváme tím zálohu a v případě poruchy je možné dodávat teplo druhou stranou. Tento způsob je používán v hustějších zástavbách.

Mřížová síť je komplexnější a propojenější verzí okružní sítě, která bývá zpravidla zálohována napájením ze dvou zdrojů tepla. Tento typ sítě je však finančně velmi nákladný a jeho reálné využití je oproti mřížovým rozvodům elektrických soustav prakticky nevyužitelný.

1.3 Výměníkové stanice

[10], [4] Výměníkové stanice tvoří propojovací článek mezi primárním a sekundárním okruhem tepelných sítí. Dochází zde k předání tepla z tepelné sítě od výroby do spotřebitelské soustavy. Tyto soustavy jsou využívány pro různé technologické účely, kterými je například pára, teplá voda pro ohřev nebo TUV. Podle typu technologie je proto nutné zvolit vhodný způsob provedení výměníku, aby bylo předání tepla spotřebiteli zajištěno za všech podmínek s co největší účinností a bezporuchovým provozem.

1.3.1 Připojení tlakově závislé

[10], [4] Princip tlakově závislého připojení spočívá v použití stejného typu a skupenství teplotnosné látky v primárním i sekundárním okruhu a jejich přímému propojení. Dále se dělí na následující podskupiny:

- Beze změn parametrů teplotnosné látky.
- Se změnou parametrů teplotnosné látky.

Připojení bez jakékoliv změny parametrů je prakticky jen přímé propojení obou tepelných sítí. Tento způsob přenosu je využíván pouze na krátké vzdálenosti při přímém parním připojení průmyslových komplexů. V případě změny parametrů dochází k určitým změnám tlaku, teploty, popřípadě obou hodnot teplotnosné látky. Samotný tlak je možné snížit za použití redukčního ventilu, zatímco pro snižování teploty jsou využívány povrchové

a vstřikovací chladiče, které jsou používány v parních soustavách. Směšovací smyčky, ejektory a čerpadla zastávají tuto funkci u vodních soustav. Mezi nejčastější změny parametrů patří současné zmenšování hodnot tlaku i teploty.

1.3.2 Připojení tlakově nezávislé

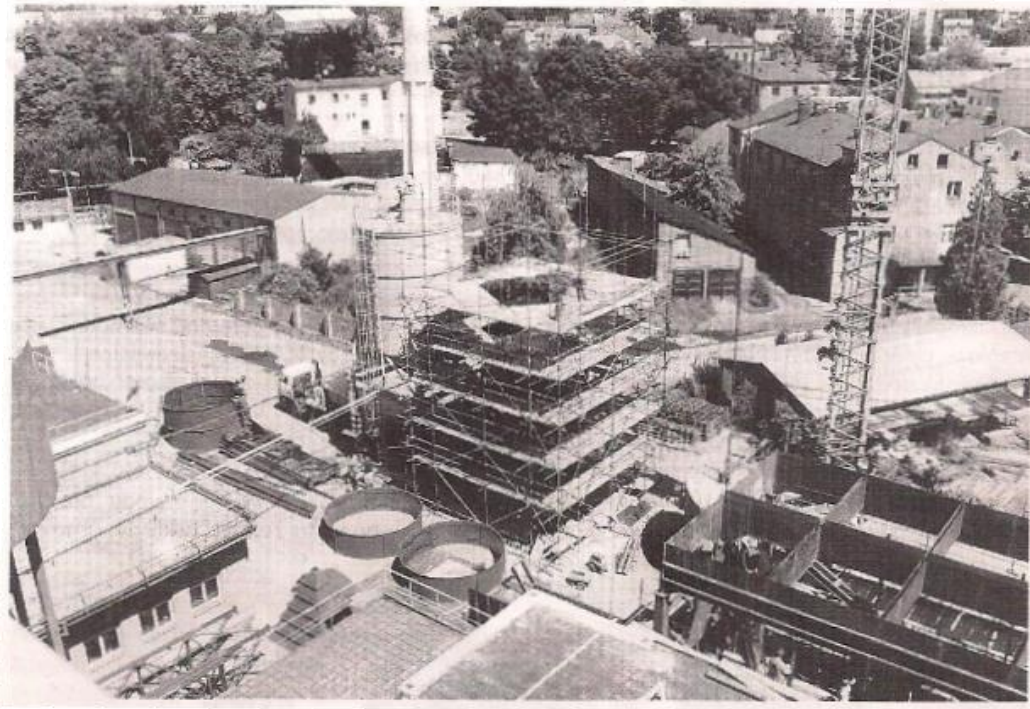
[10], [4] Tlakově nezávislé připojení je v dnešní době využíváno prakticky ve všech horkovodních sítích v ČR. Předání tepla se uskutečňuje pomocí povrchových výměníků. Hlavní výhoda tohoto způsobu připojení spočívá v hydraulickém oddělení primární a sekundární soustavy. Nedochozí tak k odstavení obou sítí při vzniku poruchy na jedné z nich. Další výhodou je nižší potřebný provozní tlak v sekundárním okruhu díky čemuž není nutné radiátory dimenzovat na tlak v sekundární soustavě. Oproti tlakově závislým soustavám se změnou parametrů zde však není nutné parametry nijak upravovat, což tento způsob předávání tepla předurčuje k dlouhé životnosti, spolehlivosti a prakticky nulovými nároky na údržbu a ovládání.

2 Teplárna Dvůr Králové

2.1 Historie a Současný stav

[13] Město Dvůr Králové nad Labem začalo o výstavbu centrálního zdroje tepla a elektrické energie přemýšlet již v roce 1936. Jako velká část projektů po celé ČR byl však i tento pozastaven z důvodu druhé světové války. O 10 let později, tedy v roce 1946 byly vytvořeny nové projekty. V této době měl již projekt velkou podporu, neboť město používalo pro výrobu tepelné energie více než 20 závodových výtopen, které byly problémové z hlediska využívaného prostoru, ale také svojí účinností a zatěžováním životního prostředí. V roce 1950 tedy započala výstavba teplárny, která měla obsahovat dva roštové kotle s výkonem 36 tun páry za hodinu, protitlakou turbínu a elektrický generátor o výkonu 6,3 MW. Dokončení všech potřebných částí teplárny, parovodů a tepelných sítí pro centralizovanou výrobu proběhlo již v roce 1955, čímž došlo k odstavení stávajících kotlen a převedením teplárny na téměř výhradního dodavatele tepla pro celou oblast. Dalším důsledkem snadného získávání energií, byl masivní rozvoj průmyslu v čele s místní textilkou, která se rozrostla na několik velkých výrobních středisek. Při tomto vývoji se předpokládalo, že ani stávající výkon nebude pro pokrytí dostatečný, a proto bylo rozhodnuto o rozšíření stávajícího vybavení teplárny o další kotel o výkonu 76 tun páry za hodinu. Ten pracoval

na technologii horizontálního cyklonu, která nebyla stále plně vyvinutá. Spuštění v roce 1963 se proto potýkalo s technickými problémy a poruchami. Snaha o odstranění závad trvala celé 4 roky a po této době byl kotel z finančních i technických důvodů raději odstaven. Bylo tedy nutné přistoupit k urychlené výstavbě nového granulačního kotle o identickém výkonu 76 t/h, který byl konečně schopný pokrýt požadovanou spotřebu, čímž bylo ukončeno kritické několik let trvající období, kdy dodávky tepla musely být regulovány.



[13] Obr. 5 - Výstavba zařízení pro kotel K3

Kotel K3 se projevil jako dostatečný pro pokrytí veškeré výroby i vytápění obydlí v celém Dvoře Králové i jeho okolí a s ním spřažené turbosoustrojí TG2 dosahovalo elektrického výkonu 12 MW. Mezi lety 1968 a 1981 proto nedocházelo k žádným větším problémům či změnám na primárních zařízeních. Modernizacemi si však prošly pomocné systémy jako chemická úprava vody, strojovny, administrativní budovy či strojovny. I přes velký výkon však měla teplárna krátkodobé problémy při velmi nízkých teplotách v zimních měsících a velkých odběrových špičkách. Tehdejší doba se však namísto využívání akumulace ubírala spíše směrem neustálého navyšování výkonu, a tak byly za účelem vykrývání výkonových špiček v roce 1982 vystavěny ještě 3 špičkové kotle o celkovém výkonu 8 t/h, které pro svůj provoz využívaly mazut. Zároveň s nimi muselo dojít k vybudování kompletního hospodářství na lehké topné oleje a nový komín. Další krok vývoje započal v roce 1985 instalací elektrostatického odlučovače pro kotel K3.

Tímto krokem teplárna razantně předběhla svoji dobu, neboť k masivnímu filtrování spalin a odsiřování docházelo běžně až v 90. letech. Právě v této době proběhla výstavba odsiřovacích a filtrovacích jednotek i pro kotle K1 a K2.

Tato roky však byly pro teplárnu jedny z posledních, kdy využívala svůj potenciál naplno, neboť průmysl, který tvořil téměř 85% odběru výkonu v podobě technologické páry, se začal buď přesouvat do jiných lokací, omezovat výrobu a postupně přecházet ke snáze využitelným a účinnějším elektrickým pohonům. Se snižujícími se odběry musely nutně přijít i změny ve způsobu provozování teplárny. Jednou z nich bylo odstavení granulačního kotle K3, přičemž turbosoustrojí TG2 bylo převedeno ke kotlům K1 a K2. Dalšími kroky bylo postupné modernizování parních sítí, které byly používány na vytápění obytných oblastí, na sítě horkovodní. Vzhledem ke svému stáří došlo k rekonstrukci původních roštových kotlů, kterým byla zároveň přidána schopnost spalování biomasy. Právě tato vlastnost byla jedním z důvodů pro modernizaci v roce 2009, neboť staré kondenzační odběrové turbosoustrojí TG2 bylo dimenzováno pro velký výkon již odstaveného kotle K3 a nepracovalo efektivně. Bylo tudíž nahrazeno novým kondenzačním soustrojím TG3 s menší hltností, které mělo zvýšit zisk z dodávky elektrické energie při ideálním využití kotlů spalujících biomasu. Tento záměr byl navržen v roce 2007, kdy se cena silové elektřiny pohybovala v průměru okolo 80 €/MWh a nepředpokládalo se její výrazné snížení. To ovšem nastalo a s cenou blížící se k 30 €/MWh přestává být kondenzační provoz teplárny výhodný.

2.2 Vize do budoucna a SWOT analýza

Vzhledem k nízké výkupní ceně silové elektrické energie již nebude do budoucna možné vyhýbat se problematice spojené s nutností regulovat výrobu. Výroba elektrické energie v době nízkého odběru tepla umožňovala trvalé provozování kotlů při jejich nejlepší účinnosti. Tato výroba však bude do budoucna z hlediska finanční návratnosti nejspíše ztrátová. Bude proto nejspíše nutné od trvalé výroby upustit a regulovat výkon podle potřeb tepelné sítě. Velmi podstatný vliv na potřebný rozsah a velikost regulace bude mít samotná tepelná síť, jejíž stav bude mít na výrobu velký vliv jak z hlediska akumulační schopnosti, tak z hlediska tepelných ztrát při přenosu. Potřebu rychlých změn výkonu popřípadě nutnost najíždění při změnách zatížení může také redukovat právě navrhovaná akumulační nádrž, kterou je možné provést v několika variantách. Podstatnou výhodou teplárny je velké množství odběratelů ve sféře vytápění a ohřevu TUV v domácnostech. Pro bytové domy

je přechod na jiné způsoby vytápění obvykle finančně náročný a dodávkou tepla pomocí centralizovaného systému odpadá velká část starostí a rizik. Jednou z možností pro vyrovnanější rozdíl v provozu mezi letním a zimním obdobím by mohlo být zřízení dodávek chladu pro velké firemní odběratele či administrativní budovy. Teplárna do budoucna může přepínat režimy mezi čistě protitlakým či kondenzačním provozem, díky čemuž může reagovat na změny výkupních cen elektrické energie.

	Pomocné	Škodlivé
Vnitřní původ	<ul style="list-style-type: none"> - Moderní zařízení - Dva nezávislé zdroje - Možnost spalování biomasy - Snadná výstavba akumulace 	<ul style="list-style-type: none"> - Nová nevyužitá TG3 - Nevyužití dodávky chladu
Vnější původ	<ul style="list-style-type: none"> - Zvýšení výkupních cen el. energie 	<ul style="list-style-type: none"> - Úbytek odběratelů - Nestabilní odběr

Obr. 6 – SWOT analýza

3 Akumulace energie

Transformace a ukládání vyrobené energie se stává stále větší nezbytností. V dřívějších dobách bylo nutno regulovat povětšinou pouze změny na straně zátěže. Do této problematiky začal v posledních několika letech přispívat i velký nárůst využívání zdrojů obnovitelné energie, jejichž výkon je v kritických chvílích obtížné využít. Je proto nutné energii v době zvýšené výroby oproti spotřebě uchovat pro pozdější využití, pokud chceme dosáhnout efektivní výroby.

3.1 Způsoby uložení energie

Technologií, které umožňují uchování energie a její následnou přeměnu na jiné typy již existuje v dnešní době velké množství. Některé jsou již léty ověřené a využívány, jiné stále procházejí intenzivním vývojem a využití jejich plného potenciálu se blíží spolu

s modernizujícími se technologiemi. Z hlediska kogenerační výroby máme oproti jiným zdrojům k dispozici jak energii elektrickou, tak energii tepelnou, které je možné akumulovat a využívat v době potřeby.

3.1.1 Elektrochemické akumulátory

[15] Elektrochemické akumulátory patří světově mezi nejrozšířenější způsob ukládání elektrické energie. Akumulátory jsou tvořeny dvěma elektrodami, na které je přiváděna elektrická energie, iontově vodivým elektrolytem a separátorem. Působením elektrického proudu dochází na dvojici elektrod k oxidaci a redukci elektrolytu, čímž dochází ke změnám chemických vazeb. Toto by však nebylo možné bez separátoru, který brání vzniku zkratu mezi elektrodami, ale propouští potřebný iontový proud. V elektrárnách a teplárnách jsou elektrochemické akumulátory využívány primárně jako poslední stupeň zabezpečení dodávky elektrické energie pro řídicí systémy a důležité pohony oběhových a chladících okruhů. Na zabezpečení dodávky v podobě zálohy elektrické energie pro přenosovou soustavu však tato technologie není vhodná z hlediska ceny, potřebného prostoru ani kapacitě.



Obr. 7 - Akumulátorový blok

3.1.2 Mechanické setrvačníky

[6] Setrvačníky jsou zařízení, které slouží k akumulaci mechanické energie. Přesněji se jedná o energii rotační ukládanou do tělesa, které je přichyceno na hřídel. Velikost této energie je dána vztahem:

$$E_K = \frac{J \cdot \omega^2}{2} = 2 \cdot J \cdot \pi^2 \cdot f^2, \quad (3.1)$$

kde J značí moment setrvačnosti, který popisuje rozložení hmoty v tělese a jeho průměr, což lze chápat jako schopnost udržet si získanou energii. K setrvačnickům je spojkou připojen synchronní stroj, který v případě akumulace nebo spotřeby elektrické energie pracuje v motorickém nebo generátorickém chodu. Problémem velkých setrvačnicků je nutnost použít tělesa větších rozměrů, nebo nutnost navyšovat provozní otáčky. Vznikají zde tak problémy s dostatečnou pevností použitých materiálů, tepelnými ztrátami třením a nároky na ložiska hřídele. Tepelné ztráty se z velké části daří redukovat použitím vakua jakožto provozního prostředí v zapouzdřeném obalu, ve kterém je setrvačnick umístěn. Při běžných provozních otáčkách okolo 16 000 otáček za minutu, je třeba využívat magnetická ložiska, u kterých oproti klasickým mazacím ložiskům nedochází ke kontaktu a opotřebovávání materiálu. Napájení magnetického pole ložisek je navíc z hlediska energetické náročnosti úspornější než napájení pomocných olejových čerpadel.

Setrvačnický zaznamenaly v posledních deseti letech značný vývoj a v dnešní době jsou již téměř nepostradatelnými prvky pro automobilový průmysl. V energetice mají vzrůstající využití v roli akumulačních elektráren, které mohou být využity jako samostatný objekt nebo záložní zdroj energie pro klíčové prvky rozvodné soustavy. Další možností jejich využití je stabilizace výkonů z nestálých obnovitelných zdrojů elektrické energie. Setrvačnick je schopen tyto výkonové výkyvy akumulovat a do sítě dodávat konstantní množství energie.



[6] Obr. 8 - Setrvačnicková akumulační elektrárna Stephentown, New York 20 MW

3.1.3 Přečerpávací elektrárny

Přečerpávací elektrárny jsou dalším způsobem transformace elektrické energie na energii mechanickou. Princip spočívá v propojení dvou nádrží s vodou, které mají rozdílný výškový potenciál. Proto se v tomto případě jedná o energii potenciální, pro kterou platí vztah:

$$E_p = m \cdot g \cdot h, \quad (3.2)$$

kde m je hmotnost vody v horní nádrži a h je spád, což je výškový rozdíl hladin horní a dolní nádrže. Provoz přečerpávací elektrárny probíhá převážně v nočních hodinách, kdy dochází k podstatnému snížení spotřeby elektrické energie, během kterých je spuštěn motorický režim a voda je čerpána pomocí reverzních turbín do horní nádrže. Naopak během energetických špiček je nutno vodu z nádrže vypouštět do spádového potrubí a přivést ji do spirály, která horizontálně obtočena okolo turbíny, čímž dochází k jejímu roztáčení. Ta je vybavena rozváděcími lopatkami, které je možno natáčet, čímž dochází k potřebné regulaci výkonu. Aktuální dodávaný elektrický výkon je tedy:

$$P = \mu \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h, \quad (3.3)$$

kde Q je regulovaný průtok a μ je celková účinnost přeměny na elektrickou energii.

Využívání přečerpávacích elektráren v ČR započalo již v roce 1947 spuštěním přečerpávací elektrárny Štěchovice, následovaná v letech 1978 a 1996 elektrárnami Dalešice a Dlouhé stráně. Právě elektrárna Dlouhé stráně využívají pro svůj provoz největší reverzní Francisovy turbíny v Evropě (2x235 MW). Bezpečný a ekologický provoz a rychlá schopnost regulace staví tak přečerpávací elektrárny do pozice prověřeného a vhodného typu špičkové akumulační elektrárny.



Obr. 9 - Přívodní spirála a rozváděcí kolo Francisovy turbíny PVE Dlouhé Stráně

3.1.4 Vodíkové hospodářství

[5] Vodík je bezbarvý plyn lehčí než vzduch, který je vyráběn pomocí elektrolyzérů. Tato zařízení rozkládají vodu za pomoci elektrického proudu. Výslednými produkty tohoto rozkladu jsou kyslík a vodík.

Mezi nejrozšířenější typ patří PEM elektrolyzér (Polymer Electrolyte Membrane), u kterých byl klasický elektrolyt (většinou tvořený H_3PO_4) nahrazen nejčastěji sulfonovaným fluoropolymerem. Jeho princip spočívá v rozložení přiváděné vody pomocí anody na protony, elektrony a kyslík, který je odváděn pryč. Použitá polymerová membrána je propustná pouze pro protony, zatímco elektrony jsou nuceny putovat skrz vnější obvod. K jejich spojení dochází až na katodě, čímž vzniká plynný vodík. Jeho následné skladování je možné provádět různými způsoby, jakými jsou například klasické nízkotlaké a vysokotlaké nádoby, metalhydridové nebo nanouhlíkaté materiály, z nichž každý má svoje klady i zápory z hlediska objemu, hmotnosti, životnosti, ceny a úrovně zabezpečení. Uskladněný vodík je možné transformovat zpět na elektrickou energii pomocí palivových článků, které využívají reverzní operaci oproti elektrolyzérům. Dále je vodík ve specifických případech využíván pro chlazení velkých synchronních strojů. Samotná účinnost elektrolyzéru se pohybuje okolo 56 %, zatímco účinnost palivových článků 30-44 %, neboť zde navíc dochází k tepelným ztrátám. Prozatím se jedná stále o poměrně novou technologii, jejímuž komerčnímu využití prozatím brání vysoké výrobní náklady a jsou aktuálně využívány spíše jako testovací doplňky fotovoltaických elektráren.

3.1.5 Tepelná kapacita materiálů

[9], [10] Ukládání přebytečné tepelné energie do vodních nádrží je již poměrně rozšířené v oblasti domácností, které využívají nestálé zdroje vytápění jako například fototermické panely. V letech 1960 – 1990 bylo využívání akumulátorů v soustavách CZT značně omezené z důvodu velkých dotací, které byly závislé na výkonu kotleny. Pro provozovatele bylo tudíž jednodušší předdimenzovat výkon kotle, který byl schopný sám pokrýt i největší tepelné špičky, ovšem za cenu snižování účinnosti kotle při malých odběrech. Akumulaci tepla v tepelných soustavách rozlišujeme na přirozenou a umělou.

3.1.5.1 Přirozená akumulace

[9], [10] Jedná se o vlastní akumulaci schopnost materiálů objektů, které jsou zásobovány teplem. V závislosti na jejich konstrukci jsou schopny tyto objekty krýt tepelné ztráty přibližně půl hodiny v případě panelových budov, zatímco při použití cihel je tato výdrž zvýšena až na 2,5 hodiny. Kromě zásobovaných objektů dochází také k nabíjení samotných rozvodných sítí. Toto teplo se akumuluje jednak v samotném materiálu teplovodu, jednak v teplotonosné látce. Pro obojí platí stejný vztah:

$$Q_X = G_X \cdot c_X \cdot (t_X - t_{X0}), \quad (3.4)$$

kde G_X je celková akumulaci schopnost materiálu, c_X měrná tepelná kapacita a $(t_X - t_{X0})$ je rozdíl teploty pracovní a po ochlazení. Celková schopnost akumulace tepla je tedy

$$Q_{celk} = Q_{materiálu} + Q_{médiu}. \quad (3.5)$$

Z použitých vzorců vyplývá, že akumulaci schopnost páry je velmi malá a není ji, oproti teplé či horké vodě, možné využívat tímto způsobem. Ani v těchto případech není situace zdaleka jednoduchá, neboť akumulace má omezení ve chvílích, kdy je sít' využívána v době maximální spotřeby, tudíž s maximálními jmenovitými teplotami vody. Museli bychom tak zvyšovat teplotu nad jmenovitou, což by se negativně projevovalo jak na ztrátách, tak na životnosti zařízení. V této situaci je využíváno zkratové potrubí, které odvádí propojením část tepla do vratného potrubí, ve kterém jsou obvykle nižší teploty, a tudíž je do něj za podmínky stejného dimenzování jako potrubí přívodního přiváděno teplo k akumulaci.

3.1.5.2 Umělá akumulace

[9], [10] V případech, kdy akumulační schopnost sítě není dostačující, je možné využívat akumulaci umělou. Výhoda dříve využívaných parních akumulátorů spočívala ve velké pružnosti a tudíž v rychlé reakci na jakékoliv potřebné změny, ale vzhledem k úpadku parních vedení a malé akumulační schopnosti již nejsou využívány. Umístění a typ použitého horkovodního akumulátoru silně závisí na specifických požadavcích dané tepelné sítě a jejího zdroje. Mezi nejčastěji využívaný způsob je umístění akumulátoru přímo ve zdroji tepla, čímž získáváme rychlou odezvu a snadnou regulaci. Tento způsob však není možné využít v případech, kdy řešíme akumulaci z důvodu nedostatečné přenosové schopnosti tepelné sítě v době odběrových špiček. Zde je nutné umístit akumulační jednotky buď do uzlových bodů sítě, nebo přímo k spotřebitelům, kteří zásadně přispívají těmto špičkám. Používané typy horkovodních akumulátorů jsou rovnotlaký, spádový a expanzní. Jejich rozdíly spočívají především ve schopnostech dodávat rovnoměrné množství tepla po dobu pokrývání a nutnost využívat pro ohřev páru či expanzní nádrž, která reguluje objemové výchylky při vysokých teplotních stavech.

3.2 Využití akumulace

[9], [10] V předchozích kapitolách bylo rozvedeno několik způsobů akumulace energie. Pro zlepšení provozních vlastností tepelné soustavy je nejvýhodnější použití ukládání tepla pomocí vodních akumulačních nádrží. Většina z uvedených technologií stále prochází vývojem a navíc je vázána pouze na energii elektrickou. Ta je z hlediska vyváděného výkonu z tepláren v menšině a její potřebné dodávané množství je možné regulovat jinými prvky elektrizační soustavy. Tento problém je naopak výrazný v soustavách CZT, které jsou oproti elektrizační soustavě separované a jejich dodávka je zajišťována obvykle pouze z jednoho hlavního objektu a jeho vlastních záloh či několika menších doplňkových zdrojů. Právě absence zálohy v podobě centralizovaného systému nutí k využívání akumulace, která může svým provozem řešit velké množství problémů a neplánovaných situací.

- Dodávání energie v období se špičkovými nároky na dodávku tepelného výkonu, čímž odpadá nutnost pořízování záložního bloku výroby a dochází ke zmenšení celkového potřebného tepelného výkonu zdroje.
- Krátkodobá záloha dodávky při poruše primárního zdroje.

- Dlouhodobý záskok během nočního provozu z důvodu kontrol, revizí a jiných typů odstávky.
- Regulace prudkých výkyvů ať na straně dodávky nebo spotřeby.
- Akumulace energie v době nízké spotřeby, čímž odpadá nutnost snižování výkonu kotle, který by se tak dostal do oblasti horší účinnosti.
- Zajištění plného elektrického výkonu v případě potřeby. Při použití protitlakých turbín je nutné akumulovat vyráběný tepelný výkon do zásobníků nebo přímo do samotné soustavy. V případě kondenzačních turbín je tepelná energie do soustavy dodávána z akumulace, čímž se uvolní kotelní výkon pro maximální výrobu elektrické energie.

4 Návrh a výpočet řešení

Jak již bylo popsáno v kapitole 2, mezi největší současné problémy teplárny ve Dvoře Králové patří především velké předimenzování celého zařízení a stále se snižující výkupní cena silové elektrické energie. Právě výkupní cena je důvodem pro návrh akumulační jednotky, která však v praxi nebývá moc často využívána a její výhodnost je nutné ověřit pomocí kontrolních výpočtů a finanční bilance.

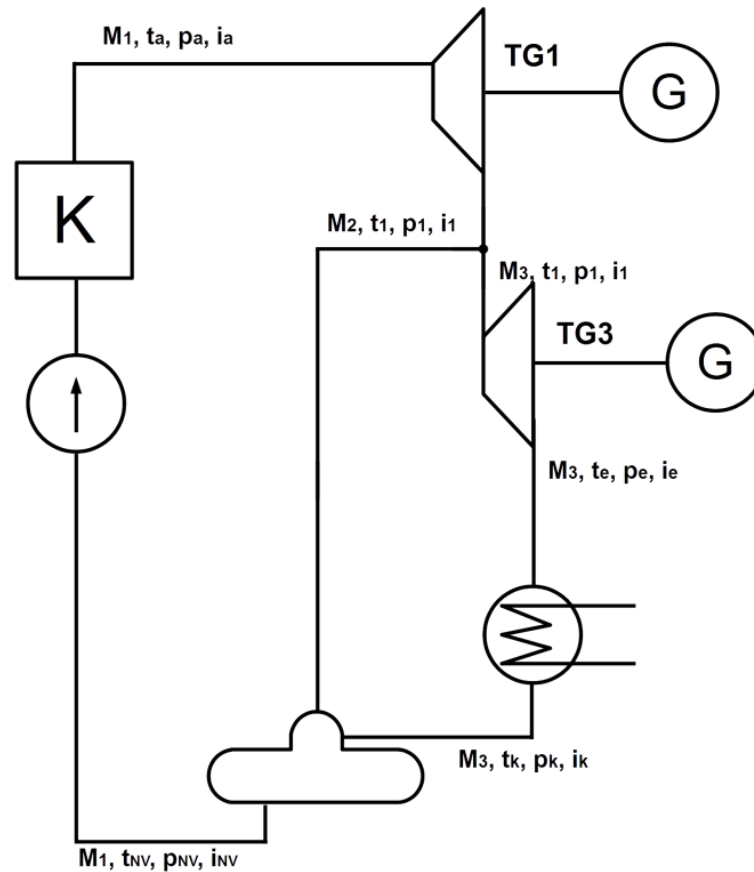
4.1 Způsoby provozu

V první části výpočtů je tedy nejprve nutné porovnat dva způsoby provozu teplárny. Prvním typem je kondenzační provoz, kdy je i při nízkých odběrech využíván jmenovitý výkon dnes již předimenzovaných kotlů K1 a K2 pro výrobu elektrické energie na obou soustrojích. Druhý typ využívá pro provoz pouze turbosoustroují TG1 a pracuje pouze se jmenovitým výkonem jednoho kotle.

4.1.1 Kondenzační provoz

Parametry admisní páry vstupující do protitlaké turbíny TG1 jsou 450 °C a 6 MPa, kde dochází k expanzi na parametry 450 °C a 1 MPa a výrobě elektrické energie na generátoru G1. Zde je nutné část páry odvést z důvodu udržení potřebných parametrů vody v napájecí nádrži, ze které je voda čerpána do kotle. Zbytek páry je odváděn na kondenzační turbosoustroují TG3, kde expanzí dochází ke snížení parametrů na hodnoty 40 °C a 0,007 MPa.

Tato pára je následně odváděna do kondenzátoru, kde dochází k její kondenzaci a následnému čerpání zpět do napájecí nádrže.



Obr. 10 - Kondenzační provoz TDK

$$t_a = 450 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_a = 6 \text{ MPa} \Rightarrow i_a = 3302,76 \text{ kJ/kg}$$

$$t_1 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 1 \text{ MPa} \Rightarrow i_1 = 2943,2 \text{ kJ/kg}$$

$$t_e = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_e = 0,007 \text{ MPa} \Rightarrow i_e = 2573,68 \text{ kJ/kg}$$

$$t_k = 39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_k = 0,007 \text{ MPa} \Rightarrow i_k = 163,36 \text{ kJ/kg}$$

$$t_{NV} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{NV} = 0,7 \text{ MPa} \Rightarrow i_{NV} = 335,47 \text{ kJ/kg}$$

$$M_1 = M = 46 \text{ t/h}$$

$$\text{Cena uhlí} = 100 \text{ Kč/GJ}$$

$$\text{Cena el. energie} = 32 \text{ €/MWh}$$

$$\text{Kurz} = 27,5 \text{ Kč/€}$$

$$\text{Povolenky CO}_2 = 7,5 \text{ €/t}$$

$$\text{Měrné emise} = 0,1 \text{ t/GJ}$$

$$\text{Ostatní proměnné} = 15 \text{ Kč/GJ}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$\underline{M_1 = M_2 + M_3}$$

$$M_1 \cdot i_{NV} = M_2 \cdot i_1 + M_3 \cdot i_k$$

$$\underline{M_2 = M_1 - M_3}$$

$$M_1 \cdot (i_{NV} - i_1) = M_3 \cdot (i_k - i_1)$$

$$46 \cdot (335,6 - 2943,2) = M_3 \cdot (163,36 - 2943,2)$$

$$M_3 = \mathbf{43,15 \text{ t/h}}$$

$$M_2 = M_1 - M_3 = 46 - 43,217 = \mathbf{2,85 \text{ t/h}}$$

$$Q_{výst} = M \cdot i_a = 46 \cdot 3302,76 = \mathbf{151,927 \text{ GJ}}$$

$$Q_2 = M_2 \cdot i_1 = 2,85 \cdot 2943,2 = \mathbf{8,388 \text{ GJ}}$$

$$Q_3 = M_3 \cdot i_1 = 43,217 \cdot 2943,2 = \mathbf{126,999 \text{ GJ}}$$

$$Q_{vstup} = M_1 \cdot i_{NV} = 46 \cdot 335,47 = \mathbf{15,43 \text{ GJ}}$$

$$Q_{kot} = Q_{výst} - Q_{vstup} = 151,927 - 15,43 = \mathbf{136,497 \text{ GJ}}$$

$$P_{TG1} = M_1 \cdot (i_a - i_1) \cdot \eta_g \cdot \frac{1}{3,6} = 46 \cdot (3302,76 - 2943,2) \cdot 0,96 \cdot \frac{1}{3,6} = \mathbf{4,41 MW}$$

$$P_{TG3} = M_3 \cdot (i_1 - i_e) \cdot \eta_g \cdot \frac{1}{3,6} = 43,15 \cdot (2943,2 - 2573,68) \cdot 0,96 \cdot \frac{1}{3,6} = \mathbf{4,252 MW}$$

$$q_{EL} = \frac{Q_{kot}}{P_{TG1} + P_{TG3}} = \frac{136,497}{4,41 + 4,252} = \mathbf{15,7 GJ/MWh}$$

$$S_{PAL_EV} = \frac{q_{EL}}{\eta_{KOT}} = \frac{15,7}{0,85} = \mathbf{18,539 GJ/MWh}$$

$$S_{PAL_ED} = S_{PAL_EV} \cdot k_e = 18,539 \cdot 1,12 = \mathbf{20,76 GJ/MWh}$$

$$Palivové náklady = S_{PAL_ED} \cdot \text{Cena uhlí} = 20,76 \cdot 100 = \mathbf{2076 kč/MWh}$$

$$Ostatní náklady = S_{PAL_ED} \cdot \text{Ostat. proměnné} = 20,76 \cdot 15 = \mathbf{311,4 kč/MWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Náklady povolenek} &= \text{Povolenka} \cdot \text{Měrné emise} \cdot S_{PAL_ED} \cdot \text{kurz} \\ &= 7,5 \cdot 0,1 \cdot 20,76 \cdot 27,5 = \mathbf{428,175 kč/MWh} \end{aligned}$$

$$\text{Tržby za el. energii} = \text{Cena el. energie} \cdot \text{Kurz} = 32 \cdot 27,5 = \mathbf{880 kč/MWh}$$

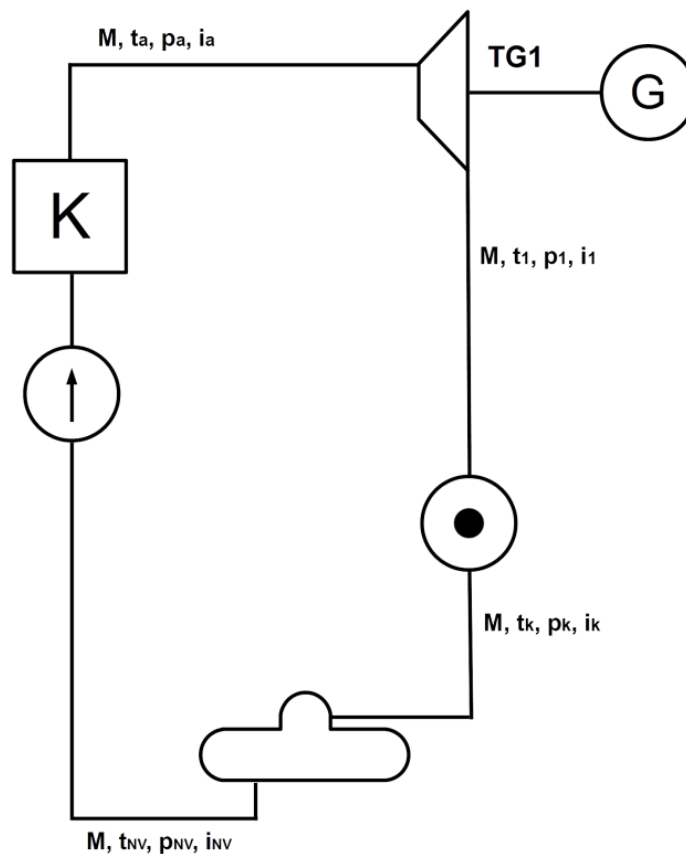
$$\begin{aligned} \text{Zisk/Ztráta} &= \text{Tržby} - \sum \text{Náklady} = 880 - (2076 + 311,4 + 428,175) \\ &= \mathbf{-1935,57 kč/MWh} \end{aligned}$$

Výpočtem byla zjištěna velká ztrátovost tohoto způsobu provozu, kdy podnik prodělává 1935,57 Kč na každé vyrobené MWh. Tento způsob provozu měl své opodstatnění před několika lety v době výstavby TG2 s vyšší cenou elektrické energie. Pro porovnání s rokem 2007, kdy bylo toto turbosoustrojí navrženo, dosahovala cena okolo 80 €/MWh. Při této ceně dosahovala ztráta jen 415,575 Kč/MWh. Velikost této ztráty je již diskutabilní, neboť provoz kotlů při jmenovitém výkonu se pozitivně projevuje na jejich účinnosti,

ale zároveň také na množství emisí. Tyto parametry se do značné míry podílejí na výrobních nákladech, které bychom změnami výkonů zvyšovali.

4.1.2 Protitlaký provoz

Tento způsob provozu počítá s nulovou ztrátou tepelné energie v kondenzátoru, neboť k výrobě elektrické energie je zde využíváno pouze turbosoustrojí TG3, jehož admisní i emisní parametry jsou identické jako v případě kondenzačního provozu. Emisní pára je zde odváděna přímo do tepelného výměníku, kde je teplo předáváno do tepelné sítě a nedochází k jeho maření jako v klasickém kondenzátoru.



Obr. 11 - Protitlaký provoz TDK

$$t_a = 450 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_a = 6 \text{ MPa} \Rightarrow i_a = 3302,76 \text{ kJ/kg}$$

$$t_1 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 1 \text{ MPa} \Rightarrow i_1 = 2943,2 \text{ kJ/kg}$$

$$t_{NV} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{NV} = 0,7 \text{ MPa} \Rightarrow i_{NV} = 209,93 \text{ kJ/kg}$$

$$M_1 = M = 46 \text{ t/h}$$

$$\text{Cena uhlí} = 100 \text{ Kč/GJ}$$

$$\text{Cena el. energie} = 32 \text{ €/MWh}$$

$$\text{Kurz} = 27,5 \text{ Kč/€}$$

$$\text{Povolenky CO}_2 = 7,5 \text{ €/t}$$

$$\text{Měrné emise} = 0,1 \text{ t/GJ}$$

$$\text{Ostatní proměnné} = 15 \text{ Kč/GJ}$$

$$Q_{výst} = M \cdot i_a = 46 \cdot 3302,76 = \mathbf{151,927 \text{ GJ}}$$

$$Q_{vstup} = M \cdot i_{NV} \cdot 46 \cdot 209,93 = \mathbf{9,657 \text{ GJ}}$$

$$Q_{kot} = Q_{výst} - Q_{vstup} = 151,927 - 9,657 = \mathbf{142,27 \text{ GJ}}$$

$$Q_{dod} = M \cdot i_1 - M \cdot i_{NV} = 46 \cdot (2943,2 - 209,93) = \mathbf{125,73 \text{ GJ}}$$

$$P_{TG1} = M \cdot (i_a - i_1) \cdot \eta_g \cdot \frac{1}{3,6} = 46 \cdot (3302,76 - 2943,2) \cdot 0,96 \cdot \frac{1}{3,6} = \mathbf{4,411 \text{ MW}}$$

$$q_{EL} = \frac{Q_{kot} - Q_{dod}}{P_{TG1}} = \frac{142,27 - 125,73}{4,411} = \mathbf{3,75 \text{ GJ/MWh}}$$

$$S_{PAL_EV} = \frac{q_{EL}}{\eta_{KOT}} = \frac{3,75}{0,85} = \mathbf{4,41 \text{ GJ/MWh}}$$

$$S_{PAL_ED} = S_{PAL_EV} \cdot k_e = 4,41 \cdot 1,12 = \mathbf{4,94 \text{ GJ/MWh}}$$

$$\text{Palivové náklady} = S_{PAL_ED} \cdot \text{Cena uhlí} = 4,94 \cdot 100 = \mathbf{494 \text{ kč/MWh}}$$

$$\text{Ostatní náklady} = S_{PAL_ED} \cdot \text{Ostat. proměnné} = 4,94 \cdot 15 = \mathbf{74,1 \text{ kč/MWh}}$$

$$\begin{aligned} \text{Náklady povolenek} &= \text{Povolenka} \cdot \text{Měrné emise} \cdot S_{PAL_ED} \cdot \text{kurz} = 7,5 \cdot 0,1 \cdot 4,94 \cdot 27,5 \\ &= \mathbf{101,89 \text{ kč/MWh}} \end{aligned}$$

$$\text{Tržby za el. energii} = \text{Cena el. energie} \cdot \text{Kurz} = 32 \cdot 27,5 = 880 \text{ kč/MWh}$$

$$\text{Zisk/Ztráta} = \text{Tržby} - \sum \text{Náklady} = 880 - (494 + 74,1 + 101,89) = \mathbf{210 \text{ kč/MWh}}$$

Výpočtem jsme zjistili, že výroba při provozování pouze na protilakém turbosoustrojí TG1, je i při dnešních cenách kladná. Pro další výpočty bude tedy zvažována tato varianta, kterou bude potřebné doplnit o akumulační jednotku. Tímto krokem dokážeme při správném návrhu zajistit stabilní výkon provozovaného kotle na jeho jmenovité hodnotě, aniž bychom museli přebytečné teplo posílat do kondenzačního soustrojí.

4.2 Způsob akumulace

V této podkapitole budou porovnány 3 možné varianty akumulačních jednotek, jejichž návrhy respektují současný stav a technologickou výbavu teplárny. Jedním z nejdůležitějších parametrů je maximální množství naakumulované energie, které nám vyjadřuje schopnost plného pokrytí výkonových špiček a naopak schopnost odebírání přebytečného výkonu kotle v období s nízkou spotřebou. Její hodnota je rozdílem energií obsahu při minimální a maximální provozní teplotě. Dalším podstatným parametrem je pořizovací cena tohoto zařízení, která se odrazí v jeho návratnosti.

4.2.1 Atmosférická vodní nádrž

V objektu teplárny se nacházejí dvě nádrže o velikosti $2 \times 250 \text{ m}^3$. Tyto nádrže byly v dřívějších dobách využívány pro mazutové hořáky v kotlích. Tato varianta počítá s využitím obou nádrží, namísto kterých by bylo nutné vystavět novou menší nádrž o objemu 80 m^3 , která by v současné době byla dostačující pro provozní požadavky objektu. Novou nádrž doporučuji vybavit oddělovací přepážkou, díky které nebude nutné palivo v době oprav, či probíhajících revizí nutné přečerpávat, ale dojde k jejímu rozdělení na $2 \times 40 \text{ m}^3$. U původních nádrží by došlo k rekonstrukci a zaizolování, aby bylo možné je dále využívat jako beztlaký vodní akumulátor. Provozní teplota tohoto typu akumulátoru by se pohybovala v rozmezí $70 - 98 \text{ }^\circ\text{C}$. Hodnota $98 \text{ }^\circ\text{C}$ je teplotní maximum, při kterém u akumulátorů s atmosférickým tlakem ještě nedochází k varu, zatímco $70 \text{ }^\circ\text{C}$ je minimální teplota ve vratné větvi.

$$V = 2 \times 250 \text{ m}^3$$

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

$$t_{MIN} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = \rho \cdot V = 998 \cdot 500 = 499 \text{ t}$$

$$Q_{MAX} = m \cdot c \cdot t_{MAX} = 499 \cdot 4,18 \cdot 98 = 204,41 \text{ GJ}$$

$$Q_{MIN} = m \cdot c \cdot t_{MIN} = 499 \cdot 4,18 \cdot 70 = 146,01 \text{ GJ}$$

$$Q_{AKU} = Q_{MAX} - Q_{MIN} = 204,41 - 146,01 = 58,4 \text{ GJ}$$

Dosažitelná vypočítaná akumulační schopnost nádrže je tedy $58,4 \text{ GJ}$. Cena tohoto provedení byla po konzultaci s odborníkem stanovena přibližně na $7\,000\,000 \text{ Kč}$ za jednu nádrž. Za jeden GJ energie je tedy třeba vydat $239\,726 \text{ Kč}$. Výhodou této metody je právě jednoduchost použité technologie, která se silně odráží ve výsledné ceně a způsobu provozu. Rozsah provozních teplot zde však činí pouhých $28 \text{ }^\circ\text{C}$, což se projevuje na spíše podprůměrné akumulační schopnosti.

4.2.2 Tlaková vodní nádrž

Další možností je rekonstrukce nádrží na tlakové akumulční zásobníky. V případě této varianty by bylo možné díky zvýšenému tlaku dosáhnout vyšší maximální teploty vody uvnitř nádrže až na hodnotu 140 °C. To by mělo za následek znatelné navýšení akumulční schopnosti při využití stejných nádrží jako v případě atmosférického způsobu, a tudíž prakticky stejné nároky na objem. Potřeba výstavby menší 80 m³ nové nádrže LTO by byla identická s přechozím řešením.

$$V = 2 \times 250 \text{ m}^3$$

$$t_{MAX} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{MAX} = 1,2 \text{ MPa} \Rightarrow i_{MAX} = 589,74 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$t_{MIN} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{MIN} = 1,2 \text{ MPa} \Rightarrow i_{MIN} = 293,97 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$m = \rho \cdot V = 998 \cdot 500 = 499 \text{ t}$$

$$Q_{MAX} = m \cdot i_{MAX} = 499 \cdot 589,74 = 294,28 \text{ GJ}$$

$$Q_{MIN} = m \cdot i_{MIN} = 499 \cdot 293,97 = 146,69 \text{ GJ}$$

$$Q_{AKU} = Q_{MAX} - Q_{MIN} = 147,14 - 73,35 = 144,59 \text{ GJ}$$

Akumulační schopnost nádrží při tlaku 1,2 MPa je 144,59 GJ, což je 2,48krát větší hodnota než při atmosférickém provedení. Spolu s větším tlakem přirozeně vzrůstají náklady na použité technologie a potřeba dimenzovat celé zařízení na vyšší teplotu a tlak. Z tohoto důvodu je odhadovaná cena okolo 20 000 000 Kč na výstavbu jedné nádrže. V porovnání s předchozí variantou je tedy výsledná cena 276 453 Kč za 1 GJ energie vyšší než u atmosférického provedení.

4.2.3 Parní nádrž

Posledním z navrhovaných řešení je ponechání nádrží LTO v jejich původní funkci a výstavba parního tlakového akumulátoru o objemu 50 m^3 , do kterého by byla dodávána přímo emisní pára z protitlaké turbíny.

$$V = 50 \text{ m}^3$$

$$t_{MAX} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{MAX} = 1,2 \text{ MPa} \Rightarrow i_{MAX} = 2935,69 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$t_{MIN} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{MIN} = 1,2 \text{ MPa} \Rightarrow i_{MIN} = 293,97 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$m = \rho \cdot V = 5,1975 \cdot 50 = 259,88 \text{ kg}$$

$$Q_{MAX} = m \cdot i_{MAX} = 0,25988 \cdot 589,74 = 153,26 \text{ MJ}$$

$$Q_{MIN} = m \cdot i_{MIN} = 0,25988 \cdot 293,97 = 76,39 \text{ MJ}$$

$$Q_{AKU} = Q_{MAX} - Q_{MIN} = 153,26 - 76,39 = 76,87 \text{ MJ}$$

Akumulační schopnost páry je velmi malá. I v případě objemu tlakového akumulátoru o velikosti 500 m^3 , tedy ekvivalentní k velikosti vodních nádrží, by tepelná kapacita zařízení dosahovala pouhý $0,768 \text{ GJ}$.

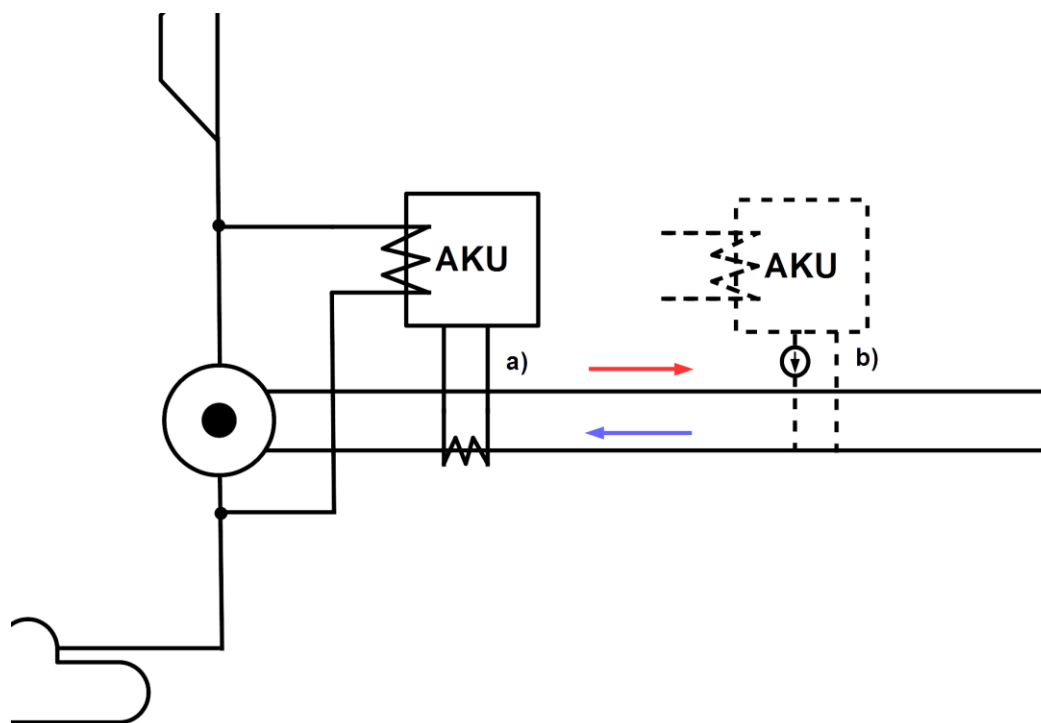
4.2.4 Vyhodnocení a technické provedení

Z důvodu malé akumulční schopnosti nebude parní jednotka nadále uvažována. Jedním důvodem je malé množství naakumulované energie. Druhým důvodem je malá využitelnost páry jakožto média. Ta měla velké využití v minulých letech, kdy byly pomocí parovodů napájeny nejen výrobní areály, ale také obytné oblasti. Samotné sítě nebyly tudíž při výpadech výroby schopné pokrýt spotřebu a jakákoliv možná akumulace byla potřebná. V dnešní době horkovodních sítí, které disponují poměrně velkou vlastní akumulční

schopností, je akumulace energie do páry neefektivní. Pro další výpočty, které zahrnují jejich využití v závislosti na provozní bilanci a finanční návratnost zařízení, budou uvažovány atmosférická a tlakovodní nádrž.

Samotné provedení zapojení nádrží do systému teplárny lze provést dvěma způsoby. V obou případech by byla pro ohřev akumulačního média využívána emisní pára turbosoustrojí TG1 a výstupní zapojení do vratné větve primární sítě. Práv ve výstupní části existují dvě možnosti provedení. První z nich je přímé zapojení výstupního okruhu do vratné větve a jeho pohánění pomocí oběhového čerpadla. Docházelo by tak k čerpání ohřáté vody do primárního okruhu a naopak odebírání vratné vody o nižší teplotě. Druhou možností je provedení i výstupní části pomocí tepelného výměníku, který by teplo z nádrže předával do vratné větve i při fyzickém oddělení obou okruhů.

Vzhledem k nízké maximální teplotě atmosférického provedení, která tuto levnou variantu značně omezuje malou tepelnou kapacitou, vyvstala varianta použití oleje jakožto akumulačního média namísto vody. Jeho podstatnou výhodou je vysoká dosažitelná teplota, aniž by došlo k varu. Teplota v nádrži by se tak teoreticky mohla blížit až k teplotě admisní páry z turbosoustrojí TG1, která činí 250 °C. Tato hodnota je však omezována méně než poloviční měrnou tepelnou kapacitou oleje vůči vodě. Oproti kapacitě 4180 J.Kg⁻¹.K⁻¹ u vody má olej pouhé 2000 J.Kg⁻¹.K⁻¹. I přes tuto nevýhodu by celková akumulační schopnost činila 155,9 GJ, což je hodnota, která dokonce přesahuje schopnost nádrží tlakových. Toto řešení s sebou však přináší velké množství nevýhod. Mezi ně patří především velké tepelné ztráty a celkově vysoké náklady, které by bylo třeba vynaložit na utěsnění a zaizolování nádrží. Další z důvodů je bezpečnost, jak z hlediska ochrany obsluhy, tak z hlediska životního prostředí v případě poruchy. Celkově by tedy tato varianta přinášela velké množství problémů a ohrožení, kvůli kterým ji dále nedoporučuji, a pro další výpočty nebude uvažována.



Obr. 12 - Zapojení akumulční nádrže a) zapojení pomocí tepelného výměníku, b) přímé propojení s primárním okruhem

4.3 Provozní bilance

Respektování průběhu provozní bilance je pro nás z hlediska návrhu zařízení zásadní, neboť díky ní jsme schopni pro určitá období a venkovní teploty předpovídat velikost odběru tepelné energie ze strany zákazníků. Pro teplotenský provoz rozlišujeme 3 hlavní období, které se od sebe velmi výrazně liší. V závislosti na jejich vlastnostech musíme správně dimenzovat zařízení teplárny a jejich správné provozování. Pro regulování dodávky je v současné době k dispozici několik zdrojů tepelné energie. Jedná se o 2 původní roštové kotle K1 a K2, které mohou být provozovány spalováním hnědého uhlí a biomasy. Teplárna dále disponuje dvěma plynovými kotly. Regulační rozsahy a výkony jsou uvedené v tabulce 1.

Označení	Typ	Regulační rozsah (%)	Min. výkon (t/h)	Max. výkon (t/h)
K1	Roštový	30 – 100	10,05	33,5
K2	Roštový	30 – 100	10,05	33,5

Označení	Typ	Regulační rozsah (%)	Min. výkon (MWt)	Max. výkon (MWt)
P1	Plynový	20 – 100	0,8	4
P2	Plynový kondenzační	14 – 100	0,308	2,2

Tab. 1 – Tepelné zdroje TDK

4.3.1 Zimní období

Pro výpočet byly po konzultaci použity hodnoty, které vycházejí z provozních bilancí za rok 2013. Zimní období v roce 2014 bylo velmi výjimečné, ať už z hlediska vysokých teplot či jejich výkyvů. Takto získané výsledky by pro výpočet měly pouze velmi malou vypovídající hodnotu a mohly by ovlivnit správné dimenzování celého zařízení. Aktuálně je teplárna provozována v zimních měsících se spuštěnými oběma roštovými kotli při 70 – 80 % výkonu. Jejich tepelný výkon tak činí celkem 35,6 MWt, který máme k dispozici po expanzi na turbosoustrojí TG1. Spotřeba tepla je však mnohem nižší. Průměrná denní hodnota se pohybuje okolo 16,5 MWt, přičemž špičkové odběry dosahují až 24,5 MWt. Tyto špičky nastávají v ranních a večerních hodinách a trvají obvykle jednu až dvě hodiny. Denní průběh odběru tepla, porovnání s výrobou a zobrazení využití obou typů akumulčních nádrží v tomto období je zobrazený v příloze 1. Kvůli velkým výkyvům je zde podstatná akumulční schopnost nádrže. V tomto případě se atmosférická nádrž projevuje jako nedostačující, kdy v dobách nízkého odběru dochází k dosažení její maximální teploty a naopak k jejímu úplnému vybití v době odběrových špiček. Oproti tomu tlakový akumulátor je schopný pokrýt veškeré výchyly při konstantním 66 % výkonu kotle K1.

Z finančního hlediska lze za zisk vytvářený akumulátorem považovat rozdíl finančních bilancí při kondenzačním a protitlakém provozu, neboť se tak vyhneme nutnosti provozovat kondenzační turbínu. Během průměrného zimního dne lze takto využít 36,75 MWh tepelné energie a 13,5 MWh v případě atmosférické nádrže. Při použití vypočtených hodnot z kapitoly 4.1 tak dojdeme k zisku, který vzniká díky akumulaci.

$$\begin{aligned} ZISK_{atmosf} &= Energie \cdot (Zisk_{prot} - Zisk_{kond}) = 13,5 \cdot (210 - (-1935,57)) \\ &= \mathbf{28\ 965\ Kč/den} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ZISK_{tlak} &= Energie \cdot (Zisk_{prot} - Zisk_{kond}) = 36,75 \cdot (210 - (-1935,57)) \\ &= \mathbf{76\ 704\ Kč/den} \end{aligned}$$

4.3.2 Letní období

Pro letní období je specifické vypnutí obou roštových kotlů, přičemž celá spotřeba je pokrývána pomocí kotlů plynových. Ty mají podstatně menší výkony, které jsou však pro letní spotřebu dostačující. Oproti zimnímu období je letní denní diagram značně nepředvídatelný. Velký vliv na odběr mají především průmyslové komplexy, které jsou připojeny přímo na parovodní potrubí a napájeny emisní párou z turbosoustrojí TG1 a během letního období tvoří podstatnou část odběru tepelné energie. Zařízení je provozováno s oběma plynovými kotli naráz. Větší z nich je používán jako základní zdroj pracující stabilně na 20 % svého výkonu (0,8 MWt), zatímco menší kondenzační kotel s větší účinností plní regulační funkci, neboť by jeho výkon po většinu dne na pokrytí spotřeby nestačil. V případě použití akumulární nádrže, která je bez problému schopná pokrýt většinu výkyvů, by tak kondenzační kotel mohl pracovat při konstantním jmenovitém výkonu. V případě nižší spotřeby nastává nejvhodnější situace, kdy je možné větší z kotlů odstavit a využívat pro dodávku tepla pouze kotel kondenzační. Obě zmíněné situace jsou zobrazeny v přílohách 3 a 4.

Finanční úspora při této variantě vzniká provozováním primárně kondenzačního kotle, či jeho provoz při největší účinnosti. Díky tomu jsme schopni dosáhnout úspory v podobě snížené spotřeby plynu o 10 – 15 %. Výrobní náklady plynových kotlů jsou 300 Kč/GJ. Zisk je v tomto případě identický pro oba typy nádrží.

$$ZISK = Energie \cdot \eta \cdot náklady = 148,5 \cdot 0,15 \cdot 300 = \mathbf{6682,5 \text{ Kč/den}}$$

4.3.3 Přechodné období

Toto období se vyznačuje značnou nestabilitou odběru. Ve většině případů se dostáváme do stavu, ve kterém nejsou plynové kotle schopny pokrýt spotřebu, avšak roštový kotel by musel snižovat svůj výkon až na 30 %, což je jeho technologické minimum. Nestálé odběrové diagramy jsou dalším důvodem, proč nejsme schopni vyhnout se v tomto období provozu v kondenzačním režimu. Díky akumulární jednotce jsme však schopni tento režim provozovat v době, kdy je zvýšená výkupní cena elektrické energie, čímž můžeme redukovat ztráty, které vznikají tímto způsobem provozu. Toho docílíme čistě protitlakým provozem s předáváním tepla akumulární nádrži v době s nízkými výkupními cenami a naopak využíváním této energie pro částečné pokrytí odběru tepelné sítě, díky čemuž můžeme vyráběnou energii použít pro kondenzační výrobu. Rozdíly ve výkupních cenách jsou každým dnem velmi rozdílné, bude tudíž počítáno s přibližným rozdílem 20 €.

$$ZISK_{atmosf} = Energie \cdot (Zisk_{52\text{€}} - Zisk_{32\text{€}}) = 8,11 \cdot (-1385,57 - (-1935,57))$$

$$= 4460,5 \text{ Kč/den}$$

$$ZISK_{tlak} = Energie \cdot (Zisk_{52\text{€}} - Zisk_{32\text{€}}) = 13,38 \cdot (-1385,57 - (-1935,57))$$

$$= 7359 \text{ Kč/den}$$

5 Ekonomické zhodnocení

V předchozí kapitole byly vypočteny finanční úspory, které by nám přineslo provozování atmosférické či tlakové akumulční nádrže v různých obdobích. Trvání těchto období a jejich finanční úspora je uvedena v tab. 2.

Typ	Období	Úspora (Kč/den)	Trvání (měs.)	Roční úspora (Kč)
Atmosférický	Zimní	28 965,0	4,5	5 215 766
	Letní	6 682,5	3,5	
	Přechodné	4 460,5	4	
Tlakový	Zimní	76 704,0	4,5	12 098 979
	Letní	6 682,5	3,5	
	Přechodné	7 359,0	4	

Tab. 2 - Finanční úspora akumulčních nádrží

Tyto hodnoty však není možné z ekonomického hlediska pro každý rok pouze odečíst od investičního nákladu výdělek z aktuálního roku, nýbrž je třeba vypočítat diskontovanou hodnotu, která v sobě zahrnuje vliv úrokové míry.

5.1 NPV

Jedná se o finanční ukazatel, zkratka NPV vyjadřuje název Net Present Value. Tento ukazatel je v českém jazyce označován jako čistá současná hodnota. Slouží ke zhodnocení investic a projektů pouze z hlediska diskontovaných finančních toků. Tento model vyhodnocuje právě pouze finanční toky spojené s daným projektem a nejsou do něj zahrnovány další parametry. Z tohoto důvodu je používán spíše pro krátkodobé období a finančně jednoduché projekty, u kterých nedochází k velkému množství složitějších finančních toků, které jsou často vázány na celkovou hodnotu podniku. Lze jej vypočítat ze vztahu:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (5.1)$$

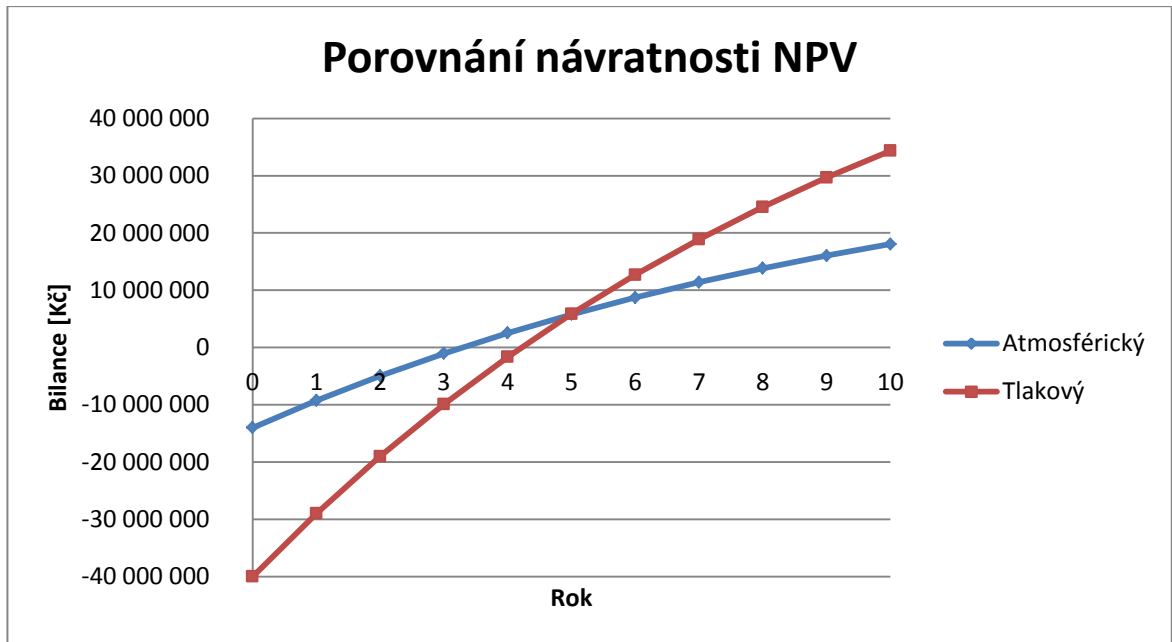
kde CF je peněžní tok v daném roce, r je diskontovaná míra a t je doba životnosti. Právě délka provozování zařízení je pro správný výpočet NPV velmi důležité.

$$NPV_{atm3} = -14\,000\,000 + \frac{5\,215\,766}{(1+0,1)^1} + \frac{5\,215\,766}{(1+0,1)^2} + \frac{5\,215\,766}{(1+0,1)^3} = -1\,029\,162 \text{ Kč}$$

$$NPV_{tlak3} = -40\,000\,000 + \frac{12\,098\,979}{(1+0,1)^1} + \frac{12\,098\,979}{(1+0,1)^2} + \frac{12\,098\,979}{(1+0,1)^3} = -9\,911\,628 \text{ Kč}$$

Tlakový		Atmosférický	
Rok	Bilance (Kč)	Rok	Bilance (Kč)
1.	-29 000 928	1.	-9 258 395
2.	-19 001 771	2.	-4 947 844
3.	-9 911 628	3.	-1 029 162
4.	-1 647 863	4.	2 533 276
5.	5 864 652	5.	5 771 857
6.	12 694 210	6.	8 716 021
7.	18 902 900	7.	11 392 533
8.	24 547 163	8.	13 825 727
9.	29 678 312	9.	16 037 721
10.	34 342 992	10.	18 048 624

Tab. 3 - Porovnání NPV návrhů za dobu 10 let



Obr. 13 - Porovnání návratnosti pomocí NPV

5.2 IRR

Tento finanční ukazatel dává informaci o relativní procentuální výnos, který projekt poskytne za dobu své životnosti. IRR je zkratka pro Internal Rate of Return či v překladu do češtiny vnitřní výnosové procento. Omezení zde spočívá v možnosti použít záporný finanční tok pouze na začátku uvažovaného období. Nelze jej tedy použít pro dlouhodobější projekty, které během své životnosti vyžadují další investici. Pro požadavky projektu akumulační nádrže je však tento model vhodný.

$$0 = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IN \quad (5.2)$$

$$0 = -14\,000\,000 + \frac{5\,215\,766}{(1 + IRR_{atm3})^1} + \frac{5\,215\,766}{(1 + IRR_{atm3})^2} + \frac{5\,215\,766}{(1 + IRR_{atm3})^3}$$

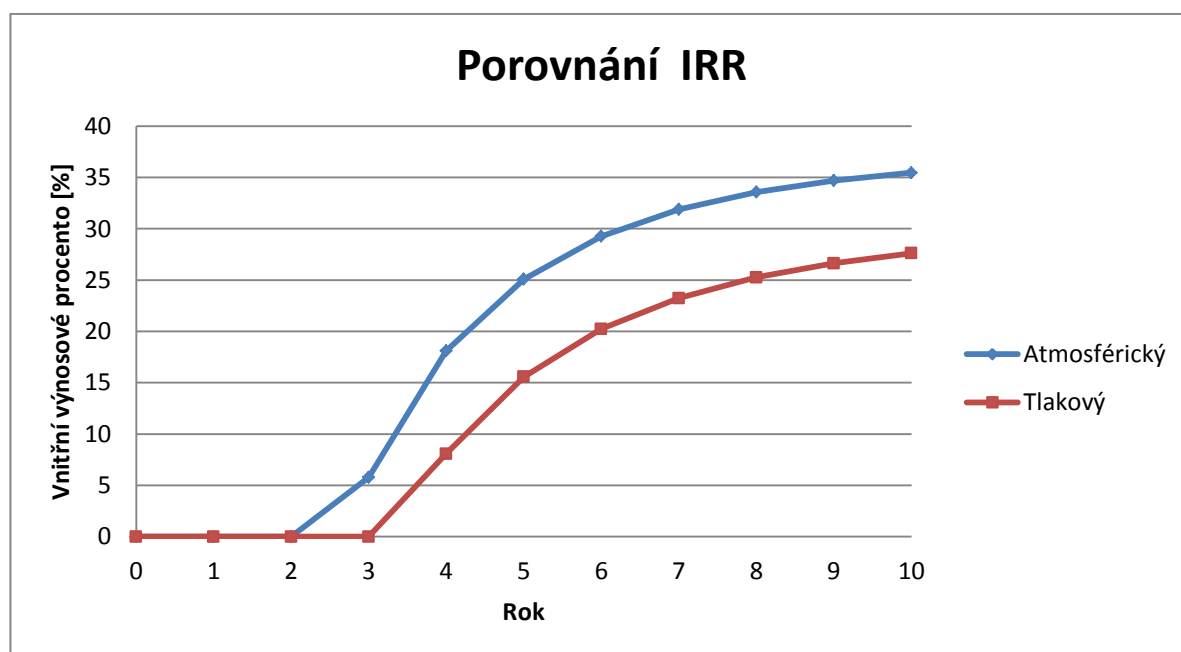
$$IRR_{atm3} = 5,78\%$$

$$0 = -40\,000\,000 + \frac{12\,098\,979}{(1 + IRR_{tlak3})^1} + \frac{12\,098\,979}{(1 + IRR_{tlak3})^2} + \frac{12\,098\,979}{(1 + IRR_{tlak3})^3}$$

$$IRR_{tlak3} = 0\%$$

Tlakový		Atmosférický	
Rok	IRR (%)	Rok	IRR (%)
1.	0,00	1.	0,00
2.	0,00	2.	0,00
3.	0,00	3.	5,78
4.	8,08	4.	18,11
5.	15,58	5.	25,09
6.	20,24	6.	29,27
7.	23,24	7.	31,89
8.	25,26	8.	33,58
9.	26,64	9.	34,70
10.	27,61	10.	35,46

Tab. 4 - Porovnání IRR návrhů za dobu 10 let



Obr. 14 - Porovnání návratnosti pomocí IRR

5.3 Porovnání a zhodnocení

Výsledky porovnání navrhovaných řešení z hlediska NPV a IRR vyšly velmi nejednoznačně. Zásadní rozdíl mezi těmito variantami spočívá primárně ve velkém rozdílu jejich pořizovacích nákladů, který se značně projevuje i ve výsledných hodnotách. Z hlediska ukazatele NPV dochází při úrokové míře 10 % k finanční návratnosti během čtyř let provozování u atmosférické verze, zatímco u verze tlakové ještě o jeden rok déle. Z dlouhodobějšího hlediska s časovým horizontem 10 let je tlaková nádrž díky vyšším ziskům návratnější. Životnost těchto zařízení je navíc z technologického hlediska mnohem delší. Z hlediska relativního procentuálního výnosu během sledovaných 10 let vychází výhodněji

nádrž atmosférická. Při nejednoznačnosti těchto výsledků je třeba vzít v potaz, který typ návratnosti je pro danou situaci vhodnější. Díky vyšší hodnotě IRR dojde k lepšímu procentuálnímu zhodnocení investovaných peněz, zatímco vyšší hodnota NPV nám značí celkový vyšší zisk projektu. Pro případ akumulační nádrže je spíše vypovídající hodnota NPV. Pro větší význam IRR by bylo nutné uskutečnit více projektů atmosférických nádrží, které by tak v součtu dosahovaly lepších výsledků díky své vyšší procentuální návratnosti. V řešeném případě jsme však limitováni počtem existujících nádrží na LTO, které jsou na akumulaci předělávány. Jakákoliv výstavba nových nádrží by podstatně převyšovala cenu pouhé rekonstrukce v hodnotě 7 milionů korun za jednu nádrž. Vzhledem ke zjištěným výsledkům proto doporučuji výstavbu tlakových akumulačních nádrží, jejichž předávka tepla by byla oboustranně realizována pomocí tepelných výměníků.

Závěr

Teplárna ve Dvoře Králové na Labem prošla před několika lety rekonstrukcí, která měla využít předdimenzovaný kotelní výkon z předchozích období v podobě nové kondenzační turbíny. Během let však docházelo k postupnému snižování výkupních cen silové elektrické energie, čímž začal být tento projekt finančně ztrátový.

Cílem této diplomové práce proto bylo ověřit výhodnost tohoto způsobu provozu a navrhnout optimální řešení problému s nadměrným výkonem v podobě akumulace vyrobené energie. V prvním kroku bylo tudíž nutné porovnat měrnou spotřebu paliva pro kondenzační i protitlaký způsob provozu. Zde byl zjištěn podstatný rozdíl v podobě 2363,7 Kč/MWh, který byl zapříčiněn primárně mařením velkého množství nízkopotencionálního tepla v kondenzátoru při kondenzačním provozu.

Z tohoto důvodu vznikla snaha eliminovat nutnost využívání tohoto způsobu provozu. Vzniklo proto několik návrhů s možnými technologickými provedeními akumulacních nádrží v podobě vodní atmosférické, vodní tlakové a parní. Parní akumulace byla z důvodu malé akumulacní schopnosti a menší kompatibility s horkovodní sítí vyřazena a pro další výpočty byly uvažovány pouze vodní nádrže, pro jejichž realizaci by bylo možné využít stávající předdimenzované nádrže na LTO, které byly v dřívějších dobách využívány jako zásobníky pro mazutové hořáky.

Dalším krokem bylo vytvoření odběrových diagramů, které byly vytvořeny po konzultování s odborníkem z firmy ČEZ, a.s., který byl seznámen se skutečnými hodnotami odběrů v různých obdobích roku. Pro simulaci provozu teplárny během těchto proměnných období byl vytvořen program pomocí aplikace MS Excel, díky kterému bylo možné plynule regulovat výkon všech čtyř zdrojů tepelné energie, kterými je teplárna vybavena. Díky programu bylo tedy možné optimalizovat provozní výkon pro co nejefektivnější využívání akumulacní schopnosti navržených nádrží a tím i jejich vliv na provoz celého objektu včetně finančních úspor v jednotlivých obdobích.

V závěrečné kapitole bylo nutné zhodnotit finanční návratnost obou zbývajících návrhů pomocí finančních ukazatelů NPV a IRR, díky kterým byly získány diskontované finanční toky v průběhu budoucích 10 let provozování. Každý z těchto ukazatelů podle očekávání přinesl rozdílný výsledek. Vzhledem k velkému rozdílu investičních nákladů, které tvořily 14 mil. Kč pro atmosférickou a 40 mil. Kč pro tlakovou nádrž, bylo zřejmé, že oba projekty budou velmi rozdílné. Z hlediska NPV došlo k návratnosti atmosférického řešení již po 4 letech, což je o rok kratší doba než při tlakovém řešení. To však přineslo v časovém

horizontu 10 let mnohem vyšší zisk. Z hlediska IRR byl procentuální výnos vyšší u atmosférického provedení po celou dobu sledování. Projekt atmosférické nádrže by byl vhodný v případě, že by bylo možné jej při stejných investičních nákladech realizovat dvakrát. V tomto případě dochází k limitování počtem stávajících nádrží na LTO a výstavba nových nádrží již není investičně návratná.

S ohledem na veškeré provedené výpočty a simulace byla pro realizaci a budoucí provoz doporučena tlaková varianta tlakové akumulární nádrže, která by v budoucích letech měla přinést značnou úsporu z hlediska provozních nákladů, vlivem úspory primárního paliva a lepším přizpůsobením se odběrovým požadavkům tepelné sítě pro nastávající roky.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DVORSKÝ, Emil, Pavla HEJTMÁNKOVÁ a Martin KOČMICH. Elektrárny: základy výroby elektrické energie v tepelných elektrárnách - příklady. Vyd. 1. Plzeň: ZČU, 1994, 160 s. ISBN 80-708-2133-7.
- [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] KAŠÍK, Zbyněk. *Má pára budoucnost? (I)* [online]. 10.5.2002 [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/979-ma-para-budoucnost-i>
- [4] CIKHART, Jiří. *Soustavy centralizovaného zásobování teplem*. Praha: SNTL, 1989, 555 s. ISBN 80-030-0021-1.
- [5] BAČA, Petr. *Akumulace energie z OZE: vodíkové hospodářství* [online]. 2011 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7134-akumulace-energie-z-oze-vodikove-hospodarstvi>
- [6] HORČÍK, Jan. *Setrvačnický jsou možná budoucností energetiky* [online]. 2010 [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/setrvacniky-jsou-mozna-budoucnosti-energetiky>
- [7] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle: 1. část. Kotle* [online]. 2012, č. 1 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [8] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle: 2. část. Kotle* [online]. 2012, č. 2 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [9] DVOŘÁK, Ladislav a Karel BROŽ. *Teplárenství a potrubní sítě*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00946-7.
- [10] VLACH, Josef. *Zásobování teplem a teplárenství*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN neuvedeno
- [11] 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
- [12] KARAFIÁT, Josef. *Popis systémů CZT Historie, typy a principy KVET*. [online]. s. 20 [cit. 2015-03-09].

- [13] Centrální zdroj tepla a elektřiny. *Dvůr Králové nad Labem. Vlastivědné čtení o našem městě i jeho okolí*. 1995, I/4, s. 4.
- [14] TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Podíly paliv pro výrobu tepelné energie v krajích v roce 2012* [online]. 2012 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://www.tscr.cz/?pg=0750&ta=115>
- [15] MURTINGER, Karel. Baterie a akumulátory v domácnosti: technologie baterií. [online]. 2013 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/baterie-a-akumulatory-v-domacnosti-technologie-baterii.aspx>

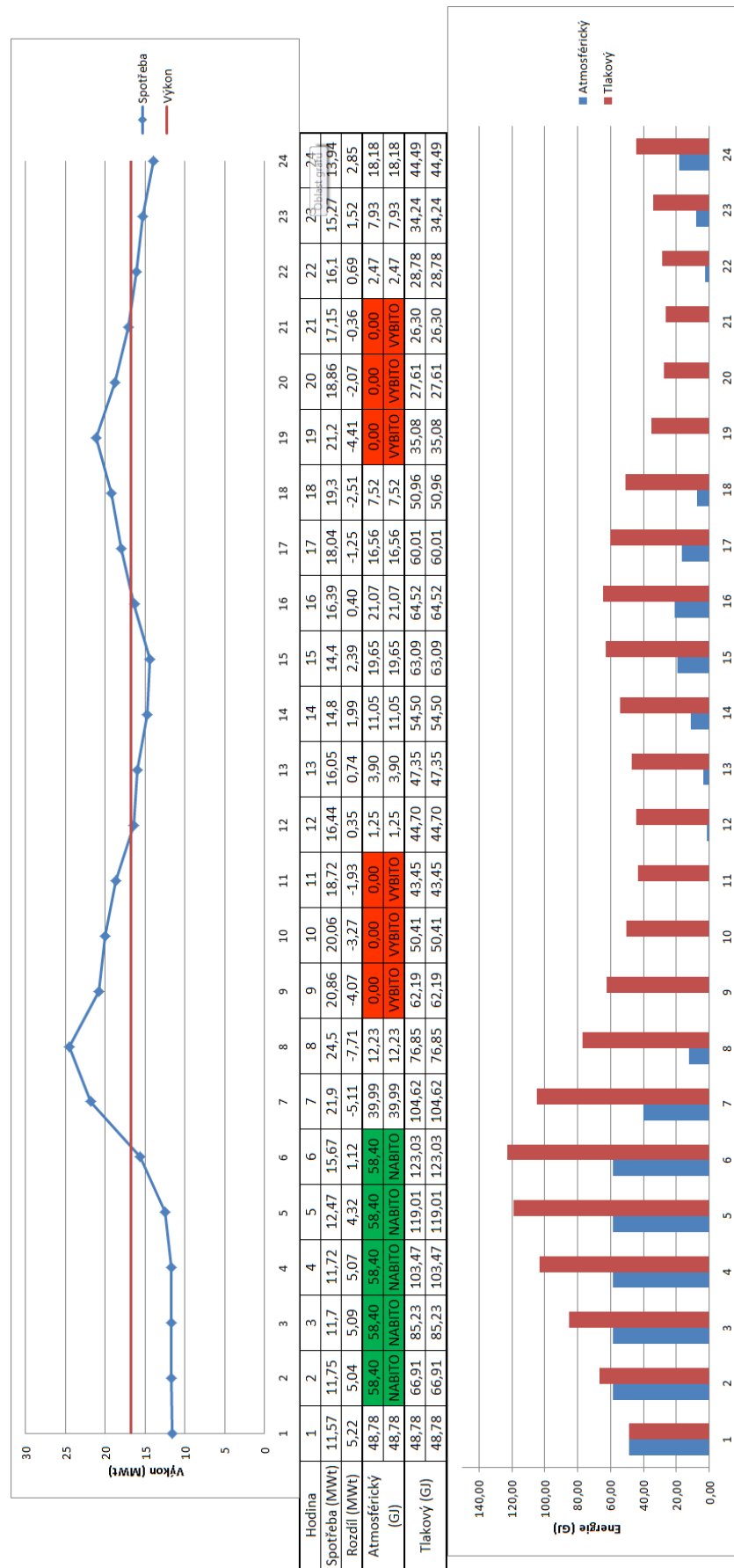
Přílohy

Stav	Kotel		Výkon (%)	Výkon (t/h)
<input checked="" type="checkbox"/>	K1	▲ ▼	66	22,11
<input type="checkbox"/>	K2	▲ ▼	70	0
<input checked="" type="checkbox"/>	P1	▲ ▼	20	0,8
<input checked="" type="checkbox"/>	P2	▲ ▼	95	2,09
				Výkon (MWt)
				2,89

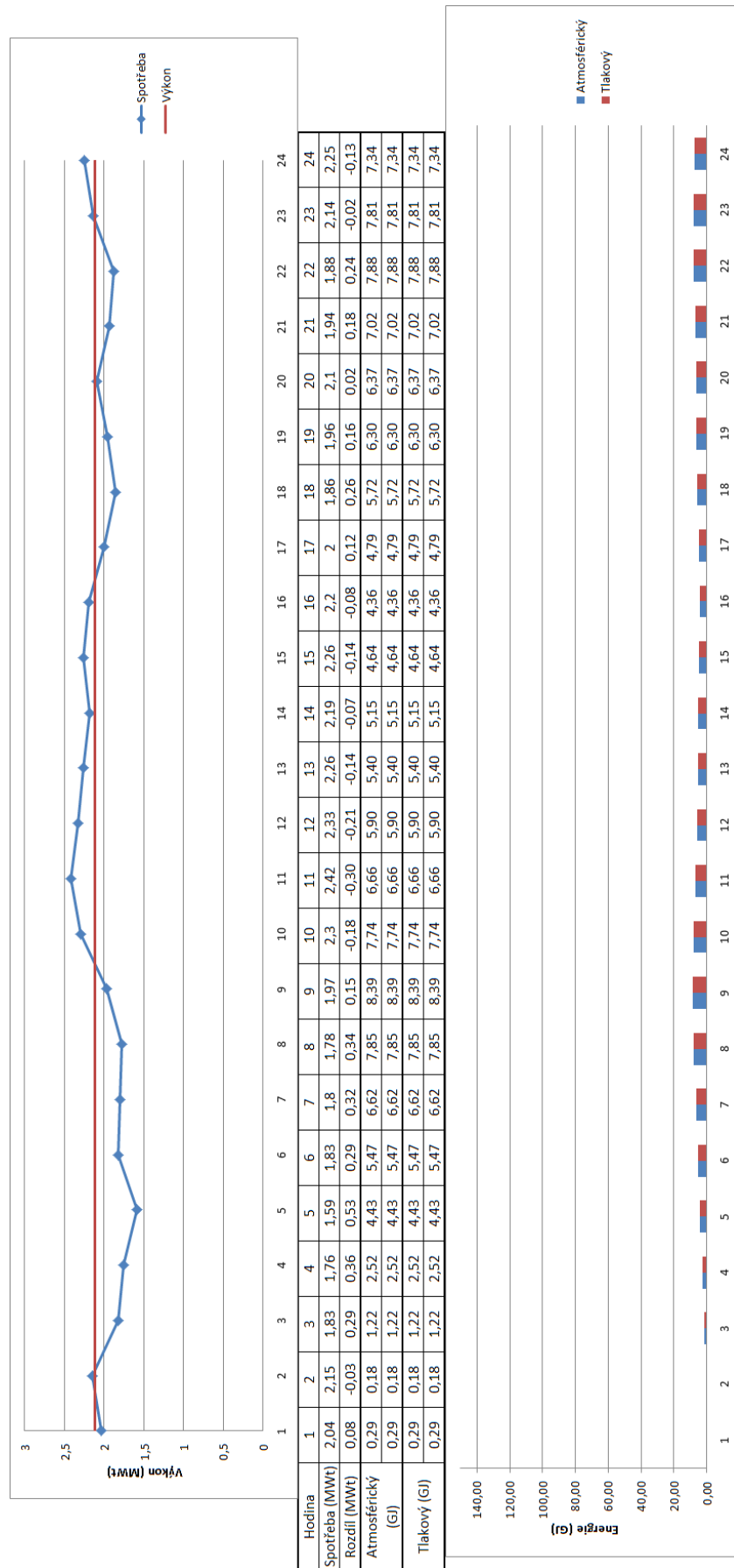
TG1	
Pára:	22,11 t/h
Teplo:	68,382 GJ
	18,995 MWht
El. Výkon	2,120 MW

Do sítě	
Pára:	22,110 t/h
Teplo:	70,837 GJ
	22,567 MWht

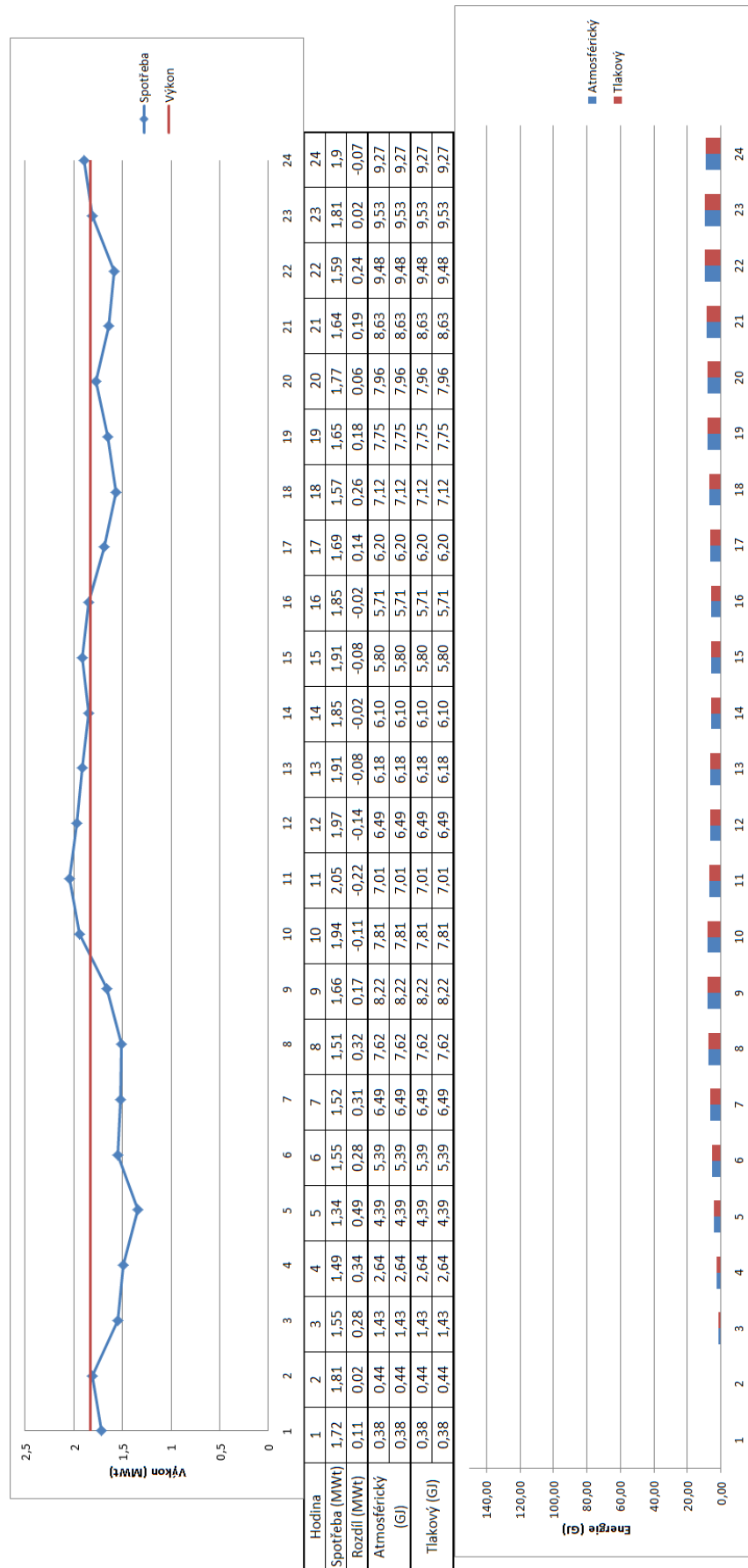
Příloha 1 - Ukázka regulace výkonu kotlů TDK



Příloha 2 - Denní diagram výkonů a provozu akumulace v zimním období



Příloha 3 - Denní diagram výkonů a provozu akumulace v letním období 1 (oba kotle)



Příloha 4 - Denní diagram výkonů a provozu akumulace v letním období 2 (jeden kotel)