

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**NÁVRH PARNÍ ODBĚROVÉ KONDENZAČNÍ
TURBÍNY V PRECHEZA, A.S.**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ PAVELKA

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Tomáš Pavelka

ID: 85055

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Návrh parní odběrové kondenzační turbíny v Precheza, a.s.

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Současná energetická situace v podniku.
2. Proces vzniku tepla při výrobě kyseliny sírové.
3. Návrh parní turbíny a výpočet tepelného schématu s využitím regenerace napájecí vody.
4. Ekonomické zhodnocení projektu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Jaromír Bok

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Tomáš Pavelka

Bytem: Lančkových 1883/15, Přerov

Narozen/a (datum a místo): 3. 5. 1985 v Hranicích, okr. Přerov

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Návrh parní odběrové kondenzační turbíny v Precheza, a.s.

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jaromír Bok

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v* :

- tištěné formě – počet exemplářů: 1
- elektronické formě – počet exemplářů: 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

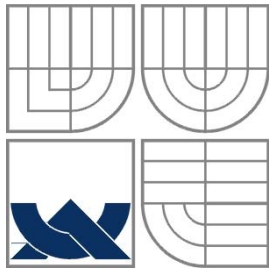
Bibliografická citace práce:

PAVELKA, T. Návrh parní odběrové kondenzační turbíny v Precheza, a.s. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2009, 63 stran. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaromír Bok.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Jaromíru Bokovi a konzultantovi diplomové práce Ing. Bohumilu Pasekovi za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Diplomová práce

Návrh parní odběrové kondenzační turbíny v Precheza, a.s.

Bc. Tomáš Pavelka

vedoucí: Ing. Jaromír Bok

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

**Design of an extraction steam
condensing turbine in the Precheza
company**

by

Bc. Tomáš Pavelka

Supervisor: Ing. Jaromír Bok

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zařízení s parní odběrovou kondenzační turbínou v akciové společnosti Precheza. V teoretické části této práce je popsána energetická situace v podniku a prvotní úvahy o využití tepla, uvolňovaného při výrobě kyseliny sírové, pro výrobu elektrické energie. Dále je uveden stručný popis výroby kyseliny sírové a základní principy výroby páry při tomto procesu. V praktické části této práce je proveden výpočet tepelného schématu parní turbíny a výpočet množství tepla a vyrobené elektrické energie při základních provozních stavech. Je uveden zdrojový kód pro výpočet tepelného schématu pomocí programu Matlab. Závěrem je uvedeno ekonomické zhodnocení celého projektu, pomocí základních ekonomických metod, jako je metoda čisté současné hodnoty nebo metoda indexu ziskovosti, včetně výpočtu doby návratnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA: kondenzační turbína, výroba kyseliny sírové, tepelný oběh, výroba páry, výroba elektrické energie, výroba tepla, ekonomické zhodnocení

ABSTRACT

This diploma thesis is concerned with the design of the machinery with an extraction steam condensing turbine in Precheza corp. The theoretical part of this thesis describes the energetical situation in the company and the primary consideration about recovery of the heat, released at sulphuric acid production, for electrical power production. There is also presented brief description of the sulphuric acid production and the fundamental principles of the steam production at this process. In the practical part of this thesis there is performed the calculation of the heat-flow diagram of the steam turbine and the calculation of heat and produced electrical power at the basic operational states. There is presented the source code for the calculation of the heat-flow diagram using Matlab software. In the end there is mentioned the economical evaluation of the whole project, using the fundamental economical methods, such as net present value method, or profitability index, including the calculation of the pay-back period.

KEY WORDS:

condensing turbine, sulphuric acid production, thermal cycle, steam production, electrical power production, heat production, economical evaluation

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	14
1 ÚVOD.....	17
2 AKCIOVÁ SPOLEČNOST PRECHEZA	18
2.1 PRINCIP VÝROBY	18
2.1.1 TITANOVÁ BĚLOBA	18
2.1.2 ŽELEZITÉ PIGMENTY	18
2.1.3 OSTATNÍ VÝROBNÍ PROCESY	19
2.2 ENERGETICKÁ SITUACE	20
2.2.1 ELEKTRICKÁ ENERGIE	20
2.2.2 TEPLA	20
2.3 PODPORA KOMBINOVANÉ VÝROBY ELEKTRINY A TEPLA	22
2.4 VÝHODY VÝROBY PÁRY A ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	23
2.4.1 SNÍŽENÍ MNOŽSTVÍ NAKUPOVANÉ ELEKTRINY	23
2.4.2 ZEFEKTIVNĚNÍ NAKLÁDÁNÍ S TEPEM	23
3 VÝROBA KYSELINY SÍROVÉ	24
3.1 SUROVINA PRO VÝROBU KYSELINY SÍROVÉ - SÍRA	24
3.2 KYSELINA SÍROVÁ A MEZIPRODUKTY PŘI JEJÍ VÝROBĚ	24
3.3 PODSTATA A ZÁKLADNÍ SCHÉMA TECHNOLOGICKÉHO PROCESU	26
3.4 VÝROBA PÁRY.....	27
3.4.1 OHŘEV A ÚPRAVA NAPÁJECÍ VODY	27
3.4.2 VÝROBA PÁRY.....	27
3.4.3 CHEMICKÁ ÚPRAVA NAPÁJECÍ VODY	28
4 NÁVRH TEPELNÉHO SCHÉMATU	29
4.1 VÝCHOZÍ ÚDAJE.....	29
4.2 TEPELNÉ BILANCE JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ OKRUHU	30
4.2.1 KONDENZÁTOR	30
4.2.2 KONDENZÁTOR PAROPROUDOVÉ VÝVĚVY (PPV).....	31
4.2.3 REGENERAČNÍ OHŘÍVÁK KONDENZÁTU (R1).....	32
4.2.4 ODPLYŇOVÁK S NAPÁJECÍ NÁDRŽÍ (O).....	34
4.2.5 REGENERAČNÍ OHŘÍVÁK PŘÍDAVNÉ VODY (R2).....	37
4.2.6 STLAČENÍ A OHŘÁTÍ NAPÁJECÍ VODY V NAPÁJEČCE	40
5 VÝPOČET VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE	42
5.1 VÝPOČET VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE V ODBĚRECH	42
5.1.1 ODBĚR 2,6 MPA	43
5.1.2 ODBĚR 0,7 MPA	43
5.1.3 ODBĚR 0,5 MPA	44

5.2	VÝPOČET VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE V REGENERACI.....	45
5.3	VÝPOČET VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE V KONDENZACI	46
5.4	OKAMŽITÝ VÝKON GENERÁTORU A MĚRNÁ SPOTŘEBA TEPLA.....	47
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	49
6.1	NÁKLADY	49
6.1.1	NÁKLADY NA VÝSTAVBU ZAŘÍZENÍ	49
6.1.2	NÁKLADY NA TEPLA PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE	49
6.1.3	OSTATNÍ NÁKLADY	50
6.2	ODPISY	50
6.3	VÝNOSY	51
6.3.1	ÚSPORA NAKUPOVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE	51
6.3.2	DOTACE NA VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE	52
6.4	ZHODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE.....	53
7	ZÁVĚR.....	57
	POUŽITÁ LITERATURA	58
	PŘÍLOHA A ZDROJOVÝ KÓD VÝPOČTU TEPELNÉHO SCHÉMATU	59
	PŘÍLOHA B TEPELNÉ SCHÉMA - MAXIMÁLNÍ ODBĚRY PÁRY	61
	PŘÍLOHA C TEPELNÉ SCHÉMA - MINIMÁLNÍ ODBĚRY PÁRY	62
	PŘÍLOHA D TEPELNÉ SCHÉMA - PRŮMĚRNÉ ODBĚRY PÁRY	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3-1: Kyselina sírová.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4-1: Tepelná bilance kondenzátoru</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 4-2: Tepelná bilance ohříváku kondenzátu.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 4-3: Tepelná bilance odplynováku s napájecí nádrží</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 4-4: Tepelná bilance ohříváku přídavné vody</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 6-1: Průběh kumulovaného diskontovaného Cash Flow za dobu odepisování zařízení.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6-2: Průběh diskontovaných příjmů za dobu odepisování zařízení</i>	<i>56</i>

SEZNAM TABULEK

TAB. 2-1: SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V LETECH 2003 – 2007 V KWH.....	20
TAB. 2-2: SPOTŘEBA TEPLA V LETECH 2003 – 2007 V GJ.....	21
TAB. 6-1: EKONOMICKÉ SHRUTÍ A URČENÍ DOBY NÁVRATNOSTI	55

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

M_e	množství emisní páry	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
M_k	množství kondenzátu	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
M_{ch}	množství chladící vody	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
i_e	entalpie emisní páry	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
p_e	tlak emisní páry	$[\text{Pa}]$
x	suchost	$[\%]$
i_k	entalpie kondenzátu	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
i_{ch1}	entalpie vstupní chladící vody	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
t_{ch1}	teplota vstupní chladící vody	$[\text{°C}]$
i_{ch2}	entalpie výstupní chladící vody	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
t_{ch2}	teplota výstupní chladící vody	$[\text{°C}]$
p_k	tlak v kondenzátoru	$[\text{Pa}]$
t_k	teplota kondenzátu	$[\text{°C}]$
t_{ko}	teplota kondenzátu po ohřátí paroproudovou vývěvou	$[\text{°C}]$
Δt_{ppv}	ohřátí kondenzátu v kondenzátoru paroproudové vývěvy	$[\text{°C}]$
i_{ko}	entalpie kondenzátu po ohřátí paroproudovou vývěvou	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
M_{k1}	množství kondenzátu po smíšení za ohřívákem kondenzátu	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
M_{p1}	množství topné páry pro ohřívák kondenzátu	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
i_{k1}	entalpie kondenzátu po smíšení za ohřívákem kondenzátu	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
p_p	tlak topné páry pro regeneraci	$[\text{Pa}]$
t_p	teplota topné páry pro regeneraci	$[\text{°C}]$
i_p	entalpie topné páry pro regeneraci	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
η_{R1}	účinnost regeneračního ohříváku kondenzátu	$[-]$
M_n	množství napájecí vody	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
M_{pv}	množství přídavné vody	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
M_{p3}	množství topné páry pro odplyňovák	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
i_n	entalpie napájecí vody před napáječkou	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
t_n	teplota napájecí vody před napáječkou	$[\text{°C}]$
i_{pv}	entalpie přídavné vody	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
t_{pv}	teplota přídavné vody	$[\text{°C}]$
η_O	účinnost odplyňováku	$[-]$
i_{nv}	entalpie dodávané vody do ohříváku přídavné vody	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$

i_{nv1}	entalpie dodávané vody (linka S1)	$[J.kg^{-1}]$
t_{nv1}	teplota dodávané vody (linka S1)	$[^{\circ}C]$
i_{nv2}	entalpie dodávané vody (linka S2)	$[J.kg^{-1}]$
t_{nv2}	teplota dodávané vody (linka S2)	$[^{\circ}C]$
M_{nv}	entalpie dodávané vody do ohříváku přídatné vody	$[kg.s^{-1}]$
M_{nv1}	množství dodávané vody (linka S1)	$[kg.s^{-1}]$
M_{nv2}	množství dodávané vody (linka S2)	$[kg.s^{-1}]$
M_{p2}	množství topné páry pro ohřívák přídatné vody	$[kg.s^{-1}]$
η_{R2}	účinnost regeneračního ohříváku přídatné vody	$[-]$
p_n	výtlačný tlak napáječky	$[Pa]$
i_a	entalpie admisní páry	$[J.kg^{-1}]$
p_a	tlak admisní páry	$[Pa]$
t_a	teplota admisní páry	$[^{\circ}C]$
p_1	tlak v sacím hrdle napáječky	$[Pa]$
i_{ns}	entalpie napájecí vody za napáječkou bez uvažování účinnosti	$[J.kg^{-1}]$
Δi_{ns}	vzrůst entalpie v napáječce bez uvažování účinnosti	$[J.kg^{-1}]$
Δi_n	skutečný vzrůst entalpie v napáječce	$[J.kg^{-1}]$
i_{nvs}	skutečná entalpie napájecí vody za napáječkou	$[J.kg^{-1}]$
t_{nvs}	teplota napájecí vody za napáječkou	$[^{\circ}C]$
Q_o	množství tepla do odběru o	$[J.s^{-1}]$
M_o	množství páry do odběru o	$[kg.s^{-1}]$
i_o	entalpie páry v odběru o	$[J.kg^{-1}]$
Q_{eo}	množství tepla pro výrobu elektrické energie v odběru o	$[J.s^{-1}]$
P_o	elektrický výkon z odběru o	$[W]$
η_m	mechanická účinnost turbíny	$[-]$
η_g	účinnost generátoru	$[-]$
η_{td}	termodynamická účinnost turbíny	$[-]$
Q_{reg}	množství tepla do regenerace	$[J.s^{-1}]$
Q_{ereg}	množství tepla pro výrobu elektrické energie v regeneraci	$[J.s^{-1}]$
P_{reg}	elektrický výkon z odběru pro regeneraci	$[W]$
Q_e	množství tepla do kondenzace	$[J.s^{-1}]$
Q_{ee}	množství tepla pro výrobu elektrické energie v kondenzaci	$[J.s^{-1}]$
P_e	elektrický výkon z kondenzace	$[W]$

P_{celk}	okamžitý výkon generátoru	[W]
Q_{celk}	teplo pro výrobu elektrické energie a do kondenzace	[J.s ⁻¹]
q	měrná spotřeba tepla pro výrobu elektrické energie	[J.s ⁻¹ .W ⁻¹]
K_i	náklady na realizaci projektu	[CZK]
N_q	měrná cena tepla	[CZK.GJ ⁻¹]
N_Q	náklady na teplo pro výrobu elektrické energie	[CZK.rok ⁻¹]
N_m	náklady na mazadla a oleje	[CZK.rok ⁻¹]
N_{ov}	náklady na odpar vody	[CZK.rok ⁻¹]
N_u	náklady na opravy a údržbu zařízení	[CZK.rok ⁻¹]
N_{ost}	ostatní náklady	[CZK.rok ⁻¹]
ROS_1	roční odpisová sazba pro první rok provozu	[%.rok ⁻¹]
ROS_2	roční odpisová sazba pro další roky provozu	[%.rok ⁻¹]
N_{odp1}	hodnota odpisu pro první rok provozu	[CZK.rok ⁻¹]
N_{odp2}	hodnota odpisu pro další roky provozu	[CZK.rok ⁻¹]
W_e	množství vyrobené elektrické energie	[MWh.rok ⁻¹]
T_r	fond roční pracovní doby	[hod.rok ⁻¹]
U_n	cena za uspořený nákup elektrické energie	[CZK.MWh ⁻¹]
U_{ss}	úspora ceny za systémové služby	[CZK.MWh ⁻¹]
U_{ps}	úspora ceny za použití sítí	[CZK.MWh ⁻¹]
U_e	celková úspora za uspořenou elektrickou energii	[CZK.MWh ⁻¹]
U	roční úspora nákladů	[CZK.rok ⁻¹]
DOT	roční výše dotací na výrobu elektrické energie	[CZK.rok ⁻¹]
KOG	dotace na kombinovanou výrobu elektřiny a tepla	[CZK.MWh ⁻¹]
DZ	dotace na výrobu elektřiny z druhotných zdrojů	[CZK.MWh ⁻¹]
Z	roční hodnota zisku projektu	[CZK.rok ⁻¹]
Z_d	roční hodnota zisku projektu po zdanění	[CZK.rok ⁻¹]
P	peněžní příjem z projektu	[CZK.rok ⁻¹]
P_A	peněžní příjem z projektu aktualizovaný	[CZK.rok ⁻¹]
n	rok provozu zařízení	[-]
$CF_{\text{disk/kum}}$	diskontovaný kumulovaný Cash Flow	[CZK]
PI	index ziskovosti	[-]
NPV	čistá současná hodnota	[-]

1 ÚVOD

Problematika druhotných zdrojů energie a využívání alternativních prostředků pro získávání elektrické energie je dnes často zmiňovaným tématem na poli mnoha energetických studií a úvah. Při stále se snižujících zásobách fosilních paliv a rostoucích cenách všech primárních zdrojů energie se začíná uvažovat o alternativních zdrojích, které by byly alespoň z části schopné nahradit klasické zdroje energie. Také na spotřebitele je z ekonomických důvodů kladen důraz na co možná nejlepší hospodaření s energií. Pro ty je proto důležité nejen požadavky na energii minimalizovat, ale také zajistit jejich co nejlepší využití při výrobních procesech. Je však otázkou, jestli je toto lepší využití energie skutečně přínosné z ekologického, ale také z ekonomického hlediska. Proto je nutno každou takovou variantu důkladně zvážit, zhodnotit a rozhodnout se, zdali je opravdu prospěšné tuto variantu uskutečnit v reálné podobě.

V této diplomové práci se budu zabývat návrhem turbíny, potažmo návrhem celého tepelného schématu parní kondenzační odběrové turbíny pro využití zbytkového tepla při výrobě kyseliny sírové v akciové společnosti Precheza v Přerově. Při dnešním růstu cen energie je to důležitou možností úspory nákladů a současně zvýšení efektivity výroby. Jelikož při dílčí výrobě v podniku, při výrobě kyseliny sírové, vzniká značné množství tepla, lze toto uvolněné teplo použít nejen jako zdroj tepla, popř. technologické páry pro vytápění a výrobní procesy v závodě, ale lze jej využít i pro výrobu elektrické energie. Výhodou této možnosti jsou konstantní parametry páry a konstantní rozložení výroby páry v průběhu roku při provozu na jednotce pro výrobu kyseliny sírové.

V teoretické části práce se zaměřím na představení akciové společnosti Precheza, na základní schéma její výroby, její výrobky a na představení principu výroby kyseliny sírové, která je v Precheze vyráběna a zároveň také z větší části spotřebovávána při ostatních výrobních procesech. Uvedu zde princip výroby páry při procesu výroby kyseliny sírové. Dále se zaměřím na fakta, která vedou k myšlence na vybudování takového zdroje pro výrobu elektrické energie.

V praktické části této práce je proveden výpočet dílčích částí tepelného schématu, jednotlivé množství topné páry pro regeneraci napájecí vody, množství chladicí vody pro kondenzátor. Dále je uveden výpočet vyrobené elektrické energie v jednotlivých odběrech, v regeneraci a v kondenzaci. Uveden je okamžitý výkon tepelného oběhu při zvolených provozních stavech, včetně výpočtu tepelného výkonu v jednotlivých částech a pro tyto stavy také měrné spotřeby tepla na výrobu elektrické energie. Pro účely výpočtu je sestaven m-soubor pro výpočet tepelného schématu v programu Matlab, jehož zdrojový kód je uveden v příloze.

Jedním z cílů této práce je posouzení investice do tohoto zařízení. Poslední část této diplomové práce se proto zabývá ekonomickým zhodnocením celého projektu. To je důležité pro rozhodnutí, zda je investice do daného zařízení rentabilní. Je vypočtena celková částka, kterou projekt za dobu svého odepisování vydělá. Ve výpočtu je samozřejmě zahrnuto zdanění příjmů z tohoto projektu, stejně jako požadovaná výnosnost projektu. Je také provedeno zhodnocení projektu metodou indexu ziskovosti a metodou čisté současné hodnoty. Důležitým aspektem je také doba návratnosti investice, která je taktéž uvedena.

2 AKCIOVÁ SPOLEČNOST PRECHEZA

Firma Precheza a. s. je jednou ze společností ve skupině Agrofert holding a. s. Zaměřuje se na chemickou výrobu, jež má v Přerově více než stoletou tradici. Společnost Precheza a.s. vznikla dne 26. února 1991 z bývalých Přerovských chemických závodů Přerov. Do obchodního rejstříku byla zapsána dne 25. března 1991. Hlavní náplní činnosti společnosti je výroba a prodej produktů anorganické chemie, včetně výrobků zpracovatelských, navazujících doplňkových a pomocných výrob, prodej licence na výrobu titanové běloby. Precheza je největším výrobcem anorganických pigmentů v České republice. Podnik se zabývá výrobou kyseliny sírové, která je jednou ze základních surovin při výrobě titanové běloby. Přibližně 80 % produkce kyseliny sírové je spotřebováno při výrobě titanové běloby a zbývající množství je expedováno. Hlavním výrobním a obchodním prostředkem společnosti je v současné době titanová běloba. Ta představuje podíl na obratu přibližně 86 %. Zbylou část obratu tvoří výroba železitých pigmentů (12 %), výroba kyseliny sírové (1 %) a výroba ostatních chemikálií. Z celkového objemu chemických produktů je asi 85 % exportováno.

2.1 Princip výroby

2.1.1 Titanová běloba

Surovinou pro výrobu titanové běloby sulfátovým způsobem je nerost ilmenit. Chemicky jde o směs oxidů, především titanu a železa. Technologie výroby titanové běloby je založena na rozkladu nerostu ilmenitu kyselinou sírovou. Tento postup je nazýván tzv. sulfátovou technologií. Ilmenit se mele, suší a poté se rozkládá koncentrovanou kyselinou sírovou. Rozkladná hmota je po dozrání a ochlazení rozpuštěna vodou. Vzniklý roztok se redukuje, pak čířením zbaví nerozpustných částic a dále je ochlazen, čímž dojde k vyloučení železa ve formě krystalické zelené skalice. Ta je oddělena na odstředivkách. Následuje hydrolyza, při níž se vyloučí amorfní vločky oxidu titaničitého, které však ještě nemají požadované fyzikální vlastnosti. Proto se vzniklá suspenze oxidu ve dvou stupních s vloženým bělením promývá a po přidavku dalších potřebných chemikálií a zahuštění žihá při teplotě přes 800°C v kalcinační peci, čímž se vytvoří částice použitelného pigmentu ve dvou základních druzích - anatas a rutil. Kalcinát se mele na částice, které je možno přímo používat, ale větší část produkce je tzv. povrchově upravována. Při této operaci se ve vodní suspenzi váží na povrch částic TiO₂ další chemikálie, které zlepšují některé fyzikální vlastnosti, především povětrnostní odolnost a dispergovatelnost.

Výrobní titanové běloby byla uvedena do provozu v roce 1968. Kapacita výroby byla 22 000 t/rok. V letech 1981 - 1984 byla za provozu realizována rozsáhlá rekonstrukce výroby, jejímž výstupem bylo mimo jiné zvýšení kapacity výroby na 25 500 t/rok. V období 1998 - 2000 byla provedena intenzifikace na 35 000 t/rok.

2.1.2 Železité pigmenty

Železité červeně se vyrábějí ze zelené skalice - vedlejšího produktu z výroby titanové běloby. Technologie výroby železitých červení je založena na termickém rozkladu zelené skalice. Zelená skalice se nejprve v dehydratační peci zbaví části krystalové vody, pak se žihá v kalcinační peci, kde vznikají částice pigmentového oxidu železitého.

Plyny z kalcinace s obsahem oxidů síry se zpracovávají na K-systému na 78 % kyselinu sírovou. Kalcinát se v několika stupních promývá, odtřídí se podíly s nepigmentovými vlastnostmi a po částečném odvodnění na filtrech se vysuší, mele a před balením zhomogenizuje. Menší část produkce železitých pigmentů je povrchově upravována pro zlepšení aplikačních vlastností. Ve stadiu výzkumu a vývoje je výroba nepřímo kalcinovaných železitých červení. Cílem je zvýšení kapacity výroby, zvýšení zpracování zelené skalice a zavedení výroby vysoce kvalitních pigmentů.

Výroba železitých pigmentů je v a.s. Precheza v provozu od roku 1968. V letech 1988 - 1989 byla provedena rekonstrukce a intenzifikace základních souborů výrobní, čímž došlo ke zvýšení kapacity na 11 000 t/rok termických železitých červení.

Část vyráběné železité červeně je využívána pro výrobu tzv. standardizovaných pigmentů různých odstínů.

2.1.3 Ostatní výrobní procesy

V závěru roku 1993 byl vyráběný sortiment železitých pigmentů rozšířen o směsné železité hnědé, v roce 1994 byla zavedena do výroby železitá čern, v roce 1997 pak železité žlutě s celkovou kapacitou cca 2 500 t těchto pestrých pigmentů.

Pro zvýšení zužitkování zelené skalice byla v roce 1994 zrealizována linka na mletí a balení monohydrátu síranu železnatého (obchodní název Monosal), která se postupně doplňuje a rozšiřuje. Na tomto zařízení je dehydratovaná zelená skalice, odvětvovaná z linky na výrobu železitých červení, upravována z hlediska požadavků odběratelů na granulometrii a expedována v obřích vacích, v pytlech na paletách nebo v autocisternách. Současná kapacita linky je cca 11 000 t/rok.

Vedle ilmenitu je druhou základní surovinou při výrobě titanové běloby kyselina sírová. Ta je v Precheza a.s. vyráběna z tekuté síry ve výrobně kyseliny sírové. Tato jednotka zahájila výrobu v roce 1962 s roční kapacitou 100 000 t. V roce 1989 byla provedena rozsáhlá rekonstrukce. Cca 80 % produkce kyseliny sírové je spotřebováno při výrobě titanové běloby, zbývající množství je expedováno.

V procesu výroby titanové běloby vznikají jako vedlejší produkty zelená skalice a odpadní vody s obsahem především kyseliny sírové. Zelená skalice je zčásti zpracovávána na železité pigmenty a monohydrát síranu železnatého a část je prodávána, přičemž největším odběratelem je akciová společnost Kemifloc. Přejedem na zpracování ilmenitu s nižším obsahem železa byla snížena produkce zelené skalice a spolu se zvýšením kapacity jejího zpracování v Precheze je zabezpečeno její komplexní využití i po zvýšení výroby titanové běloby.

Zpracování dřívě ukládané zelené skalice je zabezpečováno ve výrobně železitých koagulantů dceřiné firmy Kemifloc a.s. Přerov.

Odpadní kyselina sírová je zpracovávána na neutralizační lince tak, že volná H_2SO_4 je neutralizována vápencem a zbývající sírany pak vápnem. Výstupem je bílý sádrovec Pregips, využívaný ve stavebnictví pro výrobu cementu nebo sádry a hnědý sádrovec Prestab - granulát aditivovaný pro technickou rekultivaci. Kapacita bílého sádrovce je 60 000 - 80 000 t/rok; hnědého rekultivačního sádrovce přibližně stejné množství.

2.2 Energetická situace

2.2.1 Elektrická energie

Pro potřeby podniku z hlediska elektrické energie je dodavatelem ČEZ Prodej s.r.o. Elektrická energie je odebírána z distribuční sítě dodavatele 110 kV. Z této hladiny je energie transformována na 22 kV prostřednictvím transformovny VVN/VN (110/22 kV) v areálu společnosti Přerovské strojírný Přerov, a.s. V rámci vlastního areálu podniku Precheza je elektrická energie vedena kabely 6 kV z vlastních trafostanic po energomostech. Jak je vidět v tabulce, množství spotřebované elektrické energie průběžně roste, ovšem taktéž roste cena této energie. To mimo jiné vede k myšlence pokrytí části spotřebované elektrické energie výrobou z vlastních zdrojů, které budou využívat „odpadní teplo“ vzniklé při výrobě kyseliny sírové.

Množství nakoupené elektrické energie je uvedeno v tab. 2-1.

Tab. 2-1: Spotřeba elektrické energie v letech 2003 – 2007 v kWh

	2003	2004	2005	2006	2007
leden	5464110	5624400	5418600	5942000	5899521
únor	4875330	5233000	5144900	5400375	5381959
březen	5221220	5520639	5500900	5820190	5267129
duben	4472510	5323568	5296000	4891815	5287244
květen	4522800	5439900	5548800	5636047	5600875
červen	4940390	5273000	5420600	5586741	5640204
červenec	5292680	5439400	5639600	5553074	5857873
srpen	4255990	5331300	5714875	3568563	5875749
září	4709190	1100384	5423900	5633112	5745724
říjen	5331060	3973288	5796600	5970107	5413553
listopad	5163140	5463800	4761900	6047851	5692577
prosinec	5507970	5627100	5717000	6175361	5956440
suma	59758393	59351783	65385680	66227242	67620855

2.2.2 Teplo

Pro potřeby podniku je potřeba poměrně značné množství tepla. Dodávka tepla je uskutečňována ze dvou na sobě nezávislých zdrojů.

Jako první zdroj tepla se využívá dodávek od nedaleké firmy Dalkia Česká republika a.s. – divize Přerov. Tato společnost dodává teplo ve formě páry, a to na dvou tlakových hladinách – 0,9 a 2,0 MPa. Jako přejímací uzel slouží předávací stanice páry, která je umístěna v areálu společnosti.

Jako druhý zdroj tepla je využito teplo, vznikající při procesu výroby kyseliny sírové, který je ve všech svých základních etapách silně exotermický. Tato pára může být použita pro technologické procesy při výrobě, ale i pro podružné systémy, jako vytápění apod. Pro sjednocení tlakových hladin je tato opět vyráběna do dvou tlakových hladin – 0,9 a 2,0 MPa. Snahou společnosti je pokrýt co nejvíce dodávek tepla právě z vlastních zdrojů a minimalizovat závislost na dodávkách tepla od jiných producentů.

Pára je po areálu závodu rozváděna stejně jako elektrická energie na energomostech, z jednotky na výrobu kyseliny sírové je však pára rozváděna izolovaným potrubím v zemi. Taktéž topná voda a TUV je rozvedena k místům spotřeby předizolovaným potrubím v zemi.

Situace se spotřebou tepla za posledních pět let je znázorněna v tab. 2-2.

Tab. 2-2: Spotřeba tepla v letech 2003 – 2007 v GJ

	2003				2004			
	Dalkia 0,9	Dalkia 2,0	Prech 0,9	Prech 2,0	Dalkia 0,9	Dalkia 2,0	Prech 0,9	Prech 2,0
leden	38565	806	11083	38633	31893	0	16419	30897
únor	35880	0	14784	32191	32334	0	13676	29638
březen	25835	0	18248	33234	24289	0	17980	31015
duben	24312	14333	9310	19582	14590	0	18633	31080
květen	15042	14223	10865	21763	10501	0	19743	31981
červen	6048	0	18292	26978	7091	0	19230	32379
červenec	5369	0	22367	30810	6772	0	13791	35491
srpen	4211	0	17492	30527	10371	3485	14594	31371
září	16333	0	12242	28138	1701	14241	0	0
říjen	21172	0	14377	29940	10832	868	16310	19073
listopad	17445	0	19538	29755	19358	0	27587	25600
prosinec	23665	0	21635	31138	26144	245	20611	34789
suma	233877	29362	190233	352689	195876	18839	198574	333314
	2005				2006			
	Dalkia 0,9	Dalkia 2,0	Prech 0,9	Prech 2,0	Dalkia 0,9	Dalkia 2,0	Prech 0,9	Prech 2,0
leden	27066	0	15538	31616	35948	0	16083	34416
únor	33547	0	6960	32185	25508	0	17961	32653
březen	28548	0	10721	30422	28903	0	15098	35511
duben	15163	0	19081	31976	13262	0	21674	31782
květen	16137	0	13782	34394	17909	0	14398	35654
červen	8397	719	19267	31349	11056	0	19214	32245
červenec	6992	0	18560	33126	5576	0	21193	33522
srpen	12805	0	14461	36182	12479	26500	2348	0
září	15471	0	12266	33456	7851	2414	24031	29980
říjen	23334	0	12291	38763	9861	0	24919	33623
listopad	25303	0	14715	31973	19028	149	20650	35894
prosinec	32291	869	15527	31460	19408	160	24177	34127
suma	245054	1588	173169	396902	206789	29223	221746	369407
	2007							
	Dalkia 0,9	Dalkia 2,0	Prech 0,9	Prech 2,0				
leden	14143	0	29402	28311				
únor	15706	835	22028	30535				
březen	14168	191	22737	31719				
duben	12139	0	21838	31268				
květen	10337	6623	18684	22093				
červen	6056	0	20658	32484				
červenec	8151	0	20005	34728				
srpen	5209	0	24240	30390				
září	9264	0	23972	30272				
říjen	12341	0	23518	32013				
listopad	14582	893	23638	30101				
prosinec	27538	0	17402	36265				
suma	149634	8542	268122	370179				

Každý rok je rozdělen na čtyři sloupce. V nich je množství dodaného tepla uvedeno po jednotlivých měsících a také sumace za celý rok. Jednotlivé sloupce označují dodané teplo od společnosti Dalkia ve formě páry na tlakové úrovni 0,9 MPa, resp. 2,0 MPa (v tab. Dalkia 0,9,

resp. 2,0) a teplo ve formě páry vyrobené při výrobě kyseliny sírové ve společnosti Precheza na tlakových úrovních 0,9 MPa a 2,0 MPa (v tab. uvedeno jako Prech 0,9 a Prech 2,0).

2.3 Podpora kombinované výroby elektřiny a tepla

Pro elektřinu vyrobenou z kombinované výroby elektřiny a tepla a z druhotných zdrojů energie je zavedena podpora ve formě příspěvků na každou vyrobenou MWh v takovémto provozu.

Příspěvek k ceně elektřiny je stanoven jako pevná cena podle zvláštního právního předpisu (zákon č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů).

Výrobce elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla s celkovým instalovaným výkonem výroby elektřiny nad 5 MW_e, s výjimkou výroby využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn, účtuje územně příslušnému provozovateli regionální distribuční soustavy nebo provozovateli přenosové soustavy, pokud je k přenosové soustavě připojen, příspěvek k ceně elektřiny 45 Kč/MWh za každou vykázanou MWh vyrobené elektřiny podle zvláštního právního předpisu (vyhláška č. 439/2005 Sb., kterou se stanoví podrobnosti způsobu určení množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla a určení množství elektřiny z druhotných energetických zdrojů) jako podporu pro elektřinu vyrobenou v kombinované výrobě elektřiny a tepla.

Pro elektřinu vyrobenou spalováním druhotných energetických zdrojů platí navíc tyto pevné ceny a určené podmínky: Příspěvky k ceně elektřiny jsou stanoveny jako pevné ceny podle zvláštního právního předpisu (zákon č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů).

Výrobce elektřiny při spalování druhotných energetických zdrojů, s výjimkou spalování degazačního plynu, účtuje územně příslušnému provozovateli regionální distribuční soustavy nebo provozovateli přenosové soustavy, pokud je k přenosové soustavě připojen, příspěvek k ceně elektřiny 45 Kč/MWh za každou vykázanou MWh vyrobené elektřiny podle zvláštního právního předpisu (vyhláška č. 439/2005 Sb., kterou se stanoví podrobnosti způsobu určení množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla a určení množství elektřiny z druhotných energetických zdrojů) jako podporu pro využívání druhotných zdrojů energie s výjimkou spalování degazačního plynu. [7]

2.4 Výhody výroby páry a elektrické energie

2.4.1 Snížení množství nakupované elektřiny

Při dnešních cenách elektrické energie a jejich předpokládaném růstu se jeví výroba elektrické energie vlastními prostředky jako dobrá volba. Vzhledem k potřebě podniku vyrábět páru pro vytápění a vlastní technologické procesy, která je nutná pro výrobu elektrické energie v kondenzační turbíně by výroba vlastní elektrické energie snížila náklady na nakupovanou elektřinu. Jak je vidět v tabulce 2-1, spotřeba elektrické energie meziročně v závodu stále roste. Výroba vlastní elektrické energie by mohla z části pokrýt potřeby podniku. Navíc při vhodném sestavení tepelného schématu se může vcelku dobře při potřebě většího množství páry pro technologické účely regulovat průchod páry turbínou pomocí odběrů nebo popřípadě už před turbínou a průchodem přes redukční stanice.

2.4.2 Zefektivnění nakládání s teplem

Jak popíšu dále, výroba kyseliny sírové je proces, při kterém se uvolňuje značné množství tepla. Toto teplo se dá velmi dobře pomocí parního kotle použít pro výrobu páry, která ovšem nemá pro výrobu elektrické energie ideální parametry. Pomocí systému regenerace napájecí vody a přehřívání páry se parametry ovšem dají ovlivnit do té míry, že je možné tuto páru pro výrobu elektrické energie pomocí parní kondenzační odběrové turbíny využít. Regenerace napájecí vody a přehřívání páry je prováděno pomocí tepelných výměníků na různých úrovních výroby kyseliny sírové, které mají odlišné parametry (teplota média, množství média) a tudíž i rozdílné možnosti pro výměnu tepla s vodou, resp. párou v tepelném oběhu. Výhodou páry vyrobené za jednotkou na výrobu kyseliny sírové jsou její konstantní parametry během celého roku. Pouze jednou ročně dochází k revizi jednotky a to na relativně krátkou dobu. Celková doba provozu během roku by tedy byla asi 8400 hod/rok.

3 VÝROBA KYSELINY SÍROVÉ

3.1 Surovina pro výrobu kyseliny sírové - síra

Síra je nejvýhodnější surovinou pro výrobu kyseliny sírové. Její nevýhodou je pouze to, že její naleziště nestačí zdaleka pokrýt její světovou spotřebu. Nejstaršími známými ložiska síry byla povrchová ložiska síry na Sicílii, ke kterým na přelomu 19. a 20. století přibyla severoamerická ložiska v Louisianě. Při těžbě síry v Severní Americe, která byla pod povrchem, byla uplatňována Fraschova metoda. Ta spočívá v zavádění horké páry do ložiska, ve kterém se síra roztaví a horkou tlakovou vodou se poté potrubím vytlačí na povrch země.

Monopolní postavení těchto dvou uvedených nalezišť bylo ukončeno objevením síry v Mexiku a získáváním elementární síry ze sirovodíku obsaženého v zemních plynech těžených v Lacq ve Francii. V 50. letech 20. století byla objevena mohutná ložiska síry také v Polsku.

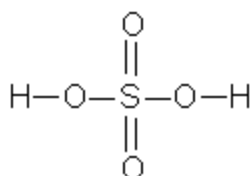
Výhodnost síry jako suroviny pro výrobu kyseliny sírové spočívá v tom, že prázdný plyn nevyžaduje nákladné čištění před dalším zpracováním. Tím se rapidně snižují investiční náklady i provozní náklady na vyrobené množství kyseliny sírové a daný proces je možné zautomatizovat poměrně levně. Při výrobě také nevznikají výpražky, tudíž je mnohem lepší i hygiena a čistota pracovního prostředí.

Mimo přírodní síru a síru vyrobenou ze sirovodíku je na trhu také malé množství síry, která vzniká jako odpad při různých chemických procesech. Tato se nazývá síra plynárenská. Tato surovina však bývá méně kvalitní a její zpracování je bez důkladného a nákladného čištění nemožné. Kvalitu síry pro zpracování zhoršuje i malý obsah arsenu, selenu, uhlovodíků, velký obsah popela a kyselost. [1]

V a.s. Precheza se používá výhradně síra získaná jako odpadní surovina při rafinaci ropy, což umožňuje považovat tuto výrobu elektrické energie jako výrobu z druhotných zdrojů.

3.2 Kyselina sírová a meziprodukty při její výrobě

Kyselina sírová patří k velmi stabilním sloučeninám šestimocné síry se vzorcem H_2SO_4 . Strukturně ji lze zobrazit následovně.



Obr. 3-1: Kyselina sírová

Molekulová hmotnost kyseliny sírové je 98,08. Vzniká sloučením oxidu sírového s vodou za značného uvolňování tepla. Jelikož je výroba kyseliny sírové silně exotermní proces, můžeme ji považovat za vysoce stabilní sloučeninu, protože pro její rozložení je potřebné dodat velké

množství tepla. Oxid sírový vzniká oxidací oxidu siřičitého, taktéž za uvolnění tepla. Oxid siřičitý produkujeme spalováním síry, jak bude uvedeno dále.

Oxid siřičitý je bezbarvý plyn poněkud těžší než vzduch, tlakem při normální teplotě je jej možno zkapalnit. S vodou dává slabé roztoky kyseliny siřičité H_2SO_3 , které lze varem úplně rozložit. V kyselině sírové se rozpouští jen velmi málo. Jeho rozpustnost klesá se stoupající koncentrací roztoku kyseliny sírové a s teplotou. Má redukční vlastnosti, kterých se využívá k bělení různých látek. Jeho zápach je pronikavě dusivý a již v malých koncentracích vyvolává silné podráždění horních cest dýchacích a očních spojivek. I když je jedovatý, nepůsobí obvykle akutní otravy, protože je tak dráždivý, že se jeho přítomnost velmi rychle zjistí. Nebezpečné je však jeho dlouhodobé působení v malých zředěních, hlavně pro rostlinnou vegetaci. Je stálý a jeho další oxidace je obtížná. Lze ji urychlit oxidačními činidly nebo katalytickým účinkem kovů a jejich oxidů.

Oxid sírový je tuhá látka podobná ledu nebo plstnaté hmotě, která již při teplotě kolem $17\text{ }^\circ\text{C}$ přechází do kapalného stavu. Vře při teplotě $45 - 46\text{ }^\circ\text{C}$. V plynné formě je bezbarvý, značně dýmá, neboť pohlcuje vodní páry z ovzduší a slučuje se na mlhu kyseliny sírové. Jeho hygroskopické vlastnosti jsou tak mohutné, že dovede odebírat vodík a kyslík v ekvivalentním poměru H_2O většině organických látek, které tím zuhelňuje. Rychlost reakce a vývin tepla způsobuje, že při zavádění oxidu sírového do vody vznikne mlha kyseliny sírové, která je již těžko zachytitelná. Proto se k jeho absorpci používá kyseliny sírové, ve které se rozpouští i ve velkém přebytku. Schopnosti oxidu sírového k tvorbě mlhy se využívá k umělému zamlžování. I když vzniklá kyselina v používané koncentraci není jedovatá, působí rovněž dráždivě na sliznice i pokožku, které naleptává.

Kyselina sírová se mísí s vodou v každém poměru. Stoprocentní kyselina sírová - též monohydrát - je hutná olejovitá kapalina hustoty $1,8\text{ g/cm}^3$. Je bezbarvá a bez zápachu. Technická kyselina bývá zbarvena do hněda a je slabě cítit oxidem siřičitým. Při jejím mísení s vodou se uvolňuje značné množství tepla, které může vést až k explozi. Chemicky aktivní je nejvíce ve zředěné formě (do 60 %), kdy rozkládá většinu solí a slučuje se přímo s kovy za vzniku síranů a uvolňování vodíku. V koncentrované formě je silně hygroskopická, absorbuje vlhkost z ovzduší i plynů, organické látky zuhelňuje. Na tyto vlastnosti je třeba dát pozor, zůstane-li koncentrovaná kyselina delší dobu v klidu v otevřené ocelové nádobě. Na její hladině nebo i v celém objemu nastane vlivem vlhkosti z ovzduší zředění na aktivní koncentraci. Železo nádoby se rozpouští za vzniku vodíku, který se vzduchem tvoří třaskavou směs.

Kyselinu sírovou lze rovněž koncentrovat odpařováním. Maximální koncentrace kyseliny sírové, které lze teoreticky dosáhnout, je 98,3 %. Tento roztok má nejvyšší teplotu bodu varu a páry obsahují kyselinu sírovou a vodu v témže poměru. Při vyšší koncentraci stoupá množství uvolňovaného oxidu sírového v parách rychleji než obsah vody za současného poklesu bodu varu. Ačkoliv se běžně používá roztoků kyseliny sírové s větším obsahem oxidu sírového, lze je připravit pouze zaváděním oxidu sírového do kyseliny sírové. Vzniká dýmavá kyselina sírová, neboli oleum, která mimo dříve uvedené vlastnosti má i vysoké oxidační účinky. V obchodním měřítku máme celou řadu druhů kyseliny sírové. Hodnocení se provádí jednak z hlediska čistoty, jednak z hlediska koncentrace. Velmi často se obě hlediska prolínají a doplňují. [1]

3.3 Podstata a základní schéma technologického procesu

Podstatu technologie výroby kyseliny sírové kontaktním způsobem lze popsat níže uvedenými chemickými reakcemi:

- spalování síry:



- katalytická oxidace SO_2 :



- absorpce SO_3 v absorpční kyselině sírové s chemickou reakcí:



Spalování síry podle rovnice (3.1) je děj, při kterém se uvolňuje značné množství tepla. [2]

V podmínkách provozované technologie se siřičitý plyn získává spalováním roztavené elementární síry v přebytku sušeného vzduchu. Proces se vede tak, aby se koncentrace SO_2 v siřičitém plynu pohybovala v rozmezí 10 - 12 % objemu. Nižší koncentrace je z hlediska využití tepla pro výrobu páry nevýhodná. Vyšší koncentrace ve spojení s teplotou siřičitého plynu nad 1200°C způsobuje snížení životnosti zejména vyzdívky pece a žárových trubek kotle a zhoršuje výtěžek oxidace SO_2 na SO_3 . Při nedostatku vzduchu může dojít k sublimaci síry, která se pak usazuje na chladnějších částech linky ve formě sirného květu. Spalováním síry vzniklé teplo včetně tepla plynoucího z rovnice (3.2) je ze 70 - 80 % využito na produkci páry.

Katalytická oxidace SO_2 na SO_3 probíhá podle vratné exotermní reakce (3.2) ve vrstvě katalyzátoru při teplotách vyšších než zápalná teplota katalyzátoru a při mírném přetlaku v systému. Podle Le Chatelier - Brownova principu pohyblivé rovnováhy se rovnovážný výtěžek SO_3 zvyšuje s klesající teplotou a zvyšováním tlaku plynu v reaktoru. Rovnovážný výtěžek představuje horní hranici podílu SO_2 přeměněného na SO_3 .

Aby bylo docíleno vyšší konverze, probíhá proces oxidace ve dvou stupních. SO_3 vzniklý v 1. stupni se z plynu odstraní v procesu absorpce a zbylý SO_2 se podrobí konverznímu procesu ve druhém stupni. Uvedeným způsobem lze docílit celkem až 99,92 % konverze SO_2 na SO_3 .

Technologii výroby kyseliny sírové lze rámcově popsat následujícím způsobem:

Elementární síra v kapalném skupenství se v proudu přehřátého a vysušeného vzduchu spaluje v peci na siřičitý plyn o požadované koncentraci SO_2 . Atmosférický vzduch se zbavuje vlhkosti sušením koncentrovanou kyselinou sírovou v sušící věži. Horký siřičitý plyn se průchodem přes parní kotel, přehříváky páry a ekonomizér ochlazuje na teplotu odpovídající zápalné teplotě katalyzátoru. Teplo předané v parních kotlích se využívá k výrobě přehřáté páry. K napájení parního kotle se používá termicky odplyněná demineralizovaná voda. Siřičitý plyn postupně prochází 1. až 3. etáží kontaktního reaktoru přičemž dochází ke zvyšování obsahu SO_3 a poklesu koncentrace O_2 a zvyšování teploty. Složení plynu při dané teplotě se blíží k rovnovážným koncentracím jednotlivých složek. Aby nedošlo ke znehodnocení katalyzátoru, chladí se procesní plyn na výstupech z jednotlivých etáží. Procesní plyn vystupující z 3. etáže se po ochlazení zbaví vzniklého SO_3 v absorpční věži. Odstraněním SO_3 se posune rovnováha chemické reakce ve prospěch další oxidace. Před vstupem na 4. etáž se reakční plyn ohřeje průchodem přes výměníky tepla. Plyn ze 4. etáže se před vstupem do věže koncové absorpce chladí. Ve věži koncové absorpce dochází k absorpci zbývajících podílu SO_3 . Celková konverze SO_2 na SO_3 dosahuje minimálně 99,80 %, takže koncentrace SO_2 v koncovém plynu poklesne na hodnoty nižší než emisní limit a plyn může být z komínu rozptylován do ovzduší.

SO_3 z procesního plynu se absorbuje v absorpční kyselině sírové, přičemž probíhá nevratná exotermní chemická reakce (3.3). Teplota kyseliny v okruzích se udržuje v předepsaném rozmezí chlazením v trubkových chladičích s anodickou ochranou. Jako chladicí médium se používá oběhová voda.

Z předloh obou absorpčních okruhů je kontinuálně odebírána produkovaná kyselina sírová. Přehřátá pára bude vstupovat do kondenzační odběrové turbíny a následně z jednotlivých protitlakých odběrů do podnikové sítě pro rozvod páry. Tlakové úrovně produkované páry jsou dány požadavky jednotlivých technologických celků, kde je pára spotřebovávána. Každý odběr bude zálohován redukční stanicí pro zálohování dodávek páry do podnikové sítě při výpadku nebo odstavení turbíny.

3.4 Výroba páry

3.4.1 Ohřev a úprava napájecí vody

K napájení parních kotlů na výrobně kyseliny sírové se používá demineralizovaná voda.

Napájecí voda vstupuje do ohříváče vody, kde se ohřeje párou 0,5 MPa na 100 °C. Takto přehřátá voda vstupuje do horní části kaskádového odplyňováku. Průchodem kaskádou se ohřeje přímo párou 0,5 MPa, proudící opačným směrem na požadované rozmezí teplot 105 – 108 °C. Současně se vytěsni rozpuštěný kyslík a sníží se tak riziko napadení dalšího zařízení kyslíkovou korozí. Odplyněná voda se shromažďuje v zásobníku odplyněné vody navazujícím na odplyňovák. Odplyněná a chemicky upravená voda je čerpána do ekonomizéru.

3.4.2 Výroba páry

K výrobě páry na výrobně kyseliny sírové je využito spalné teplo z procesu spalování síry a oxidační teplo z procesu oxidace SO_2 na SO_3 . Spalné teplo je využito k produkci páry v kotlích.

3.4.3 Chemická úprava napájecí vody

Cílem trvalé chemické úpravy vody je zabránit opětovnému nárůstu usazenin na trubkách a chránit vodní stranu kotlů proti korozi jak na exponovaných místech, tak pod usazeninami. Tím se zaručí, že bude zachován dosažený vysoký stupeň tepelné účinnosti kotlů. Program chemické úpravy vody má tři následující složky:

a) Inhibice nárůstů a usazenin

Pro trvalou zábranu vytváření nových usazenin na vodní straně trubek je třeba vycházet z charakteru potenciálních usazenin. Ten je určen především složením a kvalitou napájecí vody. Lze tedy usuzovat, že hlavním zdrojem usazenin mohou být karbonátové sraženiny ze zbytkové tvrdosti a oxidy resp. hydroxidy železa z korozních produktů přinášejících napájecí vodou.

Pro prevenci těchto usazenin bude do kotlů (přesněji řečeno do napájecí vody) dávkován bezfosfátový polymerní dispergátor. Ten bude jemně rozptylovat karbonátové i železité nečistoty vnikající do kotle s napájecí vodou, zabráni jejich nalepování na trubky a vynese je z kotle ven spolu s odluhovanou vodou.

b) Chemické odplynění

Přestože napájecí voda je termicky odplyněna, je vhodné pro dokonalou ochranu kotle proti důlkové korozi odstranit zbytkový rozpuštěný kyslík z vody jeho chemickým navázáním na vhodné přípravky. Nejběžněji používaným kyslíkovým lapačem je siřičitan sodný, v běžné podobě má ovšem řadu nevýhod:

- má poměrně pomalou reakční rychlost, takže při rychlejší obměně vody v kotli se nestačí vyvázat veškerý kyslík
- rozpustnost vznikajících síranů není vždy stoprocentně dostatečná, mohou se vytvářet síranové kaly

Tyto nevýhody odstraňují moderní kyslíkové lapače, které jsou založeny na směsi siřičitanu s vhodnými polymery. Ty zajišťují především zvýšení reakční rychlosti a tím i dokonalejší odplynění v kratší době. Zároveň zabraňují případné tvorbě kalů.

c) Úprava pH páry a parního kondenzátu

Pro ošetření parního a kondenzátního systému se používá prostředek Corrend, jehož dvě aktivní složky (morfolin a DEHA) jsou těkavé a přecházejí do páry a s ní do kondenzátu. Zde potom mají dvojitý účinek

- Neutralizují kyselinu uhličitou v kondenzátu a tím zvyšují jeho pH
- Ovlivňují redox potenciál tak, že se na povrchu oceli vytváří pasivační vrstvička magnetitu

4 NÁVRH TEPELNÉHO SCHÉMATU

4.1 Výchozí údaje

Pro řešení tepelného schématu se vyjde z měření v podnikových podmínkách, ze kterých se určí, kolik páry se bude moci na jednotlivých tlakových hladinách odebírat a kolik páry se může nechat zkondenzovat v kondenzátoru. Toto použiji pro výpočet množství vyrobené elektřiny, ale v této kapitole diplomové práce hlavně pro výpočet množství páry na regeneraci napájecí vody, resp. kondenzátu z kondenzátoru.

Pro tento systém bude navržena rychloběžná turbína o výkonu 12 MW. Pro požadavky podniku bude mít tři odběry páry, jeden neregulovaný 2,6 MPa, jeden regulovaný 0,7 MPa a jeden odběr pro regeneraci napájecí vody a technologické účely 0,5 MPa. Emisní pára z turbíny je odváděna do kondenzátoru, ve kterém je tlak 10 kPa.

Na výstupu z parního kotle výrobní S1 je produkováno 21,96 t/hod páry o tlaku 6 MPa, teplotě 475 °C a entalpii 3363,16 kJ/kg, což odpovídá hodnotě 6,10 kg/s. Na výstupu z parního kotle výrobní S2 je produkováno 39,60 t/hod páry o stejných parametrech jako na výrobně S1, což odpovídá množství 11 kg/s.

Celkově je tedy produkováno 61,56 t/hod páry (17,10 kg/s), která má na vstupu do turbíny jako admisní pára tyto parametry. Tlak páry p_a je 5,88 MPa, teplota t_a činí 472 °C a entalpie této páry je 3357,58 kJ/kg. Termodynamickou účinnost turbíny volím 80 % lineárně rozloženou přes celý průchod turbínou.

Pro regeneraci tohoto parního okruhu bude použito páry z podnikového rozvodu 0,5 MPa. Do tohoto rozvodu bude pára procházející turbínou dodávána z odběru na turbíně 0,5 MPa. Jak jsem uvedl v teoretické části této práce, množství vyráběné páry v kotlích bude konstantní a to po celý rok, kromě každoroční odstávky pro údržbu zařízení, tudíž doba konstantní produkce páry dosahuje až 8400 hod/rok. Vycházím tedy z množství kondenzátu, které dostávám po odečtení spotřeby páry pro účely provozu podniku, které vychází z kontinuálního měření v podniku a výpočet budu provádět pro hodnotu minimálních odběrů páry, maximálních odběrů páry a průměrných množství odběrové páry.

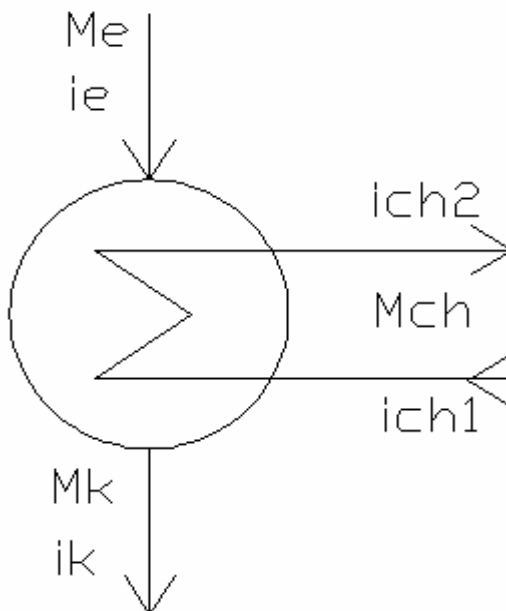
Pro výpočet jednotlivých hodnot tepelného schématu používám program vytvořený v prostředí Matlab. Tento je vytvořen jako m-soubor, který při spuštění v programu Matlab vyzve uživatele k zadání množství admisní páry, množství páry v jednotlivých odběrech a množství páry emisní proudící do kondenzace. Poté vypočte jednotlivé tepelné bilance v jednotlivých částech tepelného schématu, jako množství chladicí vody pro kondenzátor, množství topné páry pro jednotlivé regenerační ohříváky a pro odplynovák.

4.2 Tepelné bilance jednotlivých zařízení okruhu

4.2.1 Kondenzátor

V případě kondenzátoru je požadovanou hledanou veličinou množství chladicí vody, které je potřeba pro zkondenzování emisní páry z turbíny. V kondenzátoru nedochází ke změně teploty nebo tlaku oběhového média, tedy vody, ale pouze ke změně skupenství a tedy rovněž ke změně entalpie. Pro chladicí vodu pro kondenzátor budu uvažovat teplotu vstupní vody do kondenzátoru 20 °C a ohřátí této vody při chlazení oběhového média o 10 °C. Budu tedy uvažovat následující hodnoty:

Množství emisní páry	... M_e
množství kondenzátu	... $M_k = M_e$
množství chladicí vody	... M_{ch}
entalpie emisní páry	... ($p_e = 10 \text{ kPa}$, $x = 92,11 \%$) $i_e = 2395,94 \text{ kJ/kg}$
entalpie kondenzátu	... ($p_k = 10 \text{ kPa}$, $x = 0 \%$) $i_k = 191,59 \text{ kJ/kg}$
entalpie vstupní chladicí vody	... ($t_{ch1} = 20 \text{ °C}$, $x = 0$) $i_{ch1} = 83,85 \text{ kJ/kg}$
entalpie výstupní chladicí vody	... ($t_{ch2} = 30 \text{ °C}$, $x = 0$) $i_{ch2} = 125,67 \text{ kJ/kg}$



Obr. 4-1: Tepelná bilance kondenzátoru

Nejprve uvedu rovnici pro kondenzátor, vycházející z obr. 4-1:

$$M_e \cdot i_e + M_{ch} \cdot i_{ch1} = M_k \cdot i_k + M_{ch} \cdot i_{ch2} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.1)$$

$$M_{ch} = \frac{M_k \cdot i_k - M_e \cdot i_e}{i_{ch1} - i_{ch2}} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.2)$$

V této chvíli mohu do vzorce dosadit hodnoty množství kondenzátu zjištěné z měření:

Maximální odběry páry - $M_e = M_k = 0,77 \text{ kg/s}$

$$M_{ch} = \frac{0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 191,59 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2395,94 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{83,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 125,67 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 40,58 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

To odpovídá hodnotě 146,09 t/hod.

Minimální odběry páry - $M_e = M_k = 10,09 \text{ kg/s}$

$$M_{ch} = \frac{10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 191,59 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2395,94 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{83,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 125,67 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 531,85 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

To odpovídá hodnotě 1914,66 t/hod.

Průměrné odběry páry - $M_e = M_k = 5,28 \text{ kg/s}$

$$M_{ch} = \frac{5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 191,59 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2395,94 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{83,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 125,67 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}} = 278,31 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

To odpovídá hodnotě 1001,92 t/hod.

4.2.2 Kondenzátor paroproudové vývěvy (PPV)

V tomto zařízení, které je vždy součástí kondenzátoru, dochází také k mírnému ohřátí kondenzátu. Ohřátí kondenzátu v kondenzátoru pracovní parou vývěvy volím 3 °C. Volím tedy následující hodnoty:

teplota kondenzátu před ohřátím ... ($p_k = 10 \text{ kPa}$, $x = 0$) $t_k = 45,8 \text{ °C}$

teplota kondenzátu po ohřátí ... t_{ko}

ohřátí v kondenzátoru PPV ... $\Delta t_{ppv} = 3 \text{ °C}$

$$t_{ko} = t_k + \Delta t_{ppv} \quad (\text{°C}; \text{°C}) \quad (4.3)$$

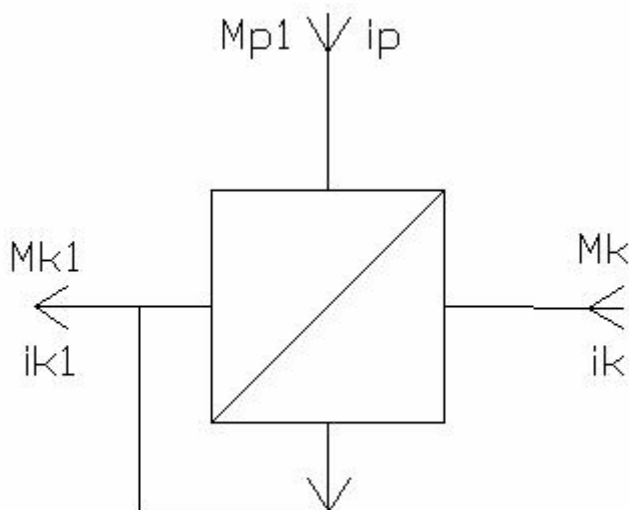
Po dosažení:

$$t_{ko} = 45,8^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}\text{C} = 48,8^{\circ}\text{C}$$

4.2.3 Regenerační ohřívák kondenzátu (R1)

V tomto ohříváku dochází k ohřátí kondenzátu na teplotu 100°C párou $0,5\text{ MPa}$ z podnikové sítě. Po ohřátí kondenzátu dochází ke smíšení ohřátého kondenzátu a ohřívající páry. Právě po smíšení bude kondenzát mít teplotu 100°C . Požadovanou veličinou pro výpočet je v tomto případě množství páry potřebné k ohřátí kondenzátu a dále množství kondenzátu po smíšení s ohřívající párou. Veličiny v tomto výpočtu jsou:

množství vstupního kondenzátu	... M_k
množství kondenzátu za smíšením	... M_{k1}
množství ohřívající páry	... M_{p1}
entalpie vstupního kondenzátu	... ($t_{ko} = 48,8^{\circ}\text{C}$, $x = 0$) $i_{ko} = 204,15\text{ kJ/kg}$
entalpie kondenzátu za smíšením	... ($t_{k1} = 100^{\circ}\text{C}$, $x = 0$) $i_{k1} = 419,08\text{ kJ/kg}$
entalpie topné páry	... ($p_p = 0,5\text{ MPa}$, $t_p = 204,5^{\circ}\text{C}$) $i_p = 2864,89\text{ kJ/kg}$
účinnost regeneračního ohříváku	... $\eta_{R1} = 0,93$



Obr. 4-2: Tepelná bilance ohříváku kondenzátu

Pro regenerační ohřívák platí tato rovnice:

$$M_{k1} \cdot i_{k1} = M_{p1} \cdot i_p + M_k \cdot i_{ko} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.4)$$

, kde

$$M_{k1} = M_k + M_{p1} \quad (\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}; \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (4.5)$$

Poté po dosazení do rovnice je:

$$M_{p1} = M_k \cdot \frac{i_{ko} - i_{k1}}{i_{k1} - i_p} \quad (\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}; \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}) \quad (4.6)$$

Při uvažování účinnosti ohříváku je množství potřebné páry zvýšeno na:

$$M_{p1} = M_k \cdot \frac{i_{ko} - i_{k1}}{(i_{k1} - i_p) \cdot \eta_{R1}} \quad (\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}; \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}, -) \quad (4.7)$$

Jelikož znám všechny veličiny, mohu vypočítat množství topné páry pro jednotlivá množství odběrů páry dosazením do rovnice 4.7:

Maximální odběry páry - $M_k = 0,77 \text{ kg/s}$

$$M_{p1} = 0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{204,15 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{(419,08 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 2864,89 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} = 0,0728 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimální odběry páry - $M_k = 10,09 \text{ kg/s}$

$$M_{p1} = 10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{204,15 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{(419,08 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 2864,89 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} = 0,9534 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměrné odběry páry - $M_k = 5,28 \text{ kg/s}$

$$M_{p1} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{204,15 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{(419,08 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 2864,89 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} = 0,4989 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dosazením do rovnice 4.5 zjistím množství kondenzátu za smíšením:

Pro maximální odběry páry:

$$M_{k1} = 0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} + 0,0728 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 0,8428 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro minimální odběry páry:

$$M_{k1} = 10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} + 0,9534 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 11,0434 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro průměrné odběry páry:

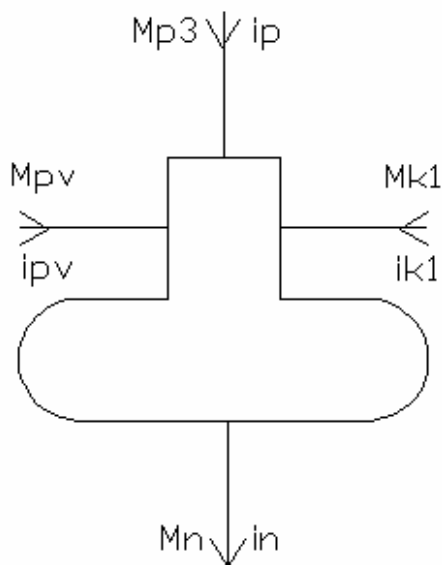
$$M_{k1} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} + 0,4989 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 5,7789 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

4.2.4 Odplyňovák s napájecí nádrží (O)

V odplyňováku probíhá termické odplynění. Toto probíhá pomocí topné páry 0,5 MPa, která je do odplyňováku dodávána ze spodní strany a zajišťuje zbavení napájecí vody vzduchu, který se může přes různé netěsnosti dostat do oběhu, ale způsobuje v něm korozi trubek a dílčích částí systému, což zkracuje jejich životnost a v druhé řadě také zhoršuje účinnost celého parního oběhu. Jelikož by při velké dodávce topné páry do ohříváku docházelo k velkému úniku této páry spolu s plyny, které je třeba odstranit, dochází v tomto zařízení k ohřátí napájecí vody pouze o nepatrnou hodnotu. V tomto případě volím ohřátí v odplyňováku o 5 °C.

Jelikož výkon kotlů pro výrobu páry je konstantní, ale množství kondenzátu se podle potřeb podniku na dodávku páry mění, musíme dodávat do okruhu proměnné množství přídavné vody. V tomto výpočtu tedy půjde o zjištění množství potřebné dodávky přídavné vody do oběhu a množství topné páry, která je použita k ohřátí a k termickému odplynění napájecí vody. V tomto výpočtu figurují tyto veličiny:

množství kondenzátu za smíšením ...	M_{k1}
množství napájecí vody ...	$M_n = 17,10 \text{ kg/s}$
množství přídavné vody ...	M_{pv}
množství topné páry - odplyňovák ...	M_{p3}
entalpie kondenzátu za smíšením ...	$(t_{k1} = 100 \text{ °C}, x = 0) i_{k1} = 419,08 \text{ kJ/kg}$
entalpie napájecí vody ...	$(t_n = 105 \text{ °C}, x = 0) i_n = 440,17 \text{ kJ/kg}$
entalpie přídavné vody ...	$(t_{pv} = 100 \text{ °C}, x = 0) i_{pv} = 419,08 \text{ kJ/kg}$
entalpie topné páry - odplyňovák ...	$(p_p = 0,5 \text{ MPa}, t_p = 204,5 \text{ °C}) i_p = 2864,89 \text{ kJ/kg}$
účinnost odplyňováku ...	$\eta_O = 0,93$



Obr. 4-3: Tepelná bilance odplyňováku s napájecí nádrží

Pro odplyňovák platí následující směšovací rovnice:

$$M_n \cdot i_n = M_{k1} \cdot i_{k1} + M_{pv} \cdot i_{pv} + M_{p3} \cdot i_p \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.8)$$

$$M_n = M_{k1} + M_{pv} + M_{p3} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4.9)$$

Z rovnice 4.9 si vyjádřím množství přídavné vody a dosadím do rovnice 4.8:

$$M_n \cdot i_n = M_{k1} \cdot i_{k1} + M_{p3} \cdot i_p + (M_n - M_{k1} - M_{p3}) \cdot i_{pv} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.10)$$

Poté vyjádřím množství topné páry:

$$M_{p3} = \frac{M_n \cdot (i_n - i_{pv}) + M_{k1} \cdot (i_{pv} - i_{k1})}{i_p - i_{pv}} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.11)$$

Při uvažování účinnosti odplyňováku je množství potřebné páry zvýšeno:

$$M_{p3} = \frac{M_n \cdot (i_n - i_{pv}) + M_{k1} \cdot (i_{pv} - i_{k1})}{(i_p - i_{pv}) \cdot \eta_o} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, -) \quad (4.12)$$

Do rovnice 4.12 dosadím a vypočtu množství topné páry pro minimální, maximální a průměrnou hodnotu kondenzace:

Maximální odběry páry - $M_{k1} = 0,8428 \text{ kg/s}$

$$M_{p3} = \frac{17,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (440,17 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} +$$

$$+ \frac{0,8428 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93}$$

$$M_{p3} = 0,1586 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimální odběry páry - $M_{k1} = 11,0434 \text{ kg/s}$

$$M_{p3} = \frac{17,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (440,17 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} +$$

$$+ \frac{11,0434 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93}$$

$$M_{p3} = 0,1586 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměrné odběry páry - $M_{k1} = 5,7789 \text{ kg/s}$

$$M_{p3} = \frac{17,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (440,17 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} +$$

$$+ \frac{5,7789 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1})}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93}$$

$$M_{p3} = 0,1586 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Nyní mohu vypočítat množství přídavné vody:

$$M_{pv} = M_n - M_{k1} - M_{p3} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4.13)$$

Pro maximální odběry páry je $M_{k1} = 0,8428 \text{ kg/s}$, $M_{p3} = 0,1586 \text{ kg/s}$

$$M_{pv} = 17,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 0,8428 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 0,1586 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 16,0986 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro minimální odběry páry je $M_{k1} = 11,0434 \text{ kg/s}$, $M_{p3} = 0,1586 \text{ kg/s}$

$$M_{pv} = 17,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 11,0434 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 0,1586 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 5,898 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro průměrné odběry páry je $M_{k1} = 5,7789 \text{ kg/s}$, $M_{p3} = 0,1586 \text{ kg/s}$

$$M_{pv} = 17,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 5,7789 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 0,1586 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 11,1625 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Množství topné páry je ve všech případech stejné, protože kondenzát i přídavná voda se do odplynováku dodávají se stejnými parametry a množství napájecí vody je konstantní.

4.2.5 Regenerační ohřívák přídavné vody (R2)

Jelikož je množství kondenzátu proměnlivé a odebraná pára z okruhu je použita pro různé technologické účely a tudíž není okruh uzavřen, je nutné do něj dodávat přídavnou vodu, která musí být před dodáním do odplynováku upravena a ohřáta na požadovanou teplotu $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Toto se opět provádí topnou párou $0,5 \text{ MPa}$, která je použita pro ohřev přídavné vody v ohříváku. Zkondenzovaná pára je po ohřátí přídavné vody s touto smíšená a dále postupuje společně jako ohřátá přídavná voda do odplynováku.

Protože znám množství požadované přídavné vody pro jednotlivé provozní stavy (minimální, maximální a průměrná kondenzace), mohu vypočítat potřebné množství vody a topné páry pro ohřev v ohříváku přídavné vody. Tato je dodávána rozlišně na lince pro výrobu kyseliny sírové S1 a na lince S2. Na lince S1 je voda díky již vybudované technologii ohřívání vody dodávána s teplotou $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Na lince S2 je použita odlišná technologie, kde není použito ohřátí této vody a je tedy dodávána při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Obě linky ale nedodávají do oběhu stejné množství vody, linka S2 dodává větší množství, a proto budu uvažovat entalpii podle váženého průměru entalpií obou těchto linek, podle množství, které je známo z provozního měření. Nejprve tedy vypočtu entalpii dodávané vody před upravením. Budu uvažovat hodnoty známé z tabulek a z provozních měření:

entalpie napájecí vody (linka S1) ... ($t_{nv1} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 0$) $i_{nv1} = 272,03 \text{ kJ/kg}$

entalpie napájecí vody (linka S2) ... ($t_{nv2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 0$) $i_{nv2} = 83,85 \text{ kJ/kg}$

množství dodávané vody (S1) ... maximální odběry páry $M_{nv1} = 5,15 \text{ kg/s}$

... minimální odběry páry $M_{nv1} = 1,94 \text{ kg/s}$

... průměrné odběry páry $M_{nv1} = 3,89 \text{ kg/s}$

množství dodávané vody (S2) ... maximální odběry páry $M_{nv2} = 9,25 \text{ kg/s}$

... minimální odběry páry $M_{nv2} = 3,33 \text{ kg/s}$

... průměrné odběry páry $M_{nv2} = 6,11 \text{ kg/s}$

Podle váženého průměru vypočtu entalpii vody dodávané do ohříváku:

$$i_{nv} = \frac{M_{nv1} \cdot i_{nv1} + M_{nv2} \cdot i_{nv2}}{M_{nv1} + M_{nv2}} \quad (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.14)$$

Pro maximální odběry páry je tedy vypočtená entalpie:

$$i_{nv} = \frac{5,15 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 272,03 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} + 9,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 83,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{5,15 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} + 9,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}} = 151,15 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro minimální odběry páry je tedy vypočtená entalpie:

$$i_{nv} = \frac{1,94 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 272,03 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} + 3,33 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 83,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{1,94 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} + 3,33 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}} = 153,12 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro průměrné odběry páry je tedy vypočtená entalpie:

$$i_{nv} = \frac{3,89 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 272,03 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} + 6,11 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 83,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{3,89 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} + 6,11 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}} = 157,05 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro výpočet množství dodávané vody a množství topné páry budu používat následující veličiny:

množství přídatné vody ... M_{pv}

množství dodávané vody ... M_{nv}

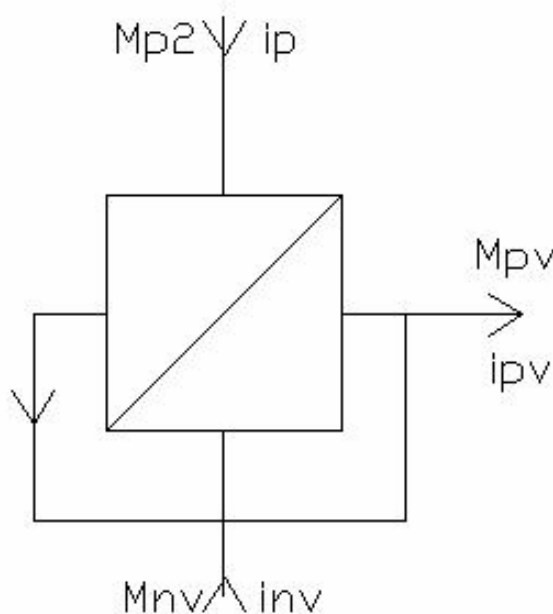
množství topné páry ... M_{p2}

entalpie přídatné vody ... ($t_{pv} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 0$) $i_{pv} = 419,08 \text{ kJ/kg}$

entalpie dodávané vody ... (vypočteno výše) i_{nv}

entalpie topné páry ... ($p_p = 0,5 \text{ MPa}$, $t_p = 204,5 \text{ }^\circ\text{C}$) $i_p = 2864,89 \text{ }^\circ\text{C}$

účinnost reg. ohříváku ... $\eta_{R2} = 0,93$



Obr. 4-4: Tepelná bilance ohříváku přídavné vody

Pro výpočet použijí rovnice pro regenerační ohřívák:

$$M_{pv} \cdot i_{pv} = M_{p2} \cdot i_p + M_{nv} \cdot i_{nv} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.15)$$

$$M_{nv} = M_{pv} - M_{p2} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4.16)$$

Dosazením rovnice 4.16 do rovnice 4.15 dostanu rovnici pro výpočet množství topné páry:

$$M_{p2} = M_{pv} \cdot \frac{i_{pv} - i_{nv}}{i_p - i_{nv}} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (4.17)$$

Při uvažování účinnosti ohříváku se množství potřebné páry zvýší na:

$$M_{p2} = M_{pv} \cdot \frac{i_{pv} - i_{nv}}{(i_p - i_{nv}) \cdot \eta_{R2}} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, -) \quad (4.18)$$

Do této rovnice dosadím pro jednotlivé množství přídavné vody a jednotlivé entalpie dodávané vody pro jednotlivé provozní stavy:

Maximální odběry páry - $M_{pv} = 16,0986 \text{ kg/s}$, $i_{nv} = 151,15 \text{ kJ/kg}$

$$M_{p2} = 16,0986 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 151,15 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 151,15 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} = 1,7091 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimální odběry páry - $M_{pv} = 5,898 \text{ kg/s}$, $i_{nv} = 153,12 \text{ kJ/kg}$

$$M_{p2} = 5,898 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 153,12 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 153,12 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} = 0,622 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměrné odběry páry - $M_{pv} = 11,1625 \text{ kg/s}$, $i_{nv} = 157,05 \text{ kJ/kg}$

$$M_{p2} = 11,1625 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{419,08 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 157,05 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{(2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 157,05 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 0,93} = 1,1615 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Z tohoto množství topné páry mohou určit množství potřebné dodávané vody:

Maximální odběry páry - $M_{pv} = 16,0986 \text{ kg/s}$, $M_{p2} = 1,7091 \text{ kg/s}$

$$M_{nv} = 16,0986 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 1,7091 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 14,3805 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimální odběry páry - $M_{pv} = 5,898 \text{ kg/s}$, $M_{p2} = 0,622 \text{ kg/s}$

$$M_{nv} = 5,898 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 0,622 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 5,276 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průměrné odběry páry - $M_{pv} = 11,1625 \text{ kg/s}$, $M_{p2} = 1,1615 \text{ kg/s}$

$$M_{nv} = 11,1625 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} - 1,1615 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 10,001 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

4.2.6 Stlačení a ohřátí napájecí vody v napáječce

Jelikož oběh potřebuje pro svůj chod oběhové čerpadlo, musí se samozřejmě počítat i s tímto elementem, ve kterém dochází ke stlačení napájecí vody, potažmo také k mírnému ohřátí. Napáječku budu uvažovat s účinností 70 %.

Nejprve určím tlak v sacím hrdle napáječky, tedy tlak, který má napájecí voda za napájecí nádrží:

$$(t_n = 105 \text{ °C}, x = 0) p_1 = 120,803 \text{ kPa}$$

této hodnotě tlaku odpovídá entalpie $i_n = 440,17 \text{ kJ/kg}$.

Dále určím entalpii na konci izoentropické komprese na tlak p_n . To je výtláčny tlak napáječky, který volím o 40 % vyšší než tlak admisní páry vstupující do turbíny:

$$p_n = 1,4 \cdot p_a \text{ (MPa;MPa)} \quad (4.19)$$

$$p_n = 1,4 \cdot 5,88 \text{ MPa} = 8,232 \text{ MPa}$$

Tomuto tlaku odpovídá entalpie dle tabulky D-8 v [4]:

$$(t_n = 105 \text{ }^\circ\text{C}, p_n = 8,232 \text{ Mpa}) i_{ns} = 445,95 \text{ kJ/kg}$$

Vzrůst entalpie tedy činí:

$$\Delta i_{ns} = i_{ns} - i_n \text{ (kJ.kg}^{-1}; \text{kJ.kg}^{-1}) \quad (4.20)$$

$$\Delta i_{ns} = 445,95 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} - 440,17 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 5,78 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Při uvažování účinnosti napáječky 70 % je tedy vzrůst entalpie:

$$\Delta i_n = \frac{\Delta i_{ns}}{0,7} \text{ (kJ.kg}^{-1}; \text{kJ.kg}^{-1}) \quad (4.21)$$

$$\Delta i_n = \frac{5,78 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}{0,7} = 8,26 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Entalpie napájecí vody za napáječkou je tedy:

$$i_{nvs} = i_n + \Delta i_n \text{ (kJ.kg}^{-1}; \text{kJ.kg}^{-1}) \quad (4.22)$$

$$i_{nvs} = 440,17 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} + 8,26 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 448,43 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Této entalpii odpovídá hodnota teploty napájecí vody do kotle $t_{nvs} = 105,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

5 VÝPOČET VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Pro výpočet vyrobené elektrické energie budu opět uvádět případy z praxe, a to maximální odběry páry, minimální odběry páry a průměrné odběry páry. Záleží na požadavcích na odběr páry z jednotlivých odběrů turbíny. Uvedu proto výpočet vyrobené elektrické energie v jednotlivých odběrech, v kondenzaci a v regeneraci. Proces přeměny tepelné energie na elektrickou samozřejmě není bezztrátový. V prvé řadě je nutno brát v potaz termodynamickou účinnost turbíny (uvažuji 80 % lineárně přes celý průchod turbínou), kterou uvažuji při určení entalpií páry v jednotlivých odběrech a entalpie emisní páry. Dále do výpočtu bude vstupovat mechanická účinnost turbíny, kterou uvažuji 96 % a elektrická účinnost generátoru, která je 97 %.

Zároveň počítám množství tepla do odběrů, do regenerace a do kondenzace, které následně využívám pro výpočet měrné spotřeby tepla na výrobu elektrické energie. Obdobně vypočítám množství tepla využitého pro výrobu elektrické energie.

Pro výpočet vyrobené elektrické energie používám opět program vytvořený v prostředí Matlab, který po zadání vstupních údajů o množství páry proudící do turbíny, množstvích páry v jednotlivých odběrech a množství páry v kondenzaci vypočte vyrobenou elektrickou energii v jednotlivých odběrech, vyrobenou elektrickou energii v regeneraci a v kondenzaci.

5.1 Výpočet vyrobené elektrické energie v odběrech

Výpočet množství tepla do jednotlivých odběrů vypočtu podle:

$$Q_o = M_o \cdot i_o \text{ (J.s}^{-1}\text{;kg.s}^{-1}\text{,J.kg}^{-1}\text{)} \quad (5.1)$$

Výpočet množství tepla pro výrobu elektrické energie vypočtu podle:

$$Q_{eo} = M_o \cdot (i_a - i_o) \text{ (J.s}^{-1}\text{;kg.s}^{-1}\text{,J.kg}^{-1}\text{)} \quad (5.2)$$

Vyrozenou elektrickou energii vypočítám jako:

$$P_o = M_o \cdot (i_a - i_o) \cdot \eta_m \cdot \eta_g \text{ (W;kg.s}^{-1}\text{,J.kg}^{-1}\text{)} \quad (5.3)$$

kde je

množství páry do odběru o	... M_o
entalpie admisní páry	... ($p_a = 5,88 \text{ MPa}$, $t_a = 472 \text{ °C}$) $i_a = 3357,58 \text{ kJ/kg}$
entalpie páry v odběru o	... i_o
mechanická účinnost turbíny	... η_m
účinnost generátoru	... η_g

5.1.1 Odběr 2,6 MPa

Pro odběr 2,6 MPa vypočtu požadované veličiny pro maximální, minimální a průměrné množství odběrové páry s hodnotami jednotlivých množství páry do odběru určených z provozního měření.

Množství tepla v odběru 2,6 MPa a množství vyrobené elektrické energie určím dosazením odpovídajících hodnot do rovnic 5.1, 5.2 a 5.3:

Maximální odběry páry - $M_{26} = 5,28 \text{ kg/s}$, $i_{26} (p_{26} = 2,6 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 3163,45 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{26} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3163,45 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 16,703 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e26} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 3163,45) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 1,025 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{26} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 3163,45) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 954,49 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Minimální odběry páry - $M_{26} = 2,22 \text{ kg/s}$, $i_{26} (p_{26} = 2,6 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 3163,45 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{26} = 2,22 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3163,45 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 7,0229 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e26} = 2,22 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 3163,45) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,431 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{26} = 2,22 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 3163,45) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 401,32 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Průměrné odběry páry - $M_{26} = 3,89 \text{ kg/s}$, $i_{26} (p_{26} = 2,6 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 3163,45 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{26} = 3,89 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3163,45 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 12,3058 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e26} = 3,89 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 3163,45) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,7552 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{26} = 3,89 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 3163,45) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 703,21 \cdot 10^3 \text{ W}$$

5.1.2 Odběr 0,7 MPa

Pro odběr 0,7 MPa vypočtu požadované veličiny pro maximální, minimální a průměrné množství odběrové páry s hodnotami jednotlivých množství páry do odběru určených z provozního měření.

Množství tepla v odběru 0,7 MPa a množství vyrobené elektrické energie určím dosazením odpovídajících hodnot do rovnic 5.1, 5.2 a 5.3:

Maximální odběry páry - $M_{07} = 7,45 \text{ kg/s}$, $i_{07} (p_{07} = 0,7 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 2916,99 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{07} = 7,45 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2916,99 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 21,7316 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e07} = 7,45 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2916,99) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 3,2824 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{07} = 7,45 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2916,99) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 3056,57 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Minimální odběry páry - $M_{07} = 2,78 \text{ kg/s}$, i_{07} ($p_{07} = 0,7 \text{ MPa}$, $\eta_{td} = 0,8$) = 2916,99 kJ/kg

$$Q_{07} = 2,78 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2916,99 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 8,1092 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e07} = 2,78 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2916,99) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 1,2248 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{07} = 2,78 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2916,99) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 1140,57 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Průměrné odběry páry - $M_{07} = 5,28 \text{ kg/s}$, i_{07} ($p_{07} = 0,7 \text{ MPa}$, $\eta_{td} = 0,8$) = 2916,99 kJ/kg

$$Q_{07} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2916,99 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 15,4017 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e07} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2916,99) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 2,3263 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{07} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2916,99) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 2166,26 \cdot 10^3 \text{ W}$$

5.1.3 Odběr 0,5 MPa

Pro odběr 0,5 MPa (technologické účely) vypočtu požadované veličiny pro maximální, minimální a průměrné množství odběrové páry s hodnotami jednotlivých množství páry do odběru určených z provozního měření.

Množství tepla v odběru 0,5 MPa a množství vyrobené elektrické energie určím dosazením odpovídajících hodnot do rovnic 5.1, 5.2 a 5.3:

Maximální odběry páry - $M_{05} = 1,67 \text{ kg/s}$, i_{05} ($p_{05} = 0,5 \text{ MPa}$, $\eta_{td} = 0,8$) = 2864,89 kJ/kg

$$Q_{05} = 1,67 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 4,7844 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e05} = 1,67 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,8228 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{05} = 1,67 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 766,18 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Minimální odběry páry - $M_{05} = 0,28 \text{ kg/s}$, i_{05} ($p_{05} = 0,5 \text{ MPa}$, $\eta_{td} = 0,8$) = 2864,89 kJ/kg

$$Q_{05} = 0,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,8022 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e05} = 0,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,138 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{05} = 0,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 128,46 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Průměrné odběry páry - $M_{05} = 0,83 \text{ kg/s}$, $i_{05} (p_{05} = 0,5 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 2864,89 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{05} = 0,83 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 2,3779 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{e05} = 0,83 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,4089 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{05} = 0,83 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 380,8 \cdot 10^3 \text{ W}$$

5.2 Výpočet vyrobené elektrické energie v regeneraci

Požadované množství vyrobené elektrické energie vypočtu z množství páry pro ohříváky kondenzátu a přídavné vody a z rozdílu entalpií admisní páry a páry na odběru 0,5 MPa. Stejným způsobem určím i teplo pro výrobu elektrické energie z regenerace. Obdobně pro teplo pro regeneraci napájecí vody použiji množství odběrové páry pro ohříváky kondenzátu a přídavné vody a entalpii odběrové páry 0,5 MPa.

$$Q_{reg} = (M_{p1} + M_{p2} + M_{p3}) \cdot i_{05} \text{ (J} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (5.4)$$

$$Q_{ereg} = (M_{p1} + M_{p2} + M_{p3}) \cdot (i_a - i_{05}) \text{ (J} \cdot \text{s}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (5.5)$$

$$P_{reg} = (M_{p1} + M_{p2} + M_{p3}) \cdot (i_a - i_{05}) \cdot \eta_m \cdot \eta_g \text{ (W; kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}, -) \quad (5.6)$$

Teplo dodané pro regeneraci napájecí vody a množství vyrobené elektřiny dostanu po dosazení do rovnic 5.4, 5.5 a 5.6:

Maximální odběry páry - $M_{p1} = 0,0728 \text{ kg/s}$, $M_{p2} = 1,7091 \text{ kg/s}$, $M_{p3} = 0,1586 \text{ kg/s}$

$$Q_{reg} = (0,0728 + 1,7091 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 5,5593 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{ereg} = (0,0728 + 1,7091 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,9561 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{reg} = (0,0728 + 1,7091 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 890,29 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Minimální odběry páry - $M_{p1} = 0,9534 \text{ kg/s}$, $M_{p2} = 0,622 \text{ kg/s}$, $M_{p3} = 0,1586 \text{ kg/s}$

$$Q_{reg} = (0,9534 + 0,622 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 4,9677 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{ereg} = (0,9534 + 0,622 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,8543 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{reg} = (0,9534 + 0,622 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 =$$

$$= 795,55 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Průměrné odběry páry - $M_{p1} = 0,4989 \text{ kg/s}$, $M_{p2} = 1,1615 \text{ kg/s}$, $M_{p3} = 0,1586 \text{ kg/s}$

$$Q_{reg} = (0,4989 + 1,1615 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2864,89 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 5,2112 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{ereg} = (0,4989 + 1,1615 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,8962 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_{reg} = (0,4989 + 1,1615 + 0,1586) \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2864,89) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 =$$

$$= 834,54 \cdot 10^3 \text{ W}$$

5.3 Výpočet vyrobené elektrické energie v kondenzaci

Teplu do kondenzace a vyrobenou elektrickou energii v kondenzaci vypočtu obdobně jako teplo do jednotlivých odběrů a vyrobenou elektrickou energii v jednotlivých odběrech páry.

Pro jednotlivé provozní stavy tedy vypočtu teplo do kondenzace, teplo využitě pro výrobu elektrické energie a vyrobenou elektrickou energii z kondenzace dosazením do rovnic 5.1, 5.2 a 5.3:

Maximální odběry páry - $M_e = 0,77 \text{ kg/s}$, $i_e (p_e = 0,01 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 2395,94 \text{ kJ/kg}$

$$Q_e = 0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2395,94 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 1,8449 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{ee} = 0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2395,94) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,7404 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_e = 0,77 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2395,94) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 689,52 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Minimální odběry páry - $M_e = 10,09 \text{ kg/s}$, $i_e (p_e = 0,01 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 2395,94 \text{ kJ/kg}$

$$Q_e = 10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2395,94 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 24,175 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{ee} = 10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2395,94) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 9,7029 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_e = 10,09 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2395,94) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 9035,38 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Průměrné odběry páry - $M_e = 5,28 \text{ kg/s}$, $i_e (p_e = 0,01 \text{ MPa}, \eta_{td} = 0,8) = 2395,94 \text{ kJ/kg}$

$$Q_e = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2395,94 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 12,6506 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{ee} = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2395,94) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 5,0775 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_e = 5,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (3357,58 - 2395,94) \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,97 \cdot 0,96 = 4728,13 \cdot 10^3 \text{ W}$$

5.4 Okamžitý výkon generátoru a měrná spotřeba tepla

Okamžitý výkon generátoru vypočtu jako součet elektrických výkonů v jednotlivých odběrech, v regeneraci a v kondenzaci.

$$P_{celk} = P_{26} + P_{07} + P_{05} + P_{reg} + P_e \text{ (W; W)} \quad (5.7)$$

Poté vypočtu celkové teplo pro výrobu elektřiny a do kondenzace.

$$Q_{celk} = Q_{e26} + Q_{e07} + Q_{e05} + Q_{ereg} + Q_{ee} + Q_e \text{ (J} \cdot \text{s}^{-1}; \text{J} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (5.8)$$

Poté mohu určit měrnou spotřebu tepla na výrobu elektřiny jako:

$$q = \frac{Q_{celk}}{P_{celk}} \text{ (J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}; \text{J} \cdot \text{s}^{-1}, \text{W)} \quad (5.9)$$

Nyní určím jednotlivé veličiny pro vybrané provozní stavy:

Maximální odběry páry:

$$P_{celk} = (954,49 + 3056,57 + 766,18 + 890,29 + 689,52) \cdot 10^3 \text{ W} = 6357,05 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{celk} = (1,025 + 3,2824 + 0,8228 + 0,9561 + 0,7404 + 1,8449) \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} = 8,6716 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$q = \frac{8,6716 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}}{6357,05 \cdot 10^3 \text{ W}} = 1,36 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{W}^{-1} = 4,91 \text{ MJ} \cdot \text{kWh}^{-1}$$

Minimální odběry páry:

$$P_{celk} = (401,32 + 1140,57 + 128,46 + 795,55 + 9035,38) \cdot 10^3 \text{ W} = 11501,28 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{celk} = (0,431 + 1,2248 + 0,138 + 0,8543 + 9,7029 + 24,175) \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} = 36,526 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$q = \frac{36,526 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}}{11501,28 \cdot 10^3 \text{ W}} = 3,18 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{W}^{-1} = 11,43 \text{ MJ} \cdot \text{kWh}^{-1}$$

Průměrné odběry páry:

$$P_{celk} = (703,21 + 2166,26 + 380,8 + 834,54 + 4728,13) \cdot 10^3 W = 8812,94 \cdot 10^3 W$$

$$Q_{celk} = (0,7552 + 2,3263 + 0,4089 + 0,8962 + 5,0775 + 12,6506) \cdot 10^6 J \cdot s^{-1} = 22,1147 \cdot 10^6 J \cdot s^{-1}$$

$$q = \frac{22,1147 \cdot 10^6 J \cdot s^{-1}}{8812,94 \cdot 10^3 W} = 2,51 J \cdot s^{-1} \cdot W^{-1} = 9,03 MJ \cdot kWh^{-1}$$

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Jako závěrečnou kapitolu uvádím zásadní věc při posuzování realizace každé investice. Jde o ekonomické zhodnocení celého projektu. Při znalosti investičních nákladů na výstavbu zařízení, nákladů na jeho provoz, velikosti zdanění a výnosech z ušetřených nákladů na nakupovanou elektrickou energii a výnosech z dotací na kogeneraci a na výrobu elektrické energie z druhotných zdrojů mohou vypočítat zisky celého projektu v jednotlivých letech, včetně odpisů podle dané odpisové skupiny a včetně požadované výnosnosti projektu. Poté mohou vypočítat i návratnost investice do daného zařízení. Ta určí, zda je daný projekt z hlediska rentability vůbec efektivní.

6.1 Náklady

Náklady tohoto projektu sestávají z několika dílčích částí. Jde o fixní náklady jednorázové spojené s výstavbou zařízení jako takového, z nákladů ročních, jako spotřeba páry pro výrobu elektrické energie, včetně nákladů na páru emisní, odcházející z turbíny do kondenzace, která je vlastně ztrátovým faktorem při výrobě elektrické energie.

6.1.1 Náklady na výstavbu zařízení

Jelikož pára je při výrobě kyseliny sírové produkována již dnes, půjde především o náklady na nákup turbíny a odpovídajících částí tepelného schématu, jako jsou regenerační ohřívačky, potrubí, napájecí čerpadlo, generátor aj. Tyto náklady jsem získal od konzultanta mé diplomové práce.

Náklady na realizaci projektu jsou:

$$K_i = 140\,000\,000 \text{ CZK}$$

6.1.2 Náklady na teplo pro výrobu elektrické energie

U nákladů na teplo pro výrobu elektrické energie vycházím opět z údajů podniku Precheza, které uvádí měrnou cenu tepla $N_q = 48,15 \text{ CZK} / \text{GJ}$. Pro ekonomický výpočet vycházím z průměrného množství páry odebrané pro technologické procesy v podniku, tak jak jsem je vypočetl v kapitole 5.

Celkové množství tepla použitého pro výrobu elektrické energie, včetně páry odcházející do kondenzace při průměrných odběrech páry z turbíny pro technologické procesy je dle oddílu 5.4:

$$Q_{\text{celk}} = 22,1147 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}, \text{ což odpovídá roční hodnotě:}$$

$$Q_{\text{celk}} = 668\,748,53 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}, \text{ při stanoveném ročním fondu výroby 8400 hodin ročně.}$$

Náklady na teplo pro výrobu elektrické energie tedy činí:

$$N_Q = Q_{\text{celk}} \cdot N_q \text{ (CZK.rok}^{-1}; \text{ GJ.rok}^{-1}, \text{ CZK.GJ}^{-1}) \quad (6.1)$$

Po dosazení:

$$N_Q = 668\,748,53 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot 48,15 \text{ CZK} \cdot \text{GJ}^{-1} = 32\,200\,233,53 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

6.1.3 Ostatní náklady

Mezi ostatní náklady se řadí náklady spojené s provozem zařízení, které jsou odhadnuty společností Precheza.

Náklady na mazadla a oleje:

$$N_m = 50\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Náklady na odpar vody:

$$N_{ov} = 200\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Náklady na opravy a údržbu zařízení:

$$N_{\dot{u}} = 2\,800\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Osobní náklady:

$$N_o = 1\,500\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Ostatní náklady tedy činí:

$$N_{ost} = N_m + N_{ov} + N_{\dot{u}} + N_o \text{ (CZK.rok}^{-1}; \text{ CZK.rok}^{-1}) \quad (6.2)$$

Po dosazení:

$$N_{ost} = (50\,000 + 200\,000 + 2\,800\,000 + 1\,500\,000) \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1} = 4\,550\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

6.2 Odpisy

Odpisy jsou vyjádřením snížení hodnoty majetku. Je to vlastně část majetku, která se v daném období promítla do ceny výrobku, na jehož produkci se podílela. V tomto případě je to elektrická energie. Odpisy se dělí do dvou skupin na odpisy účetní, které respektují snížení hodnoty majetku, a na odpisy daňové, které umožňují promítnutí odpovídající částky z majetku do daňově uznatelných nákladů.

Daňové odpisování je upraveno zákonem č. 586/1992 Sb. o daních z příjmů. Daňové odpisování se provádí rovnoměrně nebo zrychleně. Pro tento projekt budu uvažovat rovnoměrné odepisování majetku. To je provedeno podle odpisové skupiny, která odpovídá charakteru zařízení, které je odpisováno. Odpisování samozřejmě závisí na počáteční hodnotě investice.

Zařízení, které je uvažováno, spadá do třetí odpisové skupiny, pro kterou činí doba odpisování majetku 12 let.

Pro první rok odepisování je v této odpisové skupině stanovena tato roční odpisová sazba (ROS_1):

$$ROS_1 = 4,3\%$$

Pro další roky odepisování je stanovena roční odpisová sazba (ROS_2):

$$ROS_2 = 8,7\%$$

Hodnota odpisu se vypočítá podle vzorce:

$$N_{odpi} = K_i \cdot \frac{ROS_i}{100} \text{ (CZK.rok}^{-1}; \text{ CZK,}\% \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (6.3)$$

Po dosazení je hodnota odpisu pro první rok odepisování:

$$N_{odp1} = 140\,000\,000 \text{ CZK} \cdot \frac{4,3\% \cdot \text{rok}^{-1}}{100} = 6\,020\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Pro další roky odepisování je roční hodnota odpisu:

$$N_{odp2} = 140\,000\,000 \text{ CZK} \cdot \frac{8,7\% \cdot \text{rok}^{-1}}{100} = 12\,180\,000 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

6.3 Výnosy

V rámci tohoto projektu budou výnosy tvořeny dvěma základními položkami, a to jednak jako úspora nakupované elektrické energie a jednak formou dotací pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla a dotací pro výrobu elektrické energie z druhotných zdrojů, jak uvádím v oddílu 2.3.

6.3.1 Úspora nakupované elektrické energie

Pro výpočet nakupované elektrické energie vycházím z množství vyrobené elektrické energie při průměrných odběrech páry pro technologické potřeby podniku a stanoveném fondu pracovní doby, který v tomto případě, jak jsem uvedl výše, dosáhne až 8400 hodin ročně. Množství vyrobené elektrické energie při takovémto provozu je uvedeno v předcházející kapitole.

Množství vyrobené elektrické energie vypočteme jako

$$W_{eh} = P_{celk} \cdot T_r \text{ (MWh.rok}^{-1}; \text{ MW,hod.rok}^{-1}) \quad (6.4)$$

Po dosazení:

$$W_{eh} = 8,81294 \text{ MW} \cdot 8400 \text{ hod} \cdot \text{rok}^{-1} = 74028,7 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Vlastní spotřeba elektrické energie spojená s provozem turbíny je stanovena podle údajů Precheza, a.s. na 2000 MWh.rok⁻¹. Čistou výrobu elektrické energie tedy dostanu po odečtení vlastní spotřeby:

$$W_e = (74028,7 - 2000) \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1} = 72028,7 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Z tohoto údaje vycházím jak při výpočtu uspořené elektrické energie, tak i při výpočtu dotací na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla a výrobu elektrické energie z druhotných zdrojů.

Cena za uspořenou MWh se odvíjí od jednotlivých položek ceny elektrické energie. Ta se skládá z několika částí, jako je cena za silovou elektřinu, cena za použití sítí, cena za systémové

služby, cena podpory obnovitelných zdrojů energie a cena za činnost operátora trhu s elektrickou energií.

Pro tento projekt se bude cena za uspořenou hodinu odvíjet od tří základních položek:

Cena za uspořené nákup elektrické energie, jako takové:

$$U_n = 1640 \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}$$

Úspora ceny za systémové služby. Tu vypočtu jako rozdíl stávající ceny MWh elektrické energie a ceny po připojení nového zdroje, které jsou dány cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 9/2008 [8].

$$U_{ss} = (141,01 - 53,22) \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1} = 87,79 \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}$$

Úspora ceny za použití sítí. Jelikož bude všechna elektrická energie spotřebována přímo v podniku, nebude pro výrobu elektrické energie zapotřebí použití sítí. Tuto položku, danou cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 9/2008 [8], tedy uspořím.

$$U_{ps} = 58,1 \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}$$

Tyto položky jsou tedy jednotlivými částmi uspořené ceny za elektrickou energii. Celkovou částku za uspořenou elektrickou energii tedy obdržím sečtením jednotlivých položek:

$$U_e = U_n + U_{ss} + U_{ps} \quad (\text{CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}; \text{CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}) \quad (6.5)$$

Po dosazení:

$$U_e = (1640 + 87,79 + 58,1) \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1} = 1785,89 \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}$$

Výslednou roční hodnotu uspořených nákladů na nákup elektrické energie tedy dostanu jako součin vyrobené elektrické energie za rok a celkové částky za uspořenou elektrickou energii.

$$U = U_e \cdot W_e \quad (\text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1}; \text{CZK} \cdot \text{MWh}^{-1}, \text{MWh} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (6.6)$$

Po dosazení:

$$U = 1785,89 \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1} \cdot 72028,7 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1} = 128\,635\,327,9 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

6.3.2 Dotace na výrobu elektrické energie

Pro výpočet dotací na vyrobenou elektrickou energii vycházím z cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2008 [7], kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů.

Jak jsem uvedl v oddílu 2.3, tak se na tento projekt budou vztahovat dvě částky dotací. První je dotace na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla (kogenerace - KOG), která činí 45 CZK/MWh a druhá je dotace na výrobu elektrické energie z druhotných zdrojů (DZ), která činí taktéž 45 CZK/MWh.

Celkovou výši dotací na vyrobenou elektrickou energii tedy vypočtu jako součin vyrobené elektrické energie a součtu jednotlivých dotací na vyrobenou elektrickou energii.

$$DOT = (KOG + DZ) \cdot W_e \text{ (CZK.rok}^{-1}; \text{ CZK.MWh}^{-1}, \text{ MWh.rok}^{-1}) \quad (6.7)$$

Po dosazení:

$$DOT = (45 + 45) \text{ CZK} \cdot \text{MWh}^{-1} \cdot 72028,7 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1} = 6\,482\,583 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

6.4 Zhodnocení efektivity investice

Základním hlediskem, které napoví investorovi, zda je vhodné investovat do tohoto projektu, je výpočet ročních kalkulací a zisků, které spolu s vstupními náklady určí čistý zisk z daného projektu. Dalším důležitým hlediskem je výpočet doby návratnosti, která určuje, kdy se vrátí investice do daného zařízení a od této doby začne generovat celkový zisk.

Jelikož dané zařízení spadá do odpisové skupiny 3, ve které se dané zařízení odepisuje po dobu 12 let, provedu výpočet zisků pro tuto dobu.

První krok v tomto výpočtu je výpočet zisku, který dostaneme složením dílčích částek, jako jsou výnosy z uspořené elektrické energie, výnosy z dotací, roční náklady na výrobu tepla pro výrobu elektrické energie a ostatní náklady. Do tohoto výpočtu vstupuje také částka pro odepisování zařízení. Roční zisk bude odlišný od zisků v dalších letech, protože je v prvním roce jiná částka pro odpis zařízení.

Pro první rok je tedy hodnota zisku následující:

$$Z = U + DOT - N_Q - N_{ost} - N_{odp1} \text{ (CZK.rok}^{-1}; \text{ CZK.rok}^{-1}) \quad (6.8)$$

Po dosazení:

$$Z = (128\,635\,327,9 + 6\,482\,583 - 32\,200\,233,53 - 4\,550\,000 - 6\,020\,000) \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$$Z = 92\,347\,677,01 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Pro další roky je hodnota zisku následující:

$$Z = U + DOT - N_Q - N_{ost} - N_{odp2} \text{ (CZK.rok}^{-1}; \text{ CZK.rok}^{-1}) \quad (6.9)$$

Po dosazení:

$$Z = (128\,635\,327,9 + 6\,482\,583 - 32\,200\,233,53 - 4\,450\,000 - 12\,180\,000) \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$$Z = 86\,187\,677,01 \text{ CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Toto je hrubá hodnota zisku, která ovšem podléhá zdanění. Zdanění tohoto projektu bude podléhat dani z příjmů právnických osob, která činí od 1. 1. 2010 19 %. Jako vzorový výpočet uvádím první rok provozu tohoto zařízení, ostatní roky jsou provedeny obdobně, pouze s jinou hodnotou zisku a shrnutí je uvedeno v tabulce 6.1.

Pro zdanění použijí následující vzorec:

$$Z_d = Z \cdot \frac{100 - daň}{100} \quad (\text{CZK.rok}^{-1}; \text{CZK.rok}^{-1}, \%) \quad (6.10)$$

Po dosazení:

$$Z_d = 92\,347\,677,01 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \frac{100 - 19\%}{100} = 74\,801\,618,37 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Pro výpočet ročního peněžního zisku z projektu přičtu k této hodnotě hodnotu odpisu.

$$P = Z_d + N_{odp} \quad (\text{CZK.rok}^{-1}; \text{CZK.rok}^{-1}) \quad (6.11)$$

Po dosazení pro první rok provozu:

$$P = 74\,801\,618,37 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1} + 6\,020\,000 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1} = 80\,821\,618,37 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Pro reálnou situaci je ovšem třeba zohlednit také znehodnocování peněz a úrokové sazby, tudíž uvažuji požadovanou výnosnost projektu (p) 10 %. Dostanu tím tzv. diskontovaný příjem projektu:

$$P_A = \frac{P}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n} \quad (\text{CZK.rok}^{-1}; \text{CZK.rok}^{-1}, \%, -) \quad (6.12)$$

kde n je pořadí posuzovaného roku provozu projektu.

Po dosazení pro první rok provozu:

$$P_A = \frac{80\,821\,618,37 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1}}{\left(1 + \frac{10\%}{100}\right)^1} = 73\,474\,198,52 \text{CZK} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Toto je konečná částka, která vypovídá o roční výnosnosti projektu. Pro výpočet návratnosti použiji výpočet diskontovaného kumulovaného Cash Flow ($CF_{dis/kumul}$), ve kterém jako zhodnocení investice použiji jako základní hodnotu vstupní investici, která je vlastně záporná (musím vložit). Poté k této částce v prvním roce připočtu hodnotu diskontovaného příjmu v prvním roce. Obdobě budu posuzovat pro další roky a sleduji, kdy se hodnota CF změní ze záporných čísel na kladná. V tomto roce je zařízení vlastně zapláceno a začíná investorovi vydělávat.

Hodnotu CF pro první rok provozu spočítám následovně:

$$CF_{dis/kumul} = -K_i + P_A \quad (\text{CZK}; \text{CZK}) \quad (6.13)$$

Po dosazení:

$$CF_{dis/kumul} = -140\,000\,000 \text{CZK} + 73\,474\,198,52 \text{CZK} = -66\,525\,801,48 \text{CZK}$$

Obdobně postupuji pro další roky. Celkové shrnutí uvádím v tabulce 6.1:

Tab. 6-1: Ekonomické shrnutí a určení doby návratnosti

rok	Odpisy	Zisk	Zisk čistý	Příjem	Příjem dis	CF dis/kum
[-]	[CZK/rok]	[CZK/rok]	[CZK/rok]	[CZK/rok]	[CZK/rok]	[CZK]
1	6 020 000	92 347 677	74 801 618	80 821 618	73 474 199	-66 525 801
2	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	67 761 999	1 236 197
3	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	61 601 817	62 838 014
4	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	56 001 652	118 839 666
5	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	50 910 593	169 750 258
6	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	46 282 357	216 032 615
7	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	42 074 870	258 107 485
8	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	38 249 882	296 357 367
9	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	34 772 620	331 129 987
10	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	31 611 472	362 741 459
11	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	28 737 702	391 479 161
12	12 180 000	86 187 677	69 812 018	81 992 018	26 125 184	417 604 345

Jak je vidět v tabulce, diskontovaný kumulovaný Cash Flow se do kladných čísel dostane již ve druhém roce provozu zařízení a zařízení začne investorovi vydělávat peníze. To lze z hlediska doby návratnosti považovat za velmi dobrý výsledek, který vypovídá o dobrém záměru tohoto projektu. Hodnota diskontovaného kumulovaného CF v posledním roce odpisování se shoduje s výsledkem výpočtu tzv. metody NPV (Net Present Value). Tato hodnota vlastně určuje celkovou částku, kterou zařízení za danou dobu (v tomto případě 12 let) vydělá.

Jako další hledisko uvádím výpočet tzv. indexu ziskovosti (PI). Pro výpočet indexu ziskovosti musím sečíst hodnoty diskontovaných příjmů v jednotlivých letech a tyto dělit částkou, kterou do zařízení investuji:

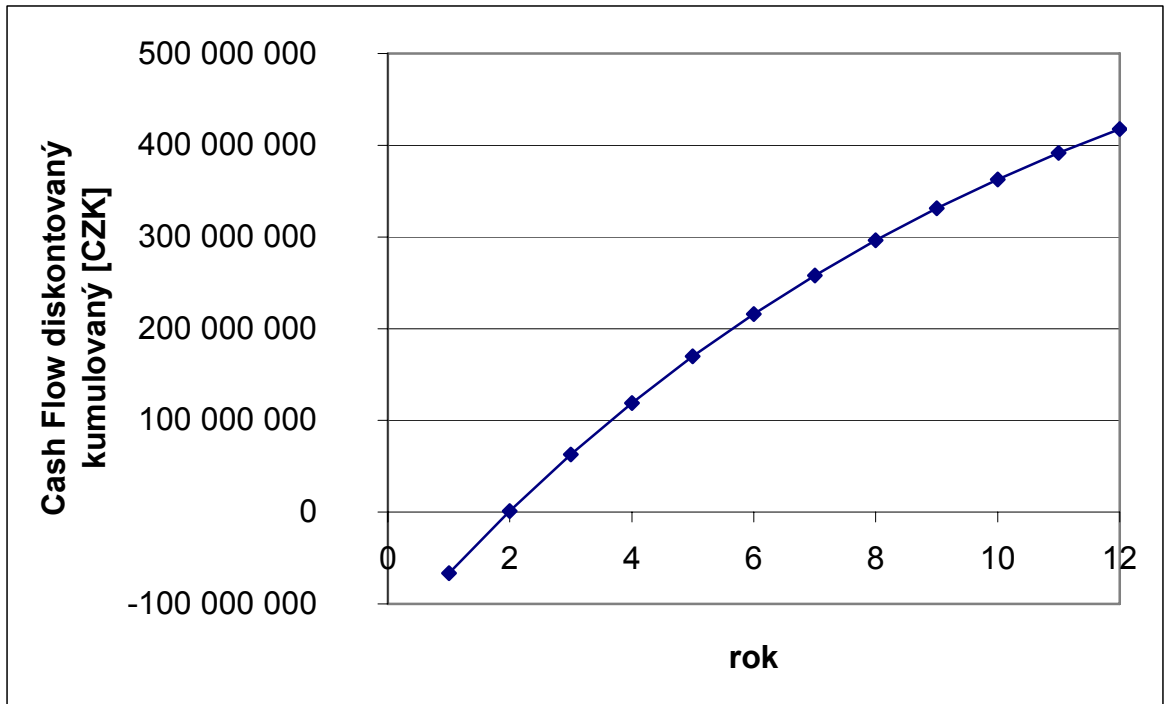
$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Ai}}{K_i} \quad (-; CZK) \quad (6.14)$$

Po dosazení:

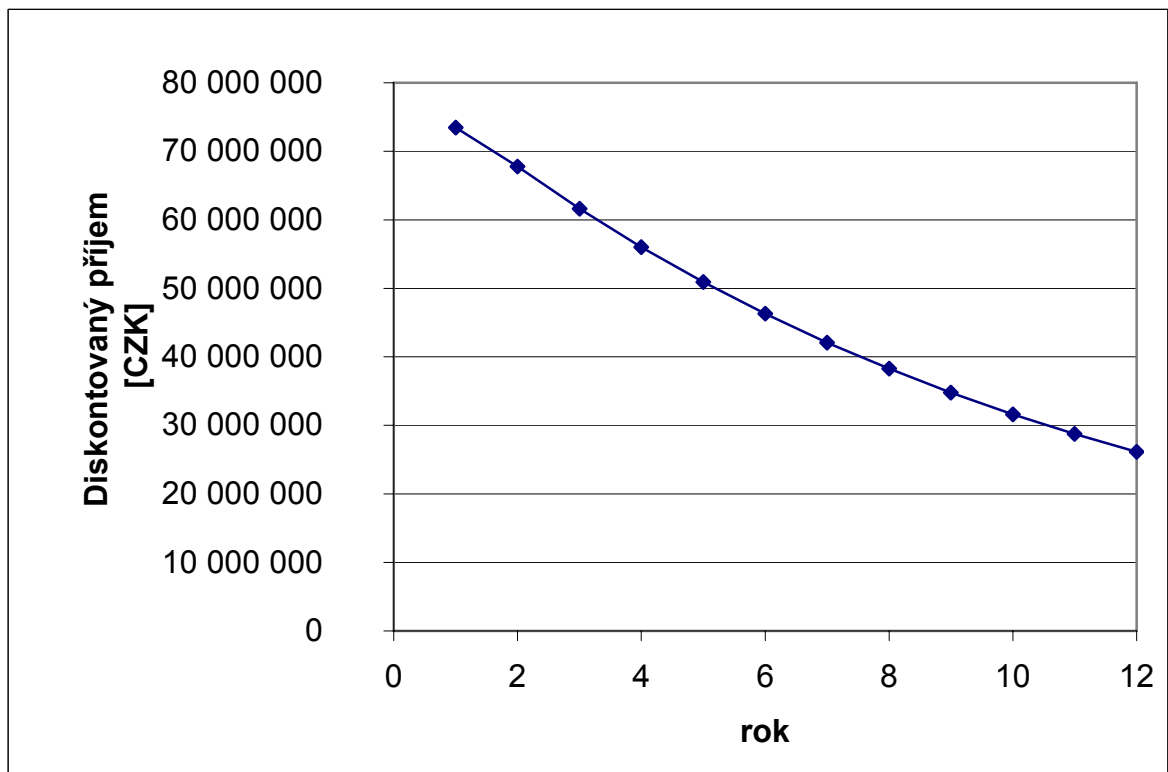
$$PI = \frac{557\,604\,345\text{CZK}}{140\,000\,000\text{CZK}} = 3,9829$$

Tato hodnota vlastně udává, že vložená investice se investorovi za danou dobu (v tomto případě doba odepisování 12 let) vrátí téměř čtyřnásobně. To je z ekonomického hlediska velmi dobrý výsledek, který jasně hovoří pro realizaci tohoto projektu.

Dále uvádím grafy znázorňující průběh diskontovaných příjmů a diskontovaného kumulovaného Cash Flow v závislosti na době provozu zařízení.



Obr. 6-1: Průběh kumulovaného diskontovaného Cash Flow za dobu odepisování zařízení



Obr. 6-2: Průběh diskontovaných příjmů za dobu odepisování zařízení

7 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabýval projektem výstavby zařízení s parní odběrovou kondenzační turbínou, která bude instalována k výrobě kyseliny sírové v akciové společnosti Precheza. Jelikož při této výrobě vzniká značné množství tepla, jeví se jako vhodné toto teplo využít pro výrobu elektrické energie, čímž se sníží množství nakupované elektrické energie od lokálního distributora. Tím se docílí značné úspory financí v rámci provozu podniku.

V teoretické části této práce jsem představil náplň výroby společnosti Precheza a uvedl stručný přehled jednotlivých produktů. Dále jsem stručně uvedl energetickou situaci v podniku a zohlednil možnost výstavby jednotky s parní kondenzační odběrovou turbínou pro výrobu elektrické energie. Pro tuto jsem zohlednil hlediska, která hovoří právě pro tuto investici, ať je to podpora ze strany státu pro výrobu elektrické energie z druhotných zdrojů, vhodné podmínky pro stavbu takového zařízení a také aspekty související se zvýšením efektivity provozu při výrobě kyseliny sírové. V další části jsem se zabýval přímo výrobou kyseliny sírové jako takové, surovinami pro její výrobu a meziprodukty vzniklé při její výrobě a popisu zařízení, ve kterém se vyrábí.

V praktické části této práce jsem přistoupil k návrhu tepelného schématu s kondenzační turbínou. Navrhl jsem jednotlivé části tohoto zařízení, které jsou použity pro regeneraci napájecí vody a samotnou činnost zařízení. Tyto jsem navrhoval z hlediska tří základních provozních stavů. Ty spočívají v množství páry, které je odebráno v jednotlivých odběrech, a tudíž ovlivňují množství vyrobené elektrické energie. Výpočty jednotlivých částí zařízení jsou tedy uvedeny pro minimální, maximální a průměrné množství odebrané páry v odběrech, které jsou zjištěny z provozních měření v podniku. Pro tyto stavy je zjištěno množství chladicí vody pro kondenzátor páry, množství páry 0,5 MPa, která bude použita pro regeneraci napájecí vody pro kotel. Množství kondenzátu se s různými stavy mění, proto je uveden i výpočet ohřívání přídavné vody, která musí být do okruhu dodávána.

Dále jsou vypočteny množství tepla použitého pro výrobu elektrické energie, stejně jako výkon při daných provozních stavech. Pro zohlednění účinnosti daného okruhu pro výrobu elektřiny jsou vypočteny měrné spotřeby tepla pro výrobu elektrické energie. Pro výpočet tepelného schématu jsem vytvořil m-soubor pro program Matlab, který slouží k výpočtu jednotlivých částí schématu. Jako vstupní údaje je nutno zadat množství vyrobené páry v kotli a dále množství odebírané páry v jednotlivých odběrech a množství páry odcházející do kondenzace.

Poslední část této práce pojednává o ekonomické výnosnosti celého projektu. Pro výpočet efektivnosti projektu je použito výpočtu Cash Flow a metody pro zhodnocení investice čisté současné hodnoty (NPV) a metody indexu ziskovosti (PI). Doba návratnosti je také důležitým ukazatelem pro ekonomické zhodnocení projektu. Dané zařízení začne vydělávat investorovi již ve druhém roce svého provozu a za dobu svého odepisování (12 let) vydělá celkově 417 604 345 Kč při požadované výnosnosti projektu 10 % ročně a uvažování zdanění 19 %, které bude aktuální od 1. 1. 2010. To při počáteční investici 140 000 000 Kč dává index ziskovosti téměř $PI = 4$, což znamená, že se investice vrátí investorovi téměř čtyřikrát. Z uvedeného vyplývá, že investice do tohoto zařízení je pro společnost Precheza doporučená, jelikož její zhodnocení dosahuje velmi dobrých výsledků.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BULIČKA, M. Výroba kyseliny sírové. SNTL, Praha 1962, str. 12 – 16, 19 – 21, 40 – 44.
- [2] SANDER, U.H.F., FISHER, H., ROTHE, U., KOLA, R., Sulphur, Sulphure Dioxide and Sulphuric Acid - An introduction to their Industrial Chemistry and Technology, English edition prepared by A. I. More, The British Sulphur Corporation Ltd., London 1984
- [3] RAČEK, J. Strojní zařízení elektráren. Nakladatelství Novotný, vydání druhé, Brno 2004, ISBN 80-214-2624-1
- [4] RAČEK, J. Strojní zařízení elektráren - Podklady pro cvičení. Nakladatelství Novotný, vydání druhé, Brno 2004, ISBN 80-214-2625-X
- [5] IBLER, Z. a kol. Technologický průvodce energetika - 1. díl., Nakladatelství BEN - technická literatura, vydání první, Praha 2002, ISBN 978-80-7300-026-4
- [6] IBLER, Z. a kol. Energetika v příkladech - Technický průvodce energetika - 2. díl., Nakladatelství BEN - technická literatura, vydání první, Praha 2003, ISBN 80-7300-097-0
- [7] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD Cenové rozhodnutí č. 8/2008, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů [On-line] Energetický regulační věstník, částka 11, ze dne 26. 11. 2008
http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/OZ/CR_8-2008_OZE-KVET-DZ.pdf
- [8] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD Cenové rozhodnutí č. 9/2008, kterým se stanovují ceny elektřiny a souvisejících služeb [On-line] Energetický regulační věstník, částka 12, ze dne 1. 12. 2008
http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/ER%20CR_9_2008.pdf
- [9] CHMELA, M. Ekonomika a řízení. Elektronický učební text, VUT v Brně, 2007
- [10] SYNEK, M. a kol. Podniková ekonomika - 4. přepracované a doplněné vydání, nakladatelství Beck, Praha 2006, ISBN 80-7179-892-4

Příloha A Zdrojový kód výpočtu tepelného schématu

```

clc
clear
%definice zakladnich promennych
etam=0.96; %mechanicka ucinnost turbiny
etag=0.97; %mechanicka ucinnost generatoru
invs=448.43e3; %entalpie nap. vody po stlaceni v napajecce
%admisni para
Ma=input('Zadejte mnozstvi admisni pary [kg/s]:');
ia=3357.58e3;
%para 2.6 MPa
M26=input('Zadejte mnozstvi pary odberu 2.6 MPa [kg/s]:');
i26=3163.45e3;
%para 0.7 MPa
M07=input('Zadejte mnozstvi pary odberu 0.7 MPa [kg/s]:');
i07=2916.99e3;
%para 0.5 MPa
M05=input('Zadejte mnozstvi pary v pseudoodberu 0.5 MPa [kg/s]:');
i05=2864.89e3;
%para emisni
Me=input('Zadejte mnozstvi pary vystupujici z turbiny [kg/s]:');
ie=2395.94e3;
%-----
%kondenzator
%tabulkove hodnoty
ik=191.59e3; %entalpie kondenzatu
ich1=83.85e3; %entalpie vst. chladici vody
ich2=125.67e3; %entalpie vyst. chladici vody
%vypocet mnozstvi chladici vody
Mk=Me;
Mch=((Mk*ik)-(Me*ie))/(ich1-ich2);
%-----
%ohrivak kondenzatu R1
%tabulkove hodnoty
iko=204.15e3; %entalpie vst. kondenzatu
ik1=419.08e3; %entalpie kondenzatu za smisenim
ip=2864.89e3; %entalpie topne pary
etaR1=0.93; %ucinnost reg. ohrivaku
%vypocet mnozstvi topne pary
Mp1=Mk*(iko-ik1)/(ik1-ip)/etaR1;
%vypocet mnozstvi kondenzatu za smisenim
Mk1=Mk+Mp1;
%-----
%odplynovak O
%tabulkove hodnoty
in=440.17e3; %entalpie vyst. vody z odplynovaku
ipv=419.08e3; %entalpie pridavne vody
etaO=0.93; %ucinnost odplynovaku
%vypocet mnozstvi topne pary
Mn=Ma;
Mp3=(Mn*(in-ipv)+Mk1*(ipv-ik1))/(ip-ipv)/etaO;
%vypocet mnozstvi pridavne pary
Mpv=Mn-Mp3-Mk1;
%-----
%ohrivak napajeci vody R2
%tabulkove hodnoty
inv=153.12e3; %entalpie dodavane vody
etaR2=0.93; %ucinnost ohrivaku pridavne vody
%vypocet mnozstvi topne pary
Mp2=Mpv*(ipv-inv)/(ip-inv)/etaR2;

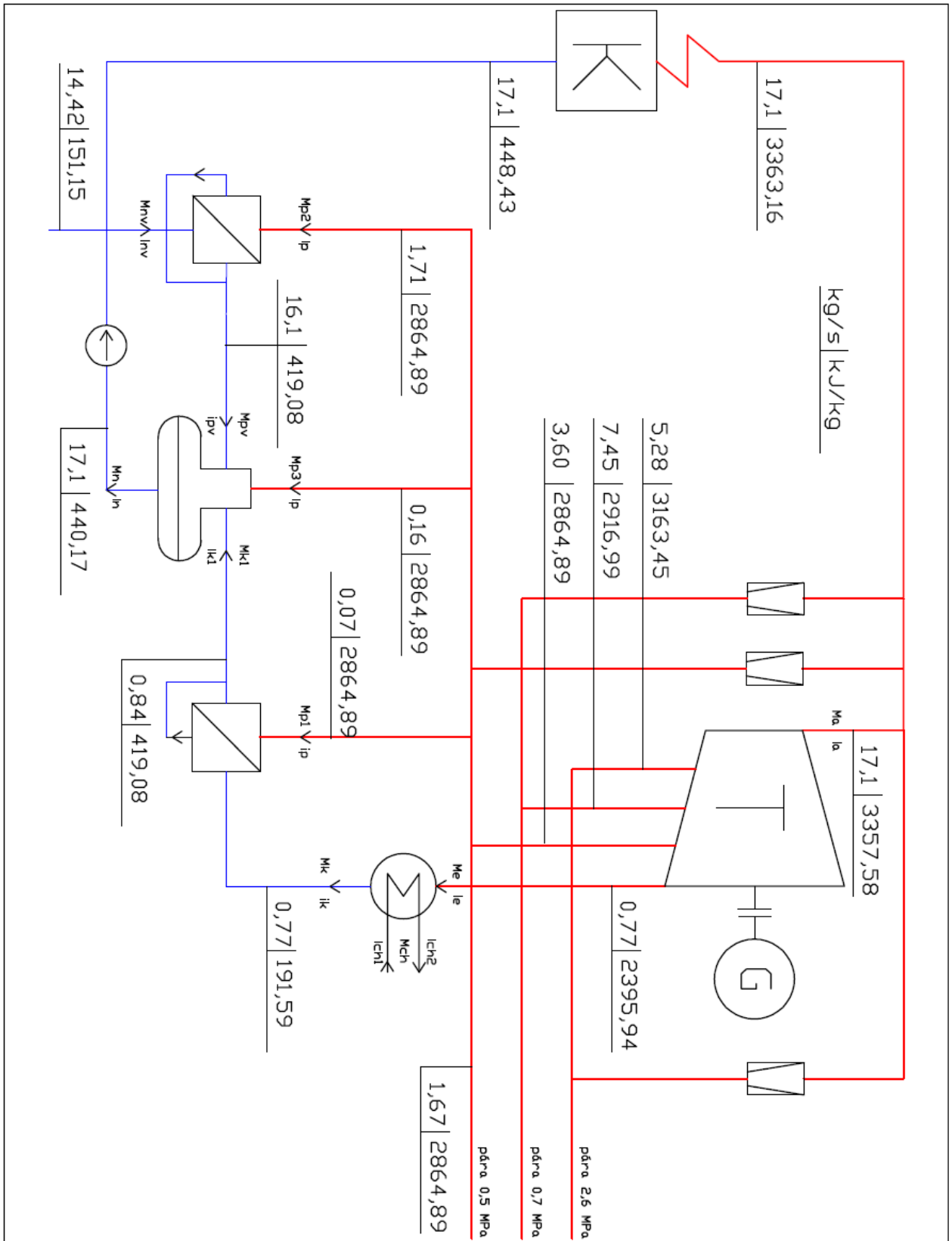
```

```

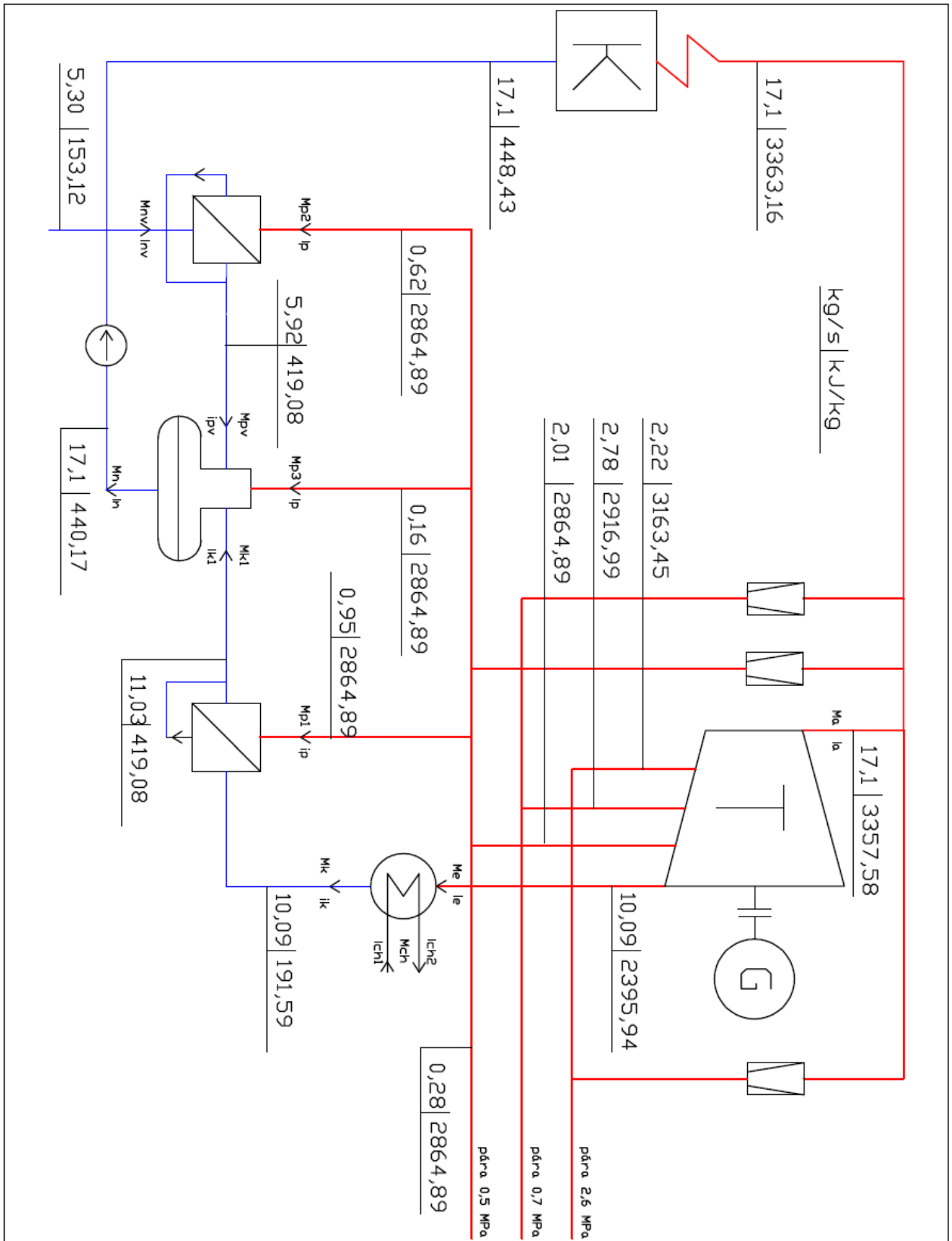
%vypocet mnozstvi dodavane vody
Mnv=Mpv-Mp2;
%-----
%mnozstvi vyrobene elektriny na odberu 2.6 MPa
W26=M26*(ia-i26)/1000;          %teplo do odberu [kJ/s]
P26=M26*(ia-i26)*etam*etag/1000;
%mnozstvi vyrobene elektriny na odberu 0.7 MPa
W07=M07*(ia-i07)/1000;          %teplo do odberu [kJ/s]
P07=M07*(ia-i07)*etam*etag/1000;
%mnozstvi vyrobene elektriny na odberu 0.5 MPa
W05=M05*(ia-i05)/1000;          %teplo do odberu [kJ/s]
P05=M05*(ia-i05)*etam*etag/1000;
%mnozstvi vyrobene elektriny v kondenzaci
We=Me*(ia-ie)/1000;             %teplo na elektrinu v kondezaci
Wk=Me*ie/1000;                  %teplo do kondenzace [kJ/s]
Pe=Me*(ia-ie)*etam*etag/1000;
%mnozstvi vyrobene elektriny z ohrevu
Wo=(Mp1+Mp2+Mp3)*(ia-i05)/1000; %teplo z ohrevu [kJ/s]
Po=(Mp1+Mp2+Mp3)*(ia-i05)*etam*etag/1000;
%celkove teplo na elektrinu
Wcelk=W26+W07+W05+We+Wk+Wo;    %teplo na elektrinu[kJ/s]
%okamzity vykon generatoru
Pcelk=P26+P07+P05+Pe+Po;
%merna spotreba tepla na elektrinu
Qe=Wcelk/Pcelk*3.6;
%-----
disp(['-----' ]);
disp(['-----Vysledky-----' ]);
disp(['Mnozstvi chladici vody je : ' num2str(Mch) ' kg/s ' ]);
disp(['Mnozstvi topne pary pro ohrivak kondenzatu je : ' num2str(Mp1) ' kg/s '
' ' ]);
disp(['Mnozstvi topne pary pro ohrivak pr. vody je : ' num2str(Mp2) ' kg/s '
' ' ]);
disp(['Mnozstvi topne pary pro odplynovak je : ' num2str(Mp3) ' kg/s ' ' ']);
disp(['El. vykon v odberu 2.6 MPa je : ' num2str(P26) ' kW ' ']);
disp(['El. vykon v odberu 0.7 MPa je : ' num2str(P07) ' kW ' ']);
disp(['El. vykon v odberu 0.5 MPa je : ' num2str(P05) ' kW ' ']);
disp(['El. vykon v kondenzaci je : ' num2str(Pe) ' kW ' ']);
disp(['El. vykon z ohrevu je : ' num2str(Po) ' kW ' ']);
disp(['Okamzity vykon generatoru je : ' num2str(Pcelk) ' kW ' ']);
disp(['Merna spotreba tepla na vyrobu elektriny je : ' num2str(Qe) ' MJ/kWh '
' ']);
disp([' ' ']);
disp(['-----end-----' ]);

```

Příloha B Tepelné schéma - maximální odběry páry



Příloha C Tepelné schéma - minimální odběry páry



Příloha D Tepelné schéma - průměrné odběry páry

