

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití točivé redukce v provozu elektrárny Chvaletice

**vedoucí práce: doc. Ing. Zbyněk Martínek CSc.
konzultant: Ing. Jiří Beneš Ph.D.
autor: Bc. Martin Haras**

2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin HARAS**
Osobní číslo: **E10N0101P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Využití točivé redukce v provozu elektrárny Chvaletice**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Analyzujte provozované technologie elektrárny Chvaletice a specifikujte konstrukční řešení točivé redukce.
2. Navrhněte vhodné nasazení.
3. Proveďte tepelný výpočet a provozně ekonomické výpočty pro výše uvedenou problematiku.
4. Posuďte ekonomické efektivity (NPV CF, IRR, Tnávr, ...)

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


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




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

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku redukování parametrů páry v elektrárně Chvaletice a využití energie ztrácené v redukčních stanicích. V první části je uvedena historie této významné stavby a hlavní technologické celky elektrárny. Dále je popsána problematika redukování parametrů vodní páry a technologických zařízení tyto parametry redukující. Hlavní částí předkládané práce je pak spolupráce redukčně – chladicí stanice fungující na elektrárně Chvaletice s navrhovanou točivou redukcí a výpočet návratnosti případné investice do tohoto technologického zařízení.

Klíčová slova

Točivá redukce, parní turbína, redukční ventil, elektrárna Chvaletice, redukční stanice, výroba elektrické energie

Abstract

This diploma thesis is focused on reducing parameters of steam in the Chvaletice power plant and the way how to use the energy, which we are losing in steam reducing stations. The first part is given to the history of this remarkable power plant and its main technological units. In the next chapter is described the way how to reduce parameters of steam and the technological equipment which can reduce those parameters. The main part of the thesis is the cooperation of the reducing station with newly designed steam turbine for the steam reduction and the calculation of return of costs needed for the steam turbine purchase.

Key words

Steam turbine for the reduction of steam pressure, steam turbine, reducing valve, Chvaletice power plant, reducing station, power generation

Prohlášení

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

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

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

V Plzni dne 10.5.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zbyňku Martínkovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Stejně tak i konzultantovi diplomové práce Ing. Jiřímu Benešovi Ph.D.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ	11
1 ELEKTRÁRNA CHVALETICE	12
1.1 POLOHA ELEKTRÁRNY	12
1.2 HISTORIE ELEKTRÁRNY	13
1.3 TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ ELEKTRÁRNY	14
1.3.1 Kotelna.....	14
1.3.2 Strojovna.....	15
1.4 OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	16
1.5 VYUŽITÍ VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	18
1.6 TECHNICKÉ ÚDAJE ELEKTRÁRNY CHVALETICE.....	19
1.7 PROVOZ ELEKTRÁRNY CHVALETICE V RÁMCI ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR.....	19
2 ZAŘÍZENÍ PRO ZMĚNU PARAMETRŮ PÁRY	20
2.1 REDUKČNÍ VENTIL	20
2.2 CHLADIČE PÁRY	21
2.3 REDUKČNÍ STANICE	22
3 TOČIVÁ REDUKCE	23
3.1 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ	23
3.2 DRUHY TOČIVÝCH REDUKCÍ	24
3.2.1 Turbína s letmo uloženým oběžným kolem	25
3.2.2 Vícestupňová turbína	26
3.2.3 Turbína s frekvenčním měničem.....	27
3.2.4 Plynové expanzní turbíny.....	28
4 VÝPOČET TOČIVÉ REDUKCE PRO ELEKTRÁRNU CHVALETICE	30
4.1 ZADANÉ VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČTY	30
4.2 VÝPOČET VÝKONU TOČIVÉ REDUKCE	30
4.3 NÁHRADA VSTŘIKOVANÉ VODY CHLADÍČÍ STANICÍ PÁROU VYROBENOU V KOTLI.....	32
4.4 VÝPOČET VÝKONU VT DÍLU	33
5 POSUDEK EKONOMICKÉ EFEKTIVITY	35
5.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY, PROVOZNÍ NÁKLADY A VÝNOSY TOČIVÉ REDUKCE	35
5.1.1 Náklady na uhlí	35
5.1.2 Výnosy z prodeje elektřiny	36
5.1.3 Investiční náklady točivé redukce	37
5.2 METODY HODNOCENÍ INVESTIC	37
5.2.1 Metoda čisté současné hodnoty (NPV CF)	37
5.2.2 Metoda vnitřního výnosového procenta (IRR).....	38
5.2.3 Metoda prosté doby návratnosti (T _{náv}).....	39
5.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU TOČIVÉ REDUKCE PŘI RŮZNÝCH PODMÍNKÁCH.....	40
6 NÁVRH TOČIVÉ REDUKCE	46
6.1 POPIS TOČIVÉ REDUKCE TR 100	46
6.2 JMENOVITÉ PARAMETRY TOČIVÉ REDUKCE TR100.....	47
6.3 REGULACE	47
6.4 GENERÁTOR	47

ZÁVĚR	49
POUŽITÁ LITERATURA	50
PŘÍLOHY	1
OBRÁZEK 1.1: ELEKTRÁRNA CHVALETICE	12
OBRÁZEK 1.2: ROZMÍSTĚNÍ VELKÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE	12
OBRÁZEK 1.3: HISTORICKÁ FOTOGRAFIE ZE STAVBY KOTELNY ELEKTRÁRNY CHVALETICE	13
OBRÁZEK 1.4: POHLED DO STROJOVNY, TURBÍNA A GENERÁTOR BLOKU B1 ELEKTRÁRNY CHVALETICE	16
OBRÁZEK 1.5: SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ODSÍŘENÍ ELEKTRÁRNY CHVALETICE	17
OBRÁZEK 2.1: REDUKČNÍ VENTIL	20
OBRÁZEK 2.2: ŘEZ REDUKČNÍM VENTILEM	20
OBRÁZEK 2.3: KONSTRUKČNÍ PŘEVODNÍK CHLADIČE PÁRY	21
OBRÁZEK 2.4: PŘÍKLAD ZAPOJENÍ REDUKČNĚ – CHLADÍČÍ STANICE	22
OBRÁZEK 3.1: OBĚŽNÉ KOLO LAVALOVY PARNÍ TURBÍNY, V POZADÍ PŘEVODOVKA	23
OBRÁZEK 3.2: SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ LAVALOVY PARNÍ TURBÍNY	24
OBRÁZEK 3.3: TOČIVÁ REDUKCE TR 320	25
OBRÁZEK 3.4: TOČIVÁ REDUKCE TR 320 TANDEM	26
OBRÁZEK 3.5: TOČIVÁ REDUKCE TR 320 TANDEM – VIZUALIZACE	26
OBRÁZEK 3.6: TOČIVÁ REDUKCE TR HI 150	27
OBRÁZEK 3.7: TOČIVÁ REDUKCE TR HI 150 – VIZUALIZACE	28
OBRÁZEK 3.8: TOČIVÁ REDUKCE T Rex 160	28
OBRÁZEK 3.9: UKÁZKA INSTALACE PLYNOVÉ EXPAZNÍ TURBÍNY.....	29
OBRÁZEK 5.1: POROVNÁNÍ VÝHODNOSTI INVESTICE DO TR Z HLEDISKA METODY NPV	42
OBRÁZEK 5.2: POROVNÁNÍ DISKONTOVANÉHO A NEDISKONTOVANÉHO CF V PRŮBĚHU ČASU, VARIANTA 1	44
OBRÁZEK 5.3: VÝVOJ ZDANĚNÉHO ZISKU V PRŮBĚHU ŽIVOTNOSTI TR, VARIANTA 1.....	44
OBRÁZEK 5.4: POROVNÁNÍ TRŽEB A NÁKLADŮ TOČIVÉ REDUKCE, VARIANTA 1	45
OBRÁZEK 6.1: JMENOVITÉ PARAMETRY TOČIVÉ REDUKCE TR100.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
OBRÁZEK 6.2: VIZUALIZACE TOČIVÉ REDUKCE TR100 NAVRHOVANÉ PRO ELEKTRÁRNU CHVALETICE.....	48
TABULKA 1.1: HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE ELEKTRÁRNY CHVALETICE.....	19
TABULKA 5.1: ROZDĚLENÍ SCÉNÁŘŮ NÁVRATNOSTÍ.....	40
TABULKA 5.2: PŘÍKLAD ŘEŠENÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI INVESTICE, VARIANTA 1	41
TABULKA 5.3: POROVNÁNÍ HODNOT NPV JEDNOTLIVÝCH VARIANT	43
TABULKA 5.4: POROVNÁNÍ HODNOT IRR JEDNOTLIVÝCH VARIANT	43
TABULKA 5.5: POROVNÁNÍ VARIANT DLE DOBY PROSTÉ A REÁLNÉ NÁVRATNOSTI.....	43
TABULKA 6.1: JMENOVITÉ PARAMETRY TOČIVÉ REDUKCE TR100.....	47
TABULKA 6.2: JMENOVITÉ PARAMETRY ASYNCHRONNÍHO GENERÁTORU TOČIVÉ REDUKCE TR100	47

Úvod

V dnešní době neustále rostoucí potřeby elektrické energie a tím i její ceny nutí společnost zamyslet se nad tím, kde hledat nové, pokud možno čisté a výnosné zdroje elektřiny. Někteří hledají právě nové způsoby a principy generace elektrické energie, někteří se snaží zvyšovat účinnost stávajících zařízení – elektráren. Tlak společnosti je také kladen na čistotu a ekologii při získávání elektrické energie. Také kvůli těmto důvodům a kvůli rostoucím cenám elektřiny a obecně energií začíná být výhodné přemýšlet nad tím, jestli množství energie doposud ztracené v průběhu technologického procesu se nedá využít pro jiné účely a tedy pro vyšší využití stávající technologie, pro ušetření části provozních nákladů či ke generaci finančního zisku. Oblastí zájmu této diplomové práce bude právě generace elektrické energie prostřednictvím točivé redukce připojené na asynchronní generátor díky energii doposud tracené na redukčním ventilu redukční stanice ve stávajícím provozu elektrárny Chvaletice. V úvodní části bych chtěl zmínit historii této pro Českou republiku jistě významné průmyslové stavby, dále pak popsat její hlavní technologické celky, vliv stavby na životní prostředí a fungování elektrárny v rámci elektrizační soustavy České republiky. Dále bych chtěl popsat stávající způsoby redukce parametrů vodní páry a technická zařízení k těmto účelům určená. Jako hlavní část práce vnímám návrh točivé redukce ke spolupráci s redukční stanicí a výpočet jejího ekonomického přínosu jak pro jejího budoucího provozovatele, tak z výše uvedených důvodů i pro celé lidstvo díky generaci energie bez nutnosti dalšího znečištění ovzduší.

Seznam symbolů

KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
TR	Točivá redukce
RS	Redukční stanice
VT	Vysokotlaký díl hlavní kondenzační turbíny elektrárny Chvaletice
ERÚ	Energetický regulační úřad
CF	Cash flow

1 Elektrárna Chvaletice



Obrázek 1.1: Elektrárna Chvaletice [1]

1.1 Poloha elektrárny

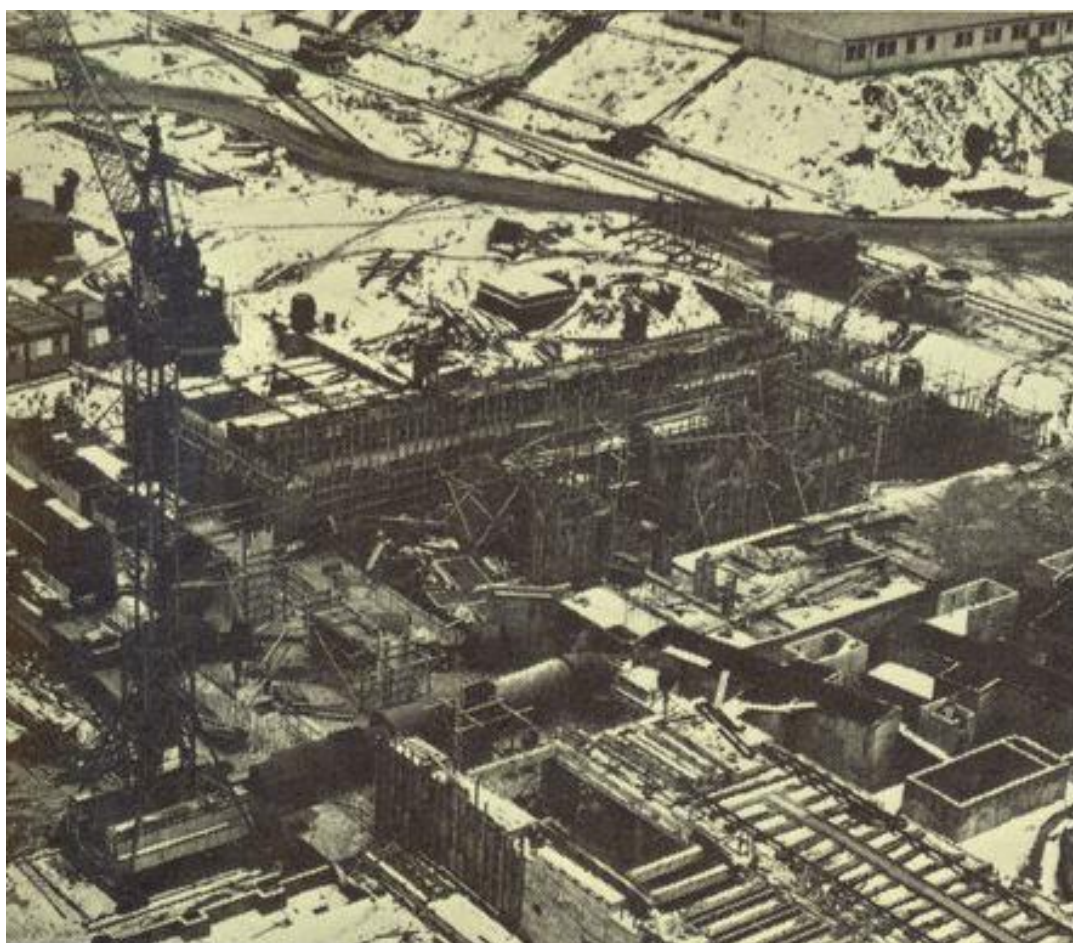
Klasická parní elektrárna Chvaletice se nachází ve Středočeském kraji, oblasti Polabí, asi dvacet kilometrů na západ od Pardubic v blízkosti železničního koridoru Praha - Česká Třebová. V současnosti je tento zdroj elektrické energie v majetku skupiny ČEZ.



Obrázek 1.2: Rozmístění velkých zdrojů elektrické energie v České republice [2]

1.2 Historie elektrárny

Pro zajištění dostatku elektrické energie pro druhou polovinu sedmdesátých let bylo rozhodnuto vládou ČSSR koncem šedesátých let dvacátého století postavit novou parní kondenzační elektrárnu o výkonu 800 MW, spalující hnědé energetické uhlí z dolu M. Gorkij. Z několika posuzovaných možných stavenišť zvítězila lokalita v blízkosti obce Chvaletice, na pozemku Mangano-kyzových závodů, které měly do roku 1975 ukončit svoji činnost. Jednou z hlavních výhod této lokality byl minimální zábor zemědělské půdy, protože většina stavenišť se rozkládala na již zdevastovaných plochách, které zbyly po těžbě pyritu.



Obrázek 1.3: Historická fotografie ze stavby kotelny elektrárny Chvaletice [3]

Spolu s výstavbou elektrárny bylo rozhodnuto o dobudování labské vodní cesty za účelem dopravovat hnědé energetické uhlí do elektrárny Chvaletice vodní cestou. Součástí výstavby elektrárny tedy byla také stavba překladiště uhlí v Lovosicích o kapacitě 10 milionů tun uhlí ročně a přístavu ve Chvaleticích. Výstavba elektrárny byla rozdělena do dvou etap. V první etapě, zahájené 1. 11. 1971, byla provedena příprava území stavby a následně stavba inženýrských sítí. Ve druhé etapě, zahájené 1. 6. 1973, probíhala výstavba vlastní parní elektrárny.

Celou stavbu Elektrárny Chvaletice investičně zajišťoval podnik Energoinvest Praha, generálním projektantem stavby byl Energoprojekt Praha, který spolu s dalšími projekčními organizacemi zajišťoval celkovou projektovou přípravu. Generálním dodavatelem stavby byl podnik Průmstav Pardubice, generálním dodavatelem technologických celků pak byla ŠKODA Plzeň, dodavatelský závod Praha.

Stavba elektrárny probíhala velmi rychle a plynule. Podařilo se splnit plánovaný termín uvedení elektrárny do provozu – na konci roku 1978.

První blok byl předán do zkušebního provozu 23. 12. 1977, poslední čtvrtý blok pak 13. 12. 1978. Celá stavba byla ukončena 31. 12. 1979 s celkovými náklady stavby ve výši 3 976 mil. Kčs.

Celkový instalovaný výkon 800 MW tvoří tedy čtyři výrobní bloky, každý o jmenovitém elektrickém výkonu 200 MW. Od roku 1997 není severočeské energetické hnědé uhlí dopravováno vodní cestou, nýbrž po železnici.[3,4]

1.3 Technické zařízení elektrárny

Provoz hlavních zařízení elektrárny je řízen z blokových dozoren. Z jedné dozorny je pak řízen provoz dvou výrobních bloků.

1.3.1 Kotelna

Kotle PG 655 jsou průtočné, dvoutahové, s granulačním ohništěm a spodním topeništěm. Výrobce byly Vítkovické železářny. Kotle jsou vybaveny přehříváním páry, ekonomizérem, rotačními ohříváky vzduchu, dvěma elektronapáječkami, jednou turbonapáječkou a dvěma třísektorovými elektrostatickými odlučovači popílku.

Tlakový celek kotle je tvořen čtyřmi částmi:

- Dvoustupňový hadový ohřívák vody (ekonomizér) umístěný na konci druhého tahu kotle.
- Výparník kotle, který je tvořen 128 trubkami, vyplňuje plochu 12 x 14,4 m.
- Přehřívák páry.
- Mezipřehřívák páry je dvojdílný a zajišťuje přehřátí z 347 °C na jmenovitých 540 °C. První díl je umístěn nad ekonomizérem v zadním tahu kotle a výstupní díl je umístěn v mezitahu kotle.

Doprava paliva do kotle je zajišťována kombinovaným podavačem paliva z uhlých zásobníků - redlerem v kombinaci s gumovým pasem vedoucím přes sušící šachty do ventilátorových mlýnů MV 50, kde se uhlí mele a dosušuje na obsah vody cca 3 %. Průměrný výkon jednoho uhlého mlýna po celou periodu životnosti je zhruba 45 t/h .

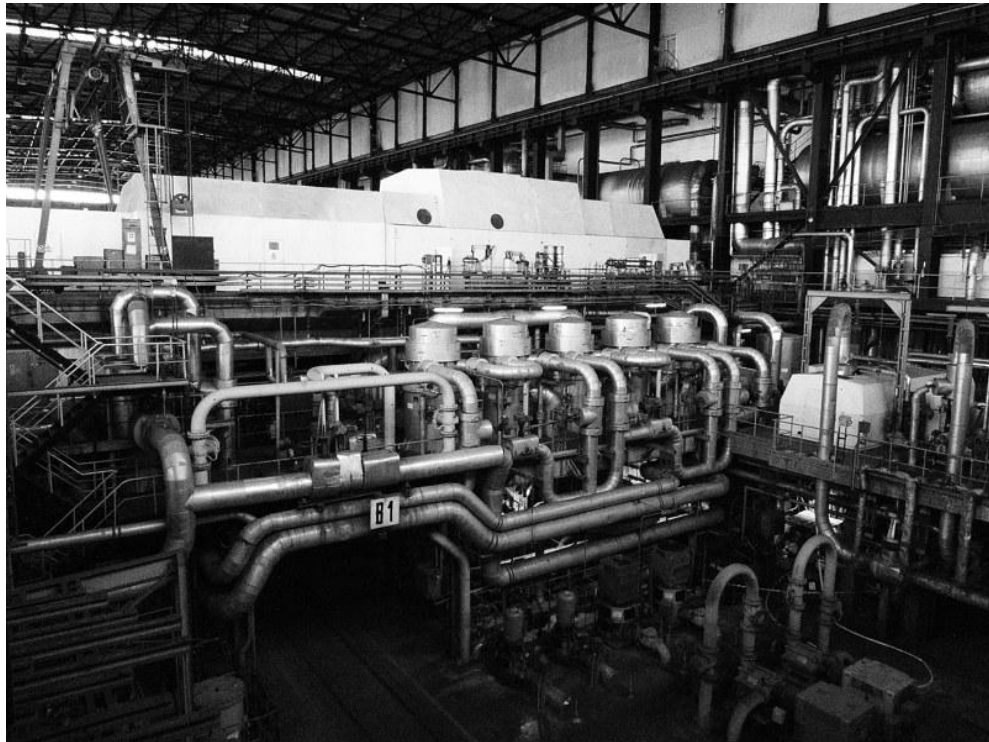
Kotel dosahuje při jmenovitém výkonu 655 t/h účinnosti 88 % a při ekonomickém výkonu 541 t/h nejvyšší účinnosti 88,2 %. Ušlechtlejším palivem pro najetí, stabilizaci kotle a řešení havarijních situací je mazut. Každý kotel je vybaven šesti mazutovými hořáky, které jsou ovládány dálkově. Každý hořák je schopen maximálně spálit 2,2 tuny mazutu za hodinu.

Palivem pro elektrárnu je severočeské energetické hnědé uhlí o průměrné výhřevnosti 10,6 MJ/kg a obsahu síry do 1,8 %. Zdrojem chladicí vody pro elektrárnu je řeka Labe.[3]

1.3.2 Strojovna

Strojovna je vybavena čtyřmi kondenzačními, třítělesovými, rovnotlakými turbínami. Každá turbína je vybavena osmi neregulovanými odběry páry. Turbíny o jmenovitém výkonu 235 MVA a jmenovitými otáčkami 3 000 ot/min zpracovávají páru o admisních parametrech: tlak 16,8 MPa a teplotě 535 °C.

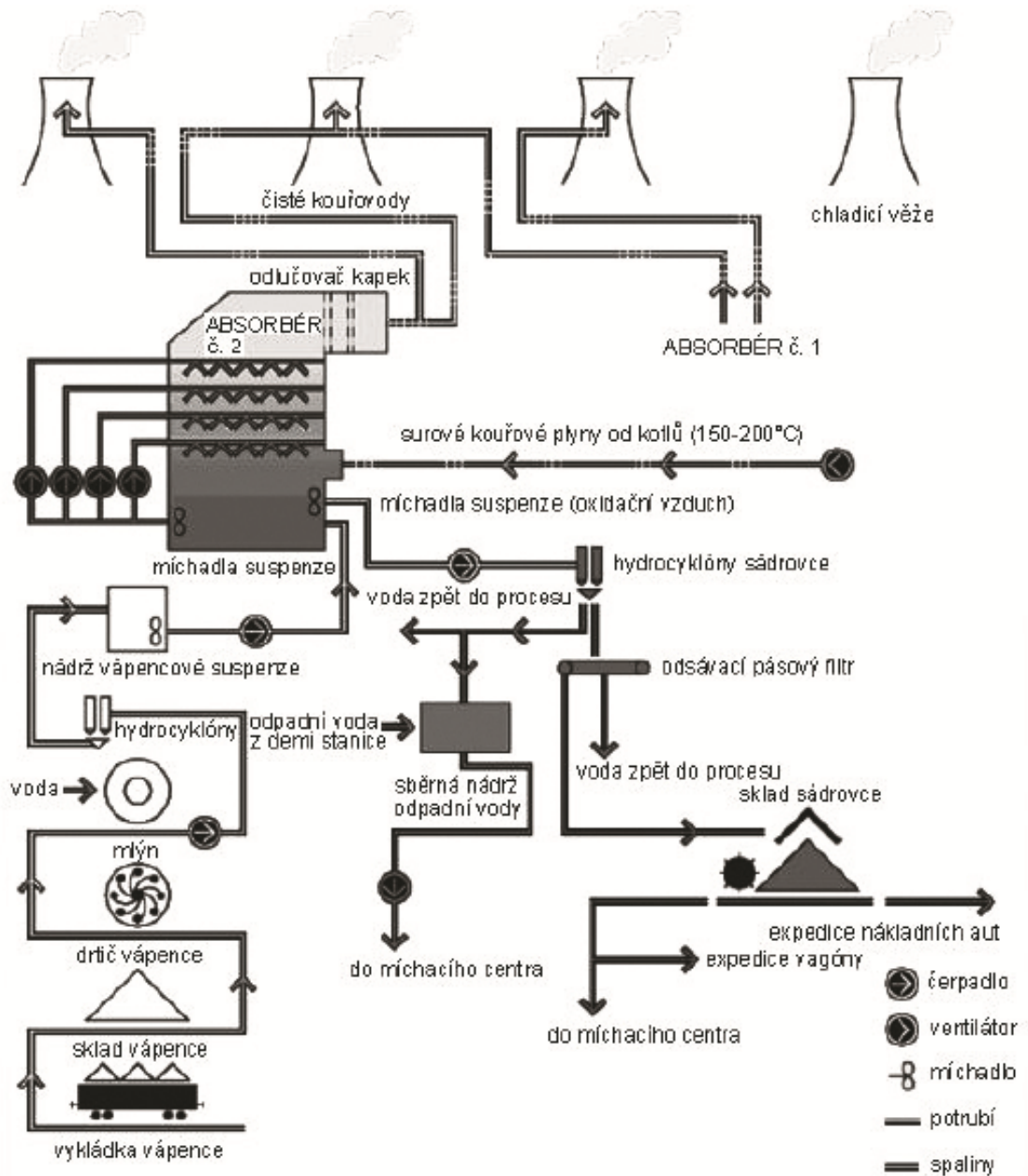
Na společné hřídeli s každou turbínou je osazen turboalternátor typu H 6688-2-VH 235 MVA o maximálním výkonu 235 MVA. Jmenovité výstupní napětí generátoru činí 15,75 kV. Elektrická energie o tomto napětí je vyvedena na vývodový transformátor, kde je napětí zvýšeno na hodnotu 400 kV vývodovým transformátorem o výkonu 250 MVA. Na jednu přenosovou linku 400 kV vedení jsou vyvedeny vždy dva bloky elektrárny. Výkon je z elektrárny vyveden do rozvodny Týnec nad Labem.[3,4,5]



Obrázek 1.4: Pohled do strojovny, turbína a generátor bloku B1 elektrárny Chvaletice [3]

1.4 Ochrana životního prostředí

Elektrárna svojí výrobou ovlivňuje životní prostředí ve svém okolí. Z celospolečenského hlediska je tedy nutností se zabývat snižováním negativního vlivu na okolní přírodu a životní prostředí obecně. Proto byly emise oxidu siřičitého ve spalinách sníženy instalací odsiřovacího zařízení na principu mokré vápencové vypírky, při níž je do proudu spalin vstřikována vodní suspenze jemně mletého vápence a produktem reakce se spalinami je pak hydrát síranu vápenatého, známého též pod označením energosádovec.



Obrázek 1.5: Schématické znázornění odsíření elektrárny Chvaletice [6]

Odsíření bloků č. 3 a 4 bylo dokončeno v závěru roku 1997, bloky 1 a 2 byly odsířeny v roce 1998. Hlavním dodavatelem technologie pro odsíření bylo finsko-japonské konsorcium společností IVO International Ltd., Hitachi Ltd. a Itochu Corp. Jedna odsiřovací jednotka pojme spaliny ze dvou výrobních bloků. Zvláštností stavby je vyvedení odsířených spalin do nitra chladicích věží na místo do té doby běžně používaného komínu. Emise oxidů dusíku byly sníženy na úroveň 400 mg/m^3 technickými úpravami na kotlích a zlepšení hoření paliva podle projektu německé firmy DBW. Emise prachu ve spalinách jsou nižší než 100 mg/m^3 . Elektrostatické odlučovače dodané firmou Lurgi pracují s účinností zachytu pevných částic ve spalinách 99,6 %.

Vliv elektrárny na životní prostředí je stále systematicky monitorován. Při překročení normou daných limitů emisí škodlivin je podnik postižen finančními sankcemi. Elektrárna provozuje ve svém okolí síť sedmi stanic měření imisí, která je plně kompatibilní se systémem AIM (automatický imisní monitoring) Českého hydrometeorologického ústavu.[4,5]

1.5 Využití vedlejších produktů výroby elektrické energie

V současné době se část odebraného jemného popílku z proudu spalin pomocí elektrostatických odlučovačů odebírá v suchém stavu a posléze je využit ve stavebním průmyslu. Většina tuhých zbytků je hydraulicky dopravována na složiště, které je vybudováno na místě bývalého mangano-pyritového lomu. Od druhé poloviny roku 1997 elektrárna přešla na suchý odběr popílku a strusky. Je vystavěno míchací centrum, které produkuje tzv. stabilizát (směs popela, vody, vápna a energosádrovce) pro stavební účely a uložení v pevném stavu.[4,5]

1.6 Technické údaje elektrárny Chvaletice

Souhrn hlavních technických údajů elektrárny Chvaletice:

CHVALETICE			
Instalovaný	výkon elektrárny	MW	800
	počet bloků	ks	4
	výkon kotelny	MW _t	4 x 506 = 2 024
t/h		4 x 655 = 2 620	
dosažitelný výkon elektrárny		MW	800
emise SO ₂	nejvýše přípustný limit (dle zákona o ochraně ovzduší)	mg/Nm ³	500
	projektovaný limit	mg/Nm ³	400
	roční průměr - skutečnost	mg/Nm ³	261
zapojení do regulace výkonu a frekvence	- primární	ano/ne	ano
	- sekundární	ano/ne	ano
	- terciární	ano/ne	ano
uspořádání		blokové / sběrníkové	blokové
max. možná dodávka tepla pro teplárenské účely	celkem	MW _t	52
	z odběrů turbín a protitlaku	MW _t	52
	z kotlů a red. stanic	MW _t	
druh základního paliva		(HU / ČU / lignit)	HU
výhřevnost projektovaného paliva		MJ/kg	13,8
způsob chlazení kondenzátorů		chladičí věže / průtočné	chladičí věže, cirkulační
odsířeno od roku			1997
rok uvedení do provozu nejstaršího a nejmladšího hlavního výrobního zařízení (např. výměna celého kotle či turbíny)		B 1 - 4	1977, 1978

Tabulka 1.1: Hlavní technické údaje elektrárny Chvaletice

Na turbogenerátorech č. 1 až 4 nebyla od uvedení do provozu v letech 1977 až 1978 vyměněna žádná významná komponenta, byly prováděny pouze opravy vysokotlakých a středotlakých těles turbogenerátoru a opravy vysokotlakých, středotlakých, nízkotlakých rotorů turbogenerátorů včetně částečného přelopatkování. Všechny důležité komponenty turbogenerátorů jsou původní z doby výstavby celé elektrárny.[4,5]

1.7 Provoz elektrárny Chvaletice v rámci elektrizační soustavy ČR

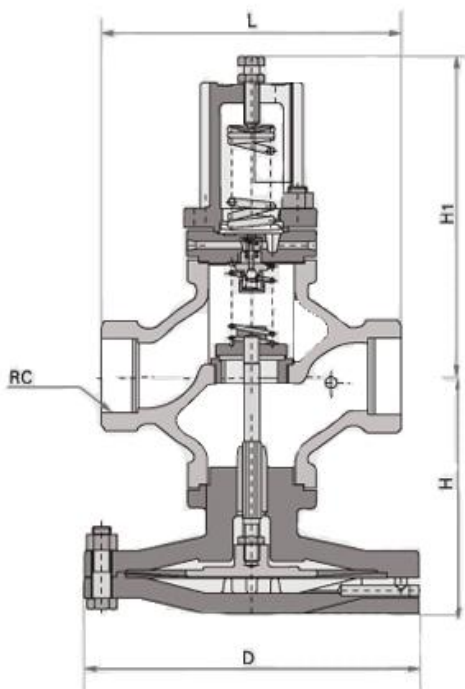
V současné době se vlivem vysokých provozních nákladů na výrobu elektrické energie v porovnání s jadernými elektrárnami a elektrárnami spalujícími hnědé energetické uhlí disponovanými přímo u zdroje paliva – v severních Čechách podílí elektrárna Chvaletice na produkci elektrické energie jako elektrárna pološpičková, regulační. Elektrárna se tedy v případě stabilního chodu soustavy neprovozuje na maximální výkon v základním zatížení, jako například již výše zmiňované jaderné zdroje elektrické energie – elektrárny Temelín a Dukovany.

2 Zařízení pro změnu parametrů páry

Záměrnou změnou parametrů páry rozumějme snižování hodnot tlaku a teploty tohoto plynného média. Snižování tlaku proudícího plynu je hojně v průmyslu a energetice využíváno. Například k jednotlivým technologiím je rozváděna pára potrubím o vysokém tlaku a těsně před danou technologií je její tlak redukován na požadovaný tlak pro funkci technologie. Pro určité aplikace je nutno snižovat tyto hodnoty pracovního média a k tomu je využito následujících zařízení:

2.1 Redukční ventil

Regulace hodnoty tlaku plynného média je většinou prováděno tzv. škrcením pomocí redukčního ventilu, přičemž je zvětšován objem plynu, plyn je redukován - je tedy dosaženo poklesu tlaku v potrubí. Průtok média je regulován kuželkou. Kuželka je ovládána táhlem, které reaguje na změnu výstupního tlaku. Výstupní tlak je odvozen od předpětí pružiny. Pokud je výstupní tlak nižší než nastavený převáží síla pružiny nad silou od tlaku a kuželka se pohne směrem nahoru, čímž se zvětší průtočný průřez a průtok plynu. Pokud tlak je vyšší než nastavený, působí na pružinu větší síla a tím se stlačí a otvor pod kuželkou se zmenší. Regulací tlaku je regulován i průtok páry.[6]



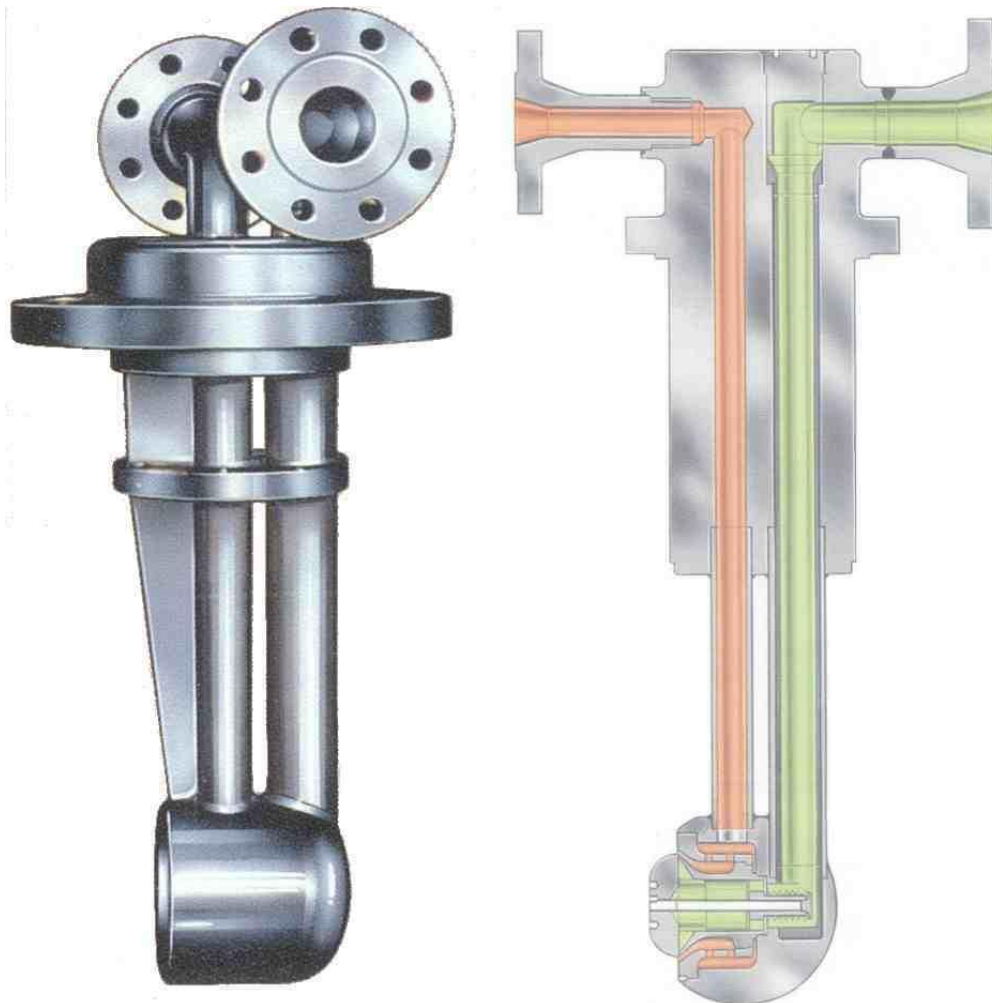
Obrázek 2.2: Řez redukčním ventilem [10]



Obrázek 2.1: Redukční ventil [11]

2.2 Chladiče páry

Koncové spotřebiče vyžadují ke svému chodu páru nejen o daných hodnotách tlaku, ale i teploty. Je tedy nutné zapojit před spotřebič zařízení určené ke snižování teploty pracovního média – chladiče páry. Chlazení je prováděno vstříkem vody tryskou po proudu toku páry. Voda odebírá teplo páře, dochází k vypařování vody a tím k celkovému snížení teploty proudícího média. Chlazení páry může být nejen jednostupňové (jedna tryska) nebo dvoustupňové (dvě trysky postupně za sebou). Rozstříkovaná voda se nesmí dostat na stěnu potrubí. Vyrábí se různé konstrukce chladičů, pro použití za redukčním ventilem se používá například toto provedení:

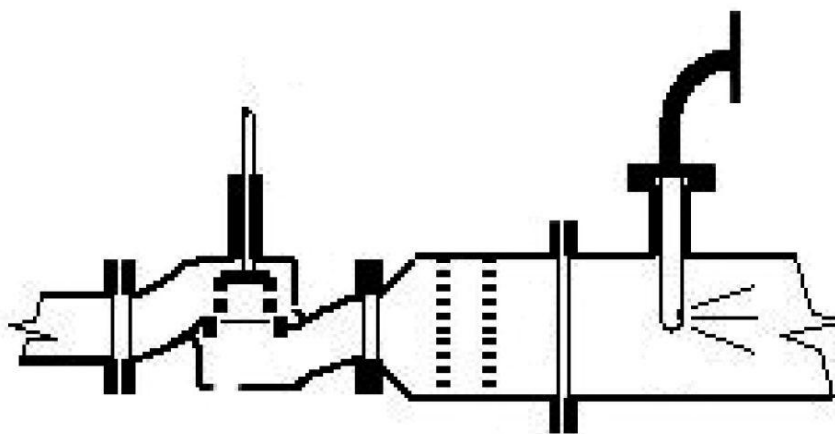


Obrázek 2.3: Konstrukční provedení chladiče páry [12]

2.3 Redukční stanice

Technologický celek nazývaný redukční stanice je redukční ventil opatřený potřebnými armaturami (uzavírací armatura, klapka atd.). Parní redukční stanice často obsahují i zařízení k chlazení páry. Takové zařízení se pak nazývá redukčně – chladicí stanice. Spotřebiče páry instalované za redukčně – chladicí stanicí mohou být různé a odlišné tedy mohou být i parametry páry nutné pro jejich chod (tedy i teplota, která se škrcením příliš nemění). Z tohoto důvodu bývá před každým spotřebičem nebo skupinou spotřebičů (v rámci jednoho podniku či rozsáhlejší soustavy) redukční stanice napojená na centrální parovod s maximálními parametry páry. Redukčně chladicí stanici lze pak rozdělit i do několika stupňů, přičemž v každém stupni se snižuje entalpie (tlak i teplota) páry o určitou část původní hodnoty.

Samotné škrcení a chlazení páry tedy znamená ztrátu využitelné energie a snížení kvality páry. Zvláště při snížení entalpie redukcí a zchlazením páry o větší entalpický spád se velice snižuje hospodárnost provozu, mařená energie je velmi vysoká. Proto se nahrazují redukčně chladicí stanice malými parními motory - parní turbínami a pístovými parní motory. I v případě „náhrady“ redukčního ventilu je však pouze přidán parní motor paralelně k již instalované redukční stanici pro případy zvýšení odběru páry nad limity turbíny nebo pro případy poruchy turbíny. Pro redukování páry se pak samozřejmě primárně užívá točivé redukce. Točivé redukci je věnována samostatná kapitola.[6]



Obrázek 2.4: Příklad zapojení redukčně – chladicí stanice [6]

3 Točivá redukce

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, změnu parametrů plyných médií lze též provést pomocí turbíny, na které je snižován zároveň tlak i teplota. Z důvodu aplikace točivé redukce pro elektrárnu Chvaletice bude dále věnována pozornost zejména turbínám pro redukování parametrů páry. Entalpie ztracená v redukčních stanicích se tímto způsobem dá přeměnit v technickou práci turbíny a tedy k výrobě elektrické energie asynchronním generátorem či k pohonu čerpadel, dmychadel a dalších zařízení.[6]

3.1 Konstrukční provedení

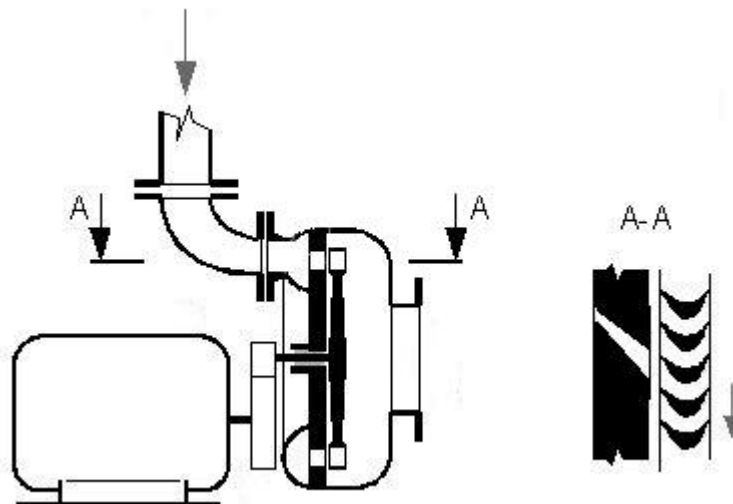
Točivá redukce je turbína s nižší termodynamickou účinností vybavená jedním či dvěma oběžnými, tzv. dýzovými koly. Jedná se o Lavalovu turbínu, kde pára nejprve expanduje v Lavalově dýze na statoru. Zde se tepelná energie páry mění na kinetickou. Rychlost páry na výstupu ze statoru turbíny je velice vysoká. Proud páry poté vstupuje do mezilopatkových kanálů rotoru, kde dochází k přeměně kinetické energie páry v mechanickou. Kinetická energie po průchodu oběžným kolem je mnohem nižší, než před rotorem.



Obrázek 3.1: Oběžné kolo Lavalovy parní turbíny, v pozadí převodovka [8]

Mechanická energie rotoru turbíny je ve většině případů přivedena na rotor asynchronního generátoru elektrické energie. Pro redukce vyšších výkonů je možná i kombinace se synchronním generátorem. Generátor může být přímo přes spojku připojen k turbíně, ve většině případů ale musí být připojen přes vysokootáčkovou převodovku

z důvodu vyšší termodynamické účinnosti rychloběžné turbíny. Převodovka poté redukuje otáčky turbíny na otáčky generátoru. Pro přenos energie mezi turbínou a generátorem lze též využít převod řemenem. Častěji než použití převodovky pro přenos výkonu turbíny na rotor „obyčejného“ generátoru dimenzovaného na frekvenci 50 Hz se využívá vysokofrekvenčního generátoru v kombinaci s výkonovou elektronikou – frekvenčním měničem, jenž převádí frekvenci na nižší, síťovou 50 Hz.[6,7]



Obrázek 3.2: Schématické znázornění Lavalovy parní turbíny [7]

3.2 Druhy točivých redukcí

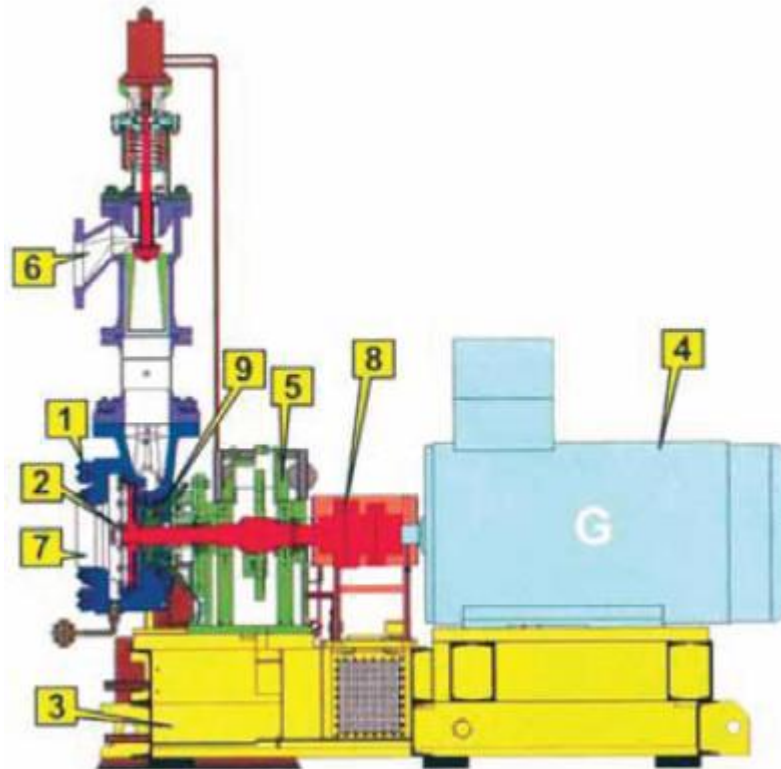
Jak již bylo naznačeno, pro potřeby aplikací točivé redukce pro různé výkony, entalpické spády a množství redukované páry se redukce vyrábějí v různých konstrukčních provedeních.

- Turbíny s letmo uloženým oběžným kolem
- Turbíny s oběžným kolem mezi ložisky
- Turbíny s frekvenčním měničem
- Vícestupňové turbíny
- Plynové expanzní turbíny

Pro ilustraci různých konstrukčních řešení přikládám na dalších stranách příklady jednotlivých druhů s technickými obrázky a specifikace z katalogu firmy G-Team a.s.

3.2.1 Turbína s letmo uloženým oběžným kolem

Točivá redukce model TR 320:



Obrázek 3.3: Točivá redukce TR 320 [8]

1 – stator, těleso turbíny, 2 – rotor, 3 – svařovaný ocelový rám,
4 – asynchronní generátor, 5 – převodovka, 6 – vstup páry, 7 – výstup páry, 8 – spojka, 9 – ucpávka

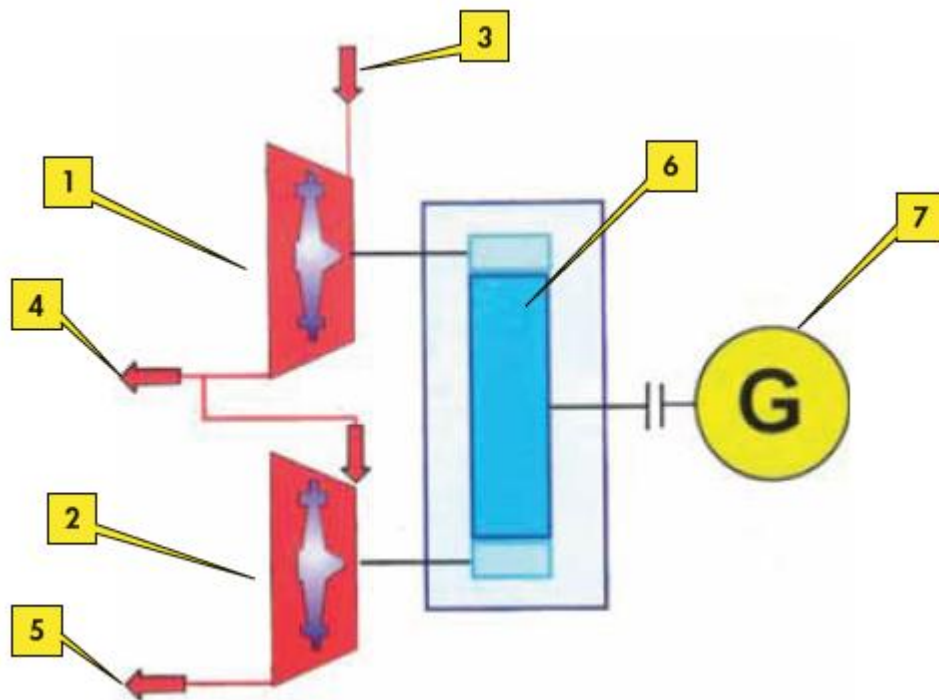
Technické parametry:

- výkon 200 – 700 kW
- množství páry 4 – 25 t/hod
- vstupní tlak páry 0,6 – 9 MPa
- výstupní tlak páry 0,05 – 2,5 MPa
- vstupní teplota páry max. 550 °C

Tato turbína je navržena pro izoentropický spád větší než 120 kJ/kg s možností ovládní parciálního ostříku. Modely s letmo uloženým oběžným kolem jsou vhodné pro pohon nejen elektrických generátorů, ale i napájecích čerpadel a dmychadel.[8]

3.2.2 Vícestupňová turbína

Točivá redukce model TR 320 TANDEM



Obrázek 3.4: Točivá redukce TR 320 TANDEM [8]
 1 – turbína 1, 2 – turbína 2, 3 – vstup páry,
 4 – odběr páry, 5 – výstup páry, 6 – převodovka, 7 – generátor



Obrázek 3.5: Točivá redukce TR 320 TANDEM – vizualizace [8]

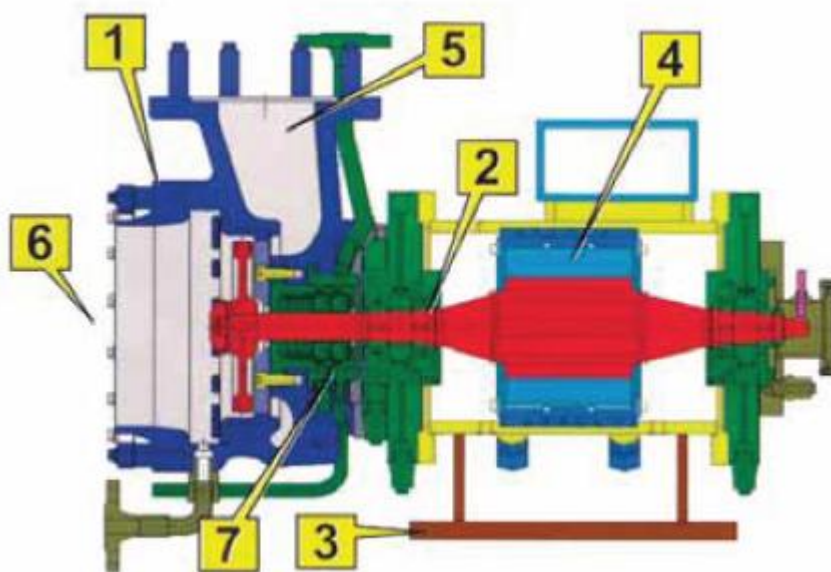
Technické parametry:

- výkon 150 – 2 000 kW
- množství páry 4 – 30 t/hod
- vstupní tlak páry 0,6 – 6,3 MPa
- výstupní tlak páry 0,05 – 1,4 MPa
- vstupní teplota páry max. 420 °C

Turbína TANDEM je tvořena dvěma turbínovými stupni. Tato turbína je navržena pro izoentropický spád větší než 400 kJ/kg a to především pro kondenzační provoz s možností regulovaného odběru páry za prvním stupněm. Turbínové stupně jsou vedle sebe letmo uloženy na dvou pastorcích převodovky. Tyto typy jsou zejména vhodné pro provoz v kombinaci s elektrickým generátorem.[8]

3.2.3 Turbína s frekvenčním měničem

Točivá redukce model TR Hi 150

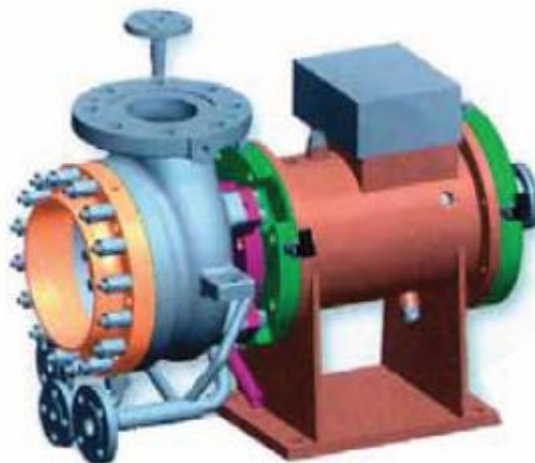


Obrázek 3.6: Točivá redukce TR Hi 150 [8]

1 – těleso turbíny, 2 – rotor turbíny, 3 – svařovaný ocelový rám,
4 – vysokofrekvenční elektrický generátor, 5 – vstup páry, 6 – výstup páry, 7 – parní ucpávka

Technické parametry:

- výkon max. 100 kW
- množství páry 0,2 – 6 t/hod
- vstupní tlak páry 0,3 – 4 MPa
- výstupní tlak páry 0,05 – 1,4 MPa
- vstupní teplota páry max. 420 °C

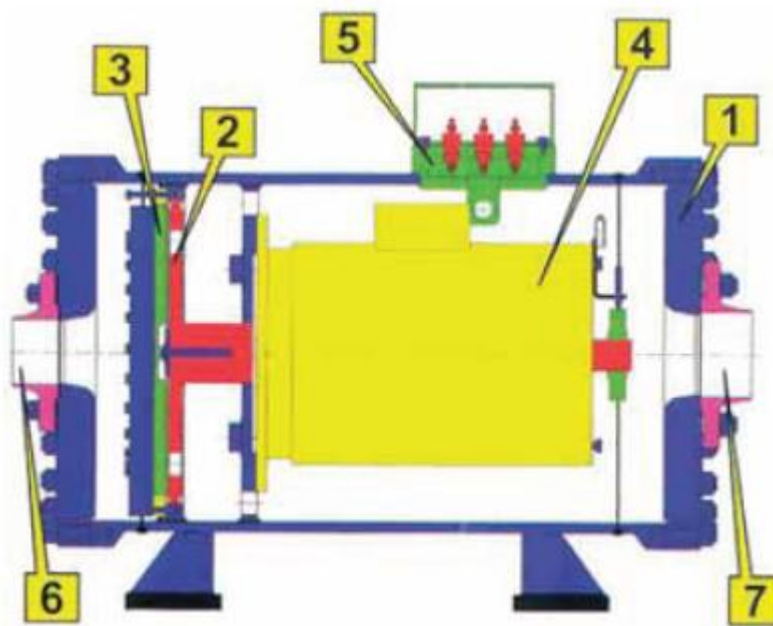


Obrázek 3.7: Točivá redukce TR Hi 150 – vizualizace [8]

TR Hi 150 je speciální turbína konstruovaná pro redukcí tlaku páry o nízkém hmotnostním průtoku s vysokým požadavkem na bezpečný mechanický chod a vysokou účinnost. Turbínová skříň se státorem elektrického generátoru tvoří celek bez spojky a bez druhotných rotujících částí. Turbínové kolo je letmo uchyceno na rotor vysokofrekvenčního elektrického generátoru. Převodovka je nahrazena frekvenčním měničem, jenž mění frekvenci generovaného elektrického proudu na síťový kmitočet.[8]

3.2.4 Plynové expanzní turbíny

Točivá redukce model TRex 370



Obrázek 3.8: Točivá redukce TRex 160 [8]

1 – stator turbíny, 2 – oběžné kolo, 3 – rozváděcí dýzy,
4 – generátor, 5 – průchodky vyvedení elektrického proudu, 6 – vstup plynu, 7 – výstup plynu

Technické parametry:

- výkon 20 – 150 kW
- množství plynu 0,2 – 6 t/hod
- vstupní tlak plynu 0,3 – 4 MPa
- výstupní tlak plynu 0,05 – 1 MPa
- vstupní teplota plynu max. 80 °C

V celosvětovém trendu dokonalejšího využívání energetických zdrojů bývají redukční stanice topných plynů doplněné o protitlaké expanzní turbíny. Tyto točivé redukce se integrují přímo do plynových rozvodů. Z hlediska provozu ve výbušném prostředí je možný provoz pouze s vysokofrekvenčním generátorem a frekvenčním měničem jako náhrady mechanické převodovky. Plynovými expanzními turbínami lze pohánět pouze elektrické generátory.[8]



Obrázek 3.9: Ukázka instalace plynové expanzní turbíny [18]

4 Výpočet točivé redukce pro elektrárnu Chvaletice

4.1 Zadané vstupní parametry pro výpočty

- Maximální hltnost turbíny: 5,8 t/hod
- Doba využití maxima: 5000 hod/rok
- Vstupní teplota páry: 332 °C
- Výstupní teplota páry: 250 °C
- Vstupní tlak páry: 2,8 MPa
- Výstupní teplota páry: 1,1 – 1,2 MPa
- Celková účinnost celku točivá redukce – převodovka – generátor: 0,5

Výstupní tlak páry v rozmezí 1,1 – 1,2 je dán spoluprací se stávající redukční stanicí, přičemž protitlak 1,1 MPa je uvažován při plně otevřeném redukčním ventilu v redukční stanici a 1,2 MPa při plně zavřeném redukčním ventilu.

Odběrový diagram páry není znám, hodinové průtoky nejsou měřeny. Proto v této diplomové práci budu uvažovat pouze odhadovanou dobu provozu 5000 hodin ročně při plném výkonu točivé redukce.

4.2 Výpočet výkonu točivé redukce

Pro výpočet výkonu točivé redukce je nutno znát entalpii admisní páry na vstupu točivé redukce a emisní entalpii na výstupu. Odečtením těchto hodnot získáváme entalpický spád využitelný točivou redukcí pro výrobu elektrické energie. K získání těchto hodnot je třeba odečíst entalpie z *i-s* diagramu vody a vodní páry. Ty dostáváme ze souřadnic na svislé ose udávající hodnotu entalpie v průsečíku hodnot teploty a tlaku vodní páry. V příloze je přiložen zmiňovaný *i-s* diagram.

- Entalpie admisní páry točivé redukce: $i_{aTR} = 3\,080$ kJ/kg
- Entalpie emisní páry točivé redukce při protitlaku 1,2 MPa: $i_{eTR1} = 2\,935$ kJ/kg
- Entalpie emisní páry točivé redukce při protitlaku 1,1 MPa: $i_{eTR2} = 2\,940$ kJ/kg

$$\Delta i_1 = i_{aTR} - i_{eTR1} \text{ [kJ/kg]} \quad (1)$$

Po dosazení: $\Delta i_1 = 3080 - 2935 = 145$ kJ/kg

Z těchto hodnot tedy dostáváme využitelný entalpický spád 145 kJ/kg pro první variantu, respektive 140 kJ/kg pro druhou variantu.

Výkon točivé redukce dostaneme z tohoto vztahu:

$$P_{TR1} = \frac{\Delta i_1 \cdot M_p}{3600} \cdot \eta = [kW] \quad (2)$$

Po dosazení: $P_{TR1} = \frac{145 \cdot 5800}{3600} \cdot 0,5 = 116,805 \text{ kW}$

Při druhé uvažované variantě výpočtu pak výkon P_{TR2} činí 112,777 kW. Tyto hodnoty mimo jiné ukazují jak dimenzovat generátor elektrického proudu, který bude připojen na točivou redukci.

Vynásobením hodnoty výkonu časem, po který generátor připojený na točivou redukci vyrábí elektřinu, pak vypočítáme práci čili energii, kterou dodáváme do elektrizační sítě.

$$W_{TR1} = P_{TR1} \cdot T_{MAX} [kWh] \quad (3)$$

Po dosazení: $W_{TR1} = 116,805 \cdot 5000 = 584\,025 \text{ kWh} = 584,025 \text{ MWh}$

Pro druhou variantu vychází $W_{TR2} = 563,885 \text{ MWh}$.

Obě uvažované varianty (varianta s plně otevřeným a uzavřeným redukčním ventilem) nejsou v provozu reálné. Paralelně s točivou redukcí využívanou po maximální možný čas bude spolupracovat redukční ventil, čímž se bude měnit protitlak turbíny točivé redukce. Pro výpočty ekonomických ukazatelů budou použity průměrné hodnoty z předchozích výpočtů.[14]

$$W_{TR} = \frac{W_{TR1} + W_{TR2}}{2} [MWh] \quad (4)$$

Po dosazení: $W_{TR} = \frac{584,025 + 563,885}{2} = 573,955 \text{ MWh}$

4.3 Náhrada vstříkované vody chladicí stanicí párou vyrobenou v kotli

V případě stávajícího užívání redukční stanice, čili kombinace redukce tlaku a chlazení páry, je množství dodávané páry do sběrný vlastní spotřeby dáno součtem množství redukované páry odebírané z odběru umístěného za vysokotlakým dílem kondenzační turbíny elektrárny Chvaletice a množstvím vstříkované chladicí vody určené pro další zchlazení redukované páry.

Náhradou takto fungující redukční stanice točivou redukcí je třeba počítat s tím, že množství původně vstříkované vody do chladiče páry je nyní nutno nahradit stejným množstvím páry vyrobené v kotli.

Lze tedy dosazovat do vzniklého vztahu, kde M_{RV} reprezentuje množství páry odebírané z vysokotlakého dílu kondenzačního turbosoustrojí elektrárny Chvaletice jdoucí přes redukční ventil a M_{VV} pak množství vstříkované vody do redukované páry. Ze soustavy rovnic nás zajímá množství vstříkované vody, které je nutno nově s instalací točivé redukce nahradit párou vyrobenou v kotli elektrárny.

$$i_{aTR} \cdot M_{RV} + i_{VV} \cdot M_{VV} = i_{eTR1} \cdot M_p \quad (5)$$

$$M_{RV} + M_{VV} = M_p \quad (6)$$

Po úpravě dostáváme vztah: $M_{VV1} = M_p \cdot \frac{i_{eTR1} - i_{aTR}}{i_{VV} - i_{aTR}} \text{ [kg/hod]}$ (7)

Po dosazení do vztahu (7): $M_{VV1} = 5800 \cdot \frac{2935 - 3080}{83,92 - 3080} = 280,7 \text{ kg/hod}$

Hodnotu i_{VV} nalezneme v tabulkách vody a páry, uvažujeme vstříkovanou vodu o teplotě 20 °C. Pro variantu 2 činí výsledná hodnota 271,02 kg/hod vstříkované vody, kterou jak již bylo zmíněno je nutno nahradit párou z kotle.

Pro pozdější výpočet množství uhlí potřebného pro výrobu páry navíc pro točivou redukcí spočteme průměrnou hodnotu M_{VV} . [14]

$$M_{VV} = \frac{M_{VV1} + M_{VV2}}{2} \text{ [kg/hod]} \quad (8)$$

Po dosazení: $M_{VV} = \frac{280,7 + 271,02}{2} = 275,86 \text{ kg/hod}$

4.4 Výpočet výkonu VT dílu

Jak již bylo napsáno v předchozí kapitole, při náhradě redukčního ventilu se vstřikem chladicí vody točivou redukcí je nutné množství původně vstřikované chladicí vody nahradit stejným množstvím páry, kterou je nutno navíc vyrobit v kotli elektrárny. Tato pára koná technickou práci na vysokotlakém dílu kondenzační turbíny čímž vyrábí turbogenerátoru elektrárny elektrickou energii.

- Vstupní teplota páry VT dílu turbíny: 535 °C
- Výstupní teplota páry VT dílu turbíny: 332 °C
- Vstupní tlak páry VT dílu turbíny: 16,8 MPa
- Výstupní tlak páry VT dílu turbíny: 2,8 MPa
- Termodynamická účinnost turbíny: 0,85
- Účinnost přeměny mechanické energie na elektrickou v turbogenerátoru: 0,99

Z těchto zadaných hodnot odečteme z *i-s* diagramu hodnoty admisní a emisní entalpie vysokotlakého dílu turbíny, z nichž následně dostáváme entalpický spád. V příloze je přiložen zmiňovaný *i-s* diagram. Tento spád je poté třeba korigovat účinnostmi přeměny energií – termodynamickou účinností turbíny a účinností elektrického generátoru.

- Entalpie admisní páry VT dílu turbíny: $i_{aVT} = 3\,395 \text{ kJ/kg}$
- Entalpie emisní páry VT dílu turbíny: $i_{eVT} = 3\,080 \text{ kJ/kg}$

$$\Delta i_{VT} = i_{aVT} - i_{eVT} \text{ [kJ/kg]} \quad (9)$$

Po dosazení: $\Delta i_{VT} = 3395 - 3080 = 315 \text{ kJ/kg}$

Výkon páry na VT dílu vyrobené navíc dostáváme ze vztahu:

$$P_{VT1} = \frac{\Delta i_{VT} \cdot M_{VV1}}{3600} \cdot \eta_{td} \cdot \eta_{gen} = [kW] \quad (10)$$

Po dosazení: $P_{VT1} = \frac{315 \cdot 280,7}{3600} \cdot 0,85 \cdot 0,99 = 20,668 \text{ kW}$

Při druhé uvažované variantě výpočtu pak výkon P_{VT2} činí 19,956 kW.

Vynásobením hodnoty tohoto výkonu časem, po který kotel elektrárny vyrábí navíc páru pro točivou redukci, která koná práci na VT dílu kondenzační turbíny, získáváme práci čili energii, kterou dodáváme do elektrizační sítě pomocí turbogenerátoru.

$$W_{VT1} = P_{VT1} \cdot T_{MAX} [kWh] \quad (11)$$

Po dosazení: $W_{VT1} = 20,668 \cdot 5000 = 103\,340 \text{ kWh} = 103,340 \text{ MWh}$

Pro druhou variantu výpočtu vychází $W_{VT2} = 99,78 \text{ MWh}$.

Obě uvažované varianty (varianta s plně otevřeným a uzavřeným redukčním ventilem) nejsou v provozu reálné. Paralelně s točivou redukcí využívanou po maximální možný čas bude spolupracovat redukční ventil, čímž se bude měnit protitlak turbíny točivé redukce. Pro další výpočty tedy budou použity průměrné hodnoty z předchozích výpočtů.[14,19,20]

$$W_{VT} = \frac{W_{VT1} + W_{VT2}}{2} [MWh] \quad (12)$$

Po dosazení: $W_{VT} = \frac{103,34 + 99,78}{2} = 101,56 \text{ MWh}$

5 Posudek ekonomické efektivity

Pro posouzení výhodnosti realizace investice do točivé redukce a rychlosti návratu investovaných prostředků je nutno znát cenu technologie a samozřejmě cenu vstupů a výstupů k ní náležící.

5.1 Investiční náklady, provozní náklady a výnosy točivé redukce

5.1.1 Náklady na uhlí

Jak již bylo v kapitole 1 napsáno, elektrárna Chvaletice získává potřebné teplo pro ohřev vody v páru z hnědého severočeského energetického uhlí. Je tedy nutností spočítat náklady na ohřev dodatečného množství vody pro nově budovanou točivou redukcí.

Z původní technické dokumentace elektrárny Chvaletice:

- Teplota napájecí vody kotle: 247,3 °C
- Tlak admisní páry: 16,8 MPa
- Účinnost kotle: η_k : 0,88

Z těchto hodnot je tedy možno získat pomocí tabulek termodynamických vlastností vody a vodní páry pro výpočet důležitou hodnotu entalpie napájecí vody kotle:

- Entalpie napájecí vody kotle i_{NV} : 1 073,8 kJ/kg
- Entalpie admisní páry VT dílu turbíny: i_{aVT} = 3 395 kJ/kg

$$\Delta i_K = i_{aVT} - i_{NV} \text{ [kJ/kg]} \quad (13)$$

Po dosazení: $\Delta i_K = 3395 - 1073,8 = 2\,321,2 \text{ kJ/kg}$

Množství tepla z uhlí za rok získáme ze vztahu:

$$Q = \frac{\Delta i_K \cdot M_{VV}}{\eta_K \cdot 10^6} \cdot T_{MAX} \text{ [GJ/rok]} \quad (14)$$

Po dosazení: $Q = \frac{2321,2 \cdot 275,86}{0,88 \cdot 10^6} \cdot 5000 = 3\,638,217 \text{ [GJ/rok]}$

Pro stanovení nákladů na palivo je nutné znát cenu, za níž elektrárna nakupuje uhlí. Cena uhlí není na jednotku hmotnosti, nýbrž na energii v něm obsaženou. Přesné údaje o cenách jsou citlivými informacemi, a tudíž jsem je nedostal k dispozici od pana konzultanta.

V uvedeném zdroji jsem tedy našel odhad stávající ceny uhlí pro elektrárny a teplárny i s výhledem na ceny v blízké budoucnosti. V analýze tedy uvažuji ceny uhlí 40, 60 a 80 Kč/GJ, tedy zhruba 1,6; 2,4 a 3,2 EUR/GJ.[9]

Uvažované roční náklady na uhlí jsou tedy:

- Varianta 1: 5 821 EUR/rok
- Varianta 2: 8 732 EUR/rok
- Varianta 3: 11 642 EUR/rok

5.1.2 Výnosy z prodeje elektřiny

Přesnou výkupní cenu elektrické energie z elektrárny Chvaletice vzhledem k citlivosti dané informace opět stejně jako v případě nákupní ceny uhlí neznám, na aktuální anglické burze se cena pohybuje okolo hodnoty 50 EUR/MWh.

Při výrobě elektrické energie generátorem, který bude připojen na točivou redukci lze navíc uvažovat o možnosti získání příspěvku od Energetického regulačního úřadu na elektřinu z kombinované výroby elektřiny a tepla, takzvaného KVETu ve výši 590 Kč/MWh ke stávající výkupní ceně. V přepočtu tento příspěvek činí cca 24 EUR/MWh. Byť se jedná o uhelnou elektrárnu spalující tedy čistě fosilní, „neekologická“ paliva, výroba energie točivou redukcí je výrobou z energie páry původně mařené redukční stanicí a tedy je to výroba elektřiny ve své podstatě ekologická. Proto je tu možnost příspěvek na KVET získat.

Jsou zde tedy možné dva scénáře:

1. Elektřina z generátoru točivé redukce bude prodávána za stejnou cenu, jako energie z hlavního turbosoustrojí elektrárny (50 EUR/MWh)
2. Elektřina z generátoru točivé redukce bude vykupována s příspěvkem na podporu obnovitelných zdrojů v ceně 74 EUR/MWh, elektřina vyrobená hlavním turbosoustrojím elektrárny párou potřebnou navíc pro točivou redukci bude vykupována za 50 EUR/MWh.[16,17]

Roční výnosy těchto dvou scénářů vyjádřeny v číslech:

$$1. V = (W_{TR} + W_{VT}) \cdot 50 \text{ [EUR]} \quad (15)$$

$$\text{Po dosazení: } V = (573,955 + 101,56) \cdot 50 = 33\,776 \text{ EUR/rok}$$

$$2. V = W_{TR} \cdot 74 + W_{VT} \cdot 50 = \text{[EUR]} \quad (16)$$

$$\text{Po dosazení: } V = 573,955 \cdot 74 + 101,56 \cdot 50 = 47\,551 \text{ EUR/rok}$$

5.1.3 Investiční náklady točivé redukce

Přesné údaje o investiční náročnosti instalace točivé redukce nejsou známy. Firma vyrábějící a prodávající navrhovanou točivou redukcí TR 100 (bude objasněno v příští kapitole) nemá zveřejněný ceník a přesnou cenu určuje zakázku od zakázky.

Odhadovanou cenu instalace točivé redukce určuji od ceny podobné instalace stejného typu točivé redukce vyrobenou firmou G-Team s.r.o. Tato cena zahrnuje jak technické zařízení, tak nutné přidružené práce s počítáním s investičními rezervami a dle mého odhadu činí 3 000 000 Kč, tedy cca 120 000 EUR.

5.2 Metody hodnocení investic

Pro posuzování ekonomické výhodnosti existuje mnoho a mnoho různých postupů a algoritmů. V případě posuzování ekonomické výhodnosti instalace točivé redukce budou uvažovány metody NPV CF, IRR a metodou prosté doby návratnosti.

5.2.1 Metoda čisté současné hodnoty (NPV CF)

Metoda posuzování výhodnosti NPV CF neboli Net Present Value of Cash Flow či Net Present Worth (NPW), v překladu čistá současná hodnota peněžních toků zohledňuje hlavně faktor času ve výpočtech ekonomické výhodnosti.

Čistá současná hodnota je ukazatel, který počítá pouze a jen s budoucím cashflow. Vlastně nám říká, kolik peněz nám za zvolenou dobu životnosti projektu daný projekt přinese nebo sebere. Nezajímá se tedy o účetní položky, jako jsou výnosy a náklady, nezajímá se o nějakou hodnotu společnosti, ale řeší pouze a jen peněžní toky, které nám daná investice nebo obecně vzato jakýkoliv projekt přinese.

NPV se tedy nehodí pro hodnocení strategicky významných projektů. Je vhodná spíše v krátkém a středním období pro hodnocení taktických aktivit společnosti.

Základem výpočtu NPV je schopnost kvalifikovaně odhadnout budoucí finanční toky související s danou investicí či projektem. Dále je nutné si na začátku výpočtu zvolit správnou dobu životnosti projektu neboli časový rámec, pro který NPV budeme počítat. Doba životnosti totiž velice významným způsobem ovlivňuje hodnotu NPV. Stačí s ní o pár let pohnout jedním nebo druhým směrem a rázem tu máme z původně ztrátové investice vysoce výnosnou a naopak. Obvykle se jako tento údaj počítá skutečná doba životnosti daného zařízení, nikoliv tedy doba jeho odpisu.

NPV počítá s budoucími peněžními toky. U nich navíc může zohlednit jejich hodnotu v čase. Je totiž zřejmé, že milion teď má jinou hodnotu než milion za 10 let. A to ze dvou důvodů – jednak za milion dnes koupíme pravděpodobně více než za ten samý milion za deset

let a jednak když dáme milion dnes do banky, třeba i na 1% úrok, tak za 10 let budeme vlastnit rozhodně více než původní milion. Proto se u NPV budoucí peněžní toky tzv. diskontují, neboli se adekvátně poníží o diskont. Teoreticky diskont vyjadřuje nejlepší možný výnos alternativní investice k investici posuzované. Významné je, že by tento výnos měl být dosažitelný se stejným rizikem investice. Jinými slovy se jedná o výnos z investované částky, o který přijdeme, jestliže budeme posuzovaný projekt realizovat tím, že nebudeme realizovat jinou investici. Diskontování peněžních toků obvykle probíhá na roční bázi.

Při výpočtu ekonomické výhodnosti instalace točivé redukce bude počítáno s diskontní mírou 9%.

NPV se vypočítá podle vztahu:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (17)$$

t = doba životnosti, r = diskontová míra, CF = generovaný peněžní tok v daném roce.

Investiční projekt lze považovat za přijatelný, pokud je ukazatel NPV větší nebo alespoň roven nule. Při vzájemném porovnávání projektu by měl být pak volen ten projekt, jehož hodnota NPV je vyšší.

NPV je také vlastně velikost čistého zisku plynoucího z realizované investice, která je vyjádřena v současných penězích převedených na současnou hodnotu měny. Velmi dobře lze na jejím základě nejen rozhodovat o přijatelnosti a ziskovosti projektu, ale také investiční projekty mezi sebou navzájem porovnávat. [12,15]

5.2.2 Metoda vnitřního výnosového procenta (IRR)

Vnitřní výnosové procento, anglicky Internal Rate of Return - IRR nám vlastně říká, kolik procent na hodnoceném projektu vyděláme, pokud zvažíme časovou hodnotu peněz. IRR je zároveň takovým diskontem, u kterého vyjde při dosazení do vzorce pro čistou současnou hodnotu $NPV = 0$.

Tuto metodu hodnocení investic lze, díky matematickým zákonitostem použitým pro výpočet, použít pouze v případě, kdy záporné peněžní toky probíhají na začátku hodnocené investice a všechny následující peněžní toky jsou (ve svém součtu) již pozitivní. Přesněji jde o to, aby se znaménko souhrnných peněžních toků měnilo po celou dobu projektu právě jednou. IRR, stejně jako NPV stojí a padá se správným odhadem budoucích finančních toků plynoucích z hodnocené investice či projektu.

Souvislost IRR s NPV je dána vztahem:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad (18)$$

IN = vstupní investice do projektu

Uvedený matematický vztah nelze použít k přímému výpočtu IRR, protože vzhledem k umocnění námi hledané veličiny na t-tou jí nejsme schopni z výrazu nijak vyjádřit. Výpočet se tedy provádí proto v podstatě iterativní metodou, kdy měníme ve vzorci tak dlouho zadávanou diskontní sazbu, až se nám NPV vyrovná nule a tím získáme naši hledanou hodnotu IRR. V případě výpočtu ekonomické efektivity instalace točivé redukce bylo využito funkce programu EXCEL programové kancelářské sady MS OFFICE, jmenovitě funkce MÍRA.VÝNOSNOSTI, která ze zadaných vstupních hodnot hodnotu IRR spočte.

Investiční projekt je pak přijatelný, pokud je ukazatel IRR větší, než námi předpokládaná diskontní sazba. Při vzájemném porovnávání investičních projektů by měl pak být opět jako u metody NPV volen ten projekt, jehož hodnota IRR je vyšší. Jak již bylo výše psáno, IRR je tedy taková diskontní sazba, při níž se NPV investičního projektu rovná nule. Z tohoto logicky vyplývá, že čím je hodnota IRR vyšší, tím vyšší by musely být alternativní náklady kapitálu při zvolené diskontní sazbě, aby projekt neměl čistý ekonomický zisk. Tedy opět čím je IRR vyšší, tím je projekt lepší a ziskovější. [13,15]

5.2.3 Metoda prosté doby návratnosti (Tnávr)

Prostá doba návratnosti je nejjednodušší, velice často užívaná metoda pro posouzení ekonomické výhodnosti investice. Výpočet této metody je jednoduchý a prostý a tudíž lze udělat velmi rychle i bez potřeby výpočetní techniky. Největší nevýhodou této metody posuzování je fakt, že zanedbává efekty po uplynutí doby návratnosti, znehodnocování hodnoty peněz inflací a zanedbává fakt, že peníze můžeme místo investování vložit do jiných příležitostí. Standardně se prostá doba návratnosti počítá dle následujícího vztahu:

$$T_{návr} = \frac{IN}{CF} [rok] \quad (19)$$

Tento vzorec ovšem nepočítá s rozdílnými peněžními toky v jednotlivých letech. Hodnotu reálné doby návratnosti, ve které je zahrnuta i inflace a diskonty lze též získat z průběhu metody NPV CF. Reálná doba návratnosti je pak průsečík ukazatele NPV

s vodorovnou časovou osou.

Investiční projekt lze považovat za přijatelný, pokud je ukazatel doby návratnosti nižší, než je doba životnosti projektu. Čím je jeho hodnota nižší, tím lepší je z tohoto hlediska posuzovaný projekt. Při vzájemném porovnávání různých investičních projektů by pak měl být volen ten, jehož hodnota doby návratnosti je nižší.[15]

5.3 Ekonomické zhodnocení projektu točivé redukce při různých podmínkách

Z předchozích výpočtů možných nákladů a výnosů instalace točivé redukce do provozu elektrárny Chvaletice vzešlo šest variant pro dvě možnosti výkupních cen elektrické energie a tři možné nákupní ceny uhlí. Pro další vyhodnocování jsou tyto možné scénáře označeny dle tabulky:

výkup elektřiny	nákupní cena uhlí [EUR/GJ]		
	1,6	2,4	3,2
bez příspěvku na KVET	varianta 1	varianta 2	varianta 3
s příspěvkem na KVET	varianta 4	varianta 5	varianta 6

Tabulka 5.1: Rozdělení scénářů návratnosti

Pro všechny výše zmíněné scénáře byl proveden výpočet parametrů NPV CF, IRR a doby návratnosti pomocí tabulkového editoru MS EXCEL a jeho funkcí. V tabulce 5.2 jsou rozepsány jednotlivé peněžní toky po celou dobu životnosti zařízení točivé redukce, která je odhadována výrobcem na 25 let a více. Pro posuzování ekonomické výhodnosti jsem volil dobu životnosti právě 25 let.

V tabulce 5.2 je uveden způsob počítání ročních finančních toků a tedy i výsledné údaje pro určení hlavních parametrů pro posuzování ekonomické výhodnosti jednotlivých variant.

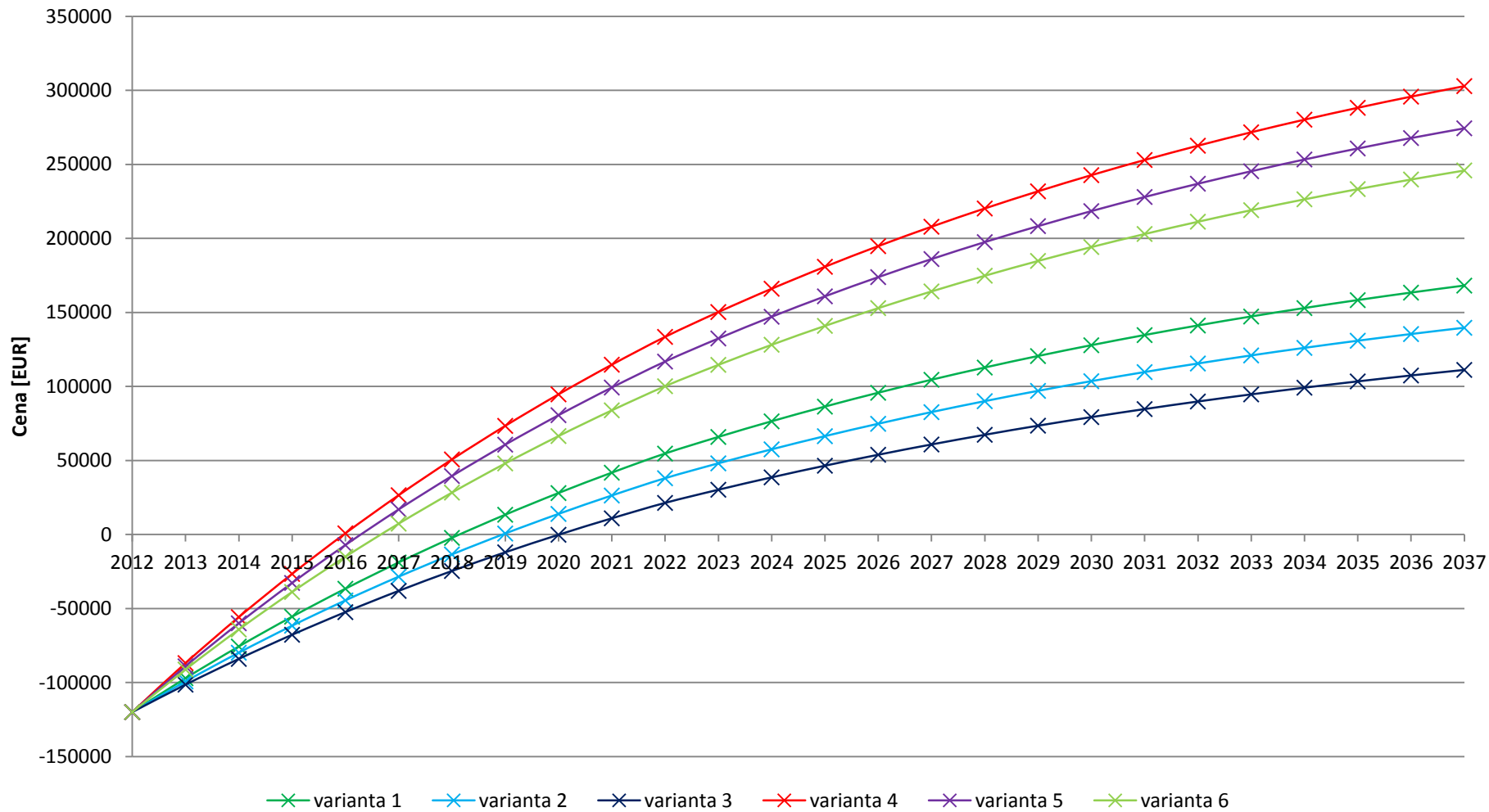
Z posledního řádku tabulky 5.1 lze vytvořit pak graf, který bude vyobrazovat průběh ukazatele NPV v průběhu let při chodu točivé redukce. Při porovnání jednotlivých diskutovaných variant v grafu (obrázek 5.1) lze jednoduše zjistit vyšší závislost výhodnosti investiční akce na získání či nezískání příspěvku od ERÚ na podporu KVET, než na zvyšující se nákupní ceně primárního paliva – severočeského energetického uhlí. Z průsečíků charakteristik NPV jednotlivých variant s horizontální časovou osou lze odečíst také reálnou dobu návratnosti investice do projektu instalace točivé redukce do provozu elektrárny Chvaletice při stanovených podmínkách.

Rok	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Tržby [EUR]		33776	34620	35486	36373	37282	38214	39170	40149	41153	42182	43236	44317
Náklady [EUR]		5821	5967	6116	6269	6425	6586	6751	6919	7092	7270	7451	7638
Investice [EUR]	120000												
Odpisy [EUR]		12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000		
Zisk před zdaněním [EUR]	0	15955	16654	17370	18104	18857	19629	20419	21230	22060	22912	35785	36679
Daň z příjmu (19%) [EUR]	0	3031	3164	3300	3440	3583	3729	3880	4034	4191	4353	6799	6969
Zisk po zdanění [EUR]	0	12924	13490	14070	14665	15274	15899	16540	17196	17869	18559	28986	29710
Kumulovaný Cash flow [EUR]	-120000	-95076	-69587	-43517	-16852	10422	38321	66861	96057	125926	156484	185470	215180
Cash flow [EUR]	-120000	24924	25490	26070	26665	27274	27899	28540	29196	29869	30559	28986	29710
Cash flow diskontované [EUR]	-120000	22866	21454	20131	18890	17726	16635	15612	14653	13753	12908	11233	10563
Cash flow . disk. sečtené [EUR]	-120000	-97134	-75680	-55550	-36660	-18933	-2298	13314	27967	41719	54628	65860	76424

Rok	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Tržby [EUR]	45425	46561	47725	48918	50141	51394	52679	53996	55346	56730	58148	59601	61092
Náklady [EUR]	7829	8024	8225	8431	8641	8857	9079	9306	9538	9777	10021	10272	10529
Investice [EUR]													
Odpisy [EUR]													
Zisk před zdaněním [EUR]	37596	38536	39500	40487	41499	42537	43600	44690	45808	46953	48127	49330	50563
Daň z příjmu (19%) [EUR]	7143	7322	7505	7693	7885	8082	8284	8491	8703	8921	9144	9373	9607
Zisk po zdanění [EUR]	30453	31214	31995	32795	33614	34455	35316	36199	37104	38032	38982	39957	40956
Kumulovaný Cash flow [EUR]	245633	276848	308842	341637	375252	409706	445023	481222	518326	556358	595340	635297	676253
Cash flow [EUR]	30453	31214	31995	32795	33614	34455	35316	36199	37104	38032	38982	39957	40956
Cash flow diskontované [EUR]	9933	9341	8784	8260	7767	7304	6869	6459	6074	5712	5371	5051	4750
Cash flow . disk. sečtené [EUR]	86357	95697	104481	112741	120509	127813	134681	141140	147214	152926	158297	163348	168097

Tabulka 5.2: Příklad řešení ekonomické výhodnosti investice, varianta 1

Průběh NPV v čase při různých uvažovaných možnostech nákladů a výnosů



Obrázek 5.1: Porovnání výhodnosti investice do TR z hlediska metody NPV

varianta	NPV CF [EUR]
1	168 097
2	139 621
3	111 154
4	302 849
5	274 373
6	245 906

Tabulka 5.3: Porovnání hodnot NPV jednotlivých variant

varianta	IRR [%]
1	22,63
2	20,52
3	18,37
4	32,27
5	30,26
6	28,24

Tabulka 5.4: Porovnání hodnot IRR jednotlivých variant

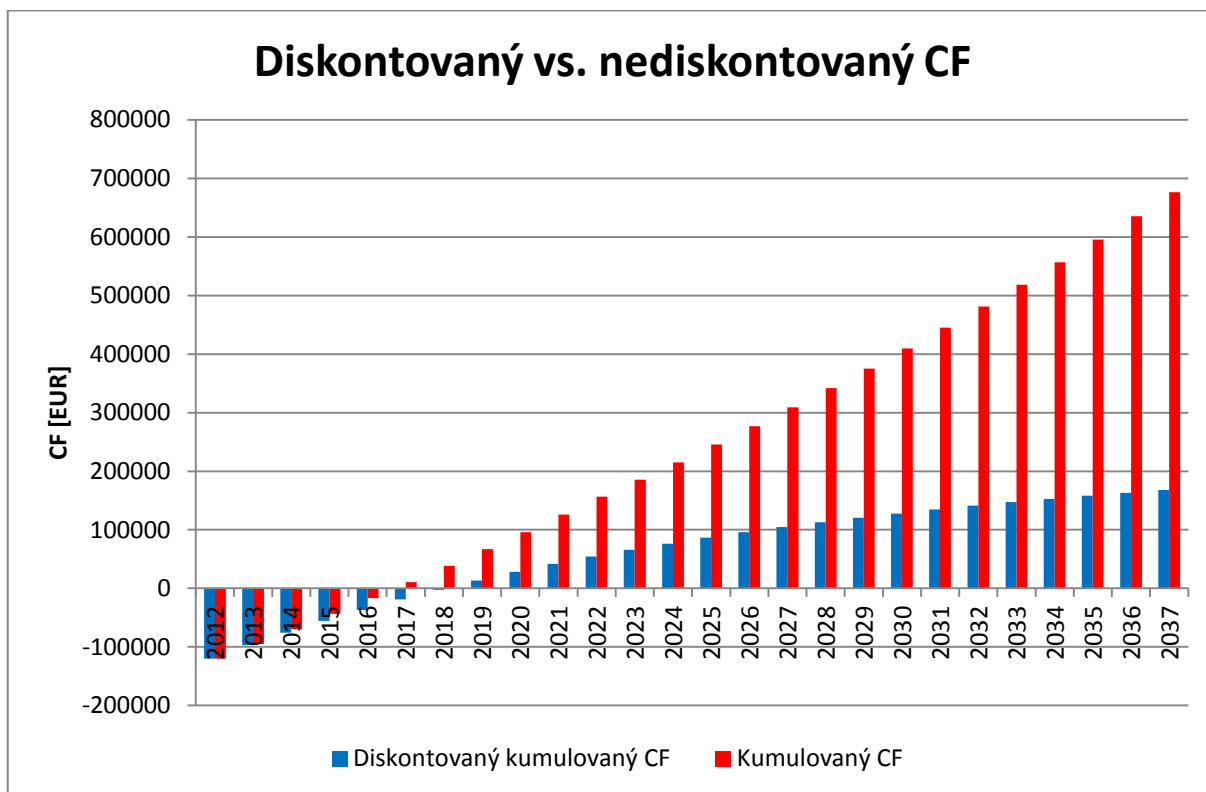
varianta	prostá návratnost [rok]	reálná návratnost [rok]
1	4	7
2	5	7
3	5	9
4	3	4
5	3	5
6	3	5

Tabulka 5.5: Porovnání variant dle doby prosté a reálné návratnosti

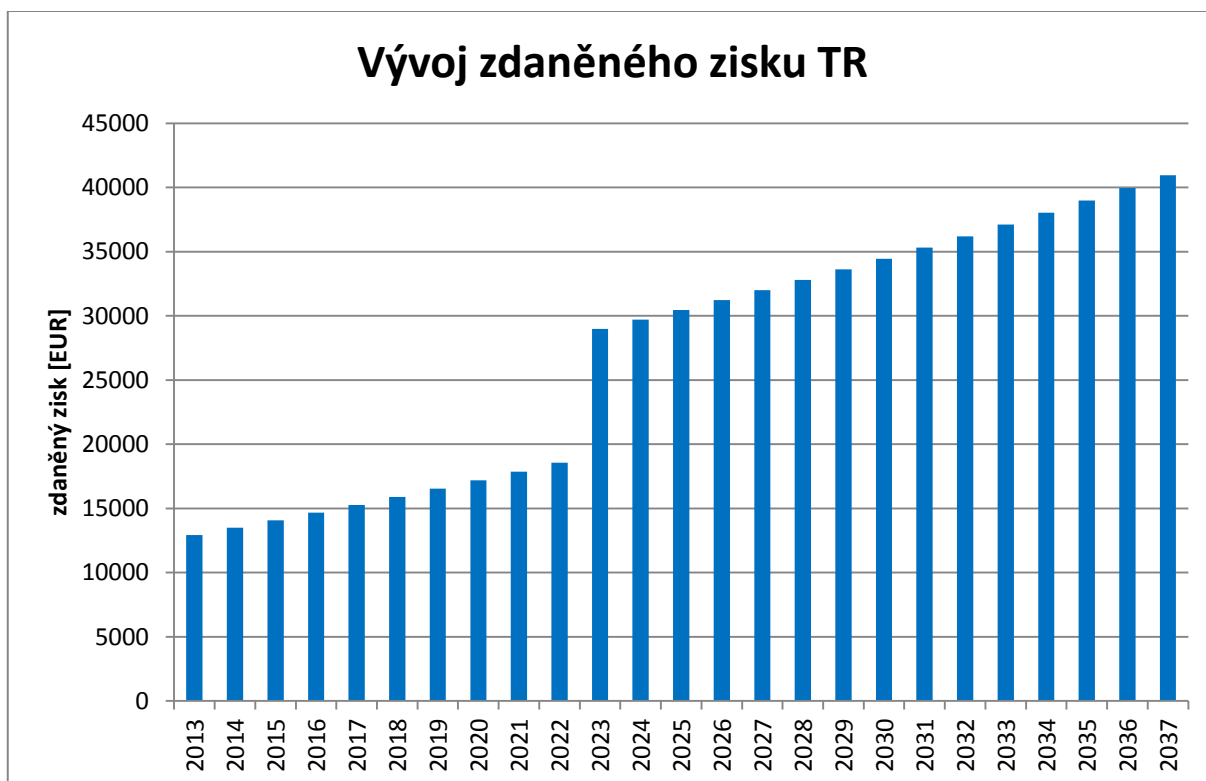
Z hodnot NPV CF, IRR i dob návratnosti jasně vyplývá, že všechny varianty cen uhlí a podmínek pro výkup elektrické energie z točivé redukce po výpočtu ekonomické efektivity pokryjí investiční náklady, ale přinesou svému provozovateli i jistý zisk.

Z grafu 5.1 i z tabulek 5.3, 5.4 a 5.6 je patrné, že hlavní roli ve velikosti zisku po uplynutí doby životnosti točivé redukce nehraje cena uhlí, nýbrž případná dotace od ERÚ na KVET.

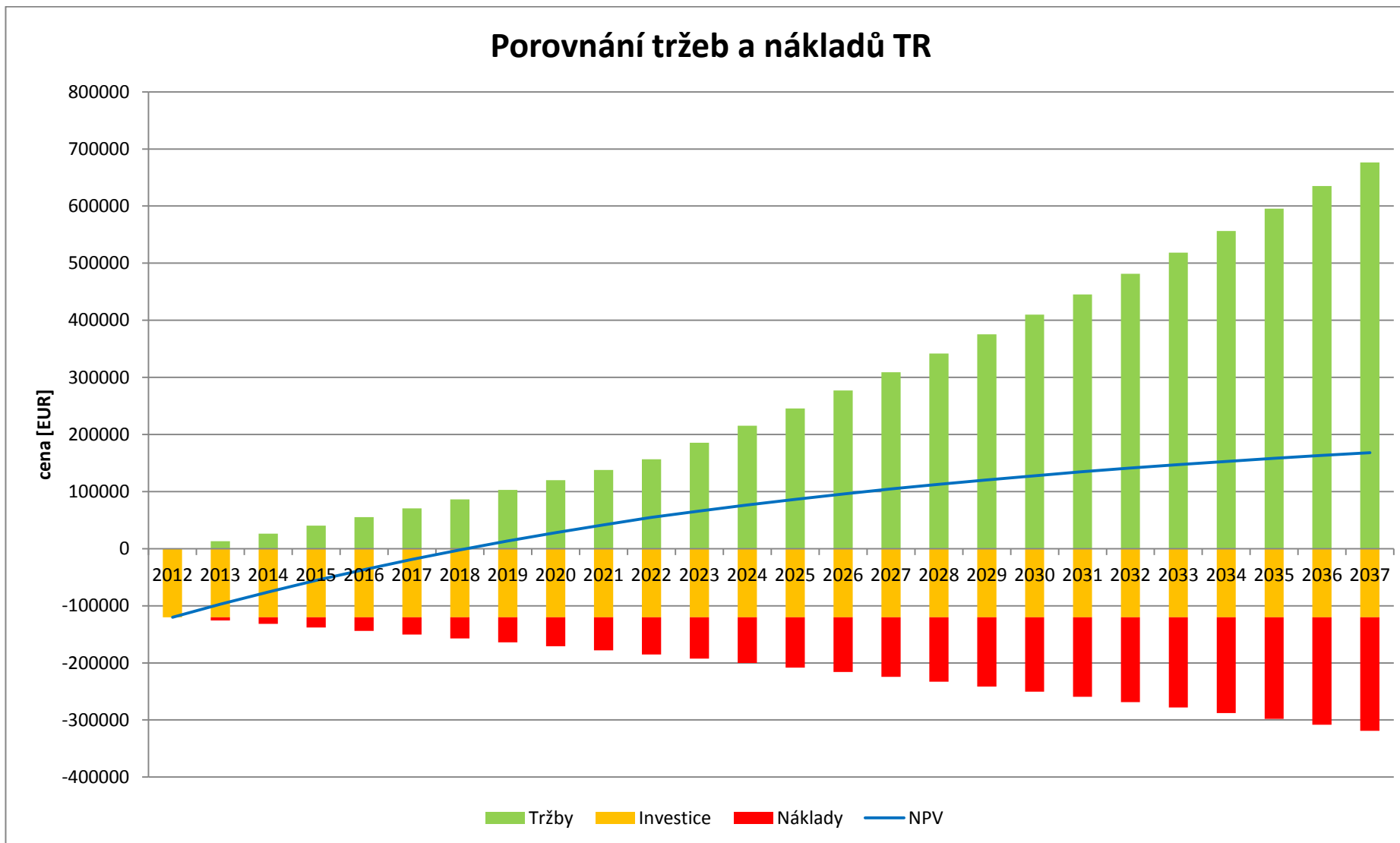
Z tabulky 5.5 je vidět také rozdíl ve výsledných hodnotách výpočtu prosté a reálné návratnosti investice. Čas reálné návratnosti, při které se počítá se snižující se hodnotou peněz v průběhu času, je vždy delší, než návratnost získaná rychlým orientačním výpočtem prosté návratnosti.



Obrázek 5.2: Porovnání diskontovaného a nediskontovaného CF v průběhu času, varianta 1



Obrázek 5.3: Vývoj zdaněného zisku v průběhu životnosti TR, varianta 1



Obrázek 5.4: Porovnání tržeb a nákladů točivé redukce, varianta 1

6 Návrh točivé redukce

Kvůli relativně malému hmotnostnímu průtoku páry točivou redukcí a také kvůli vstupním a výstupním tlakům z točivé redukce jsem pro aplikaci v elektrárně Chvaletice navrhnul užití točivé redukce TR100, vyráběnou českou firmou G-Team s.r.o. Točivá redukce TR100 je nejmenším typem vyráběné točivé redukce. Jak již bylo řečeno, je využívána pro malé průtoky páry.

Točivá redukce TR100 bude zapojena k paralelně ke stávající redukční stanici, se kterou bude spolupracovat. Regulace bude nastavena tak, aby v první řadě byla využita točivá redukce a až po dosažení plné hltnosti stroje začal regulovat stávající redukční ventil. Vyrobená elektrická energie bude zavedena do nejbližší rozvodny nízkého napětí. Pokud by při ustáleném provozu bloků nebyl dostatečný průtok páry přes točivou redukcí, je možné na ostatních vyrábějících blocích elektrárny Chvaletice uzavřít 8. odběr páry z VT dílu turbín do společné sběrné páry a tyto stanice napájet párou z pouze bloku B4 přes najížděcí sběrnou.

6.1 Popis točivé redukce TR 100

Jedná se o jednostupňovou parní točivou redukcí s integrovanou převodovkou. Vlastní turbínový stupeň je upevněn na převodovku s jedním rychloběžným pastorkem, na kterém je letmo upevněno oběžné kolo turbíny s axiálním lopatkováním s plně ostříknutým oběžným kolem. Skříň je uchycena na převodovku prostřednictvím radiálních per, která umožňují její dilataci a souosost s osou rotace pastorku. Mazání ložisek převodovky je zabezpečeno z olejového systému soustrojí. Převodovka a generátor jsou spojeny spojkou.

6.2 Jmenovité parametry točivé redukce TR100

Točivá redukce TR100	
Tlak vstupní páry na rychlouzavíracím ventilu	2,8 Mpa
Teplota vstupní páry na rychlouzavíracím ventilu	332 °C
Protitlak na výstupní přírubě točivé redukce	1,2 Mpa
Hmotnostní průtok páry	5,8 t/h
Jmenovitý výkon generátoru točivé redukce	150 kW
Otáčky pomaluběžného hřídele	3 000 ot/min
Ekvivalentní hladina akustického tlaku	85 dB
Hmotnost nejtěžší části pro montáž a údržbu (generátor)	910 kg
Celková hmotnost turbosoustrojí (včetně generátoru)	cca 1 900 kg
Základní rozměry turbosoustrojí (včetně generátoru)	1 000 x 1 900 x 1 700 mm

Tabulka 6.1: Jmenovité parametry točivé redukce TR100

6.3 Regulace

Regulaci TR100 zajišťuje elektronický regulátor ovládající elektrohydraulický olejový agregát. Tlakovým olejem z agregátu je ovládán ruční – rychlouzavírací ventil.

TR100 umožňuje provoz v rychlostní regulaci, kdy udržuje požadované otáčky během najíždění turbíny před připojením generátoru k síti.

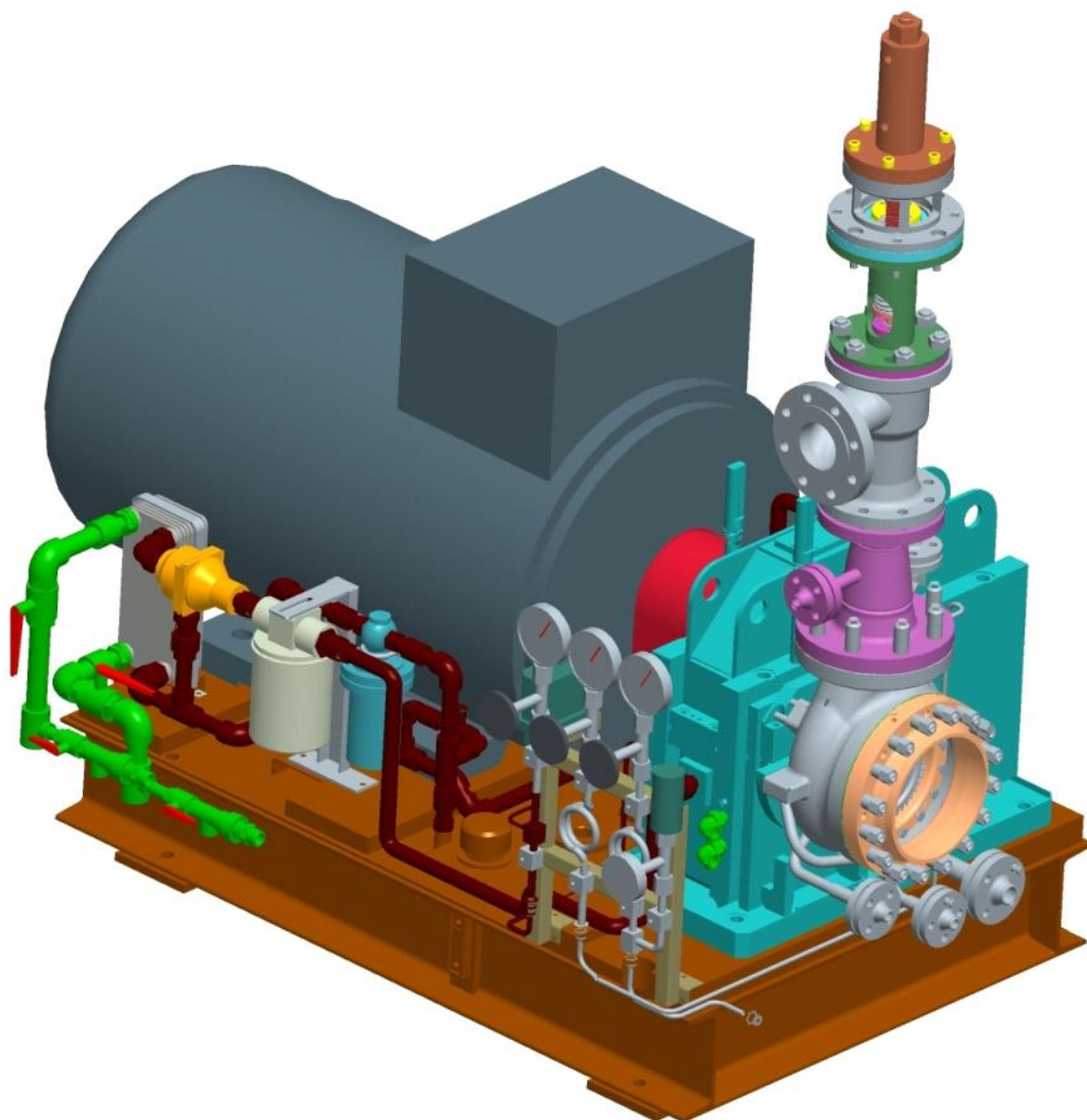
Regulace protitlaku pracuje pouze při chodu soustrojí s generátorem připojeným do elektrické sítě. Průtok páry turbínou je dán okamžitým odběrem parních spotřebičů a elektrický výkon na svorkách generátoru pak odpovídá tomuto průtoku. Regulátor tlaku udržuje konstantní protitlak, který je nastavitelný, otáčky soustrojí jsou dány frekvencí elektrické sítě.

6.4 Generátor

Parametry trojfázového asynchronního generátoru připojeného přes převodovku k točivé redukci:

Jmenovité parametry generátoru točivé redukce TR100	
Maximální výkon generátoru	150 kW
Jmenovité napětí generátoru	400 V
Jmenovitá frekvence generátoru	50 Hz
Jmenovité otáčky generátoru	3000 ot/min
Stupeň krytí	IP 23
Hmotnost generátoru	910 kg

Tabulka 6.2: Jmenovité parametry asynchronního generátoru točivé redukce TR100



Obrázek 6.1: Vizualizace točivé redukce TR100 navrhované pro elektrárnu Chvaletice

Závěr

Předem zadané cíle zadané diplomové práce jsem splnil. Veškeré ekonomické výpočty je ale nutno brát pouze jako orientační z důvodu citlivého charakteru daných parametrů výpočtu. Ve většině případů výpočtu se jedná o počítání s nepřesnými, v naprosté většině tedy odhadovanými hodnotami. Tyto odhady počínají cenou vstupu – severočeského energetického hnědého uhlí, přes pořizovací cenu samotného technického zařízení točivé redukce. Dále je z důvodu neznámosti odběrové charakteristiky redukční stanice pouze odhadováno nasazení této uvažované točivé redukce v provozu elektrárny v průběhu roku a tím i celkové výroby elektrické energie a z ní pak pramenícího ekonomického přínosu celé uvažované instalace nového technologického zařízení. Tyto odhady končí výkupní cenou elektřiny z elektrárny Chvaletice, jenž je také citlivým údajem. I tak je z výpočtů patrné, že se instalace točivé redukce ekonomicky vyplácí, ale doba návratnosti není zcela krátká a ani celková ziskovost investiční akce není nikterak astronomická. Tento fakt může hrát velikou roli při zvažování celé možné investiční akce. V každém případě i vzhledem k celospolečenskému tlaku na získávání elektřiny s co největší účinností a s co nejmenším dopadem na naše životní prostředí nezbyvá, než momentálnímu vlastníkovi elektrárny Chvaletice – společnosti ČEZ a.s. doporučit instalaci v diplomové práci zmíněné točivé redukce TR100 pro spolupráci se stávající redukční stanicí výrobního bloku B4. Samozřejmě uvažování o této investici je úzce spjato s budoucností elektrárny Chvaletice jako celku, jelikož se v nedávné minulosti spekulovalo o skončení výroby a bourání dvou bloků elektrárny v roce 2013 a posledních dvou bloků v roce 2016. Pokud by doopravdy k tomuto kroku mělo dojít, pak je samozřejmě nereálné zabývat se instalací tohoto nového technologického zařízení. Závěrem bych chtěl touto prací podpořit snahy o vyšší využívání stávajících zdrojů energie a vyhledávání nových, doopravdy čistých a ekologicky nezávadných zdrojů energie. Instalací točivé redukce získáme zdroj elektřiny z de facto odpadní energie mařené redukční stanicí, čímž nebude nutno pro dosažení stejné produkce elektrické energie získávané točivou redukcí v jiných zdrojích spalovat další velmi cenné fosilní palivo a dále pak nebude nutno zamořovat životní prostředí exhalacemi obsahujícími prach, oxid uhličitý, oxidy síry a oxidy dusíku.

Použitá literatura

- [1] V paroplynové elektrárně v Ralsku najde práci až stovka lidí - iDNES.cz. [www.idnes.cz](http://liberec.idnes.cz/v-paroplynove-elektrarne-v-ralsku-najde-praci-az-stovka-lidi-prw-liberec-zpravy.aspx?c=A111022_1672898_liberec-zpravy_ab) [online]. 2011 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://liberec.idnes.cz/v-paroplynove-elektrarne-v-ralsku-najde-praci-az-stovka-lidi-prw-liberec-zpravy.aspx?c=A111022_1672898_liberec-zpravy_ab
- [2] Elektrárny v Česku - Wikipedie. [cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rny_v_%C4%8Cesku) [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rny_v_%C4%8Cesku
- [3] Elektrárna Chvaletice - prospekt 1991. www.skoda-virt.cz [online]. 2009 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://skoda-virt.cz/cz/clanky/jine/8641-elektrarna-chvaletice-prospekt-1991/>
- [4] Elektrárna Chvaletice. [cs.wikipedia.org](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rna_Chvaletice) [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rna_Chvaletice
- [5] Chvaletice | Uhelné elektrárny | Skupina ČEZ. www.cez.cz [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/chvaletice.html>
- [6] Škracení plynů a par. <http://www.transformacni-technologie.cz> [online]. 2006 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/skrцени-plynu-a-par.html>
- [7] Lopatkový stroj. <http://www.transformacni-technologie.cz> [online]. 2009 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/lopatkovy-stroj.html>
- [8] G-Team, a.s. - Parní turbíny - Regulační Ventily - Redukční stanice - Odvaděče kondenzátu. <http://www.g-team.cz> [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.g-team.cz/parni-a-plynovе-turbiny.html>
- [9] <http://byznys.ihned.cz/c1-55526770-topolanek-czech-coal-mate-ceny-uhli-muze-odvozovat-rovnou-od-pomerancoveho-dzusu>
- [10] DP17 pilot operated pressure reducing valve - Yongjia Goole Valve Co.,LTD. <http://www.86valve.com> [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.86valve.com/PressureReducingValve4.htm>
- [11] Pressure Reducing & Surplussing Valves : International site for Spirax Sarco. <http://www.spiraxsarco.com> [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.spiraxsarco.com/products-services/products/control-systems/pressure-reducing-and-surplussing-valves.asp#ti>
- [11] Welland & Tuxhorn Armaturen- und Maschinenfabrik. <http://www.welland-tuxhorn.de> [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.welland-tuxhorn.de/wt_e/loesungen/Regelventile/BalanceofPlant_Treibdampfkuehler_loesungen1.php?navid=30
- [12] Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně - BusinessVize.cz. <http://www.businessvize.cz> [online]. 2010 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne>
- [13] Hodnocení investic: Vnitřní výnosové procento (IRR) - BusinessVize.cz. <http://www.businessvize.cz> [online]. 2010 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-vnitri-vynosove-procento-irr>
- [14] DVORSKÝ, Emil, Pavla HEJTMÁNKOVÁ a Martin KOČMICH. *Elektrárny: základy výroby elektrické energie v tepelných elektrárnách - příklady*. Vyd. 1. Plzeň: ZČU, 1994, 160 s. ISBN 80-708-2133-7.

- [15] Analýza nákladů a přínosů (část 10 až 13) - BusinessInfo.cz. <http://www.businessinfo.cz> [online]. 2010 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/x-files-analyza-nakladu-a-prinosu/analyza-nakladu-a-prinosu-cast-10-az-13/1000971/12032/?fornewsid=12032#b121>
- [16] *eru.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%2007_2011OZEKVETDZ.pdf
- [17] Elektřina - graf vývoje ceny komodity - 1 rok - měna EUR. *www.kurzy.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/>
- [18] Využití expandérů při redukci tlaku zemního plynu. [Http://www.allforpower.cz](http://www.allforpower.cz) [online]. 2009 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/vyuziti-expanderu-pri-redukci-tlaku-zemniho-plynu/>
- [19] IBLER, Zbyněk. *Technický průvodce energetika*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 615 s. ISBN 80-730-0026-1.
- [20] MAREŠ, Radim, Karel KOCOUREK a Miroslav KOKEISL. *Tabulky termodynamických vlastností vody a vodní páry*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1994, 41 s. ISBN 80-708-2144-2.
- [21] I-s diagram vodní páry. <http://otp.fme.vutbr.cz> [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://otp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/Is.gif>

Přílohy

Příloha A – i-s diagram vodní páry[21]

