

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh čerpací stanice chladící vody do strojovny parních turbín

Autor: **Michal Gregor**
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Duník**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal GREGOR
Osobní číslo: S09B0267P
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Stavba výrobních strojů a zařízení
Název tématu: Návrh čerpací stanice chladicí vody do strojovny parních turbín
Zadávající katedra: Katedra konstruování strojů

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

Základní požadavky:

Čerpací stanice musí zajistit nepřetržitě dodávky chladicí vody v požadovaných parametrech. Řešení a vybavení objektu musí umožnit montáž a demontáž čerpadel a potrubních dílů, vyčerpání vtokového objektu a ochranu objektu proti klimatickým vlivům.

Základní technické údaje:

Množství chladicí vody do strojovny 30 000m³/h, dopravní výška 20m, teplota chladicí vody 18-26C.

Osnova bakalářské práce:

1. Popis technického řešení
2. Technická zpráva
3. Specifikace zařízení
4. Technická dokumentace
5. Výkresová dokumentace

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

STANĚK, J., NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: ZČU, 2005

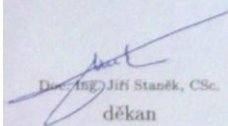
SPURNÝ, B. Navrhování a organizace strojůren. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952

TESAŘÍK, I. Vodárenství. Praha: SNTL, 1985

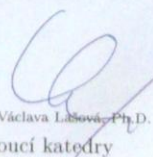
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Duník**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Oto Brož**
Škoda Praha

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jirí Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava L. Ševčíka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

**Téma : Návrh čerpací stanice chladící vody do strojovny
 parních turbin**

Zadání : Čerpací stanici chladící vody je samostatný stavební objekt s technologickým vybavením, zajišťujícím dodávku chladící vody v požadovaných parametrech. Vtokový objekt ČS navazuje na přívodní kanál z chladících věží, čerpaná chl. voda je do strojovny vedena potrubím uloženým v zemi. Objekt čerpací stanice a jeho technologické vybavení musí splňovat následující požadavky:

- zajištění nepřetržité dodávky chladící vody v požadovaných parametrech
- vybavení pro el. napájení pohonů čerpadel
- prostorové řešení a vybavení objektu ČS umožňující montáž a demontáž čerpadel a potrubních dílů
- vyčerpání vtokového objektu při demontáži sacího traktu čerpadel
- vybavení objektu ČS pro ochranu proti klimatickým vlivům

Zadávací parametry :

- Množství chlad. vody do strojovny 30 000 m³/h
- Teplota chlad. vody 18 - 26°C
- Dopravní výška 20 m

Klimatické podmínky :

- Max. teplota vzduchu +30°C
- Min. teplota vzduchu - 20°C
- Rel. vlhkost vzduchu 70%

Požadovaný rozsah diplomové práce :

1. Technická zpráva
 - 1.1 popis technického řešení
 - 1.2 strojní část
 - 1.3 elektro část
 - 1.4 stavební část
2. Výpočet potrubních rozvodů
3. Specifikace zařízení a potrubních rozvodů
4. Výkresová dokumentace
 - 4.1 funkční schéma ČS
 - 4.2 dispoziční řešení potrubních rozvodů
 - 4.3 stavební řešení objektu ČS
5. Technická dokumentace čerpadel chl. vody

V Plzni, dne 21.4

Ing.P.Valeš

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Upozornění

Využití a společenské uplatnění diplomové práce včetně uváděných vědeckých a výrobně technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě autorské smlouvy a souhlasu fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem svým konzultantům za poskytnuté informace, materiály a konzultace důležité pro vypracování této bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu.

Michal Gregor

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Gregor	Jméno Michal	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Duník	Jméno Miroslav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh čerpací stanice chladící vody do strojovny parních turbín		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	35	TEXTOVÁ ČÁST	30	GRAFICKÁ ČÁST	5
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)	Práce se zabývá návrhem čerpací stanice podle zadaných hodnot. Popisuje stavební, strojní a elektro část projektu. Zobrazuje MKP pevnostní výpočet a ekonomické zhodnocení. Seznamy zařízení, schemata a dispoziční řešení jsou přílohou práce.
KLÍČOVÁ SLOVA	Čerpací stanice, chladící voda, čerpadlo, dispoziční řešení, armatura, dopravní výška

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Gregor	Name Michal	
FIELD OF STUDY	2301R016 “Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Duník.	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Designing of pumping station of cooling water for the engine room of steam turbines		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	35	TEXT PART	30	GRAPHICAL PART	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This work deals with design of pumping station by specified parameters. Describe the construction, mechanical and electric part of the project. Shows the FEM analyses and economic evaluation. Lists of machines, schematics and layout are attached to the bachelor thesis.
KEY WORDS	Pumping station, cooling water, pump, layout, equipment, transport height

Obsah:

1. Úvod	5
2. Stav techniky	6
2.1. ČS Mělník.....	6
2.2. ČS Kladno.....	7
2.3. Čerpání vody.....	8
2.4. Způsoby chlazení.....	9
3. Stavební část	11
3.1. Obecné poznatky.....	11
3.2. Navržené řešení.....	12
3.2.1. Zemní práce.....	12
3.2.2. Vrchní stavba.....	12
4. Strojní část	14
4.1. Obecné poznatky.....	14
4.1.1. Čerpadlo chladicí vody.....	14
4.1.1.1. Nouzový provoz čerpadel.....	14
4.1.1.2. Posilovací čerpadla.....	15
4.1.2. Potrubí.....	16
4.1.3. Armatury.....	16
4.1.3.1. Uzavírání.....	17
4.1.4. Kompenzátor.....	17
4.2. Navržené řešení.....	17
4.2.1. Výpočet dimenze potrubí.....	18
4.2.2. Návrh čerpadel chladicí vody.....	19
4.2.2.1. Výpočet kavitační deprese v chladicím čerpadle.....	20
4.2.3. Odvodňovací a dávkovací čerpadla.....	21
4.2.4. Armatury.....	21
4.2.4.1. Uzavírání.....	21
4.2.5. Kompenzátor.....	22
4.2.6. Úprava vody.....	22
4.3. Řízení technologie.....	22
5. Elektro část	24
5.1. Návrh motorů.....	24
5.2. Technická specifikace.....	25
5.2.1. Rozvaděče nízkého napětí.....	25
6. Pevnostní výpočty	26
6.1. Varianta s uzavřenou klapkou.....	26
6.2. Varianta při maximálním posunutí.....	28
6.3. Zhodnocení výpočtů.....	29
7. Ekonomické zhodnocení	30
7.1. Pracovní režimy.....	30
7.2. Čerpadlo s předrozvaděčem.....	30
7.3. Čerpadlo s frekvenčním měničem.....	31
7.4. Porovnání variant.....	32
8. Závěr	33

Seznam obrázků:

<i>Obr. 2.1.1:</i>	<i>Objekt čerpací stanice v Mělníku</i>	6
<i>Obr. 2.1.2:</i>	<i>Motor chladicího čerpadla</i>	7
<i>Obr. 2.1.3:</i>	<i>Výtlač chladicího čerpadla</i>	7
<i>Obr. 2.2.1:</i>	<i>Motor chladicího čerpadla</i>	8
<i>Obr. 2.2.2:</i>	<i>Armatura na výtlaču ch. č.</i>	8
<i>Obr. 2.3.1:</i>	<i>Dvoustupňové čerpání vody s čerpadly ve strojovně [6]</i>	8
<i>Obr. 3.1.1:</i>	<i>Dispoziční řešení ČS [3]</i>	11
<i>Obr. 3.2.2.1:</i>	<i>Čelní pohled na navržený objekt</i>	13
<i>Obr. 3.2.2.2:</i>	<i>Řez stavbou navržené varianty</i>	13
<i>Obr. 4.1.1.2.1:</i>	<i>Montáž 15 t posilovacího čerpadla na řece Pád [8]</i>	15
<i>Obr. 4.1.3.1:</i>	<i>Rozdělení typů armatur [104]</i>	16
<i>Obr. 4.2.1:</i>	<i>Výtlač navrženého čerpadla, kompenzátor a uzavírací klapka</i>	18
<i>Obr. 4.2.2.1:</i>	<i>Nomogramy čerpadel [100]</i>	19
<i>Obr. 4.2.4.1.1:</i>	<i>Uzavírací klapka Mammouth [100]</i>	21
<i>Obr. 4.2.5.1:</i>	<i>Pryžový kompenzátor [100]</i>	22
<i>Obr. 4.3.1:</i>	<i>Návrh čerpací stanice chladící vody</i>	23
<i>Obr. 6.1:</i>	<i>Sít' tělesa s okrajovými podmínkami</i>	26
<i>Obr. 6.1.1:</i>	<i>Zobrazení napětí</i>	27
<i>Obr. 6.1.2:</i>	<i>Zobrazení posunutí, plochy s hodnotou přes 0,01mm zbarveny červeně</i>	27
<i>Obr. 6.2.1:</i>	<i>Průběh posunutí modelem</i>	28
<i>Obr. 6.2.2:</i>	<i>Zobrazení napětí na potrubí</i>	28

Seznam tabulek a grafů:

<i>Tab. 2.3.2: Spotřeba vody různými elektrárnami [103]</i>	9
<i>Tab. 4.2.2.1.1: Vlastnosti vody [105]</i>	20
<i>Tab. 5.1.1: Maximální přípustné teploty čidel elektromotoru [100]</i>	25
<i>Graf 7.2.1 Úspory varianty č.1</i>	30
<i>Graf 7.3.1 Úspory varianty č.2</i>	31
<i>Graf 7.4.1 Porovnání variant</i>	32

Seznam použitých zkratek a symbolů:

ČS	čerpací stanice
W	watt jednotka výkonu, práce jednoho joulu za sekundu
A	Ampér
V	Volt
Kč	česká koruna, 1€ = 24,85 Kč k 29.2.2012
ČR	Česká Republika
MKP	metoda konečných prvků
FM	frekvenční měnič
t	tuna, tisíc kilogramů
m	metr

1. Úvod

Čerpací stanice chladicí vody je objekt elektrárny, který zajišťuje dodávky vody do strojovny parních turbín. Používají se v elektrárnách uhelných, jaderných i paroplynových. Voda je dodávána pomocí čerpadel. Těch je v závislosti na projektu dané množství a tím jsou určeny jejich provozní režimy. Při, dnes méně realizovaném, průtočném způsobu, kdy se z vydatného zdroje odebírá studená voda, která po průchodu kondenzátorem a dalšími chlazenými zařízeními vrací do řeky, se voda chladí velice jednoduchým způsobem. Výpusť musí být v dostatečně vzdáleném místě od jímacího objektu, aby nedošlo k ovlivnění jímání vody. Tento způsob demonstruje princip chlazení elektrárny. Další způsoby se snaží eliminovat plýtvání s chladicí vodou, snížit závislost a vliv na okolí. Když uvažujeme uzavřený okruh, kdy se použitá voda vrací po mírném chemickém upravení do jímky, tak snížíme nároky na vydatnost vodního zdroje, kterým může být řeka, jezero, moře, spodní voda nebo artézská studna. Do uzavřeného okruhu je potřeba dodávat vodu, jelikož dochází ke ztrátám chladicí vody odparem, odluhem a v netěsnostech.[6] Umístění elektrárny v blízkosti vodního zdroje nám spolu s požadavkem na způsob dopravy používaného paliva určuje polohu, kde je možné elektrárnu stavět. Výchozí hodnoty pro návrh čerpací stanice udává bilance spotřebičů. Množství dodávané vody pro potřebné chlazení, potřebná dopravovaná výška a teplota chladicí vody.

V této bakalářské práci je vypracován návrh čerpací stanice pro konkrétně zadané hodnoty. Podle vhodně zvolených čerpadel, motorů, potrubních tras a armatur je navržen objekt čerpací stanice. Při tomto návrhu se vycházelo ze zkušeností z již funkčních čerpacích stanic a zároveň se využily poznatky z moderních trendů a vývoje v oblasti čerpací techniky.

Cílem této práce je vytvořit:

- technické řešení - strojní, elektro a stavební část
- výpočty pro čerpací stanici
- funkční schema čerpací stanice
- dispoziční řešení
- stavební řešení objektu

Hodnoty dané zadavatelem:

Množství chladicí vody do strojovny	30 000 m ³ /h
Teplota chladicí vody	18 - 26 °C
Dopravní výška	20 m
Maximální teplota vzduchu	+ 30 °C
Minimální teplota vzduchu	- 20 °C
Relativní vlhkost vzduchu	70 %

2. Stav techniky

Čerpací stanice jsou u většiny elektráren v České Republice. Liší se konstrukcí stavby, armatur a elektro zařízení, podle velikosti, množství dodávané vody, dopravní výšky, provozních podmínek a požadavku na prioritu provozu

2.1. ČS Mělník

Během tvorby této práce byla navštívena elektrárna v Mělníku, kde je skupinou ČEZ provozována čerpací stanice o parametrech, které jsou podobné se zadáním této práce. Tato stanice dodává vodu pro turbínu o maximálním elektrickém výkonu 500 MW. Z obrázku 2.1.1 je patrné, že se jedná o rozsáhlou stavbu, ve které jsou dvě čerpadla od firmy Sigma s výstupním potrubím o průměru 2000 mm. Bazén pro přívod vody je pod celým půdorysem budovy, voda je přiváděna z řeky Labe. Dle informací od technologa, který elektrárnou provázal, má ČS jediný provozní problém, a to zanášení potrubí sedimentem, který projde i přes instalovanou filtraci, tedy česle, filtry a rotační síta. Toto „jemné bahýnko“ se zanáší v potrubí, ničí čerpadla a snižuje jejich výkon.



Obr. 2.1.1: Objekt čerpací stanice v Mělníku



Obr. 2.1.2: Motor chladicího čerpadla



Obr. 2.1.3: Výtlak chladicího čerpadla

2.2. ČS Kladno

Na Kladně firma Alpiq Energy SE provozuje uhelnou elektrárnu o elektrickém výkonu 388 MW a tepelném výkonu 272 MW. Z pohledu čerpací stanice není poloha elektrárny vhodná, jelikož voda je sem dopravována z řeky Vltavy potrubím o délce cca 50 km. Ředitel pro ekologii, který po areálu provázel, během svého výkladu o vodním hospodářství zdůrazňoval chemickou úpravu vody a její opětovné použití, pomocí biocidů a chemikálií sloužících k vyrovnání jejího pH.

Tato čerpací stanice má proti Mělnické menší výkon, ale pracuje za obdobných provozních podmínek. V těchto dvou ČS, se stejně jako ve variantě navržené v této práci, využívá chodu dvou nezávislých čerpadel. Každé z čerpadel při běžném provozu dodává 50 % požadovaného objemu a je připraveno při případné poruše nebo výpadku zvýšit svůj výkon a tím zcela pokrýt dodávku chladicí vody. Tento způsob provozování ČS je nepraktický z toho důvodu, že je potřeba instalovat čerpadla naddimenzovaná o dvojnásobek potřebného objemu.



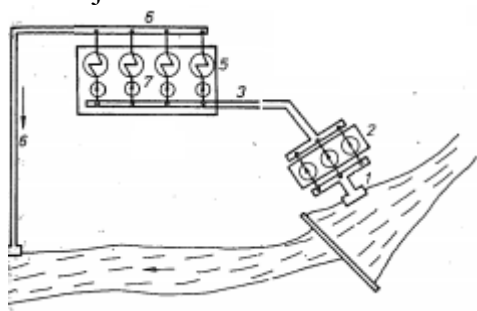
Obr. 2.2.1: Motor chladicího čerpadla



Obr. 2.2.2: Armatura na výtlaku ch. č.

2.3. Čerpání vody

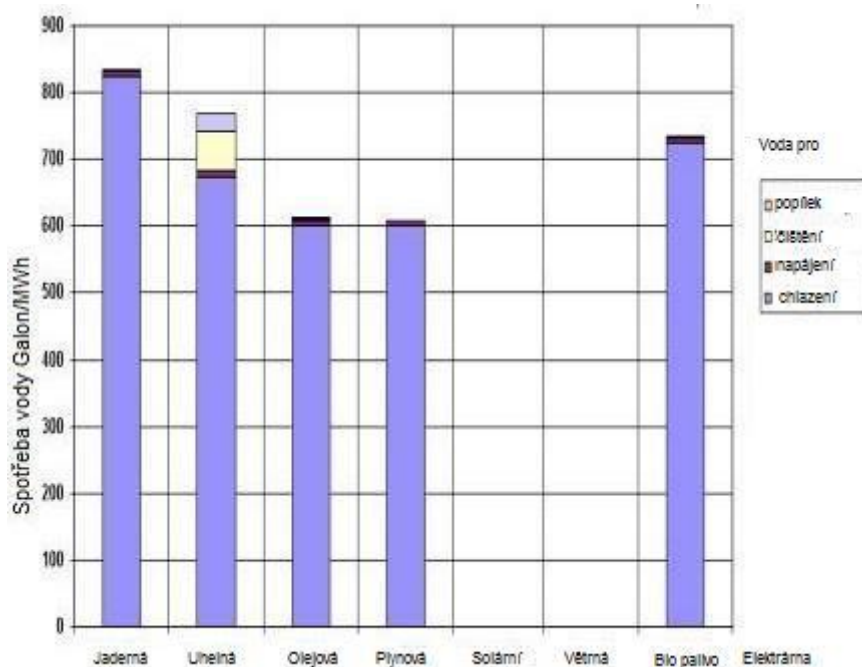
Chladicí vodu je možné přivádět mnoha způsoby. Na obrázku 2.3.1 je znázorněn nejnázornější způsob. Na obrázku jsou očíslovány části : 1 - jímací objekt, 2 - nábrežní čerpací stanice, 3 - přívodní kanál, 5 - strojovna elektrárny, 6 - odpadní kanál, 7 - čerpadla ve strojovně.



Obr. 2.3.1: Dvoustupňové čerpání vody s čerpadly ve strojovně [6]

Voda se přivádí do elektrárny z jímacího objektu samospádem k sacím jímkám ve strojovně nebo u strojovny, uspořádaným před každým kondenzátorem, odkud pak čerpadla nasávají chladicí vodu. Čerpadla bývají umístěna buď v kondenzačním prostoru strojovny (na kótě +0), nebo ve vedlejším přístavku. Schema tohoto uspořádání je

znázorněno na obrázku 2.3.1, uvažující rozumné hospodaření s chladicí vodou a jejím maximálním využití. U větších turbín se instalují dvě čerpadla pro jeden kondenzátor. Čerpadla mají mít takovou charakteristiku, aby při vypnutí jednoho čerpadla zbývající čerpadlo dodávalo asi 60 % potřebného množství chladicí vody. Použití dvou čerpadel má výhodu v tom, že lze měnit množství dopravované vody vypnutím čerpadla a zvýšit spolehlivost provozu. Voda se přivádí do elektrárny kanály. V prostoru elektrárny jsou kanály vždy kryté. [6]



Tab. 2.3.2: Spotřeba vody různými elektrárnami [103]

V grafu 2.3.1 je znázorněna spotřeba vody v galonech na výrobu jedné megawatthodiny elektrické energie různými elektrárnami. Chladicí voda zabírá největší množství v poměru k ostatním vodním systémům u všech uvažovaných elektráren (modrá barva).

2.4. Způsoby chlazení

Existuje více druhů chlazení, nejjednodušším je průtočné. Při tomto chlazení s otevřeným chladicím okruhem se studená voda odebírá z řeky, event. z jiného vydatného zdroje, která se po ohřátí v kondenzátoru a dalších chladicích zařízeních vrací do řeky tak daleko pod jímacím objektem, aby bylo vyloučeno přísávání oteplené vody. Někdy se však v zimním období naopak část ohřáté vody přidává úmyslně do prostor jímání, aby se zabránilo zamrznutí česlic a sít. [6] Průtočnému chlazení je zabraňováno tím, že je zpoplatněna voda, která se z řeky odebrala a voda, která se do řeky vypouští. Je dán limit teploty vody v řece na 25 °C, kvůli němuž hrozí odstavení elektrárny, pokud by byl místně překročen. Poplatky za vodu jsou však důležité u všech druhů chlazení a při návrhu stanice se musí uvažovat s rozumným hospodařením s chladicí vodou a jejím maximálním využíváním.

Z toho vyplývá, že dnes nejpoužívanějším způsobem chlazení může být jen takový, který optimalizuje vodní hospodářství, tedy výparné chladiče. Ve výparných chladičích dochází k přímému styku ochlazované vody s nenasyceným atmosferickým vzduchem. Část vody se odpaří a potřebné výparné teplo je odebráno chlazené vodě, čímž její teplota klesá. [7]

U uzavřeného chladicího okruhu se ohřátá voda rozstříkuje, nebo rozvádí na soustavu šikmých desek, kde se na vodu působí vzduchem proti proudu, nebo křížově. Chladiče, které používají tyto děje jsou jednak sprchové bazény, které si lze představit jako rybníky, do kterých voda není vracena potrubím, ale je do nich rozstříkována fontánovým polem, díky čemuž dochází k ochlazení. V místech, kde vanou silné větry, lze vodu rozlévat po tzv. gradovnách a tím získat potřebný chladicí účinek. Tyto varianty nejsou v ČR běžně používané.

Nejvíce rozšířenými chladiči jsou chladicí věže, kde je proud vzduchu zajišťován přirozeným tahem komína a voda je v nich rozstříkována. Problém je ve vysokých nákladech na železobetonovou konstrukci a špatném vnímání vysokých věží veřejností. Poměr výšky komínu k půdorysu je 1,4 : 1. Půdorys se určí z tepelného zatížení, které je při ochlazování vody o 8 °C 75 kW/m². Další variantou je věž s nuceným ventilátorovým tahem, což je železobetonová válcová skořepina, která není tak vysoká, jako chladicí věž, ale obsahuje ventilátor, který má vysokou vlastní spotřebu elektrické energie, a tím zvyšují provozní náklady. Chladicí voda z věží odtéká, většinou gravitačně, do sacích jímek čerpací stanice. Věže snižují celkovou účinnost elektrárny o 2 - 5 % a chladicí soustava je o 40 % nákladnější než s průtočným chlazením. [103]

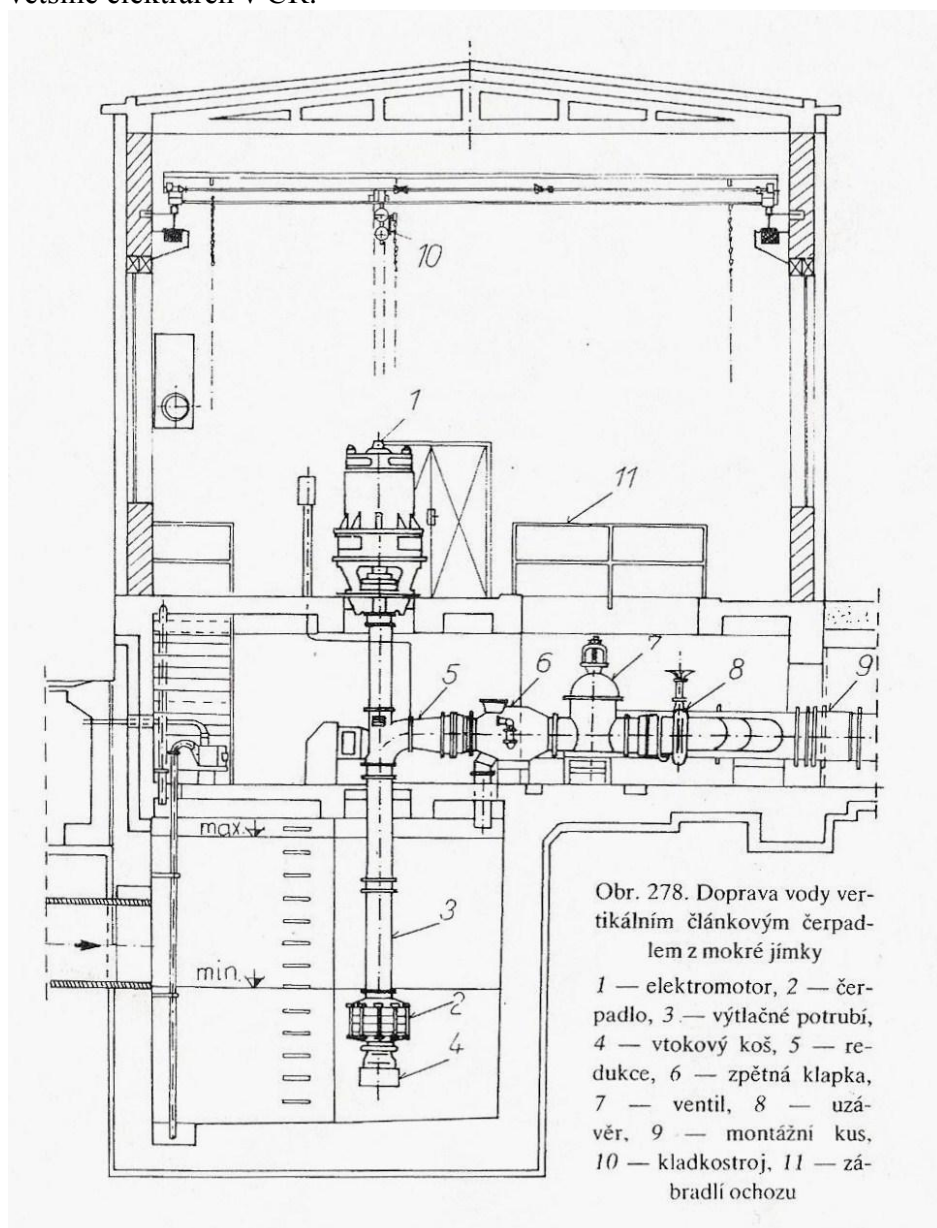
Jelikož množství spotřebované vody u kondenzačních elektráren je značné, je možné uvažovat o použití suché kondenzace, kdy k ochlazování dochází na povrchu ožebrování chladiče umístěného v blízkosti výfuku turbíny. Náklady na tuto variantu jsou čtyřnásobné proti mokré variantě. [103]

3. Stavební část

V rámci elektrárny se jedná o samostatnou stavbu. Při návrhu se počítá s umístěním stanice ve střední Evropě, což odpovídá zadaným parametrům a definuje požadavky.

3.1. Obecné poznatky

Objekt čerpací stanice chladící vody je dán rozměry čerpadel, motorů, potrubí, rozvaděčů a minimálními vzdálenostmi mezi nimi. Dispoziční řešení tradiční ČS je na obrázku 3.1.1. Jedná se o klasické rozložení jednotlivých komponent, které je použito na většině elektráren v ČR.



Obr. 3.1.1: Dispoziční řešení ČS [3]

Na obrázku 3.1.1 je znázorněna rozsáhlost klasické stavby ČS minulého století. Hala je osazena jeřábem, který je určen k montáži a demontáži komponent stanice. Z toho důvodu musí být stěny dimenzovány pro jeřábovou trať.

3.2. Navržené řešení

Navrhovaná koncepce uvažuje demontáž komponent pomocí autojeřábu a tím úsporu nákladů na pořízení jeřábu, naddimenzování stěn stavby a prostor v objektu. Celá koncepce je navrhována s důrazem na snížení nákladů proti klasické verzi ČS.

3.2.1. Zemní práce

Před zahájením stavby ČS je třeba provést geologický průzkum zeminy, uvažovat možnosti jejího využití a případné uskladnění přebytků na deponii.

V průběhu zemních prací se musí výkop odvodňovat a postupně zpevňovat. Práce musí být prováděny se zajištěním pod ochranou pažící konstrukcí z pilotové předvrtané stěny. Dále se provede umístění přívodního potrubí chladící vody a poté se vytvoří základní deska o síle min. 1000 mm. [2] Tato tloušťka tvoří dostatečnou bariéru proti pronikání případného radonu z podloží.

Svislé nosné konstrukce musí být umístěny tak, aby základová deska přesahovala o min. 400 mm. Následná betonáž bude provedena dle platných norem pro systémové bednění s použitím spon dle výkresové dokumentace.

3.2.2. Vrchní stavba

Nadzemní stavba je ocelovou konstrukcí složenou z profilů HEA 160 s vnějším zateplením fasádního pláště. [100] Zateplení bude provedeno minerální tepelnou izolací o tl. 120 mm na vnitřní straně a vnějším obložení trapézovými plechy.

Střecha je řešena jako rám pro přišroubování přemístitelných ocelových desek s oky pro jeřáb. Řešení je znázorněno na obr. 3.2.2.1. Jejich demontáž bude potřeba v případě servisu zařízení ČS, které nelze transportovat dveřmi. Při opravách čerpadla se uvažuje s přistavením autojeřábu, který demontuje střechu. Následně se střešním otvorem demontuje elektromotor, který se uloží v blízkosti ČS a nakonec se po částech odinstaluje čerpadlo. Z toho důvodu je v blízkosti stanice uvažovaná zpevněná plocha pro založení autojeřábu a prostory pro uložení jednotlivých demontovaných komponent.

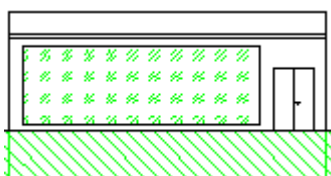
Do čerpací stanice vedou dveře skrz místnost s rozvaděči, odkud vede točité schodiště do prvního podzemního podlaží. Případný přístup do prostor jímky je po ocelovém žebříku z prvního podzemního podlaží. Veškeré průchody mezi zařízeními mají minimální šířku 600 mm, většinou 800 mm. Stěny a podlahy jsou opatřeny nátěry barevně odlišené dle normy pro stavební objekty. [100]

Vytápění objektu je zajištěno elektrickou topnou jednotkou tak, aby při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla dle normy pro strojovny a rozvodny vnitřní teplota přes $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Větrání a především odvod tepla od elektromotorů bude zajišťován přirozeně stěnami, složených z protihlukových žaluzií. Při zvýšení teploty nad $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je maximální dovolená teplota v prostoru bezobslužné haly, termostat sepne postupně až 4 ventilátory TCBT/4-630 H (2,2 kW, 400V, 4A) od firmy Elektodesign. [100] Rozvodovna je větrána nuceně přetlakově s protidešťovou žaluzií s tlumiči hluku a filtry proti prašnosti. Podzemní části ČS jsou větrány přirozenou cirkulací.

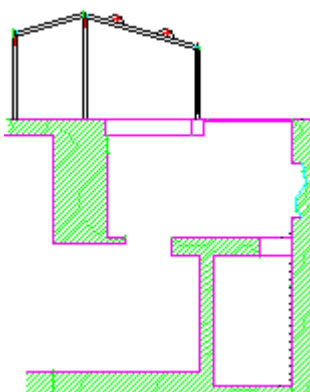
Ochrana před bleskem bude provedena podle příslušné normy i přes fakt, že se počítá s umístěním stavby v zákrytu vyšší budovy pod úhlem 112° . [2] Ochrana proti dalším klimatickým vlivům, kterými jsou v geografických podmínkách, ve kterých se počítá s umístěním ČS, hlavně přivalové deště, prudké nárazové větry o síle až orkánu, teplé slunečné dny s nízkou vlhkostí vzduchu a zimní námrazy s možností pokrývky až metrem sněhu. Tyto vlivy byly uvažovány při návrhu haly z ocelové konstrukce a opatření sloužící k jejich eliminaci byly použity na návrhu, který je znázorněn v dispozičním řešení ČS. Jedná se především o úhel sklonu odnímatelné střechy, vstup do čerpadlovny skrz dvojdvěří a hloubku a způsob ukotvení stavby.

Objekt je navržen pro provoz bez trvalé obsluhy a její servis je zajišťován pochůzkovou činností.

Navržené řešení stavební části je patrné z výkresu, který je přílohou této práce číslo 7 - Stavební řešení objektu ČS. Na obrázcích 3.2.2.1 a 3.2.2.2 je znázorněno schema navržené stavby.



Obr. 3.2.2.1: Čelní pohled na navržený objekt



Obr. 3.2.2.2: Řez stavbou navržené varianty

4. Strojní část

Strojní část zahrnuje veškeré strojně - technologické vybavení ČS, zařízení a potrubí. Hranicí dodávky strojního zařízení do ČS je přívod chladicí vody přívodním kanálem z chladicích věží, u kterého není uvažována v části ČS uzavírací armatura. Požadavek na vyčerpání vtokového objektu při demontáži sacího traktu je zřetelný z dispozičního řešení, které je přílohou práce. Předpokládá se umístění česlí, filtrů a rotačních sítí do míst, kde má taková filtrace v potrubním systému smysl. Výstupem z ČS jsou dvě rovnoběžná potrubí o DN 2000.

4.1. Obecné poznatky

V čerpací stanici jsou instalována čerpadla chladicí vody, odvodňovací čerpadla, kalová čerpadla, příp. požární čerpadla. [6] Dále pak díly výtlačného potrubí, redukce, klapky, uzávěry, odvodňovací a přečerpávací čerpadla. V čerpacích stanicích jsou běžně instalovány manipulátory pro instalaci a demontáž zařízení.

4.1.1. Čerpadlo chladicí vody

V čerpadle na sebe vzájemně silově působí lopatky a proudící kapalina, která je jimi poháněna. Mechanická energie přiváděná na hřídel čerpadla se prostřednictvím lopatek oběžného kola předává kapalině. Tím se zvyšuje její kinetická energie, přičemž část kinetické energie se přeměňuje v oběžném kole a dále v rozváděcích zařízeních na energii tlakovou. Čerpadly protéká kapalina stejnoměrně v nepřetržitém proudu. [4]

Čerpadla se dělí na horizontální a vertikální. Do čerpacích stanic se umísťují vertikální čerpadla, která zmenší celkové rozměry stanice. Proti horizontálním nejsou náchylná na kolísání hladiny. Na druhou stranu jsou složitější na montáž, kdy se při každém servisu čerpadla musí demontovat elektromotor. Každé čerpadlo má obvykle samostatné sací potrubí. Při velkém využití elektrárny se volí menší počet čerpadel. [6]

4.1.1.1. Nouzový provoz čerpadel

Při provozu ČS mohou nastat nepředvídatelné situace, kdy je vyžadován krizový provoz. To je běžně řešeno umístěním nouzového čerpadla, jehož případné využití umožňuje bezproblémový chod zařízení, od kterého je vyžadován nepřetržitý provoz za jakékoli situace.

Hrozbami jsou:

- výpadek elektrické energie
- porucha čerpadla, motoru, komponent armatur
- živelná katastrofa
- selhání lidského faktoru
- neplánovaná odstávka části systému

4.1.1.2. Posilovací čerpadla

V Italské La Casella je elektrárna na zemní plyn o celkovém jmenovitém výkonu 1500 MW. V posledních letech se na elektrárně, provozované od roku 1971, vyskytl problém s čerpáním chladicí vody z řeky Pád, kdy hladina klesala na mezní hranici a chladicím čerpadlům hrozilo nasávání bahna. Problém byl vyřešen v březnu 2011, kdy byla namontována posilovací ponorná čerpadla KSB Amacan PA4 1500-1060, která čerpají vodu do sací jímky ČS a snížili mezní hladinu čerpání o 2,2 m. Na obr.4.1.1.2.1 je vidět montáž posilovacího čerpadla do prostoru, odděleného pažicí stěnou, řeky Pád. [8]



Obr. 4.1.1.2.1: Montáž 15 t posilovacího čerpadla na řece Pád [8]

Posilovací čerpadla mohou řešit současný problém, kdy nelze stavět elektrárny v místech s nedostatečným vodním zdrojem, nebo se jeho instalací může elektrárna vyhnout odstavení z provozu v tzv. "suchých rocích", kdy je hladina vody pod mezní čerpatelnosti běžným způsobem. Vždy je však třeba zvážit, podle konkrétních podmínek, problém čerpání vody bez úpravy a filtrace. V této práci se nepoužilo posilovací čerpadlo, jelikož ho nevyžadují podmínky obsažené v zadání.

4.1.2. Potrubí

Potrubí slouží k dopravě kapalin. Jmenovitá světlost DN udává přibližně vnitřní průměr potrubí v mm. [12] Potrubí se dále značí pomocí údaje jmenovitého tlaku.

Jmenovitý tlak se označuje znakem PN a číselným údajem. Nejvyšší pracovní přetlak ani pracovní teplota se v označení neuvádějí. Při stanovení jmenovitého tlaku se zvolí pro danou pracovní teplotu (s přihlédnutím k vlastnostem provozní tekutiny) vhodná jakost materiálu součástí. Pro příslušnou pracovní teplotu se zjistí nejvyšší pracovní přetlak a podle něj se určí příslušný jmenovitý tlak PN. [15]

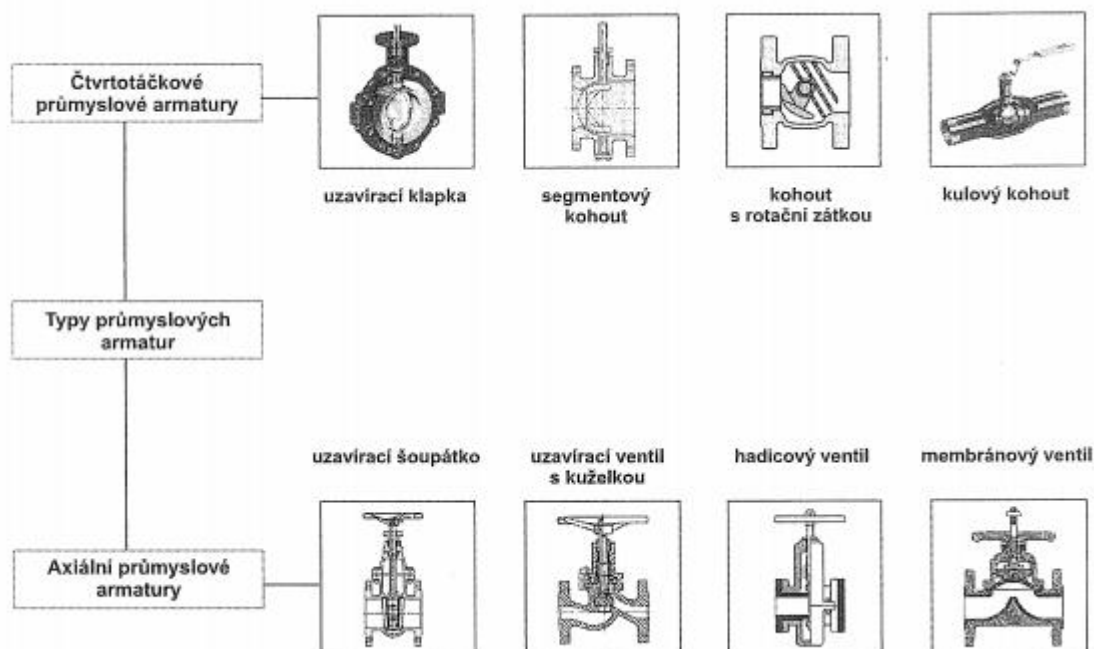
Spojování jednotlivých potrubních dílů, napojení na čerpadlo a armatury se provádí pomocí přírubových spojů. Přírubový spoj se skládá ze dvou přírub, šroubů a těsnění. U kruhových přírub musí být počet šroubů dělitelný čtyřmi a díry musí být umístěny mimo osové roviny potrubí. [12]

Hmotnost na jednotku délky v kilogramech na metr trubky a přednostní rozměry [14] se určují, aby byly v souladu s ČSN EN 10220.

Každé čerpadlo má mít samostatné sací potrubí. V sání mají být takové uzavírky, aby bylo možné demontovat čerpadlo, i když hladina v řece stoupne nad těleso čerpadla (pokud takové nebezpečí existuje). Tlaková potrubí bývají hlavně ocelová, méně často litinová nebo železobetonová. Potrubí je třeba uložit tak, aby bylo chráněno před poškozením z vnějšku, sedáním půdy, mrazem apod. [6]

4.1.3. Armatury

Do armatur se zařazují všechna zařízení, jimiž se např. uzavírá potrubí, reguluje průtok, odvádí kondenzát a odvzdušňuje potrubí. [12] Jejich rozdělení do skupin na axiální a čtvrtotáčkové je znázorněno na obrázku 4.1.3.1.



Obr. 4.1.3.1: Rozdělení typů armatur [104]

4.1.3.1. Uzavírání

Pro uzavírání průtočného průřezu potrubí slouží uzavírací armatury, kterými jsou kuželové a kulové kohouty, ventily, šoupátka a klapky. S ohledem na rychlost otevírání a vznik rázu nelze v čerpací stanici použít kouhuty ani ventily. Nejčastěji jsou používány klapky, jejichž uzavíracím elementem je motýlek, pro výrazně kratší stavební délku a tím úsporu materiálu a tepelných ztát. [11]

Uzavírací klapka bývá nejekonomičtější alternativou při nízkých hodnotách tlaku a velkých rozměrech ventilu. Výhodou uzavírací klapky je velká těsnost. Při velkých tlakových spádech a velkém otevření klapky (70° - 90°) dochází ke snížení přesnosti řízení, neboť v takovém případě je dynamický moment průtoku příliš velký. Dále se tím zvětšuje velikost ovládní. Uzavírací klapky jsou citlivé na kavitaci, což zvyšuje hlučnost a zkracuje životnost ventilů a potrubí. [104]

Jestliže je proud tekutiny v potrubním systému přerušen rychlým uzavřením armatury po směru průtoku zdroje proudu, může být v tekutině generována tlaková vlna, která se pohybuje zpět od armatury ke zdroji. Různými vlnami tlaku jsou způsobeny vibrace, které vytvářejí nerovnovážné síly v potrubí, a jejichž doznívání může trvat několik sekund. Toto se nazývá vodní ráz. [13]

4.1.4. Kompenzátor

Kompenzátory slouží k vyrovnávání vzniklých dilatací mezi pevnými body uložení potrubí. Pro vyrovnávání tepelné dilatace se u dlouhých potrubních tras, v řádech desítek metrů, využívá rovinných kompenzátorů útvarů písmen L, Z, P, S, U, nebo ucpávkových kompenzátorů. V ČS je třeba vyrovnávat tlakové rázy a síly od čerpadel a od případného zavření uzavírací klapky. Tepelná dilatace zde má minimální vliv. Proto se používají pryžové kompenzátory s kluzným vedením, které jsou nejvhodnější pro použití u dvoumetrového průměru, kde umožňují kompenzaci axiálních, laterálních a angulárních posuvů, tlumí hlučnost, vibrace, chvění a rázy.

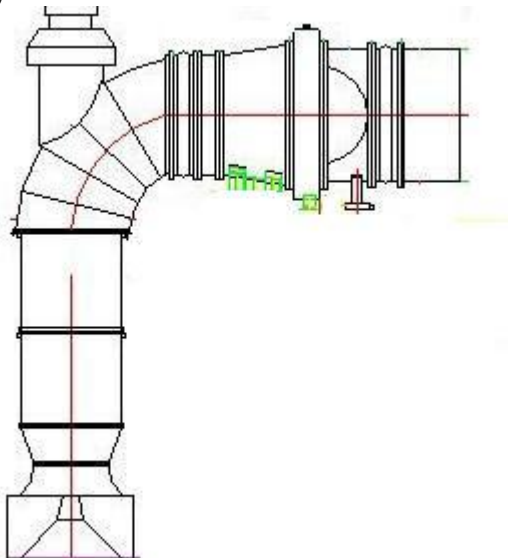
Kompenzátory jsou obvykle ve tvaru vlnovců s jednou nebo více vlnami, které se mohou axiálně roztahovat nebo stlačovat, jejich konce se mohou úhlově natáčet a vzájemně bočně posouvat. Pružné vlny jsou tvarovány z materiálu, kterým může být kov, pryž nebo podobné elastomerové směsi. Kovové vlny mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé. Rozmanitost elastomerů a s nimi spojených tkaninových konstrukcí poskytují celou řadu „pryžových“ výrobků. Pohyby mohou vzniknout z teplotních dilatací, sedání nebo jiného pohybu koncových bodů, vibrací a jiného z vnějšku zavedeného zatížení. Vlnovcové kompenzátory mohou být konstruovány pro přizpůsobení se axiálním, úhlovým nebo bočním pohybům spojených potrubních částí. Uspořádání je použitelné pro udržení relativních pohybů v bezpečných mezích a pro přenos axiální síly od tlaku, tj. axiálního tlaku. [13]

4.2. Navržené řešení

Při návrhu bylo vytvořeno schema čerpací stanice chladicí vody - příloha č. 8, která znázorňuje rozložení strojního vybavení a tras armatur. Dispoziční řešení čerpací stanice chladicí vody - příloha č. 10 nabízí pohled na nejdůležitější řezy čerpací stanice a přílohou č. 9 je stavební řešení objektu ČS, na kterých je znázorněna možnost demontovatelnosti veškerého strojního vybavení ze stanice. Motor a části čerpadla jsou demontovatelné

sřešním otvorem. Armatury lze vytáhnout pomocí poklopů, které jsou namontované po celé délce potrubí ve stanici.

Na obrázku 4.2.1 je znázorněna navržená varianta, tedy vertikální čerpadlo s natáčením lopatek oběžného kola SEZ 16-115, kompenzátor, redukce z průměru DN 1600 na DN 2000, uzavírací klapka Mammoth, úsek potrubí umožňující pohyb motýlku, kompenzátor a potrubní vývod ze stanice.



Obr. 4.2.1: Výtlač navrhovaného čerpadla, kompenzátor a uzavírací klapka

4.2.1. Výpočet dimenze potrubí

Před návrhem jednotlivých částí potrubí se vypočte minimální průměr potrubí tj. jmenovitá světlost. Využije se hodnota rychlosti vody v potrubí výtlaču, která s ohledem na použité profily, musí být do 3 m/s. [6]

- $Q_h = 30\,000 \text{ m}^3/\text{hod}$ - množství chladicí vody do strojovny
- $v = 3 \text{ m/s}$
- S - minimální průřez
- d - minimální průměr

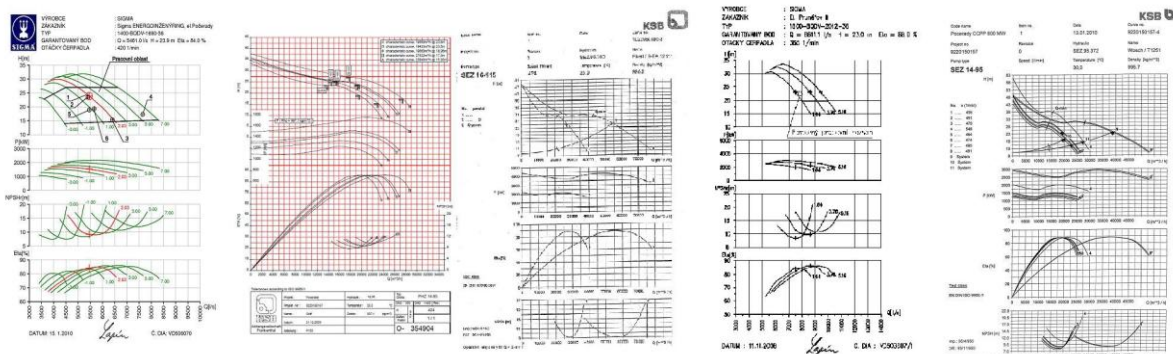
$$S = \frac{Q_h}{v} = \frac{30000}{3 * 60 * 60} = 2,77\bar{8} \quad [\text{m}^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 2,77\bar{8}}{\pi}} = 1,8807 \quad [\text{m}]$$

Dále se určuje jmenovitý tlak a pracovní stupeň, tedy rozdíl vnějšího a vnitřního průměru - tloušťka stěny. Tlakové ztráty, druh materiálu, kontrola mechanického namáhání od vnitřního přetlaku, vnějších sil a teplotních napětí byly zohledněny při návrhu a jsou v souladu s ČSN 130010 a ČSN EN 10220.

4.2.2. Návrh čerpadel chladicí vody

Čerpadlo bylo vybíráno podle požadovaných parametrů tak, aby splňovalo minimální zadané hodnoty, ale zároveň aby nebylo příliš naddimenzované, jelikož se jedná o nejnákladnější položku ze strojního vybavení ČS. Čerpadlo bylo vybíráno z katalogů výrobců čerpadel firem Sigma a KSB. Katalogové listy vybraných čerpadel jsou přílohou této práce č.1 a č.2. U jednotlivých čerpadel se v nomogramech hledaly pracovní oblasti, které splňovali požadavky poměru dopravní výšky (20 m) na dodávaném množství chladicí vody (30 000 m³/h). Od každého výrobce bylo vybráno čerpadlo, jehož křivky v nomogramu splňovaly daná kritéria. Od Sigmy bylo vybráno 1800-BQDV a od KSB SEZ 16-115. Pro toto čerpadlo byl z nomogramu dále odečten výkon 2 MW, účinnosti 87 % a výška NPSH 9,2 m. Vysvětlení a výpočty hodnoty NPSH jsou v podkapitole 4.2.2.1. Minimální hladina chladicí vody, daná požadavkem vertikálního čerpadla je 8610 mm. Hmotnost čerpadla je 18 t, s čímž se musí počítat u zdvihacího zařízení. Vybrané normogramy z katalogů čerpadel firem Sigma a KSB jsou na obrázku 4.2.2.1.



Obr. 4.2.2.1: Nomogramy čerpadel [100]

Varianta s čerpadlem 1800-BQDV firmy Sigma Group a.s. se zdála být z ekonomického hlediska výhodnější. Vzhledem k modernizaci konstrukce ČS, která má být výstupem této práce. Při návrhu vyšlo najevo, že čerpadlo vyžaduje ukotvení sacího členu zabetonováním. Po konzultaci s konstruktérem firmy Sigma Group a.s., který trval na pevném ukotvení nátoky, bylo usouzeno, že náklady vynaložené na stavební řešení ukotvení zásadně komplikují stavbu. Tyto náklady na stavební řešení spolu s cenou čerpadla se rovnají pořizovacím nákladům čerpadla SEZN 16-115 od firmy KSB, které se upevní podepřením o dno sací jímky.

Toto čerpadlo reguluje průtok natáčením lopatek oběžného kola. Při stejných otáčkách čerpadla, je to jedním z neekonomičtějších způsobů, který se používá při velkých průtocích a malých měrných energiích. Automatické natáčení lopatek mění charakteristiku čerpadla, což neklade žádné požadavky na pohon, jen ke složitější a náročnější konstrukci oběžného kola. [4] Další možností by byla montáž čerpadla s natáčením lopatek předrozvaděče, nebo čerpadla s obyčejnými lopatkami a regulací otáček pomocí frekvenčního měniče. Tyto varianty jsou konkrétně rozebrány v kapitole č.7, s jejich ekonomickým zhodnocením.

Čerpadlo se spouští v zahlceném stavu, kdy je výstup z oběžného kola pod hladinou kapaliny a natáčecí lopatky oběžného kola v zavřené poloze tak, aby způsobovaly nejmenší zatížení a během najíždění se postupně přestavovaly.

Komplikace náhlého poklesu tlaku nebo dodávaného množství chladicí vody v potrubí by snížil dodávku chladicí vody do strojovny parních turbín. Tomu se musí vhodnými prostředky předejít. Jednotlivé hrozby vyžadují různá preventivní opatření.

Nejvýznamnějším je umístění dieselařegátu, který je schopen dodat množství elektrické energie potřebné pro provoz jednoho elektromotoru na 100 % množství dodávané chladicí vody. Dieselařegát je spouštěn automaticky při indikaci kolísání napětí. Řídící systém a čidla jsou napojena na baterie, které jsou v elektrárně umístěny pro nastalé krizové situace, aby zajistily chod systémů potřebných pro vyhodnocování informací obsluhou. Jištění je tedy provedeno na úrovni elektrárny a není jej třeba řešit při návrhu čerpací stanice. Pro její návrh je potřeba kalkulovat s umístěním a existencí tohoto jištění.

Porucha na jednom z čerpadel, u čerpací stanice se dvěma čerpadly, je řešena zvýšením výkonu druhého čerpadla po dobu potřebnou k servisu rozbitého. Systém je navržen, aby při opravě kterékoliv části ČS byl umožněn bezproblémový chod pomocí zcela oddělené druhé poloviny čerpací stanice, která není žádnou komponentou závislá na té porušené.

4.2.2.1. Výpočet kavitační deprese v chladícím čerpadle

NPSH - Net Positive Suction Head, je výška vodního sloupce, od které je zabráněno vzniku kavitace u vertikálních čerpadel, tedy poklesu tlakové energie v sací části čerpadla. K poklesu tlaku dochází, jelikož se v čerpadle urychluje voda. Tato hodnota nesmí klesnout pod tlak nasycených par, kdy dochází ke kavitaci, při které se odpařuje voda a vznikají bublinky vodní páry, které snižují hydraulickou účinnost čerpadla, dochází k hluku a lopatky oběžného kola se nadměrně opotřebovávají. [105]

Obecný vzorec pro výpočet kavitační deprese:

$$\text{NPSH} = h_a - h_v + \Delta h - h_L \quad (\text{m})$$

- NPSH - kavitační deprese
- h_a - výška vodního sloupce vyjadřující tlak (atmosferický) na hladině
- h_v - výška vodního sloupce vyjadřující tlak syté páry
- Δh - rozdíl hladin v sací jímce
- h_L - výškové vyjádření tlakové ztráty

Zjišťovanou hodnotou z tohoto výpočtu, při znalosti NPSH odečtené z nomogramu, je minimální výška hladiny v sací jímce. Pro výpočet jsou použity hodnoty z tab. 4.2.2.1.1. Tlakové ztráty jsou ve výpočtu zanedbány.

teplota vody	(°C)	10	20	30	40	50	60	70	80
tlak syté páry	(kPa)	1,23	2,34	4,24	7,38	12,34	19,92	31,2	47,4
hustota	(kg.m ⁻³)	1000	998,0	996,2	992,1	988,1	983,3	977,5	971,8
teplota vody	(°C)	90	100	110	120	130	140	150	160
tlak syté páry	(kPa)	70,1	101,3	143,3	198,5	270,1	361,4	476,0	618,0
hustota	(kg.m ⁻³)	965,3	957,9	950,6	943,4	934,6	925,9	916,6	907,4

Tab. 4.2.2.1.1: Vlastnosti vody [105]

$$\Delta h = \text{NPSH} - h_a + h_v + h_L = 9,2 - 10 + 0,239 = - 0,561 \quad (\text{m})$$

To znamená, že tato hodnota v konkrétním případě nijak neovlivňuje výšku nátoky, která musí být, z požadavku čerpadla, 8,61 m.

4.2.3. Odvodňovací a dávkovací čerpadla

K vyčerpání sací jímky slouží odvodňovací čerpadlo, které bylo navrženo o výkonu $Q = 40 \text{ m}^3/\text{hod}$ pro čerpanou výšku až $H = 10 \text{ m}$. Každá jímka má své čerpadlo umístěné v jímce průsaků a vypouštění. Jedná se o ponorná kalová čerpadla se spouštěcím zařízením s kotevním lanem, montováno se zpětnou klapkou, montážní vložkou a šoupátkem na výtlačku. Katalogový list čerpadla KSB Amarex KRTK 100-250/54UG-S je přílohou č.3.

Dávkovací čerpadlo pro NaClO je umístěno v prostoru vyhrazeném pro biocid a umožňuje dodávat objemové množství $Q = 0 \div 8,5 \text{ l/h}$.

4.2.4. Armatury

Pro velké množství použitých komponent a komplikovanost celého zapojení bylo vypracováno schema čerpací stanice chladicí vody, které je přílohou č. 8. Dle pokynů od zadavatele byl vytvořen seznam armatur - příloha č. 6, seznam potrubních tras - příloha č. 4 a seznam strojů a zařízení - příloha č. 5. V těchto přílohách jsou vypsané a znázorněny všechny použité armatury.

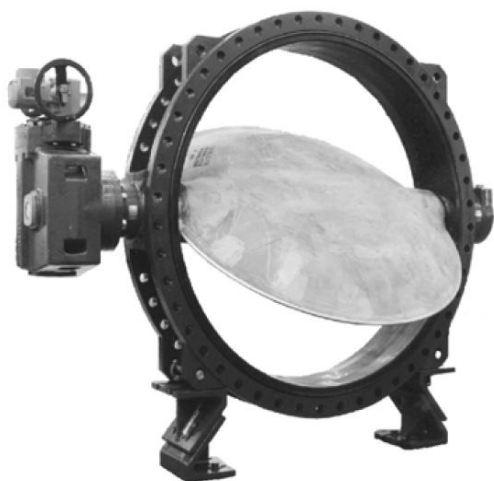
Při výběru armatur se vycházelo z rozměrů daných čerpadlem, minimálního průměru daného maximální rychlostí chladicí vody a zkušeností s projektováním ČS.

Pevnostní výpočet metodou MKP armatur v navržené ČS je v kapitole č.6 této bakalářské práce.

4.2.4.1. Uzavírání

Na obrázku 4.2.4.1.1 je klapka Mammouth firmy KSB s centrickou motýlkovou klapkou s manžetou z elastomeru Amring. Z mnoha typů klapek byla vybrána tato, pro svou odolnost snášet tlak až 20 bar, možnost montáže zařízení proti chvění a tělesa podpěrné nohy, která není připevněna k základu. Otáčení motýlka zajišťuje elektropohon Actelec, který lze u daného typu odmontovat, při zachování plné těsnosti armatury.

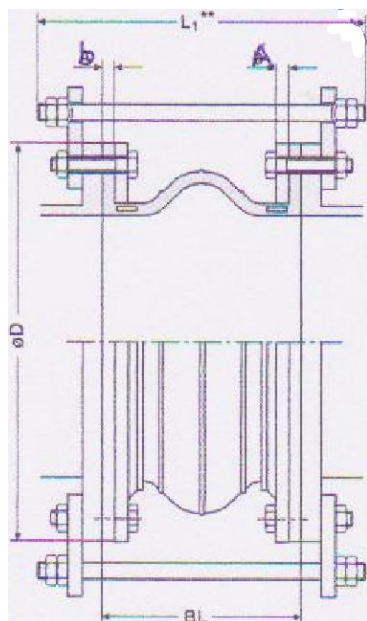
Uzavírání bylo navrženo s ohledem na ČSN EN 13480-3.



Obr. 4.2.4.1.1: Uzavírací klapka Mammouth [100]

4.2.5. Kompenzátor

Kompenzátor na obrázku 4.2.5.1 má kompenzační schopnost ± 30 mm v axiálním směru, ± 12 mm v laterálním směru a $\pm 3^\circ$ angulárně. S těmito hodnotami se počítá v kapitole 6 této práce, která se zabývá pevnostními výpočty. V návrhu jsou umístěny dva kompenzátory na výtlačném potrubí. Jeden za hrdlem čerpadla, druhý za zavírací klapkou v místě, kde se potrubí spojuje s řádem, který chladicí vodu dopraví do strojovny parních turbín.



Obr. 4.2.5.1: Pryžový kompenzátor [100]

4.2.6. Úprava vody

Chladicí voda je dopravována do strojních zařízení, ve kterých jsou na ní z provozních důvodů kladeny vysoké nároky. Jedná se hlavně o zvýšení životnosti strojů a strojních částí. Voda se musí zbavit hrubých a jemných nečistot spolu s organickými i anorganickými látkami, které jsou ve vodě rozpuštěny. Dále se voda odplyní a sníží se množství rozpuštěných minerálních látek.

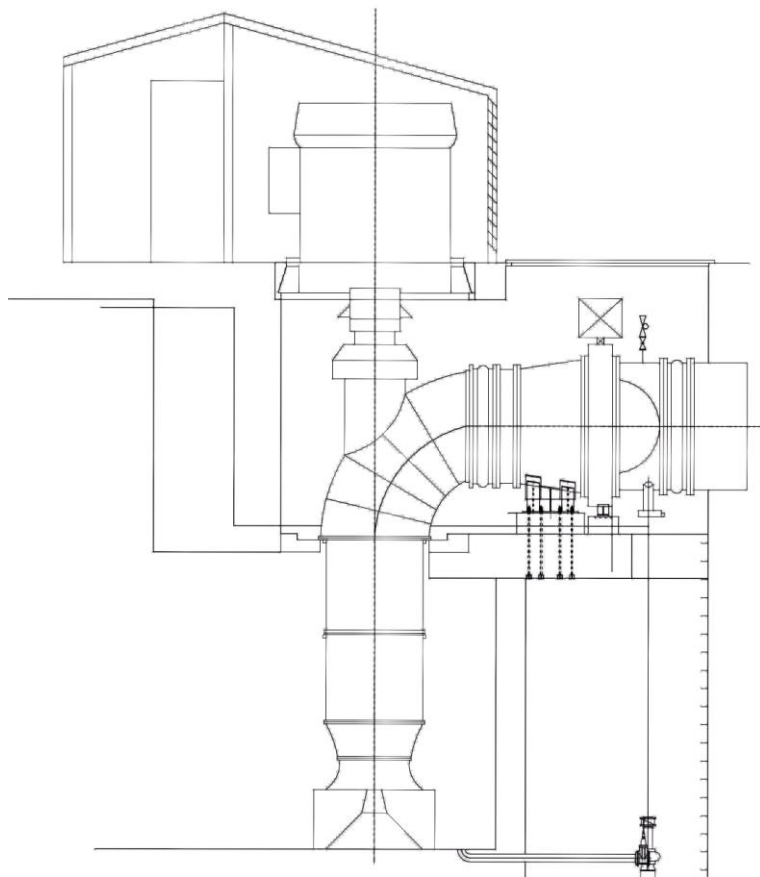
Toho docílujeme dávkováním chemikálií ze stanice biocidu, která je znázorněna v dispozičním řešení. Dávkování se musí zvážit pro konkrétní polohu dle místních rozborů vody. Jedná se především o změkčení vody přidáním NaClO.

Jelikož se do armatur dostává určité množství solí, tak jsou uvažovány zařízení pro otlud. Potřeba otludu je vyhodnocena z měření vodivosti. [9]

4.3. Řízení technologie

Ovládání armatur probíhá z velína elektrárny vyškoleným personálem. Jedná se hlavně o řízení regulace a provozu čerpadel, pomocných čerpadel a natočení lopatek oběžného kola. Řídit se musí i výška hladiny v sací jínce, která se musí pohybovat v rozmezí okrajových limitů HH (high-high) a LL (low-low), které jsou hlídány nouzovými čidly. Případné problémy lze řešit doplňováním čiřené vody do sací jímkky, případně přepouštěcím čerpadlem mezi jímkami.

Podoba čerpací stanice chladicí vody se strojním vybavením je znázorněna na obrázku 4.3.1.



Obr. 4.3.1: Návrh čerpací stanice chladicí vody

Pro potřeby práce byl vytvořen výrobní výkres zátky, který je přílohou č. 11 této práce. Jedná se o díl, který díky vylepšení ve své konstrukci, je schopen nahradit konvenčně používané a normalizované zátky. Tento díl, který je vyrobitelný na konvenčním soustruhu a obrážece z šestihranu. Je jej možné montovat jako kontrolní zátku pomocí klíče pro šestihřanné hlavy, a nebo pomocí vrtačky, do které se umístí protikus čtyřhranu, pro který je vytvořen v hlavě šroubu prostor. Tato součást dokáže ušetřit velké množství času při obsluze zařízení tím, že zkrátí dobu demontáže a zpětné montáže zátky na potrubí.

5. Elektro část

Pro elektrickou část zprávy je potřeba definovat hranice dodávek, protože stejně jako např. pro potrubní rozvody je ČS součástí většího celku elektrárny. Je třeba vyjasnit návaznost jednotlivých systémů, hranice dodávek a způsoby předávání hodnot. Jelikož stejně jako u potrubí na sebe musí navazovat jednotlivé průměry, tak se musí elektrické rozvody předávat rozvodům o stejných parametrech a obdobných vlastnostech.

Hranicí dodávek pro část nízkého napětí jsou přívodní silové napájecí svorky rozvaděče ČS chladicí vody. Pro část vysokého napětí svorkovnice 6 kV pohonů čerpadel chl. vody a řídicí systém, kde svorky v rozvaděči slouží k ovládací a signalizaci okruhů pro operátory na velině.

Zařízení, která jsou napájena elektrickou energií, v objektu ČS, jsou obsaženy na seznamu elektrospotřebičů, který je přílohou č.7.

Dieselagregát, který je využíván při výpadku elektrické energie, aby nebyla přerušena dodávka chladicí vody do strojevný parních turbín, se nachází v samostatném objektu a do ČS je spojen podzemním vedením skrz rozvaděče elektrické energie, které při indikaci problémů s elektrickým proudem spustí dieselagregát a minimalizují tím dobu náběhu. Náběh závisí na druhu agregátu a při výkonu, který je vyžadován, především na ceně. Uvažovat lze prodloužení okolo 15 sekund, během kterých do strojevný nebude dodáno 125 m³ chladicí vody. Ze zkušeností lze vyvodit, že takový jednorázový výpadek výrazněji neovlivní chladicí účinek.

5.1. Návrh motorů

Z katalogů výrobců bylo podle parametrů daných v předchozích kapitolách vybráno několik motorů, které splňovali požadavky. Pro ČS byl vybrán asynchronní motor s kotvou nakrátko Siemens ITC4539-7TC08-Z o výkonu 3150 kW, nominálním napětí 11 kV a maximálním proudem 1100 A. Má celkovou hmotnost 27,5 t, všechny výpočty, zkoušky uložení, najíždění a vibrace při provozu včetně kmitů musí naddimenzovat projektant, což bylo zohledněno v této práci, ale počítá se s následnými zkouškami při najíždění zařízení. Teplota okolí elektromotoru je zajištěna ve stavebním řešení a splňuje výrobcem požadovaných 0 - 40 °C. Motor při provozu vydává 80 dB při otáčkách 371 min⁻¹. Mazání musí být zajištěno proškolenými pracovníky, kteří se starají o obsluhu stanice a musí být vedena pravidelná evidence. Ložiska je třeba mazat každých 3600 hodin: SKF 6056 - 136 gramy maziva a dvě ložiska SKF 7344 B - 404 gramy maziva. Při provozu je potřeba, aby bylo mazivo v každém mazacím bodě. [100]

Pro vzduchové chlazení je třeba dodat 3,9 m³/h vzduchu. V tab. 5.1.1 jsou maximální přípustné teploty jednotlivých částí stanice s alarmy, které jsou nastaveny, aby informovali operátora o překročení dovolené teploty a teplotami, při kterých systém automaticky odpojí zařízení, aby ho ochránil před poškozením.

Automatický záskok čerpadel, tedy regulace a přepínání výkonu, je realizováno v přívodních polích.

	allowed max. Temperature Přípustná max. teplota	Adjustment as per measured values at normal operation T = operating temperature	
	T max	Alarm	Trip / Odpojení
Stator winding Statorové vinutí	125 °C (ETD)	T + 10 K	T + 15 K
Rolling bearing ložiska	follows / následuje °C	T + 5 K	T + 10 K
Cold-air Studený vzduch	55 °C	T + 10 K	T + 15 K
Warm-air Teplý vzduch	86 °C	T + 10 K	T + 15 K

Tab. 5.1.1: Maximální přípustné teploty čidel elektromotoru [100]

5.2. Technická specifikace

Dílčí provozní soubor elektrotechnické části řeší napájení technologie ČS chladicí vody na úrovni nízkého napětí. Na úrovni vysokého napětí (6 kV) je technologie pohonů čerpadel chladicí vody přímo napájena z nadřazeného systému, rozvodů vlastní spotřeby elektrárny. Náhradní napájení technologie ČS chladicí vody je pro případ výpadku pracovního napájení zajištěno rezervním zdrojem.

Přívody do ČS jsou:

- rozvodna společné spotřeby (napájení z linky 110kV) – umožňuje napájet celou technologii ČS chladicí vody
- dieselgenerátor - umožňuje napájet vybrané spotřebiče
- systém zajištěného napájení – zajišťuje bezpauzové napájení vybraných spotřebičů nízkého napětí z baterií (400V, 230V)

5.2.1. Rozvaděče nízkého napětí

Použito je 12 skříňových oceloplechových rozvaděčů, vzduchově izolovaných, pro vnitřní použití, které slouží pro rozvody vlastní spotřeby elektrárny. Jmenovité napětí 50 Hz 400V ($\pm 10\%$) a jmenovitý proud přípojnic od 400 do 2500A. Zkratový proud do 50 kA.

Rozvaděče jsou u přívodů přípojnic osazeny jističi a pojistkovými odpínači. Vývody na elektrospotřebiče budou osazeny motorovými spouštěči, stykači a dalšími přístroji podle typu elektropohonu a způsobu napájení.

Spodní vývody silové i pomocné kabeláže jsou podle stavebního řešení objektu ČS, který je přílohou práce č.9. Rozměry polí jsou 800 x 600 x 2250 mm. Systém návaznosti na řídicí systém je povely zapnout a vypnout se zpětnými hlášením (zapnuto, vypnuto, ready)

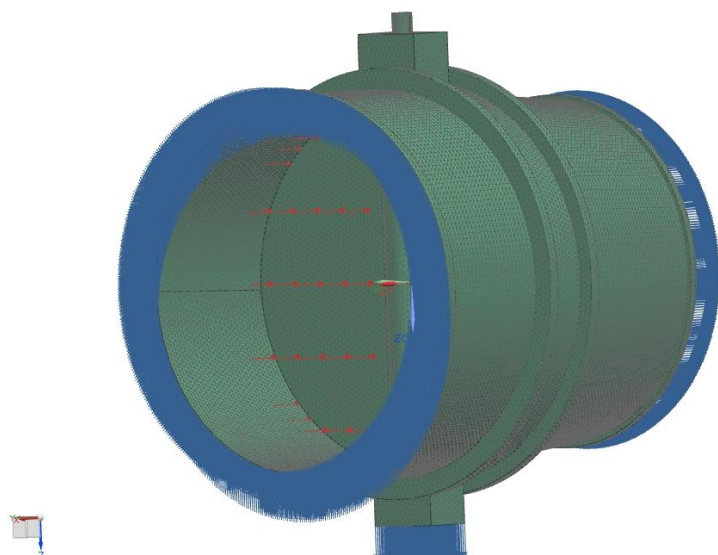
Konkrétní části elektrických rozvodů musí být doplněny o technickou zprávu elektrické části, výkres jednopólového schématu rozvaděče, výkres dispozice rozvaděče a výkres dispozice kabelových rozvodů.

6. Pevnostní výpočty

Pro pevnostní výpočet je použita metoda konečných prvků v prostředí programu Siemens Unigraphics NX 8. Tato metoda, aplikovaná na statické úlohy, je založena na prostorové diskretizaci tělesa, tj. na jeho rozdělení na malé části jednoduchých tvarů. Řešení je provedeno pro tyto menší části a následně z nich je zkonstruováno výsledné řešení. [5]

Řešení se provádí na tzv. síti, což je matematický model složený ze zjednodušených tvarů. Program NX se liší od jiných výpočtových softwarů tak, že dokáže zpřesnit výsledek tím, že umožňuje použít širokou škálu možností ručního nastavení a zpřesnění sítě v kritických místech. Pro výpočet se na síť nastaví okrajové podmínky a zatížení. Vytvořená síť je na obrázku 6.1.

Síť se vytvoří na zhotovený model úseku potrubí. Pro pevnostní výpočet byl vybrán úsek mezi dvěma kompenzátory, ve kterém se nachází rozšíření z DN 1600 na DN 2000, uzavírací klapka Mammouth a úsek potrubí DN 2000, na kterém se nachází armatura pro odvodušnění, která byla pro zjednodušení výpočtu zanedbána.



Obr. 6.1: Síť tělesa s okrajovými podmínkami

6.1. Varianta s uzavřenou klapkou

V první variantě byl uvažován mezní stav, kdy dojde k uzavření klapky a vodní sloupec výšky 20 m na ní tlačí. Pro určení zatěžovací síly byl proveden výpočet, kdy se vyjádřil tlak z Bernouliho rovnice a z tlaku se vypočítala působící síla. Jako další zatěžující síla se použila gravitační síla působící na tělesa.

Vyjádřené výsledky této varianty znázorněné na obr. 6.1.1 a 6.1.2 ukazují, že při tomto zatížení může dojít v extrémně zatížených místech k napětí až 13 MPa, což je zanedbatelná hodnota. Na armatuře dojde k posunutí přes 0,01 mm na rudě vyznačených místech (obr. 6.1.2). Maximální hodnota posunutí vyšla 0,06 mm v místě, kde je otáčecí klapka a kde zároveň dochází k zatěžování modelu. Proto je tato hodnota zkreslená.

Bernouliho rovnice a výpočet síly.

$$\frac{w_1^2}{2} + h_1 * g + \frac{p_1}{\rho} = \frac{w_2^2}{2} + h_2 * g + \frac{p_2}{\rho}$$

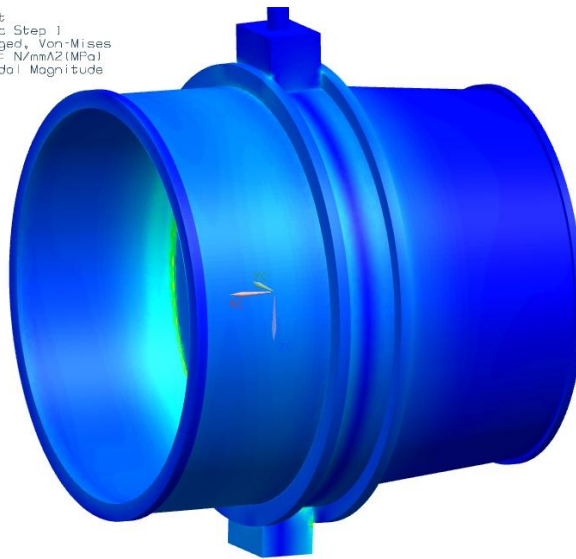
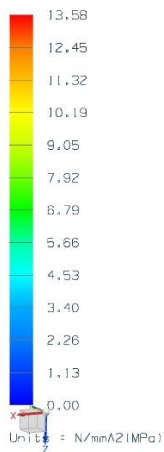
$$0 + 0 + \frac{p_1}{\rho} = 0 + 20000 * g + \frac{p_a}{\rho}$$

$$p = 20 * g * \rho = 196200 Pa$$

$$F = S * p$$

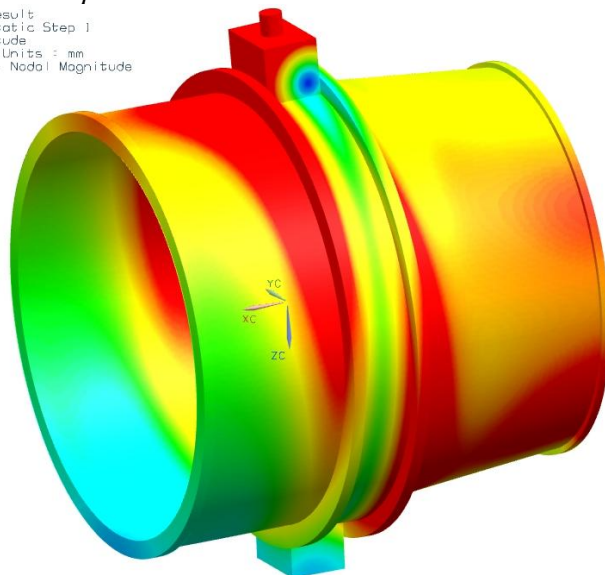
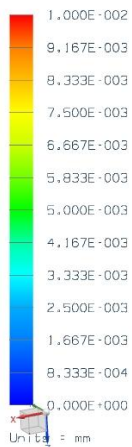
$$F = \frac{\pi * 2^2}{4} * p = 616068 N$$

mohmout_s.msi : Solution 1 Result
Subcase : Static Loads 1, Static Step 1
Stress : Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 13.58, Units : N/mm^2(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 6.1.1: Zobrazení napětí

mohmout_s.msi : Solution 1 Result
Subcase : Static Loads 1, Static Step 1
Displacement : Nodal Magnitude
Min : 0.0003, Max : 0.0504, Units : mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

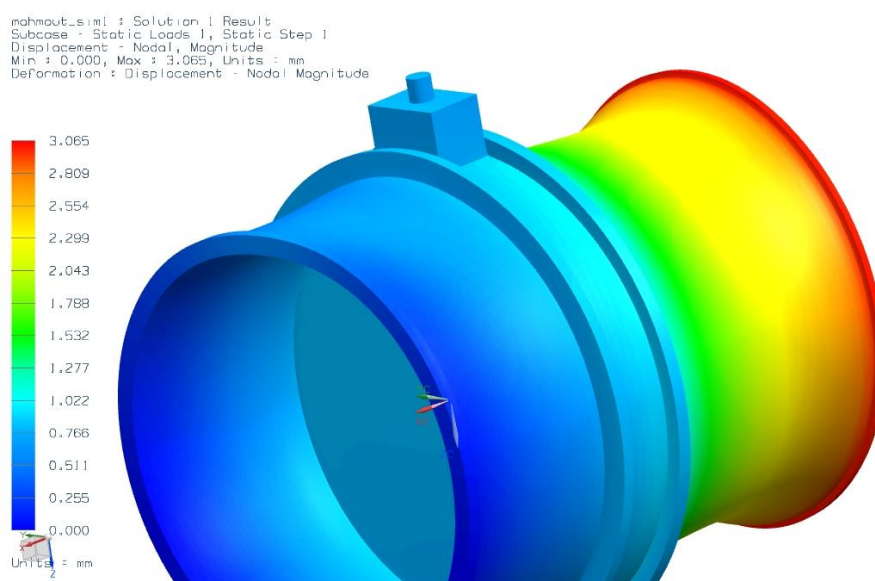


Obr. 6.1.2: Zobrazení posunutí, plochy s hodnotou přes 0,01mm zbarveny červeně

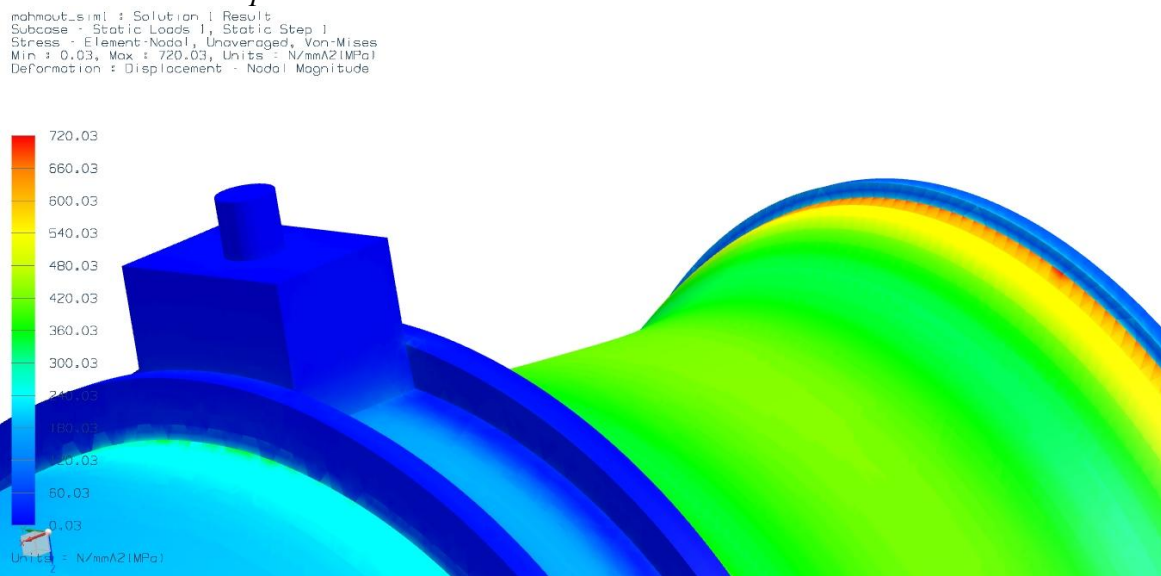
6.2. Varianta při maximálním posunutí

Maximální posunutí, které nám umožňuje kompenzátor Mammouth je 30 mm. Pro výpočet této varianty pomocí MKP, aby byl proveditelný, je uvažována montáž jen jednoho kompenzátoru, což by bylo ekonomicky výhodnější. Zjišťuje se průběh napětí na armatuře, při maximálním stlačení kompenzátoru.

Na obr. 6.2.1 je znázorněn průběh uvažovaného posunutí. Zjištěné největší napětí na obr. 6.2.2 i přes vysokou jemnost sítě a výpočtovou náročnost tvoří skoková maxima, která se nedají považovat za relevantní. Korektní hodnotou je napětí až 500 MPa v zeleno-žluté zbarvené oblasti.



Obr. 6.2.1: Průběh posunutí modelem



Obr. 6.2.2: Zobrazení napětí na potrubí

6.3. Zhodnocení výpočtů

Výsledky získané pomocí MKP jsou přibližné a jelikož se počítá se zidealizovanými modely v ideálních okrajových podmínkách, tak získané výsledky nemusejí zcela odpovídat realitě. Jelikož byly tvořeny jen statické výpočty, tak nebylo možné zahrnout žádnou z možností dynamického zatížení a kmitů, které jsou v problematice čerpacích stanic největším problémem.

I přesto byly vytvořeny dva výpočty, které ukazují, že v potrubí nedochází k žádnému výraznějšímu zatížení ve chvíli, kdy se uzavře klapka a působí na ní sloupec vody. Druhá varianta ukazuje dostatečné naddimenzování kompenzátoru Mammouth, který umožňuje maximální stlačení 30 mm, při kterém by na potrubí působily enormní tlaky.

Vlivy tlakové vlny vytvořené při rychlém uzavření armatur mohou být posuzovány časovým průběhem nebo modální analýzou. Tlakový puls může být idealizován a použit pro velký počet časových intervalů pro určení sil na konce nebo změny směru. Tyto zdokonalené metody mohou obsahovat vazbu mezi tekutinou a potrubím a mohou tak obsahovat útlum tlakové vlny při přenosu energie do relativně tuhého potrubí. Matematické reprezentace nemusejí být ve všech ohledech vhodné a správné. [13]

7. Ekonomické zhodnocení

Celkové náklady na realizaci ČS jsou v řádu desítek milionů. Jejich vyčíslení a porovnávání není možné, jelikož se jedná o interní firemní informace. Částky největších zařízení se vždy sjednávají konkrétně pro daný projekt.

V tomto ekonomickém zhodnocení se porovnávají varianty, které zvýší pořizovací náklady o přídavná zařízení k vertikálnímu čerpadlu chladicí vody a pro tři režimy používání ČS se vypočetly úspory, které z toho plynou. Náklady na tyto jednotlivé jednoduché dílčí úpravy lze přibližně určit.

7.1. Pracovní režimy

Jelikož není zadáno, zda se jedná o ČS pro špičkovací, pološpičkovací, nebo běžný provoz. Je potřeba stanovit různé varianty, pro které se vypočítá úspora a návratnost řešení.

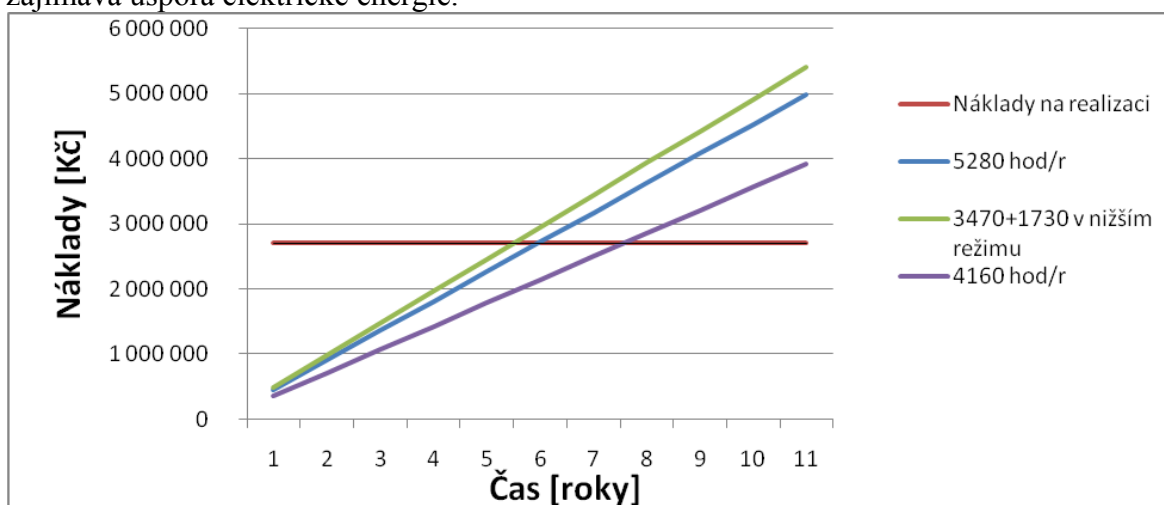
První režim uvažuje provoz po celý pracovní týden bez nočních odstavek. Ročně se započítáním odstavek na opravy to je 5280 hodin provozu čerpací stanice.

Druhým režimem je provoz pouze v pracovní dny s tím, že přes den se pojede na 100 % a v noci na 54 % výkonu elektrárny. To je 3470 hodin plného zatížení a 1730 hodin v nižším režimu.

Poslední možností je plný provoz přes pracovní týden s nočními a víkendovými odstavkami. To by znamenalo provoz po 4160 hodin ročně.

7.2. Čerpadlo s předrozděčem

Čerpadlo s natáčením lopatek předrozděče je technickou variantou, která by snížila náklady na čerpadlo, které by nemuselo mít natáčecí oběžné lopatky a ušetřilo by se tím 5 milionů korun na každém čerpadle. Tato varianta by však vyžadovala proti navrženému konceptu úpravu nátokového kanálu a zahloubení ČS o 4 metry, což lze zhruba vyčíslit na 12,7 milionu korun. Tato varianta nesplňuje požadavek, ze zadání, na nepřetržitý provoz stanice, jelikož neumožňuje chod při výpadku jednoho z čerpadel. Pro výpočet je však zajímavá úspora elektrické energie.



Graf 7.2.1 Úspory varianty č.1

Účinnost čerpadla v této variantě je o 3,4 % vyšší, což znamená úsporu ve spotřebě o 33 kW na každém čerpadle. Cena elektrické energie je počítána na 1,3 Kč/kWh, jelikož se jedná o energii vyprodukovanou ve vlastním zařízení. Výpočet variant vypadá takto:

$$33 \text{ kW} \times \text{počet hodin} \times 1,3 \text{ Kč/kWh} \times 2 = \text{roční úspora}$$

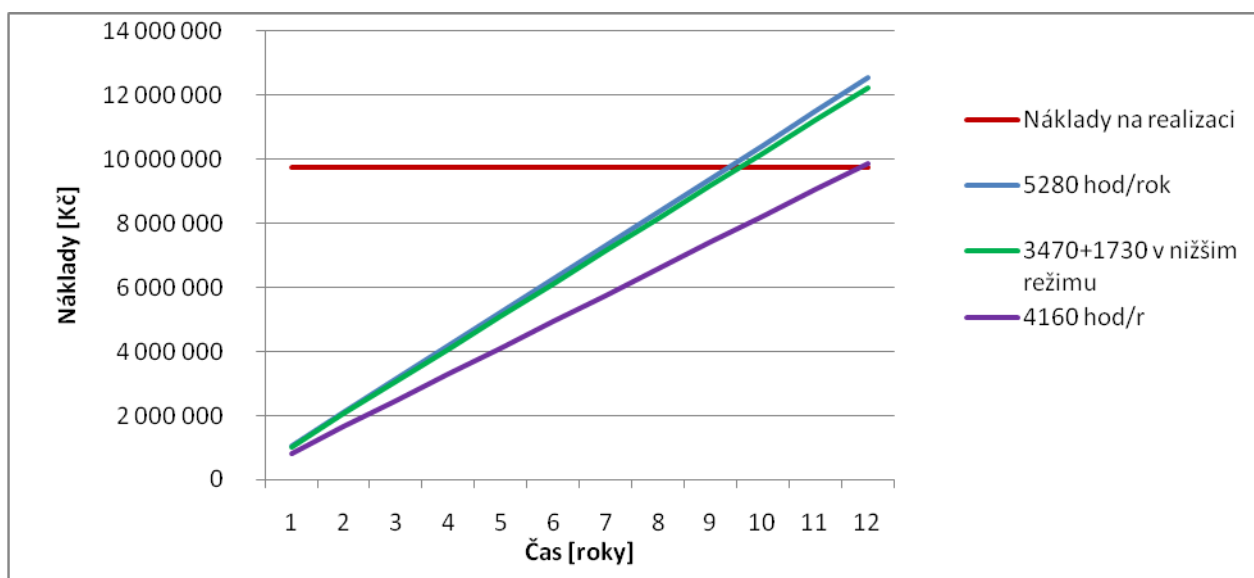
Výsledky pro jednotlivé varianty jsou zobrazeny v grafu 7.2.1. Červenou čarou jsou znázorněny vstupní náklady 2,7 milionu korun, což je součet zvýšených nákladů na realizaci bez úspory, získané montáží jednodušších čerpadel. Čáry se protínají v místě, kde se vynaložené náklady získají z provozu zařízení zpět, investice se vrátila a začíná vynášet zisk. Z grafu je patrné, že u prvních dvou variant je tento bod očekáván do 6 let provozu a u třetí varianty maximálně za 8 let. Čerpadlo, které by splňovalo zadání, aby byl umožněn provoz jednoho čerpadla nezávisle na druhém s montáží předrozvaděče by bylo ekonomicky nesrovnatelné.

7.3. Čerpadlo s frekvenčním měničem

Čerpadlo má regulovanou změnu otáček pomocí FM, díky čemuž opět není potřeba montovat otáčecí oběžné lopatky a tím je možné ušetřit 1,5 milionu korun na každém čerpadle. Tato varianta však vyžaduje doplnění projektu o frekvenční měnič a transformátor, které by vyšly na 12 milionů korun a stavební úprava prostor ČS 0,75 mil. Kč.

Tato varianta regulace otáček je tedy proti návrhu dražší o 9,75 milionu. Účinnost čerpadla vzroste o 4,2 % a úspora elektrické energie je 76 kW. Při užití obdobného vzorce jako u předešlé varianty byly výsledky zobrazeny v grafu 7.3.1. Největším rozdílem je, že nejkratší dobu návratnosti v této variantě má první režim při provozu 5280 hodin ročně. Návratnost lze očekávat nejméně po 9 letech, u třetí varianty po 12.

Realizace této varianty je však s ohledem na zadání také nemožná, jelikož by čerpadla nebyla schopna zajistit požadované dodávané množství. Pokud by se výpočet provedl pro čerpadlo s vyhovujícími parametry, tak by náklady vzrostli tak, že návratnost by byla nad životností elektrárny.

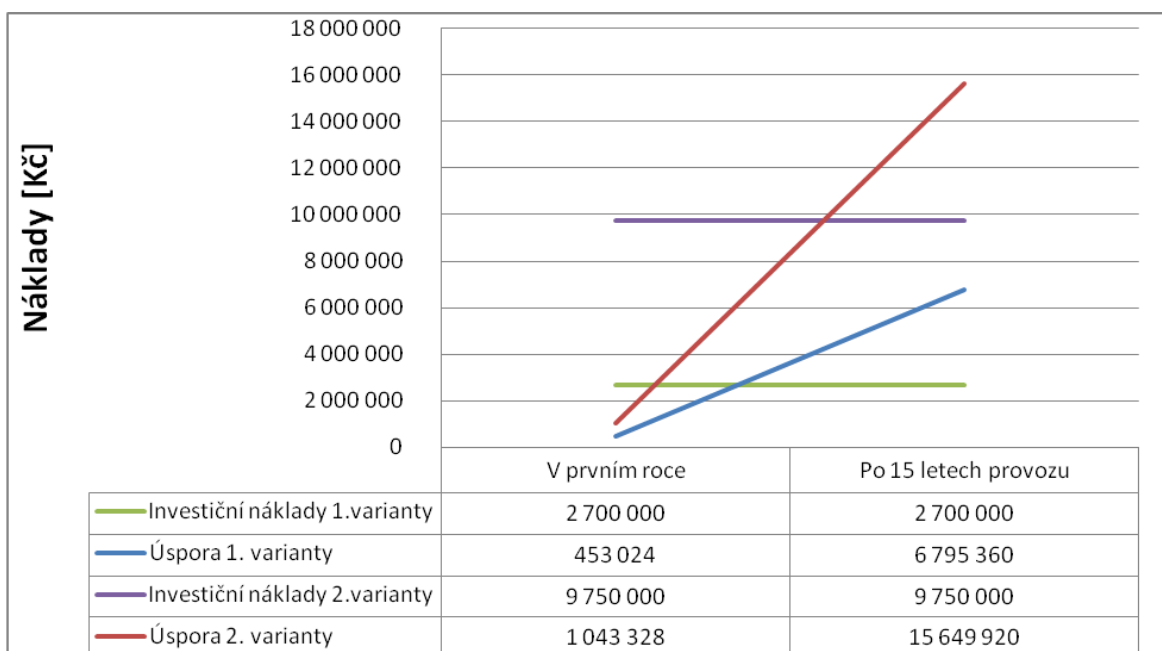


Graf 7.3.1 Úspory varianty č.2

7.4. Porovnání variant

I přesto, že ani jednu z navržených variant, které by byly schopny ušetřit náklady při provozu čerpací stanice s tím, že se zvýší náklady na realizaci, nelze ze zmíněných důvodů realizovat. Jejich porovnáním lze získat informaci, kolik by varianty ušetřili proti navrženému konceptu, pokud by se změnilo zadání a nebyly by na stanici kladeny takto vysoké nároky.

V grafu 7.4.1 jsou vyjádřeny obě varianty a lze vyčíst, že první varianta by po 15 letech provozu na 5280 hodin ročně uspořila 4 095 360 Kč a druhá 5 899 920 Kč. Takto vysokých hodnot úspor bylo docíleno teoretickými výpočty. Stanice s pomocí technických úprav získaly různé konečné parametry množství chladicí vody a dopravní výšky, které zde nejsou porovnávány.



Graf 7.4.1 Porovnání variant

Varianta s natáčením oběžných lopatek byla zvolena z důvodu dobrých provozních zkušeností s tímto způsobem regulace. S největším rozsahem regulace proti navrženým variantám plně splňuje zadání práce.

8. Závěr

V této bakalářské práci byl vytvořen návrh čerpací stanice chladící vody. Velký důraz byl kladen na ekonomickou stránku projektu, a to ve velké míře ovlivnilo výslednou podobu stavby a její zařízení. Při návrhu se vycházelo z praxí ověřených zkušeností nabraných na existujících čerpacích stanicích a od lidí, kteří tato zařízení provozují. Zároveň byly brány v potaz i možnosti dnešních moderních technologií a nástrojů, které nám dává třetí tisíciletí. Podle názoru autora je tento návrh životaschopný a při mírných úpravách adaptovatelný pro konkrétní použití.

Čerpací stanice jsou nedílnou součástí našich elektráren. Kromě provozních úspor, které se získávají investicemi do kotlů, turbín, kondenzátorů, logistiky a lidských zdrojů. Stojí za zamyšlení i tak jednoduchá část elektrárny, jako je čerpací stanice, jelikož z této práce je patrné, že právě zde lze najít prostor pro velké úspory.

Seznam použité literatury, normy, zdroje:

- [1] STANĚK, J., NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: ZČU, 2005
- [2] SPURNÝ, B. Navrhování a organizace strojíren. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952
- [3] TESAŘÍK, I. Vodárenství. Praha: SNTL, 1985
- [4] RAČEK, J. Strojní zařízení elektráren. Brno: VUT, 2004
- [5] LAŠOVÁ, V. Metoda konečných prvků ve výpočtech obráběcích strojů. Plzeň: ZČU, 2011
- [6] KADRNOŽKA, J. Tepelné elektrárny a teplárny. Brno: SNTL, 1984
- [7] KADRNOŽKA, J., SKÁLA, Z. Paroplynové elektrárny a teplárny. Brno: SNTL, 1981
- [8] BERETTA, M. Power station gets water booster aid, World Pumps, ScienceDirect, ISSN 0262-1762, 2011
- [9] KYSELA, L., TOMČALA, J. Vodní hospodářství v energetice. Ostrava: VŠB-TU, 1958
- [10] ILBER, Z. Technický průvodce energetika. Praha: BEN, 2002
- [11] ZÍMA, J., NEUŽIL, M. Části a mechanismy strojů potrubí a armatury. Praha: ČVUT, 1998
- [12] ČERNOCH, S. Strojně technická příručka. Praha: SNTL, 1977
- [13] ČSN EN 13480-3, Kovová průmyslová potrubí - Část 3: Konstrukce a výpočet, 2002
- [14] ČSN EN 10220, Bezešvé a svařované ocelové trubky - Rozměry a hmotnosti na jednotku délky, 2005
- [15] ČSN 130010, Potrubí a armatury. Jmenovité tlaky a pracovní přetlaky, 1989

Ostatní zdroje:

- [100] Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem práce.

Internetové zdroje:

- [101] <http://www.sigmagroup.cz/>
- [102] <http://www.ksb.com/>
- [103] <http://www.world-nuclear.org/>
- [104] <http://www.trival.cz/>
- [105] <http://www.tzb-info.cz/>

Seznam příloh

- Příloha č. 1 Katalogový list Sigma Group a.s. - Vertik. odstředivé čerpadlo s el.motorem typ 1800-BQDV
- Příloha č. 2 Katalogový list KSB Aktiengesellschaft - Vertik. odstředivé čerpadlo s el.motorem SEZN 16-115
- Příloha č. 3 Katalogový list odvodňovací čerpadlo KSB Amarex KRTK 100-250/54UG-S
- Příloha č. 4 Seznam potrubních tras
- Příloha č. 5 Seznam strojů a zařízení
- Příloha č. 6 Seznam armatur
- Příloha č. 7 Seznam elektrospotřebičů
- Příloha č. 8 Schema čerpací stanice chladící vody
- Příloha č. 9 Stavební řešení objektu ČS
- Příloha č. 10 Dispoziční řešení čerpací stanice chladící vody
- Příloha č. 11 Výrobní výkres zátky

Obsah dvd

soubory:

- bakalarska_prace.PDF
- prezentace.PDF
- Priloha 4.PDF
- Priloha 5.PDF
- Priloha 6.PDF
- Priloha 7.PDF
- Priloha 8.PDF
- Priloha 9.PDF
- Priloha 10.PDF
- Priloha 11.PDF

