

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301R016 Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh funkčního P&ID strojovny parní turbíny 250MW

Autor: **Pavel PECHMAN**
Vedoucí práce: **Ing. Marek KLIMKO**

Akademický rok 2017/2018

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: 17.5.2018

.....
podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval svému konzultantovi za Doosan Škoda Power Ing. Jiřímu Blovskému za odborné konzultace a cenné rady. Také bych rád poděkoval Ing. Marku Klimkovi, že se ujal role vedoucího této bakalářské práce.

Pavel Pechman

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel PECHMAN**

Osobní číslo: **S15B0159P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**

Název tématu: **Návrh funkčního P&ID strojovny parní turbíny 250 MW**

Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

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

Cílem práce je procesní návrh schématu P&ID parní turbíny dle podkladů zadaných DSPW. Na základě parametrů provést návrh kondenzátních čerpadel a regulačního ventilu.

Osnova bakalářské práce:

1. Návrh funkčního P&ID strojovny v rozsahu základního projektu
 - schéma zapojení v ACAD dle bilančního schématu,
 - rozsah - turbína, NT regenerace, VT regenerace, napájecí nádrž, kondenzátor, kondenzátní čerpadla,
 - úprava zapojení dle použitých zařízení,
 - umístění potřebných armatur,
 - umístění potřebných měření,
 - předpokládané umístění odvodnění.
2. Specifikace kondenzátních čerpadel (tlaková ztráta na sání čerpadla, tlaková ztráta na trase výtlaku do napájecí nádrže).
3. Vzorový výpočet regulačního ventilu hlavního kondenzátu.
4. Funkční popis dálkově ovládaných armatur a zařízení.

Rozsah grafických prací: schémata, výkresy
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

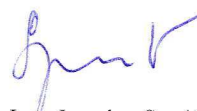
- Bečvář J.: Tepelné turbíny, Bratislava, SNTL/SVTL, 1968, 548 s.
- Ščeglajev A. V.: Parní turbíny, Praha, SNTL, 1983
- Škopek J.: Parní turbína (Tepelný a pevnostní výpočet), ISBN Plzeň, 2003
- LDM, spol. s r. o., Doubrava J. a kol: Regulační armatury, 4. vydání, 2006
- Interní materiály Doosan Škoda Power s.r.o. (Příručka pro strojní projektanty Josef Jindřich, Ing. Jiří Blovský etc.)
- Jacobsen Brix Christian, The centrifugal pump, research and technology GRUNDFOS Management A/S
- Drábková S., Blejchař T.: Čerpací technika a potrubí, návod ke cvičení, VŠB, fakulta strojní, Ostrava, 2010

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Klimko
Centrum energetického výzkumu
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Blovský
Doosan Škoda Power s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: 30. října 2017
Termín odevzdání bakalářské práce: 21. května 2018



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Dr. Ing. Jaroslav Synáč
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2017

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Pechman		Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 – Stavba energetických strojů a zařízení			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Klimko		Jméno Marek	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KKE			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh funkčního P&ID strojovny parní turbíny 250MW			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	62	TEXTOVÁ ČÁST	44	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS	Cílem práce je procesní návrh schématu P&ID parní turbíny dle podkladů zadaných DSPW. Na základě parametrů provést návrh kondenzátních čerpadel a regulačního ventilu.
KLÍČOVÁ SLOVA	Parní turbína, P&ID, regulační ventil, kondenzátní čerpadla

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Pechman	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	2301R016 – Design of power system machines and equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Klimko	Name Marek	
INSTITUTION	ZČU – FST – KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of functional P&ID of steam turbine machinery room 250MW		

FACULTY	Mechanical engineering	DEPARTMENT	KKE	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	62	TEXT PART	44	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	The aim of the sheet is process design of P&ID of steam turbine. To make design of the condensate pumps and control valve based on the given parameters.
KEY WORDS	Steam turbine, P&ID, control valve, condensate pumps

Obsah

1	Úvod	14
2	Návrh P&ID strojovny turbíny	15
2.1	TURBÍNA	15
2.2	KONDENZÁTOR	16
2.3	KONDENZÁTNÍ ČERPADLA	16
2.3.1	<i>Ovládané armatury a zařízení</i>	17
2.4	NT REGENERACE	18
2.4.1	<i>Ovládané armatury a zařízení</i>	20
2.5	NAPÁJECÍ NÁDRŽ	22
2.5.1	<i>Ovládané armatury a zařízení</i>	23
2.6	VT REGENERACE	24
2.6.1	<i>Ovládané armatury a zařízení</i>	26
2.7	SYSTÉM UCPÁVKOVÉ PÁRY	27
2.8	KONDENZÁTOR KOMÍNKOVÉ PÁRY	28
2.8.1	<i>Ovládané armatury a zařízení</i>	29
2.9	SYSTÉM ODVODNĚNÍ	30
2.10	EXPANDÉR PROVOZNÍCH KONDENZÁTŮ (EPK)	31
2.11	DALŠÍ SOUČÁSTI TVORBY P&ID	32
2.11.1	<i>Schéma tepelných bilancí</i>	32
2.11.2	<i>Kódové označení armatur a potrubních tras</i>	32
2.11.3	<i>Dimenzování</i>	32
3	Specifikace kondenzátních čerpadel	33
3.1	TLAKOVÉ ZTRÁTY MÍSTNÍMI ODPORY	33
3.2	TLAKOVÉ ZTRÁTY TŘENÍM	34
3.2.1	<i>Postup výpočtu tlakových ztrát třením</i>	34
3.3	CHARAKTERISTIKA ČERPADLA	35
3.4	SPECIFIKACE	35
4	Vzorový výpočet regulačního ventilu hlavního kondenzátu	38
4.1	PRŮTOKOVÝ SOUČINITEL K_v	38
4.2	PRŮTOKOVÝ SOUČINITEL Φ	38
4.3	PRŮTOČNÁ CHARAKTERISTIKA	39
4.4	AUTORITA VENTILU	41
4.5	SPECIFIKACE REGULAČNÍHO VENTILU	42
5	Závěr	43
6	Seznam použité literatury	44

Seznam obrázků

Obrázek 2-1: VT/ST díl turbíny.....	15
Obrázek 2-2: NT díl turbíny.....	16
Obrázek 2-3: Schéma havarijních hladin ve sběrači kondenzátu kondenzátoru	17
Obrázek 2-4: Nízkotlaký ohřívák (vertikální).....	19
Obrázek 2-5: Napájecí nádrž.....	22
Obrázek 2-6: Vysokotlakový ohřívák (vertikální)	24
Obrázek 2-7: Externí srážecí přehřátí (vertikální) Ovládané armatury a zařízení.....	25
Obrázek 2-8: Kondenzátor komínkové páry	29
Obrázek 2-9: Expandér provozních kondenzátů	31
Obrázek 3-1: Charakteristika čerpadla.....	35
Obrázek 4-1: vybrané charakteristiky ventilů firmy LDM – RV 102 a RV 103	39
Obrázek 4-2: Rozdíl regulačních rozsahů pro různé charakteristiky	40
Obrázek 4-3: Vliv autority na lineární charakteristiku ventilu.....	41
Obrázek 4-4: Vliv autority na rovnoprocentní charakteristiku ventilu	41

Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Přehled tlakových ztrát v trase hlavního kondenzátu pro odhad dopravní výšky kondenzátních čerpadel	33
Tabulka 3-2: Rozdíl výšek a tlakové ztráty na jednotlivých úsecích trasy hlavního kondenzátu	36
Tabulka 3-3: Specifikace čerpadla.....	37
Tabulka 4-1: Parametry média při jednotlivých provozech.....	42
Tabulka 4-2: Hodnoty pro specifikaci regulačního ventilu	42

Seznam příloh

- [1] Funkční schéma (P&ID)
- [2] Schéma tepelných bilancí (HBD)
- [3] Legenda symbolů pro P&ID

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Název
D_i	[m]	Vnitřní průměr potrubí
K_v	[m ³ ·h ⁻¹]	Průtokový součinitel
L	[m]	Délka potrubí
\dot{m}	[kg·s ⁻¹]	Hmotnostní průtok
$p_{hsání}$	[Pa] / [bar]	Hydrostatický tlak na sání kondenzátních čerpadel
$p_{hvýtlak}$	[Pa] / [bar]	Hydrostatický tlak na výtlaku kondenzátních čerpadel
$p_{kond.}$	[Pa] / [bar]	Tlak v kondenzátoru
p_{NN}	[Pa] / [bar]	Tlak v napájecí nádrži
p_{ztr}	[Pa] / [bar]	Tlakové ztráty
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
w	[m·s ⁻¹]	Rychlost proudění média
Δp	[Pa] / [bar]	Rozdíl tlaků
ζ	[-]	Ztrátový součinitel
λ	[-]	Třecí součinitel
ν	[m ² ·s ⁻¹]	Kinematická viskozita
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota média
Φ	[-]	Poměrný průtokový součinitel

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Vysvětlení
DSPW	Doosan Škoda Power
EPK	Expandér provozních kondenzátů
HBD	Heat balance diagram (Schéma tepelných bilancí)
KČ	Kondenzátní čerpadlo
KKP	Kondenzátor komínkové páry
NN	Napájecí nádrž
NT	Nízkotlaký
NTO	Nízkotlaký ohřívák
P&ID	Piping and instrumentation diagram – Potrubní a přístrojové schéma
ST	Středotlaký
VT	Vysokotlaký
VTO	Vysokotlaký ohřívák

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je na základě zadaného schématu tepelných bilancí vytvořit funkční schéma zařízení a potrubních tras (schéma P&I) pro strojovnu turbíny o výkonu 250MW. Součástí práce je také specifikace kondenzátních čerpadel a vzorový výpočet regulačního ventilu.

Tvorbě schématu P&I se věnuje první kapitola. Popisuje funkci použitých zařízení, potrubních tras a důležitých, automaticky řízených armatur. Schéma se zaměřuje pouze na oblast média pára/voda a neobsahuje např. olejové systémy nebo rozvody vzduchu. Schéma P&I je jedním z hlavních dokumentů projektu. Zobrazuje základní funkční souvislosti zařízení, armatur a potrubních tras ve strojovně.

Druhá kapitola je věnována specifikaci kondenzátních čerpadel a jejich návrhu pro potřeby konkrétního bloku. Obsahuje vzorový výpočet třecích tlakových ztrát v potrubní trase a výpočet celkové potřebné dopravní výšky čerpadel pro konkrétní blok. Výstupem je tabulka základních parametrů čerpadla pro jeho poptávku.

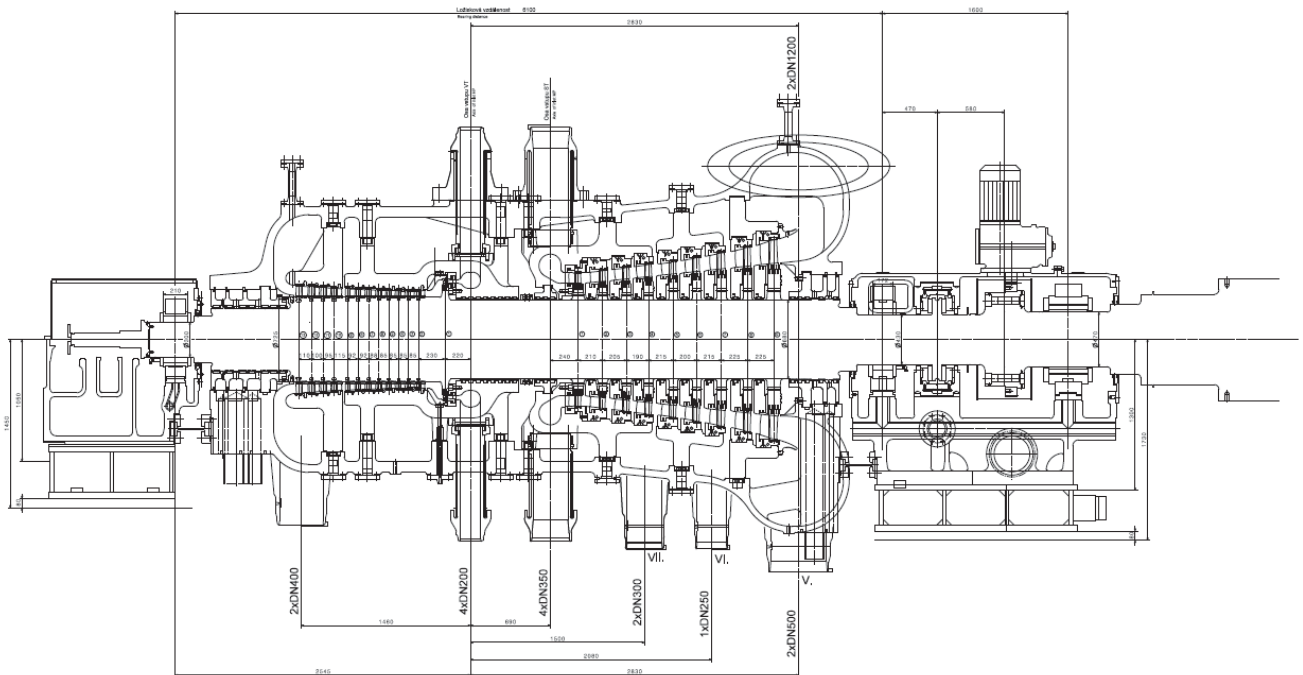
Třetí a poslední kapitola popisuje vzorový výpočet regulačního ventilu na trase kondenzátu.

Bakalářská práce byla zpracována ve spolupráci se společností Doosan Škoda Power (DSPW), spol. s.r.o. Tato společnost je jedním z hlavních dodavatelů zařízení strojoven parních turbín na světě. Bakalářská práce byla vypracována na základě interních podkladů, standardů a know-how DSPW. Práce představuje malou část znalostí a pracovní náplně strojního projektanta této společnosti.

2 Návrh P&ID strojovny turbíny

2.1 Turbína

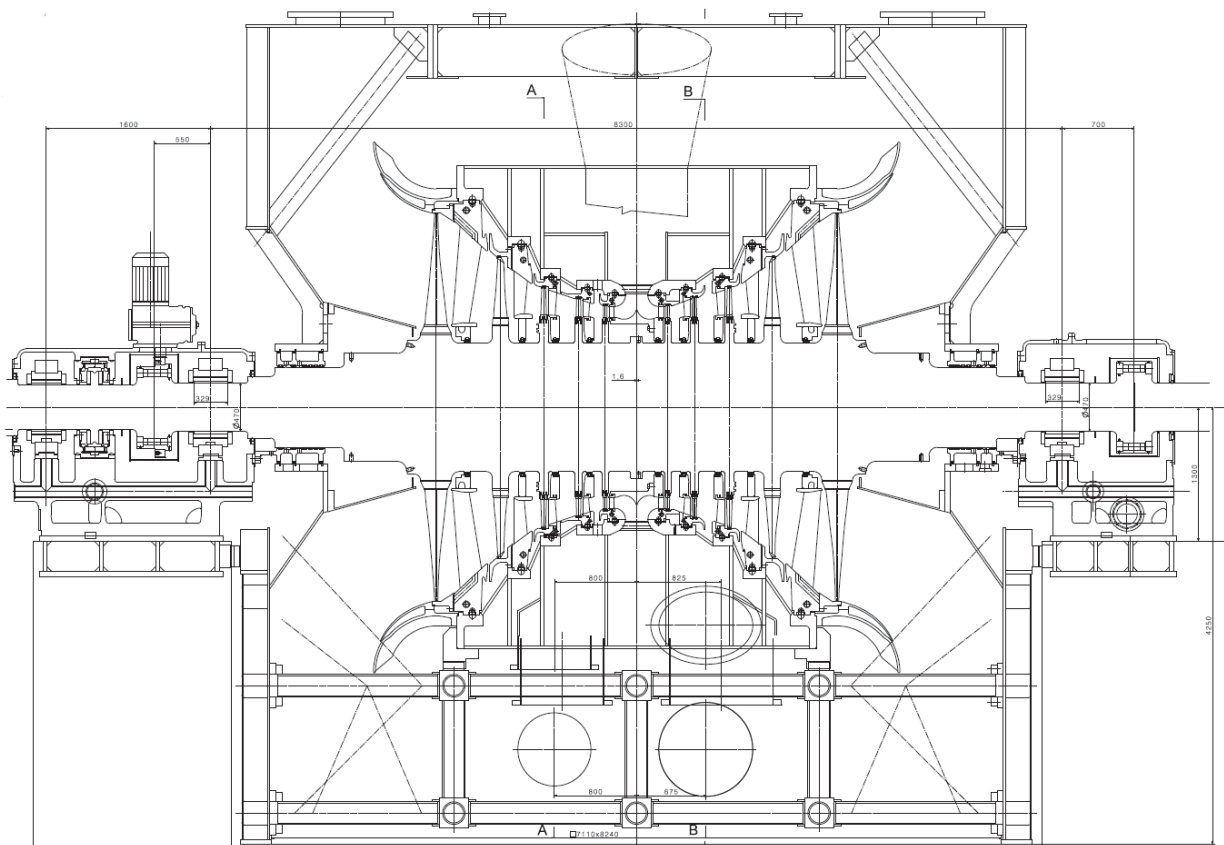
Turbína je točivý tepelný stroj, přeměňující kinetickou a tepelnou energii proudící páry na mechanický rotační pohyb přenášený na osu (resp. hřídel) stroje.¹ Turbína je složena z olopatkovaných tzv. stupňů. Stupeň sestává z oběžného a rozváděcího kola. Stupně mění směr toku páry, čímž uvádějí hřídel stroje do pohybu. Průchodem turbínou pára postupně expanduje ze vstupních parametrů na parametry výstupní.



Obrázek 2-1: VT/ST díl turbíny

Turbíny existují jednostupňové (již se nevztahuje k expanzním stupňům na hřídeli) nebo vícestupňové, které sestávají z vysokotlakého (VT), nízkotlakého (NT) nebo případně středotlakého (ST) stupně (také označováno jako ‚díl‘). Středotlaké a nízkotlaké díly mohou být jednoproudé nebo dvouproudé. V případě dvouproudého provedení proudí pára oběma směry od místa přívodu, čímž se redukuje axiální síly působící na stroj a objemový průtok se distribuuje do dvou proudů, čímž se redukuje velikost lopatek. V zadaném bloku je NT díl použit právě v dvouproudém provedení. V případě VT a ST dílu je použito podobné provedení, přičemž oba díly mají vlastní přívod páry.

¹ BLOVSKÝ, Jiří. *Příručka pro začínající projektanty*. Plzeň: Doosan Škoda Power s.r.o., 2010



Obrázek 2-2: NT díl turbíny

2.2 Kondenzátor

V kondenzátoru je ochlazována pára protečená turbínou a následně kondenzuje. Jde o nádobu vybavenou soustavou trubek, kterými protéká chladicí voda, na kterých kondenzuje pracovní pára, jež tyto trubky obtéká. Pro maximalizaci využití energie pracovní páry, je v kondenzátoru vakuum. Vakuum je udržováno systémem vývěv (tento systém není součástí). Kondenzát vytvořený v kondenzátoru se odvádí do kondenzátních čerpadel.

2.3 Kondenzátní čerpadla

Kondenzátní čerpadla slouží k dopravě kondenzátu vytvořeného v kondenzátoru do napájecí nádrže. Na této trase protéká kondenzát soustavou NT regenerace a kondenzátorem komínkové páry.

Vzhledem k důležitosti tohoto zařízení jsou kondenzátní čerpadla vždy zálohována. Zálohování se provádí ve formě 2x100% nebo 3x50% pro zařízení větších výkonů. Označení 2x100% znamená, že za normálního provozu je činné jedno čerpadlo na plný výkon, přičemž druhé čerpadlo slouží jako rychlá náhrada v případě poruchy prvního. V případě 3x50% jsou v provozu dvě čerpadla na poloviční výkon, přičemž rezervou je třetí čerpadlo a případně nevyužitý výkon jednoho čerpadla, které je již v provozu.

Použita jsou vertikální čerpadla v zapojení 2x100% regulovaná pomocí frekvenčních měničů.

Obě čerpadla jsou vybavena uzavíracími klapkami (LCA01AA501/2 a LCA02AA501/2) na sání a výtlačku pro odstavení, zpětnými klapkami (LCA02AA701/2) k zabránění zpětnému proudění do čerpadla, měřením tlaku (LCA02CP001/2) na trase výtlačku, odvodu vzdušného mechanického ucpávkou zahlcovanou ze zdroje demineralizované vody, kompenzátorem (LCA01BR701/2) a filtrem (LCA01AT001/2) na sání a dvěma měřeními tlaku (LCB10CP501/2 a LCB20CP501/2).

2.3.1 Ovládané armatury a zařízení

2.3.1.1 Čerpadla

- LCB10AP001
- LCB20AP001

Za normálního provozu pracuje pouze jedno předvolené čerpadlo. Začíná pracovat při požadavku na najetí čerpadel. Současně musí být ventil (LCA02AA101/2) na trase odvodu vzdušného otevřen, regulační ventil (LCA10AA001) na trase hlavního kondenzátu za kondenzátorem komínkové páry (KKP) uzavřen a ve sběrači kondenzátu kondenzátoru musí být dostatečná hladina (vyšší než L1). Pokud čerpadlo do cca 30s po startu nedosáhne požadovaného tlaku (tzn.: nedokáže dosáhnout požadované dopravní výšky), je čerpadlo odstaveno. Pokud hladina ve sběrači kondenzátu poklesne pod hladinu L2, je čerpadlo odstaveno.

Regulaci průtoku mezi normální hladinou H a havarijní hladinou L1 zajišťuje frekvenční měnič čerpadla. Regulaci mezi hladinami L1 a L2 zajišťuje regulační ventil na výtlačku čerpadel (viz Obrázek 2-3).

	<u>H1</u>
REGULACE FREKVENČNÍM MĚNIČEM	<u>H</u>
REGULACE FREKVENČNÍM MĚNIČEM	<u>L1</u>
REGULACE REGULAČNÍM VENTILEM	<u>L2</u>
ODSTAVENÍ	

Obrázek 2-3: Schéma havarijních hladin ve sběrači kondenzátu kondenzátoru

Pokud by hladina ve sběrači kondenzátoru vystoupala nad havarijní hladinu H1 nebo by předvolené pracovní čerpadlo nebylo schopno udržet minimální povolený tlak na výtlaku, startuje záložní čerpadlo. K jeho startu je nutno splnit všechny podmínky pro najetí jako u předvoleného pracovního čerpadla. Po udržení hladiny ve sběrači pod úrovní H1 po určité danou dobu se záložní čerpadlo opět odstavuje.

2.3.1.2 Uzavírací ventily na trase odvodušnění

- LCA02AA101
- LCA02AA102

Ventily slouží k odvodušnění výtlaku čerpadel. Kondenzát na sání svým hydrostatickým tlakem vytlačí vzduch, který se drží ve výtlaku, do kondenzátoru. Po odvodušnění ventil uzavírá, aby se zabránilo proudění kondenzátu trasou odvodušnění zpět do kondenzátoru.

2.3.1.3 Regulační ventil na výtlaku čerpadel

- LCA10AA001

Regulační ventil na trase výtlaku kondenzátních čerpadel směrem do NT regenerace reguluje tlak pro potřebu vstříků. Zároveň zajišťuje start čerpadel do uzavřeného výtlaku. Při startu čerpadel otevírá, pokud je dosažen minimální průtok dle měření (LCA10CF001) a hladina ve sběrači kondenzátu je vyšší než L1. V případě poklesu hladiny ve sběrači kondenzátu pod L1, reguluje hladinu ve sběrači.

2.3.1.4 Regulační ventil na trase minimální recirkulace

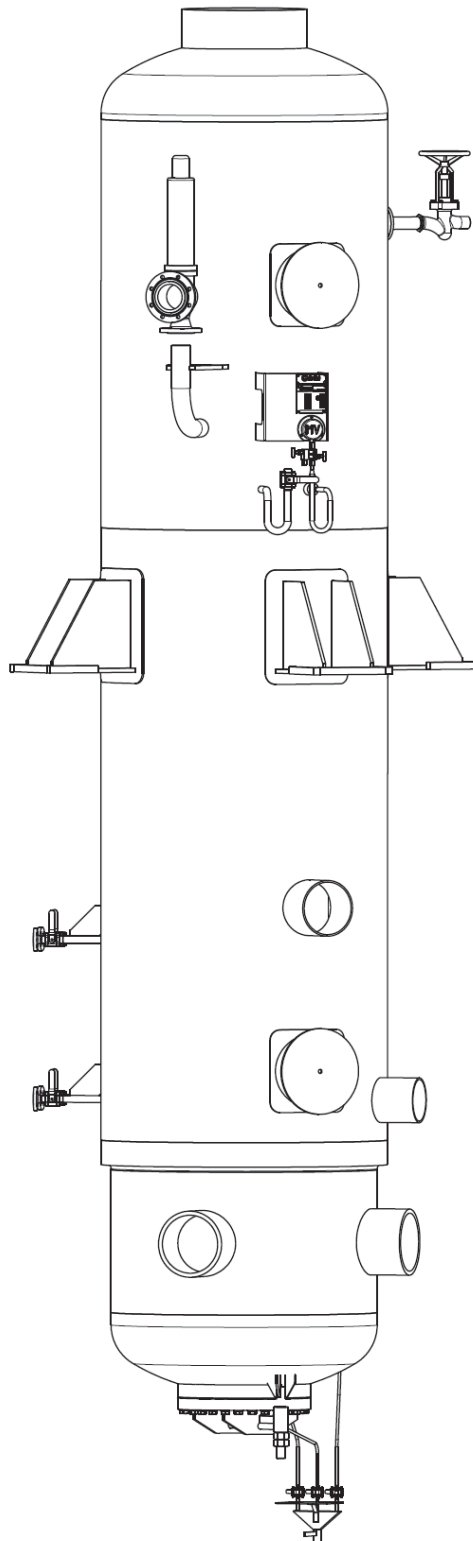
- LCA05AA001

Kondenzátní čerpadla a kondenzátor komínkové páry (popř. další zařízení) vyžadují minimální průtok. Ten je zajištěn pomocí trasy minimální recirkulace, která se z trasy hlavního kondenzátu odpojuje za KKP a vrací se zpět do kondenzátoru. Minimální průtok je dán vyšší hodnotou požadovanou kondenzátními čerpadly, nebo KKP. Hodnoty aktuálního průtoku sleduje měření průtoku (LCA10CF001) na trase výtlaku čerpadel.

2.4 NT regenerace

Nízkotlaká regenerace slouží k ohřátí kondenzátu na trase z kondenzátoru do napájecí nádrže. Kondenzát se ohřívá pomocí páry z odběrů na požadovanou teplotu pro vstup do napájecí nádrže.

Ohřátí se děje v nízkotlakých ohřívácích (NTO) a kondenzátoru komínkové páry (KKP). Kondenzát odběrové páry proudí do předchozího, tlakově nižšího ohříváku. V případě poruchy nižšího ohříváku, proudí náhradní trasou do expandéru provozních kondenzátů (EPK). Z NTO1 proudí kondenzát do EPK. V případě NTO3 se kondenzát přečerpává do trasy hlavního kondenzátu mezi NTO3 a NTO4 pomocí podávacího čerpadla.



Obrázek 2-4: Nízkotlaký ohřívák (vertikální)

V rozsahu zadaného bloku je pět NT ohříváků označených NTO1 – NTO5. Označení odpovídá číselnému označení odběrů I-V z ST a NT dílu turbíny řazenému vzestupně podle parametrů odebírané páry. Tzn. odběr I., kde je nejnižší tlak, je zapojen do NTO1 atd..

Kromě NTO3 jsou všechny ohříváky vybaveny integrovaným podchlazovačem. Jedná se o další tepelný výměník, do kterého proudí zkondenzovaná pára, přičemž se tento kondenzát díky výměně tepla s hlavním kondenzátem dále ochlazuje. NTO4 a NTO5 jsou navíc vybaveny srážecem přehřátí kvůli vysokým parametrům vstupující odběrové páry.

Všechny ohříváky jsou odřaditelné na vodní i parní straně. Z důvodu úspory armatur jsou NTO1 a NTO2 stejně jako NTO3 a NTO4 odřaditelné na vodní straně společně. Tyto dvojice ohříváků mají společný obtok a společnou náhradní trasu do EPK.

2.4.1 Ovládané armatury a zařízení

2.4.1.1 Ohříváky

- LCC10AC001
- LCC20AC001
- LCC30AC001
- LCC40AC001
- LCC50AC001

Za normálního provozu protéká hlavní kondenzát soustavou ohříváků a kondenzát topné páry je veden do předchozího ohříváku (resp. před následující ohřívák v případě NTO3, resp. do EPK v případě NTO1). Při najíždění systému NT regenerace musí být soustrojí TG nafázováno, již musí proudit kondenzát z KČ skrze obtoky (ohříváky jsou odřazeny) do napájecí nádrže a přívod topné páry z odběrů musí být uzavřen. Systém se spouští postupně od tlakově nejnižšího ohříváku. Teprve po úplném najetí předchozího ohříváku do automatického režimu lze najet následující.

Při najíždění NTO se nejdříve spustí automatický režim odvodu topného kondenzátu. Následuje otevření uzavíracích armatur na vstupu hlavního kondenzátu a topné páry. S určitým zpožděním se poté otvírá uzavírací armatura na výstupu hlavního kondenzátu z ohříváku a uzavírá se armatura v obtoku. V případě NTO se spojeným obtokem se tyto najíždí zároveň.

Každý ohřívák je vybaven dvěma měřeními hladiny (LCCxCL001/501)². Hladiny v ohřívácích (H1,H,L1,L2) jsou uspořádány obdobně jako ve sběrači kondenzátu (viz Obrázek 2-3).

2.4.1.2 Regulační ventily na trase topného kondenzátu

- LCJ10AA001
- LCJ20AA001
- LCJ40AA001
- LCJ50AA001

Tyto ventily regulují hladiny v příslušných ohřívácích. Za normálního provozu regulují hladiny v ohřívácích v určitém rozsahu od hladiny H. Při poklesu hladiny v předchozím ohříváku pod hladinu L1 uzavírají, aby zabránily dalšímu poklesu hladiny v ohříváku. Při překročení hladiny H1 v následujícím ohříváku, uzavírají kaskádu kvůli zabránění dalšího nárůstu hladiny

v ohříváku. Signalizaci poklesu (resp. nárůstu) hladin zajišťují měření hladin (LCCxCL001/501)², jimiž je každý ohřívák vybaven.

V případě NTO3 je hladina v ohříváku regulována frekvenčním měničem podávacího čerpadla.

2.4.1.3 Uzavírací klapky na obtoku ohříváků

- LCA11AA101
- LCA31AA101
- LCA51AA101

Za normálního provozu jsou klapky uzavřené a kondenzát proudí skrz ohříváky. Při najíždění jsou otevřené a uzavírají teprve tehdy, najel-li příslušný ohřívák a hlavní kondenzát může proudit skrz něj. Otvírají také tehdy, pokud je ohřívák odstaven od ochrany z důvodu dosažení havarijní hladiny, či překročení maximálního povoleného ohřátí. Hladiny v ohřívácích jsou sledovány měřeními LCCxCL001/501, ohřátí měřeními teplot mezi jednotlivými ohříváky LCAxCT001.²

2.4.1.4 Uzavírací klapky na trase hlavního kondenzátu

- LCA10AA101
- LCA30AA101
- LCA30AA102
- LCA50AA101
- LCA50AA102
- LCA60AA101

Za normálního provozu jsou tyto klapky otevřené a umožňují průtok kondenzátu skrz ohříváky. Při najíždění ohříváku jsou uzavřené až do chvíle požadavku na najetí příslušného ohříváku (při splnění všech ostatních podmínek pro najetí). V případě signalizace havarijní hladiny nebo nepovoleného ohřátí uzavírají a odstavují ohřívák.

2.4.1.5 Uzavírací klapky na přívodu topné páry

- LBS10AA101
- LBS20AA101
- LBS30AA101
- LBS40AA101
- LBS50AA101

Tyto klapky slouží k odstavení ohříváku z parní strany. Za normálního provozu jsou otevřené. Uzavírají při požadavku na odstavení ohříváku, dosažení havarijní hladiny, či překročení maximálního povoleného ohřátí hlavního kondenzátu. Tyto klapky jsou také spolu

² x označuje číslo KKS kódu ohříváku. Pro NTO1 ~ LCC10CL001/501 atd.

Cílem je ohřátí vody na teplotu co nejbližší teplotě sytosti. Při takto vysokých teplotách se snižuje rozpustnost plynů ve vodě. Ty se vylučují a jsou odsávány pryč z nádrže.

Odplynění je realizováno ve dvou krocích. Prvním je tzv. atomizace přiváděného kondenzátu. Kondenzát se pomocí sprchy (atomizéru) rozstříkuje na malé kapičky. To má za účel zvýšit stykovou plochu s okolním prostředím. Okolo proudící pára prošlá vodou v nádrži ohřívá kapičky, čímž částečně kondenzuje, a pomáhá tím vylučovat z kondenzátu kyslík. Doba kontaktu kapiček s párou je však příliš malá na to, aby se vyloučil veškerý kyslík obsažený v kondenzátu.

Druhým krokem je vylučování kyslíku z vody nahromaděné v nádrži. K tomu slouží právě barbotáž. Na rozdíl od prvního kroku místo kapiček vody vytváří barbotáž bublinky páry. Kyslík vylučující se z vody je stoupajícími bublinkami páry unášen vzhůru nad hladinu vody v nádrži. Zde přichází pára do styku právě s rozprašenou vodou, kdy část z této páry zkondenzuje, jak je zmíněno v popisu prvního kroku. Tímto jednak uvolní další kyslík z kapiček a jednak zvýší koncentraci kyslíku v okolí, protože zkondenzovaná část se ve formě vody vrací zpět do nádrže. Zbývá plynná směs kyslíku a páry je odsávána pryč z nádrže. Odplyněná voda je čerpána napájecími čerpadly přes VT regeneraci do kotle.

Páru do napájecí nádrže zajišťuje odběr VI.. Při najíždění, kdy není k dispozici pára z odběru, je pára přiváděna z parní sběrný. Pro zabránění vniknutí vody do těchto tras potažmo do turbíny při zvýšení tlaku v parním polštáři jsou tyto vybaveny vyrovnávacími trasami (LAA20/30BR010). Vyrovnávací trasy propojují prostor parního potrubí vstupu páry a parního polštáře nad hladinou vody v nádrži. Při zvýšení tlaku parního polštáře se tak zvýší i tlak v potrubí vstupní páry a voda nezačne stoupat do trubek zavedených pod hladinu vody v nádrži.

2.5.1 Ovládané armatury a zařízení

2.5.1.1 Nádrž

- LAA10AC001

Havarijní hladiny v napájecí nádrži jsou sledovány dvojicí snímačů hladiny (LAA10CL001/501). Za normálních okolností je udržována nominální hladina H pomocí regulačního ventilu (LCH10AA001) na trase kondenzátu z VT regenerace do napájecí nádrže. Po dosažení hladiny H1 je signalizováno spuštění záložního napájecího čerpadla a uzavření klapky (LCH10AA501) na trase kondenzátu z VT regenerace do nádrže. Po dosažení hladiny H2 se spouští výstraha a zpětná klapka (LCA60AA701) na přívodu hlavního kondenzátu do nádrže je uzavřena. Po dosažení hladiny H3 jsou odstavena kondenzátní čerpadla. Při poklesu hladiny na hladinu L1 je signalizována výstraha a při dalším poklesu na hladinu L2 jsou odstavena napájecí čerpadla.

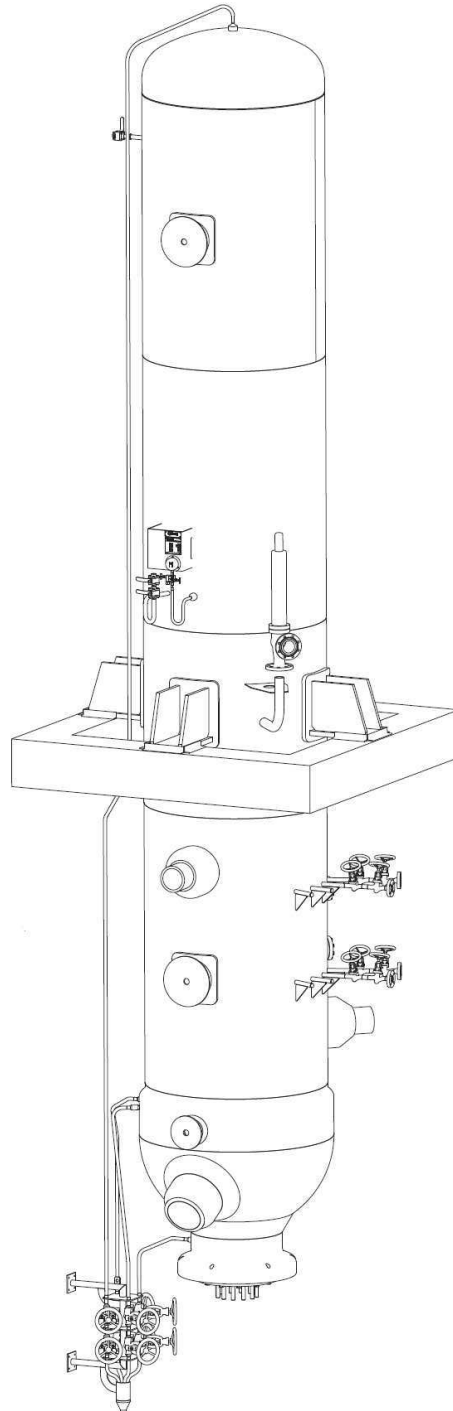
2.5.1.2 Klapka na vstupu páry z odběru

- LBS60AA101

Klapka otevírá, pokud přichází signál k najetí systému napájecí nádrže, turbogenerátor je náfázovaný a v trase odběru je vyšší tlak než v NN. V případě nenařazeného TG, přijetí signálu k odstavení NN nebo příliš nízkého tlaku v odběru klapka uzavírá.

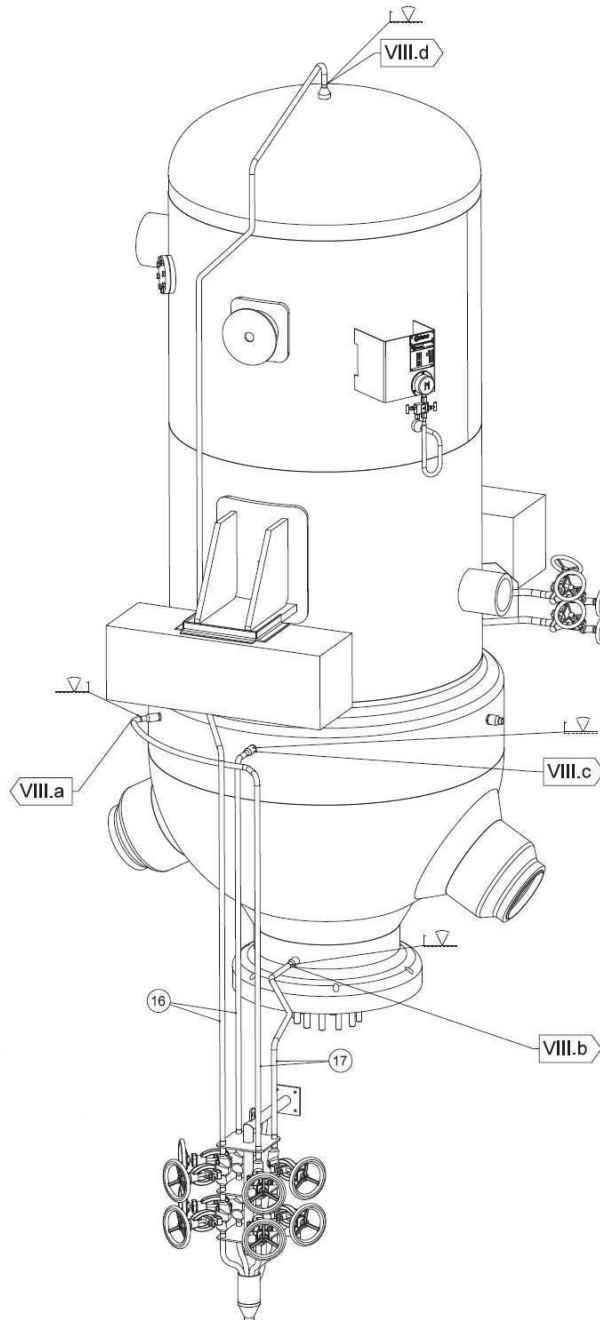
2.6 VT regenerace

Systém VT regenerace slouží k ohřátí napájecí vody před vstupem do kotle na optimální teplotu danou výrobcem kotle. Ohřátí se provádí ve vysokotlakých ohřívácích (VTO) pomocí odběrové nebo vratné páry. V rozsahu zadaného bloku je VT regenerace tvořena dvěma VTO. VTO1 je vybaven externím srážecem přehřátí. Z pohledu trasy napájecí vody je VTO2 zařazen mezi VTO1 a jeho srážecem přehřátí. Do VTO1 je zapojena trasa páry z odběru VII., do VTO2 pára z parní sběrný.



Obrázek 2-6: Vysokotlakový ohřívák (vertikální)

Oba ohříváky mají na vstupu (VTO1 – na vstupu do srážeče přehřátí) páry rychlouzavírací klapku (LBQ70/80AA101) s ochozem. Při prohřívání ohříváků se otevře uzavírací ventil (LBQ71/81 AA101) v ochozu klapky, který propouští omezené množství páry pro prohřev. Každý ohřívák je také vybaven odvodněním a odvzdušněním, pojistným ventilem (LAD10/20AA301) se společným expandérem s výfukem do atmosféry pro oba ohříváky, dvěma čidly hladiny (LAD10/20CL001 a LAD10/20CL501) a dvěma čidly tlaku (LAD10/20CP001 a LAD10/20CP501). Srážeč přehřátí VTO1 je vybaven pouze jedním měřením hladiny (LAD10CL301) a jedním měřením tlaku (LAD10CP502).



Obrázek 2-7: Externí srážeč přehřátí (vertikální) Ovládané armatury a zařízení

Celý systém VT regenerace má společný obtok. Proudění do ohříváků nebo do obtoku řídí trojcestné ventily (LAB20/70AA101) na vstupu a výstupu do/ze systému. Vstupní trojcestný ventil (LAB20AA101) je vybaven obtokem s regulačním ventilem (LAB31AA001).

Při najíždění systému se tento ventil otevře a propouští část topné vody, čímž postupně plní a ohřívá vodní stranu VT ohříváků. Po dokončení prohřevu ohříváků parou se začne postupně otevírat trojcestný ventil a propouštět veškeré množství napájecí vody ve směru přes VTO. Trojcestný ventil otevírá postupně (po krocích), aby nedošlo k překročení maximálního teplotního gradientu po smíchání teplejší napájecí vody prošlou regenerací a chladnější vody vedené obtokem.

Kondenzát topné páry je kaskádován podobně jako v případě NT regenerace do tlakově nižšího ohříváku a poté do napájecí nádrže, případně náhradní trasou do EPK. Hladinu vody v ohřívácích udržují regulační ventily (LCH10/11/20AA001) v kaskádě kondenzátu.

2.6.1 Ovládané armatury a zařízení

2.6.1.1 Ohříváky

- LAD10AC001
- LAD10AC002
- LAD20AC001

Při dosažení hladiny H1 se vysílá signál k otevření klapky (LCH11AA101) na trase kondenzátu do EPK a provozní výstrahu. Hladina v ohříváku se reguluje v rozmezí ± 100 mm, a tak může být klapka již otevřená.

Při dosažení hladiny H2 vysílá signál k uzavření armatur (LBQ70/71/80/81AA101 a LBQ70AA701) na přívodu páry do ohříváků, přestavuje trojcestné ventily (LAB20/70AA101) na vstupu a výstupu do/z ohříváků včetně ventilu v obtoku (LAB31AA001), čímž vede napájecí vodu do obtoku VT regenerace, vysílá provozní výstrahu a požaduje po operátorovi kontrolu otevření regulačního ventilu (LCH11AA001) na trase do EPK.

Při poklesu na hladinu L1 uzavírají armatury (LBQ70/71/80/81AA101 a LBQ70AA701) na přívodu páry do ohříváků a vysílá se provozní výstraha.

2.6.1.2 Armatury regulace hladiny v ohřívácích

- LCH11AA101
- LCH11AA001
- LCH10AA101
- LCH10AA001
- LCH20AA001

Za normálního provozu slouží tyto armatury k provozní regulaci hladin v ohřívácích dle nastavení normální hladiny. Při dosažení havarijní hladiny v některém z ohříváků se chovají dle signálů tohoto ohříváku.

2.6.1.3 Armatury na vstupu páry do ohříváků

- LBQ80AA101
- LBQ70AA101

Za normálního stavu jsou tyto armatury otevřeny a zajišťují přívod páry do ohříváků. Při dosažení havarijní hladiny v některém z ohříváků se uzavírají. Při najíždění ze studeného stavu automaticky otevírají po uplynutí třicetiminutového prohřevu pomocí obtoku.

2.6.1.4 Ventily na obtocích armatur na vstupu do ohříváků

- LBQ71AA101
- LBQ81AA101

Ventily automaticky otevírají při signálu k najíždění ze studeného stavu. Zůstávají otevřené po dobu třiceti minut při prohřívání ohříváku, poté za současného otevření klapky (LBQ70/80AA101) na hlavní trase automaticky uzavírají.

2.6.1.5 Přeřazovací trojcestné armatury na vstupu/výstupu z VT regenerace

- LAB20AA101
- LAB70AA101

Armatura (LAB20AA101) na vstupu otevírá do systému regenerace automaticky 30s po otevření regulačního ventilu (LAB31AA001) v jejím obtoku za předpokladu otevřených šoupátek (LAB20/70AA501) a armatury (LAB70AA101) na výstupu, čímž je zajištěn průtok systémem VT regenerace. Otevírá po krocích pro zajištění nepřekročení maximálního daného teplotního gradientu. Armatura (LAB70AA101) na výstupu otevírá automaticky po ukončení prohřevu parou. Uzavírá při dokončení uzavření vstupní armatury.

Pozn.: Uzavření těchto armatur značí přeřazení proudu do obtoku VT regenerace.

2.6.1.6 Ventil na obtoku přeřazovací armatury na vstupu do VT regenerace

- LAB31AA001

Automaticky otevírá při signálu k najetí systému VT regenerace za předpokladu otevření šoupátek (LAB20/70AA501) na trase napájecí vody, čímž je zajištěn průtok VT regenerací. Automaticky uzavírá při signálu k odstavení VT regenerace nebo při otevření přeřazovací armatury (LAB20AA101) na vstupu do VT regenerace.

2.7 Systém ucpávkové páry

Systém ucpávkové páry minimalizuje únik páry z turbíny podél rotoru. Uvnitř tělesa turbíny je systém mechanických ucpávek, které slouží ke snížení tlaku.

Na výstupu z VT dílu je pára odsávána pomocí dvou tras. Trasa MAW30BR010 je zaváděna do VI. odběru s náhradní trasou do EPK pro případ odstavení odběru. Tlak v této trase není regulován. V ostatních trasách ucpávkové páry je udržován regulovaný tlak 1,02bar. Regulovaný okruh UP je rozdělen pro VT/ST díl a pro NT díl zvlášť.

Regulovaný okruh pro VT/ST díl turbíny je při najíždění TG zahlcován z parní sběrný. Po najetí TG na přibližně 50% výkonu se začíná odsávat pára od rotoru a zahlcování ze sběrný již není nutné. Okruh pro VT/ST díl je zaveden do II. odběru s náhradní trasou do EPK pro případ odstavení odběru.

Do odběrů jsou trasy UP zavedeny až za rychlouzavíracími klapkami odběrů, aby v případě odstavení odběrů ucpávková pára neovlivňovala parametry páry v turbíně.

Regulovaný okruh pro NT díl je trvale zahlcován. Při normálním provozu je zahlcován z parního polštáře napájecí nádrže. Při najíždění, kdy pára z NN není k dispozici, se používá pára z parní sběrný. U NT dílu se musí okruh trvale zahlcovat z důvodu podtlaku v koncových stupních turbíny. Díky podtlaku neuniká pára z turbíny, ale naopak se přisává vzduch ze strojovny.

Parametry ucpávkové páry v regulovaném okruhu jsou sledovány čidly tlaku (MAW20/15CP001) a teploty (MAW13/15CT001). Parametry zahlcovací páry regulují ventily (LBW10/20AA001), které jsou řízeny pomocí čidel teploty (LBW10/20CT001) a tlaku (LBW10/20CP001).

2.8 Kondenzátor komínkové páry

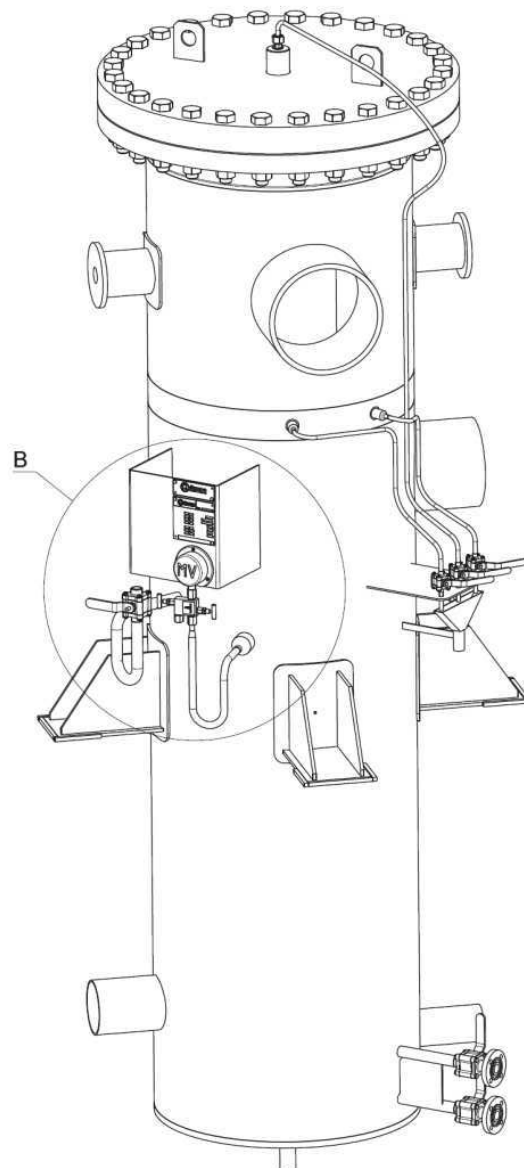
Systém komínkové páry zabráňuje úniku páry do strojovny podél hřídele rotoru. V tomto potrubním systému je udržován podtlak 0,96bar. Z jedné strany se přisává pára, kterou nezachytil systém ucpávkové páry, a z druhé strany vzduch ze strojovny. Parovzdušná směs je vedena do kondenzátoru komínkové páry, kde ohřívá kondenzát na trase KČ-NN, parní složka kondenzuje a vzduch s dalšími nezkondenzovatelnými plyny je vyfukován mimo strojovnu pomocí ventilátorů.

Do kondenzátoru komínkové páry (dále jen KKP) přichází parovzdušná směs ze systému komínkové páry. Pára zde kondenzuje a ohřívá kondenzát jdoucí z kondenzátoru do NT regenerace. Zkondenzovaná pára je zaváděna do expandéru provozních kondenzátů. Nezkondenzovaná pára a vzduch jsou pomocí ventilátorů vyfukovány do atmosféry.

Ke KKP přísluší dva ventilátory, které jsou zapojeny způsobem 2x100% (jeden pracovní a druhý jako záskok). V případě poruchy KKP jej lze odstavit uzavřením uzavíracích klapek na vstupu i výstupu parovzdušné směsi. V tomto případě je kondenzát veden obtokem na vodní straně za KKP a pokračuje do systému NT regenerace. Parovzdušná směs je vedena obtokem na parní straně rovnou do ventilátorů a vyfukována do atmosféry.

Ve spodní části KKP je kromě vývodu kondenzátu do EPK také umístěn bezpečnostní přepad vybavený měřením hladiny.

Stejně jako KČ, musí mít i KKP zajištěn minimální průtok. Proto trasa minimální recirkulace odbočuje z trasy hlavního kondenzátu právě až za KKP.



Obrázek 2-8: Kondenzátor komínkové páry

2.8.1 Ovládané armatury a zařízení

2.8.1.1 Ventilátory

- MAM50AN001
- MAM60AN001

Jeden ventilátor je předem zvolen jako pracovní. Pokud přijde signál k najetí systému komínkové páry a pracovní ventilátor nemá signalizovanou poruchu, tento najede. Pokud je pracovní ventilátor nefunkční, najíždí ventilátor rezervní. Ventilátory se vypínají při signálu k odstavení systému komínkové páry.

2.8.1.2 Uzavírací klapky na vstupu a výstupu parovzdušné směsi

- MAM20AA101
- MAM45AA101

Klapky slouží k odřazování KKP při poruchovém stavu. Jsou otevřené, pokud přichází příslušný signál, v KKP není signalizována havarijní hladina čidlem MAM10CL301 a průtok hlavního kondenzátu, měřený pomocí LCA10CF001, není menší než minimální přípustná hodnota KKP. V případě signalizace havarijní hladiny nebo jiného signálu pro odstavení KKP uzavírají a komínková pára je vedena obtokem rovnou na sání ventilátoru.

2.8.1.3 Uzavírací klapka obtoku na parní straně

- MAM25AA101

Tato klapka zavírá, pokud přijde signál k odstavení systému ucpávkové páry, po otevření klapky MAM45AA101 a MAM20AA101, pokud dostatečně dlouhou dobu není signalizována havarijní hladina čidlem MAM10CL301 nebo pokud průtok KKP měřený pomocí LCA10CF001 není menší než minimální přípustná hodnota. V případě havarijní hladiny či nízkého průtoku klapka otevírá.

2.9 Systém odvodnění

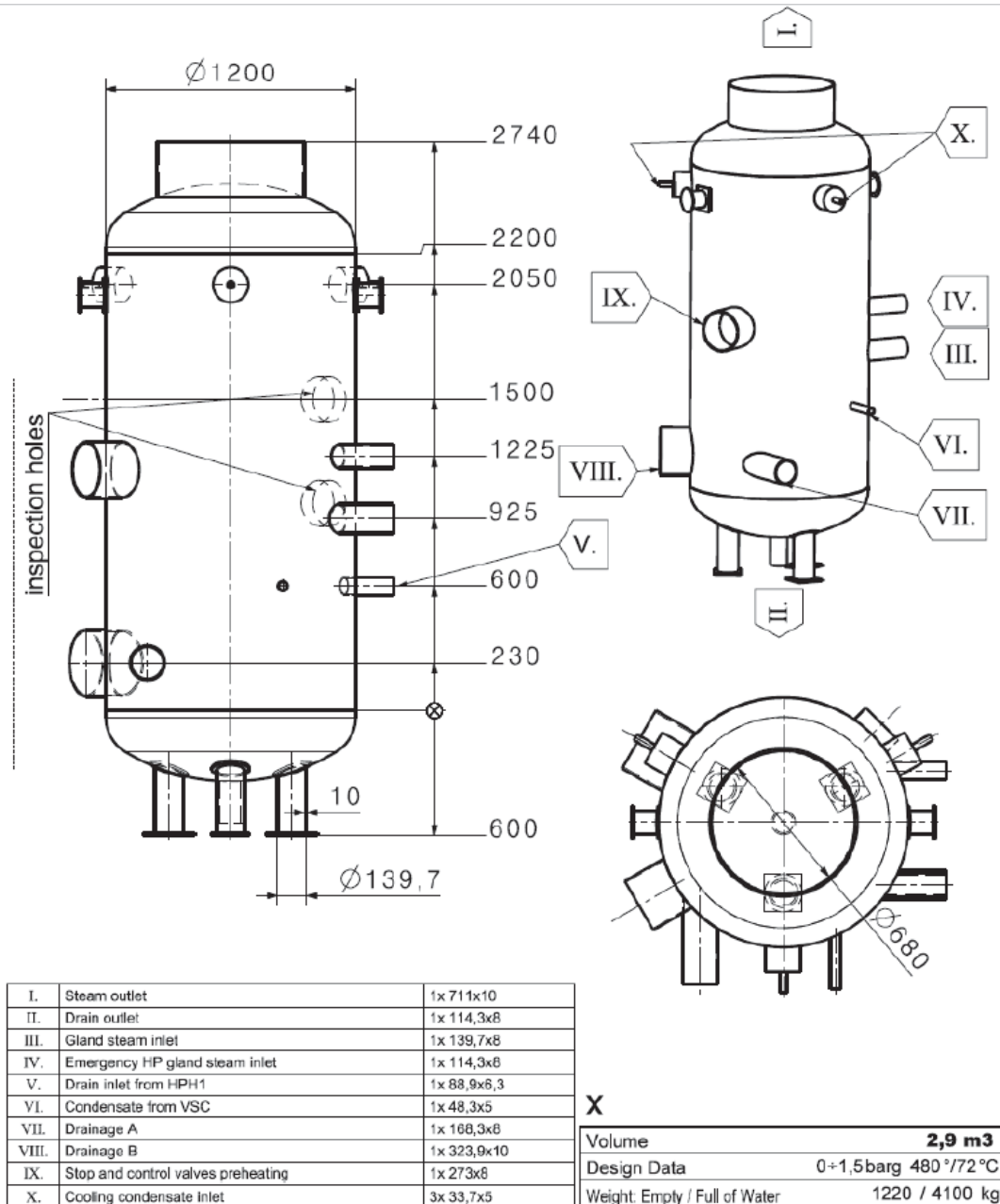
Systém odvodnění slouží k odvádění zkondenzované páry z míst, kde by se tento kondenzát mohl držet. Jde hlavně o místa s tvarovou dispozicí pro držení vody („lavory“), potrubí před armaturami, které mohou být za provozu uzavřené a typicky před a za odběrovou klapkou. Zásadní funkci má při najíždění TG, konkrétně při jeho prohřívání. Před uvedením do provozu se musí těleso turbíny a parní potrubí prohřát na teplotu sytosti vodní páry, aby se zabránilo kondenzaci vstupující páry, což by způsobovalo poškození zařízení. Při tom se tvoří velké množství kondenzátu, které je třeba z tělesa a potrubí odvést. Pro spuštění systému je třeba mít v provozu kondenzátor včetně systému vývěv a chladicí vody, systém demineralizované vody a kondenzátní čerpadla. Všechny trasy odvodnění jsou svedeny a přes baterii zaústěny do sběren kondenzátu. Sběrny jsou zavedeny do EPK nad hladinu vody.

Odvodňovací baterie se skládá ze dvou tras. První je používána v běžném provozu a je vybavena bimetalickým, nebo plovákovým odvaděčem kondenzátu a uzavíracím ventilem. Druhá slouží jako náhradní trasa, která se používá při najíždění a prohřívání turbíny a parního potrubí, kdy trasou odvodnění protéká velké množství vody, které by odvaděč nemusel být schopen zvládnout. Náhradní trasa zahrnuje uzavírací armaturu s pohonem a ruční uzavírací ventil s regulační kuželkou.

2.10 Expandér provozních kondenzátů (EPK)

EPK je expanzní nádoba, v níž dochází k oddělení plynné a kapalné složky přitékajícího média. Pára se odvádí vrchem nádoby do nástavby kondenzátoru, zatímco kapalina je vedena spodem přes sifon.

Do EPK je zaústěna trasa kondenzátu, vytvořeném v KKP, sběrný odvodnění, náhradní trasy okruhu UP v případě odstavení odběrů a náhradní trasy topného kondenzátu VT a NT regenerace.



Obrázek 2-9: Expandér provozních kondenzátů⁴

⁴ LOUTHAN, Jindřich. *Kondenzace*. Plzeň: Doosan Škoda Power s.r.o., 2012

2.11 Další součásti tvorby P&ID

2.11.1 Schéma tepelných bilancí

Tepelný bilanční diagram (z angl. Heat Balance Diagram, dále jen HBD) je základním podkladem pro návrh P&ID (z angl. Piping & Instrumentation Diagram). Jsou v něm vyznačeny základní trasy ve strojovně, umístění zařízení a především parametry médií v různých úsecích potrubních tras.

2.11.2 Kódové označení armatur a potrubních tras

Kódování se provádí pomocí tzv. KKS kódu. Každá trasa, úsek trasy, armatura nebo zařízení má tento KKS kód v rámci schématu jedinečný. Kód označuje, zdali se jedná o armaturu, zařízení, potrubní trasu, či měření, jaké médium trasou, či armaturou prochází nebo, zdali se jedná o trasu hlavní, či např. odvodnění.

2.11.3 Dimenzování

Dimenzování se provádí pomocí dat z HBD. Ten obsahuje parametry médií v jednotlivých úsecích potrubních tras, které lze použít pro výpočet velikosti potrubí. Dle následujícího vzorce lze vypočítat vnitřní průměr potrubí.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot w}} \quad [\text{m}] \quad (2-1)$$

Hmotnostní průtok je uveden v HBD, hustotu lze získat pomocí tlaku a teploty (taktéž uvedených v HBD) z tabulek vlastností páry a vody. Hodnoty rychlostí jsou v rámci DSPW doporučené pro různá média. Po tomto výpočtu se trase přiřadí rozměr trubky z normalizované řady DN tak, aby rychlost proudění média nepřekročila jeho maximální dovolenou.

3 Specifikace kondenzátních čerpadel

Pro specifikaci kondenzátních čerpadel je nutné znát parametry média, které jimi protéká a velikost tlakových ztrát na trase výtlaku. Průtočné množství, teplota a entalpie média jsou známy z HBD, tlak je potřeba zjistit. Tlak na výtlaku kondenzátních čerpadel musí být takový, aby čerpadla dokázala dopravit kondenzát do napájecí nádrže. Do výpočtu je tedy nutno zahrnout rozdíl tlaků v sání kondenzátních čerpadel a napájecí nádrže, rozdíl jejich geodetické výšky, tlakové ztráty způsobené jak třením, tak místními odpory.

3.1 Tlakové ztráty místními odpory

Místními odpory se rozumí armatury, zařízení, či nerovnosti trasy. Tyto tvoří nezanedbatelnou tlakovou ztrátu na výtlaku čerpadla. Tlaková ztráta armatur se řídí informací od výrobce dané armatury, který k armatuře předepisuje ztrátový součinitel ζ . Nerovností trasy se rozumí např. kolena nebo T-kusy. Zařízení je na trase výtlaku celkem šest a to pět NTO a jeden KKP.

Hodnotu tlakové ztráty (resp. ztrátový součinitel) jednotlivých zařízení a armatur by měl poskytnout dodavatel tohoto zařízení/armatury. Pro účely DSPW byla v publikaci Kondenzace ([2]) zpracována tabulka přibližných tlakových ztrát pro případy, kdy ještě není k dispozici skutečná hodnota, ale je třeba znát přibližnou hodnotu.

Tabulka 3-1: Přehled tlakových ztrát v trase hlavního kondenzátu pro odhad dopravní výšky kondenzátních čerpadel

Zdroj tlakové ztráty	Tlaková ztráta	
	[m.v.s.]	[bar]
Bloková úprava kondenzátu (BÚK)	30	3
Mezikondenzátor paroproudých vývěv	3	0,3
Kondenzátor komínkové páry (KKP)	3	0,3
Kondenzátor ucpávkové páry (KUP)	4	0,4
Nízkotlaký ohřívák (NTO)	3-5	0,3-0,5
Měřicí clona	4	0,4
Sprayer STORK	6-8	0,6-0,8
Regulační ventil	10-15	1-1,5
Zpětná klapka	2	0,2
Uzavírací klapka	1	0,1

3.2 Tlakové ztráty třením

Ztráty třením jsou způsobeny třením protékajícího média o stěny potrubí. Tyto ztráty lze vypočítat dle následujícího postupu:

3.2.1 Postup výpočtu tlakových ztrát třením

Tlaková ztráta třením závisí primárně na hustotě pracovního média, rychlosti tohoto média a ztrátovém součiniteli ζ .

$$\Delta p = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (3-1)$$

Ztrátový součinitel však dále závisí na poměru délky potrubí k jeho průměru a na třecím součiniteli λ .

$$\zeta = \lambda \cdot \frac{L}{D} \quad [-] \quad (3-2)$$

Třecí součinitel λ se vypočítá z Reynoldsova čísla Re . Nutno ale rozlišovat, jak médium v potrubí proudí.

Při laminárním proudění platí vztah:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [-] \quad (3-3)$$

Laminární proudění je ovšem nežádoucí v potrubí tepelných výměníků. Při laminárním proudění totiž silně klesá předávané teplo z/do laminárně proudící tekutiny.

V případě turbulentního proudění existuje několik vzorců pro různé rozsahy Reynoldsova čísla. Pro rozsah $4000 < Re < 10^5$:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad [-] \quad (3-4)$$

Reynoldsovo číslo lze získat ze vzorce:

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu} \quad [-] \quad (3-5)$$

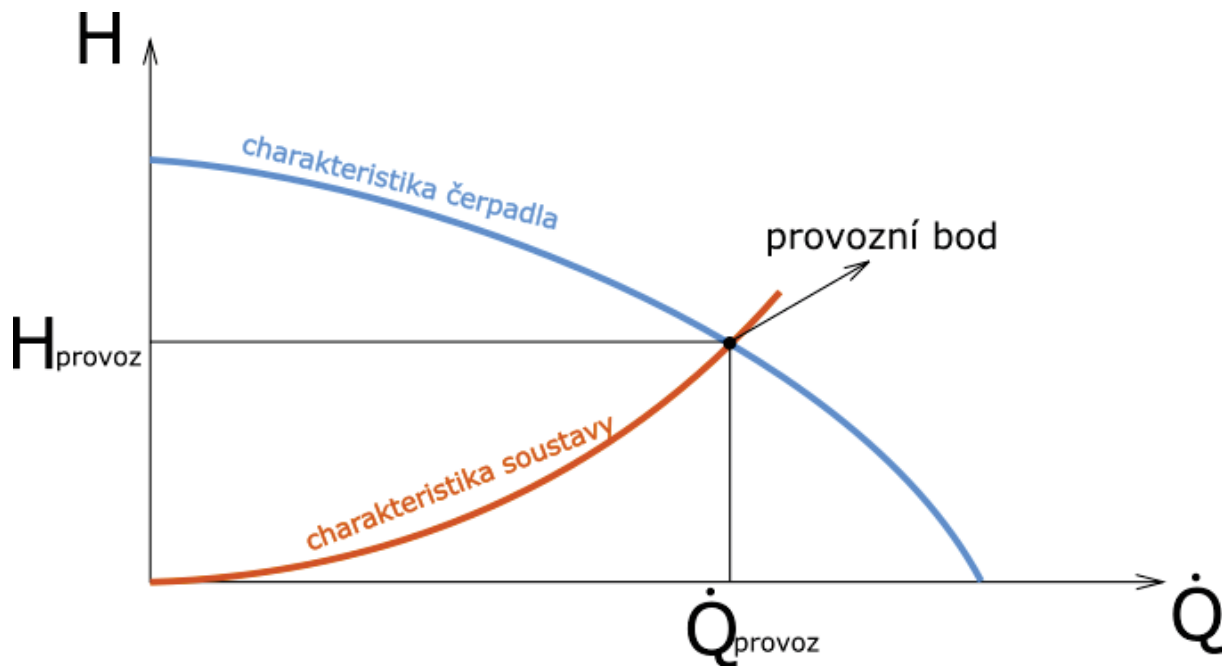
Konečně lze říci, že tlaková ztráta závisí na rychlosti proudění média v trubce (konkrétně na jejím kvadrátu), hustotě média, poměru délky potrubí k jeho průměru a součiniteli tření λ . Vyjde tedy konečný vzorec:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad [-] \quad (3-6)$$

Tyto vzorce jsou příkladem, jak by se dalo dojít k hodnotě třecí tlakové ztráty v úseku potrubí. Prakticky byla tlaková ztráta vypočítána pomocí výpočtového programu vytvořeného v DSPW.

3.3 Charakteristika čerpadla

Charakteristika čerpadla představuje závislost dopravní výšky čerpadla na hmotnostním průtoku média čerpadlem. Tato charakteristika se porovnává s charakteristikou soustavy. Charakteristika soustavy se znázorní v tomtož H-Q (height - quantity) diagramu jako charakteristika čerpadla. Představuje souhrn tlakových ztrát a odporů v daném systému ve formě funkce dopravní výšky na hmotnostním průtoku soustavou potrubní sítě.



Obrázek 3-1: Charakteristika čerpadla

Průsečík charakteristiky čerpadla a charakteristiky soustavy nazýváme jako provozní bod. Tento bod představuje takový stav, kdy při daném průtoku má čerpadlo právě takovou dopravní výšku, která je potřebná k dopravení média po trase výtlačku.

V případě, kdy by pro charakteristiky zobrazené na obrázku výše (Obrázek 2-1) byl průtok soustavou menší než průtok odpovídající provoznímu bodu, je nutno soustavu nebo čerpadlo regulovat. Jednou z možností regulace je regulační ventil na trase výtlačku (výpočtu regulačního ventilu je věnována následující kapitola), další možností je potom využití frekvenčních měničů na čerpadle. Při nedostatečné dopravní výšce lze seškrtit tok média a za cenu snížení hmotnostního průtoku navýšit dopravní výšku.

3.4 Specifikace

Specifikace pro dodavatele musí obsahovat základní parametry, na základě kterých dodavatel nabídne čerpadlo pro dané použití. Těmito parametry jsou uspořádání čerpadel (2x100% nebo 3x50% atp.), teplota čerpaného média, tlaková ztráta na sání, celková dopravní výška, tlaky v nádržích na sání i výtlačku a další, které jsou uvedeny v tabulce níže (Tabulka 3-3).

Teplotu čerpaného média, tlak v nádržích a čerpané množství uvádí schéma tepelných bilancí (HBD). Z parametrů uvedených v HBD taktéž vycházejí dimenze potrubí na sání a výtlačku. Uspořádání, regulace a provedení se volí dle potřeby zákazníka. Nátoková výška byla odečtena z axonometrických výkresů potrubí podobného projektu. Celkovou dopravní výšku je nutno spočítat. Tento výpočet je vlastně součtem rozdílu tlaků v nádržích na sání a výtlačku,

hydrostatického tlaku způsobeného rozdílem výšek mezi kondenzátními čerpadly a napájecí nádrží, rozdílem dynamických tlaků na výstupu potrubí sání ze sběrače kondenzátoru a vyústění výtlaku do napájecí nádrže a také součtem tlakových ztrát trasy výtlaku. Čerpadlo musí vyvinout dostatečný tlak, aby překonalo výše vyjmenované a dopravilo kondenzát do napájecí nádrže.

$$\Delta p = p_{h_{\text{výtlak}}} - p_{h_{\text{sání}}} + p_{NN} - p_{\text{kond.}} + \frac{1}{2} \rho \cdot (w_{NN}^2 - w_{\text{kond.}}^2) + p_{\text{ztr}} \quad [\text{Pa}] \quad (3-7)$$

Hustotu lze získat z tabulek vlastností vody a vodní páry. Rychlosti lze vypočítat pomocí vzorce:

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}} \quad [\text{m/s}] \quad (3-8)$$

Hodnoty dynamických tlaků budou tedy:

$$\frac{\rho}{2} \cdot w_{\text{kond.}}^2 = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{\dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} \right)^2 = \frac{995}{2} \cdot \left(\frac{133,86}{995 \cdot \pi \cdot \frac{0,32385^2}{4}} \right)^2 = 1327 \text{ Pa} \cong 0,01327 \text{ bar}$$

$$\frac{\rho}{2} \cdot w_{NN}^2 = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{\dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} \right)^2 = \frac{924}{2} \cdot \left(\frac{151,05}{924 \cdot \pi \cdot \frac{0,3556^2}{4}} \right)^2 = 1252 \text{ Pa} \cong 0,01252 \text{ bar}$$

Hodnoty tlakových ztrát a hydrostatických tlaků na jednotlivých úsecích jsou vypsány v následující tabulce.

Tabulka 3-2: Rozdíl výšek a tlakové ztráty na jednotlivých úsecích trasy hlavního kondenzátu

Úsek trasy	Rozdíl výšky [m] / [bar]	Tlaková ztráta [bar]
Kondenzátor → KČ	2,545 / 0,2545	0,051
KČ → KKP	1,383 / 0,1383	1,0762
KKP → NTO1	4,281 / 0,4281	2,1729
NTO1 → NTO2	1,402 / 0,1402	0,5145
NTO2 → NTO3	0	0,7422
NTO3 → NTO4	0	0,524
NTO4 → NTO5	0	0,724
NTO5 → NN	0,687 / 0,0687	1,1819
	7,753 / 0,7753	6,9357

Tlak v kondenzátoru a napájecí nádrži známe, můžeme proto tedy již vypočítat požadovaný tlak, které musí čerpadlo vyvinout, tedy i celkovou dopravní výšku čerpadla.

$$\Delta p = 0,7753 - 0,2545 + 7,3951 - 0,0441 + 0,01327 - 0,01252 + 6,9357 \quad [\text{bar}]$$

$$\Delta p = 14,8 \text{ bar} \cong 148 \text{ m. v. sl.}$$

Hodnoty parametrů jako jsou teploty média, tlaky v nádržích a tlakové ztráty se uvádějí pro nominální, maximální a minimální provoz. Jako podklad pro vypracování však bylo zadáno

pouze jedno HBD, které odpovídá jednomu provozu uvažovanému jako nominální, proto bude tabulka obsahovat pouze jednu hodnotu pro parametr.

Tabulka 3-3: Specifikace čerpadla

Uspořádání		2x100%
Teplota čerpaného média	[°C]	30,85
Tlak v nádrži na sání	[bar(a)]	0,0441
Nátoková výška (geodetická)	[m]	2,545
Tlaková ztráta v sacím potrubí	[m.v.sl.]	0,51
Čerpané množství	[kg/s]	133,86
Celková dopravní výška	[m.v.sl.]	148
Způsob provozu		Trvalý
Čerpané médium		Kondenzát technicky čisté vodní páry
Provedení čerpadla		Vertikální
Regulace čerpadla		Frekvenční měnič
Ucpávka		Mechanická
DN potrubí na sání		300
DN potrubí na výtlaku		300

4 Vzorový výpočet regulačního ventilu hlavního kondenzátu

Postup výpočtu ventilu byl převzat ze zdrojů 44 a [4].

4.1 Průtokový součinitel K_v

Tento součinitel vyjadřuje vztah mezi nastavením kuželky ventilu (typicky zdvihu kuželky) a objemovým průtokem ventilem. Definovat tento součinitel lze jako:

Pokud se jako průtočné médium uvažuje voda, lze vzorec díky minimální změně hustoty vody při rozdílných teplotách zjednodušit:

$$K_v = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0 \cdot \rho}{\Delta p_v \cdot \rho_0}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4-1)$$

Při uvažování tlakové ztráty $\Delta p_0 = 1 \text{ bar}$, lze vztah ještě zjednodušit do tvaru:

$$K_v = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\Delta p_v}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4-2)$$

Pro tento poslední vzorec je však nutné důsledně dosazovat tlak v barech.

Existuje též vztah mezi hodnotou K_v a místním ztrátovým součinitelem ventilu ζ , který lze vyčíslit jako:

$$K_v = 0,05 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{1}{\zeta}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4-3)$$

Speciálními případy hodnot K_v jsou hodnoty K_{vs} a K_{v0} . K_{v0} určuje průtok při zavřeném ventilu. Tato totiž nemusí být nutně nulová a ventil nemusí těsnit.

Hodnota K_{vs} je hodnota K_v , kdy je velikost zdvihu kuželky rovná jejímu maximálnímu zdvihu. Ventil je tak zcela otevřen a může jím protékat 100% množství média. Velikost ventilu je určena hodnotou K_{vs} . Ta určuje množství protečené látky ventilem za čas při plně otevřeném ventilu a tlakové ztrátě 100kPa (1bar).

Hodnota K_{vs} je udávána výrobcem ventilu. Z její znalosti lze tedy při známém průtoku ventilem určit tlakovou ztrátu ventilu. Obdobně lze při požadované tlakové ztrátě ventilu určit budoucí objemový průtok ventilem. Konečně při požadovaném objemovém průtoku a požadované tlakové ztrátě lze pomocí získané hodnoty k_{vs} vybrat vhodný ventil.

4.2 Průtokový součinitel Φ

Tento součinitel udává poměr hodnot K_v a K_{vs} , tedy poměr průtoku ventilem při obecném zdvihu kuželky a průtoku při plně otevřeném ventilu.

$$\Phi = \frac{K_v}{K_{vs}} \quad [-] \quad (4-4)$$

Zvláštním případem tohoto součinitele je hodnota:

$$\Phi_0 = \frac{K_{v0}}{K_{vs}} \quad [-] \quad (4-5)$$

Tato udává poměr průtoků při zavřeném a plně otevřeném ventilu. Tím zároveň udává netěsnost ventilu. Pokud totiž $\Phi_0 \neq 0$, ventil netěsní.

Podle druhu a sklonu charakteristiky lze pro tuto danou charakteristiku určit Φ např. vzorci:

$$\Phi = \Phi_0 + m \cdot \frac{h}{h_{100}} \quad [-] \quad (4-6)$$

pro lineární charakteristiku, kde m udává sklon této charakteristiky, nebo

$$\Phi = \Phi_0 + e^{n \cdot \frac{h}{h_{100}}} \quad [-] \quad (4-7)$$

pro rovnoprocentní charakteristiku, kde n opět udává sklon charakteristiky a lze ho vypočítat jako:

$$n = \ln\left(\frac{K_{vS}}{K_{v0}}\right) \quad [-] \quad (4-8)$$

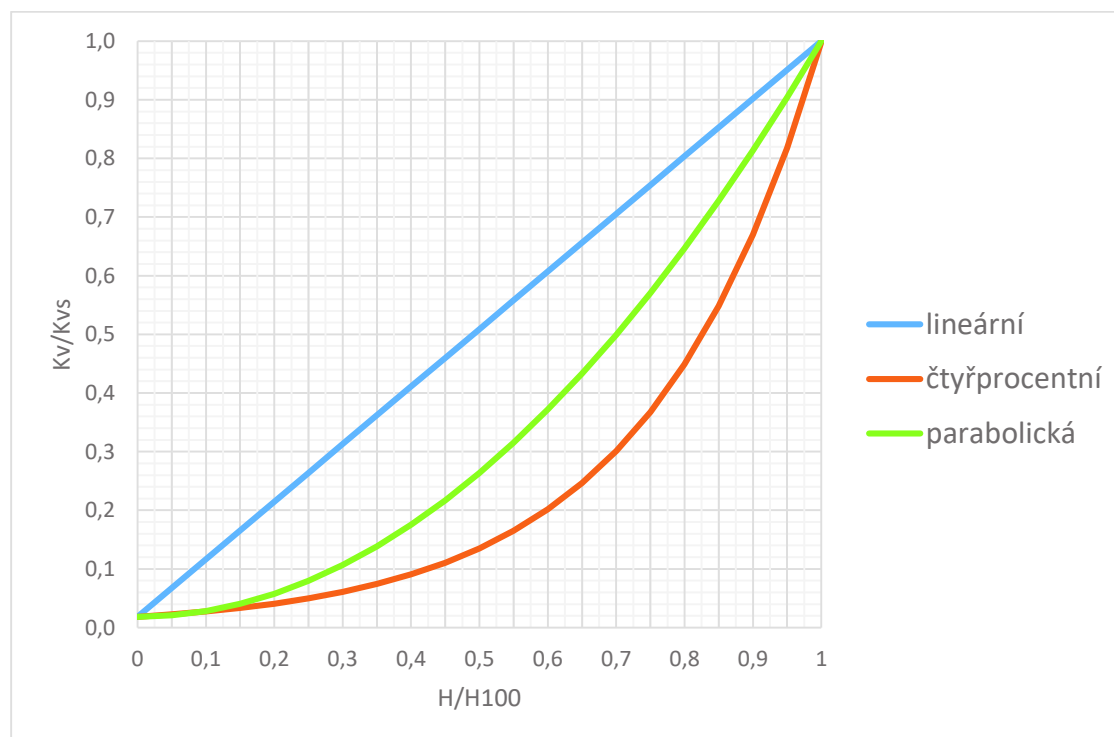
4.3 Průtočná charakteristika

Charakteristika ventilu udává závislost poměrného průtoku $\frac{K_v}{K_{vS}}$ na poměrném zdvihu $\frac{h}{h_{100}}$ ventilu. Vyjadřuje schopnost ventilu regulovat průtok média. Je nutné zvolit vhodnou charakteristiku ventilu kvůli schopnostem regulace při různých podmínkách.

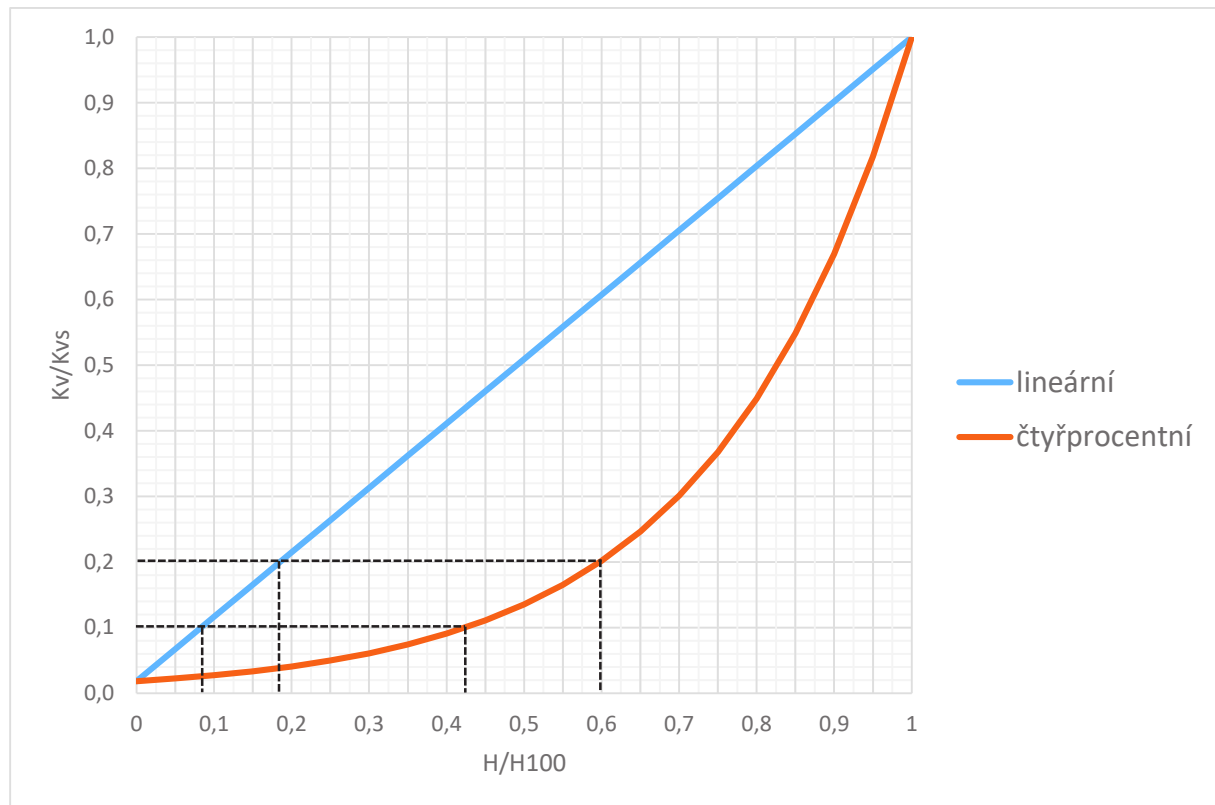
Schopnost ventilu stále regulovat průtočné množství udává tzv. regulační rozsah neboli akční poměr.

$$r = S_v = \frac{K_{vS}}{K_{vR}} \quad [-] \quad (4-9)$$

Hodnota K_{vR} udává nejnižší hodnotu K_v , při které je podoba charakteristiky stále normální. Charakteristiky ventilů lze totiž najít ideální nebo reálné. Ventil pracující v oblasti mimo hodnoty r (resp. S_v) bude mít velmi špatnou regulační funkci.



Obrázek 4-1: vybrané charakteristiky ventilů firmy LDM – RV 102 a RV 103



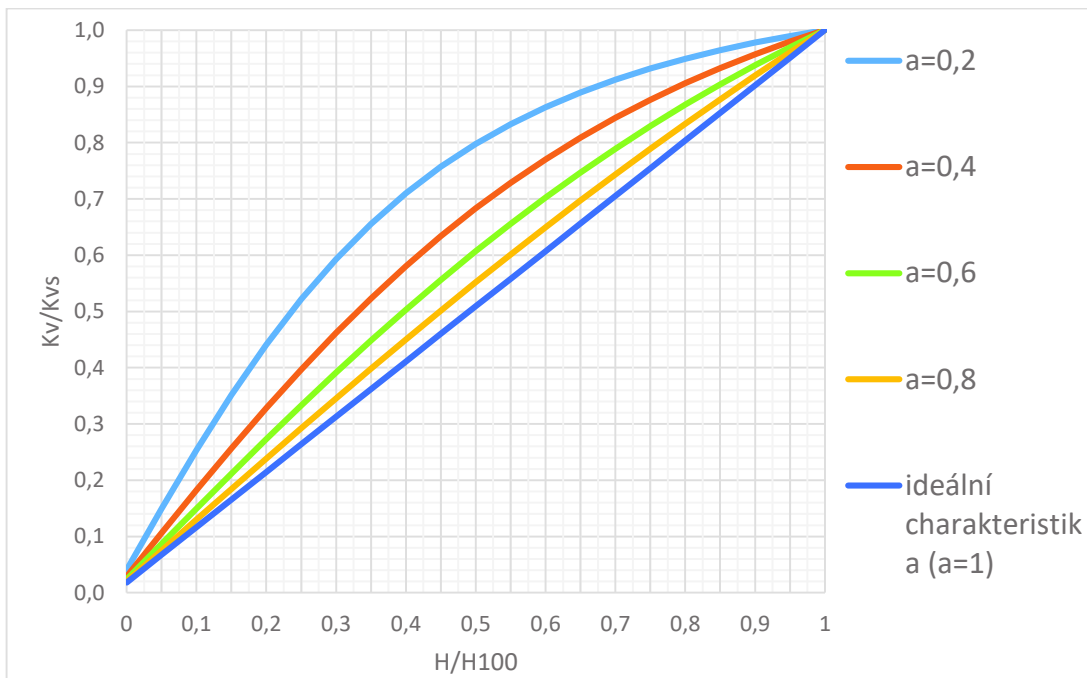
Obrázek 4-2: Rozdíl regulačních rozsahů pro různé charakteristiky

Z grafu 3-2 je vidět rozdíl mezi lineární a rovnoprocentní charakteristikou ventilu vzhledem ke schopnosti regulace při nízkých průtocích. Pro změnu průtoků z 10 % na 20 % maximálního možného průtoků musí ventil s lineární charakteristikou provést zdvih regulační kuželky o cca 10 %. Pro tu samou změnu průtočného množství musí ventil s rovnoprocentní charakteristikou provést zdvih o cca 17,5 %. Regulace pomocí ventilu s rovnoprocentní charakteristikou bude tedy jemnější/citlivější a pro nízké průtoky bude tento výhodnější. Z chování křivek charakteristik lze pozorovat, že naopak při regulaci při průtocích blízkých se 100 % maximálního průtoků bude rovnoprocentní charakteristika nevýhodnější. V následující kapitole, která zhruba popisuje autoritu ventilu, lze na grafech 3-3 a 3-4 pozorovat, že při neideálních charakteristikách bude rozdíl naznačený na grafu 3-2 nabývat na významu.

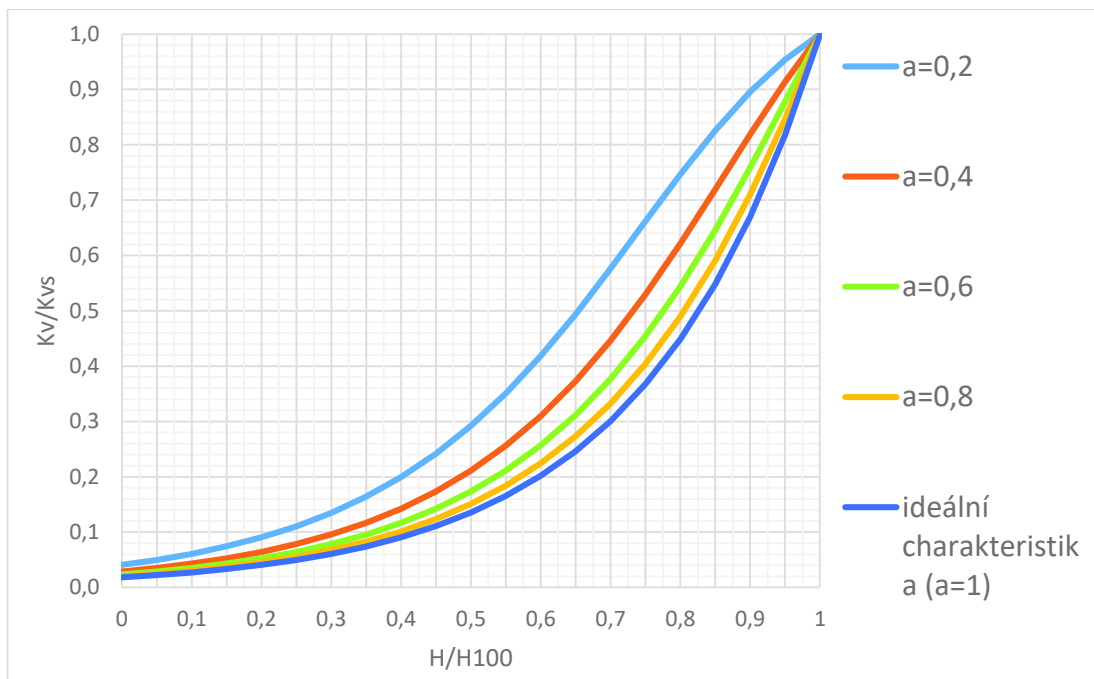
4.4 Autorita ventilu

Autorita ventilu udává schopnost ventilu regulovat potrubní síť. Její velikost nezanedbatelně ovlivňuje podobu křivky charakteristiky ventilu. Lze ji spočítat jako poměr tlakové ztráty ventilu při jeho plném otevření a tlakové ztráty zavřeného ventilu.

$$a = \frac{p_{v100}}{p_{v0}} \quad [-] \quad (4-10)$$



Obrázek 4-3: Vliv autority na lineární charakteristiku ventilu



Obrázek 4-4: Vliv autority na rovnoprocentní charakteristiku ventilu

4.5 Specifikace regulačního ventilu

Pro poptávku regulačního ventilu se uvádějí tři provozy, ve kterých má ventil pracovat. Pro každý tento provoz je třeba znát tlak před a za ventilem, teplotu protékajícího média a jeho množství. Z důvodu podkladů pouze pro jeden provoz, berme tento jako maximální. Minimální provoz bude při nulovém průtoku ventilem a třetí provoz bude při 50% průtoku ventilem. Teplotu uvažujme stejnou pro všechny případy.

Tabulka 4-1: Parametry média při jednotlivých provozech

	p1 [bar]	p2 [bar]	t [°C]	Q [kg/s]
Provoz 1	14,8	14,3	31,5	133,86
Provoz 2	12	10	31,5	60
Provoz 3	10	6	31,5	15

Dalším důležitým parametrem pro poptávku je požadovaná charakteristika ventilu. Z tabulky výše vidíme, že ventil bude pracovat i při nulovém průtočném množství a je tedy třeba regulovat ve spodních hodnotách poměru K_v/K_{vs} . Z tohoto důvodu nebude příliš vhodná lineární charakteristika, která má při nízkých průtočných množstvích horší schopnost regulace (viz graf 3-2) a budeme tedy spíše volit charakteristiku rovnoprocentní. Dodavateli ventilu je také třeba zadat požadovanou hodnotu K_{vs} , kterou lze vypočítat jako:

$$K_{vs} = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\Delta p}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4-11)$$

Kde \dot{V} je maximální objemový průtok vody ventilem a Δp je rozdíl tlaků před a za ventilem.

$$K_{vs} = \frac{481,896}{\sqrt{0,5}} = 681,48 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4-12)$$

K_{vs} nebudeme volit přímo odpovídající maximálnímu průtoku z důvodu špatné regulace při vysokých hodnotách poměru K_v/K_{vs} ale o přibližně 10 % vyšší.

Tabulka 4-2: Hodnoty pro specifikaci regulačního ventilu

	Provoz 1	Provoz 2	Provoz 3
p1 [bar]	14,8	12	10
p2 [bar]	14,3	10	6
t [°C]	31,5	31,5	31,5
\dot{V} [m ³ /h]	481,896	216	54
K_{vs} [m ³ /h]	750		
Charakteristika	Čtyřprocentní		

5 Závěr

V první kapitole byly objasněny poznatky o hlavních, řízených armaturách a zařízeních. Na základě těchto poznatků bylo tvořeno funkční schéma zařízení a potrubních tras P&ID.

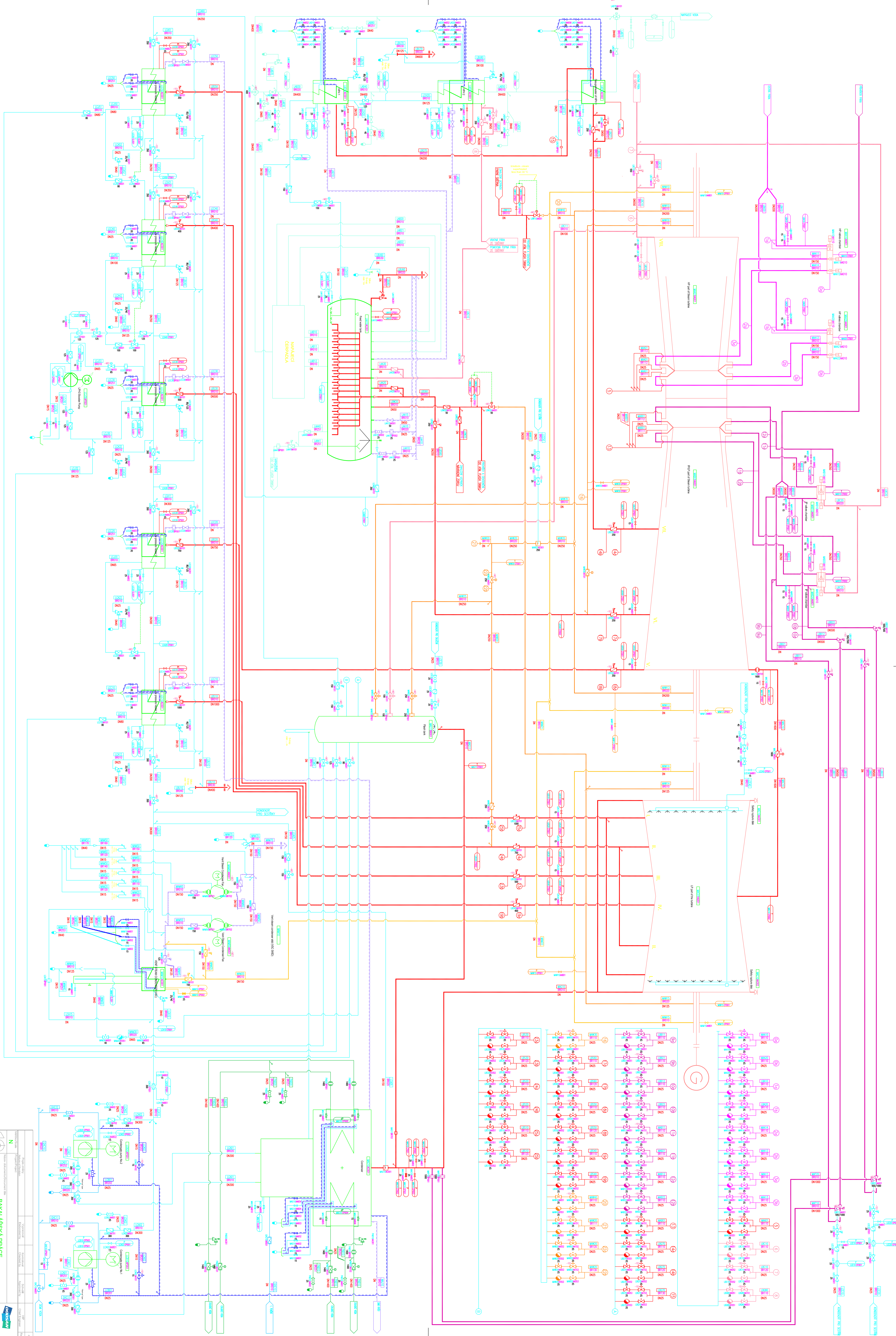
Druhá kapitola, která je věnovaná návrhu kondenzátních čerpadel, ukázala postup specifikace čerpadel pro konkrétní parametry konkrétního bloku. V této kapitole byl nastíněn postup výpočtu tlakových ztrát na trase hlavního kondenzátu a byla vytvořena tabulka specifikace pro poptávku čerpadla.

Třetí kapitola se věnovala výpočtu regulačního ventilu. Byly zde ukázány základní vzorce pro výpočet a nakonec provedení výpočtu pro konkrétní parametry konkrétní potrubní trasy. Na závěr byla stanovena hodnota K_{vs} pro případ regulačního ventilu na trase hlavního kondenzátu.

Těmito kapitolami práce nastiňuje část pracovní náplně strojního projektanta v Doosan Škoda Power. Funkční schéma P&ID je jedním ze základních dokumentů poskytovaných strojní projekcí DSPW.

6 Seznam použité literatury

- [1] BLOVSKÝ, Jiří. *Příručka pro začínající projektanty*. Plzeň: Doosan Škoda Power s.r.o, 2010
- [2] LOUTHAN, Jindřich. *Kondenzace*. Plzeň: Doosan Škoda Power s.r.o, 2012
- [3] DOUBRAVA, Jiří a kol., *Regulační armatury, 4. vydání*. Česká Třebová: LDM, spol. s.r.o., 2006
- [4] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9.

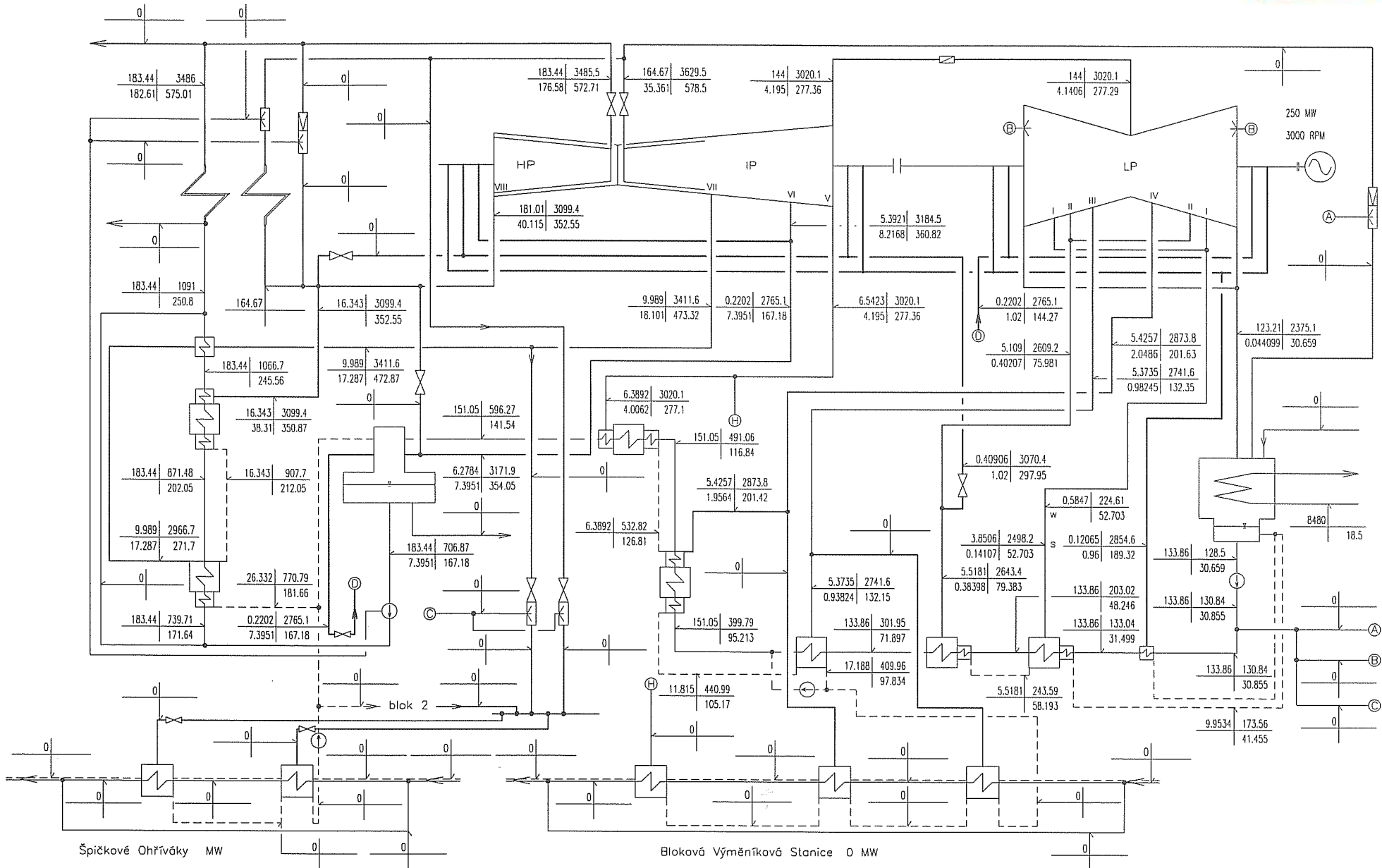


		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	
Název projektu: Projekt řízení napětí		Datum: 15.12.2023	
Jméno autora: Jan Novák		Téma: Projekt řízení napětí	
Předmět: Elektronika		Úroveň: 1. ročník	
Škola: Střední odborná škola		Revize: 0	
Místo: Brno		Datum: 15.12.2023	
Jméno: Jan Novák		Podpis:	
Datum: 15.12.2023		Datum: 15.12.2023	

kg/s	kJ/kg
bar	°C

Doosan Škoda Power

BLOK 250MW MAXIMÁLNÍ PROVOZ



GRAFICKÉ SYMBOLY GRAPHICAL SYMBOLS

- Opce
Option scope
- Pára
Steam
- Pára přehřátá
Live steam
- Pára přehřátá
Reheat steam
- Pára vratná
Cold reheat steam
- Pára protitlaká
Back pressure steam
- Pára uzávěková
Gland steam
- Pára kominková
Vent steam
- Pára NT
LP steam
- Parovzdušná směs
Steam-air mixture
- Mimo rozsah dodávky
Out of scope of supply

- Demi-voda
Demiwater
- Kondenzát
Condensate
- Voda chladičí
Cooling water
- Voda chladičí KČK
Cooling water CCS
- Voda napájecí
Feed water
- Voda oběhová
District water
- Vzduch
Air
- Signál
Signal
- Mimo rozsah dodávky
Out of scope of supply

- Vodík
Hydrogen
- CO2
Carbon dioxide
- Olej mazací
Lubrication oil
- Olej regulační
Control oil
- Olej rozvodový
Pressure oil
- Olej zvedací
Jacking oil
- Olejové páry
Oil vapour
- Olejový kal
Sludge drain oil
- Mimo rozsah dodávky
Out of scope of supply
- Napojení potrubí
Connection of pipeline
- Křížení potrubí
Crossing of pipeline
- Hranice KKS
Terminal of KKS
- Hranice větví KKS
Terminal of BR of KKS

Pohon Actuator	Ruční Handwheel, lever	Elektropohon Electric	Elektromagnet Electromagnet	Hydraulický Hydraulic	Pneumatický píst Pneumatic piston	Pneumatický membr. Pneumatic diaphragm	Membránový impulzní Membrane with impulse	Pružinový Spring loaded	Pružinový impulzní Spring loaded with impulse
Funkce Function	Ventil uzavírací Globe valve	Ventil rychlozavírací Quick stop valve	Ventil regulační Control valve	Ventil pojistný Safety valve	Ventil zpětný(á) Check valve	Ventil redukční Pressure reducing valve	Parní turbína Steam Turbine	Generátor Generator	Hlavní povrchový kondenzátor Main Surface Condenser
Připojení Connection	Přibíbové Flanged	Přivařovací [SW-vevařovací] Weld-end [SW-socket]	Mezipřibíbové [L-Lug] Water [L-Lug]	Nátubíbové Screw-end	Čepové Threaded-end	Se šroubením Screw coupling	Hrdlové Neck type	Kondenzátor paroproudé vývěvy Jet Steam Ejector Condenser	Ohřívák/Chladit./Kondenzátor Heater/Cooler/Condenser
Směr proudění Flow direction	přímý(á) Direct	náročný(á) Angled	trojcestný Three-way	čtyřcestný Multi-way	Ve vakuu In vacuum	Se zchlazením With flooded seal	S obtokem With bypass		

Ventil uzavírací Globe valve	Průhledítka Sight glass	Měření místní Local measurement
Šoupátko uzavírací Gate valve	Tlakový zámek Pressure locker	Měření analogové / binární Analog / Binary measurement
Klobouk kulový uzavírací Ball valve	Svařovač-vstřík Steam desuperheater	Měření garanční Guarantee Measurement
Ventil membránový uzavírací Diaphragm Valves	Filtr Filter	
Klapka uzavírací <- směr těsnosti Butterfly valve <- direct of tightness	Tlumič hluku Noise reducer	Hranice dodávky/Připojovací místo Terminal points/Connection place
Klapka zpětný(á) Check flap	Reduktor Pressure reducer	
Ventil zpětný(á) uzavírací Shut-off check valve	Pojistná membrána Safety diaphragm	
Ventil za/odvzdušňovací Air Breathing Valve	Síta rušiče vakuu Strainer of vacuum breaker	Odkaz na pokračování trasy Reference of pipeline
Ventil zpětný s aut.přep. Vertical lift check valve with out-relief	Rýchlospojka Quick-acting coupling	Odkaz na pokračování trasy Reference of pipeline
Ventil bypasový+svlazení Bypass-valve with spring	Clona omezovací Orifice	Dump tube Dump tube
Odvzdušňovač Steam trap	Měření průtoku Flow measure	Redukce Reduction
Odvzdušňovač plovákový Steam float trap	Clona měřicí Measuring orifice	Výfuk do atmosféry Exhaust to atmosphere
Kompenzátor Compensator	Dýza měřicí Measuring jet tube	Trychtýř Funnel
Kompenzátor vlnový Compensator - bellows	Venturiho trubice měřicí Venturi tube measuring	Kanál Duct
		Odstředivě čerpadlo Centrifugal pump
		Ventilátor Fan
		Vodokružná vývěva Water Ring Vacuum Pumps
		Pára / Voda proudá vývěva Jet steam / water ejector
		Elektrický pohon Electric drive
		Chladičí věž Cooling tower
		Napájecí nádrž Feed Water Storage Tank

Hranice rozsahu zařízení, SKID
Border of equipment scope, SKID