

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Provoz parních turbin ŠKODA v paroplynovém cyklu

Autor: **Pavel PŮLPÁN**
Vedoucí práce: **Ing. Vojtěch ŽÁKOVEC**

Akademický rok 2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel PŮLPÁN**
Osobní číslo: **S12B0138K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**
Název tématu: **Provoz parních turbin ŠKODA v paroplynovém cyklu**
Zadávající 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 :

Máte za úkol zpracovat:

1. Zapojení parní turbíny v paroplynovém cyklu.
2. Přípravu parní turbíny s příslušenstvím pro najetí.
3. Určení parametrů páry pro vpuštění do turbíny.
4. Najetí turbíny na jmenovité otáčky, nafázování a postup zatěžování na cílový výkon.
5. Sledování provozních parametrů při ustáleném provozu a možné způsoby odstavování.


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

- **Páv A.: Provoz parních turbin a příslušenství III**
- **Archív provozních předpisů Škody Power s.r.o.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Žákovec**
Katedra energetických strojů a zařízení
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Žákovec**
Katedra energetických strojů a zařízení
Datum zadání bakalářské práce: **5. listopadu 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Jiří Polanský, Ph.D.
vedoucí katedry


V Plzni dne 1. listopadu 2012

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: 26.6.2013


.....
podpis autora

Autorská práva

Ačkoliv je tato bakalářská práce psána poměrně obecně, vyskytující se v ní informace, které byly čerpány z technických podkladů společnosti Doosan Škoda Power s.r.o. a společností Autel a.s. a Siemens s.r.o., které mi poskytly hardcopy ovládacích obrazovek. Tato bakalářská práce byla zpracována za účelem seznámení s problematikou provozování parních turbin a v žádném případě není povoleno využívat informace obsažené v této bakalářské práci ke komerčním či jiným účelům.

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vojtěchu Žákovcovi, že mi umožnil zpracovat bakalářskou práci na tak zajímavé téma, jako je provoz parních turbin a za rady a čas, které mi věnoval při konzultacích.

Dále bych chtěl poděkovat panu Jaroslavu Prokopovi z firmy Siemens a Ing. Wieslawu Chodurovi z firmy Autel za poskytnutí ovládacích obrazovek a Ing. Pavlu Pánkovi, Ing. Viktoru Vrátníkovi a ostatním z firmy Doosan Škoda Power za poskytnutí cenných rad a informací.

A v neposlední řadě musím poděkovat své manželce, která mě při zpracovávání této bakalářské práce, stejně jako po celou dobu studia, podporovala a sdílela se mnou úspěchy i neúspěchy související s mým studiem.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Půlpán	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016-13 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Žákovec.	Jméno Vojtěch	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Provoz parních turbin ŠKODA v paroplynovém cyklu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	50	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato bakalářská práce se zaměřuje na provoz parních turbin Škoda v paroplynovém cyklu a jejím cílem je především seznámit čtenáře se základními principy a postupy, aby se turbina najela z klidového stavu na jmenovité otáčky, přifázovala k síti, co je důležité sledovat během provozu a v neposlední řadě jak turbínu odstavit.</p> <p>Problematika provozu parních turbin je složitá a v žádném případě není možné tuto problematiku obsáhnout do několika stran této bakalářské práce. Nicméně může sloužit pro základní orientaci a jako výchozí bod pro další seznamování se s provozem parních turbin Škoda.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Parní turbina, provoz parní turbíny, příprava parní turbíny k najetí, najetí parní turbíny, ustálený provoz parní turbíny, odstavení parní turbíny, paroplynový cyklus</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Půlpán	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	2301R016-13 „Design of Power Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Žákovec	Name Vojtěch	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Operation of steam turbines ŠKODA in steam-gas cycle		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKE	SUBMITTED IN	2013
----------------	---------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	50	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis focuses on the operation of steam turbines Skoda in steam-gas cycle and its aim is primarily to acquaint the reader with the basic principles and practices to the turbine ran from idle to rated speed, phasing to the network, what is important to monitor during operation and not least as turbine shut down.</p> <p>The issue of steam turbines is complex and, in any case, this issue is not possible to cover into several pages of this work. However, it can be used for a basic orientation as a starting point for further familiarization with the operation of steam turbines Skoda.</p>
KEY WORDS	<p>Steam turbine, steam turbine operation, preparation of steam turbines for start-up, steam turbine start-up, steady operation of the steam turbine, shutdown of the steam turbine, combined cycle</p>

Obsah bakalářské práce

1. Úvod	5
2. Zapojení parní turbíny v paroplynovém cyklu	7
3. Příprava parní turbíny s příslušenstvím pro najetí	9
3.1. Příprava parní turbíny pro najetí	9
3.2. Uvedení příslušenství turbíny do provozu	10
3.2.1. Systém chladicí vody	10
3.2.2. Systém mazacího oleje	12
3.2.2.1. <i>Najetí systému mazacího oleje</i>	14
3.2.3. Systém zvedacího oleje	15
3.2.3.1. <i>Najetí systému zvedacího oleje</i>	15
3.2.4. Natačecí zařízení turbíny	16
3.2.4.1. <i>Najetí natáčecího zařízení turbíny</i>	16
3.2.5. Systém kondenzace	17
3.2.5.1. <i>Najetí systému kondenzace</i>	18
3.2.6. Systém odvodnění	20
3.2.6.1. <i>Najetí systému odvodnění</i>	21
3.2.7. Systém evakuace	22
3.2.7.1. <i>Najetí systému evakuace</i>	23
3.2.8. Systém komínkové a ucpávkové páry	24
3.2.8.1. <i>Popis labyrintových ucpávek</i>	25
3.2.8.2. <i>Najetí systému komínkové a ucpávkové páry</i>	26
3.2.9. Systém vysokotlaké hydrauliky	27
3.2.9.1. <i>Najetí systému vysokotlaké hydrauliky</i>	30
4. Parametry páry pro vpuštění do turbíny	31
4.1. Minimální a maximální teploty páry pro najíždění	32
4.1.1. VT pára	32
4.1.2. ST pára	33
4.1.3. NT pára	34
4.2. Minimální a maximální tlak páry pro najíždění	34
4.3. Dosažení požadovaných teplot	35
4.3.1. Prohřev přívodních parovodů a komor parních ventilů	35
4.3.2. Prohřev VT dílu	38
5. Najetí turbíny na jmenovité otáčky, nafázování a zatížení na cílový výkon	40
5.1. Najetí turbíny na jmenovité otáčky	40

5.2.	Nafázování	42
5.3.	Zatížení na cílový výkon.....	42
6.	Ustálený provoz a možné způsoby odstavení.....	44
6.1.	Ustálený provoz	44
6.1.1.	Vyhodnocování provozního stavu turbosoustrojí	45
6.1.2.	Vyhodnocování teplotního namáhání.....	47
6.1.3.	Dovolené změny tlaku a teploty vstupní páry	48
6.1.3.1.	<i>Tlak vstupní páry</i>	48
6.1.3.2.	<i>Teplota přehřáté a přihřáté páry</i>	48
6.1.4.	Provoz při změnách frekvence sítě.....	48
6.1.5.	Provoz turbíny při nízkém výkonu nebo v ostrovním provozu.....	49
6.1.6.	Omezení provozu při zhoršeném tlaku na výstupu z turbíny.....	49
6.1.7.	Omezovací regulace	49
6.1.8.	Přeběh.....	50
6.1.9.	Zkoušky za provozu turbíny.....	50
6.2.	Možné způsoby odstavení.....	51
6.2.1.	Plánované odstavení	52
6.2.2.	Poruchové odstavení	53
6.2.3.	Odpojení výkonu od sítě	56
7.	Závěr.....	57
8.	Seznam použité literatury a ostatních materiálů.....	58
9.	Seznam obrázků.....	59

Přehled použitých zkratk a symbolů [2]

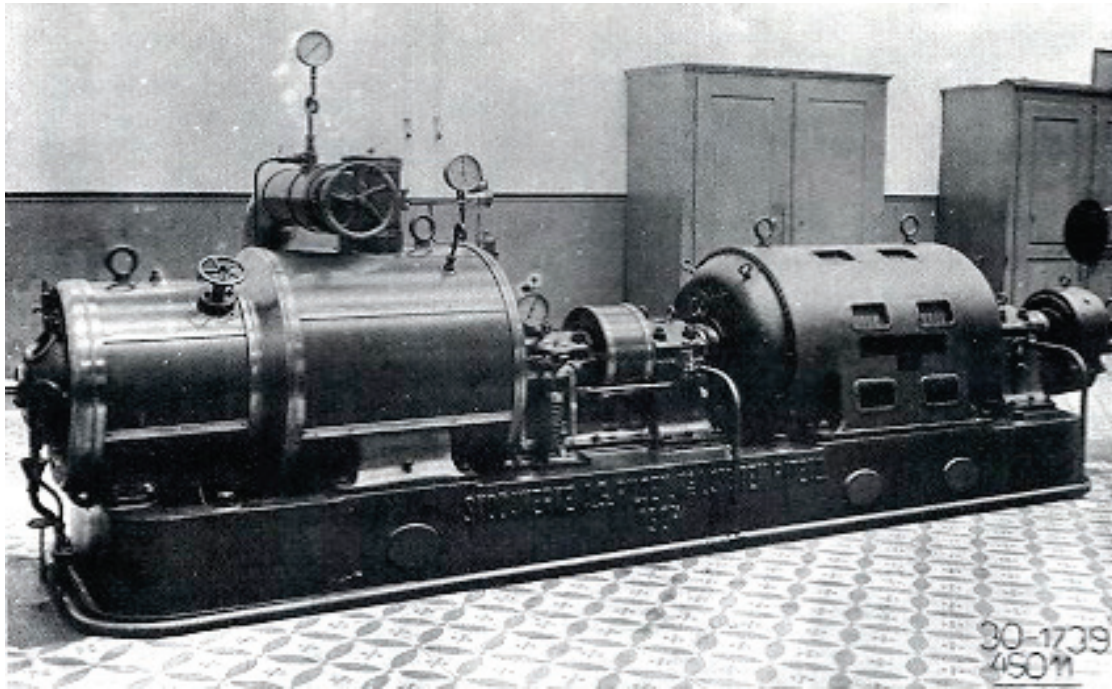
AC	střídavé napětí
ČSN	česká státní norma
DC	stejnoseměrné napětí
DCS	Distributed Control System – nadřazený řídicí systém
dN	střední trend zvyšování výkonu po počátečním zatížení
DŠPW	Doosan Škoda Power s.r.o.
HOČ	hlavní olejové čerpadlo
HON	hlavní olejová nádrž
KČ	kondenzátní čerpadlo(a)
KKP	kondenzátor komínkových par
KP	komínková pára
NOČ	nouzová olejová čerpadla
NOČ(≈)	nouzové olejové čerpadlo poháněné elektromotorem na střídavý proud
NOČ(=)	nouzové olejové čerpadlo poháněné elektromotorem na stejnosměrný proud
N_p	velikost počátečního výkonu po přifázování bloku k síti
NT	nízkotlaký(é)
NZ	natáčecí zařízení
POČ	pomocné olejové čerpadlo
PON	pomocná olejová nádrž
RV	regulační ventily regulující množství páry do turbíny
RZ	rychlzávěrný(á)(é)
RZV	rychlzávěrný(é) ventil(y)
ŘB	řídicí blok(y)
SOČ	spouštěcí olejové(á) čerpadlo(a)
ST	středotlaký(é)
t_1	minimální doba prodlevy na prohřívacích otáčkách
TCS	Turbine Control System – řídicí systém parní turbíny
TG	turbogenerátor
T_{minST}	minimální teplota páry před ST RZV pro zahájení najíždění na otáčky
T_{R_ST}	střední intergrální teplota ST rotoru před startem najíždění
T_{ST}	okamžitá středně integrální teplota ST rotoru
$T_{STpára}$	okamžitá teplota přehřáté páry před ST RZV
T_{VT}	okamžitá středně integrální teplota VT rotoru
$T_{VTpára}$	okamžitá teplota přehřáté páry před VT RZV
UP	ucpávková pára
VT	vysokotlaký(é)
ZOČ	zvedací olejové(á) čerpadlo(a)
ZV	záchytný(é) ventil(y)

Přehled použitých fyzikálních veličin a jejich jednotek

Název veličiny	Značka veličiny	Jednotky veličiny
Elektrický výkon	N	W, kW, MW
Tlak (absolutní hodnota)	p	Pa, kPa, MPa
Tlak (přetlaková hodnota)	p	Pa(g), kPa(g), MPa(g)
Teplota	T	°C
Čas	t	s, min, hod
Otáčky	n	ot/min
Poloměr	r	mm, m
Otevření ventilů	-	%
Frekvence	f	Hz
Trend výkonu	-	MW/s, MW/min
Trend teploty	-	°C/min
Trend otáček	-	ot/min ²
Trend tlaku	-	Pa/min
Trend otevření ventilů	-	%/s

1. Úvod

Parní turbíny se ve Škodových závodech v Plzni vyrábějí již od roku 1904. První vyrobenou parní turbínou byla Centrála Škoda o výkonu necelých 500 kW – obrázek 1. Během následujících let se ve Škodových závodech vyrobilo téměř 2000 parních turbín od výkonu 100 kW až po zatím největší vyrobené turbíny o výkonu 1000 MW, které jsou instalovány v elektrárně Temelín. Škodoväcké parní turbíny pohánějí jednak generátory pro výrobu elektrické energie, ale turbíny s menším výkonem sloužily a slouží též pro pohon různých strojů v průmyslu.



Obrázek 1 – První vyrobená rovnotlaká parní turbína ŠKODA systému Rateau [8]

Parní turbíny Škoda během těchto více jak sto let prošly mnoha změnami, jak v konstrukci, což vedlo k podstatnému zvýšení jejich účinnosti, tak i v jejich ovládání, potažmo v najíždění, provozu i odstavování.

Změnou v průběhu těchto více jak sta let prošly i samotné Škodovy závody, kdy se postupně měnil jejich vlastník. V současné době je vlastníkem společnosti nadnárodní jihokorejská společnost DOOSAN Group. Vzhledem k této skutečnosti se v současnosti společnost jmenuje Doosan Škoda Power s.r.o.

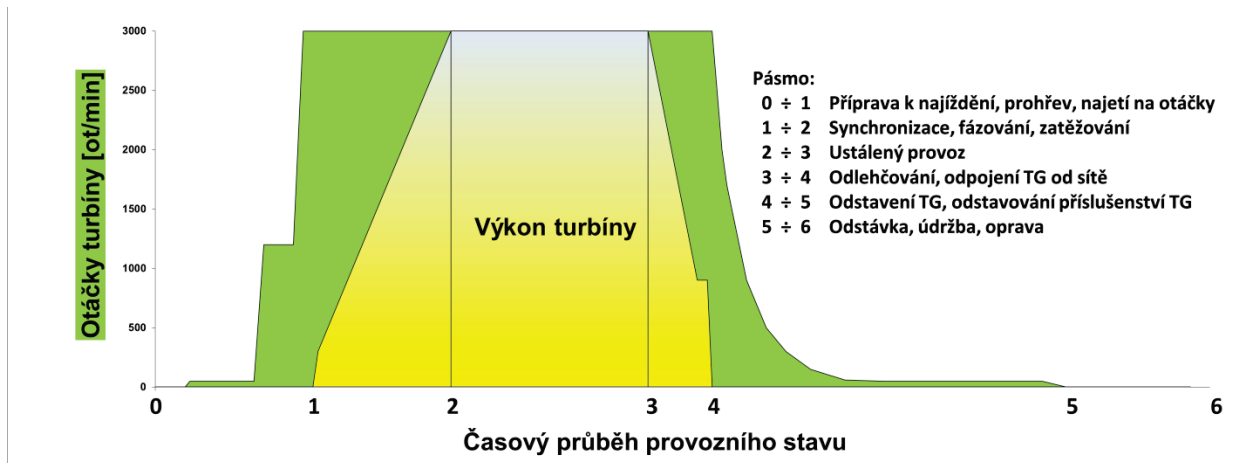
Společnost Doosan Škoda Power s.r.o. je v současné době hlavním dodavatelem parních turbín pro společnost ČEZ u všech velkých projektů, jako je dodávka čtyř 200 MW turbín do Elektrárny Tušimice, turbíny o výkonu 660 MW do Elektrárny Ledvice, třech turbín o výkonu 250 MW pro Elektrárnu Pruněfov a turbíny o výkonu 270 MW pro Elektrárnu Počeradý.

Tato bakalářské práce se zaměřuje na provoz parních turbín pracujících v paroplynovém cyklu. Není to ani tak z důvodu, že by se provoz těchto parních turbín nějak výrazně lišil od parních turbín pracujících např. v uhelných elektrárnách, ale aby se vymežil určitý typ parních turbín co se zapojení a výkonu týká. Hlavní rozdíl můžeme shledat v tom, že do parní turbíny pracující v paroplynovém cyklu je zavedena navíc NT pára a systém regenerace využívá zbytkové teplo ze spalín, tj. nejsou realizovány odběry páry z parní turbíny do nízkotlakových a vysokotlakových regeneračních ohříváků. A právě parní turbína o výkonu 270 MW pro

elektrárnu Počerady je součástí paroplynového cyklu o celkovém výkonu 880 MW. To je i důvod, proč se při zpracovávání této bakalářské práce budu na tuto parní turbínu odvolávat a i některé materiály obsažené v této bakalářské práci budou z tohoto projektu.

Tato bakalářská práce se věnuje především provozu samotné parní turbíny a jejího příslušenství, která již byla uvedena do provozu. To znamená, že činnosti spojené s prvním uváděním nové parní turbíny do provozu, jako jsou individuální, předkomplexní a komplexní zkoušky, zde popisovány nejsou a předpokládá se, že turbína je již odzkoušena a seřizena pro trvalý provoz. Pro první uvádění turbíny s příslušenstvím do provozu se zpracovává samostatný projekt prvního najetí, ve kterém jsou uvedeny všechny potřebné zkoušky a postupy. Například v průběhu vyjíždění turbíny na otáčky se zařazuje více prodlev na různých úrovních otáček (musí být mimo oblast kritických otáček), aby se ověřil mechanický chod turbíny na různých úrovních otáček. Popis těchto všech zkoušek při prvním uvádění TG do provozu není v rozsahu této bakalářské práce.

Samotný provoz můžeme rozdělit do několika částí. Pro názornost je na obrázku 2 diagram určující jednotlivé základní provozní režimy. V této bakalářské práci se zaměřím na provozní režimy v pásmu 0 ÷ 5, činnosti prováděné během odstávky zde popisovány nebudou.



Obrázek 2 – Provozní režimy parní turbíny [1]

2. Zapojení parní turbíny v paroplynovém cyklu

Paroplynový cyklus je kombinací dvou tepelných oběhů, u spalovací turbíny to je Braytonův oběh a u parní turbíny to je Rankin-Clausiiův oběh.

Poměrně pěkně je paroplynový cyklus popsán na internetových stránkách společnosti ČEZ a.s., proto bych pro popis paroplynového cyklu využil citaci tohoto článku.

„Paroplynový cyklus je moderním a ve světě velmi užívaným a osvědčeným zdrojem výroby elektrické energie, který díky základní konfiguraci hlavních komponent, čili spalovacích turbin, jejichž odpadní teplo obsažené ve spalinách využívají generátory páry a zásobují parou parní turbínu, dosahuje ve srovnání s uhelnými bloky vyšší tepelné účinnosti.

Spolu s použitím ekologického typu paliva, tedy zemního plynu, se tím výrazně snižuje zatížení životního prostředí oproti klasickým uhelným blokům.

Jde o jednu z variant kombinovaných oběhů, ve kterých dochází k vícenásobnému využití vstupního tepla. Výhodami kombinovaných oběhů jsou lepší využití vložené energie a nižší emise spalin vztahované na vyrobenou MWh.

Nejnákladnější částí paroplynových zařízení je spalovací turbína. Jedním z hlavních témat pro její neustálé zdokonalování je zvyšování teploty spalin na vstupu, což zvyšuje účinnost turbíny. Během příštích pěti let se očekává postupné zvyšování na 1500°C, a tím i zvýšení čisté tepelné účinnosti paroplynového oběhu na 60%. Paroplynové elektrárny se dnes dodávají v podstatě „na klíč“, cena standardních modelů se pohybuje okolo 500 EUR/kW_e. Rozptýl výsledných investičních nákladů je způsoben rozdílnými technickými a ekonomickými podmínkami instalace a uvádění do provozu, takže průměrné výsledné investiční náklady jsou zhruba dvojnásobné. Doba výstavby paroplynového zařízení se pohybuje v rozpětí 30-40 měsíců, což je výrazně méně než v případě klasických uhelných nebo jaderných elektráren.

Díky nejnižším investičním nákladům, krátké době realizace a vysoké tepelné účinnosti jsou paroplynové elektrárny výrazně zvýhodněny oproti ostatním zdrojům na fosilní paliva. Cenou za tyto přednosti je potřeba ušlechtilého a drahého paliva pro provoz spalovací turbíny. Nejčastěji se paroplynové zdroje staví na zemní plyn, méně často na olej. V úvahu přicházejí i jiná plynná paliva, např. plyny po zplyňování uhlí, biomasy nebo z různých technologických procesů, tyto případy jsou však spíše výjimečné. Jistou perspektivu do budoucna nabízejí snad jen paroplynové zdroje s integrovaným zplyňováním uhlí (IGCC – Integrated gasification combustion cycle), které patří k tzv. technologiím čistého uhlí (Clean Coal Technologies).“[3]

Jak je uvedeno v článku výše, paroplynový cyklus je v současnosti jeden z neúčinnějších způsobů výroby elektrické, ale i tepelné energie. Účinnost při výrobě elektrické energie a tepla v paroplynovém cyklu se přibližuje 60%, což ve srovnání s klasickými tepelnými elektrárnami je zcela nesrovnatelné.

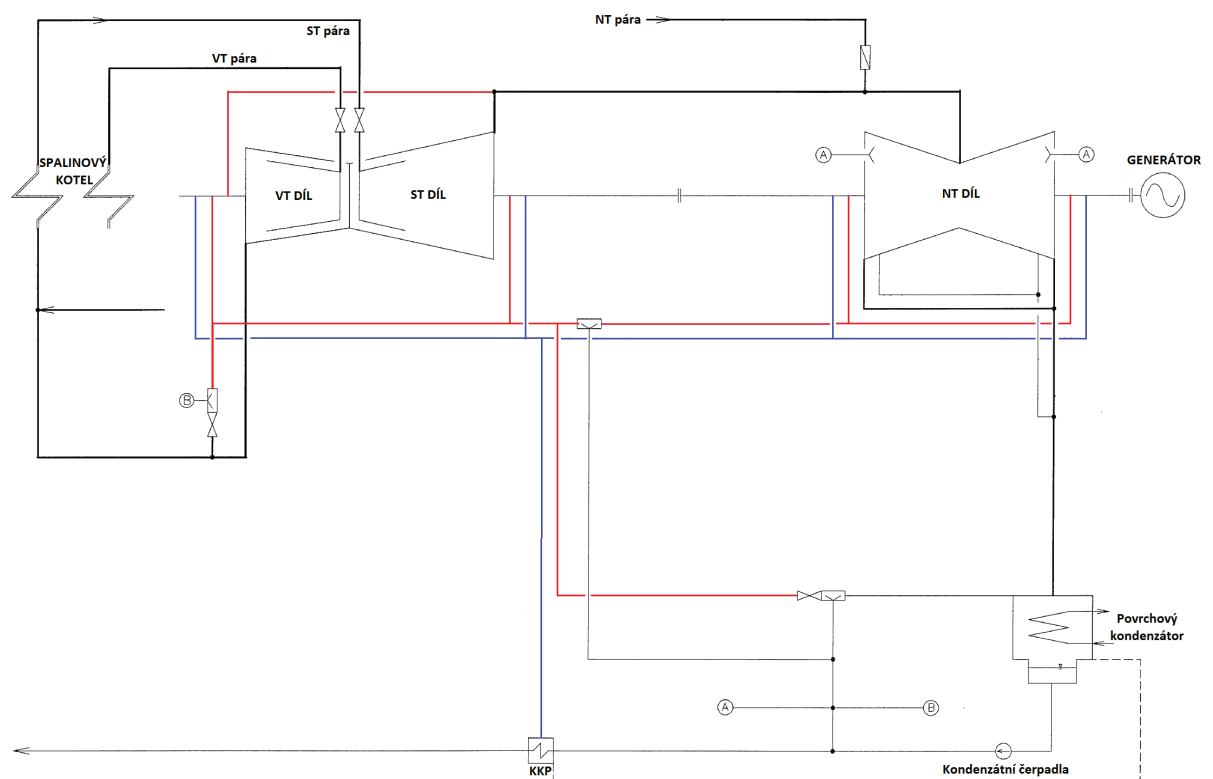
Další výhodou paroplynového cyklu je bezesporu pružnost, s kterou dokáže reagovat na rychlou potřebu dodávky elektrické energie do elektrizační soustavy. Spalovací turbína paroplynového cyklu může být spuštěna a připojena k síti do několika minut a přibližně do 15 minut může dosáhnout plného výkonu. Navíc parní turbína, která využívá teplo ze spalin spalovací turbíny, může dosáhnout plného výkonu zhruba do dvou hodin (záleží na teplotním stavu parní turbíny v okamžiku startu). Paroplynový cyklus obsahuje vždy minimálně jednu spalovací turbínu a minimálně jednu parní turbínu.

Spalovací turbina je energetické zařízení, v němž probíhá na základě adiabatické expanze přeměna části vnitřní energie stlačeného plynu na kinetickou energii rotoru. Spalovací turbíny obvykle pracují v otevřeném cyklu. To znamená, že nasátý vzduch vstupuje sacím hrdlem do kompresoru, který vzduch stlačuje a vhání ho do spalovací komory. Ve spalovací komoře se vzduch míchá s palivem. Jako základní palivo se často používá zemní plyn, může se však spalovat i svítiplyn, lehké topné oleje či mazut. Ve spalovací komoře plyn hoří, čímž se několikanásobně zvětší jeho objem vlivem spalin a spaliny o vysoké teplotě proudí velkou rychlostí do spalovací turbíny, kterou roztáčí.

Ze spalovací turbíny vystupují spaliny ještě o poměrně vysoké teplotě. Této tepelné energii obsažené ve spalinách se využívá k výrobě páry ve spalinovém kotli. Spaliny při průchodu spalinovým kotlem předávají značnou část energie a nakonec vystupují zmenšenou rychlostí zpět do ovzduší.

Tato bakalářská práce je však věnována parním turbínám v paroplynovém cyklu, které jsou poháněny právě párou vyrobenou ve spalinovém kotli. Ve spalinovém kotli se nejčastěji vyrábí celkem tři páry o různých parametrech. Jedná se o vysokotlaká (VT) páru, středotlaká (ST) páru, a nízkotlaká (NT) páru. Každá z těchto par vstupuje do parní turbíny samostatným vstupem, jak je patrné z obrázku č.3.

Na obrázku č.3 je schématické zapojení parní turbíny v elektrárně Prunéřov. Zde je vidět, že tato parní turbína má kombinovaný VT a ST díl. Kombinovaný VT/ST díl umožňuje nejen zmenšení celkové délky turbíny (tedy menší požadavky na délku strojovny), ale také je lépe využita pára, která by v případě klasického zapojení musela být odváděna do kondenzátoru, případně do jiného odběru a také by musela být zbytková pára procházející ucpávkou odváděna do KKP. Podrobněji je toto popsáno v kapitole 3.2.8 této bakalářské práce.



Obrázek 3 – Zapojení parní turbíny v paroplynovém cyklu

3. Příprava parní turbíny s příslušenstvím pro najetí

3.1. Příprava parní turbíny pro najetí

Základním předpokladem spolehlivého a bezpečného provozu soustrojí je pečlivá údržba veškerého zařízení v rámci celého energetického bloku.

Při blokovém uspořádání porucha jedné části zařízení obvykle ovlivňuje provoz celého bloku. Kromě pečlivě prováděných generálních a běžných oprav je třeba zajistit pravidelnou kontrolu veškerých aparatur. Jedná se o měřicí, regulační a ukazovací přístroje i ochranná zařízení, která zajišťují spolehlivý a ekonomický provoz bloku. Bez jejich správné funkce obsluha nemůže zajistit spolehlivý provoz.

Dále musí být kontrolovány funkce a nastavení signalizací a ochran turbíny a navazujících systémů tak, aby obsluha turbíny byla vždy informována o hrozícím nebezpečí provozované turbíny, případně aby došlo při dosažení havarijních stavů k odstavení turbíny. Systém signalizace a ochran turbíny je z pohledu najíždění a provozu jedním z nejdůležitějších, proto je nutné v pravidelných intervalech správnou funkci kontrolovat.

Důležitým požadavkem pro bezpečnost provozu i obsluhujícího personálu je pořádek a čistota v celém prostoru strojovny. Veškeré ústupové cesty ze všech manipulačních prostorů a kontrolních stanovišť musí být volné a řádně osvětlené. Pravidelně musí být kontrolována provozuschopnost nouzového osvětlení a protipožárních zařízení.

Pro zahájení najíždění musí být provedeny všechny preventivní údržbářské práce v souladu s provozními a údržbářskými předpisy a dále musí být ukončeny všechny opravy a práce prováděné na turbíně a příslušenství. Překontroluje se, zda jsou ukončeny všechny plánované opravné, montážní a údržbářské práce, včetně izolačních prací, a zda jsou odstraněna montážní lešení i veškerý montážní či jiný materiál ze zařízení.

Před samotným najížděním je nutné se přesvědčit, zda poloha všech ručních armatur je ve správných polohách. Je to z toho důvodu, že během odstávky mohlo dojít k přestavení ručních armatur, např. z důvodu vypouštění nebo čištění olejového systému. Špatná poloha některé z ručních armatur by mohla mít za následek třeba i havárii TG. Obecně lze říci, že pokud není nějaký poruchový stav, tak ve většině případů je poloha ruční armatury v otevřené poloze, pouze armatury vypouštění jsou uzavřené a armatury odvětrávání se otevírají jen po dobu odvětrávání.

3.2. Uvedení příslušenství turbíny do provozu

Před samotným zahájením prohřevu parní turbíny a najížděním parní turbíny na otáčky párou, je nutné zprovoznit systémy (příslušenství turbíny), které jsou nutné pro najíždění a provoz parní turbíny. Postupně se v následujícím pořadí zprovozní:

- Systém chladicí vody
- Systém mazacího oleje
- Systém zvedacího oleje
- Natačecí zařízení turbíny
- Systém kondenzace
- Systém odvodnění
- Systém evakuace
- Systém komínkové a ucpávkové páry
- Systém vysokotlaké hydrauliky

Uvádění příslušenství parní turbíny se provádí z blokové dozorny, dokonce u některých projektů se uvádění do provozu dovedlo k takové dokonalosti, že stačí stisknout pouze jedno tlačítko a obsluha stroje již jen kontroluje automatické najíždění jednotlivých systémů parní turbíny a parní turbíny samotné prostřednictvím turbostepu. Najíždění prostřednictvím turbostepu však klade vysoké požadavky na stupeň automatizace a i tak může v některých atypických případech dojít k tomu, že je nutný zásah obsluhy.

Samozřejmostí je také připravit spalínový kotel s příslušenstvím k provozu tak, aby ho bylo možné ve vhodný okamžik zprovoznit, a byla tak k dispozici pára potřebná pro zahlcování ucpávek turbíny, prohřev VT dílu a pro samotné najíždění turbíny na prohřívací a následně provozní (jmenovité) otáčky. Najíždění a provoz spalínového kotle s příslušenstvím není předmětem této bakalářské práce.

3.2.1. Systém chladicí vody

Chladicí voda je přivedena obvykle do těchto zařízení důležitých pro provoz parní turbíny:

- Povrchový kondenzátor
- Chladiče mazacího oleje
- Chladiče generátoru
- Chladiče hydraulické kapaliny (vzhledem k možnosti zanášení chladičů se obvykle používá jiný zdroj chlazení, neboť chladicí voda obvykle nesplňuje požadavky na čistotu)

Systém chladicí vody se používá u kondenzačních turbin s vodou chlazeným povrchovým kondenzátorem. U některých parních turbin Škoda jsou v posledních několika letech použity též vzduchové kondenzátory, kde jako chladicí médium slouží vzduch, ale tyto vzduchové kondenzátory zatím byly vždy mimo rozsah dodávky společnosti DŠPW.

Chladicí voda přivedená do povrchového kondenzátoru umožňuje prodloužit expanzi páry v turbíně až do relativně hlubokého vakua, což vede ke zvýšení tepelné účinnosti parního cyklu. Zároveň dochází ke kondenzaci výstupní páry z NT dílu na kondenzát, který je poté prostřednictvím kondenzačních čerpadel přečerpáván do napájecí nádrže. Stejně je to u vzduchových kondenzátorů, pouze s tím rozdílem, že chladicím médiem je zde vzduch

vháněný do vzduchového kondenzátoru ventilátory. Chladicí voda odvádí velké množství nízkopotenciálního tepla, které není dále rozumně využitelné, do chladících věží (obrázek 4), které toto teplo předávají okolnímu vzduchu, nebo do řeky v případě průtokového systému chlazení. Ochlazená chladicí věžová voda se prostřednictvím chladících čerpadel vrací zpět do povrchového kondenzátoru, v případě průtokového chlazení se čerpá chladná voda přímo z řeky.

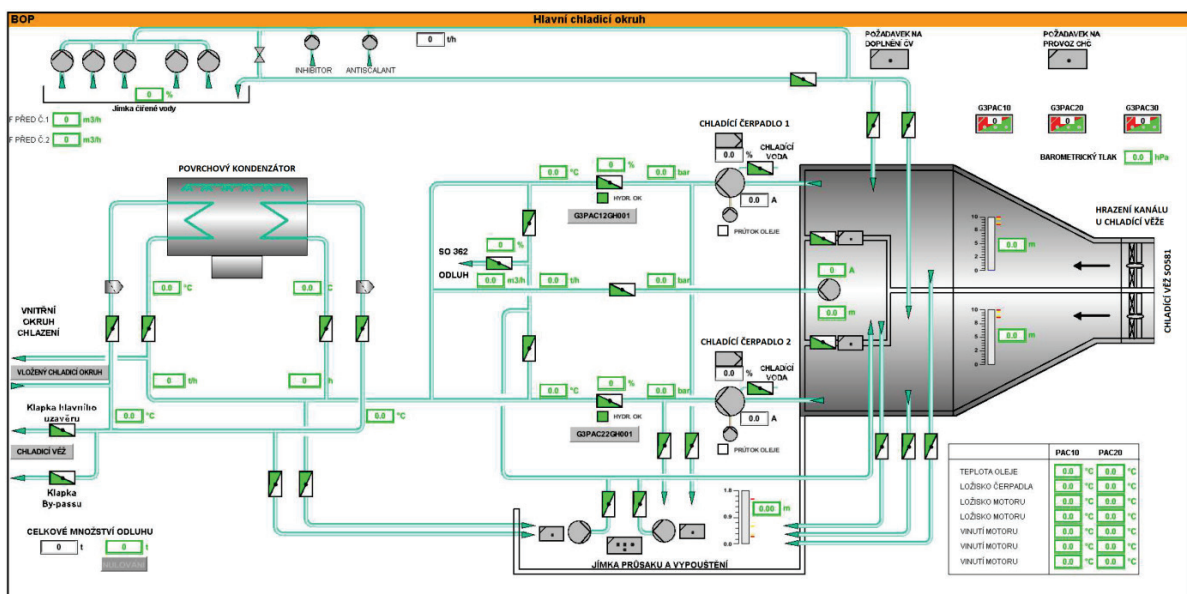


Obrázek 4 – Chladicí věže [9]

Cirkulaci věžové chladicí vody, což je obvyklejší způsob chlazení, zajišťují chladicí čerpadla. Chladicí čerpadla bývají obvykle v provedení 3x50% nebo 2x100%.

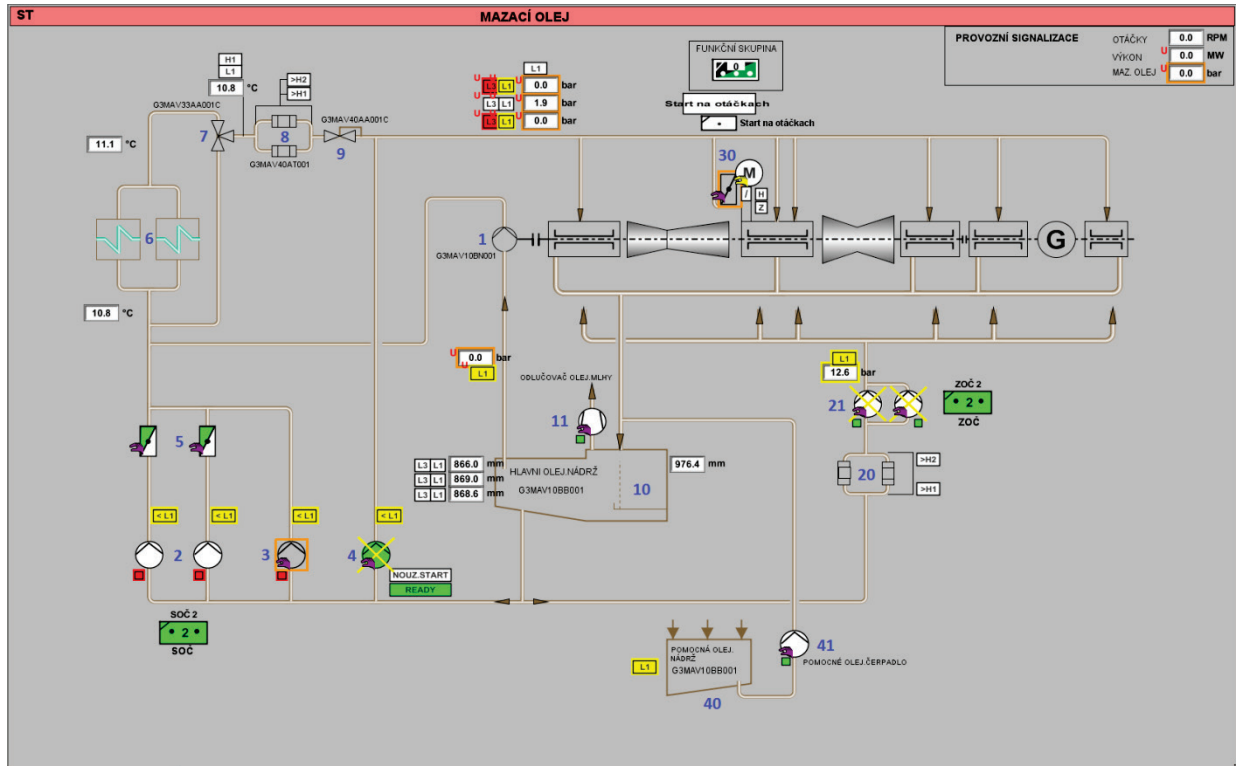
Systém chladicí vody bývá téměř vždy vybaven systémem pro kontinuální čištění kondenzátorových trubek, neboť účinnost povrchového kondenzátoru silně závisí na čistotě povrchu teplosměnných ploch. Kondenzátorové trubky mohou být znečišťovány usazováním kalů především na vnitřním povrchu, tj. na straně chladicí vody. Čistící zařízení pracuje na principu stálého čištění kondenzátorových trubek kuličkami ze speciální pěnové gumy, které jsou ve vstupní části kondenzátoru dávkovány do chladicí vody, pomocí níž jsou protlačeny trubkami, na výstupu jsou zachyceny na záchytných sítích a čerpadlem opět vráceny do oběhu, přičemž nečistoty jsou odplavovány spolu s výstupní chladicí vodou do chladicí věže nebo řeky. Toto čistící zařízení by mělo být v provozu po celou dobu provozu chladících čerpadel.

Systém chladicí vody musí být uveden do provozu jako první v rámci všech zařízení strojovny. Systém věžové chladicí vody je obvykle mimo rozsah dodávky společnosti DŠPW a proto jeho najíždění není v této bakalářské práci popisováno. Systém chladicí vody se zprovozní podle předpisu dodavatele čerpadel a armatur a podle příslušných algoritmů pro automatické i ruční ovládání z ovládací obrazovky (obrázek 5).



Obrázek 5 – Obrazovka chladicího okruhu [7]

3.2.2. Systém mazacího oleje



Obrázek 6 – Obrazovka systému mazacího oleje [6]

1 Hlavní olejové čerpadlo [HOČ]	10 Hlavní olejová nádrž [HON]
2 Spouštěcí olejová čerpadla [SOČ]	11 Ventilátor odsávání olejových par
3 Nouzové olejové čerpadlo (AC) [NOČ≈]	20 Filtr zvedacího oleje
4 Nouzové olejové čerpadlo (DC) [NOČ=]	21 Zvedací olejová čerpadla [ZOČ]
5 Uzavírací klapky na výtlaku SOČ	30 Natáčecí zařízení
6 Olejové chladiče	40 Pomocná olejová nádrž [PON]
7 Regulační ventil teploty	41 Pomocné olejové čerpadlo [POČ]
8 Filtr mazacího oleje	
9 Regulační ventil tlaku	

Systém mazacího oleje je z pohledu najíždění a provozu parní turbíny v podstatě nejdůležitější systém, neboť jeho úkolem je zabezpečení mazání a chlazení ložisek turbíny. Systém dále zajišťuje dodávku oleje do natáčecího zařízení a ložisek generátoru (případně i budiče). Zapojení systému mazacího oleje je patrné z obrázku 6.

Systém mazacího oleje musí zajišťovat za všech provozních stavů bezpečnou dodávku potřebného množství mazacího oleje o tlaku přibližně 150 ÷ 200 kPa(g) před ložiskovými stojany (hodnoty tlaku jsou pro olejový systém vždy uváděny jako přetlakové s ohledem na provozní přístroje, které jsou rovněž cejchovány tak, že 0 = atmosférický tlak (cca 750 mm Hg)). K zajištění dodávky mazacího oleje slouží vždy jedno nebo více olejových čerpadel, jejichž zapojení do systému se vždy odvíjí od konstrukce turbíny. Obvykle bývají jedno hlavní olejové čerpadlo poháněné rotorem turbíny (1), jedno nebo dvě spouštěcí olejová čerpadla (2) a jedno nebo dvě nouzová olejová čerpadla (3) (4). Jedno nouzové olejové čerpadlo je vždy poháněné stejnosměrným elektromotorem napájeným z akumulátorů.

U parních turbín s axiálním výstupem a v některých jiných případech, kdy není vhodné nebo možné z nějakých důvodů použití hlavního olejového čerpadla poháněného rotorem

turbíny, se jako hlavní olejová čerpadla použijí čerpadla poháněná elektromotory (v provedení 2x100% nebo 3x50%). V tomto případě tato čerpadla zastoupí i funkci spouštěcích olejových čerpadel. S tímto zapojením v následném popisu není uvažováno.

Pro počáteční vytvoření tlaku mazacího oleje slouží spouštěcí olejové čerpadlo (2), které zajišťuje dodávku mazacího oleje až do té doby, dokud nejsou dosaženy takové otáčky turbíny (přibližně 200 ot/min pod jmenovitými otáčkami turbíny), kdy je schopno převzít dodávku mazacího oleje hlavní olejové čerpadlo (1).

Bez mazání a chlazení ložisek by zcela jistě došlo k havárii turbíny, v jejímž důsledku by mohly vzniknout nejen obrovské materiální škody, ale i těžká až smrtelná zranění obsluhy či ostatních osob v okolí turbíny. Z tohoto důvodu jsou instalována v systému mazacího oleje nouzová olejová čerpadla (3) a (4), která jsou určena k zabezpečení dodávky potřebného množství oleje pro mazání a chlazení ložisek během nouzového odstavení turbosoustrojí, poruchy spouštěcích olejových čerpadel (2), ztráty tlaku mazacího oleje z jiného důvodu (např. porušení potrubí, atd.). Nejdůležitější z olejových čerpadel je nouzové olejové čerpadlo poháněné stejnosměrným elektromotorem (4) zajišťující dodávku oleje i v případě, že došlo k výpadku střídavého napájení (tzv. blackout). Nouzová olejová čerpadla startují automaticky při zapůsobení ochrany nízkého tlaku v systému mazacího oleje. Olej je z nouzového olejového čerpadla se stejnosměrným elektromotorem k ložiskům kvůli bezpečnosti zaveden přímo mimo chladiče (6) a filtr (8).

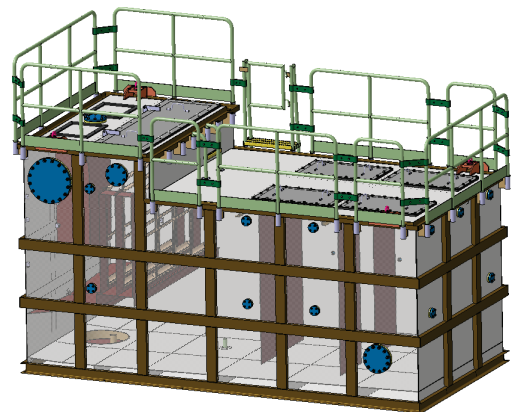
Automatickou regulaci teploty mazacího oleje zajišťuje termostatický regulační ventil (7), který směřováním teplého oleje z hlavní olejové nádrže (10) a ochlazeného oleje z jednoho ze dvou olejových chladičů (6) udržuje teplotu mazacího oleje v rozmezí 40÷45°C. Automatická regulace teploty je prováděna bez pomocného zdroje energie.

Automatickou regulaci tlaku mazacího oleje před vstupem do ložiskových stojanů na nastavené hodnotě zajišťuje v závislosti na konstrukci olejového systému buď redukční ventil (9), který omezuje množství přiváděného oleje do ložisek, nebo přepouštěcí ventil, který přebytečné množství oleje přepouští zpět do hlavní olejové nádrže. Tyto ventily se nastavují při prvním uvádění turbíny do provozu a následné seřizování není zpravidla nutné. Automatická regulace tlaku média na nastavenou hodnotu je prováděna také bez pomocného zdroje energie.

Do systému mazacího oleje je zapojen také duplexní filtr mazacího oleje (8), který je určen pro ochranu ložisek před poškozením pevnými nečistotami. Duplexní filtr mazacího oleje (8) má dvě komory (jednu provozní, druhou záložní), kdy při znečištění vložky v jedné komoře je možné za provozu průtok oleje přeměřovat do druhé komory s čistými filtračními vložkami pomocí dvoustupňového třicestného přepínacího kohoutu a znečištěné vložky se můžou vyčistit nebo vyměnit.

Součástí olejového systému je též hlavní olejová nádrž (10), ve které je shromažďován veškerý olej přicházející z ložiskových stojanů, a z které si nasávají olejová čerpadla olej dodávaný do systému. V hlavní olejové nádrži jsou též tři vyjímatelná síta, která provádí základní filtraci oleje vstupujícího do nádrže.

Na hlavní olejové nádrži jsou instalovány ventilátory olejových par (11), které jsou obvykle v provedení 2x100% (jeden ventilátor jako záložní) a slouží jednak k odsávání olejových a vodních par



Obrázek 7 – Hlavní olejová nádrž [2]

z prostorů ložiskových stojanů, odpadního olejového potrubí a hlavní olejové nádrže a jednak vytváří v celém olejovém systému mírný podtlak, který podporuje odtok oleje ze stojanů, omezuje úniky oleje přes těsnicí vložky ve stojanech, zabraňuje unikání olejových par do atmosféry. V neposlední řadě se pomocí odsávání odstraňuje voda z olejového systému, která zhoršuje kvalitu oleje. Z těchto důvodů je nutné, aby byl ventilátor při provozu systému mazacího oleje trvale v provozu.

3.2.2.1. Najetí systému mazacího oleje

Systém mazacího oleje je třeba spustit s dostatečným předstihem, aby byla zajištěna přiměřená teplota mazacího oleje pro spuštění natáčecího zařízení. K ohřevu mazacího oleje je možné podle aktuálního zapojení využít jeden z těchto způsobů:

- Škracením a přepouštěním oleje do hlavní olejové nádrže při provozu olejových čerpadel - tento způsob není příliš ekonomický a ohřev trvá poměrně dlouhou dobu.
- Ohřevem prostřednictvím elektrického ohříváku, který může být například součástí odstředivé čistící jednotky – tento způsob je ekonomičtější, ale doba ohřevu je závislá na výkonu elektrického ohříváku a ohřev opět trvá poměrně dlouhou dobu.
- Ohřevem oleje teplou vodou (kondenzátem) přivedenou do olejového chladiče (6) – nejrychlejší a neúčinnější způsob ohřevu mazacího oleje.

Před samotným najetím systému mazacího oleje musí být splněny následující podmínky:

- Hlavní olejová nádrž (10) je naplněna turbinovým olejem na provozní hladinu, kaly a voda ze dna nádrže byly odstraněny odkalením.
- Všechny ruční armatury jsou v požadovaných polohách.
- Veškerá zařízení v systému mazacího oleje jsou připravena k provozu dle předpisů dodavatelů těchto zařízení (provedena preventivní údržba a veškeré opravy) a veškeré práce v systému mazacího oleje jsou řádně ukončeny.
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření tlaků, teplot a hladin je aktivní a obsluha má informace o stavu jednotlivých zařízení (čerpadel, armatur, ventilátorů).
- Všechna zařízení v systému mazacího oleje jsou v automatickém režimu, tj. jsou připravena k provozu.

Samotné najetí se obvykle provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku mazacího oleje. Algoritmus tohoto funkčního celku zajistí, aby nedošlo k nedovoleným provozním stavům, např. k najetí spouštěcího olejového čerpadla do otevřeného výtlaku. Obecně (bez ohledu na automatické či ruční ovládání) lze postup najetí systému mazacího oleje popsat následovně:

- Kontrola uzavření uzavíracích klapek na výtlacích spouštěcích čerpadel (5), případně jejich uzavření.
- Zapnutí spouštěcího olejového čerpadla (2).
- Otevření klapek na výtlacích spouštěcích čerpadel (5) – otevírají se obě klapky, aby záložní SOČ bylo připraveno pro případný záskok.
- Zapnutí ventilátoru odsávání olejových par (11).

V tomto stavu je zajištěna dodávka mazacího oleje. Abychom mohli říci, že je systém mazacího oleje připraven k dalšímu najíždění, je nutné ještě ověřit připravenost nouzových

olejových čerpadel (3) a (4) k případnému záskoku. To se provede např. vypnutím spouštěcího olejového čerpadla (2) a kontrolou, zda od poklesu tlaku mazacího oleje na hodnotu ochrany došlo ke startu nouzových olejových čerpadel (3) a (4).

Pokud je dosaženo provozní teploty mazacího oleje, zprovozní se olejový chladič (6) (otevrou se armatury na vstupu a výstupu chladicí vody do chladiče) a provede se jeho odvzdušnění na vodní straně a překontroluje se odvzdušnění na olejové straně. Dále se překontroluje také odvzdušnění duplexního filtru (8).

3.2.3. Systém zvedacího oleje

Systém zvedací olej slouží pro přizvednutí rotorů turbíny a generátoru v ložiscích pro snížení tření při najíždění turbíny, během protáčení na natáčecím zařízení a během odstavování. Při nízkých otáčkách nedojde bez přizvednutí rotorů k vytvoření dostatečného olejového filmu v ložisku a bez odlehčení rotorů by natáčecí zařízení nebylo schopné rotory roztočit. Také by mohlo docházet ke zvýšenému opotřebením ložisek a tím snížení jejich životnosti.

Systém zvedacího oleje je zobrazen na obrázku 6. Zdrojem tlaku zvedacího oleje je jedno zvedací olejové čerpadlo (21), distribuci tohoto zvedacího oleje k jednotlivým ložiskům zajišťuje rozvaděč. Počet čerpadel je závislý podle aktuálního zapojení a velikosti turbíny, obvykle bývají u velkých parních turbín v provedení 2x100%, výjimečně 1x100%. Před každým ložiskem je instalován hydraulický blok zvedacího oleje, který obsahuje:

- Redukční ventil, kterým se nastavuje požadovaný tlak zvedacího oleje do jednotlivého ložiska tak, aby byl rotor v ložisku přizvednutý v rozmezí 0,03 ÷ 0,1 mm. Větší přizvednutí rotoru není žádoucí, aby se rotor v horní části neopíral o olejovou vložku.
- Měření tlaku, hodnoty tlaku se musí po nastavení zapsat a během provozu zvedacího olejového čerpadla kontrolovat. V případě změny tlaku je nutné provést kontrolu nastavení.
- Zpětný ventil, který zabraňuje zpětnému proudění oleje z ložiska do zvedacího olejového čerpadla, pokud není v provozu.

Sání oleje je provedeno přímo z hlavní olejové nádrže (10), což umožňuje provoz čerpadel zvedacího oleje i v době, kdy není v provozu systém mazacího oleje. V sání zvedacích olejových čerpadel (21) je instalován duplexní filtr zvedacího oleje (20), který je určen pro ochranu ložisek před poškozením pevnými nečistotami. Duplexní filtr zvedacího oleje (20) má dvě komory (jednu provozní, druhou záložní), kdy při znečištění vložky v jedné komoře je možné průtok oleje přeměřovat do druhé komory s čistými filtračními vložkami pomocí dvoustupňového třicestného přepínacího kohoutu a znečištěné vložky se mohou vyčistit nebo vyměnit. Toto se nechá udělat i za provozu, ale záložní filtrační vložka již musí být naplněna olejem, neboť v sání čerpadel může vznikat podtlak, takže záložní polovinu filtru není možné během provozu čerpadla naplnit a odvzdušnit.

3.2.3.1. Najetí systému zvedacího oleje

Najetí systému zvedacího oleje představuje v podstatě spuštění zvedacího olejového čerpadla, které se spouští těsně před startem natáčecího zařízení. Proto také automatické ovládání zvedacích olejových čerpadel je zařazeno do automatu natáčecího zařízení.

Před samotným startem zvedacího olejového čerpadla je nutné:

- Zkontrolovat hladinu oleje v hlavní olejové nádrži (10).

- Provéřit zda všechny ruční armatury jsou v požadovaných polohách.
- Provéřit zda jsou zvedací olejová čerpadla (21) připravena k provozu dle předpisu dodavatele a veškeré práce v systému zvedacího oleje jsou řádně ukončeny.
- Provéřit nastavení přepouštěcího ventilu a redukčních ventilů před jednotlivými ložisky – nastavuje se při prvním uvádění TG do provozu a po rozsáhlých údržbářských pracích. Následné nastavování není nutné a provádí se jen kontrola tlaků zvedacího oleje do jednotlivých ložisek.
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření tlaků je aktivní a obsluha má informace o stavu čerpadel.
- Zvedací olejová čerpadla (21) jsou v automatickém režimu, tj. jsou připravena k provozu.

Samotné najetí je popsáno v následující kapitole 3.2.4. a obvykle se provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku natáčecího zařízení.

3.2.4. Natáčecí zařízení turbíny

Natáčecí zařízení turbíny slouží k protáčení rotorů turbíny a generátoru před najížděním a po odstavení TG pro rovnoměrné chladnutí rotorů turbíny (nerovnoměrné chladnutí způsobí ohyb rotoru). Natáčecí zařízení musí být v provozu vždy, pokud do turbíny vniká pára, např. při zahlcování ucpávek turbíny ucpávkovou párou.

Natáčecí zařízení je umístěno na ložiskovém stojanu mezi turbinovými tělesy nebo na ložiskovém stojanu mezi turbínou a generátorem, kde svým pastorkem zabírá do ozubeného kola, které je součástí spojky některého z rotorů turbíny. Vlastní zasunutí pastorku do ozubeného kola se provádí prostřednictvím hydraulického servopohonu ovládaného elektromagnetem a je nutné, aby rotory byly během zasouvání v klidové poloze.

V současné době se používá u turbin ŠKODA pro plynulý start natáčecího zařízení frekvenční měnič, který zajišťuje pozvolné zvyšování otáček elektromotoru až do dosažení jeho jmenovitých otáček. Tento rozběh může trvat i dvě minuty.

3.2.4.1. Najetí natáčecího zařízení turbíny

Natáčecí zařízení se uvede do provozu současně se zahájením příprav k najetí bloku. Minimální doba protáčení před najížděním na prohřívací otáčky je stanovena na 2 hod. V případě, že by se jednalo o teplý start turbíny, tak je natáčecí zařízení již v provozu, neboť jeho odstavení je možné až při poklesu teploty kovu turbíny pod 100 °C.

Před samotným najetím natáčecího zařízení musí být splněny následující podmínky:

- Systém mazacího oleje je v provozu včetně připravenosti nouzových olejových čerpadel pro případný záskok a olej je ohřátý na minimálně 20 °C.
- Systém zvedacího oleje je připraven k provozu.
- Natáčecí zařízení včetně elektromotoru je připraveno k provozu dle předpisu dodavatele (provedena preventivní údržba a veškeré opravy)
- Je zajištěn přívod mazacího oleje do natáčecího zařízení
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření je aktivní a obsluha má informace o stavu elektromotoru a elektromagnetu natáčecího zařízení
- Elektromotor a elektromagnet natáčecího zařízení jsou v automatickém režimu, tj. jsou připraveny k provozu

Samotné najetí se obvykle provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku natáčecího zařízení. Algoritmus tohoto funkčního celku zajistí, aby nedošlo k nedovoleným provozním stavům, např. k zapnutí elektromotoru, pokud jsou rotory turbiny v pohybu. Ovládání je závislé na požadavcích provozovatele a také na jeho finančních možnostech. Obecně (bez ohledu na automatické či ruční ovládání) lze postup najetí natáčecího zařízení z klidové polohy popsat následovně:

- Start zvedacího olejového čerpadla.
- Indikace splnění podmínek pro start NZ - vypnutý motor NZ, je dostatečný tlak zvedacího a mazacího oleje, klidový stav rotorové soustavy (nulové otáčky TG po dobu 30 sekund).
- Impuls na elektromagnet.
- Prodleva 20 sekund nebo čekání na signál o zasunutí natáčecího zařízení do záběru.
- Řízený rozběh elektromotoru pomocí frekvenčního měniče.
- Zrušení impulsu na elektromagnet při otáčkách rotoru > 0 ot/min.
- Dosažení protáčecích otáček.

Rotory turbiny a generátoru se postupně roztáčí po rampě dané frekvenčním měničem. Do nastavené doby musí být dosaženy jmenovité protáčecí otáčky. Pokud není jmenovitých protáčecích otáček dosaženo, je nutné natáčecí zařízení odstavit a zjistit příčinu.

Během provozu natáčecího zařízení se kontroluje excentricita rotorů a vyhodnocuje se, zda některý z rotorů není ohnutý. Tato informace nám poslouží v průběhu najíždění turbiny na prohřívací otáčky.

3.2.5. Systém kondenzace

Systém kondenzace slouží k čerpání kondenzátu z povrchového kondenzátoru, který vznikne kondenzací výstupní (tzv. emisní) páry z NT dílu turbiny. Tento kondenzát je v povrchovém kondenzátoru shromažďován ve sběrači.

Kondenzát je ze sběrače povrchového kondenzátoru přečerpáván do napájecí nádrže prostřednictvím kondenzátních čerpadel. Kondenzátu v napájecí nádrži se říká napájecí voda, z které se následně vyrábí ve spalinovém kotli pára zaváděná opět do parní turbiny. Zapojení kondenzátního systému se opět může lišit. Obvykle bývají instalovány kondenzátní čerpadla v provedení 3x50% nebo 2x100%. Vždy jedno kondenzátní čerpadlo je jako rezervní pro případ poruchy provozního čerpadla.

Dále může být kondenzát přečerpávat ve dvou stupních. Tato varianta se aplikuje v případě, že je v trase kondenzátu instalována bloková úpravna kondenzátu. Vzhledem k tomu, že je napájecí nádrž obvykle na podlaží ve výšce více než 50 metrů, je zapotřebí vysokého tlaku na výtlačku kondenzátních čerpadel, aby mohl být kondenzát přečerpán. Bloková úpravna kondenzátu však není pro takto vysoký tlak dimenzována. Proto kondenzátní čerpadla 1.stupně nejdříve čerpají kondenzát do blokové úpravy kondenzátu a kondenzátní čerpadla 2.stupeň přečerpávají kondenzát z blokové úpravy kondenzátu do napájecí nádrže.

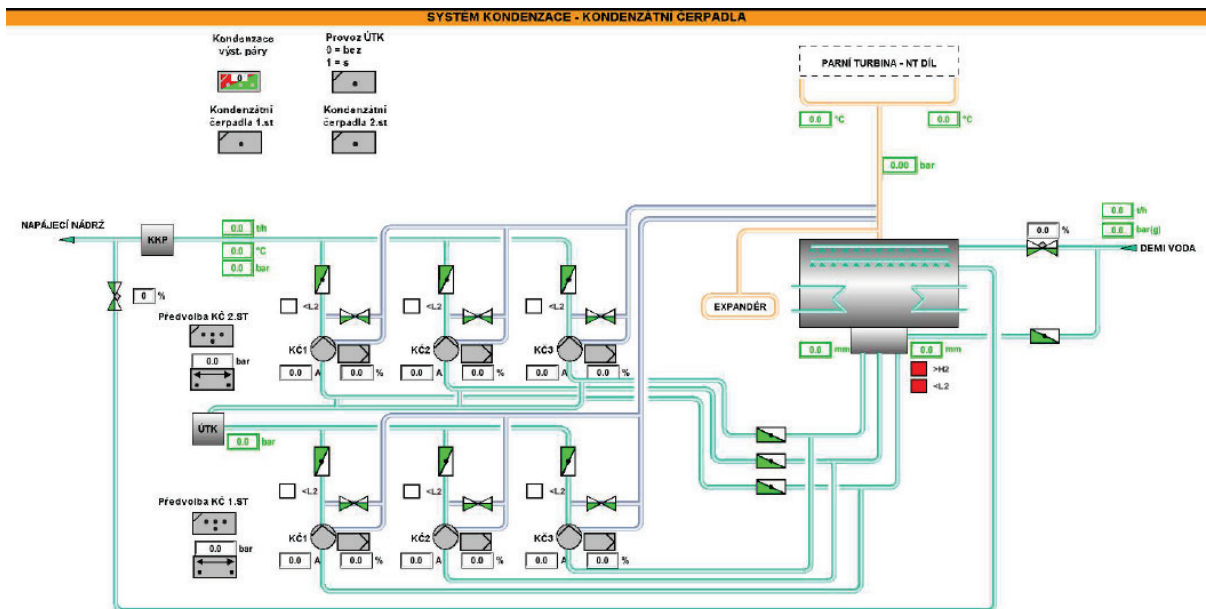
Systém kondenzace je dále vybavena také dalšími elektricky ovládanými armaturami, které zajišťují správnou funkci. Jedná se především o uzavírací armatury na výtlačku kondenzátních čerpadel, armatury pro odvodušnění výtlačku kondenzátních čerpadel a regulační armatury.

Minimální čerpané množství kondenzátu kondenzátními čerpadly zajišťuje trasa recirkulace. Regulační ventil instalovaný v této trase přepouští kondenzát z výtlačku kondenzátních čerpadel 2. stupně zpět do povrchového kondenzátoru tak, aby byl zajištěn minimální průtok kondenzátu přes kondenzátní čerpadla a minimální průtok kondenzátu přes kondenzátor komínkové páry (KKP).

Další regulační ventil může sloužit k regulaci hladiny v hlavním kondenzátoru nebo k regulaci tlaku na výtlačku kondenzátních čerpadel.

V některých případech jsou kondenzátní čerpadla řízena frekvenčními měniči, což umožňuje optimální pracovní režim při měnících se provozních parametrech. Zároveň je možné prostřednictvím kondenzátních čerpadel řízených frekvenčními měniči zajišťovat regulaci hladiny v povrchovém kondenzátoru, hladiny v napájecí nádrži, nebo tlaku na výtlačku čerpadla.

Kondenzát z výtlačku kondenzátních čerpadel je dále využíván ve svlažovačích např. v systému ucpávkové a komínkové páry, přepouštěcích stanicích, nebo pro svlažování výstupu z NT dílu turbíny.



Obrázek 8 – Obrazovka systému kondenzace [7]

3.2.5.1. Najetí systému kondenzace

Systém kondenzace se uvádí do provozu v době, kdy je nutné zajistit kondenzát pro potřeby vstříků, je nutné odčerpat kondenzát ze sběrače povrchového kondenzátoru, nebo je nutné zajistit chlazení kondenzátoru komínkové páry, případně jiného tepelného výměníku, který kondenzát čerpaný kondenzátními čerpadly ochlazuje.

Před samotným najetím systému kondenzace musí být splněny následující podmínky:

- Všechny ruční armatury jsou v požadovaných polohách.
- Veškerá zařízení v systému kondenzace jsou připravena k provozu dle předpisů dodavatelů těchto zařízení (provedena preventivní údržba a veškeré opravy) a veškeré práce v systému kondenzace jsou řádně ukončeny.
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření tlaků, teplot a hladin je aktivní a obsluha má informace o stavu jednotlivých zařízení (čerpadel, armatur).

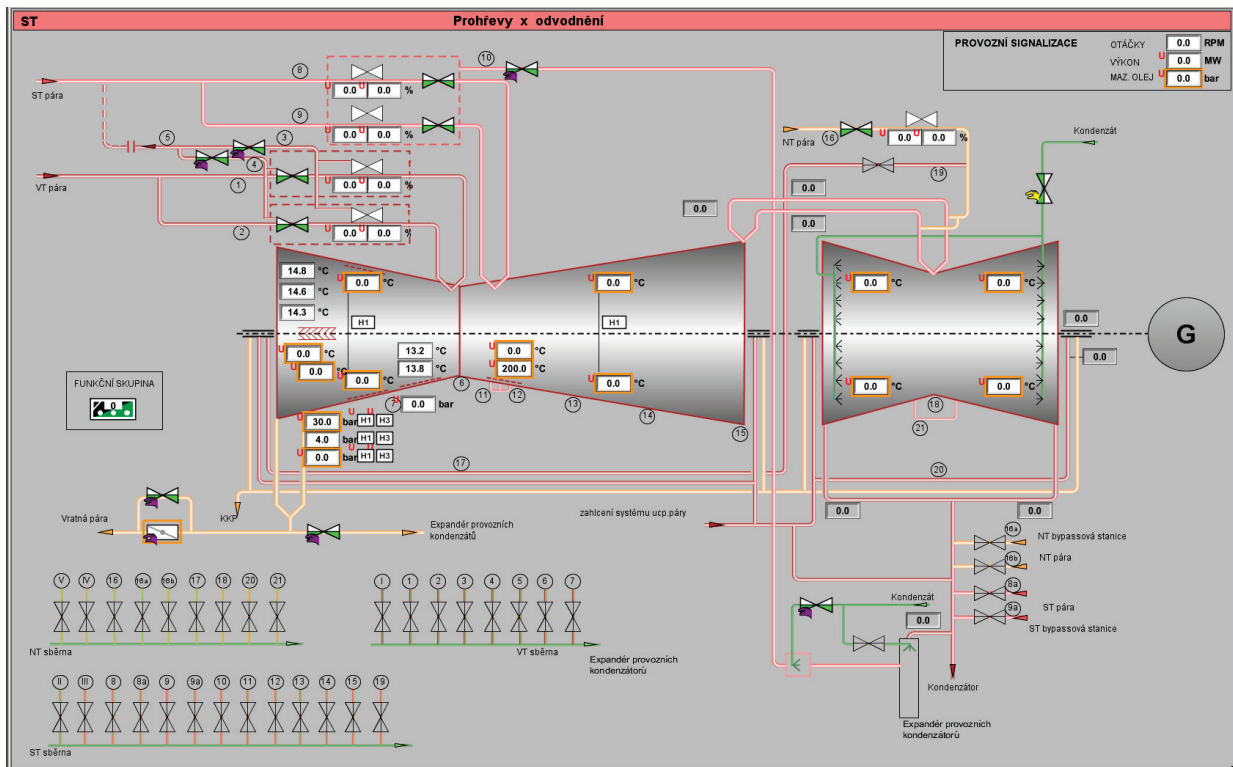
- Systém chladicí věžové vody je v provozu.
- Systém demivody pro doplňování kondenzátu do hlavního kondenzátoru je v provozu.
- Všechna zařízení v systému kondenzace jsou v automatickém režimu, tj. jsou připravena k provozu.
- Hladina kondenzátu v povrchovém kondenzátoru je vyšší než minimální.
- Blokova úpravna kondenzátu (je-li instalována) je připravena pro provoz.

Samotné najetí se obvykle provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku systému kondenzace. Algoritmus tohoto funkčního celku zajistí, aby nedošlo k nedovoleným provozním stavům, např. k najetí kondenzátních čerpadel do otevřeného výtlaku. Obecně (bez ohledu na automatické či ruční ovládání) lze postup najetí systému kondenzace popsat následovně:

- Kontrola uzavření uzavíracích klapek na výtlacích kondenzátních čerpadel, případně jejich uzavření
- Zajištění odvodu sacího potrubí kondenzátních čerpadel
- Zapnutí kondenzátního čerpadla 1. a 2. stupně
- Otevření klapek na výtlacích kondenzátních čerpadel
- Uzavření armatur v odvodu sacího potrubí kondenzátních čerpadel

V tomto stavu je zajištěn průtok kondenzátu přes blokova úpravna kondenzátu, kondenzát pro potřeby vstříků a je zajištěno odčerpávání kondenzátu z povrchového kondenzátoru. Abychom mohli říci, že je systém kondenzace zcela najetý, je nutné zkontrolovat správnou funkci a nastavení jednotlivých regulací, jako jsou například regulace hladiny ve sběrači povrchového kondenzátoru, regulace minimálního čerpaného množství kondenzátu kondenzátními čerpadly a případně další regulace (závisí na aktuálním zapojení dle projektu).

3.2.6. Systém odvodnění

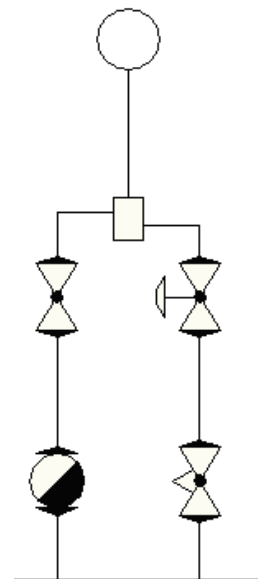


Obrázek 9 – Obrazovka systému odvodnění [6]

Správně navržený a provedený odvodňovací systém má značný vliv na bezpečný provoz. Selhání odvodňovacího systému by mohlo mít za následek i havárii turbíny. Spolehlivá funkce odvodnění vyžaduje dobrou údržbu a pravidelnou kontrolu během provozu.

Odvodnění je svedeno do sběrů odstupňovaných podle tlaku v příslušném odvodňovaném místě. Sběrny jsou potrubím propojeny s expanderem provozních kondenzátů, který slouží pro uvolnění páry z přiváděných kondenzátů.

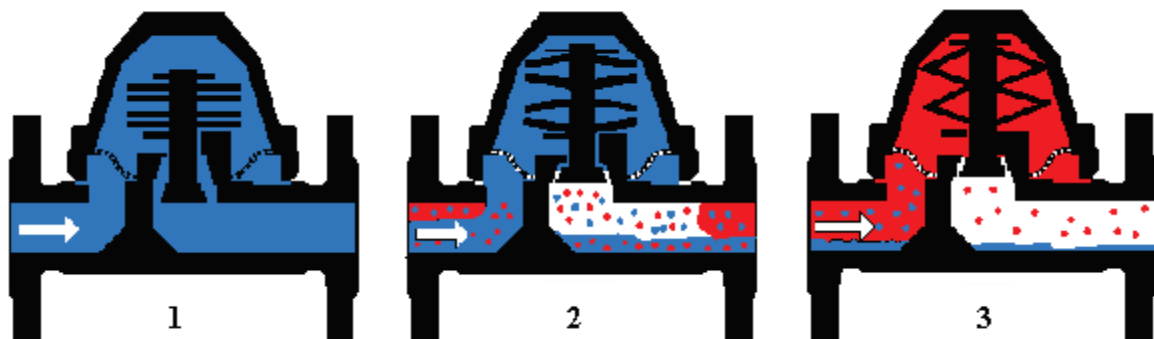
Trasy odvodnění vedoucích do sběrů jsou opatřeny armaturami a odvaděči kondenzátu, nejčastěji GESTRA. Za normálního provozu je odvodňování zajišťováno automatickými odvaděči kondenzátu GESTRA umístěnými za ručními uzavíracími armaturami. Tyto automatické odvaděče jsou opatřeny obtoky, které jsou při normálním provozu uzavřeny. Obtoky jsou vybaveny buď elektricky nebo pneumaticky ovládanými uzavíracími ventily, za nimiž jsou umístěny ruční ventily s regulační kuželkou, které slouží k nastavení optimální velikosti průtoku kondenzátu/páry – viz obrázek 10. Nastavení těchto ručních ventilů s regulační kuželkou se provede po prvním uvedení TG do provozu a další nastavování není zpravidla nutné (s výjimkou najíždění po dlouhodobých odstávkách).



Obrázek 10 – Zapojení odvodnění [2]

Hlavní částí odvaděčů kondenzátu GESTRA jsou termodynamické bimetalové ventily, které přímo řídí polohu kuželky a regulují odtok kondenzátu zcela automaticky. Termodynamický regulátor pracuje na principu bimetalových destiček vyrobených z feritické a austenitické oceli. Tyto destičky se deformují následkem teploty protékajícího média. Za studeného stavu jsou destičky rovné, odvaděč je naplno otevřen, studený kondenzát a vzduch

mohou procházet (stav 1 na obrázku 11). Vzárustem tlaku média v odvaděči roste síla na kuželku, která se snaží odvodnění otevřít. Vlivem teploty se ale destičky začínají deformovat. Velikost jejich deformace odpovídá velikosti zdvihu kuželky ventilu. Vzniklá deformační síla působí nahoru proti směru tlaku média a snaží se odvodnění uzavřít (stav 2 na obrázku 11). Poloha kuželky je dána vzájemným poměrem sil od teploty a tlaku protékajícího média. Charakteristika regulátoru je taková, že poloha kuželky ventilu sleduje křivku sytosti vodní páry. Regulátor je seřízen tak, aby ventil začal otevírat cca 10 °C pod křivkou sytosti. Teplota nad tímto limitem znamená, že jde o páru a ventil je uzavřen (stav 3 na obrázku 11). Opačně je-li teplota pod tímto limitem, ventil otevírá a kondenzát odtéká do sběrně. Konstrukce ventilů je zároveň navržena tak, že pracují jako zpětné klapky. To znamená, že zabráňují zpětnému proudění média do odvodňovaného systému v případě vzniklého přetlaku ve sběrně. Odvaděče jsou rovněž vybaveny sítí, která chrání jejich mechanismus před poškozením nečistotami. Po odstavení turbíny se odvaděče automaticky otevírají v závislosti na poklesu tlaku a teploty.



Obrázek 11 – Funkce automatického odvaděče kondenzátu [2]

3.2.6.1. Najetí systému odvodnění

Jak bylo uvedeno v úvodu, najíždění v průběhu prvních zkoušek turbíny parou, stejně jako po delších odstávkách turbosoustrojí, není v této bakalářské práci popisována.

Manipulace s uzavíracími ventily v obtoku odvaděčů kondenzátu je automaticky prováděno dle algoritmu jednotlivých ventilů. Obecně lze říci, že uzavírací ventily v obtoku jsou automaticky otevírány pouze preventivně, neboť odvaděče kondenzátu by měly být schopny odvést veškerý kondenzát během jakéhokoliv provozu. Takže uzavírací ventil v obtoku odvaděčů kondenzátu se automaticky otevírají pouze v době prohřevu ze studeného stavu, čímž je bezpečně zajištěno odvádění zvýšeného množství kondenzátu a zároveň průtok páry přes odvodnění pomáhá k lepšímu prohřevu.

Provozní personál má povinnost občas, zejména při najíždění, kontrolovat správnou funkci odvaděčů kondenzátu kontrolou jejich teploty. Na výstupu z odvaděče kondenzátu je zpravidla teplota menší než 60°C. Neprůchodnost odvodňovače lze odhadnout podle toho, že je „studený“. Naopak špatně seřízený nebo poškozený odvodňovač lze identifikovat podle vysoké teploty na výstupu. Ventily v obtocích zde potom slouží pouze v případech, kdy je podezření, že automatické odvodňovače nepracují spolehlivě.

Uzavírací armatury v obtoku odvaděčů kondenzátu mohou být trvale v automatickém režimu i během odstávky a být tak připraveny na následné najíždění. Je však nutné zajistit, aby do povrchového kondenzátoru turbíny nevnikala pára, pokud přes něj není zajištěn průtok

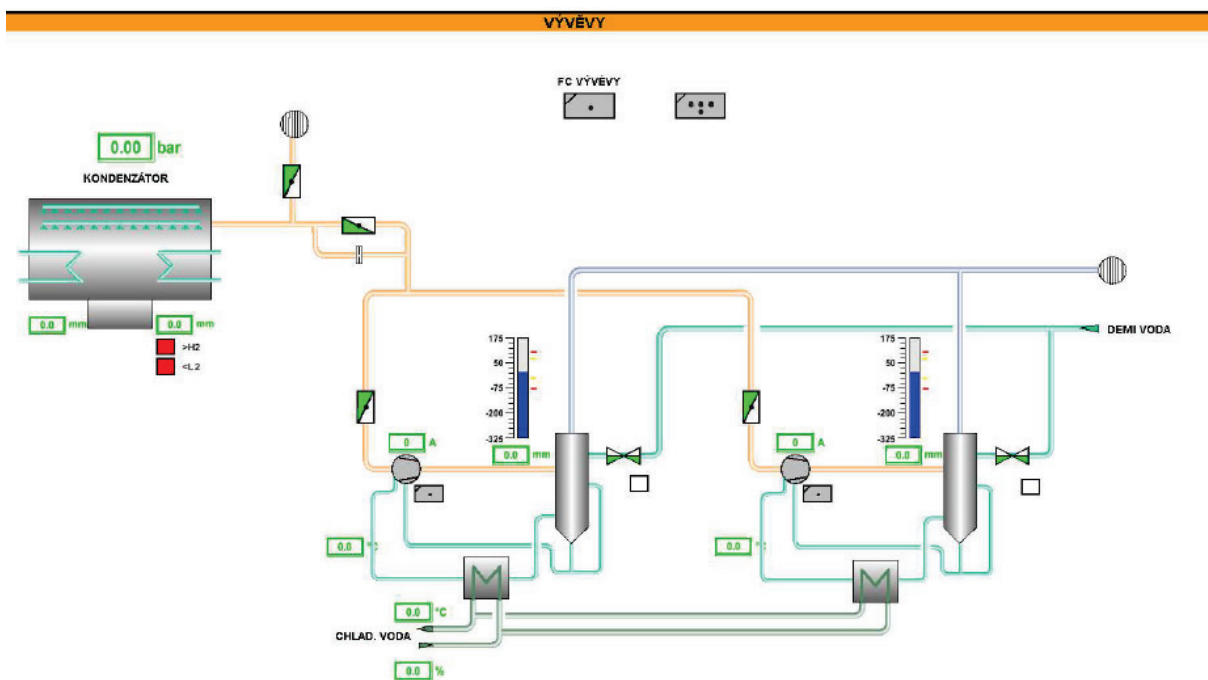
chladicí vody a zároveň pokud nejsou v provozu vývěvy, neboť hrozí natlakování povrchového kondenzátoru a protržení pojistných membrán umístěných na NT tělese turbíny.

3.2.7. Systém evakuace

Pro správnou funkci povrchového kondenzátoru a dodržení projektované účinnosti turbíny je nutné trvale odsávat z parního prostoru povrchového kondenzátoru vzduch a nezkondenzovatelné plyny. Vzduch, který vniká do vakuového systému netěsnostmi nebo parou způsobuje značné zhoršení přestupního součinitele tepla na teplosměnných plochách hlavního kondenzátoru.

Pro počáteční vytvoření vakua v hlavním kondenzátoru, a aby bylo možné udržet předepsanou hladinu vakua v kondenzátoru, jsou v systému instalovány vývěvy, nejčastěji v provedení 2x100%, tj. jedna vývěva je jako rezervní pro případ poruchy provozní vývěvy. Nejčastěji se používají evakuační stanice s vodokružnými vývěvami (obrázek 12), ale v některých případech se používají též parní vývěvy. Po počátečním vytvoření vakua v hlavním kondenzátoru (ke kterému se obvykle používají obě vývěvy) a během provozu TG je provozována pouze jedna evakuační stanice, která odsává z kondenzátoru nezkondenzovatelné plyny resp. směs páry a plynů, které se dostávají do kondenzátorního prostoru netěsnostmi nebo jsou obsaženy v páře.

Na obrázku 12 je jako příklad zobrazena evakuační stanice instalována v elektrárně Počerady. Detailní popis funkce evakuační stanice není předmětem této bakalářské práce.



Obrázek 12 – Obrazovka vodokružných vývěv [7]

Ve vakuovém systému je dále umístěna uzavírací armatura (tzv. rušič vakua), která slouží pro k zavzdušnění prostoru povrchového kondenzátoru, tím se zvětší odpor vzduchu na lopatky turbíny a dojde ke zkrácení doby doběhu turbíny na nulové otáčky. Během provozu vývěv je klapka rušiče vakua v uzavřené poloze. Zavzdušnění se provádí ručním impulsem z blokové dozorny podle rozhodnutí obsluhy (např. při zásahu ochrany teplota ložisek, ztráta tlaku mazacího oleje,...) nebo automaticky od ochrany TG požár. Současně s otevřením klapky rušiče vakua se odstavují vývěvy.

Vzhledem k tomu, že povrchový kondenzátor, který tvoří převážnou část vakuového systému, není dimenzován na přetlak, musí být povrchový kondenzátor jištěn proti nežádoucímu stoupnutí tlaku, které by mohlo vést k jeho destrukci. Proto je povrchový kondenzátor jištěn pojistnými membránami umístěnými ve svršku výstupní části NT turbínového tělesa. K protržení pojistných membrán dojde při tlaku cca 150kPa v povrchovém kondenzátoru.

3.2.7.1. Najetí systému evakuace

Systém evakuace se uvádí do provozu v době, kdy je pravděpodobné, že bude do vakuového systému vnikat pára. Zpočátku by sice docházelo ke kondenzaci páry v povrchovém kondenzátoru a tím i k vytvoření mírného podtlaku, ale jak by se nezkondenzovatelné plyny v povrchovém kondenzátoru hromadily, mohlo by dojít k nárůstu tlaku až na hodnotu, kdy dochází k protržení pojistných membrán umístěných na NT dílu turbíny.

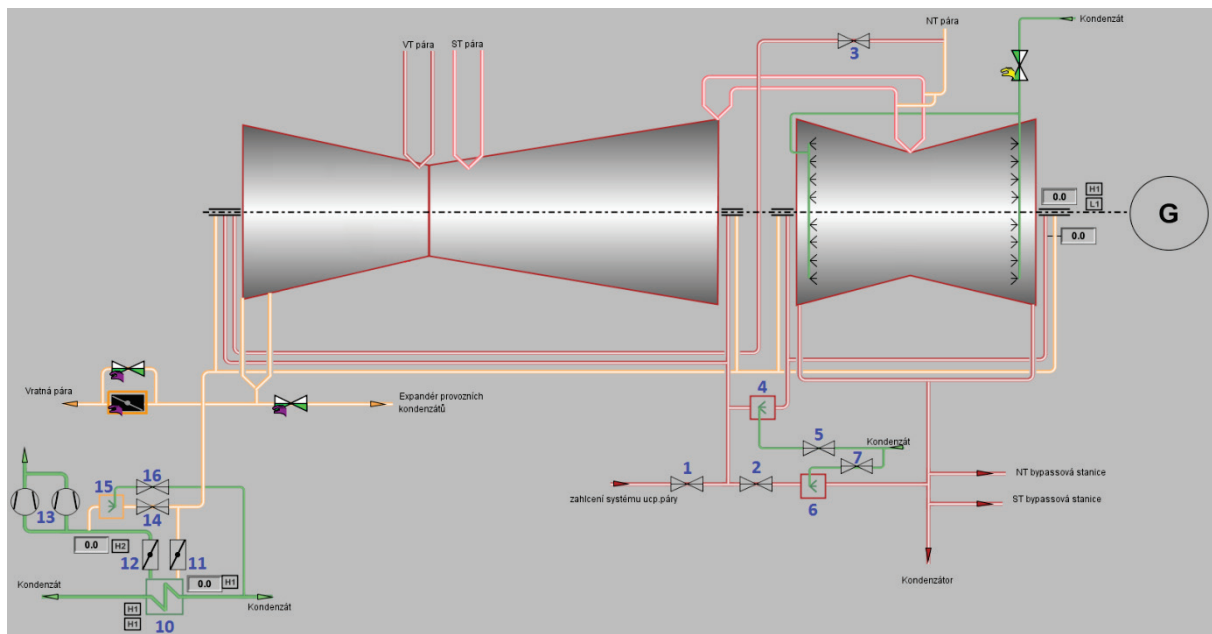
Před samotným najetím systému evakuace musí být splněny následující podmínky:

- Všechny ruční armatury jsou v požadovaných polohách.
- Vývěvy jsou připraveny k provozu dle předpisu dodavatele (provedena preventivní údržba a veškeré opravy) a veškeré práce v systému evakuace jsou řádně ukončeny.
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření tlaků, teplot a hladin je aktivní a obsluha má informace o stavu jednotlivých zařízení (vývěv, armatur).
- Systém chladící věžové vody je v provozu.
- Všechna zařízení v systému evakuace jsou v automatickém režimu, tj. jsou připravena k provozu.

Samotné najetí se obvykle provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku systému evakuace. Algoritmus tohoto funkčního celku zajistí, aby nedošlo k nedovoleným provozním stavům. Vzhledem k tomu, že použité vývěvy mohou být různé, nelze postup uvedení systému evakuace obecně popsat. V každém případě je nutné uzavřít armaturu rušiče vakua, která je v systému evakuace instalována vždy.

Proto, aby bylo možné dosáhnout předepsané hloubky vakua, je nutné zabránit vnikání vzduchu do systému evakuace přes ucpávky turbíny. K tomu slouží systém komínkové a ucpávkové páry, který je popsán v následující kapitole 3.2.8.

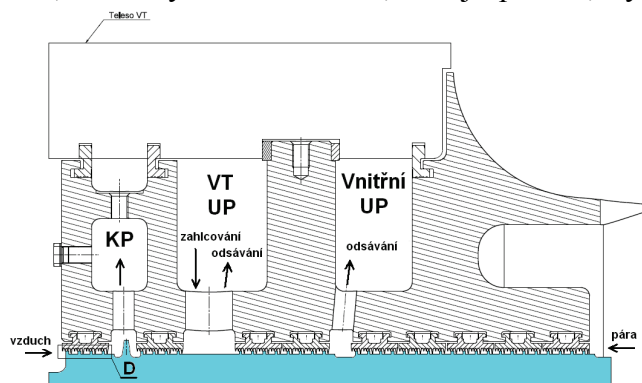
3.2.8. Systém komínkové a ucpávkové páry



Obrázek 13 – Zapojení systému komínkové a ucpávkové páry [6]

1 Zahlcovací regulační ventil ucpávkové páry	10 Kondenzátor komínkové páry [KKP]
2 Odsávací regulační ventil ucpávkové páry	11 Uzavírací klapka na vstupu páry do KKP
3 Odsávací uz. ventil ucpávkové páry do NT dílu	12 Uzavírací klapka na výstupu z KKP
4 Svlačovač ucpávkové páry do ucpávek NT dílu	13 Ventilátory komínkové páry
5 Regulační ventil teploty ucp. páry do NT dílu	14 Nouzové odsávání komínkové páry
6 Svlačovač odsávané ucpávkové páry	15 Svlačování komínkové páry v nouzové trase
7 Uzavírací ventil svlačování odsávané ucp. páry	16 Uzavírací ventil svlačování komínkové páry

Tento systém slouží k zabránění úniku páry z turbíny nebo vnikání vzduchu kolem hřídele do turbíny přes rotorové ucpávky. Pára, která by unikala z částí, kde je přetlak, by pronikala přes ucpávky do ložiskových stojanů a zhoršovala by kvalitu oleje (zvýšený obsah vody v oleji). Vzduch, který by vnikal do turbíny v místech, kde je podtlak, by zvyšoval objem plynů v páře, které by zhoršovaly vakuum v hlavním kondenzátoru a podporovaly by vznik koroze. Proto spolehlivý provoz systému ucpávkové a komínkové páry má velký význam pro spolehlivý provoz celého turbosoustrojí.



Obrázek 14 – Ilustrační obrázek přední ucpávky [2]

Jak je vidět na obrázku 13 a na obrázku 14, labyrintové ucpávky turbíny jsou uspořádány do sekcí podle klesajícího tlaku páry směrem ven z těles. Přední ucpávka VT/ST dílu je rozdělena na tři tlakové sekce (viz obrázek 14), zadní ucpávka VT/ST dílu a ucpávky NT dílu mají pouze dvě sekce. Pára z první sekce přední ucpávky VT/ST dílu tvoří tzv. vnitřní okruh ucpávkové páry a během provozu je tato pára trvale odsávána přes uzavírací ventil (3) do převáděcího potrubí mezi VT/ST dílem a NT dílem. Tím je tato odsávaná pára lépe ekonomicky využita, než kdyby byla odsávána až z druhé sekce.

Druhá sekce přední ucpávky VT/ST dílu a první sekce zadní ucpávky VT/ST dílu a ucpávek NT dílu jsou vzájemně propojeny a tvoří tzv. ucpávkový okruh s regulovaným tlakem. Jedná se o ucpávkový okruh s regulovaným tlakem pomocí dvou regulačních ventilů. První regulační ventil (1) slouží pro zahlcování ucpávkového okruhu parou z parní sběrný nebo jiného zdroje o dostatečných parametrech v době najíždění a provozu na nízkém výkonu, druhý regulační ventil (2) slouží pro odsávání přebytečné páry, která projde přes labyrinty z vnitřního ucpávkového okruhu a z výstupu VT/ST dílu během provozu. Tlak je těmito ventily regulovaný jejich vzájemnou vazbou na hodnotě vyšší než atmosférický (cca o 2 kPa). Ucpávky VT/ST dílu jsou až do dosažení přetlaku ve VT/ST dílu zahlcované, po dosažení vyššího výkonu, kdy se zvýší tlak ve VT/ST tělese, je přebytečná pára nejprve využita pro zahlcování ucpávek NT dílu, pokud je už této odsávané páry přebytek, odsává se přes regulační ventil (2) a svažovač (6) do povrchového kondenzátoru. Do svažovače je přiváděn kondenzát z výtlaku kondenzátních čerpadel přes uzavírací ventil (7). Přechod ze zahlcování na odsávání je závislý na kvalitě labyrintových ucpávek, resp. jaká je vůle mezi rotorem a statorem. Čím jsou kvalitnější labyrintové ucpávky, tím je méně odsávané páry (odsávání do povrchového kondenzátoru při vyšším výkonu TG).

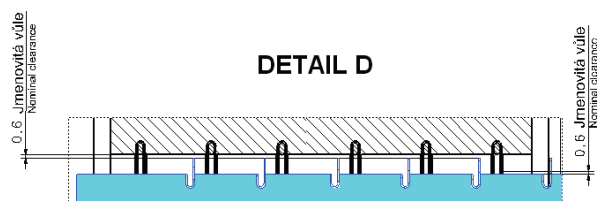
Vzhledem k tomu, že ucpávková pára odsávaná z ucpávek VT/ST dílu dosahuje takové teploty, která je pro zahlčení ucpávek NT dílu příliš vysoká, je tato pára ochlazována ve svažovači (4). Do tohoto svažovače je řízeně přiváděn kondenzát z výtlaku kondenzátních čerpadel přes regulační ventil (5) tak, aby teplota ucpávkové páry v ucpávkách NT dílu nepřekročila cca 180°C (obvyklá hodnota).

Vnější sekce všech ucpávek, které jsou již ve styku s atmosférou, jsou vzájemně propojeny a tvoří tzv. komínkový okruh. Tento okruh zabraňuje úniku páry z ucpávek turbíny do strojovny a případnému vnikání páry do ložiskových stojanů. Toho se dosáhne tím, že je v komínkovém okruhu udržován mírný podtlak (cca 2 kPa), čímž je z vnější strany přisáván atmosférický vzduch a z vnitřní strany ucpávková pára – viz obrázek 14. Vzniklá parovzdušná směs, které se říká komínková pára (KP), je odváděna přes uzavírací klapku (11) do kondenzátoru komínkových par (KKP) (10), kde pára kondenzuje. Zbytek nezkondenzovaných plynů a vzduchu je odsáván přes uzavírací klapku (12) jedním ze dvou ventilátorů komínkové páry (13), který udržuje v KKP a celém okruhu komínkové páry mírný podtlak. Druhý ventilátor slouží jako 100% záloha.

V případě poruchy KKP (dosažení poruchové hladiny) dojde k odstavení KKP (10) a parovzdušná směs je vedena nouzovou trasou přes uzavírací ventil (14) a svažovač (15), kde se komínková pára ochladí a odtud se odsává jedním z ventilátorů (13) do atmosféry. Do svažovače je přiváděn kondenzát z výtlaku kondenzátních čerpadel přes uzavírací ventil (16).

3.2.8.1. Popis labyrintových ucpávek

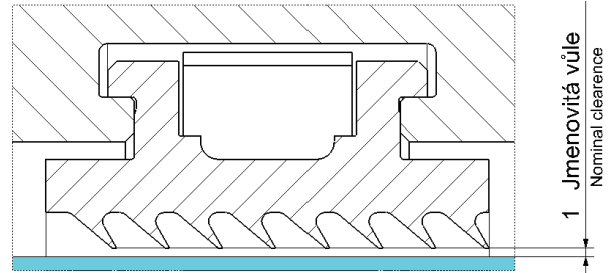
Těsnění VT/ST rotoru turbíny v tělese je provedeno bezdotykovými labyrintovými ucpávkami, přes které uniká pára. Labyrintové kroužky jsou umístěny v kruhových drážkách ucpávkových těles, která jsou centrována a namontována ve VT/ST tělese turbíny. Labyrintové kroužky mohou být buď s výkružky a nákružky nebo s natemovanými břity a většinou jsou po obvodě rozděleny do šesti dílů. Labyrintové kroužky jsou přitlačovány do pracovní polohy tlakem páry a silou pružin. Konstrukce umožňuje odskočení labyrintových kroužků v případě dotyku



Obrázek 15 – Labyrintová ucpávka - pravý labyrint [2]

s rotorem, čímž se minimalizuje poškození rotorových i statorových částí ucpávky. Břity labyrintů jsou umístěny proti břitům na povrchu příslušné partie rotoru čímž vytváří tzv. pravý labyrint (obrázek 15).

U ucpávek NT dílu turbíny, kde jsou větší relativní posuvy mezi statorem a rotorem, se většinou používají nepravé labyrinty - stejně vysoké břity těsní proti rotoru (obrázek 16).



Obrázek 16 – Labyrintová ucpávka - nepravý labyrint [2]

3.2.8.2. Najetí systému komínkové a ucpávkové páry

Systém komínkové a ucpávkové páry se uvádí do provozu těsně po spuštění systému evakuace. Především v případě, že jsou tělesa turbíny v teplém stavu, je nežádoucí provozovat vývěvy bez zahlcení ucpávek, neboť se přes ucpávky dostává do turbíny studený vzduch ze strojovny, čímž může docházet k nerovnoměrnému vychlazování těles turbíny.

Naopak je nežádoucí také zahlcovat ucpávky turbíny v případě, že vývěvy nejsou v provozu, neboť v krajním případě by mohlo dojít k natlakování vakuového systému a k následnému poškození pojistných membrán umístěných na NT dílu turbíny.

Před samotným najetím systému komínkové a ucpávkové páry musí být splněny následující podmínky:

- Všechny ruční armatury jsou v požadovaných polohách.
- Veškerá zařízení v systému komínkové a ucpávkové páry jsou připravena k provozu dle předpisů dodavatelů těchto zařízení (provedena preventivní údržba a veškeré opravy) a veškeré práce v systému komínkové a ucpávkové páry jsou řádně ukončeny.
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření tlaků, teplot a hladin je aktivní a obsluha má informace o stavu jednotlivých zařízení (ventilátorů, armatur).
- Je zajištěn dostatečný průtok kondenzátu přes KKP (10).
- Všechna zařízení v systému komínkové a ucpávkové páry jsou v automatickém režimu, tj. jsou připravena k provozu.
- Je zajištěna pára o dostatečných parametrech pro zahlcování ucpávkového okruhu parou.
- Odvodnění systému komínkové a ucpávkové páry je připraveno.

Samotné najetí se obvykle provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku systému komínkové páry a pro start systému ucpávkové páry. Algoritmy těchto funkčních celků zajistí, aby nedošlo k nedovoleným provozním stavům. Obecně (bez ohledu na automatické či ruční ovládání) lze postup najetí systému komínkové a ucpávkové páry popsat následovně:

- Zapne se předvolený ventilátor komínkové páry (13).
- Otevřou se uzavírací klapky (11) a (12) v trase komínkové páry.
- Ještě před zahájením automatické regulace tlaku v regulovaném okruhu ucpávkové páry se doporučuje postupné ruční otevírání zahlcovacího regulačního

ventilu (1) pro prohřátí potrubní trasy trendem až do dosažení atmosférického tlaku v ucpávkách.

- Zařadit regulační ventily (1) a (2) v regulovaném okruhu ucpávkové páry do automatické regulace a udržovat v tomto okruhu mírný přetlak.

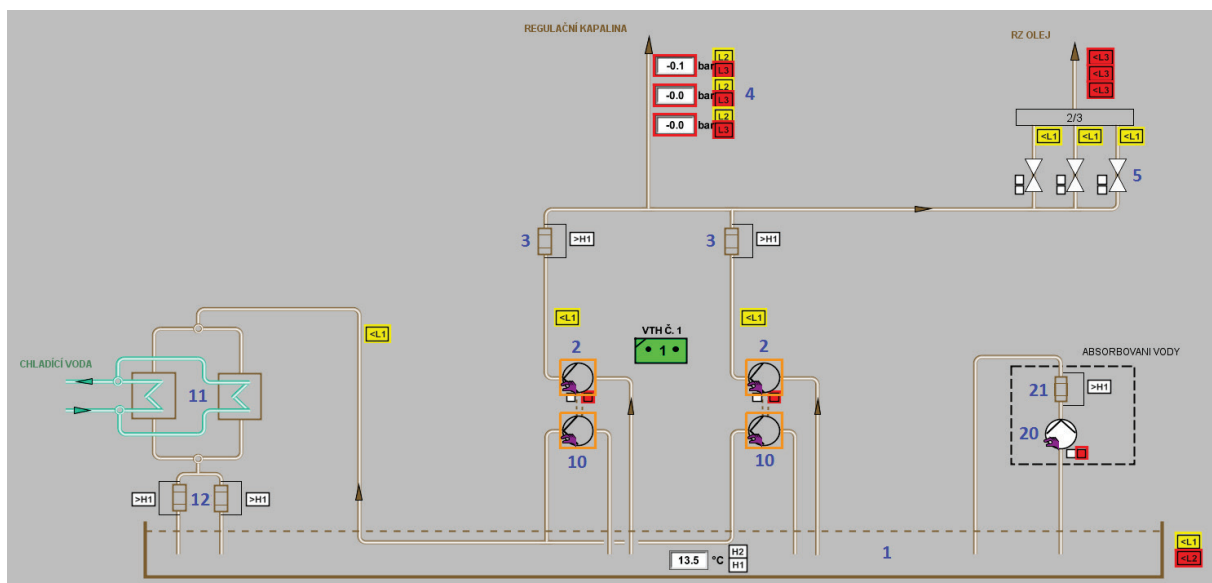
Tím je systém komínkové a ucpávkové páry připraven k provozu. Další manipulace se provádějí po přifázování TG k síti, kdy se otevírá uzavírací ventil (3), přes který je odsávána pára z vnitřního okruhu ucpávkové páry do převáděcího potrubí mezi VT/ST dílem a NT dílem.

Při zvyšujícím se výkonu turbíny a tím pádem zvyšujícím se tlaku v ucpávkách VT/ST dílu přechází do regulace regulační ventil (5) regulující teplotu ucpávkové páry v ucpávkách NT dílu prostřednictvím svažovače (4). Teplota páry v ucpávkách NT dílu je regulována přibližně na 180°C. Dále dochází k přivírání regulačního ventilu (1) a po jeho uzavření přechází do regulace regulační ventil (2), který odsává přebytečnou páru do povrchového kondenzátoru. V tomto případě zároveň otevírá také uzavírací ventil (7) přivádějící kondenzát z výtlačku kondenzátních čerpadel do svažovače (6) pro ochlazení odsávané páry.

3.2.9. Systém vysokotlaké hydrauliky

Systém vysokotlaké hydrauliky je poměrně složitý systém, jehož detailní popis by mohl být náplní celé bakalářské práce. Přesto se pokusím ty nejzákladnější údaje shrnout do několika stran. Systém vysokotlaké hydrauliky můžeme rozdělit na tři části, hydraulický agregát, hydraulický blok výběru 2ze3 a hydraulické bloky ovládající jednotlivé servopohony rychlozávěrných a regulačních ventilů turbíny a klapky v přívodu NT páry do turbíny.

První, nejzákladnější částí, je hydraulický agregát, který slouží jako zdroj hydraulické kapaliny pro hydraulický blok výběru 2ze3 a pro ovládání jednotlivých servopohonů.



Obrázek 17 – Obrazovka hydraulického agregátu [6]

1 Nádrž VT hydraulického agregátu	10 Čerpadlo chlazení hydraulické kapaliny
2 Čerpadlo vysokotlaké regulační kapaliny	11 Chladič hydraulické kapaliny
3 Filtr regulační kapaliny	12 Filtr hydraulické kapaliny
4 Měření tlaku regulační kapaliny	20 Čerpadlo separátoru vlhkosti
5 Blok hydraulického výběru 2 ze 3	21 Filtr pro absorbování vlhkosti

Hlavní části hydraulického agregátu jsou zobrazeny na obrázku 17. Většina zařízení hydraulického agregátu je instalována na nádrži (1) hydraulického agregátu, ve které je shromažďována hydraulická kapalina. Nádrž je mimo jiné vybavena měřením hladiny a měřením teploty hydraulické kapaliny. Zdrojem vysokotlaké regulační kapaliny jsou vysokotlaká čerpadla (2) (nejčastěji axiální pístová čerpadla), která jsou v provedení 2x100%, tj. jedno čerpadlo je jako provozní a druhé tvoří 100% zálohu. Jmenovitý tlak regulační kapaliny pro ovládání hydraulických servopohonů je 16 MPa. Na výtlaku každého čerpadla je umístěn filtr (3). Tlak regulační kapaliny vystupující k servopohonům je měřen třemi analogovými snímači tlaku (4).

Chlazení hydraulické kapaliny zajišťuje chladicí okruh. Do tohoto chladicího okruhu je čerpána hydraulická kapalina jedním ze dvou čerpadel (10), která jsou poháněna stejnými elektromotory jako čerpadla vysokotlaká (2). Hydraulická kapalina postupně proudí přes jeden ze dvou chladičů (11) a přes jeden ze dvou filtrů (12). Teplota hydraulické kapaliny je řízena nezávislým termoregulačním ventilem, který podle teploty v nádrži hydraulického agregátu otevírá nebo uzavírá vstup chladicí vody do chladiče (11).

Důležitou součástí hydraulického agregátu a celého systému VT hydrauliky jsou také vakové hydraulické akumulátory, které však nejsou na tomto jednoduchém schématu zobrazeny. Tyto akumulátory jsou umístěny ve společném výtlaku vysokotlakých čerpadel a zajišťují okamžitou zásobu regulační kapaliny v případě náhlého zvýšení její spotřeby a dále mají za úkol stabilizovat tlak systému v okamžiku najíždění záskokového čerpadla. Vaky hydraulických akumulátorů jsou plněny dusíkem na plnicí tlak 10 MPa.

Do systému VT hydrauliky je také instalován separátor vlhkosti, který má za úkol odvádění vlhkosti ze systému a vody obsažené v hydraulické kapalině. Separátor vlhkosti obsahuje filtr (21) pro absorbování vlhkosti a čerpadlo (20), které zajišťuje cirkulaci hydraulické kapaliny. Separátor vlhkosti pracuje zcela nezávisle na provozu ostatních částí systému VT hydrauliky.

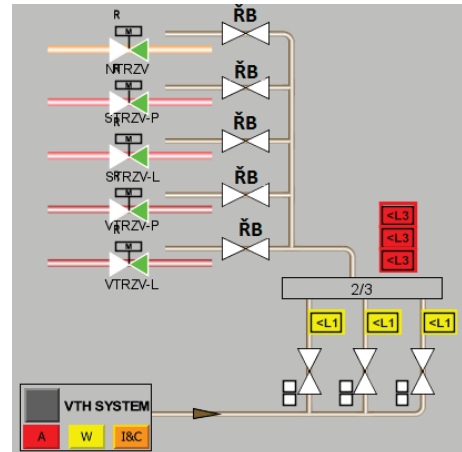
Druhou, řekněme nejdůležitější částí, je hydraulický blok výběru 2ze3 (5). Tento hydraulický blok obsahuje 3 elektrohydraulické magnety, sedlové ventily, hydraulické zámky, clony a měření tlaku. Zapojení tohoto hydraulického bloku je poměrně složité, z provozního hlediska nám stačí vědět, že pokud dojde k zapnutí minimálně dvou elektrohydraulických magnetů, je vytvořen tzv. rychlozávěrný olej, který je přiveden do řídicích bloků hydraulických servopohonů VT a ST rychlozávěrných ventilů a NT rychlozávěrné klapky a dojde k jejich otevření. Tomuto procesu říkáme zasmeknutí turbíny, které můžeme specifikovat takto:

„Zasmeknutí turbíny uvedení zabezpečovacího systému parní turbíny do pohotovostního stavu, připraveného zasáhnout v kterémkoliv okamžiku najíždění nebo provozu a odstavit parní turbínu při zásahu strojních a elektrických ochranných nebo při překročení maximálních otáček. Při zasmeknutí se aktivují elektrohydraulické magnety hydraulického výběru 2 ze 3.“ [2]

Naopak při ztrátě napájení u dvou elektrohydraulických magnetů dochází k okamžité ztrátě rychlozávěrného oleje a k okamžitému uzavření všech rychlozávěrných ventilů a NT rychlozávěrné klapky. V tomto případě mluvíme o vysmeknutí turbíny. Elektrohydraulické magnety hydraulického bloku výběru 2 ze 3 jsou ovládány zabezpečovacím systémem turbíny, který je popisován v kapitole 6.2.2.

Třetí, neméně důležitou částí, jsou řídicí bloky ovládající jednotlivé hydraulické servopohonů rychlozávěrných a regulačních ventilů a klapek.

VT a ST rychlozavěrné ventily a NT rychlozavěrná klapka slouží k rychlému uzavření vstupu páry v jednotlivých parovodech při odstavení a jsou ovládány řídicími bloky (ŘB) v součinnosti s hydraulickým výběrem 2ze3, resp. vytvořeným rychlozavěrným olejem viz obrázek 18. Součástí řídicích bloků ovládajících jednotlivé hydraulické servopohony VT a ST rychlozavěrných ventilů a NT rychlozavěrné klapky jsou také sedlové ventily ovládané elektromagnety, které slouží pro zkoušení pohyblivosti jednotlivých ventilů. Pro zkoušku pohyblivosti jednotlivých ventilů jsou vytvořeny testy – viz obrázek 35.



Obrázek 18 – Řídicí bloky RZ ventilů [5]

VT a ST regulační ventily a NT regulační klapka slouží k regulaci množství páry vstupující do parní turbíny. Všechny regulační funkce turbíny zajišťuje elektronický řídicí systém, kterým jsou hydraulické servopohony těchto ventilů a klapky ovládány. Polohové řízení zajišťují řídicí bloky, které obsahují jednak servoventil, který přepouští tlakovou kapalinu pod píst nebo nad píst dle požadavku na otevření nebo zavření regulačního ventilu (klapky) a pak elektromagnetický sedlový ventil, který slouží k rychlému přestavení regulačního ventilu (klapky) do uzavřené polohy.

Do řídicího systému jsou zavedeny z polohového snímače signály o skutečné poloze regulačního ventilu (klapky) jako zpětná vazba. Při požadavku na dané otevření ventilu (klapky) vzniká regulační odchylka, která je zpracována v polohovém regulátoru určujícím směr pohybu regulačního ventilu (klapky) na základě požadované a skutečné polohy. Požadované otevření regulačního ventilu (klapky) je řízeno příslušným regulátorem v závislosti na tom, v jaké regulaci se právě turbína nachází. Regulační ventily mohou být ovládány celkem ze 4 regulátorů:

- Regulátoru pro regulaci otáček.
- Regulátoru pro regulaci výkonu.
- Regulátoru pro regulaci tlaku VT páry.
- Regulátoru pro ruční ovládání regulačních ventilů.

NT regulační klapka je ve funkci pouze u náfázovaného turbosoustrojí a je ovládána :

- Regulátorem pro regulaci tlaku NT páry.
- Regulátorem pro ruční ovládání NT regulační klapky.

Jednotlivé regulace jsou popisovány v následujících kapitolách této bakalářské práce.

3.2.9.1. Najetí systému vysokotlaké hydrauliky

Systém vysokotlaké hydrauliky se spouští v době, kdy je potřeba otevřít některou z rychlozávěrných nebo regulačních armatur, které jsou ovládány hydraulickými servopohony. Prvním důvodem pro start systému VT hydrauliky je odzkoušení pohyblivosti regulačních armatur v plném zdvihu (doporučuje se ještě před natlakováním parovodů) nebo před požadavkem na otevření rychlozávěrných armatur při zahájení prohřevu komor VT regulačních ventilů. Obvykle se systém VT hydrauliky spouští společně se startem systému evakuace.

Před samotným najetím systému VT hydrauliky musí být splněny následující podmínky:

- Nádrž (1) je naplněna hydraulickou kapalinou na provozní hladinu
- Všechny ruční armatury jsou v požadovaných polohách
- Veškerá zařízení v systému VT hydrauliky jsou připravena k provozu dle předpisů dodavatele systému (provedena preventivní údržba a veškeré opravy) a veškeré práce v systému jsou řádně ukončeny
- Je v provozu elektronický řídicí systém, tj. veškeré měření tlaků, teplot a hladin je aktivní a obsluha má informace o stavu jednotlivých zařízení (čerpadel)
- Čerpadla v systému VT hydrauliky (2) (10) (20) jsou v automatickém režimu, tj. jsou připravena k provozu

Samotné najetí se obvykle provede stisknutím tlačítka pro start funkčního celku VT hydrauliky. Algoritmus tohoto funkčního celku zajistí, aby nedošlo k nedovoleným provozním stavům, a je zajištěn v případě poruchy předvoleného čerpadla start čerpadla záložního. Obecně (bez ohledu na automatické či ruční ovládání) lze postup najetí systému VT hydrauliky popsat následovně:

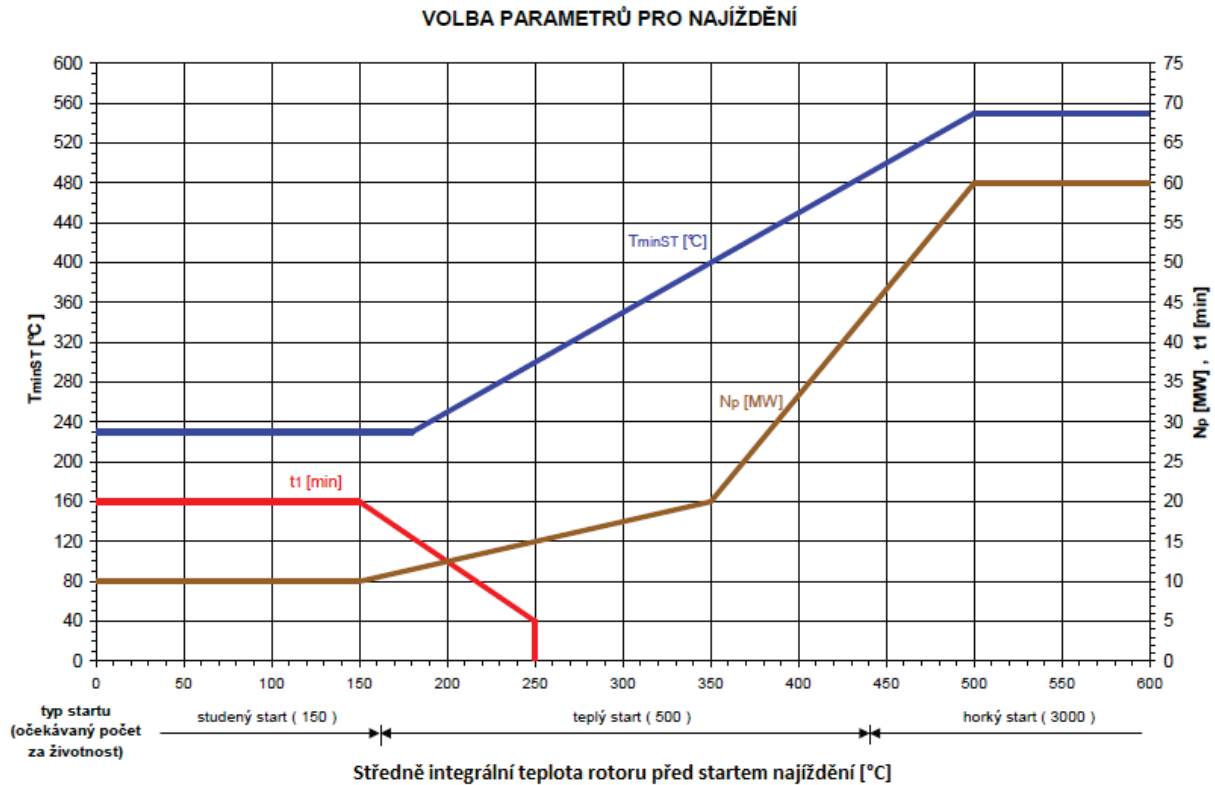
- Zapnutí motoru předvoleného čerpadla VT hydrauliky (2) (10)

V tomto stavu je zajištěna dodávka VT hydraulické kapaliny pro hydraulické servopohony VT a ST rychlozávěrných a regulačních ventilů a klapek v přívodu NT páry do turbíny.

V týdenních intervalech je nutné také spustit čerpadlo separátoru vody a nechat ho v provozu po dobu přibližně 8 hodin týdně. Pokud je čerpadlo předvoleno v automatickém režimu, zapnutí a vypnutí zajišťují algoritmy řídicího systému.

4. Parametry páry pro vpuštění do turbíny

Potřebné parametry páry pro vpuštění do turbíny jsou dány najížděcím diagramem v závislosti na teplotním stavu turbíny. V závislosti na středně integrální teplotě rotoru těsně před najetím turbíny se rozlišují tři druhy startu, studený, teplý a horký.



Obrázek 19 – Ukázka najížděcího diagramu [4]

Nejdříve je nutné objasnit některé pojmy, které se objevují v najížděcím diagramu:

Teplota T_{min}

Jedná se o minimální teplotu páry před turbínou, které je nutné dosáhnout pro její zavedení do turbíny, aby nedošlo k podchlazení rotoru. Stanovení minimální teploty páry se věnuje kapitola 4.1 této bakalářské práce.

Časová prodleva t_1

Určuje minimální dobu, po kterou je nutné těleso turbíny a rotor prohřívát parou na prohřívacích otáčkách.

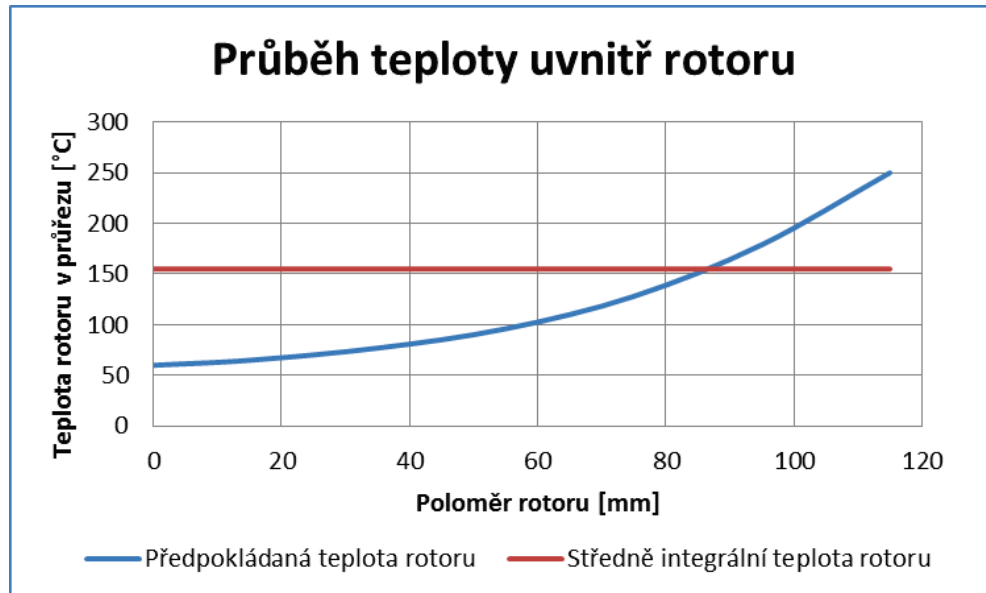
Počáteční výkon N_p

Určuje doporučenou hodnotu výkonu, které má být dosaženo bezprostředně po nafázování. Stanovení počátečního výkonu se věnuje kapitola 4.1 této bakalářské práce.

Středně integrální teplota rotoru

Jedná se o průměrnou teplotu rotoru turbíny v celém jeho průřezu. Protože nelze teplotu rotoru turbíny během provozu měřit přímo, jeho teplota se zjišťuje výpočtem v závislosti na teplotě vnitřního tělesa. Výpočtový model je založen na řešení nestacionární rovnice vedení tepla v reálném čase metodou konečných diferencí. Před najížděním, kdy jsou turbína i rotor studené, je středně integrální

teplota rotoru (resp. teplota rotoru v celém jeho průřezu) rovna teplotě vnitřního tělesa. V době, kdy se do turbíny vpustí pára, začnou se vnitřní těleso a rotor ohřívat, ale teplota rotoru již není v celém průřezu stejná (rotor je uvnitř ještě studený). V tomto okamžiku začíná výpočet nestacionárního vedení tepla a průměrná hodnota vypočtených teplot v celém průřezu rotorem nám určuje středně integrální teplotu rotoru. Názorně nám to ukazuje graf na obrázku 20 (pozn. hodnoty v grafu slouží pro ilustraci a neodpovídají skutečnému průběhu teploty v průřezu rotoru).



Obrázek 20 - Středně integrální teplota rotoru

Středně integrální teplota rotoru se využívá také pro výpočet teplotního namáhání rotoru – viz kapitola 6.1.2.

Najížděcí diagram je zpracován pro každou parní turbínu. Při tvorbě najížděcího diagramu je nutné zohlednit, jaké parametry páry budou k dispozici během najíždění, konstrukci turbíny, zapojení turbíny v rámci bloku a mnoho dalších specifik konkrétního projektu. V případě paroplynového cyklu je situace trochu jednodušší, neboť ve většině případů se parní turbína najíždí společně se spalovací turbínou. Zde je tedy jen nutné nepropásnout vhodný okamžik k zahájení prohřívání parovodů a komor parních ventilů a včas prohřát VT díl turbíny.

4.1. Minimální a maximální teploty páry pro najíždění

Jak už bylo uvedeno v kapitole 2, do turbíny jsou zaváděny celkem tři páry. Pro každou z těchto par je vždy stanovena minimální a maximální teplota pro najíždění. V kapitole 6.1.3 je dále popsáno stanovení minimální a maximální teploty páry pro trvalý provoz turbíny. Tyto teploty nemusí korespondovat s teplotami pro najíždění.

4.1.1. VT pára

VT pára, obvykle označovaná jako přehřátá pára, nebo také admisní pára, je do turbíny přiváděna přes VT rychlozavěrné a regulační ventily. VT regulační ventily jsou však až do okamžiku přířazování TG k síti blokovány v uzavřené poloze. Je to z toho důvodu, že pokud do VT dílu vstupuje malé množství páry, a není zajištěno dostatečné proudění, tak dochází k ventilaci páry ve VT dílu a VT díl se nadměrně ohřívá. Navíc je žádoucí vpustit co největší

množství páry do ST dílu turbíny pro jeho lepší prohřev. Po přifázování je již průtok páry VT dílem dostatečný a proto VT regulační ventily mohou být otevřeny.

Aby však mohl být TG přifázován k síti, je nutné dosáhnout správné teploty VT páry. Minimální a maximální teplota VT páry je závislá na teplotě VT dílu turbíny.

Pro stanovení minimální teploty VT páry musí být splněny obě tyto podmínky:

1. Teplota VT páry je o 50°C vyšší, než teplota sytosti odpovídající tlaku VT páry.
2. Teplota páry za 1.stupněm VT dílu musí být vyšší než je středně integrální teplotu VT rotoru. Je to z toho důvodu, aby nedošlo hned po přifázování TG k síti (a tím otevření VT regulačních ventilů) k podchlazení VT rotoru, což má nepříznivý vliv na jeho životnost.

Minimální teplota VT páry pro najíždění se určuje pro každý jednotlivý případ a je stanovena v podmínkách pro najíždění.

Maximální teplota VT páry pro najíždění musí být taková, aby nedošlo po vpuštění této páry do VT dílu turbíny k překročení dovolených hodnot teplotního namáhání. Tato teplota se opět určuje pro každý jednotlivý případ (obrázek 28) a je stanovena v podmínkách pro najíždění.

V případě vysoké teploty VT páry mohou být také problémy s relativními posuvy VT dílu (vyčerpání axiální vůle mezi rotorem a statorem), neboť prohřev rotoru turbíny probíhá rychleji než prohřev těles VT dílu (statoru). Proto je v některých případech nutná instalace prohřívacího prstence, který zajistí rychlejší prohřev těles VT dílu.

4.1.2. ST pára

ST pára, obvykle označovaná jako přehřátá pára, je do turbíny přiváděna přes ST rychlozávěrné a regulační ventily (někdy označované jako záchytné ventily).

Prostřednictvím této ST páry se turbína najíždí na prohřívací, resp. jmenovité otáčky. Aby bylo možné ST páru do turbíny vpustit, musí být dosaženo minimální teploty páry T_{min} stanovené najížděcím diagramem.

Minimální teplota ST páry T_{min} se stanovuje podobně jako v případě VT páry, tj. musí být splněny obě tyto podmínky:

1. Teplota ST páry je o 50°C vyšší, než teplota sytosti odpovídající tlaku ST páry.
2. Teplota páry za 1.stupněm ST dílu musí být vyšší než je středně integrální teplotu ST rotoru. Je to z toho důvodu, aby nedošlo po zavedení ST páry do turbíny k podchlazení ST rotoru, což má nepříznivý vliv na jeho životnost.

Minimální teplota ST páry pro najíždění se určuje pro každý jednotlivý případ a je stanovena v podmínkách pro najíždění.

V případě, že turbína najíždí opravdu ze studeného stavu, tj. středně integrální teplotu ST rotoru není vyšší než cca 110 °C (hodnota se může u jednotlivých turbin lišit), je povoleno vpustit páru do ST dílu v předstihu ještě dříve, než je dosaženo minimální teploty páry T_{min} . Musí být však splněna 1.podmínka, tj. teplota ST páry je o 50°C vyšší, než teplota sytosti odpovídající tlaku ST páry. V tomto případě mluvíme o najíždění tzv. volným vývojem otáček, to znamená, že otáčky se zvyšují s rostoucími parametry ST páry, popř. zlepšováním vakua, maximálně však do úrovně 400 ÷ 500 ot/min. Tím jednak dochází k plynulejšímu prohřevu ST těles turbíny a ST rotoru a zároveň může dojít ke zkrácení doby nutné pro prohřev ST tělesa.

Maximální teplota ST páry se podobně jako pro VT páru stanovuje až pro okamžik fázování – obrázek 28. V podmínkách pro najíždění konkrétní turbíny je opět stanovena maximální teplota ST páry tak, aby nedošlo po vpuštění této páry do ST dílu turbíny k překročení dovolených hodnot teplotního namáhání.

Stejně jako u VT dílu mohou být v případě vysoké teploty ST páry problémy s relativními posuvy ST dílu a může být požadována instalace prohřívacího prstence.

4.1.3. NT pára

NT pára je do turbíny přiváděna obvykle jednou trasou přes rychlozávěrnou a regulační klapku. Tato trasa je obvykle zapojena do převáděcího potrubí mezi ST dílem a NT dílem. V některých případech (např. u jednotělesových turbin) je zavedena NT pára přímo do tělesa turbíny ve vhodném místě (do turbinového stupně, ve kterém parametry páry nejvíce odpovídají parametrům NT páry).

NT pára je do turbíny zavedena až po přifázování TG a dosažení minimálního výkonu (nejčastěji to bývá 30% jmenovitého). Minimální a maximální teplota NT páry není striktně požadována, ale opět je vyžadováno, aby byla teplota NT páry alespoň rovna teplotě sytosti odpovídající tlaku NT páry a vyšší než minimální (cca 200°C).

4.2. Minimální a maximální tlak páry pro najíždění

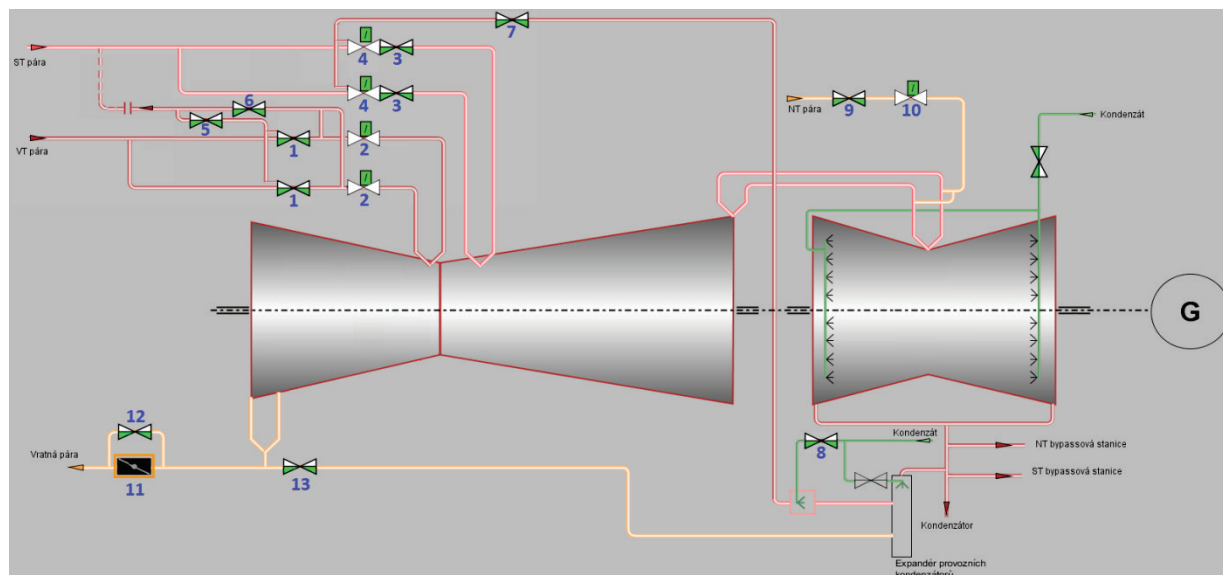
Regulaci tlaku VT a ST páry během prohřevu a najíždění zajišťují prepouštěcí stanice, tzv. bypassy parní turbíny, které zajišťují plynulý nárůst tlaku ve VT a ST parovodech. Tato regulace je důležitá hned ze dvou důvodů, tím prvním je to, že je zajišťován plynulý prohřev parovodů a komor rychlozávěrných a regulačních ventilů předepsaným trendem a tím druhým je stabilizace parametrů páry na kotli.

Konkrétní hodnoty tlaku VT a ST páry pro najíždění nejsou pro potřeby parní turbíny stanoveny, ale obecně musí platit toto:

1. Tlak páry musí být minimálně takový, aby v první fázi najíždění mohla turbína najet na jmenovité otáčky předepsaným trendem (1000 ot/min) a v druhé fázi, aby turbína byla schopna dosáhnout základního zatížení předepsaným trendem (1 MW/s).
2. Tlak ST páry musí být minimálně 1,0 ÷ 1,2 MPa, neboť tento tlak odpovídá tlaku na výstupu z VT dílu a touto párou se prohřívá VT díl – více v kapitole 4.3.2 Prohřev VT dílu.
3. Tlak páry nesmí být příliš vysoký, neboť by do turbíny v době najíždění vstupovalo jen malé množství páry (které by bylo dostatečné k roztočení turbíny na požadované otáčky) a mohlo by docházet k ventilaci páry v turbíně (zvyšování teploty rotoru turbíny vlivem tření a nedostatečného chlazení průtokem páry).

4.3. Dosažení požadovaných teplot

Aby bylo možné popsat, jak se dosáhne požadovaných teplot pro najíždění turbíny na otáčky, je nutné se nejdříve podívat na schéma na obrázku 21. Toto schéma ukazuje všechny důležité armatury pro prohřev parovodů, komor ventilů a VT dílu.



Obrázek 21 – Schéma zapojení parních ventilů a ventilů prohřevu [6]

1 Vysokotlaký rychlozavěrný ventil [VT RZV]	8 Uzavírací ventil kondenzátu do svlažovače
2 Vysokotlaký regulační ventil [VT RV]	9 Nízko tlaková rychlozavěrná klapka [NT RZK]
3 Středotlaký rychlozavěrný ventil [ST RZV]	10 Nízko tlaková regulační klapka [NT RK]
4 Středotlaký regulační ventil [ST RV]	11 Zpětná rychlozavěrná klapka [ZRZK]
5 Uzavírací ventil prohřevu VT parovodů	12 Uzavírací ventil v obtoku ZRZK
6 Uzavírací ventil prohřevu VT komor	13 Uzavírací ventil evakuace VT dílu
7 Uz. ventil prohřevu ST parovodů a komor	

4.3.1. Prohřev přívodních parovodů a komor parních ventilů

Přívodní parovody a komory parních ventilů je nutné prohřívát předepsaným trendem. Cílem je snížit teplotní namáhání, které vzniká následkem teplotních změn, což způsobuje teplotní diference ve stěnách parovodů a komor. Zvýšené teplotní namáhání může mít za následek snížení životnosti těchto dílů a v krajním případě tvoření trhlin. Maximální povolený trend prohřevu parovodů a komor parních ventilů je stanoven nejčastěji na 7°C/min, ale s ohledem na použité materiály a provedení ventilových komor může být v některých případech povolený trend menší.

Prohřev se nejdříve provádí kondenzačním teplem, tj. postupným zvyšováním tlaku uvnitř parovodů a komor tak, aby rychlost prohřevu nepřekročila stanovený trend. Regulace tlaku je zajišťována buď regulací tlaku na kotli, regulací tlaku prostřednictvím bypassů nebo pokud je v přívodním parovodu umístěno přehradní šoupě, tak regulačním ventilem umístěným v ochozu tohoto přehradního šoupěte. V případě uvedeném na obrázku 21 regulaci tlaku páry zajišťují VT, ST a NT přepouštěcí stanice (bypassy).

Komory parních ventilů je nejlépe prohřívát současně s prohřevem parovodů. Konstruktivním provedením ST ventilových komor je toto zajištěno automaticky (ST RV (4) jsou předřazeny ST RZV (3)). VT ventilové komory je však možné prohřívát až po otevření VT RZV (1), což je možné pouze v případě, že teplota VT ventilových komor není vyšší než

teplota VT parovodů. V případě, že teplota VT ventilových komor je vyšší než teplota parovodů, prohřev se provádí nejprve při zavřených VT RZV (1). Po dosažení teploty páry před VT RZV (1) rovné teplotě VT ventilových komor je možné zasmeknout, tj. otevřít VT RZV (1). Zároveň s otevřením VT RZV (1) dochází k otevření ST RZV (3) a NT RZK (9).

Pokud je již prohřev kondenzačním teplem nedostatečný (teplota se již téměř nezvyšuje), další prohřev se provádí průtokem páry. K tomuto účelu jsou použity prohřívací parovody.

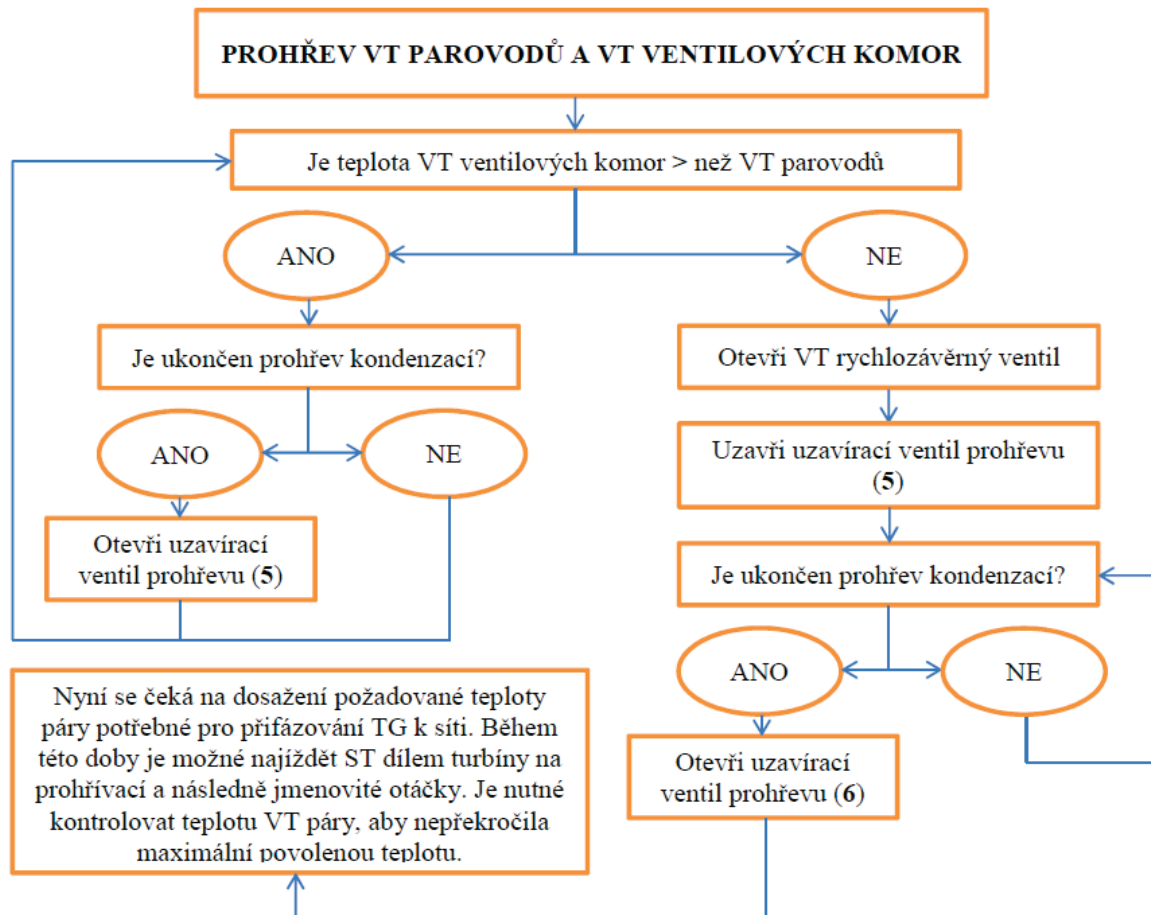
Pro prohřívání VT parovodů slouží uzavírací ventil (5), který se otevře v případě, že je prohřev VT parovodů kondenzačním teplem nedostatečný a teplota páry před VT RZV (1) je nižší, než teplota VT ventilových komor.

Pro prohřívání VT parovodů a VT ventilových komor slouží uzavírací ventil (6), který se otevře v případě, že je VT RZV otevřen, prohřev kondenzačním teplem je již nedostatečný a teplota páry před VT RZV je nižší, než je požadovaná pro přifázování turbosoustrojí k síti – viz kapitola 4.1.1.

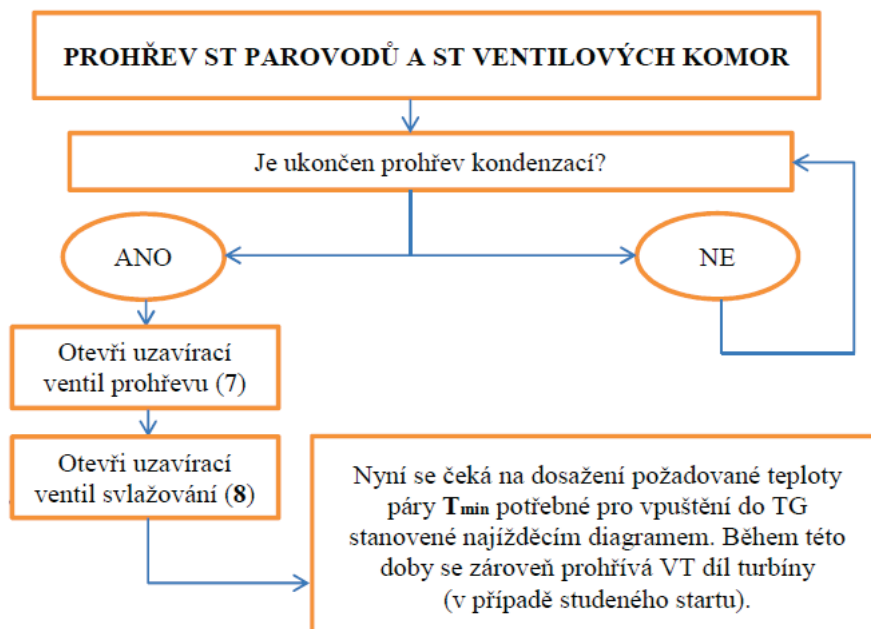
Pro prohřívání ST parovodů a ST ventilových komor slouží uzavírací ventil (7), který se otevře v případě, že je prohřev ST parovodů a ST ventilových komor kondenzačním teplem již nedostatečný a teplota páry před ST RV (4) je nižší, než teplota T_{\min} požadována najížděcím diagramem pro najíždění na otáčky – viz kapitola 4.1.2. Pára z této prohřívací trasy je zavedena do expandéru provozních kondenzátů a proto je před vstupem do expandéru provozních kondenzátů ještě svlažena ve svlažovači kondenzátem přivedeným přes uzavírací ventil (8).

NT parovod je prohříván pouze přes NT bypassovou stanicí tak.

Postup prohřevu přívodních parovodů a komor parních ventilů je shrnuto do následujících diagramů – obrázky 22 a 23.



Obrázek 22 – Diagram postupu prohřevu VT parovodů a VT ventilových komor



Obrázek 23 – Diagram postupu prohřevu ST parovodů a ST ventilových komor

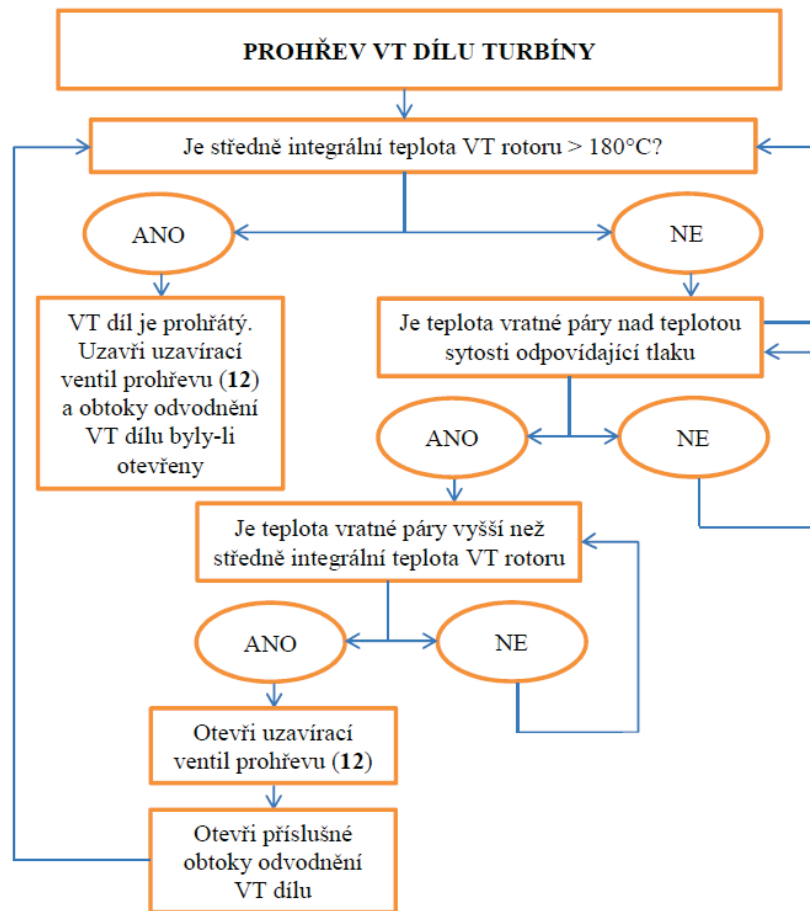
4.3.2. Prohřev VT dílu

Prohřívání VT dílu turbíny probíhá v závislosti na teplotním stavu v okamžiku najíždění. Je-li před startem najíždění středně integrální teplota VT rotoru menší než 180°C (obvyklá hodnota), pak je nutné před vyjetím na prohřívací otáčky VT dílu turbíny prohřát. Prohřívání VT dílu se provádí párou z výstupu z VT dílu (tzv. vratná pára) přes uzavírací ventil (12) instalovaný v obtoku zpětně rychlozávěrné klapky (11) na výstupu z VT dílu. Podmínkou pro otevření ventilu (12) pro prohřev VT dílu je dosažení teploty sytosti odpovídající tlaku vratné páry větší než teplota vnitřního VT tělesa. V tomto případě se VT díl prohřívá zezadu na teplotu sytosti odpovídající tlaku vratné páry kondenzačním teplem. Tlak vratné páry a tedy rychlost prohřevu VT dílu je řízen ve spolupráci s ST přepouštěcí stanicí v rozmezí 1,0 ÷ 1,2 MPa. Na prohřívací otáčky je možné vyjet až poté dosažení středně integrální teploty VT rotoru vyšší než 180°C. Po dosažení středně integrální teploty VT rotoru vyšší než 185°C je možné uzavírací ventil (12) v ochozu na výstupu VT dílu uzavřít.

Během prohřevu VT dílu je nutné otevřít příslušná přímá odvodnění (ventily v obtoku automatických odvaděčů kondenzátu) pro odvedení zvýšeného množství kondenzátu. Je nutné kontrolovat, jestli nedochází k rozdílu teplot mezi svrškem a spodkem tělesa VT dílu. Pokud ano, je nutné zjistit příčinu a pravděpodobně bude nutné některá přímá odvodnění uzavřít.

Další prohřev VT dílu turbíny probíhá po přifázování turbíny k síti, kdy dojde k odblokování VT regulačních ventilů (od signálu nafázováno) a do VT tělesa je vpuštěna pára. Zvyšování výkonu může probíhat jen takovým trendem (platí i pro trend teploty), aby nedocházelo k překračování dovolené meze teplotního namáhání VT a ST rotoru. Popis teplotního namáhání je v kapitole 6.1.2.

Postup prohřevu VT dílu je shrnut do následujícího diagramu – obrázek 24.

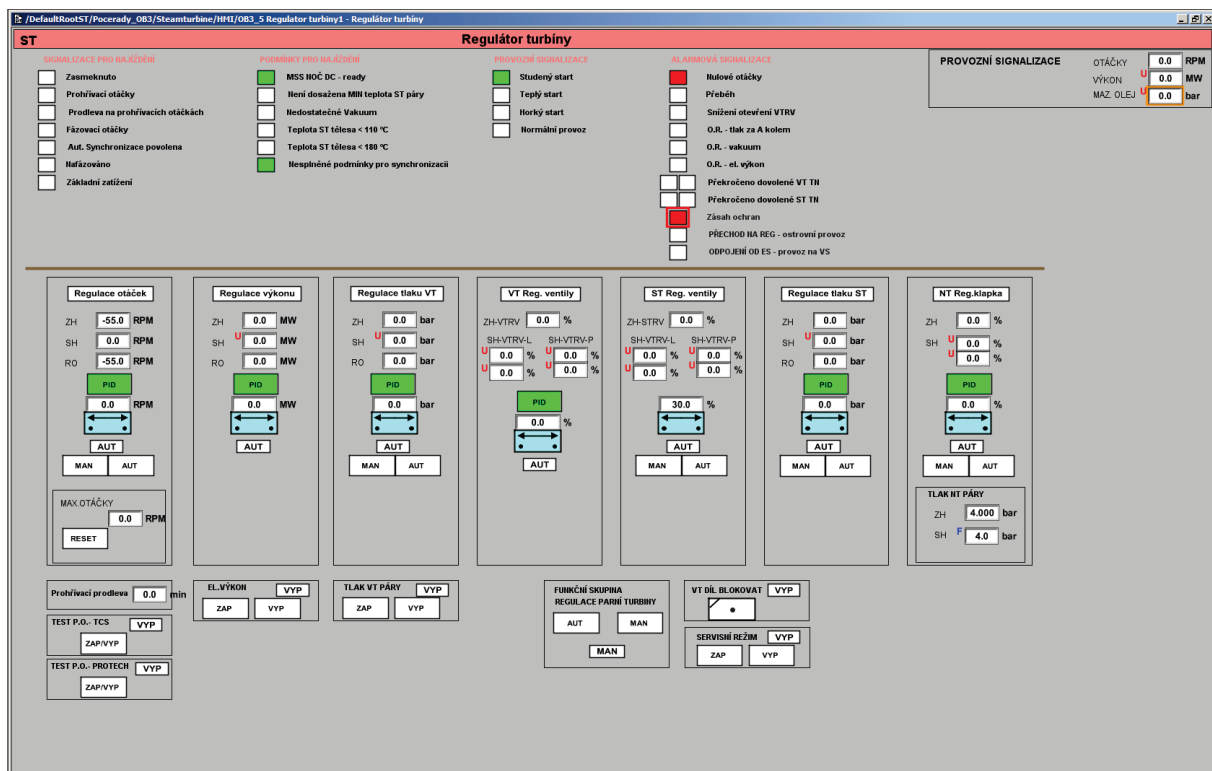


Obrázek 24 – Diagram postupu prohřevu VT dílu turbíny

5. Najetí turbíny na jmenovité otáčky, nafázování a zatížení na cílový výkon

Najetí parní turbíny představuje souhrn operací, které je nutno provést, aby se turbína dostala z klidového stavu, resp. z protáčecích otáček, na jmenovité otáčky, generátor se přifázoval k síti, celé soustrojí se zatížilo na požadovaný výkon a bylo dosaženo teplotně ustáleného (vyrovnaného) stavu.

Vlastní najíždění provádí obsluha z obrazovky (obrázek 25) umístěné na operátorském pracovišti (velině) s přednostním využitím všech algoritmů a podprogramů. O stavu zařízení vybočujícím ze stanovených mezí je obsluha akusticky i opticky informována zabezpečovacím systémem.



Obrázek 25 – Ovládací obrazovka regulace turbíny [6]

5.1. Najetí turbíny na jmenovité otáčky

Pokud se jedná o dvou a více tělesovou parní turbínu, najíždění na jmenovité otáčky je realizováno prostřednictvím ST dílu turbíny a VT díl je blokován v uzavřené poloze. Je to z toho důvodu, že při nízkém průtoku páry přes VT díl dochází k ventilaci páry a tím k neuniformnímu ohřívání především VT rotoru turbíny. Navíc je žádoucí vpustit co největší množství páry do ST dílu turbíny pro jeho lepší prohřev. K odblokování VT dílu dochází až po přifázování parní turbíny k síti (po nafázování), kdy již VT dílem může protékat větší množství páry.

Před vpuštěním páry do stroje je bezpodmínečně nutné provést kontrolu měřících systémů turbogenerátoru s důrazem na měření absolutních i relativních posuvů turbíny, teploty ložisek, chvění turbosoustrojí a připravenost generátoru s příslušenstvím k provozu.

Aby bylo možné zahájit najíždění na otáčky parou, musí být v provozu všechny systémy, které byly popsány v kapitole 3 této bakalářské práce, a je nutné dosáhnout požadovaných parametrů páry, což je popsáno v kapitole 4. Dále musí být splněny další podmínky

předepsané v podmínkách pro najíždění zpracovávaných pro každý jednotlivý stroj. Nejčastěji jsou těmito podmínkami dostatečné vakuuum v povrchovém kondenzátoru, dosažení minimální teploty ST páry T_{min} a okamžitá středně integrální teplota VT rotoru a teplota VT tělesa musí být vyšší než 180°C . O splnění a nesplnění podmínek je operátor turbíny informován signalizací – viz obrázek 26.

SIGNALIZACE PRO NAJÍŽDĚNÍ	PODMÍNKY PRO NAJÍŽDĚNÍ	PROVOZNÍ SIGNALIZACE
<input type="checkbox"/> Zasmeknuto	<input checked="" type="checkbox"/> MSS HOČ DC - ready	<input checked="" type="checkbox"/> Studený start
<input type="checkbox"/> Prohřívací otáčky	<input type="checkbox"/> Není dosažena MIN teplota ST páry	<input type="checkbox"/> Teplý start
<input type="checkbox"/> Prodleva na prohřívacích otáčkách	<input type="checkbox"/> Nedostatečné Vakuuum	<input type="checkbox"/> Horký start
<input type="checkbox"/> Fázovací otáčky	<input type="checkbox"/> Teplota ST tělesa $< 110^{\circ}\text{C}$	<input type="checkbox"/> Normální provoz
<input type="checkbox"/> Aut. Synchronizace povolena	<input type="checkbox"/> Teplota VT tělesa $< 180^{\circ}\text{C}$	
<input type="checkbox"/> Nafázováno	<input checked="" type="checkbox"/> Nesplněné podmínky pro synchronizaci	
<input type="checkbox"/> Základní zatížení		

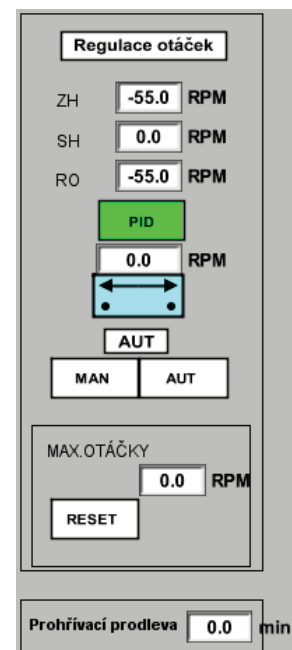
Obrázek 26 – Signalizace provozního stavu a splnění podmínek pro najíždění [6]

Podmínky pro najíždění se liší také podle toho, v jakém teplotním stavu se nachází parní turbína. Podle středně integrální teploty ST rotoru rozlišujeme studený, teplý a horký start. V případě studených a teplých startů se nejdříve najíždí na prohřívací otáčky, na kterých se zařazuje prohřívací prodleva t_1 pro prohřev ST tělesa turbíny. Délka prohřívací prodlevy je závislá na počáteční středně integrální teplotě ST rotoru před startem najíždění a je stanovena najížděcím diagramem (obrázek 19).

Najíždění na otáčky se provádí z ovládacího modulu regulátoru otáček – viz obrázek 27. Samotné najíždění se provede tak, že operátor turbíny po splnění všech požadovaných podmínek přepne regulaci otáček do automatické regulace, zadaná hodnota otáček se automaticky změní na hodnotu otáček prohřívacích (pokud je předepsána prohřívací prodleva) nebo na hodnotu otáček jmenovitých a otáčky turbíny se začnou automaticky zvyšovat až na tuto hodnotu. Pokud je předepsána prohřívací prodleva, zahájí se po dosažení prohřívacích otáček její odpočítávání a operátor turbíny má možnost tuto hodnotu sledovat. Po uplynutí prohřívací prodlevy, a pokud je ST těleso turbíny dostatečně prohřáté (teplota ST tělesa je vyšší než 110°C), operátor znovu přepne regulaci otáček do automatické regulace, zadaná hodnota otáček se automaticky změní na hodnotu otáček jmenovitých a otáčky turbíny se začnou automaticky zvyšovat trendem až na hodnotu otáček jmenovitých.

Najíždění na otáčky je možné také v ruční regulaci, kdy se do zadávacího pole zadá požadovaná hodnota otáček a regulátor automaticky vyjíždí na tuto zadanou hodnotu předepsaným trendem. Trend zvyšování otáček bývá v rozmezí $750 - 1000 \text{ ot/min}^2$ tak, aby se překročily kritické otáčky turbosoustrojí pokud možno co nejrychlejším trendem.

Během zvyšování otáček a po dosažení požadované hladiny otáček je nutné kontrolovat mechanický stav, především chvění ložiskových stojanů a rotorů, teploty ložisek, teploty a tlaky páry, relativní a absolutní posuvy, tlak a teplotu mazacího oleje, rozdíl mezi svrškem a spodkem na tělesech turbíny a teplotní namáhání rotorů turbíny. Sledované veličiny by neměly překračovat povolené meze a měly by být na obvyklých hodnotách.



Obrázek 27 – Modul regulace otáček [6]

Než se přistoupí k přifázování generátoru k síti, je nutné ještě odzkoušet nadotáčkové ochrany turbiny fyzickým zvýšením otáček. Pro zabezpečení turbiny proti překročení maximálních otáček jsou použity dvě ochrany, jedna z řídicího systému turbiny a jedna z nezávislého zabezpečovacího zařízení Woodward Protech. Tyto zkoušky se neprovádí při každém najetí, ale je nutné ji provést minimálně jednou ročně nebo po dlouhodobých odstávkách (při studeném startu vždy).

5.2. Nafázování

Nafázování v podstatě znamená připojení generátoru do elektrizační soustavy. K fázování slouží synchronizační souprava, která nejdříve zajistí, aby otáčková frekvence turbosoustrojí odpovídala frekvenci v síti, a následně připojí generátor k síti. K tomu, aby bylo možné přepnout regulaci otáček do automatického režimu, kdy otáčky turbosoustrojí řídí synchronizační souprava, je nutné zajistit, aby teploty VT a ST páry byly v mezích pro přifázování stanovených v podmínkách pro najíždění. Na obrázku 28 je uveden příklad požadavků na teplotu páry pro přifázování, kde $T_{VTpára}$ a $T_{STpára}$ je teplota VT a ST páry a T_{VT} a T_{ST} je okamžitá středně integrální teplota VT a ST rotoru. Jak je z obrázku patrné, požadavky na teplotu VT a ST páry se liší podle druhu startu. Dodržením těchto limitů je zajištěno, že nedojde k podchlazení rotorů ani k překročení teplotního namáhání rotorů.

Pro přifázování a počátečním zatížením musí být splněny následující podmínky. Do splnění těchto podmínek je turbina provozována na jmenovitých otáčkách.

- a) $T_{VTpára} - T_{VT} > 50^{\circ}\text{C}$ nebo $T_{VTpára} > 520^{\circ}\text{C}$,
- b) $T_{STpára} - T_{ST} < 245^{\circ}\text{C}$ a $T_{VTpára} - T_{VT} < 240^{\circ}\text{C}$ - pro studený start ($T_{R,ST} < 230^{\circ}\text{C}$),
 $T_{STpára} - T_{ST} < 205^{\circ}\text{C}$ a $T_{VTpára} - T_{VT} < 215^{\circ}\text{C}$ - pro teplý start ($230^{\circ}\text{C} \leq T_{R,ST} < 440^{\circ}\text{C}$),
 $T_{STpára} - T_{ST} < 95^{\circ}\text{C}$ a $T_{VTpára} - T_{VT} < 100^{\circ}\text{C}$ - pro horký start ($440^{\circ}\text{C} \leq T_{R,ST}$),

Obrázek 28 – Ukázka požadavků na teplotu páry pro přifázování TG k síti [2]

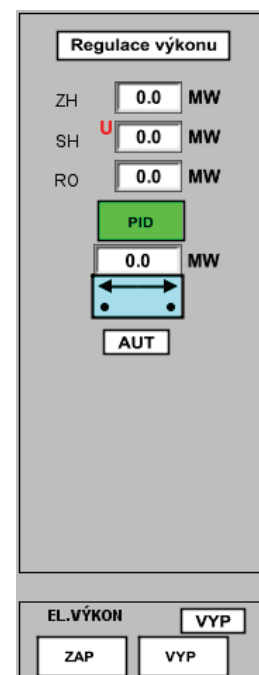
Po přifázování parní turbiny, resp. generátoru, k síti dojde k přechodu ovládání parní turbiny z regulace otáček do regulace výkonu.

5.3. Zatížení na cílový výkon

Po přifázování turbosoustrojí k síti dojde k zatížení na základní zatížení. Hodnota základního zatížení N_p je stanovena opět najížděcím diagramem (obrázek 19) v závislosti na teplotním stavu turbiny a automaticky se vygeneruje v době najíždění na otáčky. Takto stanovená hodnota základního zatížení nám zajistí, že po přifázování turbiny nedojde k podchlazení těles turbiny a rotoru a zároveň k příliš rychlému prohřívání což by se projevilo na zvýšeném teplotním namáhání turbiny. Tuto hodnotu základního zatížení má možnost operátor turbiny upravit, nicméně se to nedoporučuje.

Na hodnotu základního zatížení se vyjíždí trendem 1MW/s. Dosažení základního zatížení je signalizováno a turbina je provozována na této hodnotě do té doby, dokud operátor turbiny nezadá hodnotu požadovaného cílového výkonu.

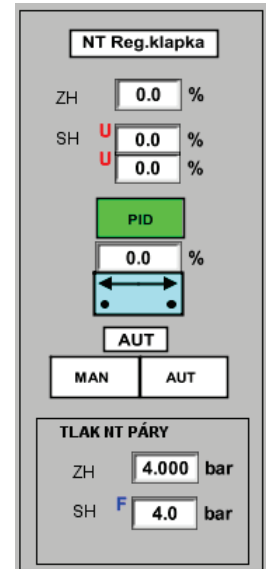
Na hodnotu cílového výkonu se vyjíždí trendem, který je generován podle aktuální hodnoty teplotního namáhání tak, aby nebyla překročena dovolená mez. Teplotnímu namáhání je věnována kapitola 6.1.2 této bakalářské práce.



Obrázek 29 –
Modul regulace výkonu [6]

ST regulační ventily jsou po přifázování TG polohově řízeny v přímé vazbě na otevření VT regulačních ventilů. To znamená, že danému otevření VT regulačních ventilů odpovídá otevření ST regulačních ventilů. Nejčastěji to bývá lineární závislost, kdy 100% otevření ST regulačních ventilů odpovídá 40% otevření VT regulačních ventilů. Tato závislost se však může lišit v závislosti na požadavcích spalínového kotle.

Po dosažení minimálního výkonu (nejčastěji to bývá 30% jmenovitého) a při teplotě NT páry alespoň rovné teplotě sytosti a vyšší než minimální (cca 200°C) je možné zařadit regulaci tlaku NT páry a dodávat ji do NT dílu turbíny. To se provede tak, že se regulátor přepne do automatického režimu a zadaná hodnota tlaku zůstane na aktuální hodnotě vygenerované v době přechodu do regulace. Postupným přivíráním NT přepouštěcí stanice (bypassu) regulátor plně přebírá regulaci tlaku NT páry. Po úplném uzavření NT bypassu je možné regulovanou hodnotu tlaku upravit dle potřeby.

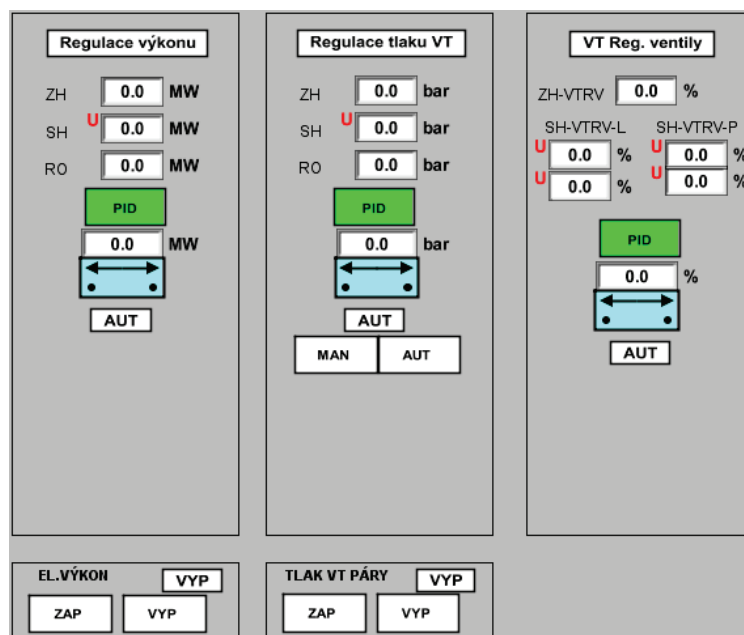


Obrázek 30 –
Modul regulace NT páry [6]

6. Ustálený provoz a možné způsoby odstavení

6.1. Ustálený provoz

Za ustálený provoz lze považovat stav, kdy bylo dosaženo cílového výkonu, bylo dosaženo jmenovitých parametrů páry (tlak a teplota) a kdy je turbina v teplotně ustáleném stavu. Turbinu lze provozovat ve třech možných režimech podle potřeb dispečinku, v regulaci výkonu, v regulaci tlaku VT páry a v ručním ovládní ventilů – viz obrázek 31. Každým z těchto regulátorů je řízena poloha VT a ST regulačních ventilů prostřednictvím servoventilů (které jsou součástí řídicích bloků jednotlivých regulačních ventilů) tak, aby bylo dosaženo požadovaných parametrů (výkon, tlak VT páry, poloha regulačních ventilů).



Obrázek 31 – Regulátory řízení polohy VT a ST regulačních ventilů [6]

Pokud je turbina provozována v regulaci výkonu, výkon je udržován na zadané hodnotě a tlak páry před turbinou je regulován prostřednictvím spalínového kotle, resp. provozem spalovací turbíny.

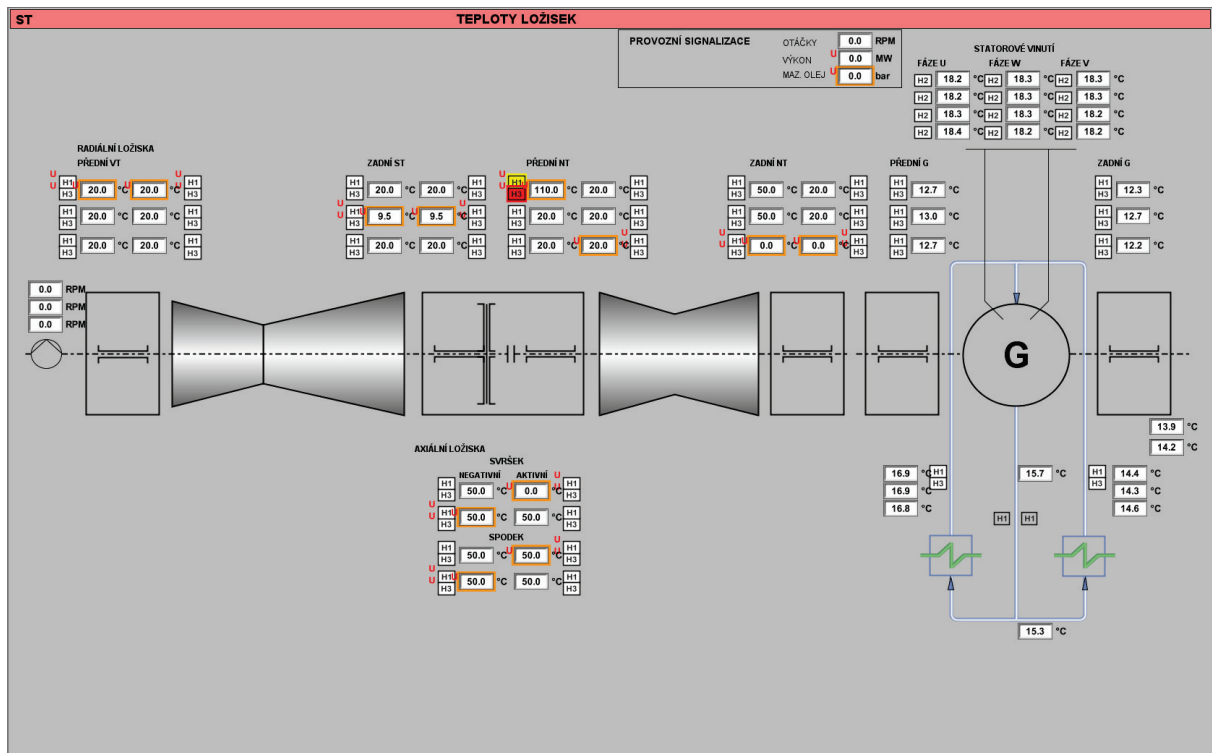
V případě paroplynového cyklu se však upřednostňuje provoz v regulaci tlaku, konkrétně s takzvaným klouzavým tlakem. To znamená, že regulační ventily turbíny zajišťují, aby tlak VT páry před turbinou nepoklesl pod minimální hodnotu tlaku (nejčastěji stanoveno požadavky spalínového kotle). Jak se zvyšuje výkon kotle, postupně se otevírají regulační ventily turbíny až na 100%. Po dosažení plného otevření regulačních ventilů se výkon turbíny zvyšuje nárůstem tlaku VT páry tak, jak se zvyšuje výkon spalínového kotle.

Není-li předvolena ani regulace výkonu, ani regulace tlaku VT páry, turbína je provozována v ručním ovládní regulačních ventilů. Změna výkonu turbíny se provádí změnou zadané hodnoty otevření regulačních ventilů (provádí operátor turbíny), čímž se mění množství páry vstupující do turbíny. Proto je nutné měnit zadanou hodnotu na otevření regulačních ventilů tak, aby nedocházelo k velkým výkonovým změnám a ke změně tlaku vstupní páry. Trend změny výkonu není v ručním ovládní regulačních ventilů omezován, proto je zde nebezpečí, že může dojít k odstavení TG od překročení zakázané meze teplotního namáhání. Provoz TG v ručním ovládní regulačních ventilů se doporučuje pouze při mimořádných provozních situacích a pouze kvalifikovaným personálem, který dokáže včas vyhodnotit mimořádné provozní stavy.

6.1.1. Vyhodnocování provozního stavu turbosoustrojí

Během provozu parní turbíny je nutné sledovat provozní stav turbosoustrojí. K tomuto účelu sloučí monitorovací a vyhodnocovací systém, který upozorňuje na dosažení limitních hodnot a při dosažení havarijních mezí odstavuje turbínu.

Na obrázku 32 je obrazovka pro monitorování teplot ložisek turbosoustrojí, teplot statorového vinutí generátoru a studeného a teplého vzduchu generátoru. V případě překročení maximálních provozních hodnot je operátor informován signalizací (mez H1 a H2) a při dosažení havarijní meze dojde k odstavení turbíny (mez H3).

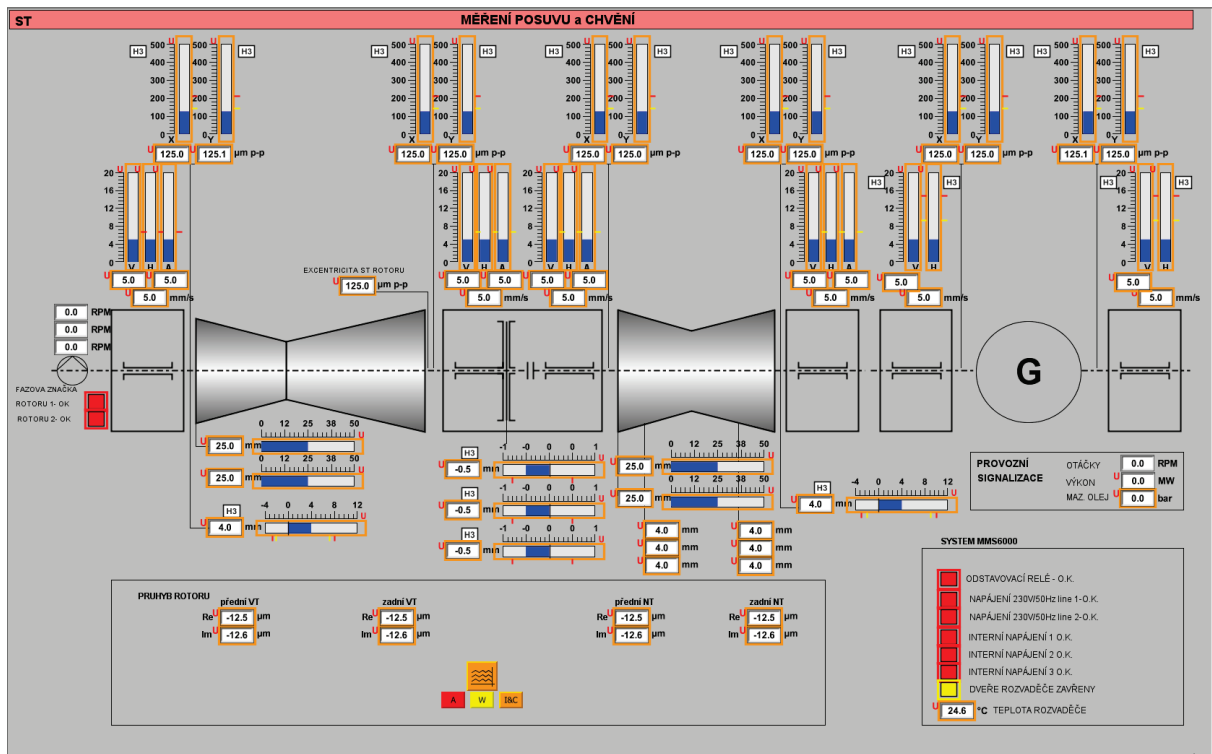


Obrázek 32 – Obrazovka měření teplot ložisek a teplot na generátoru [6]

Na obrázku 33 je obrazovka pro monitorování rotorového a statorového chvění turbosoustrojí a relativních a absolutních posuvů.

Měření absolutního posuvu vyhodnocuje prodloužení turbinového tělesa vlivem ohřátí směrem od pevného bodu. Pevný bod statorové části je u kombinovaného VT/ST dílu v oblasti ložiskového stojanu mezi VT/ST a NT dílem. VT/ST díl se tedy vlivem tepelného nárůstu posouvá směrem k přednímu ložiskovému stojanu. Společně s VT/ST dílem se posouvá také přední ložiskový stojan, který je uložen na kozlíku. Plynuklé klouzání ložiskových stojanů je zajištěno plastickou (teflonovou) folií upevněnou na dolní ploše stojanu. Pevný bod statorové částí NT dílu je na kozlících v přední části NT tělesa.

Pevným bodem rotorové soustavy je axiální ložisko umístěné v ložiskovém stojanu mezi VT/ST a NT dílem. Rotory se od tohoto axiálního ložiska vlivem tepelné roztažnosti prodloužují. Vzhledem k tomu, že prodloužení statorových a rotorových částí vlivem teploty není stejné, měří se diference prodloužení rotorů a statorů (relativní posuvy) tak, aby nedošlo k vyčerpání radiálních vůlí a v případě, že by hrozil styk rotoru se státorem, dojde k odstavení turbosoustrojí.



Obrázek 33 – Obrazovka měření posuvu a chvění turbosoustrojí [6]

Mimo vyhodnocování provozního stavu turbosoustrojí je samozřejmě nutné sledovat i ostatní systémy nutné k provozu turbosoustrojí. Jedná se především o tyto důležité systémy:

- Systém mazacího oleje, především tlaky a teplotu mazacího oleje a hladinu v hlavní olejové nádrži.
- Systém kondenzace, především hladinu v povrchovém kondenzátoru, průtok kondenzátu přes výměníky tepla (především přes kondenzátor komínkové páry), atd.
- Systém odvodnění, především správnou funkci jednotlivých automatických odvaděčů kondenzátu GESTRA
- Systém evakuace, především tlak na výstupu z turbíny, resp. v povrchovém kondenzátoru
- Systém komínkové a ucpávkové páry, především tlak v ucpávkovém okruhu s regulovaným tlakem, teplotu páry pro zahlcení ucpávek NT dílu, správnou polohu jednotlivých armatur, atd.
- Systém vysokotlaké hydrauliky, především tlak a teplotu hydraulické kapaliny a hladinu v nádrži hydraulického agregátu.
- Systém chladicí vody, především teplotu chladicí vody a průtok chladicí vody přes hlavní kondenzátor a jednotlivé chladiče.
- Systém tlakového vzduchu pro ovládání pneumatických servopohonů.

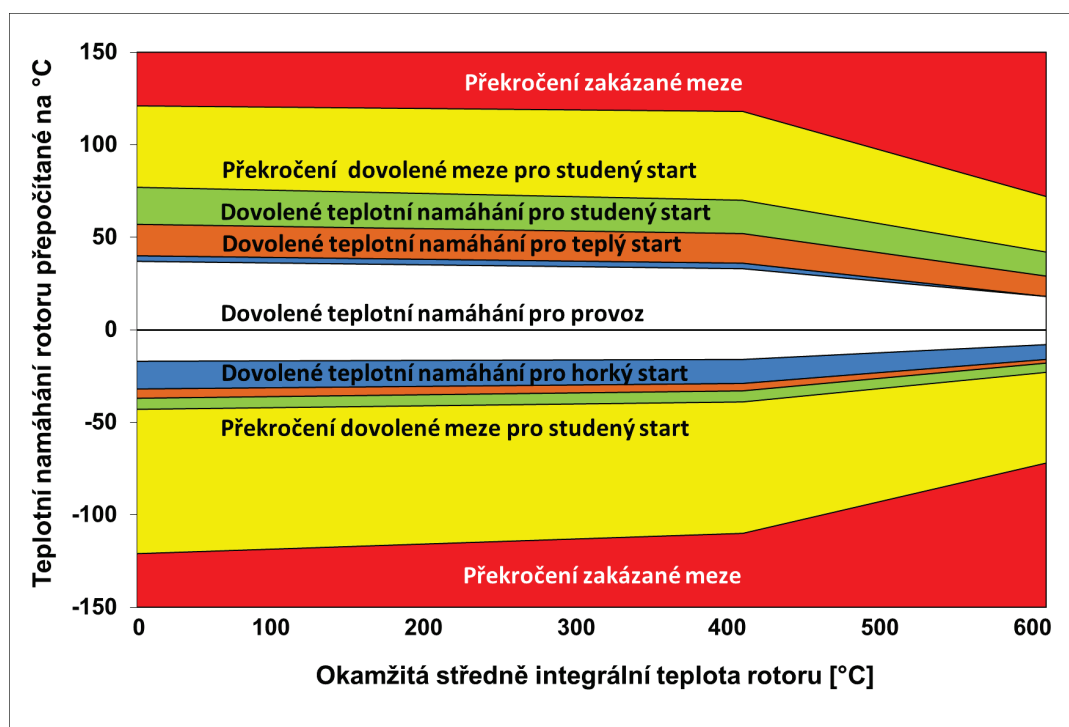
6.1.2. Vyhodnocování teplotního namáhání

Vlivem zvyšování nebo snižování teploty dochází na povrchu dílů turbíny k namáhání na tah nebo na tlak. Čím větší je diference teploty mezi teplotou povrchu a středně integrální teplotou, tím větší je teplotní namáhání. Nejkritičtějšími místem, které musíme hlídat, aby nedošlo k překročení povoleného teplotního namáhání, jsou VT a ST rotor turbíny.

Skutečné teplotní namáhání je přepočteno na teplotní rozdíl mezi teplotou povrchu rotoru, vypočtenou z měřené teploty vnitřního tělesa, a středně integrální teplotou rotoru (viz kapitola 4). Čím větší je absolutní hodnota tohoto rozdílu teplot, tím větší je teplotní namáhání rotoru. Ideální by bylo, kdyby tento rozdíl byl nulový, ale to je možné pouze při ustáleném provozu na konstantním výkonu při konstantní teplotě. Z tohoto důvodu jsou stanoveny dovolené meze, v kterých se mohou hodnoty teplotního namáhání pohybovat. Dovolené meze teplotního namáhání jsou stanoveny pro jednotlivé druhy startu (studený, teplý nebo horký start) a pro provoz. Právě s ohledem na zvýšené teplotní namáhání je limitován počet jednotlivých startů. Po dosažení jmenovitých parametrů páry, dosažení cílového výkonu a stabilizaci skutečného teplotního namáhání pod úroveň 5 °C dojde k přestavení mezi teplotního namáhání pro provozní stav.

V následujícím grafu (obrázek 34) je možné vidět příklad mezi teplotního namáhání pro jednotlivé typy provozu v závislosti na okamžité středně integrální teplotě rotoru. Dovolené teplotní namáhání pro provoz turbosoustrojí je v bílém poli. Dovolené meze jsou rozšířeny pro horký start o modrá pole, pro teplý start navíc o oranžová pole a pro studený start navíc o zelená pole. Dojde-li kdykoliv za provozu k překročení dovolené meze teplotního namáhání, což je signalizováno, pak je nutné přerušit zatěžování/odlehčování turbosoustrojí do doby, než se hodnota teplotního namáhání dostane pod dovolenou mez teplotního namáhání. Na zvýšené teplotní namáhání může mít vliv také zvýšený trend nárůstu/poklesu teploty vstupní páry. Jak je v grafu vidět, meze se při zvyšující středně integrální teplotě rotoru zmenšují.

Pokud se hodnota teplotního namáhání dostane ze žluté oblasti do červené (zakázané) oblasti, dochází automaticky k odstavení turbíny ochranou.



Obrázek 34 – Ukázka grafu mezi teplotního namáhání

6.1.3. Dovolené změny tlaku a teploty vstupní páry

Dovolené odchylky tlaku a teploty vstupní páry od jmenovitých parametrů jsou podrobně předepsány v ČSN EN 60045-1. V následujících kapitolách jsou citovány vybrané pasáže z této normy.

Minimální teplotu vstupní páry norma ČSN EN 60045-1 nepředepisuje a stanovuje se tak, aby expanzní křivka v průtočné části končila nad mezí sytosti (pro VT díl), případně jen v minimální vlhkosti (platí pro ST a NT díl). Proto se hodnoty minimální teploty stanovují vždy pro konkrétní parní turbínu.

6.1.3.1. Tlak vstupní páry

„Průměrný tlak na vstupu do turbíny během kterýchkoli 12 měsíců provozu nesmí překročit jmenovitý tlak. Při udržování tohoto průměru tlak nesmí překročit 105 % jmenovitého tlaku. Náhodné výkyvy tlaku nepřekračující 120 % jmenovitého tlaku jsou přípustné za předpokladu, že celkové trvání takových výkyvů po dobu každých 12 měsíců provozu nepřekročí 12 hodin.“ [5]

6.1.3.2. Teplota přehřáté a přihřáté páry

„Průměrná teplota ve kterémkoliv vstupu do turbíny během kterýchkoliv 12 měsíců provozu nesmí překročit jmenovitou teplotu. Při udržování tohoto průměru teplota páry nesmí normálně překročit jmenovitou hodnotu o více, než 8 °C.“ Překročení jmenovité teploty o více než 8°C je signalizováno - mez H1. *„Výjimečně, jestli teplota překročí jmenovitou teplotu o více než 8 °C, smí okamžitá hodnota kolísat mezi touto hodnotou a 14°C nad jmenovitou teplotu, za předpokladu, že celková provozní doba mezi těmito dvěma mezemi nepřekročí 400 hod během kteréhokoliv 12-ti měsíčního provozního období.“ [5]*

„Provoz v rozmezí 14 °C až 28 °C nad jmenovitou teplotu lze připustit při krátkých výkyvech do 15 minut nebo méně, za předpokladu, že celková provozní doba v těchto mezích nepřekročí 80 hod během kteréhokoliv 12-ti měsíčního provozního období.“ [5] Překročení jmenovité teploty o více než 14°C je signalizováno - mez H2.

„V žádném případě nesmí teplota překročit jmenovitou teplotu o více než 28°C.“ [5] Překročení teploty o více než 28°C způsobí odstavení TG - mez H3.

„Je-li pára dodávána ke kterémukoli připojovacímu místu na turbíně dvěma nebo více paralelními potrubími, teplota páry v kterémkoli z těchto potrubí by se neměla lišit od teploty v jiném o více než 17°C s výjimkou, že během výkyvů nepřekračujících 15 minut v kterémkoli čtyřhodinovém údobí se připouští rozdíl teplot nepřesahující 28°C. Teplota páry v nejteplejším potrubí nesmí překročit meze stanovené v předešlém odstavci.“ [5]

6.1.4. Provoz při změnách frekvence sítě

Mezinárodní doporučení požaduje, aby byla parní turbína schopna provozu při změnách frekvence v síti v rozsahu 49 až 50,5 Hz bez časového omezení. Parní turbíny ŠKODA toto plně splňují. Některé parní turbíny mohou pracovat bez časového omezení dokonce v rozsahu frekvencí 47,5 až 52,5 Hz. Při kmitočtu nižším než 47,5 Hz nebo vyšším než 52,5 Hz je provoz možný jen po dobu časově omezenou. V žádném případě není povolen provoz turbíny pod 46 Hz a nad 53 Hz a turbínu je nutné odstavit.

6.1.5. Provoz turbíny při nízkém výkonu nebo v ostrovním provozu

Ostrovní provoz je druh provozu, kdy turbogenerátor dodává proud pouze do určité části elektrizační soustavy (ostrova). Tento režim je vyhodnocen, pokud je v náfázovaném stavu překročeno pásmo necitlivosti otáček ostrovního provozu (nejčastěji ± 200 mHz). Jako nejmenší možný ostrov lze považovat vlastní spotřebu bloku.

V rámci paroplynového cyklu se většinou s provozem parní turbíny v ostrovním provozu počítá pouze v případě, že se jedná o nějaký větší ostrov, neboť malý ostrov (vlastní spotřebu) dokáží plně pokrýt spalovací turbíny.

Při provozu turbíny s nízkým výkonem dochází vlivem ventilačního účinku rotoru k nárůstu teploty páry na výstupu z VT dílu a tím k nebezpečnému vzrůstu teploty vnějšího tělesa VT dílu turbíny.

Teplota páry na výstupu z VT dílu je závislá na protékajícím množství páry, resp. výkonu turbíny a na jejím tlaku. Provoz s tlakem, při kterém by bylo dosaženo takové teploty páry za VT dílem, při níž by nedocházelo ventilačními účinky k jejímu nárůstu, je při provozu na nízkých výkonech prakticky nemožný vzhledem k nutnosti dodržení minimálního výkonu kotle.

Turbína je ve většině takovýchto případech provozována s odstaveným VT dílem. Pokud při provozu bloku teplota vnitřního vlákna vnějšího tělesa na výstupu VT dílu překročí hodnotu stanovenou v podmínkách pro najíždění, pak jsou uzavřeny VT regulační ventily a zpětné rychlozávěrné klapky na výstupu z VT dílu a VT díl je evakuován do expandéru provozních kondenzátů otevřením uzavíracího ventilu **13** – viz obrázek 21. VT díl je odblokován po zvýšení výkonu.

6.1.6. Omezení provozu při zhoršeném tlaku na výstupu z turbíny

Provoz se zhoršeným tlakem na výstupu z turbíny (vakuum) způsobuje kromě nárůstu teploty výstupní části tělesa turbíny ještě nárůst namáhání zejména předposledních a posledních řad oběžných lopatek. Proto je doporučeno při zhoršení tlaku na výstupu z turbíny (vakua) snižovat výkon. Pokud nedojde během tohoto snižování výkonu ke zlepšení vakua, je nutno zahájit odstavování TG.

Obecně lze říci, že zhoršení (zhoršování) vakua vždy signalizuje nějaký provozní problém, který by měl být obsluhou identifikován a odstraněn. Mezi možné důvody zhoršeného vakua patří např. špatná funkce systému ucpávkové páry, netěsnost ve vakuovém systému, vysoká teplota chladicí vody, nedostatečné množství chladicí vody, zanesené trubky v povrchovém kondenzátoru, špatná funkce vývěv, atp.

6.1.7. Omezovací regulace

Aby se minimalizoval provoz turbíny v nepříznivých provozních režimech, jsou řídicím systémem omezovány některé mimořádné provozní režimy. Mezi nejčastěji používané omezovací regulace patří:

- Omezovací regulace tlaku na výstupu z turbíny (vakua).
- Omezovací regulace tlaku za 1. kolem VT dílu (nebo za A-kolem).
- Omezovací regulace výkonu.

Tyto omezovací regulace snižují při překročení zadané maximální provozní hodnoty otevření regulačních ventilů turbíny a tím eliminují zhoršování provozního stavu. O působení omezovací regulace je obsluha bloku informována signalizací.

Aby nedošlo k úplnému uzavření regulačních ventilů v případě, že je například porucha v měření, uzavření regulačních ventilů je při působení omezovací regulace omezeno tak, aby nezavřely pod 30% otevření.

6.1.8. Přeběh

Přeběh je takový režim, při kterém otáčky soustrojí překročí dovolenou hodnotu otáček, nebo trend změny otáček překročí povolenou hodnotu zrychlení (např. při náhlém odlehčení turbogenerátoru). K přeběhu může dojít u odfázovaného i přifázovaného soustrojí. O působení přeběhu je obsluha bloku informována signalizací.

Dojde-li k přeběhu, jsou v libovolném provozním režimu prioritně uzavřeny VT a ST regulační ventily a NT regulační klapka (zásahem na magnety rychlého zavření) a zůstávají zavřeny po celou dobu trvání přeběhu. Nedojde-li k zásahu ochran, RZ ventily zůstávají otevřeny. Po dobu trvání přeběhu dochází ke snižování zadané hodnoty na otevření regulačních ventilů trendem 10%/s. Po odeznění stavu přeběh se VT a ST regulační ventily i NT klapka otevírají na tuto nově vygenerovanou hodnotu otevření.

6.1.9. Zkoušky za provozu turbiny

Při dlouhodobém provozu se zatížením je nutno prověřovat funkční schopnost ochran a nejdůležitějších komponent turbiny a jejího příslušenství. Toto lze provádět za provozu turbosoustrojí a některé tzv. diagnostické testy jsou automatizovány. Na podrobný popis bohužel není v této bakalářské práci prostor, proto zde vyjmenuji alespoň ty nejdůležitější testy.

Test kanálu ochran

Při testu jsou postupně zkoušeny sedlové a vestavné ventily RZ okruhů prostřednictvím elektromagnetů sedlových ventilů a tlakových spínačů, které signalizují správnou funkci hydraulického bloku výběru 2ze3.

Test pohyblivosti rychlozávěrných ventilů a NT rychlozávěrné klapky

Zkoušky pohyblivosti rychlozávěrných ventilů se provádí postupně pro jednotlivé ventily pokud možno při sníženém výkonu TG. Test se provede aktivováním elektromagnetu pro zkoušení pohyblivosti, čímž je rychlozávěrný ventil (klapka) pomalu uzavírána a čeká se na ztrátu signálu otevřené polohy. Po zkoušce se musí rychlozávěrný ventil (klapka) vrátit zpět do otevřené polohy.

V případě, že se zjistí vážnutí některého z rychlozávěrných ventilů nebo klapky, generátor se nesmí odpojit od sítě dříve, než je bezpečně uzavřen přívod páry do turbiny!

Test nadotáčkové ochrany simulací

Zkoušku pojistného zařízení otáček je možné provádět pouze za předpokladu, že na zařízení Woodward Protech ani v hydraulickém výběru dva ze tří není hlášena porucha. Zkouška se provádí simulací zvýšených otáček přímo na zařízení Woodward Protech (ve strojovně) prostřednictvím testu.

Testy mazacího oleje

Vzhledem k tomu, že ochrany v systému mazacího oleje patří mezi ty nejdůležitější, je nutné v intervalu minimálně jednou za 3 měsíce odzkoušet jejich funkčnost. Jedná se o zkoušku těchto ochran:

- Hladina v hlavní olejové nádrži – prostor za sítý
- Tlak mazacího oleje před ložisky

- Manostat pro automatický start nouzového olejového čerpadla

Testování je možné provádět i za provozu, neboť odzkoušení jednoho čidla ještě nezpůsobí odstavení TG. Předpokladem je zařízení v dokonalé kondici, znalost umístění příslušných čidel a případně náradí pro jejich demontáž. Zkouška se provede uzavřením impulsní trasy před čidlem a vypuštěním čidla. Čidlo signalizuje poruchovou hodnotu na příslušné obrazovce avšak výběr 2ze3 zabrání odstavení TG. Následuje uvedení měření do původního stavu (včetně odvzdušnění) a lze přejít k vyzkoušení dalšího čidla.

Manostat pro automatický start nouzového olejového čerpadla nezapřičiní odstavení TG (nemá návaznost do ochran) avšak způsobí start nouzového olejového čerpadla (DC). Tím se vyzkouší celý řetězec. Po ukončení testu čidla je nutné nouzové olejové čerpadlo odstavit ručně.

Test pohyblivosti regulačních ventilů NT regulační klapky

Zkoušky pohyblivosti regulačních ventilů a NT regulační klapky nejsou zautomatizovány. Minimálně jednou za měsíc by se měla částečně vyzkoušet pohyblivost krátkodobým snížením výkonu na cca 10% jmenovitého výkonu (může být realizováno při snížení výkonu z provozních důvodů) a porovnáním difference zadané a skutečné hodnoty otevření regulačních ventilů (klapky). Úplná zkouška pohyblivosti vysmeknutím stroje by se měla provést minimálně 1x za rok (může být realizováno při odstávce z provozních důvodů) a spočívá v kontrole skutečného uzavření všech regulačních ventilů a kontrole jejich pohyblivosti v celém jejich rozsahu 0 ÷ 100%.

Kontrola vzduchotěsnosti vakuového systému – spadek vakua

Během této kontroly se kontroluje těsnost vakuového systému, neboť zvýšené množství vzduchu v kondenzačním systému (v povrchovém kondenzátoru) zhoršuje účinnost TG a v případě větších netěsností může dokonce snižovat životnost turbíny (především má vliv na poslední stupně oběžných lopatek NT rotoru). Proto je nutné provádět pravidelnou kontrolu spadku vakua v intervalech minimálně 1x za rok, nebo v případě, kdy je podezření, že je ve vakuovém systému netěsnost, která zhoršuje hladinu vakua.

Měření spadku vakua se provádí při kondenzačním provozu a výkonu TG větším než 90% jmenovitého. Měření je nutné provádět při ustáleném provozu a při konstantním otevření regulačních ventilů. Zkouška se provede tak, že se odstaví vývěvy a uzavřou se uzavírací klapky v sání vývěv. V okamžiku odstavení vývěv se zahájí odečítání hodnoty tlaku na výstupu z turbíny po dobu 11 minut. Naměřené hodnoty tlaku se vynesou do grafické závislosti na čase (v minutách). V grafu se vyloučí počáteční nárůst tlaku (1. minuta) a zbývající vyrovnaný průběh se nahradí přímkou. Určí se směrnice této přímkou, z které se určí spadek vakua v Pa/min. Kontrolu lze považovat za úspěšnou, pokud spadek vakua nepřekračuje hodnotu stanovenou pro daný vakuový systém.

6.2. Možné způsoby odstavení

Odstavování turbíny je poslední fází provozního cyklu. Způsob odstavení se řídí podle toho, zda se turbína odstavuje do energetické rezervy nebo z důvodu opravy. Z hlediska důvodu odstavení existují následující způsoby odstavení:

- Plánované odstavení.
- Poruchové odstavení ochranným systémem, případně operátorem.
- Odpojení výkonu od sítě (odfázování), kdy turbína zůstává v provozu na jmenovitých otáčkách, nebo přechází na vlastní spotřebu bloku.

Každý z těchto důvodů odstavení je něčím charakteristický a jsou jim věnovány následující kapitoly.

6.2.1. Plánované odstavení

Plánované odstavení je charakteristické tím, že je možné se na něj připravit. To znamená, že je možné při plánovaném odstavení postupně snižovat výkon kotle a regulovaně uzavírat otevření regulačních ventilů turbíny. Snižování výkonu se provádí až na technické minimum (nejčastěji dáno možnostmi kotle). Při snižování výkonu je třeba sledovat především teploty páry vstupující do turbíny, vyhodnocování teplotního namáhání a relativní posuvy. Při dosažení mezních hodnot je nutné ihned zjednat nápravu, a pokud se situace nezlepší, raději turbosoustrojí odstavit a nečekat na dosažení havarijní meze.

Postupným snižováním výkonu zároveň dochází k vychlazení těles turbíny, což má vliv na teplotní namáhání turbíny, ale pokud se pohybujeme v dovolených mezích pro provoz, není vliv nějak extrémně významný. Větší přínos tohoto postupného snižování výkonu je v tom, že nedojde v elektrizační soustavě k tak výraznému poklesu výkonu, není nutné mařit takové množství páry naakumulované v kotli a v neposlední řadě je možné zahájit dříve servisní práce na parní turbíně (dříve je dosaženo studeného stavu turbíny).

Samotné odstavení turbíny se provádí po dosažení minimálního výkonu prostřednictvím tlačítka pro odstavení, případně je možné turbínu odstavit některou z ochranných odstavujících turbínu simulací poruchové veličiny, čímž se odzkouší její funkčnost.

Po odstavení turbíny je nutné zapsat čas odstavení pro kontrolu doběhu turbíny do klidového stavu a zkontrolovat automatický start spouštěcího olejového čerpadla. V průběhu doběhu kontrolovat automatický start čerpadla zvedacího oleje. Po zastavení rotorů se zapíše čas doběhu a sleduje se automatický start natáčecího zařízení. V případě, že by k automatickému startu natáčecího zařízení nedošlo, je nutné se pokusit zprovoznit natáčecí zařízení v ručním režimu a pokud ani to nebude úspěšné, je nutné přistoupit k ručnímu protáčení turbosoustrojí.

V případech, kdy se z vážných důvodů nemůže po odstavení stroje provozovat natáčecí zařízení a ani nelze rotory v pravidelných intervalech ručně pootáčet, ponechají se rotory v klidu až do úplného přirozeného vychladnutí stroje. Násilné protáčení může závažným způsobem poškodit stroj. Natáčecí zařízení se uvede do provozu až po ověření, že při ručním protáčení není rotorová soustava nadměrně brzděna. Během celého procesu musí být zajištěna dodávka mazacího oleje do ložisek pro jejich chlazení a zvedací olejové čerpadlo. Vážných důvodů, které brání trvalému provozu natáčecího zařízení, může být více, zvýšený odpor proti otáčení však zpravidla souvisí s kontaktem rotoru se statorem jinde než v ložiskách. Vyčerpání radiálních (event. axiálních) vůlí často souvisí s přechodnou deformací rotoru nebo statoru a je v převážné míře způsobeno nevyrovnaným teplotním polem.

Po odstavení parní turbíny a dosažení protáčecích otáček je nutné podle délky odstávky odstavit i ostatní systémy (příslušenství turbíny). Odstavení se v podstatě provádí v opačném pořadí, než při najíždění. Postupně se v následujícím pořadí odstavuje:

- Systém vysokotlaké hydrauliky
- Systém komínkové a ucpávkové páry
- Systém evakuace
- Systém odvodnění
- Systém kondenzace
- Natáčecí zařízení turbíny

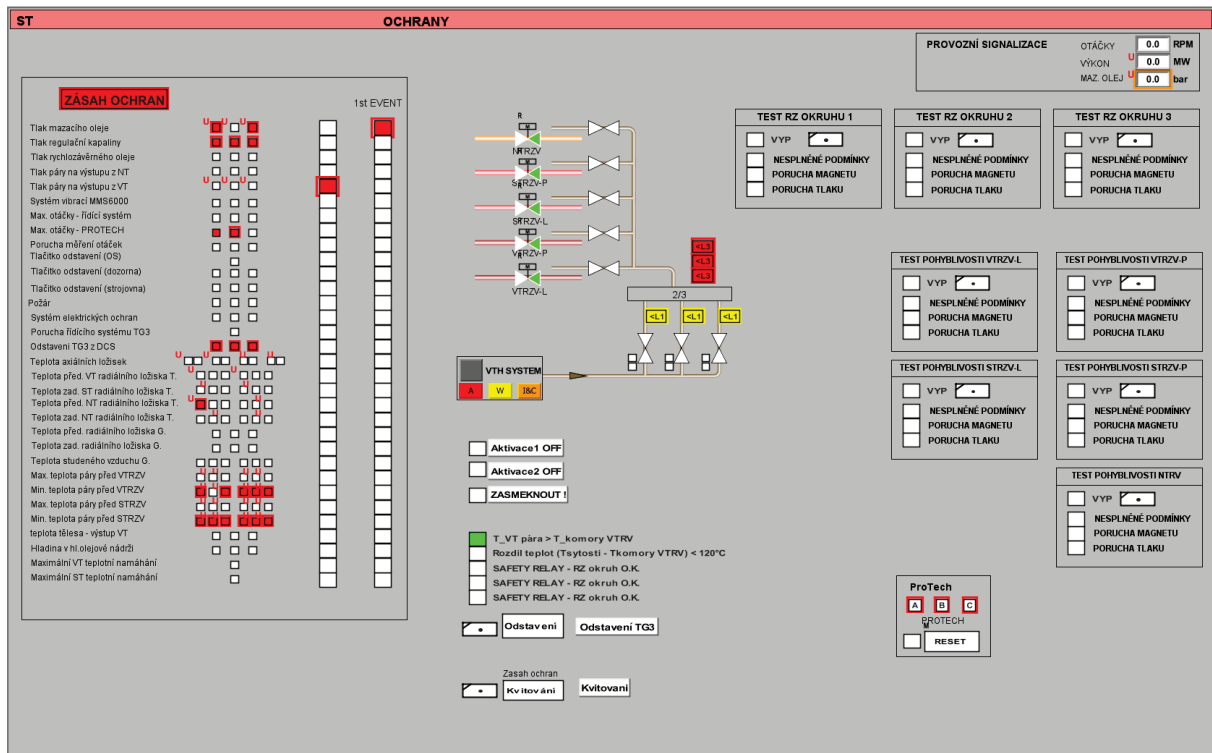
- Systém zvedacího oleje
- Systém mazacího oleje
- Systém chladicí vody

Natáčecí zařízení a systém zvedacího a mazacího oleje je možné odstavit až po vychladnutí turbíny, kdy teploty VT/ST vnitřních těles jsou pod hodnotou 100 °C.

6.2.2. Poruchové odstavení

Poruchovým odstavením je v tomto případě míněno neplánované přerušení provozu zásahem zabezpečovacího systému parní turbíny (ochran) či obsluhy. Povinností obsluhy je pečlivě sledovat průběh provozních parametrů a při každé abnormální situaci včas rozhodnout o zásahu do zařízení. V případech, kdy je jasné, že vývoj směřuje ke vzniku poruchy, je obsluha povinna zařízení odstavit. Obsluha je rovněž povinna zařízení okamžitě odstavit, dojde-li k jakémukoliv poruchovému stavu, při kterém má dojít k automatickému zásahu ochran vedoucím na odstavení turbíny, avšak k automatickému odstavení nedošlo.

Poruchové stavy vyhodnocuje zabezpečovací systém parní turbíny, který ji chrání před nežádoucími, nebezpečnými nebo nepřipustnými provozními stavy. Celkem jsou 3 stupně zabezpečení. 1. a 2. stupeň zabezpečení informuje obsluhu formou signalizace o vybočení sledovaných veličin z provozního stavu, případně se od těchto signalizací provádí odstavení dílčího zařízení či jiné manipulace. 3. stupeň zabezpečení v kladném nebo záporném smyslu je zvykem nazývat „ochranou“, která vždy aktivuje impuls na uzavření všech vstupů páry do turbíny, tj. zajistí vypnutí elektrohydraulických magnetů v hydraulickém bloku výběru 2ze3 .



Obrázek 35 – Obrazovka ochran TG [6]

Na obrázku 35 je obrazovka ochran, na které můžeme vidět tabulku ochran působících na odstavení TG (vlevo), tlačítka pro aktivaci/deaktivaci/kvitování ochran a tlačítka pro zasmeknutí a odstavení turbíny (uprostřed) a ovládací okna pro provádění testů

rychlozávěrného okruhu a testů pohyblivosti rychlozávěrných ventilů a NT rychlozávěrné klapky a ovládací okno pro reset nadotáčkové ochrany Woodward Protech.

Než se budu věnovat jednotlivým ochranám turbíny, rád bych vysvětlil tlačítka pro aktivaci a deaktivaci ochran. Vzhledem k tomu, že pro zasmeknutí turbíny (vysvětleno v kapitole 3.2.9.) nesmí být aktivní žádná ochrana, některé ochrany jsou aktivní až od určitého provozního stavu aby bylo možné turbínu zasmeknout. Ochrany aktivní od aktivace 1 jsou aktivní vždy, pokud jsou otáčky turbíny větší než 0 ot/min. Ochrany aktivní od aktivace 2 jsou aktivní vždy, pokud jsou otáčky turbíny větší než 100 ot/min. Některé ochrany jsou aktivní až od specifického provozního stavu daného pro danou veličinu, např. minimální teplota vstupní páry. Samotná aktivace se provádí automaticky při překročení příslušné hladiny otáček (nebo dosažení provozního stavu). Deaktivaci ochran 1 a deaktivaci ochran 2 provádí operátor turbíny, deaktivaci ostatní ochran (pokud nejsou aktivní trvale) provádí automaticky řídicí systém.

Nyní stručně popíši jednotlivé ochrany způsobující odstavení TG. K nejdůležitějším ochranám, které jsou aplikovány vždy, patří:

Ochrana tlaku mazacího oleje

Tlak v systému mazacího oleje je měřen třemi analogickými snímači tlaku. Ochrana je aktivována od aktivace ochran 1. K zásahu ochrany dojde při poklesu tlaku mazacího oleje pod 80 kPa(g) na minimálně dvou snímačích tlaku (výběr 2ze3). Od zásahu ochrany dojde k odstavení TG a k automatickému startu SOČ a NOČ.

Součástí ochrany proti ztrátě tlaku v systému mazacího oleje je i manostat pro automatický start nouzového olejového čerpadla (DC), který je plně nezávislý na řídicím systému a aktivuje start NOČ přímo. Tento manostat zajišťuje start NOČ v případě, že selže automatika ochran řídicího systému. Hodnota spínacího tlaku na manostatu je nastavena pod hodnotou ochrany.

Ochrana maximálních otáček TG

Maximální otáčky turbíny nesmí překročit jmenovité otáčky turbíny o více než 11%, tj. u parní turbíny se jmenovitými otáčkami 3000 ot/min to činí 3330 ot/min. To zajišťují celkem dvě nadotáčkové ochrany. Tyto ochrany jsou aktivní trvale.

První nadotáčkovou ochranou je nadotáčková ochrana řídicího systému, která využívá pro vyhodnocování otáček tři čidla otáček. K zásahu ochrany dojde při překročení nastavených otáček (obvykle 3295 ot/min) na minimálně dvou měřeních (výběr 2ze3).

Druhou nadotáčkovou ochranou je nadotáčková ochrana Woodward Protech, která je zcela nezávislá na řídicím systému turbíny. Tato nadotáčková ochrana má celkem tři jednotky, každá zpracovává signál z jednoho čidla otáček. Přes každou tuto jednotku je napájen jeden elektrohydraulický magnet hydraulického výběru 2ze3. Pokud jednotka vyhodnotí překročení nastavených otáček (obvykle 3305 ot/min), jednotka přestane napájet elektrohydraulický magnet hydraulického výběru 2ze3, a pokud se tak stane minimálně u dvou jednotek, dojde k odstavení TG.

Ochrana tlaku na výstupu z turbíny (vakua)

Tlak na výstupu z turbíny (vakua) je měřen třemi analogickými snímači tlaku. Ochrana je aktivována od aktivace ochran 2. K zásahu ochrany dojde při nárůstu tlaku ve vakuovém prostoru nad 50 kPa (obvyklá hodnota ochrany, která však může být u některých projektů jiná) na minimálně dvou snímačích tlaku (výběr 2ze3). Od zásahu ochrany dojde k odstavení TG.

Ochrana zvýšených vibrací rotorové soustavy

Rotorová soustava turbíny a generátoru je osazena snímači pro měření vibrací jednotlivých rotorů. Tyto ochrany jsou aktivovány od aktivace ochran 1. Hodnoty ochran se stanovují vždy pro konkrétní rotorovou soustavu dle normy. K zásahu ochrany dojde při překročení nastavené hodnoty na minimálně dvou snímačích rotorových vibrací (výběr 2ze3). Od zásahu ochrany dojde k odstavení TG.

Ochrana relativních posuvů

Relativní posuvy byly popsány v kapitole 6.1.1. Aby nedošlo ke styku rotoru se statorem při vyčerpání axiálních vůlí, je turbína v předstihu odstavena ochranou. Měření zajišťují snímače posuvu. Tyto ochrany jsou aktivovány od aktivace ochran 1. Při překročení nastavené hodnoty (stanovuje se vždy podle ustavení rotoru ve statoru) u konkrétního snímače (výběr 1z1) dojde k odstavení TG.

Ochrana teploty ložisek

Axiální a radiální ložiska jsou osazeny termočlánky, které měří jejich teplotu. U každého ložiska jsou vždy dva dvojité termočlánky (u axiálního ložiska 4, z každé strany 2). Tyto ochrany jsou aktivovány od aktivace ochran 1. K zásahu ochrany dojde při překročení maximální teploty (nejčastěji 120°C, ale může být i nižší podle typu použitého ložiska) na minimálně dvou snímačích teploty (výběr 2ze3). Od zásahu ochrany dojde k odstavení TG.

Hladina v hlavní olejové nádrži

Hladina v HON je měřena nejčastěji třemi analogovými snímači hladiny - hladinoměry (někdy může být použito místo dvou analogových dva binární hladinoměry). Tato ochrana je aktivována od aktivace ochran 1. K zásahu ochrany dojde při poklesu hladiny v HON pod minimální hodnotu (stanoveno vždy pro konkrétní HON) na minimálně dvou hladinoměrech (výběr 2ze3). Od zásahu ochrany dojde k odstavení TG.

Ochrana tlaku rychlozávěrného oleje

Tlak rychlozávěrného oleje vytvořeného v hydraulickém bloku 2ze3 systému vysokotlaké hydrauliky je měřen třemi binárními snímači tlaku. Ochrana je aktivována od zasmeknutí turbíny. K zásahu ochrany dojde při ztrátě tlaku rychlozávěrného oleje u minimálně dvou snímačů tlaku (výběr 2ze3). Od zásahu ochrany dojde k odstavení TG.

Ochrana minimální a maximální teploty vstupní páry

Teplota vstupní páry je měřena vždy třemi termočlánky. Z těchto snímačů teploty se vyhodnocuje aktuální teplota. Při překročení maximální teploty nebo minimální teploty u dvou termočlánků v příslušném parovodu dojde k odstavení TG. Ochrana minimální je aktivována od překročení minimální teploty (není aktivní při najíždění) a maximální teploty vstupní páry je aktivována od aktivace ochran 1. Hodnoty minimální a maximální teploty vstupní páry se určují vždy pro konkrétní parní turbínu.

Ochrana teploty tělesa VT dílu

Teplota vnějšího tělesa VT dílu turbíny je měřena třemi termočlánky. Při provozu turbíny s nízkým výkonem dochází vlivem ventilačního účinku rotoru k nárůstu teploty páry na výstupu z VT dílu a tím k nebezpečnému vzrůstu teploty vnějšího tělesa VT dílu turbíny. Při překročení maximální teploty u dvou termočlánků dojde k odstavení TG. Tato ochrana je aktivována od aktivace ochran 2. Hodnota maximální teploty se určuje vždy pro konkrétní parní turbínu.

Ochrana teplotního namáhání rotoru

Jak bylo popsáno v kapitole 6.1.2., rotor turbíny je chráněn proti zvýšenému teplotnímu namáhání. Pokud se hodnota teplotního namáhání dostane do zakázané oblasti (červené na obrázku 34), dojde automaticky k odstavení turbíny ochranou. Tato ochrana je aktivována od aktivace ochran 2.

Kromě toho je soustrojí nutno odstavit i v případech, kdy nastane poruchový stav, který není ošetřen v zabezpečovacím systému například proto, že jeho vyhodnocení je obtížně proveditelné pomocí automatiky (avšak obsluha jej může zaregistrovat). Pro zajištění spolehlivého a bezporuchového provozu, a tím co nejdélejší životnosti stroje, je nutná znalost nejen všech předpisů, ale i určitá praxe, neboť žádné předpisy nemohou detailně popsat všechny možnosti mimořádných provozních stavů, které se mohou v průběhu provozu vyskytnout.

Poruchové odstavení se v podstatě od plánovaného odstavení liší tím, že turbína je odstavena zpravidla z cílového výkonu, nikoliv postupným snižováním výkonu. Odlišnosti mohou být podle charakteru poruchy. Například při poruše nevyváženosti rotoru a z toho vyplývajícího vysokého chvění je žádoucí zkrátit dobu doběhu turbíny na minimum, hlavně z důvodu co možná nejrychlejšího přejetí pásma kritických otáček. Zkrácení doběhu dosáhneme zhoršením vakua v povrchovém kondenzátoru, kdy zvýšeným odporem na lopatky především na výstupu do povrchového kondenzátoru dosáhneme brzdícího účinku. Zhoršení vakua se provede odstavením okruhu vývěv a zavzdušněním vakuového prostoru přes speciálně instalovanou armaturu, které se říká rušič vakua. Další způsob a rozsah odstavování se řídí podle rozsahu a závažnosti poruchy a rozhodnutím o řešení vzniklé situace.

Pokud došlo k automatickému odstavení turbosoustrojí působením ochrany, nesmí být turbosoustrojí znovu uvedeno do provozu, aniž by byla prověřena a odstraněna příčina působení ochrany. Po opětovném uvedení zařízení do provozu je třeba věnovat zvýšenou pozornost veličinám, jejichž změna zapříčinila působení ochrany, aby bylo vyloučeno případné nesprávné stanovení příčiny poruchy.

6.2.3. Odpojení výkonu od sítě

Parní turbína musí být schopná odolávat poruchovým stavům, jako je okamžitá změna výkonu na vlastní spotřebu nebo na nulový výkon. Další provoz po tomto výkonovém skoku musí být v souladu s normou ČSN EN 60045-1 a doporučením výrobce. Provoz na nulový výkon je nejčastěji omezen 15 minutami v jednotlivém případě a součtová doba těchto případů nesmí nepřekročit 50 hodin za dvanáctiměsíční období. Provoz na vlastní spotřebu je nejčastěji omezen 10 hodinami v jednotlivém případě a součtová doba těchto případů nesmí nepřekročit 50 hodin za dvanáctiměsíční období.

Z důvodů náhlé teplotní změny materiálu komponentů turbíny jsou tyto typy provozu považovány za kritický stav, kterému nesmí být parní turbína periodicky vystavována. Tyto teplotní změny způsobují zvýšené teplotního namáhání, které má nepříznivý vliv na životnost parní turbíny. To je i důvod pro časové omezení takového provozu.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo stručnou formou přiblížit základní principy a postupy při provozu parních turbin ŠKODA, především pak parních turbin ŠKODA v paroplynovém cyklu. V žádném případě tato bakalářská práce, která byla zpracována v obecné rovině, nemůže nahradit provozní předpisy, které se v daleko podrobnější formě zpracovávají pro každou parní turbínu, neboť každá parní turbína má svá specifická zapojení, konstrukční provedení, omezující podmínky provozu, postupy najíždění, atd.

Provozování parních turbin je v současné době daleko snadnější, než byl provoz parních turbin instalovaných v minulosti, řekněme před více než 30 lety. Toto zjednodušení přinesla především možnost automatizace najíždění a vyhodnocování nestandardních provozních stavů během najíždění a provozu. Většina nepříznivých provozních stavů pro parní turbínu, včetně příslušenství, je včas vyhodnocována řídicím systémem, který včasnými signalizacemi a manipulacemi eliminuje riziko, a v případě havarijních provozních stavů prostřednictvím systému ochran parní turbínu odstavuje.

Mohlo by se zdát, že vzhledem k tomu, že je dnes téměř vše automatizováno řídicím systémem, nejsou vysoké nároky na provozní personál obsluhující parní turbíny. Opak je ale pravdou, neboť nelze vždy vše řešit automatickými zásahy. V mnoha případech řídicí systém pouze vyhodnotí nepříznivý provozní stav, který je obsluze parní turbíny signalizován a obsluha musí provést takové manipulace, které vrátí provozní hodnoty zpět do požadovaných mezí dříve, než dojde např. k poškození zařízení nebo odstavení parní turbíny ochranou. Každé poruchové odstavení parní turbíny má za následek značné ekonomické ztráty, neboť nejenže dojde ke ztrátám výroby, ale také je naakumulovaná pára v kotli přepouštěna přepouštěcími stanicemi do povrchového kondenzátoru, čímž je její energetické využití zmařeno. U paroplynových cyklů je ztráta o to citelnější, že s odstavením parní turbíny se odstavují také turbíny spalovací, neboť provoz paroplynového cyklu bez provozu parní turbíny není příliš ekonomický.

Úvodní část bakalářské práce se věnuje najíždění jednotlivých systémů, bez kterých by parní turbína nemohla být uvedena do provozu. Prostřední část bakalářské práce se pak věnuje najíždění samotné parní turbíny včetně stanovení požadovaných parametrů páry a postupů při prohřevu parovodu a turbíny. A závěrečná část této bakalářské práce je věnována ustálenému provozu a odstavování parní turbíny. Bakalářskou práci jsem se snažil zpracovat tak, aby obsáhla celou problematiku provozování parních turbin, ale aby byla srozumitelná i čtenáři, který má s provozem parních turbin jen malé nebo žádné zkušenosti. Proto jsem se snažil v mnoha ohledech nezacházet příliš do detailu. Věřím, že informace obsažené v této bakalářské práci budou pro čtenáře přínosné a srozumitelné.

8. Seznam použité literatury a ostatních materiálů

Použitá literatura:

- [1] Ing. Arnošt Páv *Provoz parních turbín a příslušenství III.* Praha: Čes. energetické závody / Technická škola energetiky, 1970.
- [2] Doosan Škoda Power s.r.o.
*Dodavatelský provozní předpis – Turbina s příslušenstvím
Paroplynový zdroj 880MWe v Elektrárně Počerady*
- [3] ČEZ a.s.
Informace o paroplynové energetice
Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/paroplynove-elektrarny/>
- [4] Doosan Škoda Power s.r.o.
Archiv provozních předpisů
- [5] Český normalizační ústav.
ČSN EN 60045-1 Parní turbíny. Část 1: Specifikace., Leden 1996

Ostatní použité materiály:

- [6] Autel a.s.
Ovládací obrazovky TCS
- [7] Siemens s.r.o.
Ovládací obrazovky DCS
- [8] Doosan Škoda Power s.r.o.
Prezentace “100 let výroby parních turbín Škoda v Plzni”
- [9] Obrázek chladících věží
<http://www.chv-praha.cz>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 – První vyrobená rovnotlaká parní turbina ŠKODA systému Rateau [8]	5
Obrázek 2 – Provozní režimy parní turbíny [1]	6
Obrázek 3 – Zapojení parní turbíny v paroplynovém cyklu	8
Obrázek 4 – Chladicí věže [9].....	11
Obrázek 5 – Obrazovka chladicího okruhu [7]	11
Obrázek 6 – Obrazovka systému mazacího oleje [6].....	12
Obrázek 7 – Hlavní olejová nádrž [2]	13
Obrázek 8 – Obrazovka systému kondenzace [7]	18
Obrázek 9 – Obrazovka systému odvodnění [6]	20
Obrázek 10 – Zapojení odvodnění [2].....	20
Obrázek 11 – Funkce automatického odvaděče kondenzátu [2].....	21
Obrázek 12 – Obrazovka vodokružných vývěv [7]	22
Obrázek 13 – Zapojení systému komínkové a ucpávkové páry [6]	24
Obrázek 14 – Ilustrační obrázek přední ucpávky [2]	24
Obrázek 15 – Labyrintová ucpávka - pravý labyrint [2].....	25
Obrázek 16 – Labyrintová ucpávka - nepravý labyrint [2]	26
Obrázek 17 – Obrazovka hydraulického agregátu [6]	27
Obrázek 18 – Řídící bloky RZ ventilů [5].....	29
Obrázek 19 – Ukázka najížděcího diagramu [4].....	31
Obrázek 20 - Středně integrální teplota rotoru.....	32
Obrázek 21 – Schéma zapojení parních ventilů a ventilů prohřevu [6]	35
Obrázek 22 – Diagram postupu prohřevu VT parovodů a VT ventilových komor	37
Obrázek 23 – Diagram postupu prohřevu ST parovodů a ST ventilových komor.....	37
Obrázek 24 – Diagram postupu prohřevu VT dílu turbíny	39
Obrázek 25 – Ovládací obrazovka regulace turbíny [6]	40
Obrázek 26 – Signalizace provozního stavu a splnění podmínek pro najíždění [6]	41
Obrázek 27 – Modul regulace otáček [6]	41
Obrázek 28 – Ukázka požadavků na teplotu páry pro přifázování TG k síti [2]	42
Obrázek 29 – Modul regulace výkonu [6]	42
Obrázek 30 – Modul regulace NT páry [6].....	43
Obrázek 31 – Regulátory řízení polohy VT a ST regulačních ventilů [6]	44
Obrázek 32 – Obrazovka měření teplot ložisek a teplot na generátoru [6].....	45

Obrázek 33 – Obrazovka měření posuvu a chvění turbosoustrojí [6].....	46
Obrázek 34 – Ukázka grafu mezi teplotního namáhání	47
Obrázek 35 – Obrazovka ochran TG [6].....	53