



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

REKONSTRUKCE PARNÍ KONDENZAČNÍ TURBÍNY

RETROFIT STEAM CONDENSING TURBINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michaela Holečková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Bc. Michaela Holečková**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Rekonstrukce parní kondenzační turbíny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rekonstrukce parní kondenzační turbíny s přetlakovým lopatkováním.

- Posouzení aktuálního stavu parní turbíny
- Návrh opravy turbíny včetně příslušenství (bez GENERÁTORU) v rozsahu, který zajistí uvedení turbíny do provozu v souladu s provozními předpisy a požadavky zadavatele
- Návrh opravy a modernizace průtočné části
- Návrh řešení profilů lopatek včetně úpravy závěsů rotorových i statorových lopatek vzhledem k novým požadavkům zadavatele na provoz a zvýšení životnosti průtočné části

Cíle diplomové práce:

Diplomovou práci zpracujte v tomto rozsahu:

Zpracování revizního nálezu

Stanovení rozsahu opravných prací

Konstrukční řešení rekonstrukce uchycení rotorových a statorových lopatek

Konstrukční řešení problematiky utěsnění dělící roviny skříňe

Základní výpočet utahovacích momentů šroubů do dělící roviny

Seznam literatury:

Fiedler, J.: Parní turbíny - návrh a výpočet, CERM Brno 2009

Kadrnožka, J.: Tepelné turbíny a turbokompresory, CERM Brno 2004

Kadrnožka, J.: Tepelné elektrárny a teplárny, SNTL Praha 1980

Škopek, J.: Parní turbína, tepelný a pevnostní výpočet, ZČU Plzeň, 2007

Firemní literatura EKOL Energo

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je rekonstrukce parní kondenzační turbíny. Práce se zabývá revizí parní turbíny, rekonstrukcí lopatkování turbíny a základním výpočtem utahovacího momentu šroubů dělicí roviny. Práce je zadána na konkrétní případ opravné práce turbíny Lang. V úvodní části je uveden popis turbíny a některých funkčních součástí. V návaznosti na to je vypracován revizní nález s návrhem oprav všech dílčích součástí a doporučení modernizace soustrojí. Další část obsahuje popis problematiky uchycení statorového a rotorového lopatkování a jejich rekonstrukce. Poslední část pojednává o problematice utěsnění dělicí roviny a s tím související výpočet utahovacího momentu dělicí roviny turbínové skříně.

Klíčová slova

Revize, parní turbína, rekonstrukce, statorové lopatkování, rotorové lopatkování, utahovací moment

ABSTRACT

The aim of this master thesis is the retrofit of a condensing steam turbine. The thesis obtains a revision of the steam turbine, the reconstruction of steam turbine blades and the basic calculation of bolt torques of the turbine split plane. The master thesis is assigned to a specific retrofit of the steam turbine Lang. In the introductory part the thesis is focused on the turbine description and the basic functions of selected turbine components. The following part deals with the revision and the proposal of repairs for all components and the recommendation of additional modernizations of specific measuring equipments. The analysis of anchoring the stator and rotor blading and their reconstruction is discussed in the next part. In the last part the thesis focuses on the sealing of the turbine split plane and the calculation of the various bolt torques closely linked to the sealing.

Key word

Revision, steam turbine, reconstruction, stator blading, rotor blading, bolt torques

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLEČKOVÁ, M. *Rekonstrukce parní kondenzační turbíny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 81 s.1 příloha. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma ***Rekonstrukce parní kondenzační turbíny*** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Michaela Holečková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu diplomové práce panu docentu Janu Fiedlerovi za cenné připomínky a rady při vypracování mé práce. Ráda bych poděkovala také firmě EKOL energo s.r.o. za zadání práce a současně panu Ing. Zdeňku Vítkoví za cenné rady, čas a trpělivost, které mi v průběhu vypracování práce věnoval.

Obsah

ABSTRAKT	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	7
PROHLÁŠENÍ.....	9
PODĚKOVÁNÍ.....	11
1 ÚVOD	15
2 PARNÍ TURBÍNA LANG (12 MW)	16
2.1 FUNKCE VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ	18
2.1.1 Regulační ventily	18
2.1.2 Olejové čerpadlo a rychlostní regulátor	19
2.1.3 Protáčekci zařízení	20
3 REVIZNÍ NÁLEZ	21
3.1 STATOR.....	21
3.1.1 Vršek turbínové skříně	21
3.1.2 Spodek turbínové skříně.....	22
3.1.3 Dýzové násadce a nosič vratné řady s lopatkami.....	24
3.1.4 Parní ucpávky	24
3.2 ROTOR	27
3.3 PŘEDNÍ LOŽISKOVÝ STOJAN S VÍKEM	29
3.3.1 Radiálně axiální ložisko	30
3.3.2 Olejové ucpávky předního ložiskového stojanu.....	31
3.4 ZADNÍ LOŽISKOVÝ STOJAN S VÍKEM.....	32
3.4.1 Zadní radiální ložisko turbíny	33
3.4.2 Olejové ucpávky zadního ložiskového stojanu.....	33
3.5 REGULAČNÍ VENTILY 1-4	35
3.5.1 Parní část regulačních ventilů.....	35
3.5.2 Olejová část regulačních ventilů (servopohon).....	35
3.6 RYCHLOZÁVĚRNÝ VENTIL (LEVÝ, PRAVÝ)	37
3.6.1 Parní část rychlozávěrných ventilů	37
3.6.2 Olejová část rychlozávěrných ventilů.....	38
3.7 PROTÁKECÍ ZAŘÍZENÍ	40
3.8 OLEJOVÝ VYPÍNAČ.....	41
3.9 RYCHLOSTNÍ REGULÁTOR	43
3.10 OLEJOVÉ ČERPADLO	45
3.11 MODERNIZACE.....	47
3.11.1 Elektrohydraulická regulace	47
3.11.2 Čidla vibrací.....	48
3.11.3 Měření teploty skříně	48
3.11.4 Měření teploty ložisek.....	48
3.11.5 Měření vakuového systému.....	48
3.11.6 Měření axiálního a relativního posuvu rotoru	48
3.11.7 Měření axiálního posuvu předního ložiskového stojanu	49
3.11.8 Nový řídicí systém.....	49
3.11.9 Doporučení	49

4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ REKONSTRUKCE UCHYCENÍ ROTOROVÉHO A STATOROVÉHO LOPATKOVÁNÍ	50
4.1	ROTOROVÉ LOPATKOVÁNÍ.....	50
4.2	STATOROVÉ LOPATKOVÁNÍ	53
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY UTĚSNĚNÍ TURBÍNOVÉ SKŘÍNĚ V OBLASTI DĚLÍČÍ ROVINY	55
5.1	PŘÍRUBA BEZ ODLEHČENÍ S KRUHOVÝM VNITŘNÍM PRŮŘEZEM.....	55
6	UTAHOVACÍ MOMENT DĚLÍČÍ ROVINY TURBÍNY	57
6.1	SÍLA PŘEDPĚTÍ.....	58
6.2	TUHOST	58
6.2.1	<i>Tuhost spojovacích součástí.....</i>	<i>59</i>
6.2.2	<i>Tuhost spojovaných součástí.....</i>	<i>59</i>
6.3	SÍLY V PROVOZNÍM STAVU	60
6.4	UTAHOVACÍ MOMENT.....	61
7	VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU ŠROUBŮ.....	63
7.1	VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU ŠROUBU M64x6	67
7.1.1	<i>Výpočtové hodnoty šroubu M64x6</i>	<i>69</i>
7.2	UTAHOVACÍ MOMENTY ŠROUBŮ DĚLÍČÍ ROVINY	70
8	ZÁVĚR.....	71
	SEZNAM POŽITÉ LITERATURY	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	75
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK.....	80

1 Úvod

Již od počátku probíhají na naší planetě přeměny energie, ať již transformace chemické energie na energii mechanickou, například v živých organizmech, nebo přeměna chemické energie na energii tepelnou při hoření. Zásadou však vždy zůstává, že energie nevzniká ani nezaniká, jen se přeměňuje z jednoho druhu na druh jiný. Člověk se teprve během posledních staletí naučil tyto přeměny využívat a řídit k vlastnímu prospěchu.

V dnešní době je život bez základních vynálezů moderní doby téměř nemyslitelný. Naše spotřeba energie k vykonání základních každodenních úkonů narůstá a tím klade čím dál vyšší nároky na její výrobu a s tím související technologii. Energetika, jakožto průmyslové odvětví, je oborem, který tyto nároky a požadavky společnosti převádí do skutečnosti. Energetika tedy zajišťuje využití některých zdrojů energie a vyrábí, přeměňuje a distribuuje tepelnou či elektrickou energii pro vlastní účely obyvatelstva.

Zdroje energie lze rozdělit do dvou kategorií, zdroje obnovitelné a neobnovitelné. Obnovitelnými zdroji nazýváme přírodní zdroje, které se vyskytují v blízkosti zemského povrchu a mají schopnost obnovy. Do této skupiny zařazujeme energii slunečního záření, vodní energii, větrnou energii, geotermální energii, biomasu a další. Pod pojmem neobnovitelných zdrojů rozumíme zdroje energie, které jsou vyčerpatelné lidskou činností a rychleji se spotřebovávají, než obnovují. Do této kategorie řadíme fosilní a jaderná paliva. Obě kategorie využívají k přeměně energie různých průmyslových technologií.

Jednou z technologií, kterou využívají průmyslové odvětví energetiky k transformaci energie, je parní turbína. Parní turbíny jsou stroje, které ve svém oběhu využívají pracovní látky k přeměně tepelné energie látky na mechanickou energii rotačního pohybu hřídele. Vodní pára, jakožto pracovní látka parní turbíny, je získávána řadou průmyslových zařízení a samotné turbíny tedy musí být zařazeny do většího technologického celku s vlastním zdrojem páry. Vysoká životnost stroje umožňuje dlouholeté využívání turbíny jako zdroje energie, avšak k správné funkci je nutno dodržovat předpisy a pravidelně provádět na turbíně revizi a servis.

2 PARNÍ TURBÍNA LANG (12 MW)

Předmětem opravy firmy EKOL energo s.r.o. (dále jen EKOL) je kondenzační parní turbína Lang společnosti VKG Energia OÜ, která je umístěna v Estonsku a byla instalovaná v roce 1954. Turbína doposud neprošla generální opravou, je ve velmi opotřebovaném stavu a rozsah prací při opravě a stav turbíny odpovídá více než 60 letému provozu.

Parametry turbíny Lang:

Jmenovitý výkon	12 MW
Typ	AK-12
Jmenovitý tlak páry na vstupu	2,938 MPa
Jmenovitá teplota páry na vstupu	400°C
Otáčky turbíny	3000 1/min
Výstupní tlak páry	0,0075 MPa

Turbína Lang byla z elektrárny v Estonsku dopravena do závodu EKOL v Brně v jednom celku. Následně byla rozebrána na jednotlivé části, poté byla provedena hloubková revize a byl zjištěn stav turbíny a rozsah opravných prací k obnovení provozu. I přes rozsah nutných opravných prací je generální oprava turbíny finančně výhodnější než nákup zcela nové turbíny a její následná instalace, což svědčí o spolehlivosti a trvanlivosti tohoto letitého stroje.

Turbína prošla při opravě několika konstrukčními změnami nutnými k správné funkci a k spolehlivému provozu. Na požadavek zákazníka byly odběry páry za regulačním stupněm, před regulačním stupněm a za 6. lopatkovou řadou zaslepeny a na jejich místě bylo umístěno odvodnění. Odběr pro nízkoteplotní ohřívák za 23. lopatkovou řadou byl zachován.

Turbína se skládá z:

- vršku a spodku turbínové skříně
- rotoru
- předního ložiskového stojanu s víkem
- zadního ložiskového stojanu (součástí výstupního hrdla turbínové skříně)
- čtyř regulačních ventilů
- levého a pravého rychlozávěrného ventilu
- protáčekového zařízení
- olejového vypínače
- rychlostního regulátoru
- olejového čerpadla

Parní turbína je navržena jako jedno-tělesová s horizontálně dělenou turbínovou skříní a přetlakovým lopatkováním. Konstrukčně jsou lopatky upevněny přímo v turbínové skříní. Odběry páry v turbíně jsou umístěny před regulačním stupněm, za regulačním stupněm, za 6. lopatkovou řadou a za 23. lopatkovou řadou.

Na vršek turbínové skříně jsou namontovány čtyři regulační ventily, z nichž každý má samostatný servopohon. Poloha regulačních ventilů je ovládána servopohony spolu s vinutými tlačnými pružinami. Dva rychlozávěrné ventily jsou upevněny z boku statorové skříně a tak jako u předchozích regulačních ventilů i zde je jejich součástí servopohon a tlačná pružina sloužící k regulaci polohy.

V turbínové skříní jsou umístěny nosiče předních a zadních parních ucpávek s přívodem a odvodem ucpávkové páry přes turbínovou skříň. Před regulačním stupněm turbíny je umístěn nosič s parními ucpávkami.

Součástí předního ložiskového stojanu je rychlostní regulátor, hlavní olejové čerpadlo, nosič s olejovými ucpávkami, odstředivý regulátor a radiálně axiální ložisko. Labyrintové ucpávky slouží k utěsnění skříně proti vnější atmosféře a unikání pracovní látky z turbíny do prostoru strojovny. Radiální ložiska plní funkci zachycení hmotnosti rotoru a cyklického zatížení. Axiální ložiska zachycují osové síly vzniklé průchodem páry turbínou.

Součástí turbínové skříně je zadní ložiskový stojan, ve kterém jsou umístěny nosiče olejových ucpávek, těleso zadního ložiska a spojka s generátorem. Na vršek zadního ložiskového stojanu je umístěno protáčekací zařízení a olejový vypínač.

V předních a zadních ložiskových tělesech je uložený rotor turbíny. Ten sestává z opracovaného výkovku, na kterém je umístěn regulační stupeň a 28 řad lopatek. Před regulačním stupněm turbíny je umístěn vyrovnávací píst s parními ucpávkami, který zachycuje převážnou část osové síly vzniklé při průtoku páry, a tím pádem odlehčuje ložiska turbíny. K zamezení úniku páry z prostoru turbínové skříně do strojovny jsou na přední a zadní části rotoru umístěny labyrintové ucpávky, které jsou provedeny jako bezdotykové.

Turbína má společný olejový systém pro mazací a regulační okruh.

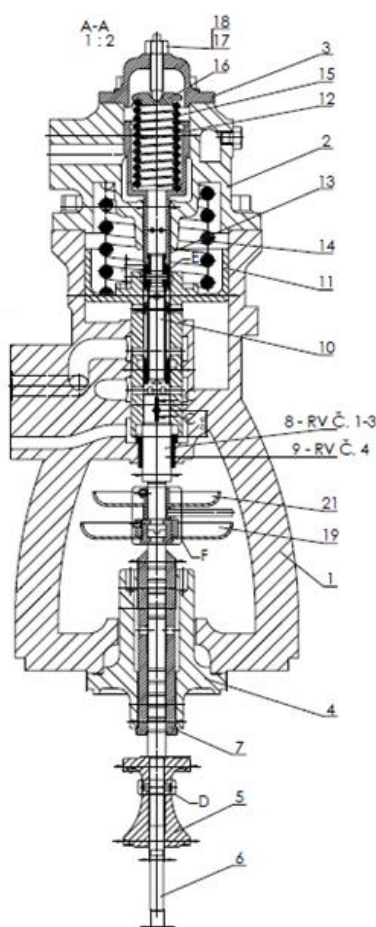
Turbínová skříň a přední ložiskový stojan jsou k sobě přišroubovány a skříň je k základu fixně upevněna jedním bodem. Skříň a přední ložiskový stojan jsou umístěny v kolejkách, které umožňují turbíně při jejím prohrátí se pohybovat směrem od fixního bodu. Uložení předního ložiskového stojanu tedy umožňuje relativní posuv při změnách teploty. [1]

V turbínové skříní na lopatkách dochází k expanzi páry z parametrů vstupních na parametry vystupující do kondenzátoru a přitom se mění vnitřní energie páry na mechanickou práci.

2.1 Funkce vybraných součástí

2.1.1 Regulační ventily

K regulaci průtoku páry turbínou slouží čtyři regulační ventily, z čehož jeden je viditelný na Obr. 2-1 Regulační ventil. Regulační ventily se skládají ze dvou částí a to z parní části a části olejové. Olej vstupující do regulačních ventilů řídí přívod páry do turbíny. Olej vstupující do ventilů působí na hlavní píst (pozice 11 na Obr. 2-1 Regulační ventil), který je spojen s šoupátkem (pozice 10) a držen v rovnovážné poloze pomocí hlavní tlačné pružiny (pozice 14). Na vřetenu regulačního ventilu (pozice 6), které je uložené v lenzové pouzdře (pozice 7), je připevněna regulační kuželka (pozice 5). Zvýšením tlaku oleje je nadzdvížen hlavní píst, stlačena pružina a posouváno vřeteno regulačního ventilu a tím i regulační kuželka. Změna zdvihu regulační kuželky tak umožní regulaci a průchodu páry do dýz. [2]

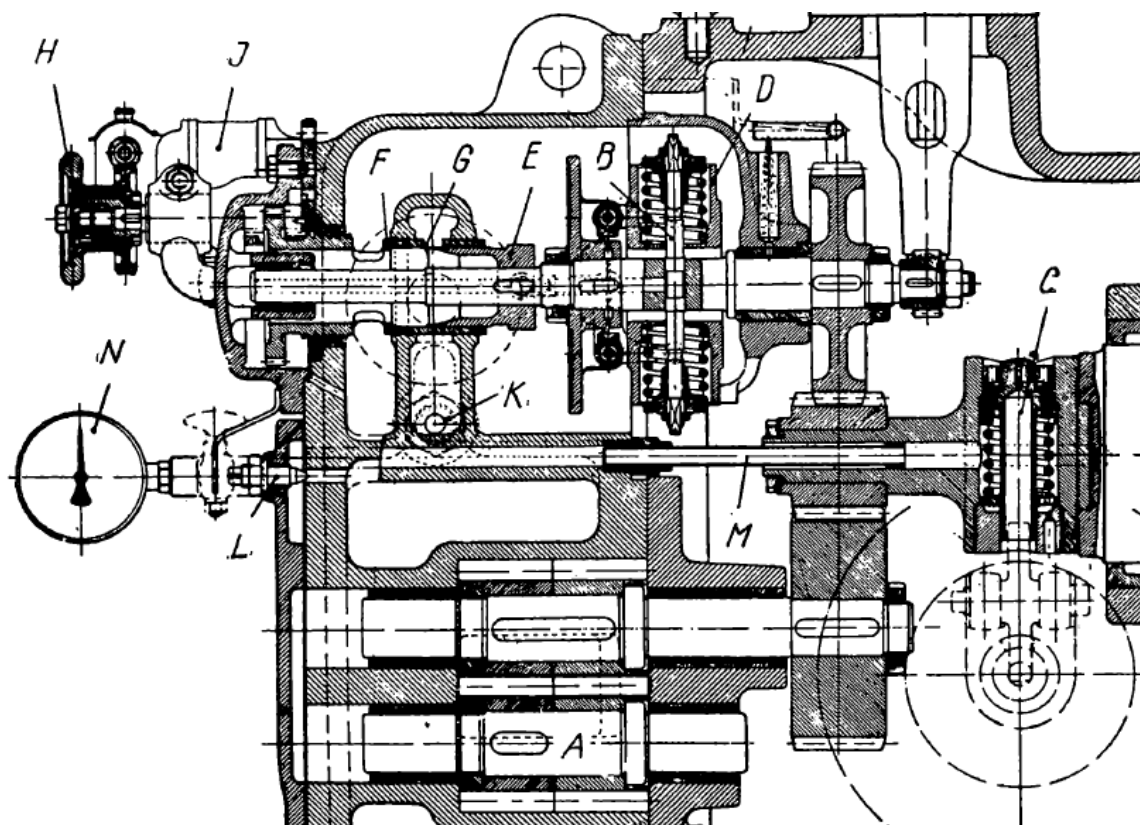


Obr. 2-1 Regulační ventil [1]

Statorové řady lopatek prvního stupně jsou rozděleny do několika skupin dýz, kde každá skupina je napojena na vlastní regulační ventil. Při skupinové regulaci turbíny dochází k tzv. škrcení páry, kdy se při přivření ventilu změní průtok ventilem, který vyvolá snížení tlaku před vstupem do turbíny. Skupinová regulace čtyř regulačních ventilů probíhá se třemi plně otevřenými ventily a škrcení páry probíhá pouze na zbylém čtvrtém ventilu. Touto regulací se dosahuje větší účinnosti. Lopatky regulačního stupně se rozdělují do čtyř od sebe oddělených skupin dýz. Jako bezpečnostní opatření jsou v parní turbíně nainstalovány dva rychlozávěrné ventily, které při vzniku nepřípustných provozních stavů uzavírají přívod páry. [2][3]

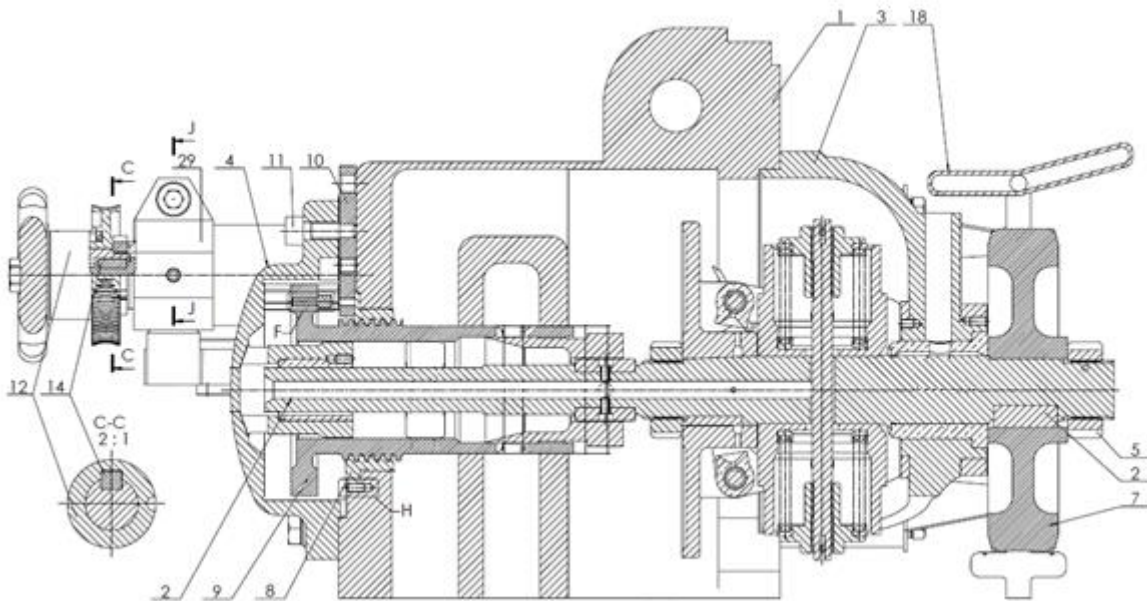
2.1.2 Olejové čerpadlo a rychlostní regulátor

Součástí předního ložiskového stojanu je olejové čerpadlo a mechanický rychlostní regulátor, které jsou zobrazené na *Obr. 2-2 Schéma olejového čerpadla a rychlostního regulátoru*. Hřídel turbíny pohání přes dvě čelní soukolí zubové čerpadlo a odstředivý regulátor. Regulační šterbina (pozice G) ležící v objímce (pozice F) se otevírá rotací hřídele a jejím přenosem na odstředivý regulátor, jeho závaží (pozice D) a následně na ladící šoupátko (pozice E). Olej je hnán z olejové nádrže olejovým čerpadlem přes škrtkový ventil (pozice K) a vtéká do komory s uloženu objímkou a následně je přepraven potrubím k regulačním ventilům. Část oleje odtéká z komory do předního ložiskového stojanu a zpět do olejové nádrže. Střední otáčky jsou nastavovány manuálně pomocí kolečka (pozice H) a to změnou vzájemné polohy šoupátka a objímky, které určuje velikost regulační šterbiny ovlivňující tlak oleje tak, že při jejím zmenšení tlak narůstá. [2]



Obr. 2-2 Schéma olejového čerpadla a rychlostního regulátoru [2]

Mechanický rychlostní regulátor je založen na vzájemném působení odstředivých sil a to silami impulsními vyvozenými rotující hmotou a silami zátěžnými od pružinky a závaží. Rovnovážný stav vzájemného působení sil je při změně otáček porušen a vyvodí nutnost vyrovnaní změn za pomoci změny polohy pružinky a zátěží a s tím spojené znovunalezení vzájemné rovnováhy působících sil. Pohybem pružinek a závaží je ovládáno rozvodové šoupátko umožňující průchod oleje z olejového čerpadla do regulačních ventilů a jehož tlak reguluje množství páry vstupující regulačními ventily. [2]



Obr. 2-3 Rychlostní regulátor [1]

Funkcí vstupujícího oleje je oběhové mazání, chlazení třecích částí a ovládání regulačních zařízení. Součástí olejového hospodářství je pomocné čerpadlo poháněné elektromotorem, jehož funkcí je při rozběhu a doběhu turbíny zajistit dostatečný tlak pro regulaci ventilů. [2]

Jako bezpečnostní pojistka při překročení otáček je v hřídeli uložen píst, který je pojištěn pružinkou. Při překročení otáček píst překoná vlivem odstředivých sil odpor pružiny a vyskočí z pouzdra v hřídeli. Při následné rotaci hřídele píst udeří na páku a turbína se odstaví. [1]

2.1.3 Protáčecí zařízení

Protáčecí zařízení slouží k pomalému otáčení a rovnoměrnému prohřátí rotoru před najížděním a po odstavení turbíny. Pomalým prohříváním rotoru se zamezí velkému teplotnímu namáhání, které by mohlo způsobit prohnutí rotoru a následnou kolizi statorových a rotorových lopatek. Protáčecí zařízení je poháněno elektromotorem umístěným nad zadním ložiskovým stojanem a je konstruováno jako převodová skříň. Při najíždění turbíny jsou postupně navyšovány otáčky na stanovenou mez zařízení, které se pohybují okolo 75 ot/min a rotor je zahříván. Při odstavování turbíny přebírá po uzavření ventilů otáčení rotoru protáčecí zařízení, které je možné odstavit až po té, co teplota rotoru klesne pod 100°C. [1]

3 REVIZNÍ NÁLEZ

3.1 Stator

3.1.1 Vršek turbínové skříně

Stav	Oprava
Vnější povrch skříně je zkorodovaný.	Provést očištění vnějšího povrchu pískováním.
Indikací rovinnosti dělicí roviny bylo zjištěno propadení prostředku skříně o cca 2 mm.	Provést egalizaci dělicí roviny – vzhledem k výsledkům indikace bude předpokládán úběr cca 2 mm. Následně provést zkulacení všech uložení – uložení pro tělesa přední a zadní parní ucpávky, pro olejové ucpávky a ložiska v zadním ložiskovém stojanu (výstupním hrdle). Dále je třeba provést vykulacení průtočného kužele lopatkování a úpravu drážek pro statorové lopatky.
Vnitřní povrch skříně (včetně výstupního hrdla) je silně zkorodovaný.	Provést očištění vnitřního povrchu pískováním.
Dosedací plochy pro podložky matic spojovacího materiálu dělicí roviny jsou zkorodované a vymačkané. Závity pro odtlačovací šrouby jsou poškozené.	Provést egalizaci dosedacích ploch pro podložky matic spojovacího materiálu dělicí roviny a převrtání závitů.
Vodící plochy nosiče vyrovnávacího pístu jsou zkorodované.	Provést egalizaci ploch pro uložení vyrovnávacího pístu.
Vodící plochy pro uložení předních parních ucpávek jsou zkorodované. Vodící plochy pro uložení zadních parních ucpávek jsou zkorodované.	Provést egalizaci ploch pro uložení nových předních parních ucpávek. Provést egalizaci ploch pro uložení nových zadních parních ucpávek.
Potrubí zahlcení ucpávkové páry přední parní ucpávky je silně zkorodované, vyskytují se trhliny.	Provést výměnu potrubí zahlcení ucpávkové páry přední parní ucpávky.
Potrubí zahlcení ucpávkové páry zadní parní ucpávky je silně zkorodované, vyskytují se trhliny.	Provést výměnu potrubí zahlcení ucpávkové páry zadní parní ucpávky.
Průtočná část je silně zkorodovaná. Lopatky jsou silně poškozené, kompletně chybějí řady 12 až 23.	Provést egalizaci ploch průtočné části lopatkování. Provést výměnu všech lopatkových řad.

Stav	Oprava
Dosedací plochy pro podložky matic přírub parovodů jsou zkorodované a poškozené. Závity jsou poškozené.	Provést egalizaci dosedacích ploch a převrtání závitů.
Spojovací materiál vstupních a výstupních přírub je opotřebovaný a poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu vstupních a výstupních přírub.
Plochy pro připojení předního ložiskového stojanu jsou poškozené, zkorodované a vymačkané.	Provést egalizaci ploch pro připojení předního ložiskového stojanu.
Defektoskopickými zkouškami byly zjištěny trhliny v oblastech na vnějším povrchu turbíny na pravé i levé straně skříně v těsnicím svaru křížového spoje na levé i pravé straně skříně, která se větví a zasahuje do materiálu křížového spoje.	Doporučení zhotovitele defektoskopických zkoušek je vybroušení těsnicího svaru a jeho obnova s řádným tepelným procesem.
Defektoskopickými zkouškami byly zjištěny mělké korozní poškození ve formě drážky v oblastech na vnitřním povrchu turbíny na těsnicí ploše příruby výstupního průřezu, které jsou důsledkem šěrbinové koroze.	Doporučení zhotovitele defektoskopických zkoušek je vybroušení těsnicí plochy a její obnova s řádným tepelným procesem.

3.1.2 Spodek turbínové skříně

Stav	Oprava
Vnější povrch skříně je pokryt korozí.	Provést očištění vnějšího povrchu pískováním.
Indikací rovinnosti dělicí roviny bylo zjištěno propadení prostředku skříně o cca 2 mm.	Provést egalizaci dělicí roviny – vzhledem k indikaci bude předpokládán úběr cca 2 mm. Následně provést zkulacení všech uložení – uložení pro tělesa přední a zadní parní ucpávky, pro olejové ucpávky a ložiska v zadním ložiskovém stojanu (výstupním hrdle). Je třeba provést vykulacení průtočného kužele lopatkování a úprava drážek pro statorové lopatky.
Vnitřní povrch (včetně výstupního hrdla) je silně zkorodovaný.	Provést očištění vnitřního povrchu pískováním.
Spojovací materiál dělicí roviny je opotřebovaný, poškozený a vydřený, vyskytuje se důlková koroze.	Provést kompletní výměnu spojovacího materiálu dělicí roviny (šrouby, matice, podložky).

Stav	Oprava
Vodicí plochy nosiče vyrovnávacího pístu jsou zkorodované.	Provést egalizaci vodicích ploch pro uložení vyrovnávacího pístu.
Převádějící potrubí vyrovnávacího pístu bylo na základě provedených defektoskopických zkoušek vyhodnoceno jako nevyhovující.	Provést výměnu převádějícího potrubí a nahrazení novým potrubím.
Dosedací plochy přírub převáděcího potrubí vyrovnávacího pístu jsou poškozené a zkorodované. Vnitřní plochy závitů jsou poškozené.	Provést egalizaci dosedacích ploch a převrtání závitů.
Potrubí odsávání ucpávkové páry přední parní ucpávky je silně zkorodované, vyskytují se trhliny.	Provést výměnu potrubí odsávání ucpávkové páry přední parní ucpávky.
Potrubí odsávání ucpávkové páry zadní parní ucpávky je silně zkorodované, vyskytují se trhliny.	Provést výměnu potrubí odsávání ucpávkové páry zadní parní ucpávky.
	Odběry páry za regulačním stupněm, před regulačním stupněm a za 6. lopatkovou řadou budou zaslepeny a bylo umístěno odvodňování.
Spojovací materiál výstupních přírub odběrů páry za regulačním stupněm, před regulačním stupněm a za 6. lopatkovou řadou je opotřebovaný a poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu přírub odběrů páry za regulačním stupněm, před regulačním stupněm a za 6. lopatkovou řadou.
Vodicí plochy pro uložení předních parních ucpávek jsou zkorodované. Vodicí plochy pro uložení zadních parních ucpávek jsou zkorodované.	Provést egalizaci ploch pro uložení nových předních parních ucpávek. Provést egalizaci ploch pro uložení nových zadních parních ucpávek.
Defektoskopickými zkouškami byly zjištěny trhliny v oblastech na vnějším povrchu turbíny na pravé straně skříně v těsnícím svaru křížového spoje. Trhliny se větví a zasahují do materiálu křížového spoje. Zjištěny byly trhliny na vnějším i vnitřním vlákně ohybu převáděcí trubky.	Doporučení zhotovitele defektoskopických zkoušek je vybroušení těsnícího svaru a jeho obnova s řádným tepelným procesem. Doporučení zhotovitele defektoskopických zkoušek je výměna potrubí.
Defektoskopickými zkouškami byly zjištěny mělké korozní poškození ve formě drážky v oblastech na vnitřním povrchu turbíny na těsnící ploše příruby výstupního průřezu, které jsou důsledkem štěrbinové koroze.	Doporučení zhotovitele defektoskopických zkoušek je vybroušení těsnící plochy a její obnova s řádným tepelným procesem.

Stav	Oprava
Průtočná část je silně zkorodovaná. Lopatky jsou silně poškozené a zkorodované.	Provést egalizaci ploch průtočné části lopatkování. Provést výměnu všech lopatkových řad.
Plochy pro připojení předního ložiskového stojanu jsou poškozené, zkorodované a vymačkané.	Provést egalizaci ploch pro připojení předního ložiskového stojanu.

3.1.3 Dýzové násadce a nosič vratné řady s lopatkami

Stav	Oprava
Dýzové lopatky v dýzových násadcích jsou zkorodované, vyšlehané a poškozené.	Provést výměnu dýzových lopatek v dýzových násadcích.
Lopatky vratné řady jsou pokryty korozi a poškozené. Nosič lopatek vratné řady je povrchově zkorodovaný.	Provést výměnu lopatek vratné řady. Provést úpravu drážky pro nové lopatky vratné řady.
Vymezovací kruh vratné řady je zkorodovaný, ale funkční plochy jsou bez výrazného poškození.	Provést očištění vymezovacího kruhu.
Spojovací materiál (šrouby, matice, podložky) je poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu.

3.1.4 Parní ucpávky

3.1.4.1 Přední Parní ucpávka

Stav	Oprava
Těleso přední parní ucpávky bylo vyhodnoceno jako nevyhovující (trhliny) na základě provedené defektoskopické zkoušky.	Provést výměnu tělesa přední parní ucpávky.

3.1.4.2 Zadní parní ucpávka

Stav	Oprava
Těleso zadní parní ucpávky bylo vyhodnoceno jako nevyhovující (trhliny) na základě provedené defektoskopické zkoušky.	Provést výměnu tělesa zadní parní ucpávky.

3.1.4.3 Parní ucpávka vyrovnávacího pístu

Stav	Oprava
Těleso parní ucpávky vyrovnávacího pístu je silně poškozené a zkorodované.	Provést očištění povrchu pískováním.
Vzhledem k přefrézování dělicí roviny skříně a s ohledem na konstrukci tělesa ucpávky vyrovnávacího pístu bude nutno provést úpravu tělesa ucpávky vyrovnávacího pístu.	Provést přefrézování dělicí roviny ucpávky vyrovnávacího pístu.
Hradby parních ucpávek vyrovnávacího pístu jsou silně poškozené.	Provést egalizaci (vykulacení) ploch hradeb.
Spojovací materiál vyrovnávacího pístu je poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu vyrovnávacího pístu.



Obr. 3-1 Vršek turbínové skříně [1]



Obr. 3-2 Lopatkování turbínové skříně [1]

3.2 Rotor

Stav	Oprava
Na základě provedení defektoskopické zkoušky rotoru nebyly nalezeny žádné trhliny.	
Nástavec rotoru s ozubeným kolem byl defektoskopicky zkontrolován a nebyla nalezena závada.	Provést očištění nástavce rotoru s ozubeným kolem.
Svorníky, pouzdra, matice a pružinky pojistného regulátoru otáček jsou znečištěné, dle vizuální kontroly jsou bez poškození. Podkládací podložky pod pružiny pojistného regulátoru jsou poškozené.	Provést očištění svorníků, pouzder, matic a pružinek pojistného regulátoru otáček. Provést výrobu sad podložek pro nastavení vypínacích otáček pojistného regulátoru.
Tlačný terč hlavního axiálního ložiska je silně zryhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci a válečkování tlačného terče hlavního axiálního ložiska.
Čep tlačného terče hlavního axiálního ložiska pro těsnicí kroužek je zryhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci čepu tlačného terče hlavního axiálního ložiska pro těsnicí kroužek.
Tlačný terč pomocného axiálního ložiska je silně zryhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci a válečkování tlačného terče pomocného axiálního ložiska.
Čep tlačného terče pomocného axiálního ložiska pro těsnicí kroužek je zryhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci čepu tlačného terče pomocného axiálního ložiska pro těsnicí kroužek.
Čep přední olejové ucpávky je silně zryhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci čepu přední olejové ucpávky.
Břity PPU jsou silně pokryty korozi a poškozené. Drážky pro uložení břitů PPU jsou poškozené.	Provést výměnu břitů. Provést egalizaci drážek pro uložení břitů.
Břity UVP jsou silně pokryty korozi a zohýbané. Drážky pro uložení břitů PPU jsou poškozené.	Provést výměnu břitů. Provést egalizaci drážek pro uložení břitů.
Lopatky regulačního stupně jsou zkorodované a chybějí lopatky.	Provést výměnu lopatek.
Lopatky jsou silně poškozené a zkorodované. Lopatkové řady 11-18 a 20-24 kompletně chybí.	Provést výměnu celého lopatkování.

Stav	Oprava
Průtočná část rotoru je pokryta důlkovou korozí a je silně poškozená průletem cizích těles. Koroze v oblasti závěsů lopatek zeslabuje stěnu nad závěsem a v případě pokračující koroze hrozí poškození a uvolnění lopatky ze závěsu.	Provést egalizaci ploch průtočné části rotoru. Provést antikorozní nástřik.
Břity ZPU jsou silně zkorodované a poškozené.	Provést výměnu břitů a egalizaci povrchu.
Čep zadní olejové ucpávky je zryhovaný a pokryt vrypy.	Provést egalizaci čepu zadní olejové ucpávky.
Čep zadního radiálního ložiska je poškozený a zryhovaný.	Provést egalizaci čepu zadního radiálního ložiska.
Spojovací materiál náboje spojky je silně poškozený a otláčený. Otvory pro spojkové šrouby jsou vymačkané.	Provést výměnu spojovacího materiálu náboje spojky. Provést přesoustružení otvorů pro spojkové šrouby (společně se spojkou generátoru).



Obr. 3-3 Rotor [1]



Obr. 3-4 Stav lopatkování rotoru [1]

3.3 Přední ložiskový stojan s víkem

Stav	Oprava
Vnější i vnitřní povrch předního ložiskového stojanu je pokryt korozí.	Provést očištění vnějšího i vnitřního povrchu pískováním.
Dělicí rovina předního ložiskového stojanu je poškozená a deformovaná.	Provést egalizaci dělicí roviny (spodku i víka) s následným vykulacením všech vývrtů (pro radiálně axiální ložisko a olejovou ucpávku).
Vývrt pro uložení radiálně axiálního ložiska je zkorodovaný.	V návaznosti na egalizaci dělicí roviny je nutno provést vykulacení vývrtu (ve spodku i ve víku) pro radiálně axiální ložisko.
Vývrt pro uložení olejové ucpávky je zkorodovaný.	V návaznosti na egalizaci dělicí roviny je nutno provést vykulacení vývrtu (ve spodku i ve víku) pro olejovou ucpávku.
Plochy pro připojení předního ložiskového stojanu k turbínové skříni jsou zkorodované a vymačkané. Z důvodu opravy dělicích rovin (turbínové skříně i ložiskového stojanu) je nutno provést rekonstrukci připojení stojanu k turbínové skříni.	Provést egalizaci dosedacích ploch předního ložiskového stojanu.

Stav	Oprava
Plocha pro připojení olejového vypínače je poškozená (koroze, vrypy).	Provést egalizaci plochy pro připojení olejového vypínače včetně výměny spojovacího materiálu.
Plocha pro připojení společného tělesa rychlostního regulátoru a hlavního olejového čerpadla je poškozená, zkorodovaná a zvlhněná. Závity v tělese ložiskového stojanu pro spojovací materiál pro připojení tělesa rychlostního regulátoru a hlavního olejového čerpadla jsou poškozené.	Provést egalizaci plochy pro připojení společného tělesa rychlostního regulátoru a hlavního olejového čerpadla, včetně opravy závitových otvorů vyvložkováním.
Spojovací materiál předního ložiskového stojanu je poškozený.	Provést výměnu veškerého spojovacího materiálu předního ložiskového stojanu.

3.3.1 Radiálně axiální ložisko

Stav	Oprava
Těleso předního kombinovaného radiálního a axiálního ložiska je znečištěné, zkorodované. Spojovací materiál je poškozený.	Provést očištění. Provést úpravu tělesa s využitím vhodnějšího spojovacího materiálu, provést výměnu spojovacího materiálu.

3.3.1.1 Těsnící kroužky axiálních ložisek

Stav	Oprava
Těsnící kroužky hlavního a pomocného axiálního ložiska jsou poškozené a zdeformované.	Provedena výměna těsnících kroužků hlavního a pomocného axiálního ložiska

3.3.1.2 Hlavní axiální ložisko

Stav	Oprava
Kompozice segmentů hlavního axiálního ložiska je poškozená a silně zryhovaná od nečistot v oleji.	Provést přelití a opracování kompozice segmentů hlavního axiálního ložiska.

3.3.1.3 Pomocné axiální ložisko

Stav	Oprava
Kompozice segmentů pomocného axiálního ložiska je poškozená a silně zryhovaná od nečistot v oleji.	Provést přelití a opracování kompozice segmentů hlavního axiálního ložiska.

3.3.1.4 Radiální ložisko

Stav	Oprava
Kompozice předního radiálního ložiska je poškozená, zřýhovaná a geometrie ložiska je poškozená.	Provést přelití a opracování kompozice předního radiálního ložiska.

3.3.2 Olejové ucpávky předního ložiskového stojanu

3.3.2.1 Přední olejová ucpávka

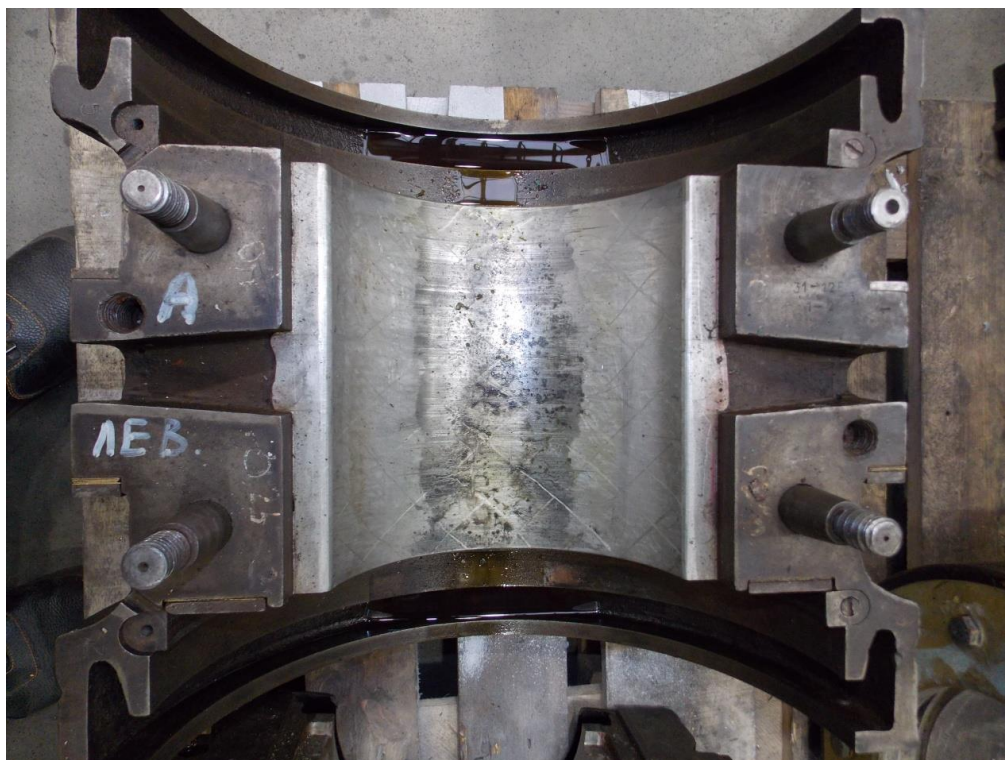
Stav	Oprava
Těleso olejové ucpávky je znečištěné.	Provést očištění povrchu.
Břity jsou poškozené a zohýbané.	Provést výměnu břitů.
Vodící plochy pro uložení břitů jsou znečištěné a poškozené.	Provést egalizaci ploch uložení břitů.

3.3.2.2 Zadní olejová ucpávka

Stav	Oprava
Těleso olejové ucpávky je znečištěné.	Provést očištění povrchu.
Břity jsou poškozené a zohýbané.	Provést výměnu břitů.
Vodící plochy pro uložení břitů jsou znečištěné, poškozené a vymačkané.	Provést egalizaci ploch uložení břitů.



Obr. 3-5 Víko předního a zadního ložiskového stojanu [1]



Obr. 3-6 Radiální ložisko předního ložiskového stojanu [1]

3.4 Zadní ložiskový stojan s víkem

Zadní ložiskový stojan je součástí výstupního hrdla turbínové skříně.

Stav	Oprava
Vnitřní povrch zadního ložiskového stojanu je zkorodovaný.	Provést očištění vnitřního povrchu pískováním.
Dělicí rovina zadního ložiskového stojanu je v jedné rovině s dělicí rovinou turbínové skříně, tedy společnou indikací byla zjištěna nevyhovující rovinnost. Dělicí rovina je zkorodovaná.	Provést očištění dělicí roviny pískováním a egalizací dělicí roviny společně s dělicí rovinou turbínové skříně. Z důvodu egalizace dělicí roviny je nutno provést egalizaci (vykulacení) všech vývrtů. Společně s opravou spodní poloviny ložiskového stojanu je nutno provést také opravu dělicí roviny a vykulacení vývrtů ve víku.
Vývrt pro uložení přední olejové ucpávky zadního ložiskového stojanu je zanesený a poškozený (zrýhovaný).	Provést očištění povrchu a egalizaci vývrtu pro uložení olejové ucpávky.
Vývrt pro uložení zadního radiálního ložiska turbíny je zrýhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci vývrtu pro uložení radiálního ložiska.
Vývrt pro uložení předního radiálního ložiska generátoru je zrýhovaný a zvlněný.	Provést egalizaci vývrtu pro uložení radiálního ložiska.

Stav	Oprava
Vývrt pro uložení zadní olejové ucpávky zadního ložiskového stojanu je zanesený a poškozený (zrýhovaný).	Provést očištění povrchu a egalizaci vývrtu pro uložení olejové ucpávky.
Spojovací materiál zadního ložiskového stojanu je poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu.

3.4.1 Zadní radiální ložisko turbíny

Stav	Oprava
Kompozice zadního radiálního ložiska je poškozená, zrýhovaná, geometrie ložiska je poškozená.	Provést přelití a opracování kompozice zadního radiálního ložiska.
Stírací břity zadního radiálního ložiska jsou poškozené, vůle je zvětšená.	Provést výměnu stíracích břitů.

3.4.2 Olejové ucpávky zadního ložiskového stojanu

3.4.2.1 Přední olejová ucpávka

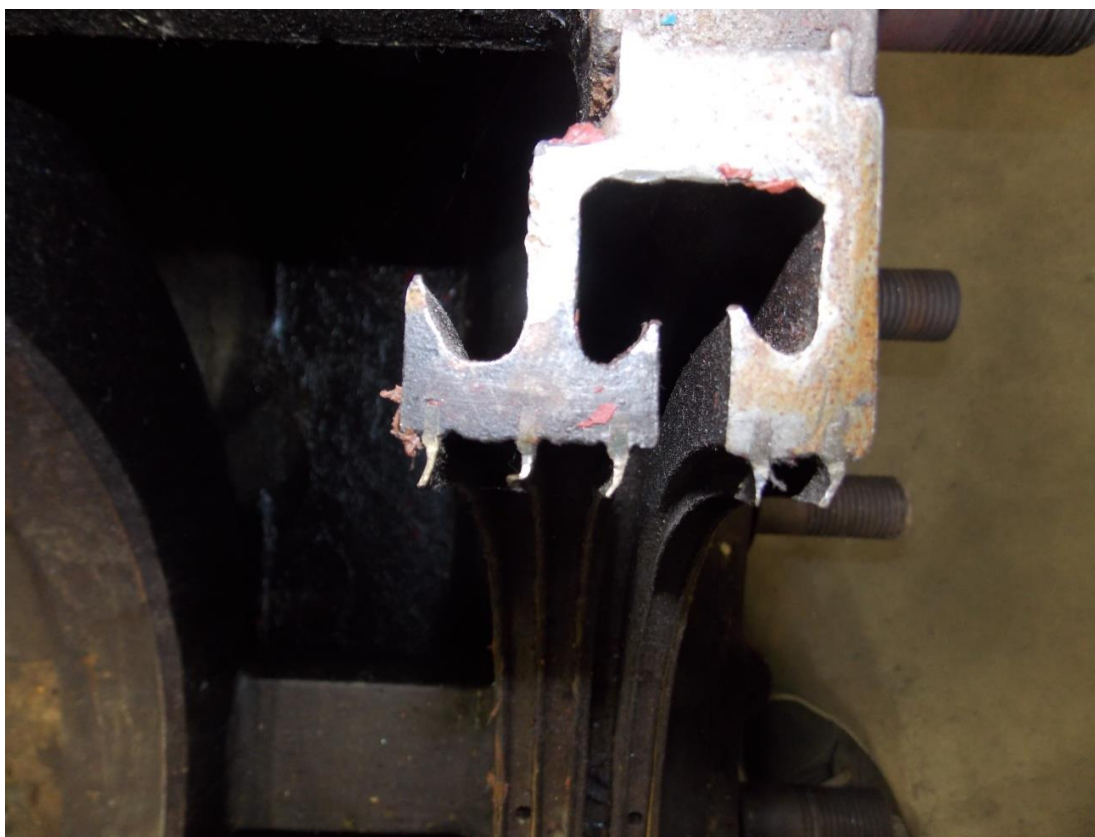
Stav	Oprava
Těleso olejové ucpávky je znečištěné.	Provést očištění povrchu.
Břity jsou poškozené a zohýbané.	Provést výměnu břitů.
Vodicí plochy pro uložení břitů jsou znečištěné a poškozené.	Provést egalizaci ploch uložení břitů.

3.4.2.2 Zadní olejová ucpávka

Stav	Oprava
Těleso olejové ucpávky je znečištěné.	Provést očištění povrchu.
Břity jsou poškozené a zohýbané.	Provést výměnu břitů.
Vodicí plochy pro uložení břitů jsou znečištěné, poškozené a vymačkané.	Provést egalizaci ploch uložení břitů.



Obr. 3-7 Víko zadního ložiskového stojanu [1]



Obr. 3-8 Olejové ucpávky [1]

3.5 Regulační ventily 1-4

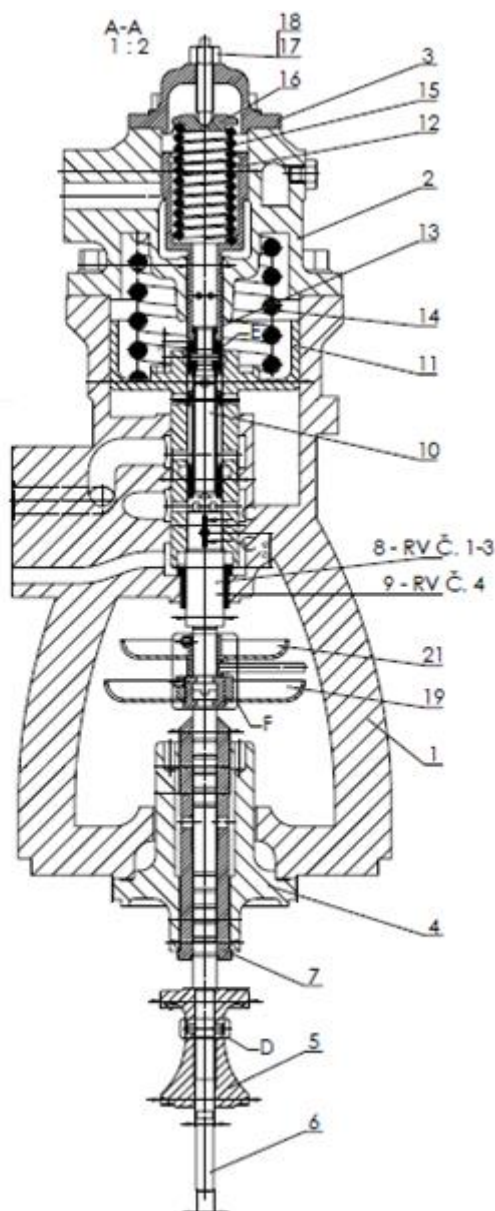
3.5.1 Parní část regulačních ventilů

Stav	Oprava
Tělesa parních částí regulačních ventilů jsou součástí turbínové skříně.	Provést očištění vnitřního povrchu těles regulačních ventilů.
Defektoskopickou kontrolou košů regulačních ventilů nebyla nalezena žádná vada.	Provést přečištění a zabroušení dosedacích ploch košů s protikusy (kuželkami).
Dosedací plochy kuželek regulačních ventilů jsou lehce vymačkané. Defektoskopickou kontrolou byly zjištěny trhliny na vnějším povrchu třetího a čtvrtého regulačního ventilu. Indikací házivosti byly zjištěny nevyhovující deformace vřeten kuželek. Vůle v lenzových pouzdrech je nevyhovující.	Provést egalizaci dosedacích ploch kuželek a následné zabroušení s protikusy (koši). Doporučení zhotovitele defektoskopických zkoušek je vybroušení těsnícího svaru a jeho obnova s řádným tepelným procesem. Provést výměnu vřeten kuželek včetně opravy vývrtů pro vřetena v kuželkách.
Lenzova pouzdra jsou vydřená a zřýhovaná.	Provést výměnu lenzových pouzder.
Spojky vřetene (kroužky spojky vřetene, šrouby stavěcí a šrouby spojovací) jsou zničené a vymačkané.	Provést výměnu spojek vřetene.
Záchytné talíře regulačních ventilů jsou znečištěné.	Provést čištění záchytných talířů regulačních ventilů.
Pojistné spojky vřetene jsou mírně znečištěné.	Provést čištění pojistných spojek vřetene.

3.5.2 Olejová část regulačních ventilů (servopohon)

Stav	Oprava
Tělesa pohonů regulačních ventilů jsou znečištěná.	Provést důkladné vyčištění.
Spojovací čepy pohonu mají poškozenou spojkovou část a vodící plochy, jsou pokryty korozí a zřýhované.	Provést výměnu spojovacích čepů pohonu.
Šoupátka pohonu jsou zřýhovaná, poškrabaná a nevyhovuje vůle (vydřená).	Provést výměnu šoupátek pohonu.
Hlavní písty jsou mírně poškozené. Vodící plochy hlavních pístů jsou mírně poškozené. Vývrtky v pístech pro šoupátka jsou silně poškozené.	Provést egalizaci vývrtů pístů pro šoupátka.

Stav	Oprava
Tlačné pružiny hlavního pístu jsou dle vizuální kontroly bez závad.	Provést čištění tlačných pružin hlavního pístu.
Spojky šoupátek s impulsním pístem jsou silně poškozené.	Provést výměnu spojek šoupátek s impulsním pístem.
Tlačné pružiny impulsního pístu jsou dle vizuální kontroly bez závad.	Provést čištění tlačných pružin impulsního pístu.
Víka regulačních ventilů jsou znečištěná a po vizuální kontrole bez závad.	Provést čištění vík regulačních ventilů.
Impulzní písty jsou lehce opotřebované, zryhované a pokryté nečistotami z oleje. Vůle jsou v rámci tolerancí.	Provést čištění impulzních pístů.
Přítlačné talíře impulsních pístů jsou mírně znečištěné.	Provést čištění přítlačných talířů impulsních pístů.
Šrouby a matice pro nastavení impulzních pístů jsou znečištěné.	Provést čištění šroubů a matic pro nastavení impulzních pístů.
Víka pohonů jsou znečištěná a po vizuální kontrole bez závad.	Provést čištění vík pohonů.
Příruby těles regulačních ventilů pro přívod a odvod oleje jsou vymačkané a zvlněné. Vnitřní plochy závitů jsou poškozené.	Provést egalizaci ploch, úpravy závitů a vyvločkování.



Tab. 3-1 Součásti regulačního ventilu [1]

Pozice	Součást
1	Těleso
2	Víko
3	Víko pohonu
4	Vkladek
5	Kuželka
6	Vřeteno pohonu
7	Lenzovo pouzdro
8, 9	Spojovací čep
10	Šoupátko pohonu
11	Hlavní píst
12	Impulsní píst
13	Spojka šoupátka s impulsním pístem
14	Tlačná pružina hlavního pístu
15	Tlačná pružina impulsního pístu
16	Přítlačný talíř pružiny impulsního pístu
17	Šroub pro nastavení impulsního pístu
18	Matice nastavovacího šroubu
19	Pojištění spojky vřetena
21	Záchytný talíř

Obr. 3-9 Regulační ventil [1]

3.6 Rychlozávěrný ventil (levý, pravý)

3.6.1 Parní část rychlozávěrných ventilů

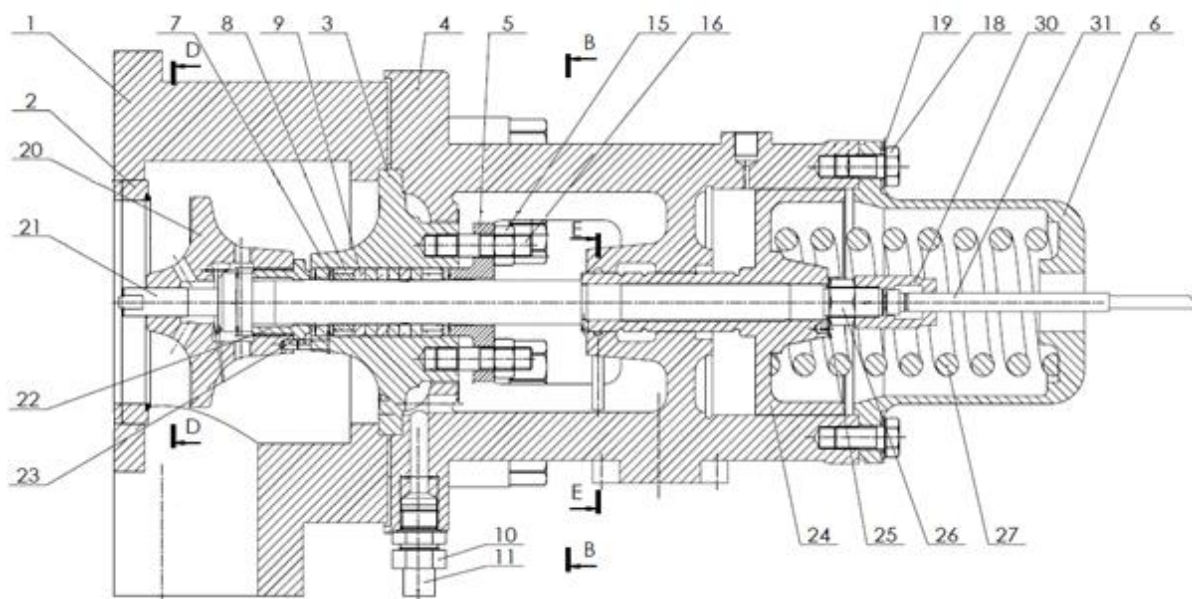
Stav	Oprava
Tělesa parních částí rychlozávěrných ventilů jsou součástí spodku turbínové skříně. Defektoskopickými zkouškami byly zjištěné trhliny v tělesech spouštěcích ventilů.	Provést očištění. Provést vybroušení trhlín a následné zavaření s řádným tepelným zpracováním.
Sedla pro kuželky rychlozávěrných ventilů jsou poškozená, silně vykorodovaná.	Provést výměnu sedel.
Příruby pro připojení pohonu jsou poškozené, vykorodované a vymačkané.	Provést egalizaci připojovacích přírub.

Stav	Oprava
Spojovací materiál těla pohonu a skříň rychlozávěrného ventilu je poškozený a opotřebovaný.	Provést výměnu spojovacího materiálu těla pohonu a skříň rychlozávěrného ventilu.
Kuželky rychlozávěrných ventilů mají lehce zkorodované dosedací plochy hlavních i odlehčovacích kuželek. Defektoskopickými zkouškami nebyly zjištěny trhliny.	Provést egalizaci ploch hlavní i odlehčovací kuželek.
Maticе kuželek rychlozávěrných ventilů jsou poškozené.	Provést výměnu matic kuželek rychlozávěrných ventilů.
Dosedací plochy vřeten pro odlehčovací kuželku jsou poškozené, zkorodované. Vodicí plochy vřeten (ucpávková část) jsou lehce poškozené, zkorodované.	Provést egalizaci ploch odlehčovacích kuželek. Provést egalizaci ucpávkové části vřeten rychlozávěrných ventilů.
Vkladky rychlozávěrných ventilů s ucpávkovými pouzdry mají poškozené dosedací plochy.	Provést egalizaci dosedacích ploch vkladků.
Podložka, grafitový pancéřovaný kroužek a grafitový kroužek parních ucpávek jsou poškozené a znečištěné.	Provést výměnu podložky grafitového pancéřovaného kroužku a grafitového kroužku.
Ucpávkové brýle jsou běžně opotřebované vlivem provozu, jinak bez závad.	Provést očištění ucpávkových brýlí.
Spojovací materiál ucpávkových brýlí je poškozený a opotřebovaný.	Provést výměnu spojovacího materiálu ucpávkových brýlí.
Dosedací plochy pouzdra ucpávky pro připojení k tělu pohonu a olejové části jsou poškozené a zvlněné. Otvor pro uložení podložky, grafitového pancéřovaného kroužku a grafitového kroužku parních ucpávek je poškozený a znečištěný.	Provést egalizaci dosedacích ploch pouzdra ucpávky pro připojení k tělu pohonu a olejové části a provést egalizaci otvoru pro uložení podložky, grafitového pancéřovaného kroužku a grafitového kroužku pro parní ucpávky.

3.6.2 Olejová část rychlozávěrných ventilů

Stav	Oprava
Tělesa olejových částí jsou silně znečištěná. Vývrtý pro pracovní píсты jsou silně zřýhované od nečistot v oleji.	Provést očištění. Provést egalizaci vývrtů pro píсты v obou tělesech rychlozávěrných ventilů.
Písty pohonů rychlozávěrných ventilů jsou zřýhované a poškozené (vylámané).	Provést výměnu pístů rychlozávěrných ventilů.

Stav	Oprava
Víko pohonu je znečištěné	Provést čištění víka pohonu.
Pružina rychlozávěrného ventilu je znečištěná.	Provést čištění pružiny rychlozávěrného ventilu.
Spojovací materiál pohonu a víka pohonu je poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu těla pohonu a víka pohonu.



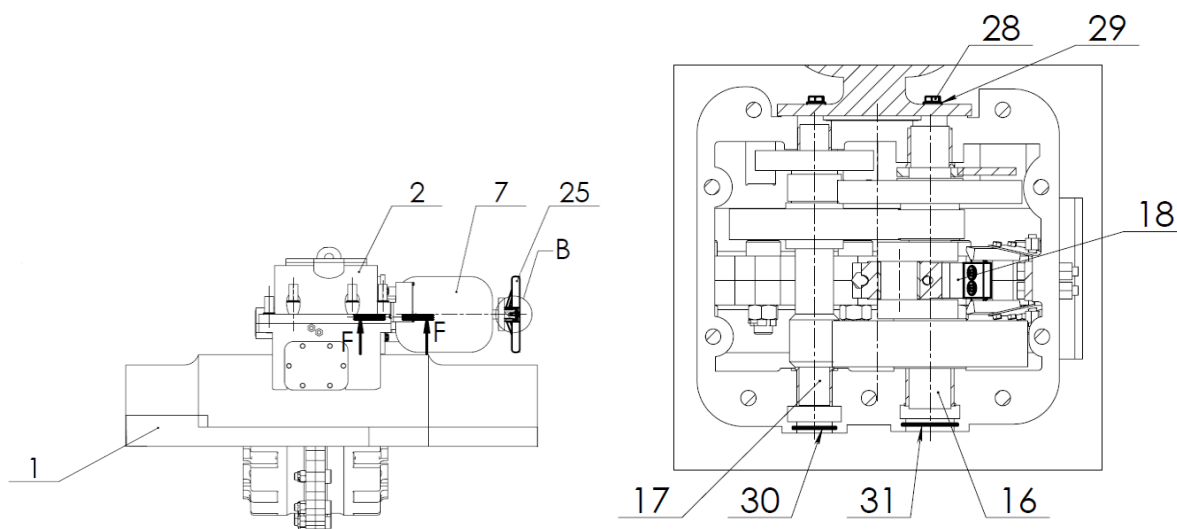
Obr. 3-10 Rychlozávěrný ventil [1]

Tab. 3-2 Součástí rychlozávěrného ventilu [1]

Pozice	Součást	Pozice	Součást
1	Turbínová skříň	18	Pozinkovaný šroub
2	Sedlo	19	Pozinkovaná podložka
3	Pouzdro ucpávek	20	Kuželka
4	Tělo pohonu	21	Vřeteno
5	Víko ucpávky	22	Matice kuželky
6	Víko pohonu	23	Stavěcí šroub
7	Podložka	24	Píst pohonu
8	Grafitový pancéřovaný kroužek	25	Pojistná podložka s nosem
9	Grafitový kroužek	26	Matice
10	Přímá přípojka	27	Pružina
11	Trubka	30	Matice
15	Matice	31	Tyč
16	Šroub závrtný		

3.7 Protáčeční zařízení

Stav	Oprava
Těleso protáčečního zařízení, které je součástí víka zadního ložiskového stojanu, je znečištěné.	Provést očištění tělesa protáčečního zařízení.
Víko protáčečního zařízení je znečištěné.	Provést očištění víka protáčečního zařízení.
Konec západky protáčečního zařízení je vydřený a silně poškozený.	Provést oříznutí konce západky a výměnu za novou západku.
Ložisková pouzdra převodového ústrojí jsou poškozená a deformovaná. Vůle jsou nevyhovující.	Provést výměnu všech ložiskových pouzder.
Spojovací materiál je opotřebovaný a vydřený.	Provést výměnu spojovacího materiálu.
Ruční kolo je poškozené a opotřebované.	Provést výměnu ručního kola.
Na základě defektoskopické zkoušky ozubení byla ozubená kola vyhodnocena jako vyhovující. Ozubená kola jsou znečištěná.	Provést čištění ozubených kol.



Obr. 3-11 Protáčeční zařízení [1]

Tab. 3-3 Součásti protáčečního zařízení [1]

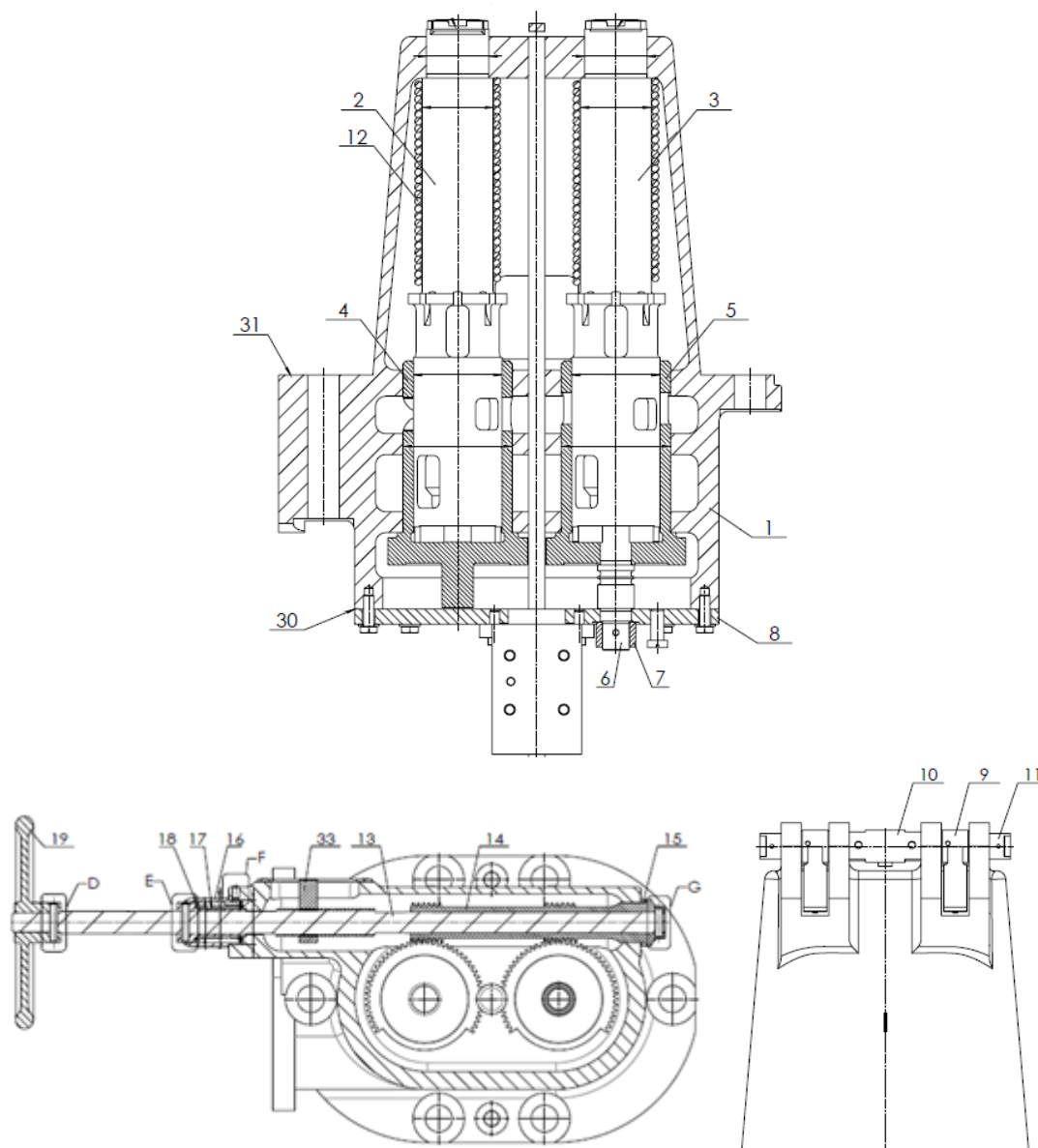
Pozice	Součást	Pozice	Součást
1	Těleso protáčečního zařízení	18	Západka
2	Víko protáčečního zařízení	23	Pojistný plech
7	Elektrický motor	25	Ruční kolo
16	Kliková hřídel	30	Víčko
17	Hřídel s ozubenými koly	31	Víčko

3.8 Olejový vypínač

Stav	Oprava
Těleso olejového vypínače je znečištěné.	Provést očištění.
Přírubová plocha pro připojení k tělesu předního ložiskového stojanu je poškozená.	Provést egalizaci plochy pro připojení k tělesu předního ložiskového stojanu.
Vypínací páky jsou vymačkané a otačené.	Provést výměnu vypínacích pák.
Spojovací páka je poškozená a otačená.	Provést výměnu spojovací páky.
Čep vypínací páky je zrýhovaný a vymačkaný.	Provést výměnu čepu vypínací páky.
Zkrutné pružiny regulačních pouzder jsou znečištěné.	Provést čištění zkrutných pružin.
Šnekové pouzdro je běžným používáním opotřebované a znečištěné.	Provést čištění šnekového pouzdra.
Ozubená pouzdra jsou opotřebovaná běžným používáním a znečištěná.	Provést čištění ozubených pouzder.
Drážky regulačních pouzder pro zapadávání vypínacích pák jsou poškozené, vymačkané.	Provést odfrézování poškozeného materiálu a svarů, vyvaření a následně vyfrézování nových drážek.
Spojovací materiál je opotřebovaný a poškozený.	Provést výměnu spojovacího materiálu.
Víko skříně olejového vypínače je znečištěné.	Provést čištění víka skříně olejového vypínače.
Těsnění víka je silně poškozené a vydřené.	Provést výměnu těsnění víka.
Těsnění olejového vypínače je silně poškozené a vydřené.	Provést výměnu těsnění olejového vypínače.



Obr. 3-12 Olejový vypínač [1]



Obr. 3-13 Vypínač olejový [1]

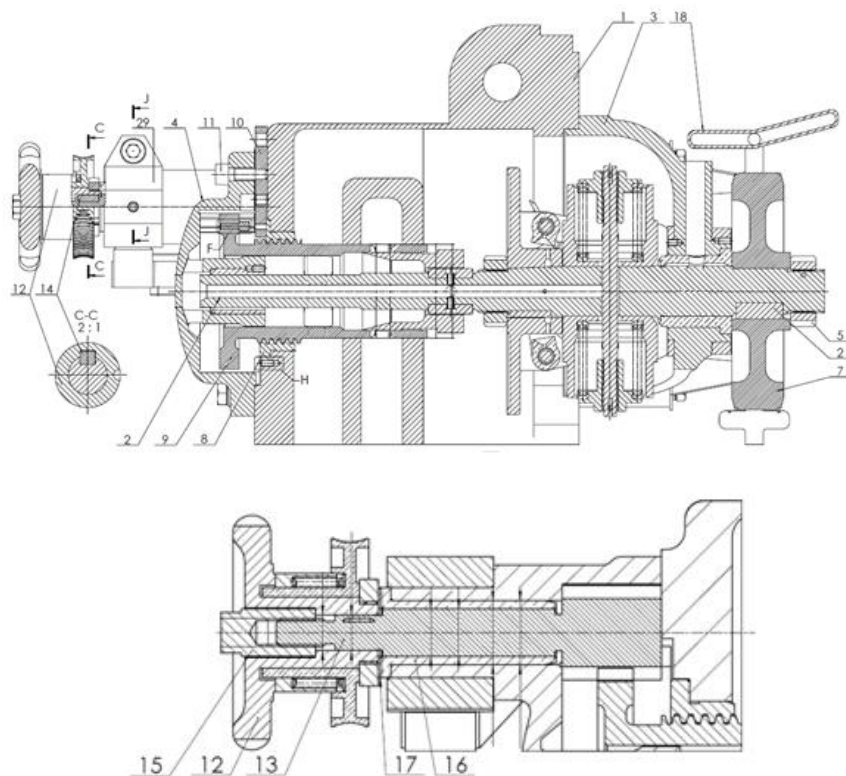
Tab. 3-4 Součásti Olejového vypínače [1]

Pozice	Součást	Pozice	Součást
1	Těleso olejového vypínače	12	Zkrutná pružina regulačních pouzder
2	Regulační pouzdro	13	Vřeteno olejového vypínače
3	Regulační pouzdro	14	Šnekové pouzdro
4	Ozubené pouzdro	15	Kroužek šnekového pouzdra
5	Ozubené pouzdro	16	Krycí pouzdro
6	Vymezovací čep	17	Pouzdro pro pružinu
7	Pouzdro čepu	18	Pružina
8	Víko skříně olejového vypínače	19	Protáčení kolo
9	Vypínací páka	30	Těsnění víka
10	Spojovací páka	31	Těsnění olejového vypínače
11	Čep vypínací páky	33	Ukazatel posuvu

3.9 Rychlostní regulátor

Stav	Oprava
Společné těleso olejového čerpadla a rychlostního regulátoru je znečištěné.	Provést čištění tělesa olejového čerpadla a regulátoru.
Dosedací plochy pro uložení k přednímu ložiskovému stojanu jsou zvlněné a poškozené.	Provést egalizaci dosedacích ploch pro připojení k přednímu ložiskovému stojanu.
Rotor rychlostního regulátoru je silně poškozený, zřýhovaný a byla zjištěna nevyhovující vůle.	Provést výměnu rotoru rychlostního regulátoru.
Vnější víko je znečištěné a dosedací plochy k tělesu olejového čerpadla a regulátoru jsou poškozené a zvlněné.	Provést čištění vnějšího víka a egalizaci dosedacích ploch k tělesu olejového čerpadla a regulátoru.
Vnitřní víko je znečištěné a dosedací plochy k tělesu olejového čerpadla a regulátoru jsou poškozené a zvlněné.	Provést čištění vnitřního víka a egalizaci dosedacích ploch k tělesu olejového čerpadla a regulátoru.
Ložiska rotoru rychlostního regulátoru jsou poškozená.	Provést výměnu ložisek rotoru.
Matice pro pojištění ozubeného kola na rotoru je poškozená a zničená.	Provést výměnu matice.
Pero náhonu pro uložení ozubeného kola je vymačkané a otláčené.	Provést výměnu pera náhonu pro uložení ozubeného kola.
Na základě defektoskopické zkoušky ozubení bylo ozubené kolo vyhodnoceno jako vyhovující. Ozubené kolo je znečištěné.	Provést čištění ozubeného kola.
Pohybová matice se závitem je silně poškozená a vymačkaná.	Provést výměnu pohybové matice se závitem.
Pouzdro rychlostního regulátoru je vydřené a plochy závitu jsou opotřebované a nevyhovuje vůle.	Provést výměnu pouzdra rychlostního regulátoru.
Zvonek rychlostního regulátoru je poškozený, drážky pro pera jsou vydřené.	Provést výměnu zvonku rychlostního regulátoru.
Ramena rychlostního regulátoru jsou silně poškozená a deformovaná.	Provést výměnu ramen rychlostního regulátoru
Závaží a pružiny jsou znečištěné.	Provést čištění závaží a pružiny.
Kolečko pohonu je znečištěné.	Provést čištění kolečka pohonu.

Stav	Oprava
Zajišťující matice kolečka je poškozená a vydřená.	Provést výměnu zajišťující matice kolečka.
Pastorek rychlostního regulátoru je poškozený a zřýhovaný.	Provést výměnu pastorku rychlostního regulátoru.
Pouzdro pastorku je poškozené a vymačkané.	Provést výměnu pouzdra pastorku.
Spojovací materiál je poškozený a opotřebovaný.	Provést výměnu spojovacího materiálu.



Obr. 3-14 Rychlostní regulátor [1]

Tab. 3-5 Součásti rychlostního regulátoru [1]

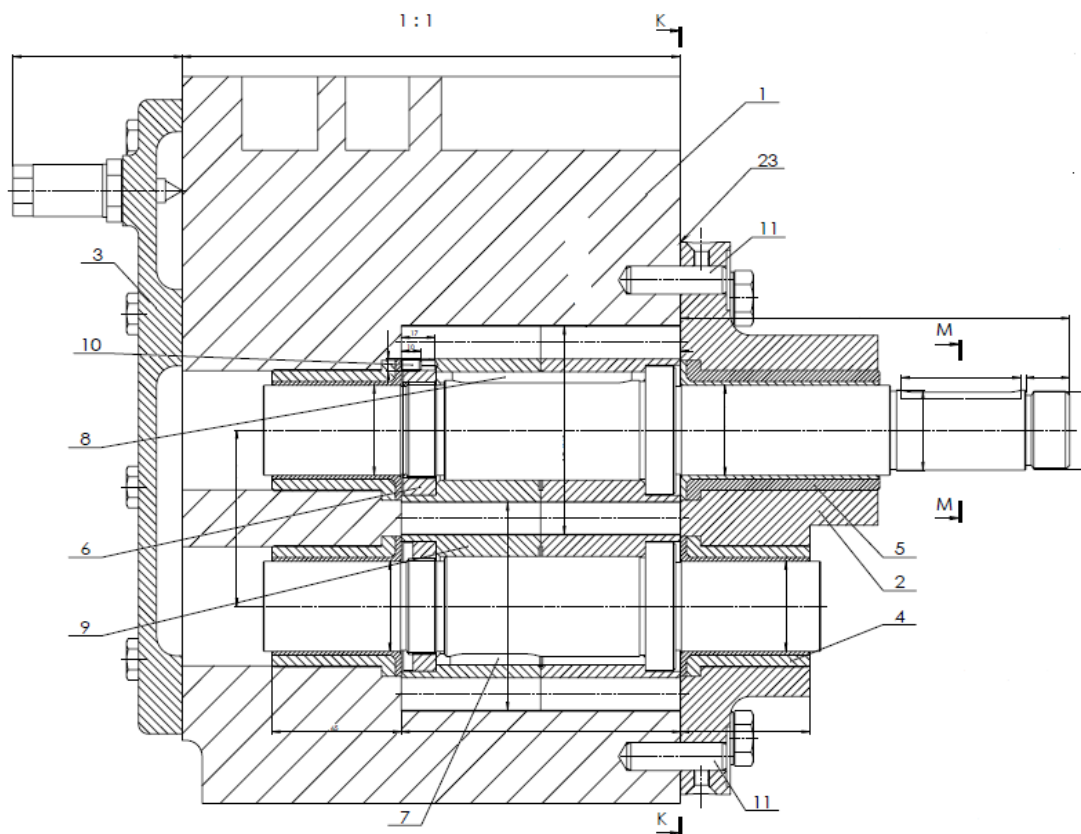
Pozice	Součást	Pozice	Součást
1	Těleso olejového čerpadla a regulátoru	10	Zajišťující pero pohybové matice
2	Rotor rychlostního regulátoru	11	Šroub zajištění pera
3	Vnitřní víko	12	Kolečko pohonu
4	Vnější víko	14	Pero kolečka
5	Matice	15	Matice zajišťující kolečko
6	Pero náhonu	16	Pouzdro pastorku
7	Ozubené kolo	17	Podložka kolečka
8	Pohybová matice	18	Rozvod mazacího oleje
9	Regulační pouzdro	29	Držák pohonu

3.10 Olejové čerpadlo

Stav	Oprava
Těleso olejového čerpadla a regulátoru je znečištěné.	Provést očištění tělesa.
Příruby pro připojení olejového potrubí jsou poškozené, závity pro spojovací materiál jsou poškozené.	Provést egalizaci těsnicích ploch přírub a vyvložkování závitů.
Víko olejového čerpadla je znečištěné. Dosedací plocha víka k tělesu olejového čerpadla je poškozená a zvlněná.	Provést očištění víka a egalizaci dosedací plochy.
Spojovací materiály víka olejového čerpadla k tělesu olejového čerpadla a regulátoru jsou poškozené a opotřebované.	Provést výměnu spojovacího materiálu víka olejového čerpadla k tělesu olejového čerpadla a regulátoru.
Ložisková pouzdra jsou poškozená a zryhovaná a mají nevyhovující vůli.	Provést výměnu ložiskových pouzder.
Vývrtky pro ložisková pouzdra jsou poškozené.	Provést egalizaci vývrtů pro ložisková pouzdra.
Ozubená kola byla zkontrolována defektoskopickou zkouškou a vyhodnocena jako vyhovující.	Provést čištění ozubených kol.
Hřídele olejového čerpadla jsou znečištěné a čepy pro ložisková pouzdra jsou zryhované.	Provést čištění a egalizaci čepů pro ložisková pouzdra.
Spojovací materiály jsou poškozené a opotřebované.	Provést výměnu spojovacího materiálu.



Obr. 3-15 Rychlostní regulátor a olejové čerpadlo [1]



Obr. 3-16 Olejové čerpadlo [1]

Tab. 3-6 Součásti olejového čerpadla [1]

Pozice	Součást
1	Těleso olejového čerpadla
2	Víko olejového čerpadla
3	Víko olejového čerpadla
4	Ložiskové pouzdro
5	Ložiskové pouzdro
6	Matice
7	Pero olejového čerpadla
8	Pero olejového čerpadla
9	Ozubené kolo
10	Šroub
11	Válcový kolík
23	Těsnící papír

3.11 Modernizace

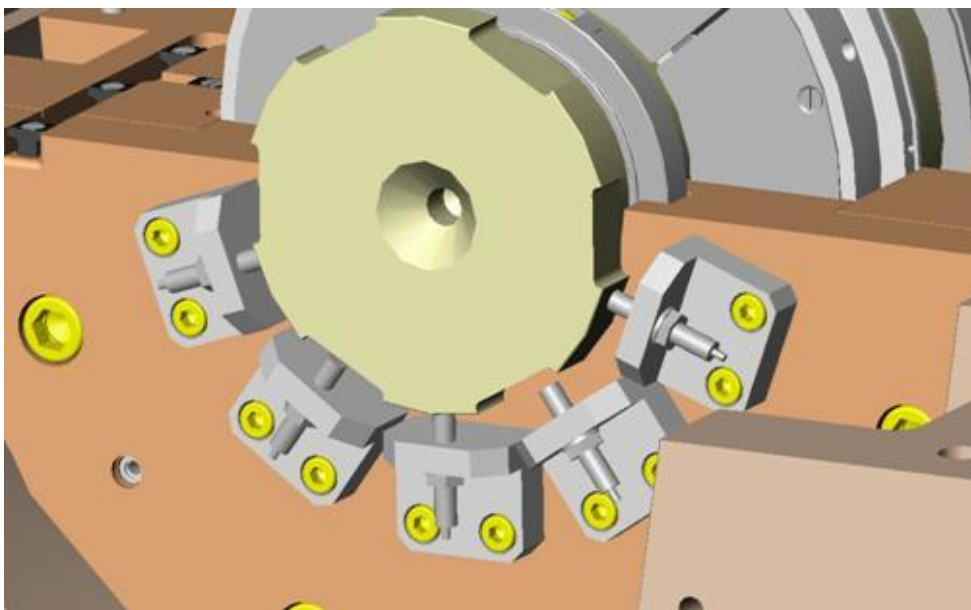
Součástí oprav turbíny je návrh modernizace systémů regulace a návrh vylepšení stávajícího nedostatečného systému ochrany turbíny. Zastaralé regulační a bezpečnostní prvky by měly být nahrazeny prvky moderními. Instalace by umožnila dokonalejší monitorování všech provozních parametrů a tím přispívat k předejití kritických stavů.

Provozovateli byly navrženy tyto modernizační prvky:

- a) Náhrada hydraulicko-mechanické regulace novou elektrohydraulickou regulací
- b) Instalace čidel vibrací
- c) Instalace měření teploty skříně
- d) Modernizace měření teploty ložisek
- e) Modernizace vakuového měření systému
- f) Nový systém měření axiálního a relativního posuvu rotoru
- g) Nový systém měření posuvu předního ložiskového stojanu
- h) Instalace nového řídicího systému
- i) Doporučená změna rekonstrukce nízkotlakých pohonu regulačních a spouštěcích ventilů na vysokotlaké

3.11.1 Elektrohydraulická regulace

Původním konceptem hydraulicko-mechanické regulace otáček je odstředivý regulátor, který je založený na vzájemném působení odstředivých sil, vizte kapitolu 2.1.2. Tento zastaralý systém lze plně nahradit elektrohydraulickou regulací, která k měření a kontrole otáček turbíny využívá bezkontaktních snímačů. Snímače lze realizovat za pomoci měřicího ozubeného terče upevněného na nástavci hřídele rotoru a umístěním čidel v předním ložiskovém stojanu. K následnému snímání slouží sada čidel, které snímají impulsy otáčkové frekvence. Vzájemná poloha čidel je ovlivněna počtem zubů ozubeného kola a jejich vzájemná poloha je provedena tak, aby řazená čidla 1, 2 a 3 byla ve stejném okamžiku na náběžné hraně zubu, ve středu zubu a na sestupné hraně zubu. Systém měření zajišťuje ochranu před překročením otáček a provozní bezpečnost turbosoustrojí. [1]



Obr. 3-17 Příklad snímače otáček [1]

3.11.2 Čidla vibrací

V původním turbosoustrojí není nainstalováno kontinuální měření vibrací. Systém kontroly je manuální a obsluha je povinná vibrace snímat za pomoci ručního vibrometru a následně zapsat. Nová instalace čidel na ložiskových stojanech by umožnila nepřetržité snímání absolutních hodnot vibrací a rychlou reakci na případnou změnu. Detekce zvyšujících se hodnot vibrací naznačuje vždy nedostatky v provozu turbíny a jejich příčiny mohou variovat od ulomené či poškozené lopatky po špatné připojení turbíny spojkou k poháněnému zařízení.

Vysoké riziko provozu představuje dosažení takzvaného rezonančního stavu, při kterém se setkává budicí frekvence s frekvencí vlastní. Riziko rezonančního stavu je často podmíněno změnou otáček a s tím spojenou změnou budicí frekvence, která hrozí například při najíždění a odstavování turbíny. V provozu je turbína, a především rotorové lopatkování, namáháno kmitáním a při dosažení rezonančního stavu jsou lopatky dynamicky namáhány a kmitají vysokými amplitudami. Vysoké namáhání kmitáním může vést k iniciaci trhlin a k následnému únavovému lomu materiálu. Instalace nového systému měření vibrací napomáhá předcházení riziku vzniku rezonančního stavu a tím i zvýšení bezpečnosti. [1] [4]

3.11.3 Měření teploty skříně

Stávající systém turbíny neposkytuje žádné měření teploty. Instalace měření teploty ve vršku i spodku turbínové skříně by umožnila kontinuálně monitorovat tepelné změny při najíždění a odstavování turbosoustrojí. Snímače teploty by dovolily provozovateli sledovat trendy ve změnách teploty a porovnávat rozdíly teplot ve spodní a vrchní polovině turbínové skříně. Instalace by umožnila dodržování potřebných a předepsaných najížděcích křivek, sledování a ukládání všech hodnot pomocí řídicího systému. Pro čidla měření by do turbínové skříně měly být vyvrtány otvory a vloženy termoelektrické snímače teploty, které jsou ukládány do šroubení a chráněny ochrannými kryty. [1]

3.11.4 Měření teploty ložisek

Stávající měření teploty ložisek je založeno na snímání teploty odpadního oleje v ložiskovém stojanu. Takto získané hodnoty teplot jsou zkesleny a neposkytují dostatečně přesné vypovídací hodnoty. Konceptem návrhu nového systému měření teploty je umístění čidel do předem vytvořených otvorů v kompozitu ložiska a zajistit rychlou odezvu čidel na změnu při zvýšení teploty kompozitu ložisek. Modernizace měření teploty lze aplikovat na měření teploty radiálního i axiálního ložiska předního i zadního ložiskového stojanu. [1]

3.11.5 Měření vakuového systému

Stávající měření vakuového systému ve výstupním hrdle turbíny je zastaralé. Součástí oprav je návrh modernizace systému, která je důležitým parametrem u kondenzačních turbín z hlediska namáhání posledních lopatkových řad a jejich závěsů. [1]

3.11.6 Měření axiálního a relativního posuvu rotoru

Při najíždění a odstavování turbosoustrojí dochází k změnám teploty rotoru. Vlivem změny teploty dochází k délkovým deformacím rotoru. Délkové roztahení rotoru, tedy osovou změnu polohy rotoru vůči skříně, je nutno zaznamenávat a tím předejít možnému setkání statorového a rotorového lopatkování a zamezit poškození ucpávek, neboť radiální a axiální vůle v lopatkách a ucpávkách je malá. Zastaralý stávající systém měření posuvu rotoru by bylo nutno z důvodů bezpečnosti nahradit novým moderním systémem. [1]

3.11.7 Měření axiálního posuvu předního ložiskového stojanu

Do tělesa předního ložiskového stojanu axiálního ložiska lze umístit snímače axiálního posuvu, které se vyvádí průchodkami z ložiskového stojanu. Čidla zamezují střetnutí statorového a rotorového lopatkování a tím zamezují havarijnímu stavu turbíny stejně jako v předchozím případě při měření posuvu rotoru. [1]

3.11.8 Nový řídicí systém

Nový řídicí systém by umožnil sdružovat všechny monitorované parametry turbíny. Signály všech výše uvedených čidel lze vést do centrálního řídicího systému a parametry lze měnit operátorem na panelu umístěném v strojovně nebo z velína. [1]

3.11.9 Doporučení

Stávající systém nízkotlakých regulačních a spouštěcích ventilů je napájen nízkotlakým olejem z předního ložiskového stojanu, který je současně využíván jako mazací olej pro přední i zadní ložiska (viz kapitola 2.1.2). [1]

Je doporučena náhrada zastaralého nízkotlakého systému za systém vysokotlaký, který zaručuje zpřesnění regulace a zvýšení bezpečnosti. Výměna systému obnáší náhradu starých nízkotlakých pohonů a servopohonů za nové, moderní a vysokotlaké pohony s vlastním olejovým hospodařením. Pro dodávku vysokotlakého oleje do pohonů by bylo nutno zabezpečit vysokotlaký agregát s olejem. [1]

Navzdory doporučení firmy EKOL o modernizaci zastaralých stávajících systému zákazník navržené změny neschválil a žádná výše popsaná modernizace nebyla uskutečněna.

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ REKONSTRUKCE UCHYCENÍ ROTOROVÉHO A STATOROVÉHO LOPATKOVÁNÍ

4.1 Rotorové lopatkování

Předmětem opravy uchycení rotorového lopatkování jsou tažné plochy drážek pro lopatkování, jejichž povrch je silně zkorodován. Za účelem opravy tažných ploch je nutno lopatky odstranit. Po vylopatkování jsou plochy důkladně vyčištěny a změřeny pro další technické výpočty.

Vzhledem ke stáří turbíny a k absenci její dokumentace z roku 1954, je nutno zjistit původní materiál rotoru. V první fázi byl rotor předmětem nedestruktivních zkoušek. K analýze chemického složení materiálu jsou použity metody optické emisní spektroskopie a ruční rentgenový fluorescenční spektrometr.

Optická emisní spektroskopie je založena na principu měření záření a jeho vlnové délky ovlivněné přechodem valenčních elektronů z vyšších energetických stavů na nižší za současného vyzařování energie ve formě fotonů. Na základě odezvy je možné určit kvalitativní složení vzorku představované charakteristikou vlnové délky a kvantitativní složení vzorku představované intenzitou vlnové délky. K vybuzení záření je zapotřebí prvky ve vzorku excitovat do vyšších energetických stavů. Za tímto účelem bývá vzorek zahříván na vysokou teplotu a jako budících zdrojů se využívá elektrického nebo plamenového zdroje. [5]

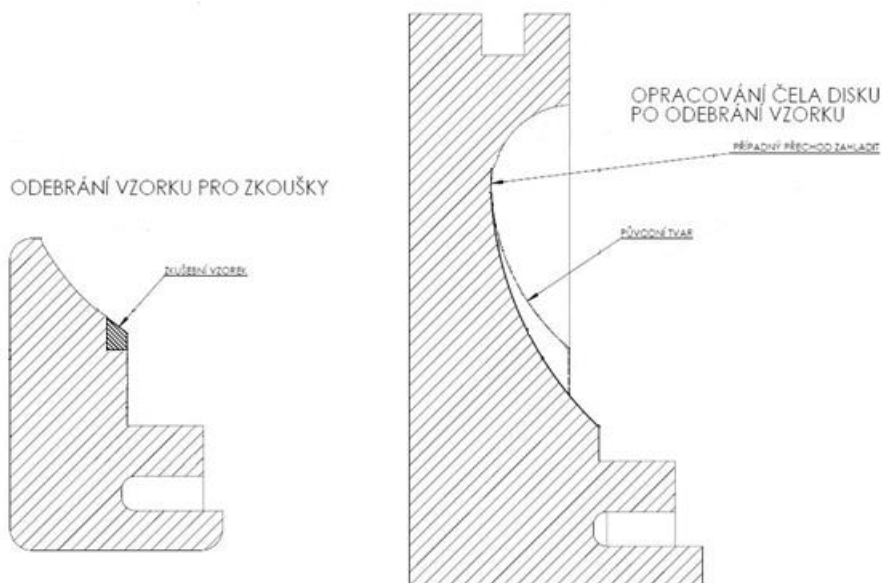
Principem rentgenové fluorescenční spektrometrie je interakce mezi emitovaným rentgenovým zářením přístroje a vzorku. Podobně jako u optické emisní spektroskopie i zde dochází k měření záření a změny energetické hladiny z vyšší na nižší a k následnému uvolnění fotonů. Zde je však excitace vyvolána rentgenovým zářením a měří se sekundární rentgenové záření v dvojí podobě. Ve vlnově disperzní (separace rentgenového záření na krystalu) nebo energiově disperzní (detekce různých energií fotonu rentgenového záření). [6]

Tab. 4-1 Rozbor chemického složení [1]

Zastoupené prvky	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
[%]	0,170	0,670	0,360	0,004	0,007	0,110	1,880
Zastoupené prvky	Al	Ti	Sn	As	Cu	Mo	V
[%]	<0,005	0,012	0,030	0,034	0,150	0,060	<0,010

Zkouškou bylo zjištěno přibližné složení materiálů, viditelné v *Tab. 4-1 Rozbor chemického složení*. Avšak tento test je pro výpočet drážek pro lopatky nevyhovující. Je nutno přistoupit k detailnějším materiálovým zkouškám. Za tímto účelem byl odebrán vzorek z posledního disku a provedeny materiálové zkoušky na chemické složení. [1]

Odebraný vzorek pocházel z nejvíce namáhaného čela disku tedy disku s největším lopatkováním. Nutnost odebrání vzorku měla za následek opracování čela disku viditelné na *Obr. 4-1 Odebrání vzorku na materiálové zkoušky a opracování disku*. [1]



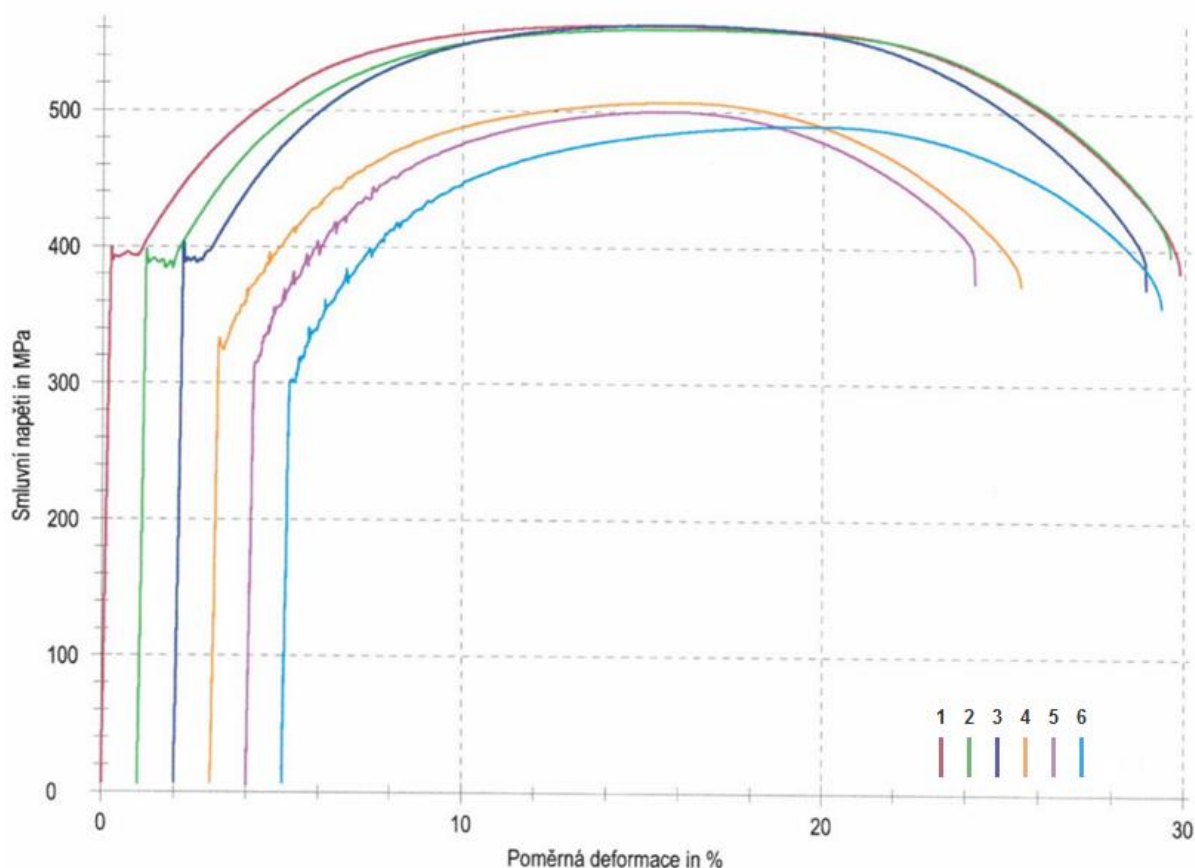
Obr. 4-1 Odebrání vzorku na materiálové zkoušky a opracování disku [1]

Tři zkoušky na tah a tři zkoušky vrubové houževnatosti obojí při 20°C byly zajišťovány VÚ Brno. Zkouška rázem v ohybu proběhla na rotoru se třemi vzorky dle normy ČSN ISO 148-1. Pro zkoušku byl zvolen typ vrubu V s úhlem 45°, hloubkou 2 mm a poloměrem kořene 0,25 mm. Zkouška byla provedena za specifické teploty 20°C. Výsledkem je energie potřebná k přeražení 1. až 3. zkušebního tělesa. Hodnoty potřebné energie jsou 113 J, 141 J a 102 J. Vrubová houževnatost 1. až 3. tělesa byla zhodnocena s následujícími hodnotami 128 J·cm², 116 J·cm², 145 J·cm². [1]

Na Ústavu materiálových věd a inženýrství VUT v Brně proběhly pod vedením pana profesora Dlouhého zkoušky na tah při pokojové teplotě a teplotě 250°C. Dále byla provedena zkouška rázem v ohybu za pokojové teploty a analýza chemického složení s nalezením ekvivalentu k vyšetřované oceli. [1]

Zkouška tahem proběhla na zkušebním stroji Zwick Z250 Allround-line s dynamometrem 150kN. Pro snímání prodloužení zkušebního tělesa byl použit snímač Zwick multiXtens umožňující snímání prodloužení až do lomu zkušebního vzorku. Zatěžování probíhalo v lineární oblasti tahové křivky a v oblasti meze kluzu rychlostí 1 mm/s a 4 mm/min viditelné na zatěžovacích křivkách na Obr. 4-2 *Zatěžovací křivky zkoušky tahem*. Zkoušky proběhly se šesti vzorky o průměru 6 mm. Vzorky 1, 2 a 3 byly zatěžovány při 23 °C a vzorky 4, 5 a 6 při 250 °C. Mez kluzu v tahu se při 23 °C pohybovala od 398 MPa do 404 MPa a při 250 °C od 303 MPa do 333 MPa. Mez pevnosti v tahu nabývala hodnot 560 MPa až 563 MPa při 23 °C a od 490 MPa do 507 MPa při 250 °C. [1]

Zkouška rázem v ohybu proběhla na Ústavu materiálových věd a inženýrství za pomoci kyvadlového rázového kladiva Heckert PSD 300/150 s počáteční potenciální energií 300 J. Použit byl V vrub na 4 zkušebních tělesech za teploty okolí 23°C a hodnoty nárazové práce jsou 104,3 J, 97,4 J, 92,6 J a 104,2 J. [1]



Obr. 4-2 Zatěžovací křivky zkoušky tahem [1]

Analýzou chemického složení na Ústavu materiálového věd a inženýrství VUT v Brně bylo zjištěno chemické složení uvedené níže v *Tab. 4-2 Chemické složení materiálu rotoru dle ÚMVI*. [1]

Tab. 4-2 Chemické složení materiálu rotoru dle ÚMVI [1]

Zastoupené prvky	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Nb	Mo
[%]	0,190	0,690	0,360	0,005	0,010	0,100	1,880	0,000	0,060
Zastoupené prvky	W	Cu	Al	Ti	Co	B	Sn	Sb	V
[%]	0,000	0,160	0,003	0,010	0,030	0,000	0,030	0,000	0,000

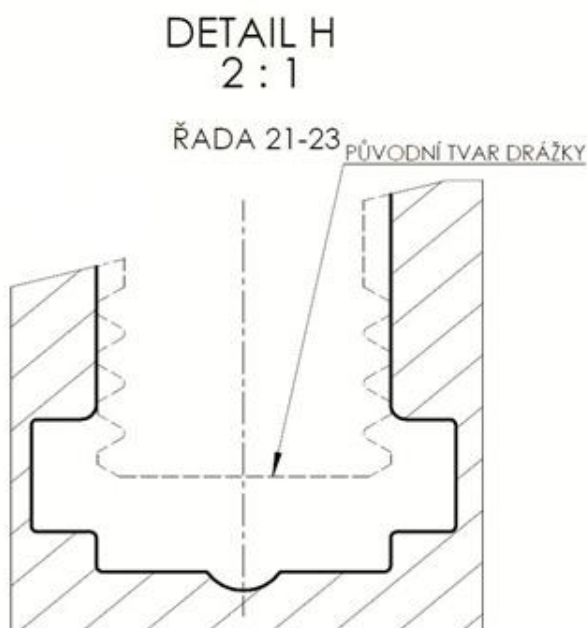
Z materiálových zkoušek a chemického rozboru byla usouzena nutnost použití antikorozního nástřiku na povrchu průtočné části rotoru. Antikorozní nástřik by měl zabránit korozi materiálu a tedy zeslabení materiálu nad tažnou hranou lopatky. V případě koroze by mohlo dojít k překročení namáhání a možnému poškození závěsu, které by mohlo vést až k utržení lopatek. [1]

Z chemického rozboru prvků metodami optické emisní spektroskopie a rentgenové fluorescenční spektrometrie bylo zjištěno, že tělo rotoru a rotorového disku 1 je složeno z jednoho procenta niklu a odpovídá oceli 24Ni4, DIN 1.5613. Na rotorovém disku 2 byla provedena analýza pouze rentgenovým fluorescenčním spektrometrem a to z rozměrových důvodů, a byl zjištěn materiál 24Ni4, DIN 1.5613. Výsledkem rozborů rotorových disků 3, 4, 5 a C kola byl zjištěn obsah niklu 2%, který odpovídá oceli 24Ni8, DIN 1.5633. [1]

Předpokládá se, že těla rotoru a rotorových disků 1 a 2 pocházejí ze stejné tavby oceli 24Ni4, DIN 1.5613. Taktéž rotorové disky 3, 4, 5, a C kolo pravděpodobně pocházejí ze stejné tavby oceli 24Ni8, DIN 1.5633. [1]

Na základě změřených hodnot a provedeného rozboru materiálu byl proveden výpočet nového lopatkování, pevnostní výpočet závěsů a provedena úprava drážek. Úprava drážek je viditelná na Obr. 4-3 Příklad úpravy drážek řady 21-23 rotorového lopatkování. [1]

Původní koncepce lopatek z tažného profilu s přechovací patkou a rotorovým mezerníkem byla nahrazena vhodnější a modernější koncepcí celofrézovaných lopatek. Některé řady lopatek jsou svázané výstužným drátem a tlumicím drátem. Pro rotorové lopatkování byly použity nenakrucované profily pro řady 1 až 25 a nakrucované profily lopatek v řadách 26 až 28. Oba druhy profilů jsou provedeny dle standardů firmy EKOL. [1]



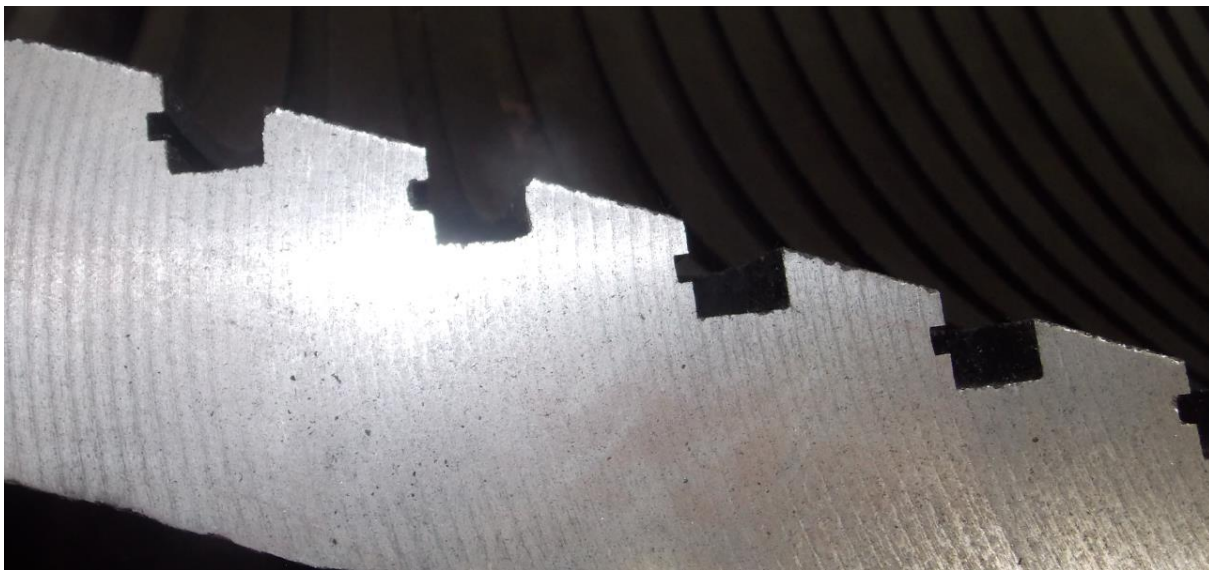
Obr. 4-3 Příklad úpravy drážek řady 21-23 rotorového lopatkování [1]

Výhody nového lopatkování:

- Odstranění vrubu lopatka x mezerník
- Změna rozložení sil
- Nedochozí k mikroposuvům
- Vhodnější namáhání závěsů
- Změna dynamických vlastností z hlediska vibrací

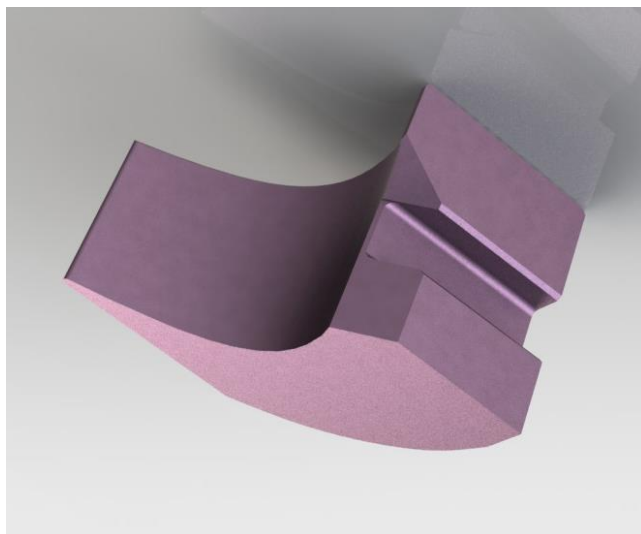
4.2 Statorové lopatkování

Již dříve zmíněnou indikací rovinnosti dělicí roviny bylo zjištěno propadení prostředku skříně cca o 2 mm. Stav dělicí roviny vyvolal nutnost opravy dělicí roviny a v návaznosti zkulacení všech uložení. Postiženy byly uložení pro tělesa přední a zadní parní ucpávky, pro olejové ucpávky a ložiska v zadním ložiskovém stojanu ve výstupním hrdle. Propad dělicí roviny dále vedl k nutnosti zkulacení průtočného kužele lopatkování a s tím související úpravu drážek pro statorové lopatky tedy jejich prohloubení. [1]



Obr. 4-4 Konstrukční změny uchycení lopatek statoru [1]

Nutnost prohloubení drážek vedla ke změně konstrukčního řešení drážek lopatkování a k odstranění nosů uchycujících lopatky. Po prohloubení a odstranění nosů byly vyhloubeny drážky, do kterých byla vložena pera nahrazující funkci nosů a uchycující lopatky statoru. K zajištění rozteče mezi jednotlivými lopatkami jsou vloženy mezerníky mezi patky lopatek, jejichž model je viditelný na *Obr. 4-5 Model statorového mezerníku* a kopíruje původní koncepci z roku 1954. [1]



Obr. 4-5 Model statorového mezerníku [1]

Pro statorové lopatky byly použity nenakrucované profily dle standardů firmy EKOL, obdobně jako v předchozím případě rotorového lopatkování. [1]

Během provozu turbíny hrozí tzv. rezonanční stav, který je provozním stavem při kterém budicí frekvence a vlastní frekvence lopatek jsou si rovny nebo sobě blízké. Provoz turbíny v rezonančním stavu po delší časový úsek vede k výraznému kmitání a dynamickému namáhání a jeho následkem může dojít k poruše lopatky únavovým lomem. Za účelem omezení rizika kmitání lopatek a zajištění provozní spolehlivosti lopatek jsou prováděny změny přidáváním výstužných a tlumicích elementů. [4]

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY UTĚSNĚNÍ TURBÍNOVÉ SKŘÍNĚ V OBLASTI DĚLÍČÍ ROVINY

Při návrhu přírubového spoje je nutno zajistit dostatečnou pevnost, tuhost a těsnost spojení. Unikání páry nebo pronikání vzduchu do turbínové skříně je nepřístupné a je nutno zajistit její utěsnění. V oblasti dělící roviny je utěsnění zajištěno přírubovým spojem a potřebné těsnosti spoje se dosahuje předpjatým šroubovým spojem.

Při najíždění turbíny ze studeného stavu a při náhlých změnách zatížení dochází k změnám napětí v přírubovém spoji. Změny v napětí jsou způsobené rozdílnými teplotami na vnitřní a vnější straně příruby a šroubu. Překročení dovolených mezí napětí v přírubovém spoji by způsobilo netěsnosti v styčné ploše příruby.

Přírubové spoje, používané na turbínových skříních, lze rozdělit na tři typy:

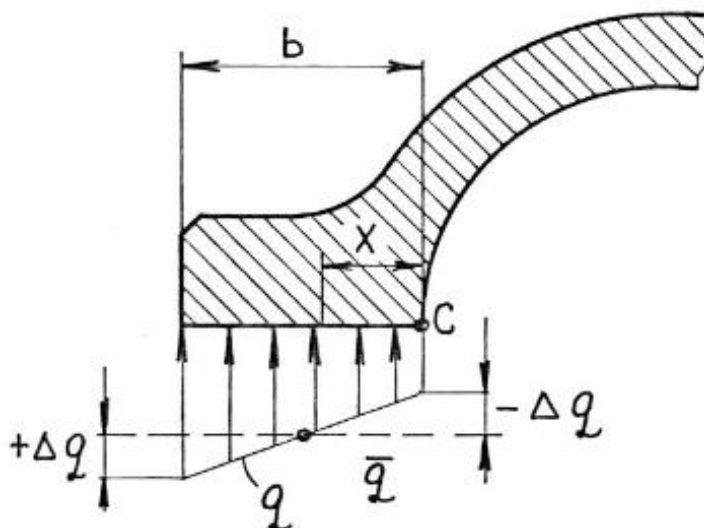
- Příruby s odlehčením a s nekruhovým vnitřním radiálním řezem
- Příruby s odlehčením a s kruhovým vnitřním průřezem
- Příruby bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem

Příruba s odlehčením a s nekruhovým vnitřním radiálním řezem je v současnosti nejmodernější a nejpoužívanější přírubový spoj.

[1][7][8]

5.1 Příruba bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem

Nejméně moderním přírubovým spojem je příruba bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem viditelná na Obr. 5-1 Příruby bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem, který v současné době již v praxi není využíván. Tento druh přírubového spoje je spojem aplikovaným na turbíně Lang.



Obr. 5-1 Příruby bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem [7]

Na přírubu skříně působí tři síly. Síla provozní vyvolaná rozdílem tlaku na vnější a vnitřní straně skříně, síla předpětí vyvolaná utahováním šroubu a síla tlaku v dělicí rovině. Empiricky byl odvozený vztah měrného tlaku, který je vytvořený vzájemným působením sil, jako součet několikanásobku tlaku uvnitř skříně a experimentálně určené konstanty.

V provozním stavu vyžadujeme k dosažení těsnosti přírubového spoje, aby provozní síla nepřekročila sílu vyvolanou utahovacím momentem, a aplikujeme podmínku statické rovnováhy soustavy ve svislém směru. [7] [8]

$$\frac{P_s}{t} = \Delta p \cdot r_0 + \bar{q} \cdot b \quad (5.1)$$

Kde

P_s síla vyvozená šroubem
 t rozteč šroubů
 Δp rozdíl tlaků na vnitřní a vnější straně skříně
 r_0 poloměr turbínové skříně
 $\bar{q}$ střední silové zatížení příruby
 B šířka příruby

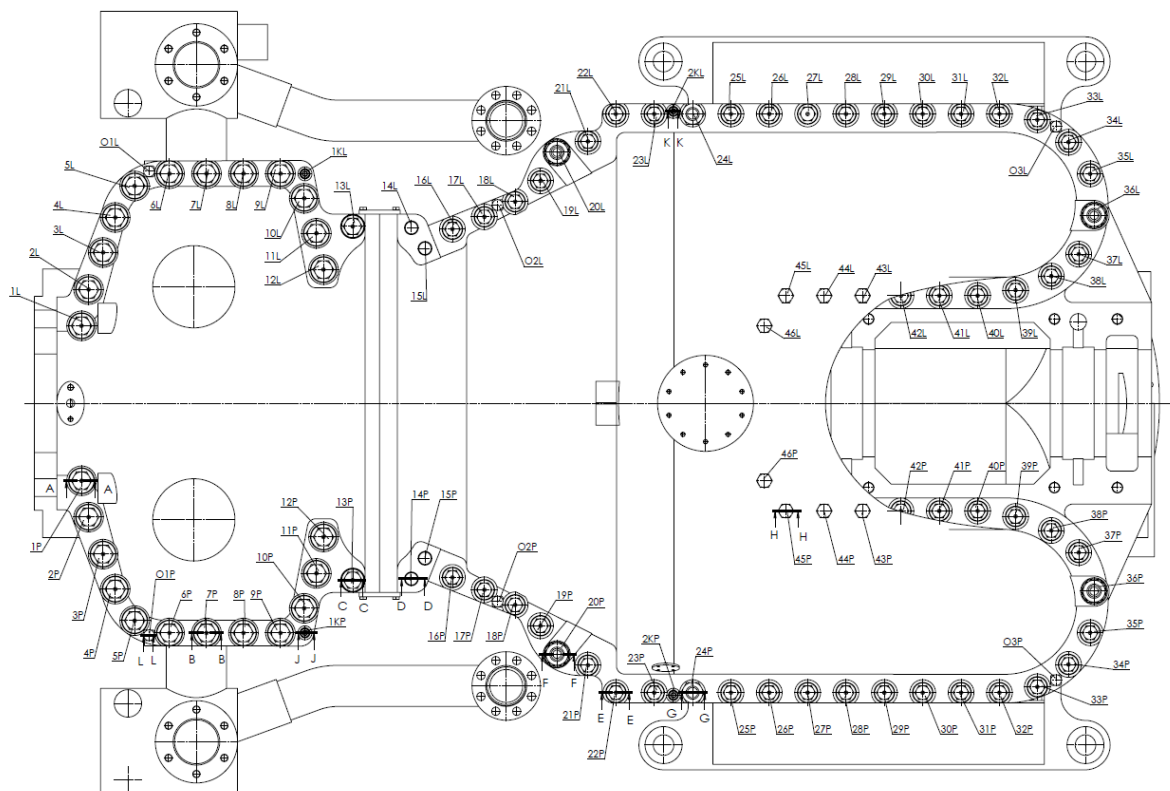
Provozní síly působící na přírubový spoj vyvíjejí nutnost působit na spoj opačnými silami, které jsou zajištěny šroubovým spojením, tedy silami předpětí. Vypovídajícím faktorem těsnění příruby turbínové skříně je tedy utahovací moment. Následující kapitola se bude věnovat problematice utahovacího momentu. [7][8]

6 UTAHOVACÍ MOMENT DĚLÍCÍ ROVINY TURBÍNY

V praxi se setkáváme s několika druhy spojů ke vzájemnému spojení dvou či více součástí. Jedním z druhů v praxi užívaných spojů, a k spojení přírub turbínové skříně vhodným, je spoj šroubový s předpětím. Při výběru spoje je nutno provést kontrolu a návrh pro konkrétní účely a stanovené provozní podmínky. [9]

Vzhledem ke skutečnosti, že závitové díry ve skříní turbíny Lang jsou již vyrobeny a jejich počet a velikost nelze z pevnostních důvodů měnit, je nutno přizpůsobit šroubové spoje zadaným parametrům a provést výpočet utahovacích momentů šroubů přírubového spoje.

Na Obr. 6-1 *Umístění šroubů na dělicí rovině* je viditelné rozmístění jednotlivých šroubů. Horizontálně dělená turbínová skříň na vršek a spodek je upevněna 46 šrouby na pravé a 46 šrouby na levé polovině osově symetrické turbínové skříně. Velikosti a počet šroubů se mění po celém obvodu turbínové skříně. K těsnosti spoje přispívají 4 druhy závrtných šroubů, jejichž parametry a umístění jsou viditelné v Tab. 6-1 *Pozice šroubů v dělicí rovině*. [1]



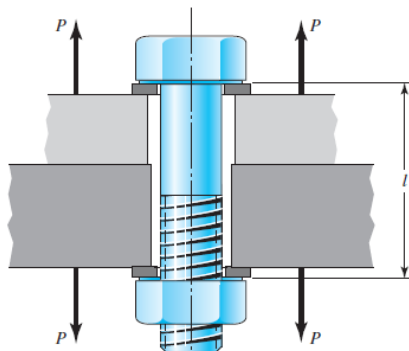
Obr. 6-1 Umístění šroubů na dělicí rovině [1]

Tab. 6-1 Pozice šroubů v dělicí rovině [1]

Šrouby	Pozice
M64x6	1-12 L/P
M56x5,5	13-15 L/P
M48x5	16-19, 21-46 L/P
M52x5	20,36 L/P

6.1 Síla předpětí

K spojení součástí a jejich vzájemnému upevnění je zapotřebí takzvané síly předpětí F_i , která je vyvozena utahováním šroubu. Po spojení částí dohromady vytváří síla předpětí tlak na spojované součásti a tím součásti k sobě stlačuje a zároveň působí tahem na šroub a tento prodlužuje. Tyto síly, vytvářející tah a tlak na obě části spojení, jsou stejné velikosti, ale opačného směru. [9][10]



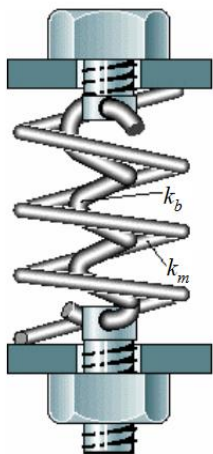
Obr. 6-2 Šroubový spoj [9]

Síla předpětí způsobuje prodloužení šroubu δ_s a stlačení spojovaných součástí δ_p . Z Obr. 6-5 je patrné, že při zvyšování síly předpětí se deformace spojovaných součástí zvyšuje a úhel zatěžovací dráhy, jakožto charakteristika spojovaných součástí, se mění v závislosti na tuhosti materiálu. Stejný vztah je i mezi působením síly předpětí na spojovací materiál a lze vyjádřit rovnicí (6.1). [9]

$$\delta_d = \frac{F_i}{k} = \frac{F_i \cdot l}{E \cdot S_{sp}} \quad (6.1)$$

Kde

δ_d	deformace
F_i	síla předpětí
k	tuhost
l	prodloužení
S_{sp}	průřez spoje
E	modul pružnosti v tahu



6.2 Tuhost

Tuhostí se nazývá úměrnost mezi silou působící na součást a deformací způsobenou touto silou, jejíž vztah je viditelný v rovnici (6.1). Jak již bylo zmíněno, síla působící na šroubový spoj je stejně velká u částí spojovaných součástí a spojovacího materiálu a lze ji znázornit soustavou dvou paralelně řazených pružin, viditelných na Obr. 6-3 Znázornění tuhosti šroubového spoje pomocí modelu dvou pružin. [9][10]

Obr. 6-3 Znázornění tuhosti šroubového spoje pomocí modelu dvou pružin [10]

6.2.1 Tuhost spojovacích součástí

6.2.1.1 Tuhost šroubu

Tuhost samotného šroubu se skládá z tuhosti jednotlivých částí rozdělených v závislosti na jejich průměru a povrchu (dřík/závit). Výsledná tuhost je vypočtena součtem všech jejích částí. V rovnici (6.2) je znázorněna tuhost závrtného šroubu skládající se z tuhostí tří dílčích částí a to dříku, závitu volného konce a závitu závrtného konce. [9]

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \quad (6.2)$$

Kde

k_s tuhost šroubu
 k_1, k_2, k_3 tuhost volného konce závitu

Kombinací rovnic (6.1) a (6.2) a nahrazení silou jejím ekvivalentním vyjádřením získáme následující rovnici:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{S_1 \cdot E}{l_1} + \frac{S_2 \cdot E}{l_2} + \frac{S_3 \cdot E}{l_3} \quad (6.3)$$

Kde

S_1, S_2, S_3 průřezy volného konce závitu, dříku a závrtného konce závitu
 l_1, l_2, l_3 prodloužení volného konce závitu, dříku a závrtného konce závitu
 E modul pružnosti v tahu

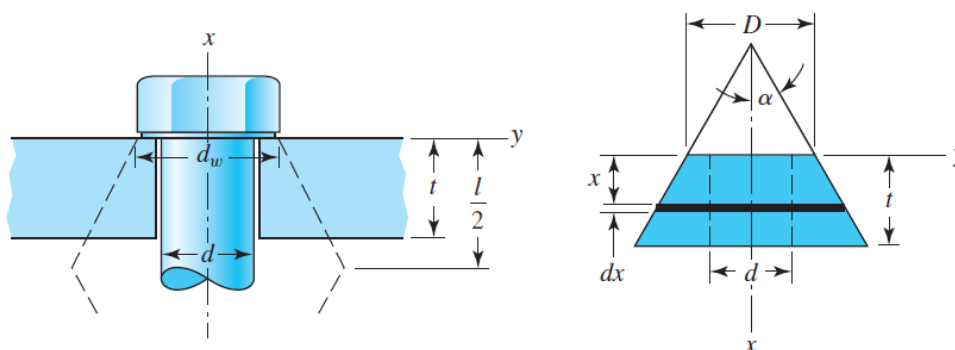
[9][10]

6.2.2 Tuhost spojovaných součástí

Zjištění celkové tuhosti spojovaných součástí je založena na stejném principu výpočtu jako předešlé tuhosti šroubů, matic a podložek a to na zavedení modelu paralelně řazených pružin (vizte rovnici (6.2)). [9][10]

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_i} \quad (6.4)$$

Při výpočtech tuhostí jednotlivých spojovaných součástí se setkáváme s problematikou rozložení napětí mezi hlavou šroubu a maticí, jehož velikost je často určována experimentálně a mění se po svěrné délce. Často je aplikovaný zjednodušený model využívající náhradu spojovaných součástí komolými kužely, jehož princip je nastíněn níže a zobrazen na Obr. 6-4 *Náhrada spojovaných součástí modelem komolých kuželů*. [9]



Obr. 6-4 Náhrada spojovaných součástí modelem komolých kuželů [9]

Při aplikaci modelu je každá součást spoje nahrazena komolými kužely, jejichž podstavy se vzájemně střetávají v polované svěrné délky. Komolé kužele spoje mají neproměnný vrcholový úhel 2α , jehož hodnota se pro většinu spojů uvádí 45° a menší. [9]

Deformace elementárního prvku s aplikací rovnice (6.1) je:

$$d\delta = \frac{F \cdot dx}{E \cdot S} \quad (6.5)$$

S průřezem S elementárního prvku kužele:

$$\begin{aligned} S_{el} &= \pi \cdot (r_{vnější}^2 - r_{vnitřní}^2) = \\ &= \pi \cdot \left(x \cdot \tan\alpha + \frac{D+d}{2} \right) \cdot \left(x \cdot \tan\alpha + \frac{D-d}{2} \right) \end{aligned} \quad (6.6)$$

Kde

S_{el}	elementární průřez prvku kužele
$r_{vnější}$	vnější poloměr kužele
$r_{vnitřní}$	vnitřní poloměr kužele
α	vrcholový úhel
D	průměr kužele na vrchní straně příruby
d	průměr díry

Po dosazení rovnice (6.5) do rovnice (6.6) a její integraci získáváme výslednou deformaci a tím i tuhost spojované součásti.

$$k_{sp} = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \tan\alpha}{\ln \left(\frac{2t_k \cdot \tan\alpha + D - d}{2t_k \cdot \tan\alpha + D + d} \cdot \frac{(D + d)}{(D - d)} \right)} \quad (6.7)$$

Kde

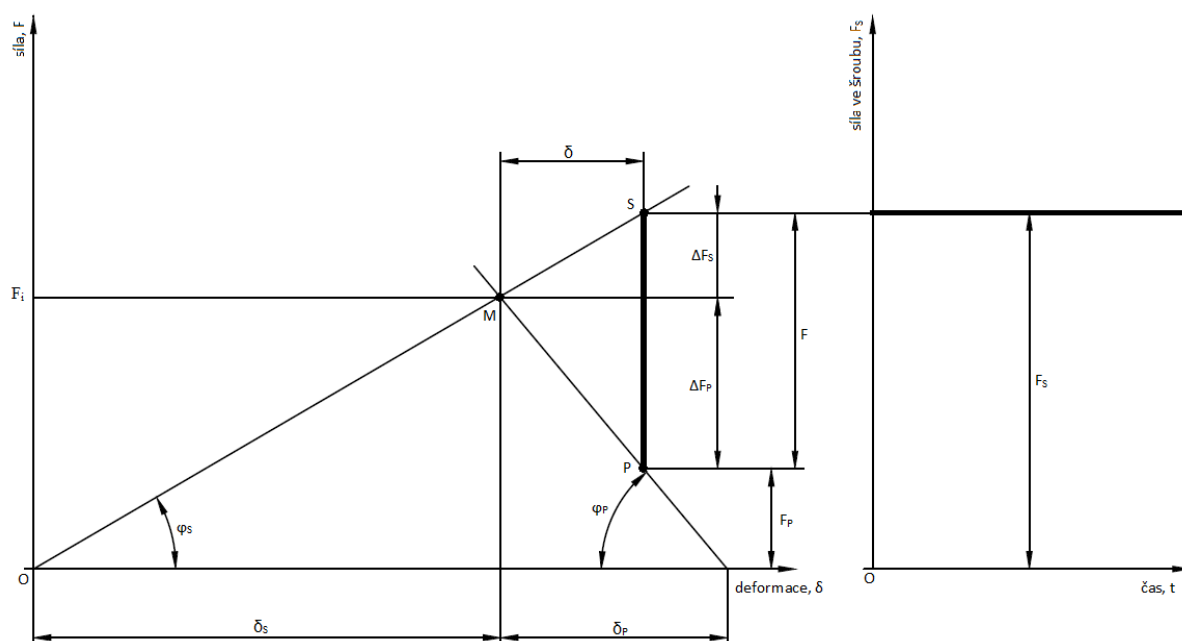
k_{sp}	tuhost spojované součásti
E	modul pružnosti v tahu
t_k	tloušťka příruby

Rovnice (6.7) je zvlášť aplikovaná na každý komolý kužel v soustavě spojovaných částí a následně vypočtena výsledná tuhost dle rovnice (6.4). [9][10]

6.3 Síly v provozním stavu

V provozním stavu je předpjatý spoj zatížen mimo silou předpětí i provozní silou, tedy je zatížený tahem. K znázornění jednotlivých složek působících na spoje slouží takzvaný montážní a pracovní diagram předpjatého šroubového spoje viditelný na *Obr. 6-5 Montážní a pracovní diagram předpjatého šroubového spoje*, který zobrazuje závislost síly na deformaci součástí spoje. Předpokladem je, že v provozním stavu je provozní síla působící na spoj konstantní. Spojením jednotlivých diagramů deformací šroubu a deformace spojovaných součástí vzniká výsledný montážní diagram.

Při zatížení již předpjatého šroubu provozní silou dochází k prodlužování šroubu a zároveň ke stlačování spojovaných součástí o délku δ a tedy rozkladu provozní síly do spojovaných součástí ve formě přírůstku síly ΔF_p a šroubového spoje s přírůstkem ΔF_s . [9][10]



Obr. 6-5 Montážní a pracovní diagram předpjatého šroubového spoje [9]

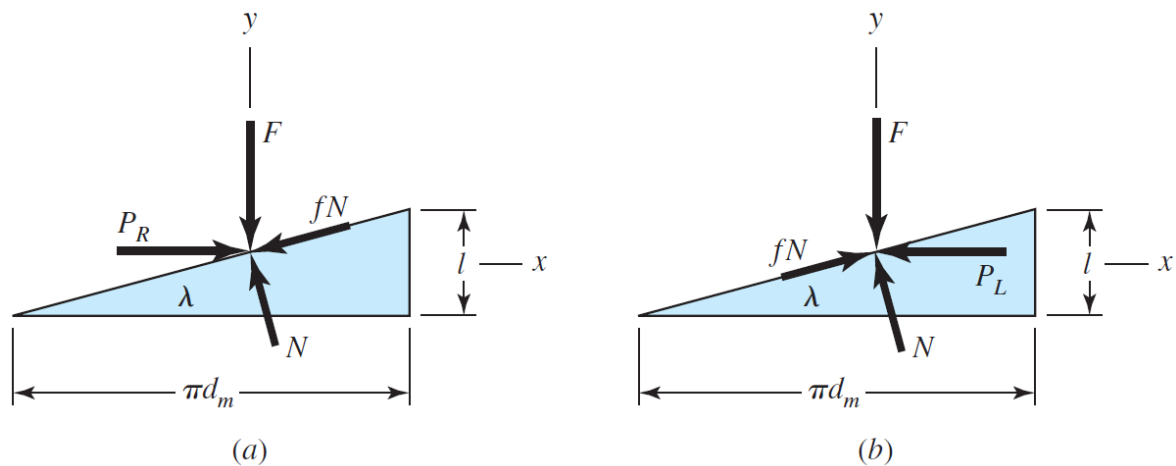
Kde

F	provozní síla
F _i	síla předpětí
F _p	silové zatížení spojovaných součástí v provozním stavu
F _s	silové zatížení šroubu v provozním stavu
ΔF _s	přírůstek síly ve šroubu vyvolaný provozní silou
ΔF _p	přírůstek síly ve spojovaných součástech vyvolaný provozní silou
δ	prodloužení šroubů ku stlačení spojovaných součástí provozní silou
δ _s	prodloužení šroubu vyvolané silou předpětí
δ _p	stlačení spojených částí vyvolané silou předpětí
φ _s	úhel zatěžovací dráhy šroubu
φ _p	úhel zatěžovací dráhy spojovaných součástí
P	provozní stav ve spojovaných součástech
S	provozní stav ve šroubu

Prostředkem k dosažení předpětí v přírubovém spoji je utahovací moment.

6.4 Utahovací moment

K zjištění utahovacího momentu je nutno znát i silové poměry v závitu utahovaného šroubu. Samotný závit šroubu je namáhán osovou silou F, která se rozkládá do elementárních osových sil. Na *Obr. 6-6 Silové poměry ve čtvercovém závitu* je zobrazen silový poměr v čtvercovém závitu při utahování a uvolňování. Výška trojúhelníku odpovídá stoupání závitu, s úhlem stoupání λ a její základna je tvořena obvodem kružnice o středním průměru závitu. Závit je namáhán silou normálovou, silami třecími a silami vyvozenými utahováním případně uvolňováním a společně tvoří výslednici osových sil. Ze statické rovnováhy soustavy lze vyjádřit síly uvolňování a utahování a jejich součinem se středním průměrem závitu získáváme točivý moment. [9]



Obr. 6-6 Silové poměry ve čtvercovém závitu [9]

V případě metrického závitu, tedy závitu lichoběžníkového, je nutno dále uvažovat sklon závitového boku, který způsobí odklon normálové síly závitu a zvyšuje třecí sílu. Odklonění síly je pak v rovnici (6.8) vyjádřeno převrácenou hodnotou cosinu. [9]

$$M = \frac{F_i \cdot d_2}{2} \cdot \left(\frac{P_h \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \cdot f \cdot d_2}{\pi \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot d_2 - P_h \cdot f} \right) \quad (6.8)$$

Kde

- F_i síla předpětí
- d_2 střední průměr závitu
- P_h stoupání závitu
- f součinitel tření závitu
- α úhel profilu

Dále je nutno uvažovat další složku momentu, která vzniká vlivem tření v mezikruhovém dosedací ploše šroubu. Síla se zde soustředí na středním průměru mezikruhovské plochy osazení šroubu a moment k překonání tření lze počítat dle rovnice (6.9). [9]

$$M = \frac{F_i \cdot f_0 \cdot d_0}{2} \quad (6.9)$$

Kde

- F_i síla předpětí
- d_0 střední průměr mezikruhovské stykové plochy
- f_0 součinitel tření mezikruhovské stykové plochy

Na základě výše uvedených vztahů (6.8) a (6.9) a po krátké matematické úpravě s využitím rovnosti $\lambda = P_h / \pi \cdot d_2$, lze následně výsledný moment zapsat ve formě [9]:

$$M_{max} = \frac{F_i \cdot d_2}{2} \cdot \left(\frac{\tan(\lambda) + f \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}{1 - f \cdot \tan(\lambda) \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}} \right) + \frac{f_0 \cdot F_i \cdot d_0}{2} \quad (6.10)$$

7 VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU ŠROUBŮ

K následnému postupu výpočtu požadovaného utahovacího momentu je využito znalostí získaných v předchozí kapitole 6 Uťahovací moment dělicí roviny turbíny.

Výpočet maximální velikosti přepětí šroubu za provozu [1]

Napětí v šroubu je určováno silou, která působí na povrch dané součásti. Maximální napětí šroubu je závislé na vlastnostech materiálu tak, aby za provozu nedošlo ke ztrátě funkčnosti součástí. K určení maximálního výpočtového zatížení šroubu zavádíme součinitel bezpečnosti do stavu creepu s jmenovitou hodnotou 1,3.

$$\sigma_{\max_{\text{vyp}}} = \frac{\sigma_{\max}}{k_b} \quad (7.1)$$

Kde

$\sigma_{\max}$	maximální napětí šroubu
$\sigma_{\max_{\text{vyp}}}$	maximální výpočtové napětí šroubu
k_b	součinitel bezpečnosti

Maximální zatěžující síla šroubu za provozu [1]

Závrtné šrouby upevňující dělicí rovinu, jak viditelné na Obr. 7-1 Šroub M64x6, sestávají z dříku, závitu volného konce, závitu závrtného konce a přechodných vrubů. Nejnamáhanější částí samotného šroubu a tedy i částí, která je vystavena největšímu silovému působení předpětí, je dřík šroubu.

Z geometrie šroubu lze průřez dříku stanovit z následujícího vztahu:

$$S_{\text{dřík}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{dřík}}^2 - d_{\text{vývrt}}^2) \quad (7.2)$$

Kde

$D_{\text{dřík}}$	průměr dříku šroubu
$d_{\text{vývrt}}$	průměr vývrtu šroubu

Pak maximální výpočtová zatěžující síla v dříku lze určit následujícím vztahem:

$$F = (\sigma_{\max_{\text{vyp}}} \cdot S_{\text{dřík}}) \quad (7.3)$$

Výpočet maximálního utahovacího momentu šroubu vzhledem k pevnosti šroubu [1]

Z rovnice (6.10) určíme maximální utahovací moment šroubu.

$$M_{\max} = \frac{\frac{F_i \cdot d_2}{2} \cdot \left(\tan(\lambda_{\text{mat}}) + f \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha_{\text{mat}}}{2}\right)} \right)}{1 - f \cdot \tan(\lambda_{\text{mat}}) \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha_{\text{mat}}}{2}\right)}} + \frac{f_0 \cdot F_i \cdot d_0}{2} \quad (7.4)$$

Kde

F_i	síla předpětí šroubu
f_0	součinitel tření mezikruhové stykové plochy
f	součinitel tření závitu
d_0	střední průměr mezikruhové stykové plochy
d_2	střední průměr závitu
λ_{mat}	úhel stoupání závitu
α_{mat}	úhel profilu

Doplňující výpočty k stanovení maximálního výpočtového utahovacího momentu [1]

Úhel stoupání závitu volného konce šroubu lze stanovit z rozvinuté geometrie jednoho závitu šroubu:

$$\lambda_{mat} = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} \quad (7.5)$$

Nebo v stupních:

$$\lambda_{mat} = \arctg\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (7.6)$$

Kde

P_h	stoupání závitu
d_2	střední průměr závitu

Střední dosedací průměr lze vypočíst jako aritmetický průměr vnějšího a vnitřního průměru:

$$d_o = \frac{d_p + D_p}{2} \quad (7.7)$$

Výpočet maximálního úhlu natočení matice [1]

Maximální napětí v dřívku šroubu lze stanovit dle následující rovnice:

$$\sigma_{dřik_{max}} = \frac{F}{S_{dřik}} \quad (7.8)$$

Plocha průřezu podložky:

$$S_p = \pi \cdot \frac{D_p^2 - d_p^2}{4} \quad (7.9)$$

$$n_1 = \frac{L_s}{l_p} \quad (7.10)$$

$$n_2 = \frac{L_s}{H} \quad (7.11)$$

$$m_1 = \frac{S_{dřik}}{S_p} \quad (7.12)$$

Kde

L_s	délka stahovaných součástí
l_p	délka podložky
H	výška příruby
$S_{dřík}$	plocha průřezu dříku šroubu
S_p	plocha průřezu podložky
d_p	malý průměr podložky
D_p	velký průměr podložky
n_1	poměr délek stahovaných součástí a podložky
n_2	poměr délek stahovaných součástí a výšky příruby
m_1	poměr délek ploch průřezů dříku šroubu a podložky

Pak s využitím rovnic (7.8), (7.10), (7.11) a (7.12) lze stanovit úhel natočení matice:

$$\phi_{max} = \frac{360}{P_h} \cdot \frac{\sigma_{dřík_{max}}}{E_{sr20}} \cdot L_s \cdot \left(1 + \frac{m_1}{n_1} + \frac{1}{3 \cdot n_2}\right) + D_{dřík} \cdot (1,167 + 0,5 \cdot m_1) \quad (7.13)$$

Kde

P_h	stoupání závitu
$\sigma_{dřík_{max}}$	maximální napětí v dříku šroubu
E_{sr20}	modul pružnosti šroubu při 20°C
L_s	délka stahovaných součástí
$D_{dřík}$	průměr dříku šroubu

Z úhlu natočení matice lze určit maximální prodloužení přírubového spoje:

$$\Delta l_{přírub_{max}} = \frac{\phi_{max} \cdot P_h}{360} \quad (7.14)$$

Dále maximální prodloužení šroubu je určeno pomocí vztahu:

$$\Delta l_{s_{max}} = \frac{\sigma_{dřík_{max}}}{E_{sr20}} \cdot (L_s + D_{dřík}) \quad (7.15)$$

Délka oblouku na zvoleném průměru s podložkou:

$$l_{OB_{max}} = \frac{\pi \cdot D_p}{360} \cdot \phi_{max} \quad (7.16)$$

Výpočet utahovacích parametrů pro nový šroub na základě zadaného momentu [1]

Na základě výše vypočtených hodnot maximálního utahovacího momentu je určen utahovací moment pro nový šroub s podmínkou $M_{nov} \leq M_{max}$. Následně jsou postupně určeny parametry pro nový šroub.

Síla přepětí vyvolaná momentem M_{nov} :

$$F_{nov} = \frac{M_{nov} \cdot 2}{d_{2mat} \cdot \left(\frac{\tan(\gamma_{mat}) + f \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha_{mat}}{2}\right)}}{1 - f \cdot \tan(\gamma_{mat}) \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha_{mat}}{2}\right)}} + f_0 \cdot d_0 \right)} \quad (7.17)$$

Tak jako u utahovacího momentu i zde nesmí síla přepětí vyvolaná momentem nově spočteným překročit velikost síly přepětí od maximálního utahovacího momentu M_{max} tedy splnit podmínku kontroly $F_{nov} \leq F_{max}$.

Maximální napětí v dřívku šroubu se spočítá z nově stanovené síly přepětí vyvolané momentem M_{nov} :

$$\sigma_{dřik_{nov}} = \frac{F_{nov}}{S} \quad (7.18)$$

Následně jsou stanoveny hodnoty úhlu natočení matice, prodloužení přírubového spoje, prodloužení šroubu a délky oblouku na zvoleném průměru obdobně, jako je uvedeno v části Výpočet maximálního utahovacího momentu šroubu vzhledem k pevnosti šroubu, potom probíhá analogicky jako rovnicích (7.13), (7.14), (7.15) a (7.16) tedy:

$$\phi_{nov} = \frac{360}{P_h} \cdot \frac{\sigma_{dřik_{nov}}}{E_{šr20}} \cdot L_s \cdot \left(1 + \frac{m_1}{n_1} + \frac{1}{3 \cdot n_2} \right) + D_{dřik} \cdot (1,167 + 0,5 \cdot m_1) \quad (7.19)$$

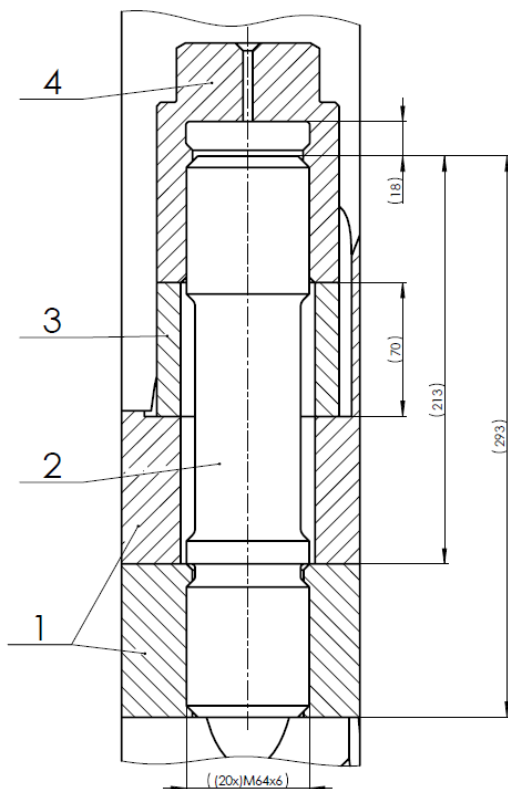
$$\Delta l_{přírub_{nov}} = \frac{\phi_{nov} \cdot P_h}{360} \quad (7.20)$$

$$\Delta l_{5_{nov}} = \frac{\sigma_{dřik_{nov}}}{E_{šr20}} \cdot (L_s + D_{dřik}) \quad (7.21)$$

$$l_{OB_{nov}} = \frac{\pi \cdot D_p}{360} \cdot \phi_{nov} \quad (7.22)$$

7.1 Výpočet utahovacího momentu šroubu M64x6

Na Obr. 7-1 je zobrazen řez šroubem M64x6 a doplněn Tab. 7-1 *Součásti šroubu M64x6*. Uložení šroubu se provádí za studena a povrchy závitů a dosedacích ploch matic jsou povrchově ošetřeny prostředkem Molykote P37. Teplota vstupující páry je 400°C. [1]



Tab. 7-1 Součásti šroubu M64x6 [9]

Pozice	Název
1	Příruby
2	Šroub
3	Podložka
4	Matice

Obr. 7-1 Šroub M64x6 [1]

Parametry šroubu

Závit volného konce	M64x6
Délka volného konce šroubu	$L = 213 \text{ mm}$
Délka volného konce závitu	$l_z = 72 \text{ mm}$
Přechodový rádius k volnému závitu	$R_{\text{mat}} = 5 \text{ mm}$
Průměr dříku šroubu	$D_{\text{dřík}} = 55 \text{ mm}$
Přechodový rádius k závrtnému závitu	$R_{\text{DR}} = 5 \text{ mm}$
Délka závrtného závitu	$l_{\text{zDR}} = 68 \text{ mm}$
Závit závrtného konce	M64x6
Materiál šroubu	15320.6

Podložka

Délka podložky	$l_p = 70 \text{ mm}$
Vnější průměr podložky	$D_p = 95 \text{ mm}$
Vnitřní průměr podložky	$d_p = 70 \text{ mm}$
Materiál podložky	15320.6

Matice

Vnější průměr matice	$D_{\text{mat}} = 95 \text{ mm}$
Délka závitového otvoru matice	$l_{\text{zmat}} = 84 \text{ mm}$

Délka výběhu matice $l_{\text{výběh}} = 15 \text{ mm}$
Materiál matice 15320.6

Příruba

Výška příruby $H = 77 \text{ mm}$
Vnitřní průměr pro šroub v přírubě $d_{\text{př}} = 70 \text{ mm}$
Materiál příruby 15320.6

Součinitelé

Součinitel tření v závitu $f = 0,150$
Součinitel tření v dosedací ploše matice $f_0 = 0,090$

Závity volného a závrtného konce šroubu:

Závit volného konce šroubu	Závit závrtného konce šroubu
Velký průměr závitu	
$d_{\text{mat}} = 64,000 \text{ mm}$	$d_{\text{DR}} = 64,000 \text{ mm}$
Malý průměr závitu	
$d_{1\text{mat}} = 57,505 \text{ mm}$	$d_{1\text{DR}} = 57,505 \text{ mm}$
Střední průměr závitu	
$d_{2\text{mat}} = 60,103 \text{ mm}$	$d_{2\text{DR}} = 60,103 \text{ mm}$
Stoupání závitu	
$P_{\text{hmat}} = 6,00 \text{ mm}$	$P_{\text{hDR}} = 6,00 \text{ mm}$
Úhel profilu	
$\alpha_{\text{mat}} = 60,00^\circ$	$\alpha_{\text{DR}} = 60,00^\circ$
$\alpha_{\text{mat}} = 1,0472 \text{ rad}$	$\alpha_{\text{DR}} = 1,0472 \text{ rad}$

Materiál šroubu:

Maximální zatížení šroubu	$\sigma_{\text{max}} = 350 \text{ MPa}$
Modul pružnosti šroubu	$E_{\text{šr}} = 176500,00 \text{ MPa}$
Modul pružnosti šroubu při 20°C	$E_{\text{šr}20} = 206000,00 \text{ MPa}$

[1]

7.1.1 Výpočtové hodnoty šroubu M64x6

Po dosazení zadaných hodnot do postupu výpočtu utahovacího momentu uvedeného v kapitole 7 (Výpočet utahovacího momentu šroubu) a po jeho kontrole jsou níže v *Tab. 7-2 Výpočtové hodnoty šroubu M64x6* uvedeny všechny mezivýsledky nutné k stanovení momentu.

Tab. 7-2 Výpočtové hodnoty šroubu M64x6

Název	Označení	Hodnota	Jednotka	Vzorec
Úhel stoupání závitu volného konce šroubu	λ_{mat}	0,0318	[rad]	(7.5)
	λ_{mat}	1,8200	[°]	(7.6)
Střední dosedací průměr matice	d_o	82,5000	[mm]	(7.7)
Plocha průřezu podložky	S_p	3239,7700	[mm ²]	(7.9)
Maximální výpočtové zatížení šroubu	σ_{max_vyp}	350,0000	[MPa]	(7.1)
Průřez dříku	S	2375,8300	[mm ²]	(7.2)
Maximální zatěžující síla	F	831540,3100	[N]	(7.3)
Maximální utahovací moment	M_{max}	8238,0100	[Nm]	(7.4)
Maximální napětí v dříku šroubu	$\sigma_{dřik_max}$	350,0000	[MPa]	(7.8)
Úhel natočení matice	ϕ_{max}	31,4300	[°]	(7.13)
Prodloužení přírubového spoje	$\Delta l_{přírub_max}$	0,5200	[mm]	(7.14)
Prodloužení šroubu	Δl_{5_max}	0,3400	[mm]	(7.15)
Délka oblouku na zvoleném průměru	l_{OB_max}	26,0600	[mm]	(7.16)
Síla přepětí vyvolaná momentem M_{nov}	F_{nov}	807515,6800	[N]	(7.17)
Maximální napětí v dříku šroubu	$\sigma_{dřik_nov}$	339,8900	[MPa]	(7.18)
Úhel natočení matice	ϕ_{nov}	30,5300	[°]	(7.19)
Prodloužení přírubového spoje	$\Delta l_{přírub_nov}$	0,5100	[mm]	(7.20)
Prodloužení šroubu	Δl_{5_nov}	0,3300	[mm]	(7.21)
Délka oblouku na zvoleném průměru	l_{OB_max}	25,3100	[mm]	(7.22)

7.2 Utahovací momenty šroubů dělicí roviny

Na základě uvedeného postupu výpočtu v kapitole Výpočet utahovacího momentu šroubu M64x6 byly stanoveny následující hodnoty utahovacích momentů:

Tab. 7-3 Výpočtové hodnoty utahovacích momentů šroubů dělicí roviny

Šroub	Pozice	Teplota [°C]	Výška příruby [mm]	Vnitřní průměr příruby [mm]	Utahovací moment (maximální) [Nm]	Úhel natočení matice (maximální) [°]
M64x6-213	1-12	400	77,00	70,00	8238,01	31,43
M56x5,5-195	13-15	293	77,00	60,00	5316,36	28,42
M48x5-155	16-19; 21-35; 37-46	147; 87; 40	61,00	53,00	3492,57	24,96
M52x5-860	20; 36	87; 40	93,00	64,00	4962,26	27,88

Montáž dělicí roviny je prováděna za pomoci zvedacích zařízení. Do spodní části turbíny jsou umístěny šrouby dle Obr. 6-1 *Umístění šroubů na dělicí rovině*. Závrtný konec šroubu je zašroubován do spodku turbínové skříně. Šrouby M54x5,5 o délce 860 mm slouží jako naváděcí tyče pro vršek turbínové skříně. Rizikem při montáži je dotyk rotorového a statorového lopatkování a je vyžadována vysoká opatrnost. Po opatrném umístění vršku turbínové skříně jsou nasazeny podložky a matice na volné konce šroubů a utahovacím momentem jsou obě půlky horizontálně dělené skříně k sobě připevněny. [1]

8 ZÁVĚR

Parní turbíny jsou složité stroje, které se k výrobě energie využívají již několik desetiletí a tvoří s řadou dalších zařízení jeden velký technologický celek. K správné funkci, bezpečnosti a trvanlivosti stojí slouží řada zařízení. Předmětem této diplomové práce byla oprava turbíny Lang s výkonem 12 MW, která byla instalována v roce 1954 v estonském závodě společnosti VKG Energia OÜ. Turbína Lang neprošla v průběhu svého více jak 60 letého provozu generální opravou a její stav před opravou odpovídal době provozu. I přes dlouholetý provoz a absenci pravidelných oprav, turbína plnila svou funkci a dodávala do sítě elektrickou energii avšak se značně sníženou účinností. Tento fakt svědčí o odolnosti parní turbíny jako stroje.

Vzhledem ke skutečnosti, že dokumentace parní turbíny Lang nebyla dostupná, bylo nutno veškerou dokumentaci vytvořit. Po dopravě turbíny do závodu EKOL byly při generální revizi turbíny Lang zjištěny značné nedostatky turbosoustrojí a vytvořen revizní nález a návrhy na opravu. Součástí revizního nálezu byla řada doporučení na modernizaci turbosoustrojí, která na požadavek zákazníka nebyla realizována.

Značnou problematiku představovalo propadení prostředku dělicí roviny turbínové skříně o cca 2 mm, která vyvolala nutnost egalizace dělicí roviny. Potřeba egalizace dělicí roviny měla za následek zkulacení všech uložení, vykulacení průtočného kužele lopatkování a rekonstrukci uchycení statorového lopatkování. Silně zkorodované poškozené statorové lopatky a absence některých lopatek vedla k výměně veškerého statorového lopatkování.

Rotorové lopatkování, jak naznačují *Obr. 3-3 Rotor* a *Obr. 3-4* na straně 28 a 29, bylo po dopravě do závodu v nepřípustném stavu, se silně zkorodovanými a poškozenými lopatkami a s několika chybějícími lopatkovými řadami. Samotná průtočná část rotoru byla pokryta důlkovou korozí. Vzhledem k absenci dokumentace parní turbíny bylo nutno zjistit materiál rotoru pro další úpravy jeho lopatkování. Zkoušky proběhly na Ústavu materiálových věd a inženýrství VUT v Brně pod vedením profesora Dlouhého a vedly k usouzení, že jednotlivé rotorové disky odpovídají oceli 24Ni4 a 24Ni8. V důsledku nutnosti egalizace ploch průtočné části a s tím souvisejícím úbytkem materiálu, bylo nutno provést rekonstrukci uchycení rotorového lopatkování. Samotné řady lopatek byly zcela nahrazeny lopatkami novými dle standardu firmy EKOL.

Součástí oprav turbíny byla i oprava předního ložiskového stojanu, zadního ložiskového stojanu, čtyř regulačních ventilů, dvou rychlozávěrných ventilů, protáčečního zařízení, olejového vypínače, rychlostního regulátoru a olejového čerpadla. Stáří všech přidružených zařízení a jejich nepravidelné revize a opravy vedly k nutnosti provedení rozsáhlých oprav a k výměně značného počtu součástí jednotlivých zařízení.

Turbínová skříň je skříň s přírubou bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem. Tento typ přírubového spoje je již v současné době nejméně moderním a v praxi již není uplatňován. Důležitým parametrem s ohledem na bezpečnost a provozuschopnost stroje je těsnost turbínové skříně, které se docílí šroubovými spoji. Po obvodu turbínové skříně je umístěno celkem 92 šroubů, které zajišťují její těsnost pomocí utahovacího momentu.

V návaznosti řešení problematiky utěsnění turbínové skříně se práce dále zabývá samotným výpočtem utahovacích momentů šroubů M64x6, M56x5,5, M48x5 a M52x5 a k tomu požadovaných dílčích výpočtů. Na základě výpočtu byly zjištěny maximální hodnoty utahovacího momentu a úhlu natočení matic následně:

Tab. 8-1 Úhly natočení a utahovací momenty šroubů

Šroub	Utahovací moment (maximální) [N/m]	Úhel natočení matice (maximální) [°]
M64x6	8238,01	31,43
M56x5,5	5316,36	28,42
M48x5	3492,57	24,96
M52x5	4962,26	27,88

Vzhledem ke skutečnosti, že rozsah prací na samotné turbíně a problematiku rekonstrukce jednotlivých částí a s tím související výpočty jsou natolik rozsáhlé a složité, vyžaduje uskutečnění celého projektu široké znalosti v oboru a léta praxe. Rozsah této diplomové práce problematiku rekonstrukce turbíny a s tím spojené práce řeší pouze okrajově v souladu se zadáním práce samotné firmy EKOL.

SEZNAM POŽITÉ LITERATURY

- [1] EKOL ENERGO S.R.O. *Interní dokumentace firmy*.
- [2] AMBROŽ, Jaroslav. *Parní turbíny*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [3] ŠKORPÍK, Jiří. *Transformační technologie* [online]. Brno: Jiří Škorpík, 2006 [cit. 2016-05-05]. ISBN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz>
- [4] PŘIKRYL, F. *Frekvenčně modální analýza lopatkového svazku parní turbíny*. Brno, b.r.. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 71 s. Vedoucí práce Prof. Ing. Eduard Malenovský, DrSc.
- [5] KŘÍŽ, Antonín a Petr ŠMÍD. *Použití metody GD-OES* [online]. b.r. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/Pouziti_metody_GD-OES.pdf
- [6] KOPLÍK, Jan. Rentgenová fluorescenční spektrometrie. In: *Chempoint* [online]. b.r. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/rentgenova-fluorescencni-spektrometrie>
- [7] MICHELE, František. *Parní turbíny a kondenzace: plynové turbíny a turbokompresory : konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické, 1985. Učební texty vysokých škol.,.
- [8] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Podklady pro konstrukci tepelných turbín a jejich příslušenství: konstrukční cvičení*. 1. vyd. Praha: Československá redakce VN MON, 1988.
- [9] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, Miloš VLK (ed.) *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. V Brně: VUTIAM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [10] *Konstruování strojů strojní součástí: Předepjaté šroubové spoje* [online]. Vysoké učení technické: Ústav konstruování, b.r. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/5CK/prednasky/prednaska6.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Význam
b	[m]	šířka příruby
d	[m]	průměr díry
D	[m]	průměr kužele na vrchní straně příruby
$D_{\text{dířík}}$	[m]	průměr dířku šroubu
D_p	[m]	velký průměr podložky
d_{DR}	[m]	velký průměr závitu závrtného konce šroubu
d_{mat}	[m]	velký průměr závitu volného konce šroubu
d_0	[m]	střední průměr mezikruhové stykové plochy
d_{1mat}	[m]	malý průměr závitu volného konce šroubu
d_{2mat}	[m]	střední průměr závitu volného konce šroubu
d_{1DR}	[m]	malý průměr závitu závrtného konce šroubu
d_{2DR}	[m]	střední průměr závitu závrtného konce šroubu
d_2	[m]	střední průměr závitu
d_p	[m]	malý průměr podložky
$d_{př}$	[m]	vnitřní průměr pro šroub v přírubě
$d_{\text{vývrt}}$	[m]	průměr vývrtu šroubu
E	[Pa]	modul pružnosti v tahu
$E_{\text{šr}20}$	[Pa]	modul pružnosti šroubu při 20°C
f	[-]	součinitel tření závitu
f_0	[-]	součinitel tření mezikruhové stykové plochy
F	[N]	provozní síla
F_p	[N]	silové zatížení spojovaných součástí v provozním stavu
F_S	[N]	silové zatížení šroubu v provozním stavu
F_i	[N]	síla předpětí
ΔF_p	[N]	přírůstek síly v spojovaných součástech vyvolaný provozní silou
ΔF_S	[N]	přírůstek síly v šroubu vyvolaný provozní silou
F_{nov}	[N]	síla předpětí pro nový šroub
H	[m]	výška příruby
k	[N/m]	tuhost
k_1, k_2, k_3	[N/m]	tuhost volného konce závitu, závrtného konce závitu a dířku
$k_{\text{š}}$	[N/m]	tuhost šroubu
k_{sp}	[N/m]	tuhost spojované součásti

Zkratka	Jednotka	Význam
k_b	[-]	součinitel bezpečnosti
L	[m]	délka volného konce šroubu
L_s	[m]	délka stahovaných součástí
l	[m]	prodloužení
l_{zDR}	[m]	délka závrtného závitu
l_{zmat}	[m]	délka závitového otvoru matice
l_1, l_2, l_3	[m]	prodloužení volného konce závitu, dříku a závrtného konce závitu
l_{OBmax}	[m]	délka oblouku na zvoleném průměru s podložkou
l_p	[m]	délka podložky
$l_{výběh}$	[m]	délka výběhu matice
l_z	[m]	délka volného konce závitu
$\Delta l_{přirub_{max}}$	[m]	maximální prodloužení přírubového spoje
Δl_{5max}	[m]	maximální prodloužení šroubu
M_{max}	[Nm]	maximální utahovací moment
M_{nov}	[Nm]	utahovací moment pro nový šroub
m_1	[-]	poměr délek ploch průřezů dříku šroubu a podložky
n_1	[-]	poměr délek stahovaných součástí a podložky
n_2	[-]	poměr délek stahovaných součástí a výšky příruby
P	[-]	provozní stav ve spojovaných součástech
P_{hDR}	[m]	stoupání závitu závrtného konce šroubu
P_{hmat}	[m]	stoupání závitu volného konce šroubu
P_h	[m]	stoupání závitu
P_{ξ}	[N]	síla vyvozená šroubem
Δp	[Pa]	rozdíl tlaků na vnitřní a vnější straně skříně
$\bar{q}$	[N]	střední silové zatížení příruby
R_{DR}	[m]	přechodový rádius k závrtnému závitu
R_{mat}	[m]	přechodový rádius k volnému závitu
r_0	[m]	poloměr turbínové skříně
$r_{vnější}$	[m]	vnější poloměr kužele
$r_{vnitřní}$	[m]	vnitřní poloměr kužele
S	[-]	provozní stav ve šroubu
$S_1, S_2, S_3,$	[m ²]	průřezy volného konce závitu, dříku a závrtného konce závitu
$S_{dřík}$	[m ²]	plocha průřez dříku šroubu

Zkratka	Jednotka	Význam
S_{el}	[m ²]	plocha průřezu elementárního prvku kužele
S_p	[m ²]	plocha průřezu podložky
S_{sp}	[m ²]	průřez spoje
t_k	[m]	tloušťka příruby
t	[m]	rozteč šroubů
α	[rad]	úhel profilu
α	[rad]	vrcholový úhel
φ_s	[rad]	úhel zatěžovací dráhy šroubu
φ_p	[rad]	úhel zatěžovací dráhy spojovaných součástí
λ	[rad]	úhlem stoupání
δ	[m]	prodloužení šroubů/stlačení spojovaných součástí provozní silou
ϕ_{max}	[rad]	úhel natočení matice
$\sigma_{max_{vyp}}$	[Pa]	maximální výpočtové napětí šroubu
σ_{max}	[Pa]	maximální napětí šroubu
α_{mat}	[rad]	úhel profilu
α_{mat}	[rad]	úhel profilu volného konce šroubu
α_{DR}	[rad]	úhel profilu závrtného konce šroubu
λ_{mat}	[rad]	úhel stoupání závitu
δ_d	[m]	deformace
δ_s	[m]	prodloužení šroubu vyvolané silou předpětí
δ_p	[m]	stlačení spojených částí vyvolané silou předpětí

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
VKG Energia OÜ	VIRU KEEMIA GRUPP Energia
DIN	Deutsche Industrie-Norm
ÚMVI	Ústav materiálových věd a inženýrství
ČSN	Česká technická norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
VUT v Brně	Vysoké učení technické v Brně
VÚ Brno	Výzkumný ústav Brno

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Regulační ventil [1].....	18
Obr. 2-2 Schéma olejového čerpadla a rychlostního regulátoru [2].....	19
Obr. 2-3 Rychlostní regulátor [1]	20
Obr. 3-1 Vršek turbínové skříně [1]	26
Obr. 3-2 Lopatkování turbínové skříně [1].....	26
Obr. 3-3 Rotor [1].....	28
Obr. 3-4 Stav lopatkování rotoru [1]	29
Obr. 3-5 Víko předního a zadního ložiskového stojanu [1]	31
Obr. 3-6 Radiální ložisko předního ložiskového stojanu [1].....	32
Obr. 3-7 Víko zadního ložiskového stojanu [1]	34
Obr. 3-8 Olejové ucpávky [1].....	34
Obr. 3-9 Regulační ventil [1].....	37
Obr. 3-10 Rychlozávěrný ventil [1].....	39
Obr. 3-11 Protáček zařízení [1]	40
Obr. 3-12 Olejový vypínač [1]	41
Obr. 3-13 Vypínač olejový [1]	42
Obr. 3-14 Rychlostní regulátor [1]	44
Obr. 3-15 Rychlostní regulátor a olejové čerpadlo [1].....	45
Obr. 3-16 Olejové čerpadlo [1].....	46
Obr. 3-17 Příklad snímače otáček [1]	47
Obr. 4-1 Odebrání vzorku na materiálové zkoušky a opracování disku [1].....	51
Obr. 4-2 Zatěžovací křivky zkoušky tahem [1].....	52
Obr. 4-3 Příklad úpravy drážek řady 21-23 rotorového lopatkování [1].....	53
Obr. 4-4 Konstrukční změny uchycení lopatek statoru [1]	54
Obr. 4-5 Model statorového mezeríku [1]	54
Obr. 5-2 Příruby bez odlehčení s kruhovým vnitřním průřezem [7]	55
Obr. 6-1 Umístění šroubů na dělicí rovině [1]	57
Obr. 6-2 Šroubový spoj [9].....	58
Obr. 6-3 Znázornění tuhosti šroubového spoje pomocí modelu dvou pružin [10].....	58
Obr. 6-4 Náhrada spojovaných součástí modelem komolých kuželů [9].....	59
Obr. 6-5 Montážní a pracovní diagram předpjatého šroubového spoje [9].....	61
Obr. 6-6 Silové poměry ve čtvercovém závitě [9]	62
Obr. 7-1 Šroub M64x6 [1].....	67

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Součásti regulačního ventilu [1]	37
Tab. 3-2 Součástí rychlozávěrného ventilu [1]	39
Tab. 3-3 Součástí protáčecího zařízení [1]	40
Tab. 3-4 Součásti Olejového vypínače [1]	42
Tab. 3-5 Součásti rychlostního regulátoru [1]	44
Tab. 3-6 Součástí olejového čerpadla [1]	46
Tab. 4-1 Rozbor chemického složení [1]	50
Tab. 4-2 Chemické složení materiálu rotoru dle ÚMVI [1]	52
Tab. 6-1 Pozice šroubů v dělicí rovině [1]	57
Tab. 7-1 Součástí šroubu M64x6 [9]	67
Tab. 7-2 Výpočtové hodnoty šroubu M64x6	69
Tab. 7-3 Výpočtové hodnoty utahovacích momentů šroubů dělicí roviny	70
Tab. 8-1 Úhly natočení a utahovací momenty šroubů	72

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Fotodokumentace turbíny Lang po opravě

STATOR:



Obr. 1 Úprava drážek pro lopatkování turbínové skříně



Obr. 2 Nové lopatkování

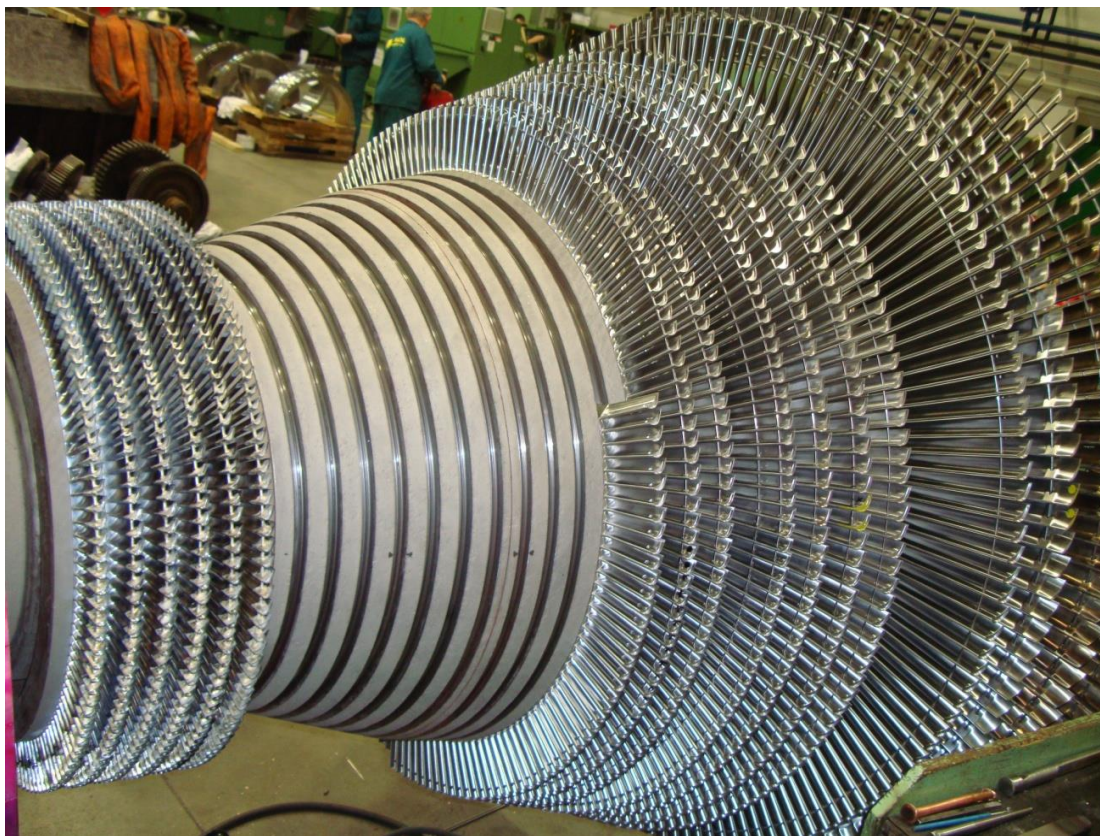


Obr. 3 Trhlina na spodku turbínové skříně



Obr. 4 Zaslepené odběry páry

ROTOR:



Obr. 5 Rotoru v průběhu lopatkování



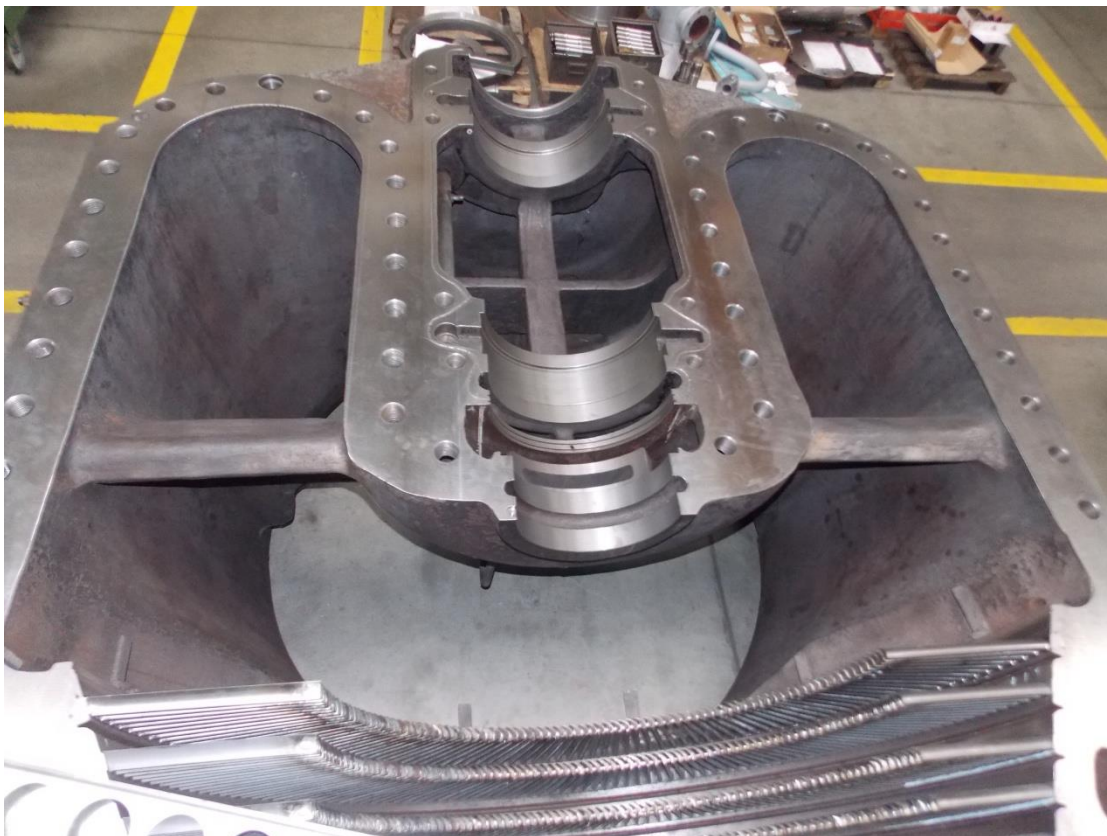
Obr. 6 Lopatkování rotoru

PŘEDNÍ LOŽISKOVÝ STOJAN:



Obr. 7 Přední ložiskový stojan

ZADNÍ LOŽISKOVÝ STOJAN:



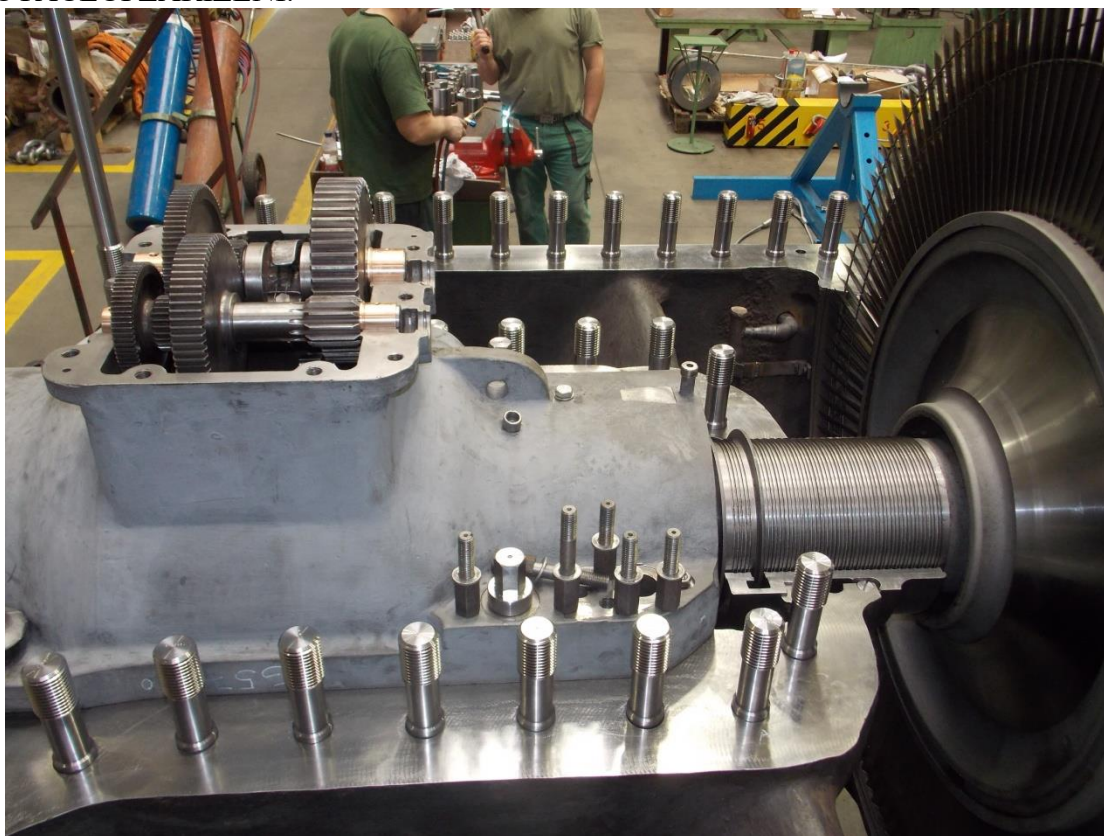
Obr. 8 Zadní ložiskový stojan ve výstupním hrdle turbínové skříně

REGULAČNÍ VENTILY:

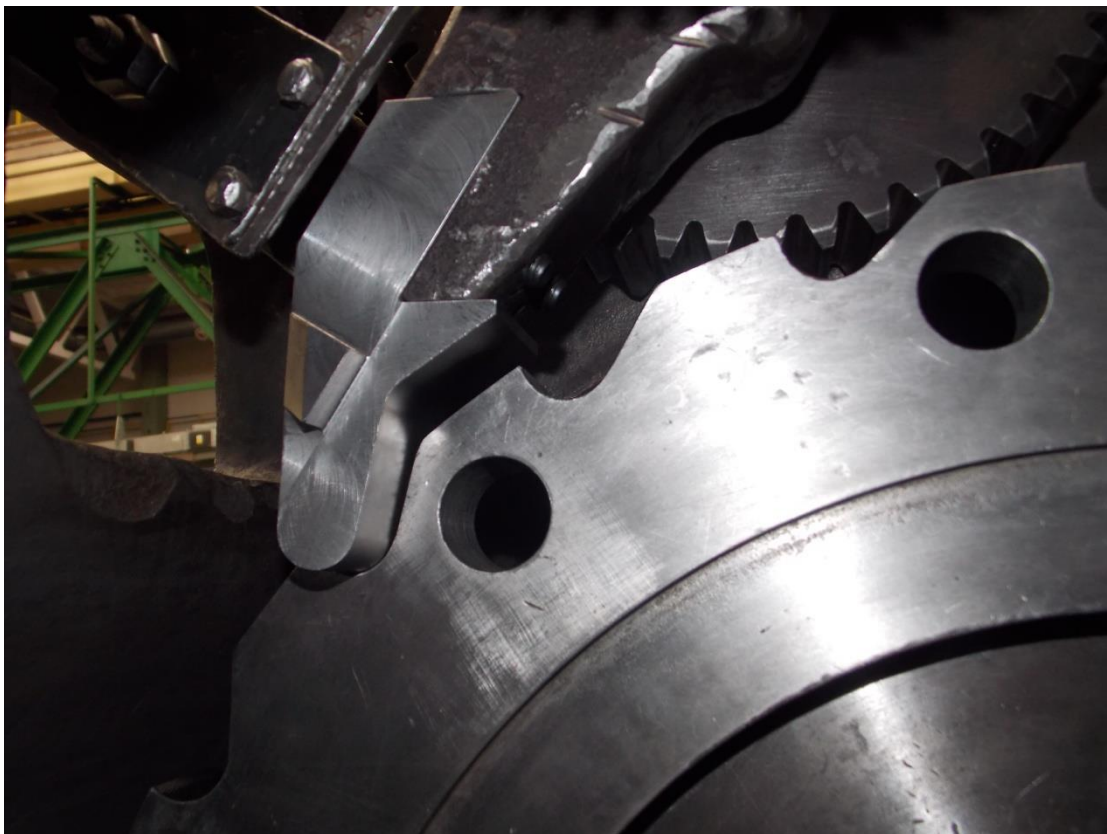


Obr. 9 Regulační ventily

PROTÁČECÍ ZAŘÍZENÍ:



Obr. 10 Protáčecí zařízení



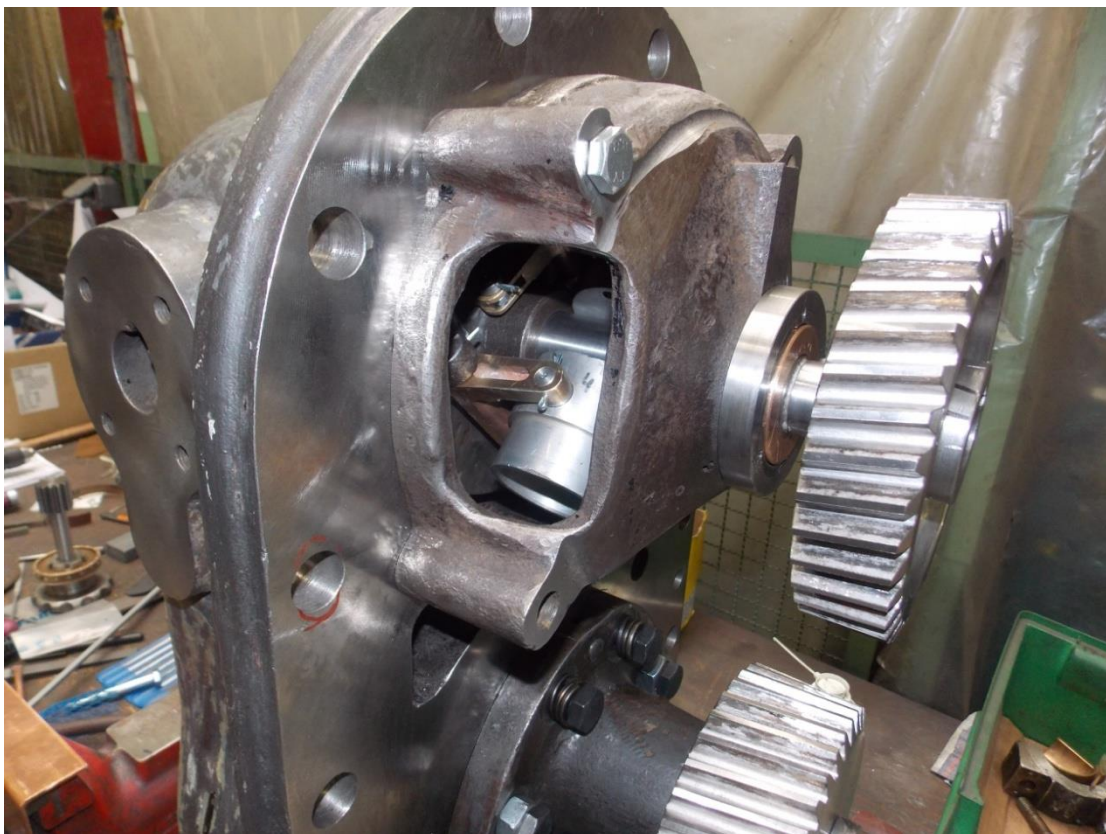
Obr. 11 Západka protáčekého zařízení

OLEJOVÝ VYPÍNAČ:



Obr. 12 Olejový vypínač

RYCHLOSTNÍ REGULÁTOR A OLEJOVÉ ČERPADLO:



Obr. 13 Rychlostní regulátor a olejové čerpadlo



Obr. 14 Odstředivý regulátor