

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV ENERGETICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY ENGINEERING

REKONSTRUKCE PROTITLAKOVÉ PARNÍ TURBINY

RETROFIT BACKPRESSURE STEAM TURBINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Miloslav Hlavinka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miloslav Hlavinka

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

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 protitlakové parní turbíny

v anglickém jazyce:

Retrofit Backpressure Steam Turbine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 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
- Návrhová řešení těsnosti dělící roviny parních turbín
- Konkrétní návrh a určení utahovacích momentů spojovacího materiálu do dělící roviny turbínové skříně
- Výpočtový program na určení utahovacích momentů spojovacího materiálu do dělící roviny turbínové skříně

Cíle diplomové práce:

- Zpracování revizního nálezu
- Stanovení rozsahu opravných prací
- Rešerše problematiky utěsnění turbínových skříní v oblasti dělící roviny
- Výpočet utahovacích momentů spojovacího materiálu dělící roviny turbínové skříně
- Vytvoření výpočtového programu k určování utahovacích momentů turbínových skříní

Seznam odborné literatury:

Firemní podklady EKOL,

Fiedler,J.: Parní turbíny -návrh a výpočet, CERM- Brno 2004

Kadrnožka, J.: Tepelné turbíny a turbokompresory, CERM- Brno, 2007

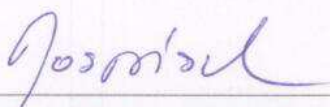
Krbek,J. Polesný,B. Fiedler,J.: Strojní zařízení tepelných centrál, PC-DIR, 1999

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

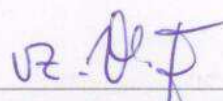


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne



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



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je revize parní turbíny Mitsubishi a výpočet utahovacích momentů šroubů dělicí roviny. Tato práce je rozdělena do několika částí. Úvodní část práce obsahuje seznámení s rozsahem prováděných servisních prací na parních turbínách. Poté je zde samotná revize parní turbíny Mitsubishi. Tato revize je dělena podle jednotlivých komponent turbíny. Poté je zde stanoven seznam nutných oprav a také seznam doporučených oprav pro příští odstávku. V další části je zde shrnut výpočet utěsnění dělicích rovin a to s nebo bez odlehčení. Dále jsou rozebrány nejčastěji používané typy závitů spojovacího materiálu parních turbín. Hlavní částí práce je samotný výpočet utahovacího momentu. Výstupem této práce je poté program pro výpočet utahovacího momentu v programu Excel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Revize parní turbíny, Mitsubishi, servis parních turbín, utěsnění dělicí roviny, metrický závit, Whitworthův závit, UN závit, utahovací momenty

ABSTRACT

This master thesis deals with a revision of steam turbine Mitsubishi and a calculation of tightening torque for parting plane bolts. This thesis is divided into several parts. Introduction part includes extent of service work on steam turbines. Then there is a revision of steam turbine Mitsubishi. The revision is divided according into the separate parts of steam turbine. After this part, there is extent of necessary repairs named and repairs recommended to do during next shutdown. In next part there is summary of way how to seal parting plane, parting plane with and without lightening included. Also the commonly used threads in parting plane of steam turbines are mentioned here as well. The main part of this thesis is the calculation of tightening torque itself. This is supplemented with the program in Excel for calculation of tightening torque.

KEY WORDS

Revision of steam turbine, Mitsubishi, steam turbine service, parting plane sealing, metric thread, Whitworth thread, UN thread, tightening torque

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLAVINKA, M. *Rekonstrukce protitlakové parní turbíny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 99 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce

V Brně dne

25.5.2015



Miloslav Hlavinka

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval doc. Ing Janu Fiedlerovi, Dr., za odborné vedení a cenné připomínky při psaní diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu pracovníků konstrukce servisu firmy EKOL energo s.r.o., za poskytnuté informace a materiály. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu během studia.

Obsah

ÚVOD	16
1. ROZSAH OPRAV	18
1.1. BĚŽNÁ OPRAVA (BO)	18
1.1.1. Demontáž předního a zadního ložiskového stojanu	18
1.1.2. Nadzvednutí rotoru turbíny	19
1.1.3. Demontáž dalšího příslušenství turbíny	19
1.2. STŘEDNÍ OPRAVA (SO)	19
1.2.1. Demontáž vršku turbínové skříně	19
1.2.2. Demontáž rotoru turbíny	19
1.2.3. Demontáž dalších pomocných komponent	20
1.3. GENERÁLNÍ OPRAVA (GO)	20
1.3.1. Demontáž spodku turbínové skříně	20
1.3.2. Předpokládaný rozsah prací v servisním středisku	20
2. REVIZE TURBÍNY MITSUBISHI	22
2.1. POPIS REVIDOVANÉ PARNÍ TURBÍNY	22
2.2. STATOR TURBÍNY	23
2.2.1. Vršek turbínové skříně	23
2.2.2. Ventilová komora	25
2.2.3. Spodek turbínové skříně s výstupním hrdlem	26
2.2.4. Izolace turbíny	28
2.2.5. Statorový kruh I. – IV. řady	28
2.2.6. Parní ucpávky přední	29
2.2.7. Parní ucpávka vyrovnávacího pístu	30
2.2.8. Zadní parní ucpávka	31
2.3. ROTOR	32
2.4. PŘEDNÍ LOŽISKOVÝ STOJAN	34
2.4.1. Základová deska	35
2.4.2. Kroužek impelleru	35
2.4.3. Třmen radiálního ložiska	36
2.4.4. Hlavní axiální ložisko	36
2.4.5. Pomocné axiální ložisko	36
2.4.6. Přední radiální ložisko	37
2.4.7. Olejová ucpávka PLS	38
2.4.8. Olejový vypínač	38
2.4.9. Indikátor axiálního posuvu	38
2.4.10. Rychlostní regulátor	38
2.5. ZADNÍ LOŽISKOVÝ STOJAN	39
2.5.1. Zadní radiální ložisko	39
2.5.2. Olejové ucpávky ZLS	39
2.6. REGULAČNÍ VENTIL	40
2.6.1. Víko ventilové komory	40
2.6.2. Křížáky regulačního ventilu	41
2.6.3. Pákový mechanismus RV	41
2.6.4. Táhla trámce regulačních ventilů	41
2.6.5. Trámec regulačních ventilů	42
2.6.6. Kuželky regulačního ventilu	42
2.6.7. Servopohon regulačního ventilu	42
2.7. RYCHLOZÁVĚRNÝ VENTIL	42
2.7.1. Kuželka RZV	43
2.7.2. Pohon RZV	44

2.8.	POTRUBÍ PÁRA-VODA.....	44
2.9.	KRYT A IZOLACE	45
3.	STANOVENÍ OPRAV	46
3.1.	SEZNAM NUTNÝCH OPRAV	46
3.2.	SEZNAM DOPORUČENÝCH OPRAV	47
4.	DĚLICÍ ROVINA	48
4.1.	DĚLICÍ ROVINA S ODLEHČENÍM.....	48
4.1.1.	<i>Předpoklady</i>	<i>48</i>
4.1.2.	<i>Výpočet těsnosti přírubového spoje u neválcové skříně.....</i>	<i>49</i>
4.2.	DĚLICÍ ROVINA BEZ ODLEHČENÍ	54
4.3.	BEZ ZNALOSTI GEOMETRIE TURBÍNY	55
4.4.	DRUHY TĚSNICÍCH PAST	55
4.4.1.	<i>Novato Birkosit.....</i>	<i>55</i>
4.4.2.	<i>Copaltite.....</i>	<i>55</i>
4.4.3.	<i>Loctite MR5972.....</i>	<i>55</i>
4.4.4.	<i>Loctite 5399.....</i>	<i>56</i>
4.4.5.	<i>Deacon 770</i>	<i>56</i>
4.4.6.	<i>IGS Industries – Turbo</i>	<i>56</i>
4.4.7.	<i>Převařená fermez.....</i>	<i>56</i>
5.	ZÁVITOVÉ SPOJE.....	57
5.1.	TEORIE ZÁVITŮ	57
5.1.1.	<i>Rozteč.....</i>	<i>57</i>
5.1.2.	<i>Stoupání.....</i>	<i>57</i>
5.1.3.	<i>Úhel stoupání.....</i>	<i>58</i>
5.1.4.	<i>Velký průměr závitu</i>	<i>58</i>
5.1.5.	<i>Střední průměr závitu.....</i>	<i>58</i>
5.1.6.	<i>Malý průměr závitu</i>	<i>58</i>
5.1.7.	<i>Úhel profilu závitu.....</i>	<i>58</i>
5.2.	ROZDĚLENÍ TYPŮ ZÁVITŮ	58
5.2.1.	<i>Metrický závit (M).....</i>	<i>58</i>
5.2.2.	<i>British Standart Fine (BSF).....</i>	<i>60</i>
5.2.3.	<i>British Standard Whitworth (BSW)</i>	<i>60</i>
5.2.4.	<i>Unified National (UN).....</i>	<i>61</i>
5.3.	TEORIE ŠROUBOVÉHO SPOJE.....	62
5.3.1.	<i>Spoje bez předpětí.....</i>	<i>62</i>
5.3.2.	<i>Spoje s předpětím.....</i>	<i>62</i>
5.3.3.	<i>Pevnostní spoje</i>	<i>62</i>
5.3.4.	<i>Spoje namáhané na stříh</i>	<i>62</i>
6.	VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU ŠROUBOVÉHO SPOJE	63
6.1.	TUHOST A PRUŽNOST SPOJE	63
6.1.1.	<i>Tuhost šroubu</i>	<i>64</i>
6.1.2.	<i>Tuhost přírub.....</i>	<i>65</i>
6.1.3.	<i>Tuhost podložky</i>	<i>68</i>
6.1.4.	<i>Tuhost matice</i>	<i>68</i>
6.1.5.	<i>Tuhost spojovaných součástí.....</i>	<i>69</i>
6.1.6.	<i>Tuhostní konstanta spoje.....</i>	<i>69</i>
6.2.	SÍLY PŮSOBÍCÍ NA ŠROUB	69
6.2.1.	<i>Sílové poměry.....</i>	<i>69</i>
6.3.	UTAHOVACÍ MOMENT.....	70
6.4.	ÚHEL NATOČENÍ MATICE	71
6.5.	ZPŮSOBY UTAHOVÁNÍ	71
6.5.1.	<i>Utahování za studena</i>	<i>71</i>
6.5.2.	<i>Utahování za tepla.....</i>	<i>72</i>

6.5.3.	Superbolt.....	73
6.5.4.	Mechanické utahováky.....	73
6.5.5.	Násobiče krouticího momentu.....	73
6.5.6.	Hydraulické utahováky.....	73
6.5.7.	Elektrické utahováky.....	73
6.5.8.	Rázový utahovák.....	74
6.5.9.	Pulzní utahovák.....	74
6.5.10.	Konstrukční omezení utahovacího momentu.....	74
7.	PROGRAM NA VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU.....	75
7.1.	POPIS PROGRAMU	75
7.2.	LIST VÝPOČET	75
7.2.1.	Informativní údaje	75
7.2.2.	Vstupní hodnoty pro šroub	75
7.2.3.	Vstupní hodnoty pro matici	75
7.2.4.	Vstupní hodnoty pro podložku a skříň.....	76
7.2.5.	Vstupní hodnoty pro spoj.....	76
7.2.6.	Materiálové vlastnosti	76
7.2.7.	Vlastní výpočet.....	77
7.3.	LIST TISK.....	79
7.4.	LIST ZÁVITY	80
7.5.	LIST MAZIVO	80
7.6.	LIST PRO MATERIÁL 15320.6	80
7.7.	LIST NASTAVENÍ	80
7.8.	POUŽITÝ KÓD V PROGRAMU.....	80
7.8.1.	První část kódu.....	80
7.8.2.	Druhá část kódu.....	81
8.	VÝPOČET UTAHOVACÍCH MOMENTŮ.....	83
8.1.	PŘÍKLAD	83
8.1.1.	Vstupní hodnoty.....	83
8.1.2.	Výsledek	85
8.2.	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S PŮVODNÍM PROGRAMEM	85
8.2.1.	Vstupní hodnoty do programu.....	86
8.2.2.	Výsledné momenty	88
ZÁVĚR		89
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....		91
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN		93
SEZNAM POUŽITÝCH SYMOLŮ		96
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		97
SEZNAM TABULEK.....		98
SEZNAM PŘÍLOH		99

ÚVOD

V dnešní době je energie, zvláště ta elektrická, považována za klíčový parametr lidského vývoje. Bez elektrické energie nedojde k rozvoji základních služeb, jako jsou zajištění pitné vody, osvětlení, tepla a dále nedojde k rozvoji všech průmyslových odvětví, které jsou jedny ze základních nosných pilířů ekonomiky České republiky.

Většina elektrické energie je získávána za pomoci parních turbín, a je jedno, jestli je to z fosilních nebo obnovitelných zdrojů. Proto jsou parní turbíny nepostradatelným prvkem lidské společnosti.

Parní turbíny mají předpokládanou životnost kolem 40 let provozu, za předpokladu dodržování pravidelných servisních intervalů a výměny doporučených komponent po určité době provozu. Generální oprava se obvykle provádí jednou za životnost parní turbíny. Při této opravě se provádí kompletní výměna průtočné části a všech poškozených komponent, tak aby byl zajištěn další bezpečný provoz parní turbíny.

Generální opravy je možné rozdělit na tři základní typy. První typ je generální oprava se zachováním základních parametrů turbíny. V tomto případě dochází k výměně lopatkování, které je shodné s původním a jsou zachovány veškeré provozní parametry.

Dalším typem je generální oprava spojená s modernizací. Při této opravě se obvykle vymění lopatkování, popřípadě celá průtočná část a prvky regulace za modernější (EHR). Tím pádem se zvýší i účinnost a výkon parní turbíny se zachováním původních rozměrů turbíny.

Posledním typem je generální oprava se změnou parametrů. I zde se mění část lopatkování, popřípadě průtočné části. Zde to není jenom za účelem zvýšení parametrů, ale na přání zákazníka a s ohledem na nové parametry provozu.

Generální oprava parní turbíny a jejího příslušenství je výhodnější v případě krátkého časového intervalu pro realizaci celé akce a omezených finančních zdrojů, než koupení nového stroje.

Dodání nové turbíny se řádově pohybuje v horizontu jednoho roku, zatím co generální opravu je možné provést za polovinu toho času. Z ekonomického hlediska představuje generální oprava parní turbíny zhruba 40 % ceny nového stroje. Dalším aspektem, který významným způsobem ovlivňuje rentabilitu generální opravy jsou zbytkové životnosti materiálů základních částí stroje (stator, rotor). Tato zbytková životnost se určuje pomocí destruktivních zkoušek odebraných vzorků (zkouška tahem, zkouška vrubové houževnatosti, měření tvrdosti a chemický rozbor vzorku).

Jedním z důležitých prvků, které se kontrolují a podléhají časté výměně nejen při generálních opravách je spojovací materiál. Nejdůležitější je spojovací materiál v oblasti dělicí roviny. Tento spojovací materiál je velmi namáhán

tlakem, teplotou a velkým předpětím, které zajišťuje těsnost dělicí roviny. Problematika těsnosti dělicí roviny skříňe parní turbíny a návrhu spojovacího materiálu je jednou z hlavních částí této diplomové práce.

1. ROZSAH OPRAV

Pro prodloužení životnosti parní turbíny je doporučeno pravidelně provádět odstávku a opravu, nebo pokud je to nutné výměnu opotřebovaných dílů. Rozsah oprav se liší podle způsobu provozu a také počtu provozních hodin dané turbíny. Každá společnost zabývající se servisem parních turbín, má doporučené servisní intervaly a výměny náhradních dílů podle typu opravy v závislosti na odjetých provozních hodinách stroje.

Základní dělení oprav parních turbín: [1]

Podle typu opravy: [1]

- Běžná oprava (BO)
- Střední oprava (SO)
- Generální oprava (GO)

Podle typu parní turbíny:

- Parní turbína protitlaková jednotělesová (typ „R“)
- Parní turbína kondenzační jednotělesová (typ „K“)
- Parní turbína protitlaková jednotělesová s regulovaným odběrem (typ „PR“)
- Parní turbína kondenzační jednotělesová s regulovaným odběrem (typ „P, T“)
- Parní turbína kondenzační dvoutělesová se dvěma regulovanými odběry (typ „PP, PT“)
- Parní turbíny s označením typ „M“, typ „MV“, typ „PC“, typ „PCPL“

Předmětem této práce je protitlaková parní turbína s rovnotlakým lopatkováním a velikostí z hlediska výkonu řádově do 5 MW. Níže jsou popsány servisní úkony na tomto typu turbín pro jednotlivé rozsahy oprav (BO, SO, GO).

1.1. Běžná oprava (BO)

Běžnou opravu je doporučeno provést v rozmezí jednoho roku až dvou let od poslední opravy. Tento časový rozsah je možné prodloužit, ale také zkrátit způsobem provozu a výskytem závad při provozu. [1]

Při běžné opravě se obvykle demontují jenom ložiskové stojany a také součásti, na kterých během provozu došlo k poruchám. Turbína zůstává zakrytovaná.

Níže bude popsán standartní postup prací při běžné opravě.

1.1.1. Demontáž předního a zadního ložiskového stojanu

U ložiskových stojanů se nejprve provede demontáž pákových regulačních ventilů, všech připojovacích kabelů od čidel měření a potrubí. Poté se povolí

šrouby dělicí roviny ložiskových stojanu a demontuje se víko ložiskových stojanů. Dále se zkontrolují vůle v impeleru (pokud je), axiálních a radiálních ložiscích i v olejových ucpávkách. [1]

1.1.2. Nadzvednutí rotoru turbíny

Pro bližší kontrolu ložisek se musí nadzvednout rotor turbíny ze spodku skříně. Takto se mohou zkontrolovat i spodní části ložisek a olejových ucpávek. [1]

1.1.3. Demontáž dalšího příslušenství turbíny

Dále se musí zkontrolovat ozubení protáčecího zařízení a případně se opraví poškozené místa. Také se kontrolují těsnosti všech přírubových spojů olejového hospodářství. Při výskytu dalších problémů během provozu se provede demontáž dalšího příslušenství turbíny. [1]

Po kontrole všech demontovaných částí se provede oprava nebo úprava poškozených součástí. Pak se provede zpětná montáž všech pomocných zařízení turbíny a turbína bude uvedena do provozu. [1]

1.2. Střední oprava (SO)

Střední oprava parní turbíny se provádí obvykle v rozmezí tří až pěti let. Toto rozmezí stejně jako u běžné opravy závisí na způsobu provozu a závadách, které se vyskytnou během provozu. Jeho prodloužení lze dosáhnout pravidelnou kontrolou provozních parametrů, hlavně vibrací. [1]

Při střední opravě se provede demontáž vršku skříně i rotoru turbíny.

Při střední opravě se nejprve demontuje kryt izolace turbíny a následně izolace samotná. Poté se jako u běžné opravy demontují ložiskové stojany. Po demontáži ložiskových stojanů se provede demontáž regulačních prvků a otáčecího zařízení. [1]

1.2.1. Demontáž vršku turbínové skříně

Nejprve se povolí šrouby na vstupních přírubách. Poté se povolí šrouby v dělicí rovině turbinové skříně. Pro snazší vyzvednutí vršku turbínové skříně se namontují vodící svíčky. Po vyrovnaní vršku turbínové skříně se vršek může vyzvednout. Následuje demontáž nosičů lopatek. Po kontrole regulačních ventilů a demontáži dalšího příslušenství turbíny se vršek turbínové skříně může otočit dělicí rovinou nahurů. [1]

1.2.2. Demontáž rotoru turbíny

Nejprve se turbína odpojí od spojky a generátoru. Poté se rotor vyrovná a vyzvedne ze spodku turbínové skříně. Následně je rotor uložen do

přepravního stojanu a odeslán do servisního střediska na kontrolu a případnou opravu. Obvykle se kontroluje házivost rotoru, poté se egalizují čepy ložisek a také se zkontroluje stav lopatkování. Následně se rotor dynamicky vyváží. [1]

1.2.3. Demontáž dalších pomocných komponent

U střední opravy se kontroluje olejové čerpadlo, které se demontuje a odešle do servisního střediska na revizi. Také se demontují spouštěcí ventily, olejové vypínače a natáčecí zařízení a další komponenty turbíny. Všechny tyto komponenty se po demontáži zkontrolují v servisním středisku a v případě potřeby se opraví nebo nahradí novými. [1]

Po kontrole všech demontovaných součástí se provede zpětná montáž a turbína se uvede do provozu.[1]

1.3. Generální oprava (GO)

Generální oprava se většinou provádí v polovině životnosti (po cca 160 000 provozních hodinách), v závislosti na doporučení po poslední střední opravě a předchozím provozu. Podobně jako u předchozích oprav lze dosáhnout prodloužení tohoto intervalu sledováním provozních parametru během provozu a dodržování všech pokynů uvedených v návodu k obsluze a provozu. [1]

Při generální opravě se turbosoustrojí kompletně demontuje. Provede se demontáž vršku skříně, rotoru turbíny a také spodku skříně je-li to nutné. [1]

Postup demontáže při generální opravě parní turbíny je z části shodný se střední opravou. Hlavním rozdílem je demontáž spodků skříně. Tento postup bude popsán dále. [1]

1.3.1. Demontáž spodku turbínové skříně

Po demontáži rotoru turbíny následuje demontáž spodku turbínové skříně. Spodek turbínové skříně se odpojí od veškerého potrubí a také od základové desky. Následně se vyzvedne a je odeslán do servisního střediska na servisní prohlídku. [1]

Všechny demontované součásti (téměř celé turbosoustrojí) je odesláno do servisního střediska na revizi. Součásti se nejprve očistí od hrubých nečistot a následně se proměří a zkontrolují. [1]

1.3.2. Předpokládaný rozsah prací v servisním středisku

Vzhledem k reviznímu nálezu a stavu turbíny se obvykle demontuje komplet průtočná část a provede se kompletní vylopatkování. Také se demontuje spojovací materiál dělicí roviny. U dělicí roviny se zkontroluje její rozevření, deformace a v případě nutnosti se provede oprava. Dále se opraví přírubové spoje turbínové skříně. Provede se výměna spojovacího materiálu

dělicí roviny. Poté se zalopatkují statorové lopatky a namontuje se zpětně dýzové kolo. U rotoru se egalizují drážky pro lopatky a následně se rotor zalopatkuje a přetočí se ložiskové čepy. [1]

Také je provedena revize regulačních a spouštěcích ventilů. Nejčastěji je poškozena parní část ventilů, hlavně kuželka a dosedací plochy v tělese.

Po opravě všech součástí se provede kontrolní montáž turbíny, při které se zkontrolují veškeré vůle (lopatkování, parní ucpávky atd.) a následně se dynamicky vyváží rotor a turbína se odešle zpět k zákazníkovi. Zde se zpětně namontuje na původní místo a turbína se uvede do provozu. [1]

V další kapitole je uveden revizní nález na příkladu konkrétní generální opravy rovnotlaké parní turbíny s parametry viz níže. [1]

2. REVIZE TURBÍNY MITSUBISHI

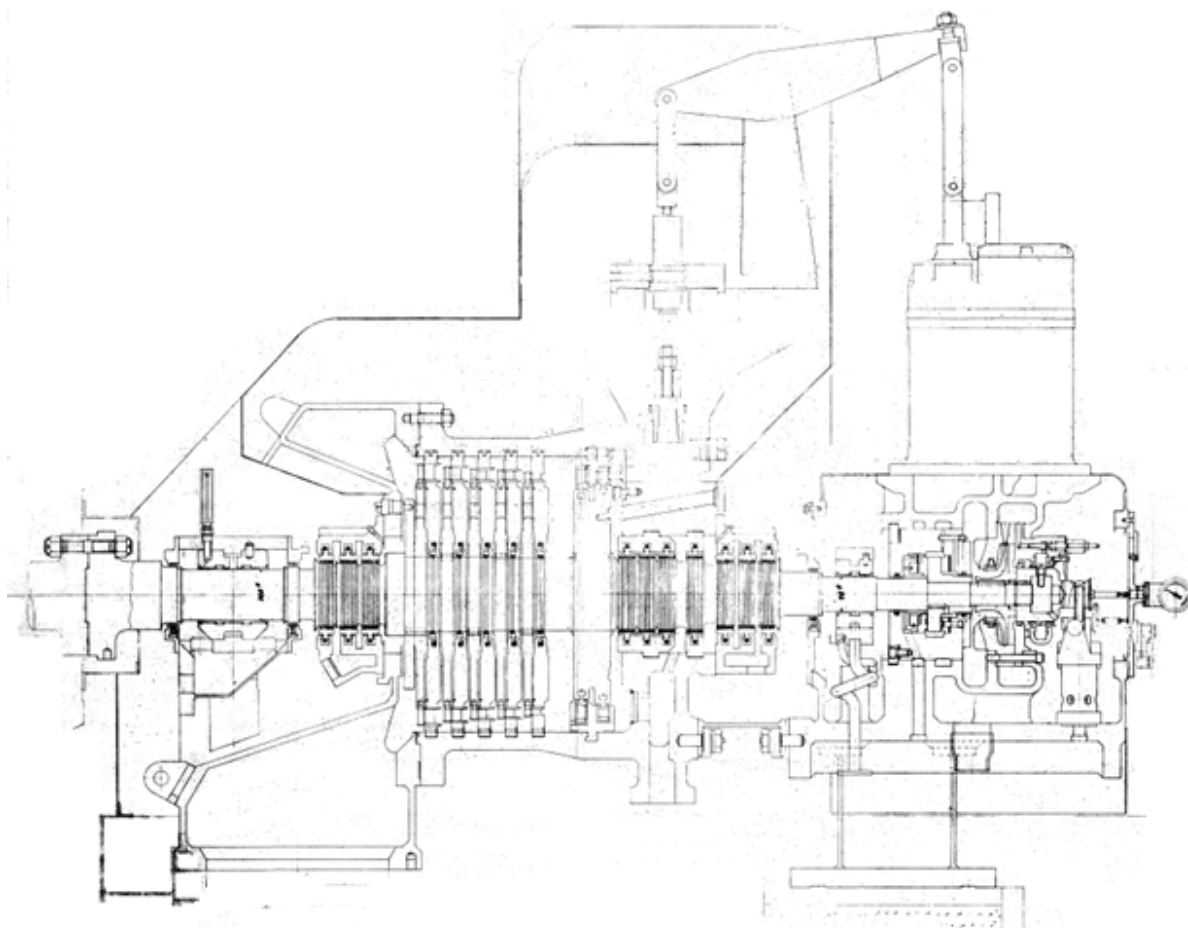
Během revize na stavbě, bylo odhaleno silné poškození průtočné části turbíny, a proto byla doporučena její kompletní výměna včetně rotoru. Předmětem revize byl stator, rotor, přední a zadní ložiskový stojan, regulační ventil a rychlozávěrný ventil.

2.1. Popis revidované parní turbíny

Jedná se o parní turbínu protitlakového typu s pružným rotorem a rovnotlakým lopatkováním. Utěsnění parní části bylo řešeno bezkontaktními labyrintovými ucpávkami. Uložení rotoru je provedeno pomocí dvojice radiálních kluzných ložisek. Axiální síly, zachycuje hlavní segmentové a pomocné segmentové axiální ložisko, nacházející se v předním ložiskovém stojanu. Parní turbína je regulovaná otáčkovou regulací – pomocí impelleru a regulačních ventilů. Jako bezpečnostní prvek slouží rychlozávěrný ventil.

Parametry revidované turbíny: [1]

Výrobce	Mitsubishi
Rok výroby	1960
Jmenovitý výkon	3,3 MW
Tlak vstupní páry	2,356 MPa
Teplota vstupní páry	375 °C
Otáčky turbíny	3000 1/min
Jmenovitý protitlak	0,147 MPa



Obr. 1 Původní řez parní turbínou Mitsubishi [1]

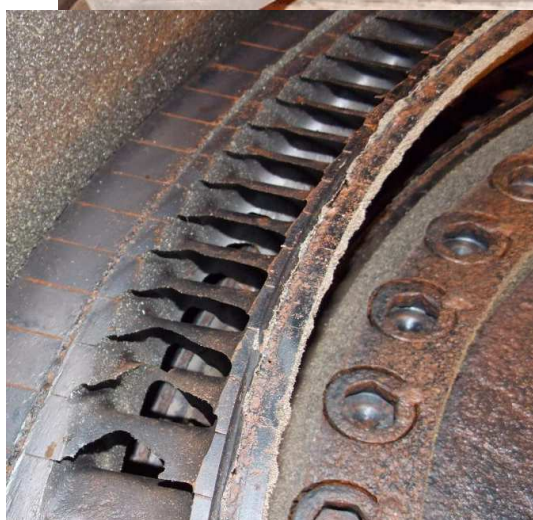
2.2. Stator turbíny

Stator turbíny je silně poškozen korozí průtočného kanálu. Došlo zde i k poškození lopatek dýzového kola.

2.2.1. Vršek turbínové skříňě

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Vnější povrch skříňě je zkorodován – Provedena defektoskopická kontrola vnějšího povrchu skříňě elektromagnetickou zkouškou	– Provedeno pískování – Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady
– Dělicí rovina je zanesena těsnicí pastou a je lehce zkorodovaná – Provedena kontrola rozevření dělicí roviny	– Provedeno egalizování dělicí roviny – Změřena zhoršená rovinnost

– Vnitřní povrch skříně je zkorodovaný	– Provedeno pískování
– Provedena defektoskopická kontrola vnitřního povrchu skříně	– Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady
– Dosedací plochy matic šroubů dělicí roviny jsou vymačkané a zkorodované	– Provedena egalizace dosedacích ploch
– Vnitřní plochy závitů jsou poškozeny	– Provedeno převrtání závitů
– Některé šrouby jsou zadřené	– Provedeno odvrtání šroubů a převrtání závitů
– Spojovací materiál vstupních přírub je silně opotřebovaný, místy poškozený	– Provedena výměna spojovací materiál vstupních přírub
– Vodící plochy nosiče vyrovnávacího pístu jsou silně zkorodované	– Provedena úprava pro nový nosič
– Vývrty pro uložení tělesa přední parní ucpávky jsou zkorodované	– Provedena úprava pro nové těleso
– Vývrty pro uložení zadní parní ucpávky jsou zkorodované	– Provedena úprava pro nové těleso
– Vodící plochy statorových kruhů jsou zkorodované	– Provedena úprava pro nové statorové kruhy
– Dýzové kolo je silně zkorodované	– Provedena výměna dýzového kruhu
– Dýzy jsou poškozeny korozí a průletem cizích těles	– Provedena úprava pro nový dýzový kruh
– Vratná řada lopatek RS je poškozena silnou korozí a průletem cizích těles	– Provedena výměna vratné řady lopatek RS včetně bandáže vratné řady lopatek
– Bandáž vratné řady lopatek je silně zkorodovaná	– Provedena výměna spojovacího materiálu
– Spojovací materiál dýzového kola je silně zkorodován, poškozen při demontáži	
– Statorové kruhy I.– V. řady jsou silně poškozen korozí	– Provedena výměna statorových kruhů I.– V. řady
– Povrch lopatek I.– V. řady je silně zkorodován, poškozen erozí, náběžné hrany lopatek jsou obroušené a některé lopatky jsou poškozeny od průletu cizích těles	– Provedena výměna lopatek I.– V. řady
– Ucpávky mezi lopatkováním I.– V. řady jsou silně poškozeny kontaktem s rotorem	– Provedena výměna ucpávek
– Výstupní hrdlo je zaneseno korozí	– Provedeno pískování
– Spojovací materiál vstupních a výstupních přírub je silně opotřebovaný, má poškozené závit	– Provedena výměna spojovacího materiálu



Obr. 2 Vršek turbínové skříně, dýzovné kolo a nosiče lopatek [1]

2.2.2. Ventilová komora

Stav při revizi:	Oprava:
– Víko ventilové komory je zkorodované – Provedena defektoskopická kontrola vnějšího a vnitřního povrchu skříně elektromagnetickou zkouškou, v nedostupných místech penetrační zkouškou	– Provedeno očištění od hrubých nečistot – Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady
– Dělicí rovina ventilové komory je mírně zkorodovaná	– Provedena egalizace dělicí roviny
– Vnitřní prostor ventilové komory je zkorodovaný	– Provedeno pískování
– Difuzory ventilové komory mají důlkovou korozi – Provedena defektoskopická kontrola návaru sedla kapilární zkouškou	– Provedeno zabroušení s kuželkami – Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady

– Spojovací materiál je silně opotřebovaný, závity a závitové otvory jsou poškozeny	– Provedena výměna spojovacího materiálu a převrtání závitů
DOPORUČENÍ: Provést výměnu difuzorů	

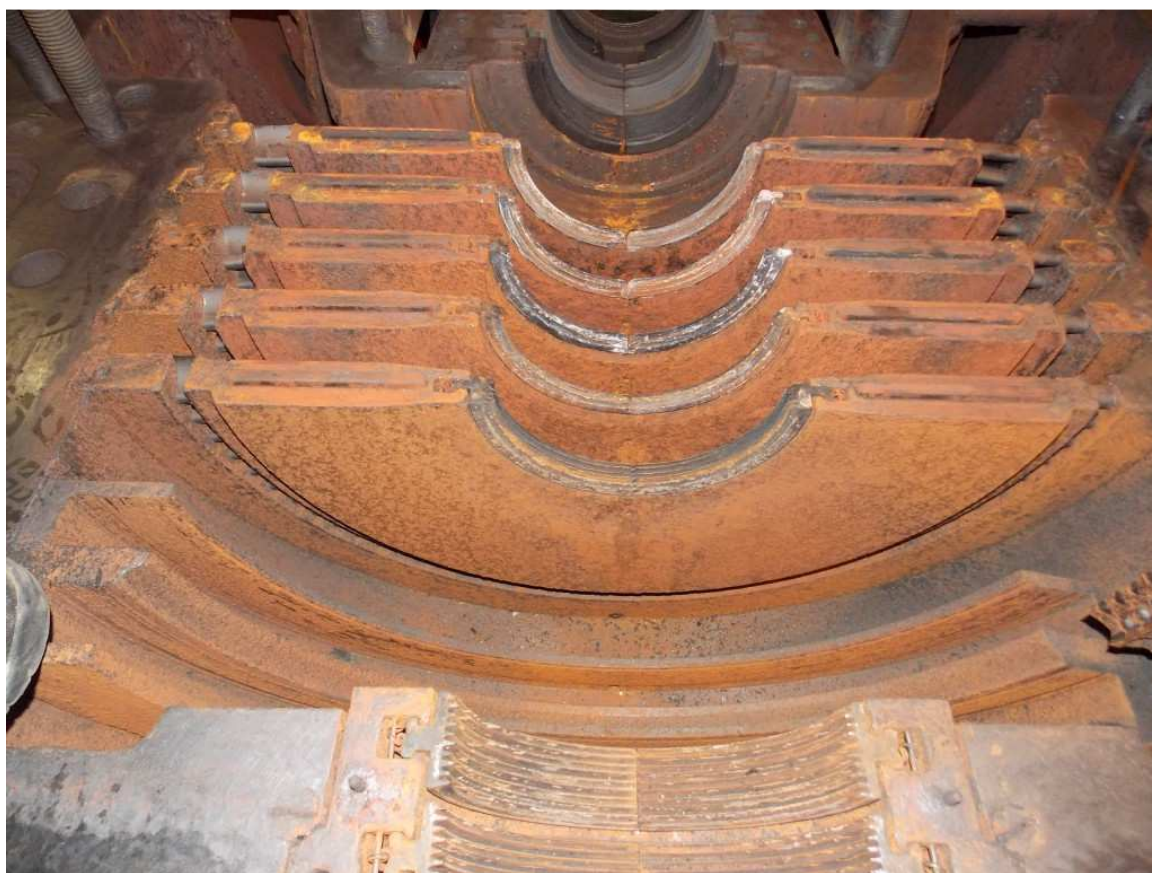


Obr. 3 Ventilová komora [1]

2.2.3. Spodek turbínové skříně s výstupním hrdlem

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Vnější povrch skříně je zkorodován	– Provedeno pískování
– Provedena defektoskopická kontrola vnějšího povrchu skříně elektromagnetickou zkouškou	– Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady
– Dělicí rovina je zanesena těsnící pastou a je lehce zkorodovaná	– Provedeno egalizování dělicí roviny
– Provedena kontrola rozevření dělicí roviny	– Změřena zhoršená rovinnost
– Vnitřní povrch skříně je zkorodovaný	– Provedeno pískování
– Provedena defektoskopická kontrola vnitřního povrchu skříně	– Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady
– Vodící plochy nosiče vyrovnávacího pístu jsou silně zkorodované	– Provedena úprava pro nový nosič
– Vývrty pro uložení tělesa přední parní ucpávky jsou zkorodované	– Provedena úprava pro nové těleso
– Vývrty pro uložení tělesa zadní parní ucpávky jsou zkorodované	– Provedena úprava pro nové těleso
– Vodící plochy statorových kruhů jsou zkorodované	– Provedena úprava pro nové statorové kruhy

– Vratná řada lopatek RS je poškozena silnou korozí – Bandáž vratné řady lopatek je silně zkorodovaná – Drážka krytu C–kola je silně zkorodovaná – Kryt C–kola je pokryt korozí	– Provedena výměna vratné řady lopatek RS včetně bandáže vratné řady lopatek
– Statorové kruhy I.– V. řady jsou silně poškozeny korozí – Povrch lopatek I.– V. řady je silně zkorodován, poškozen erozí, náběžné hrany lopatek jsou obroušené a některé lopatky jsou poškozeny od průletu cizích těles	– Provedena úprava drážky krytu C–kola pro nový kryt – Provedena demontáž a výměna za nový kryt C–kola – Provedena výměna statorových kruhů I.– V. řady – Provedena výměna lopatek I.– V. řady
– Ucpávky mezi lopatkováním I.– V. řady jsou silně poškozeny kontaktem s rotorem	– Provedena výměna ucpávek
– Výstupní hrdlo je zaneseno korozí	– Provedeno pískování
– Spojovací materiál vstupních a výstupních přírub je silně opotřebovaný, má poškozené závity	– Provedena výměna spojovacího materiálu



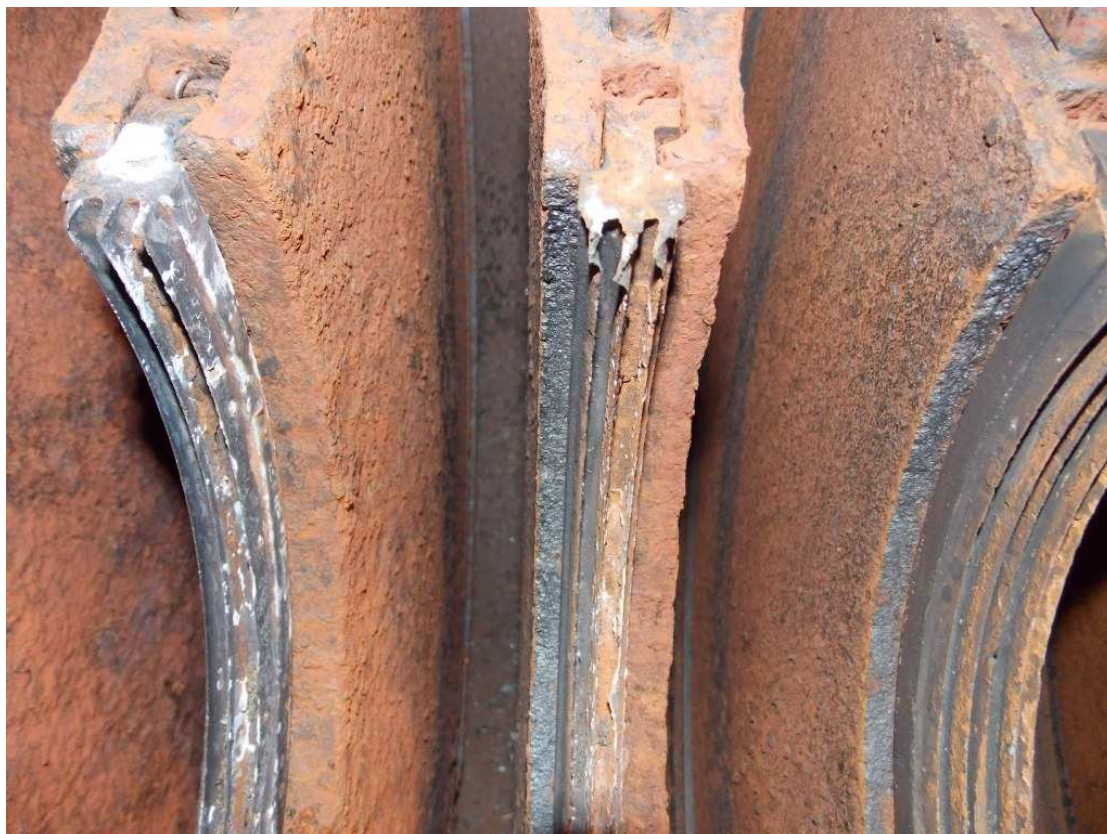
Obr. 4 Spodek turbínové skříně [1]

2.2.4. Izolace turbíny

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Izolace turbíny je silně poškozena neodbornou demontáží a místy únikem oleje a páry	– Oprava není v rozsahu objednávky <u>DOPORUČENÍ:</u> Provést kompletní výměnu izolace

2.2.5. Statorový kruh I. – IV. řady

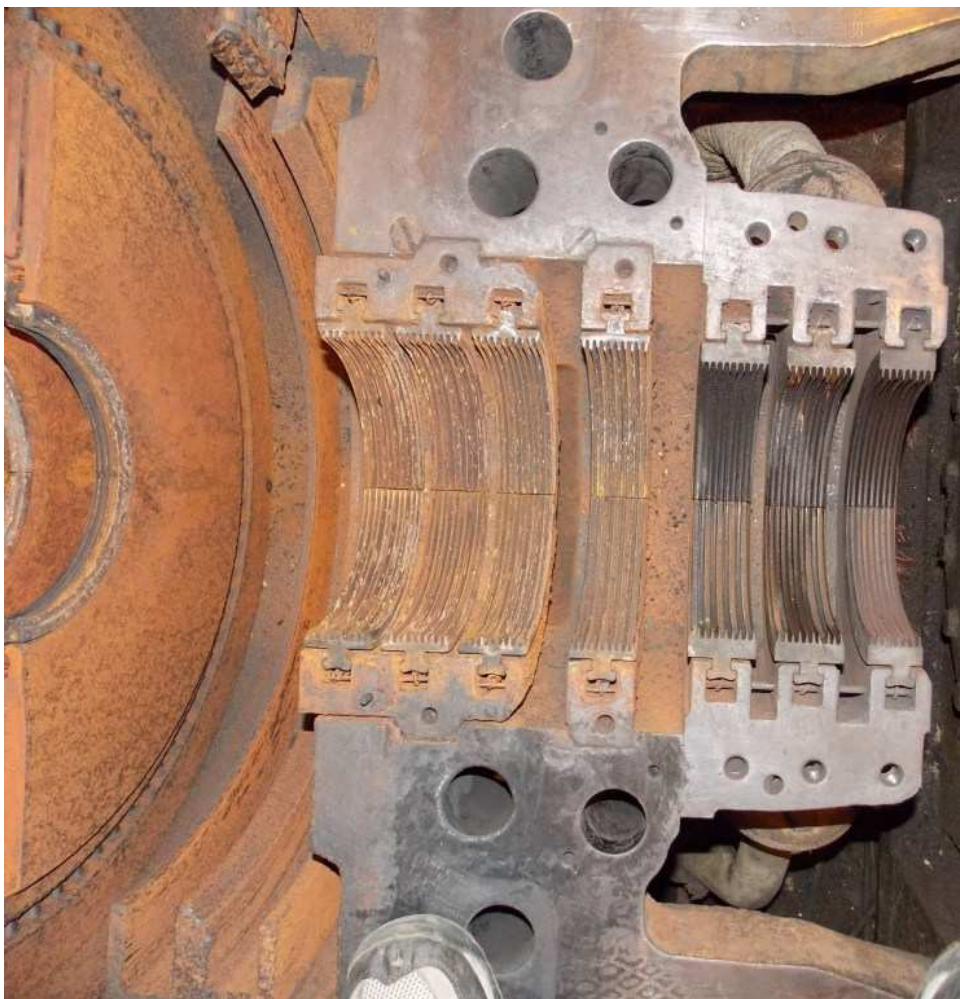
<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Povrch statorového kruhu je silně zkorodovaný	– Provedena výměna statorových kruhů
– Dělicí rovina statorových kruhů je silně zkorodovaná	
– Průtočná část statorových kruhů silně poškozena korozí	
– Lopatky jsou poškozeny korozí a průletem cizích těles	– Provedena výměna lopatek
– Břity parních ucpávek jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem	– Provedena výměna ucpávkových kroužků
– Spojovací materiál a ustavovací prvky statorového kruhu jsou silně zkorodované	– Provedena výměna spojovacího materiálu a ustavovacích prvků pro novou koncepci



Obr. 5 Statorové kruhy [1]

2.2.6. Parní ucpávky přední

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso přední parní ucpávky je silně zkorodované – Kroužky parní ucpávky jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem – Proměřeny všechny kroužky	– Provedena náhrada tělesa přední parní ucpávky a všech jeho komponent
– Dělicí rovina je silně zkorodovaná	
– Vedení nosiče je silně znečištěné	
– Břity jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem	
– Spojovací materiál je poškozen korozí	



Obr. 6 Přední parní ucpávka [1]

2.2.7. Parní ucpávka vyrovnávacího pístu

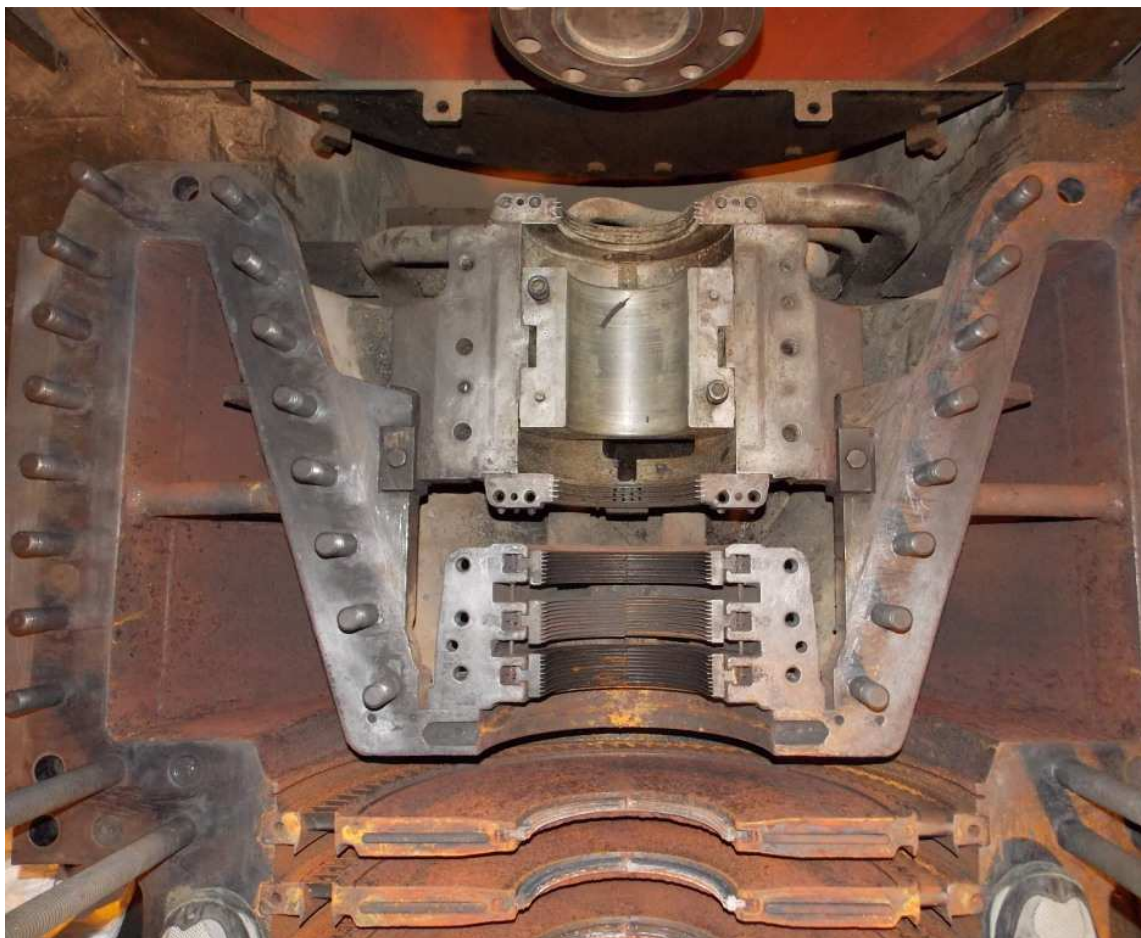
<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso ucpávky vyrovnávacího pístu je silně zkorodované – Kroužky parní ucpávky jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem – Proměřeny všechny kroužky – Dělicí rovina je silně zkorodovaná – Vedení nosiče je silně znečištěné – Břity jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem – Spojovací materiál je poškozen korozí	– Provedena náhrada tělesa parní ucpávky vyrovnávacího pístu a všech jeho component



Obr. 7 Parní ucpávka vyrovnávacího pístu [1]

2.2.8. Zadní parní ucpávka

Stav při revizi:	Oprava:
– Těleso zadní parní ucpávky je silně zkorodované	– Provedena náhrada tělesa zadní parní ucpávky a všech jeho komponent
– Kroužky parní ucpávky jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem	
– Proměřeny všechny kroužky	
– Dělicí rovina je silně zkorodovaná	
– Vedení nosiče je silně znečištěné	
– Břity jsou silně zkorodované a poškozeny kontaktem s rotorem	
– Spojovací materiál je poškozen korozí	



Obr. 8 Zadní parní ucpávka [1]

2.3. Rotor

Rotor je silně poškozen korozí průtočné části. Korozí jsou také zasaženy náběžné hrany lopatek.

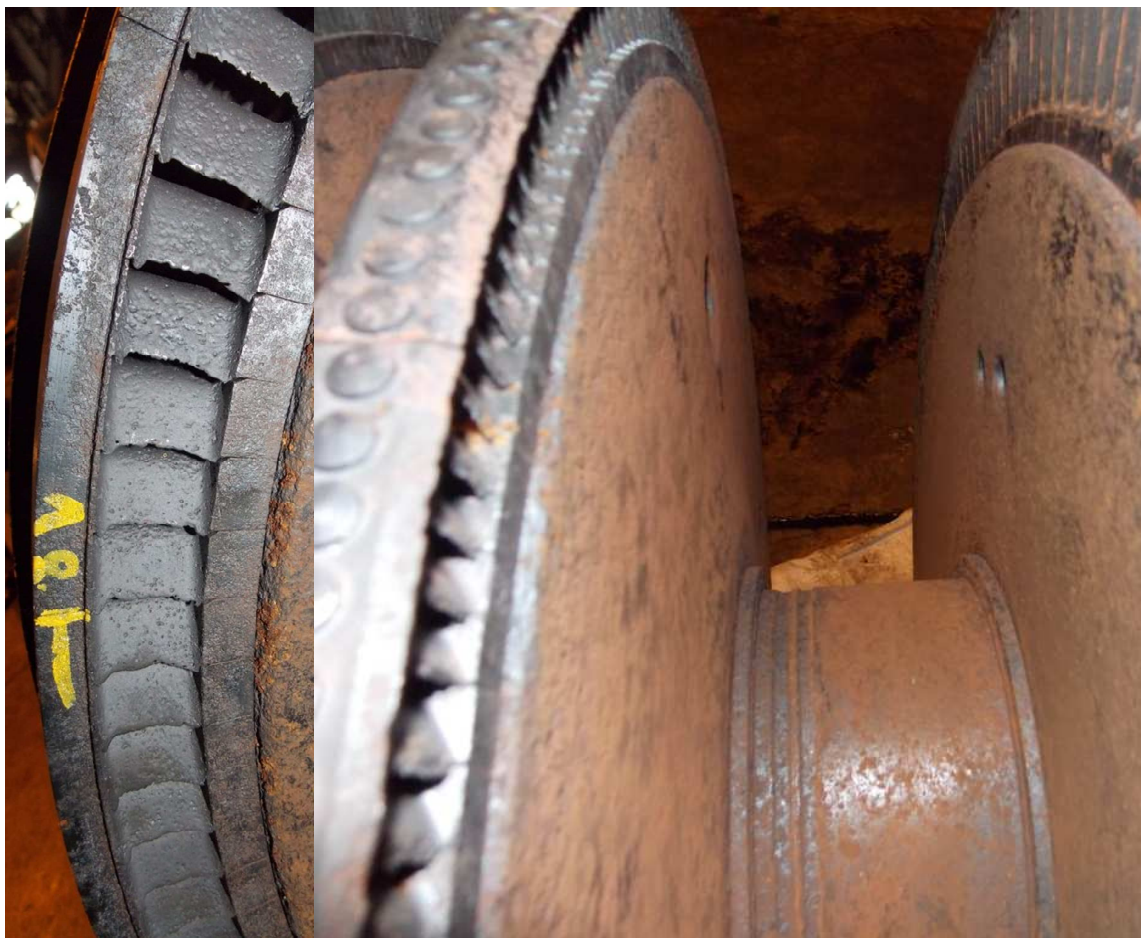
<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Pojistný regulátor otáček je bez známek poškození pouze znečištěn	– Provedena demontáž, revize, vyčištění
– Nástavec rotoru je v místech plovoucích kroužku zryhován	– Nastavení na vypínací otáčky provedeno na stavbě
– Čep impelleru je silně zryhován	– Provedena egalizace
– Čep plovoucího hlavního olejového čerpadla je zryhován	– Provedena egalizace
– Uložení čerpadla je lehce zryhované	– Provedena egalizace
– Terč axiálního ložiska je silně zryhován	– Provedeno přeleštění
– Čep předního radiálního ložiska je silně zryhován	– Vzhledem k havarijnímu stavu rotoru, bude provedena celková výměna rotoru se zachováním hlavního olejového čerpadla a nástavce rotoru, včetně impelleru a pojistného regulátoru
– Čep přední olejové ucpávky je silně zryhován, je napečena vrstva oleje	

- Hradby PPU jsou silně zkorodované
- Hradby VP jsou silně zkorodované
- Regulační stupeň C-KOLO:**
- Povrch je silně zkorodován
- Lopatky RS regulačního stupně jsou silně zkorodované, poškozen erozí, náběžné hrany lopatek jsou poškozeny od průletu cizích těles
- Bandáž je silně zkorodovaná
- Povrch lopatek I.– V. řady je silně zkorodovaný, poškozen erozí, náběžné hrany lopatek jsou poškozeny od průletu cizích těles
- Bandáž je silně zkorodovaná
- Povrch průtočné části rotoru mezi lopatkováním je silně zkorodovaný
- Hradby ucpávek mezi lopatkováním I.– V. řady jsou silně zkorodované
- Hradby ZPU jsou silně zkorodované
- Čep zadního radiálního ložiska je silně zryhován
- Na čepu olejové ucpávky je napečena vrstva oleje
- Náboj spojky rotoru je lehce zkorodovaný a je pokryt vrstvou nečistot

–



Obr. 9 Rotor [1]



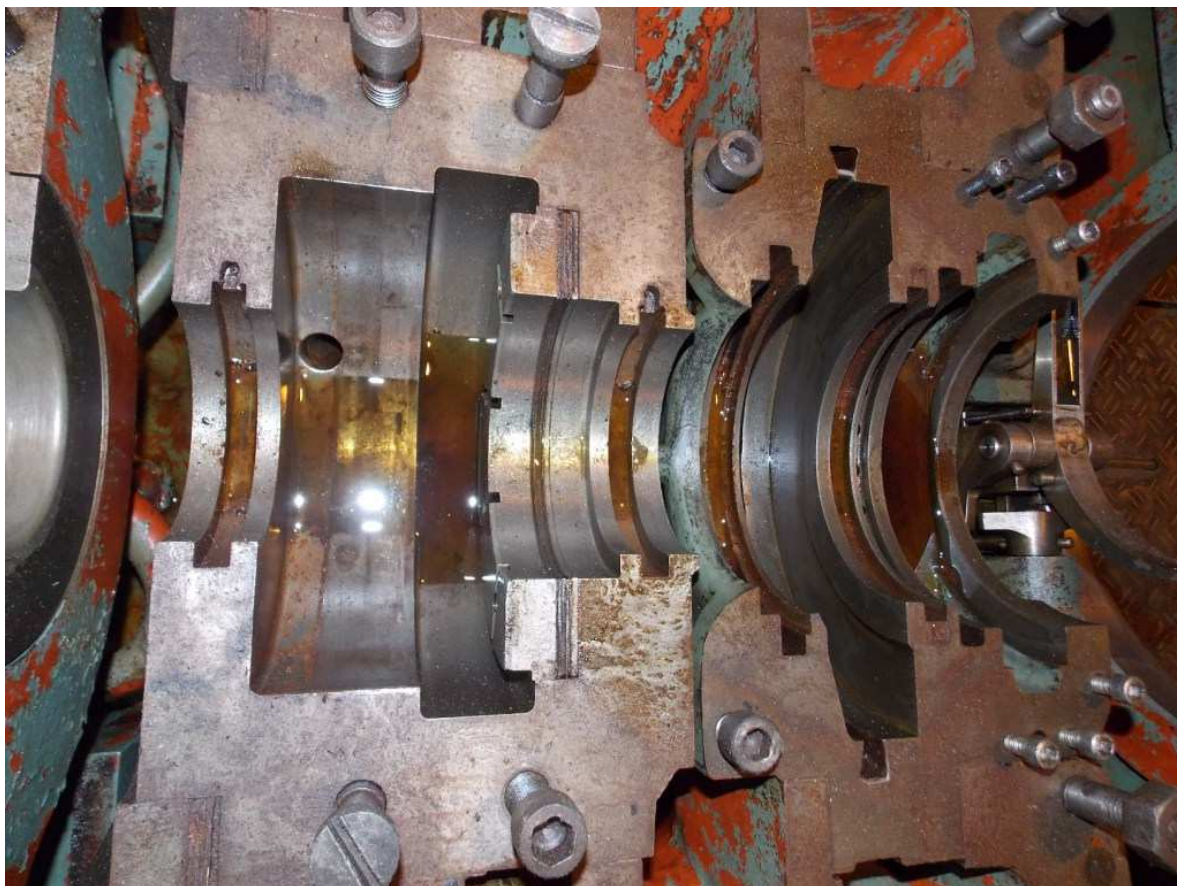
Obr. 10 Lopatky [1]

2.4. Přední ložiskový stojan

Přední ložiskový stojan je zanesen olejem a nečistotami. Opravovat se zde budou pouze dílčí součásti.

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso stojanu nese známky mechanického poškození, místy počínající koroze	– Přечиštěno celé těleso, proveden nový nátěr
– Dělicí rovina je znečištěna od zbytků těsnícího tmelu a oleje	– Provedeno začištění
– Vnitřní povrch skříně je znečištěn	– Provedeno vyčištění od nečistot
– Vedení axiálního ložiska je znečištěno olejem a je lehce zkorodované	– Provedeno očištění
– Vedení radiálního ložiska je znečištěno olejem a je lehce zkorodované	– Provedeno očištění a úprava pro nové radiální ložisko
– Přítlačné patky jsou zaneseny olejem a mírně zkorodované	– Provedeno očištění

– Dno stojanu je zaneseno nečistotami.	– Provedeno vyčištění vnitřního prostoru ložiskového stojanu včetně všech ústí přívodů a odpadů oleje
– Víko ložiskového stojanu je mírně znečištěné olejem	– Provedeno očištění
– Spojovací materiál je v dobrém stavu, místy s otřepy	– Provedeno očištění spojovacího materiálu, zapraveny otřepy a spojovací materiál v horším stavu je vyměněn za nový
– Závitové otvory jsou v dobrém stavu	– Provedena kalibrace závitů



Obr. 11 Přední ložiskový stojan [1]

2.4.1. Základová deska

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Základová deska je po vizuální kontrole bez známek mechanického poškození	– Provedeno očištění

2.4.2. Kroužek impelleru

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Kroužek impelleru je lehce zkorodovaný a zašpiněný od oleje	– Provedeno očištění

– Kluzná plocha je silně zryhovaná	– Provedeno přelití kompozice
– Proměření axiální vůle uložení	– Na základě proměření axiální vůle uložení byla provedena úprava na těsnění pomocí o-kroužku

2.4.3. Třmen radiálního ložiska

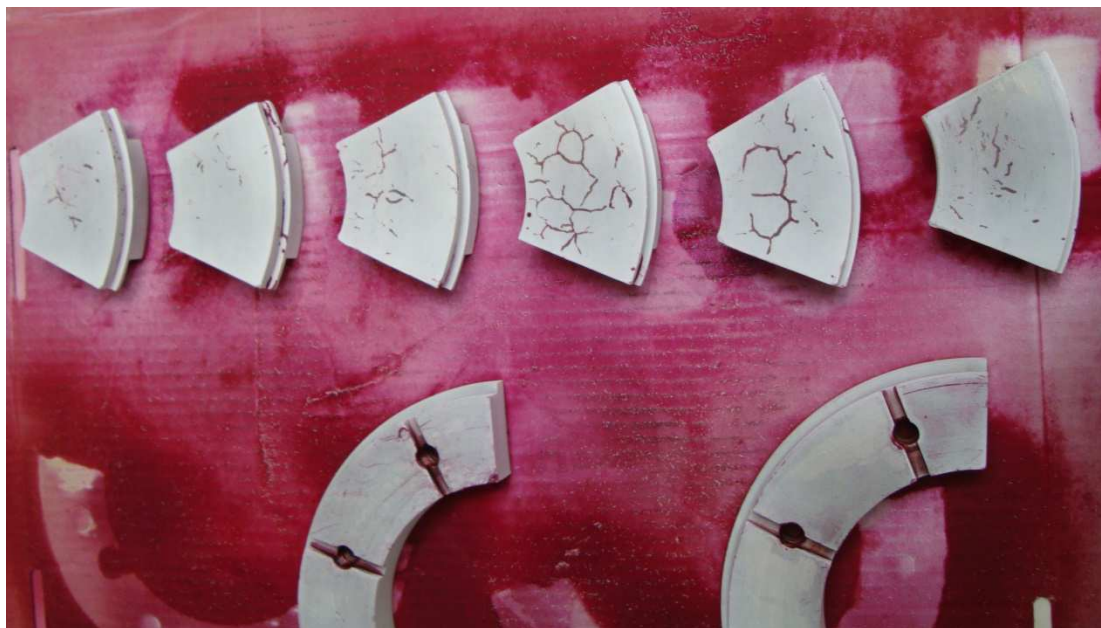
<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Třmen ložiska je zanesen olejem a lehce zkorodovaný	– Provedeno očištění
– Dělicí rovina je lehce zkorodovaná a je znečištěna od zbytků těsnícího tmelu a oleje	– Provedeno začištění dělicí roviny
– Vodící plochy jsou zaneseny olejem a lehce zkorodované	– Provedeno očištění, úprava pro nové radiální ložisko
– Spojovací materiál má poškozeny hlavy šroubů	– Provedena výměna spojovacího materiálu
– Kolíky mají zvětšené vůle	– Provedena výměna kolíků a převrtání kuželových otvorů

2.4.4. Hlavní axiální ložisko

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso hlavního axiálního ložiska je lehce zkorodované	– Provedeno očištění
– Vedení tělesa je mírně znečištěné	– Provedeno očištění
– Při revizi bylo zjištěno větší množství příložek pro ustavení nosiče axiálního ložiska	– Provedena výměna za menší počet
– Segmenty hlavního axiálního ložiska jsou silně zryhované	– Provedeno přelití kompozice
– Provedena defektoskopická kontrola segmentů hlavního axiálního ložiska kapilární zkouškou	– Defektoskopická kontrola odhalila trhliny na všech segmentech

2.4.5. Pomocné axiální ložisko

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso pomocného axiálního ložiska je lehce zkorodované	– Provedeno očištění
– Vedení tělesa je mírně znečištěné	– Provedeno očištění
– Pomocná axiální ložiska jsou silně zryhovaná	– Provedeno přelití kompozice
– Provedena defektoskopická kontrola axiálního ložiska kapilární zkouškou	– Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady



Obr. 12 Axiální ložiska [1]

2.4.6. Přední radiální ložisko

Stav při revizi:	Oprava:
– Těleso předního radiálního ložiska je lehce zkorodované – Dělicí rovina je lehce zkorodovaná a je znečištěna od zbytků těsnícího tmelu a oleje – Vedení tělesa je lehce zkorodované – Kluzná plocha je silně zryhovaná	– Z důvodů výměny rotoru za nový typ bude přední radiální ložisko nahrazeno novým radiálním ložiskem



Obr. 13 Přední radiální ložisko [1]

2.4.7. Olejová ucpávka PLS

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso olejové ucpávky PLS je lehce zkorodované	– Provedeno očištění
– Vedení a dosedací plochy tělesa olejové ucpávky jsou lehce zkorodované	– Provedeno očištění
– Stírací bříty jsou poškozeny kontaktem s rotorem	– Provedena výměna břitů

2.4.8. Olejový vypínač

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso olejového vypínače je v dobrém stavu	– Provedeno celkové očištění
– Vodící průměry vnitřních pístků jsou mírně zkorodované a zaneseny nečistoty z oleje	– Provedeno přeleštění
– Dosedací plochy jsou v dobrém stavu, místy zřýhované	– Provedeno přeleštění
– Spojovací materiál je v dobrém stavu	– Provedeno očištění spojovacího materiálu

2.4.9. Indikátor axiálního posuvu

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso indikátoru axiálního posuvu je prasklé	– Provedena oprava poškozených dílů

2.4.10. Rychlostní regulátor

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso rychlostního regulátoru je v dobrém stavu	– Provedena demontáž a očištění
– Ozubení rychlostního regulátoru je v dobrém stavu	– Provedeno očištění
– Pružiny jsou v dobrém stavu	– Provedeno očištění
– Vlnovec je v dobrém stavu	– Provedeno očištění
– Provedena zkouška na průsak kapalin	
– Provedena zkouška těsnosti	
– Těsnící gufero je zteřelé	– Provedena výměna gufera
– Těsnění regulátoru je zteřelé	– Celé těleso přetěsněno
– Drobný spojovací materiál je silně opotřebovaný, má poškozené závity	– Provedena výměna drobného spojovacího materiálu

2.5. Zadní ložiskový stojan

Stejně jako přední ložiskový stojan i zadní ložiskový stojan je zanesen olejem a nečistotami a také se budou opravovat pouze dílčí součásti.

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso stojanu nese známky mechanického poškození, místy počínající koroze	– Přečištěno celé těleso, proveden nový nátěr
– Dělicí rovina je znečištěna od zbytků těsnícího tmelu a oleje	– Provedeno začistění
– Vnitřní povrch skříně je znečištěn	– Provedeno vyčištění od nečistot
– Vedení radiálního ložiska je znečištěno olejem a je lehce zkorodované	– Provedeno očištění a úprava pro nové radiální ložisko
– Přítlačné patky jsou zaneseny olejem a mírně zkorodované	– Provedeno očištění a zarovnání dosedacích ploch
– Dno stojanu je zaneseno nečistotami.	– Vyčištěn vnitřní prostor ložiskového stojanu včetně všech ústí přívodů a odpadu oleje
– Víko ložiskového stojanu je mírně znečištěné olejem	– Provedeno očištění
– Spojovací materiál je v dobrém stavu, místy s otřepy	– Provedeno očištění spojovacího materiálu, zapraveny otřepy a spojovací materiál v horším stavu vyměněn za nový
– Závitové otvory jsou v dobrém stavu	– Provedena kalibrace závitů

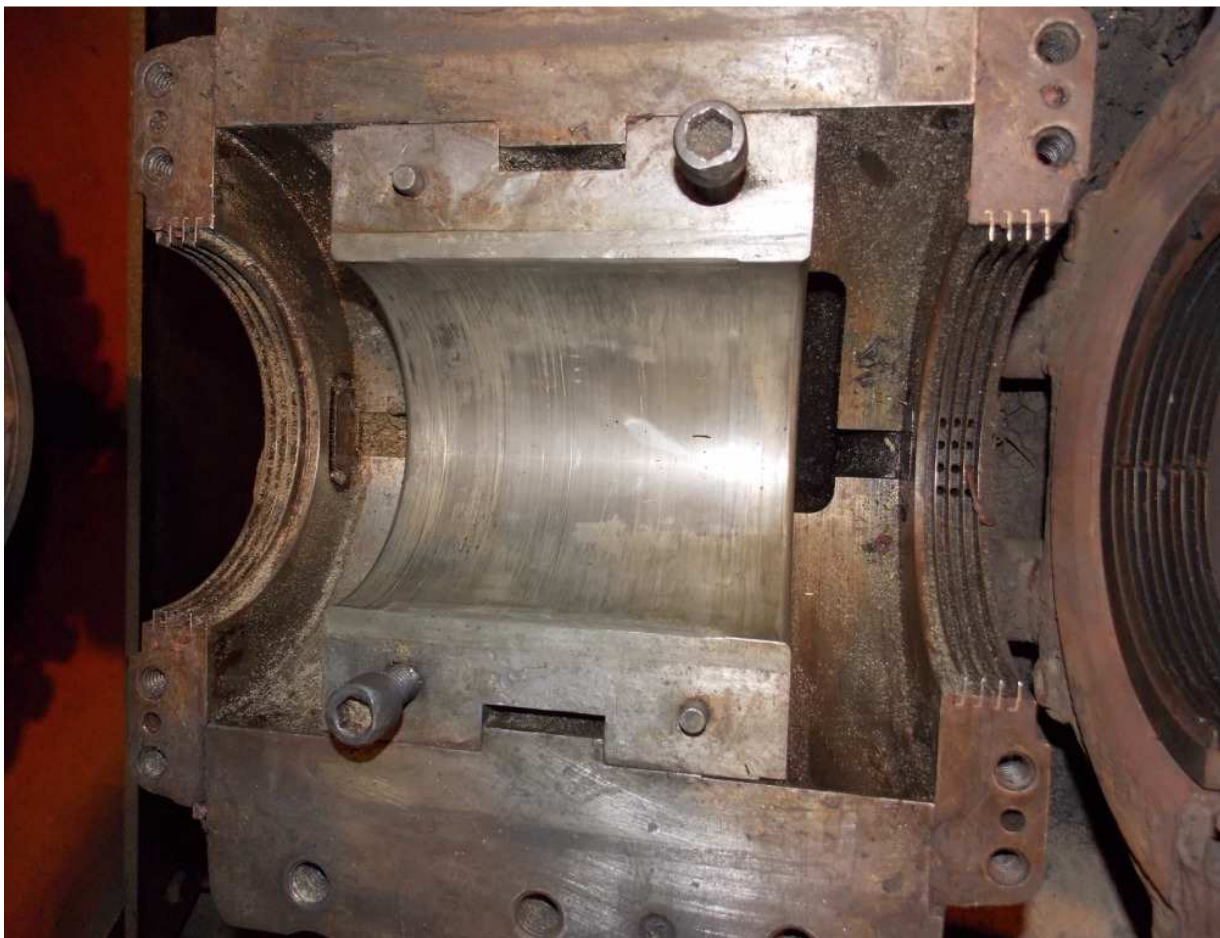
2.5.1. Zadní radiální ložisko

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso předního radiálního ložiska je lehce zkorodované	– Z důvodů výměny rotoru za nový typ bude zadní radiální ložisko nahrazeno novým radiálním ložiskem
– Dělicí rovina je lehce zkorodovaná a je znečištěna od zbytků těsnícího tmelu a oleje	
– Vedení tělesa je lehce zkorodované	
– Kluzná plocha je silně zryhovaná	

2.5.2. Olejové ucpávky ZLS

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Tělesa olejových ucpávek ZLS jsou zkorodované	– Provedeno očištění
– Vedení a dosedací plochy těles olejových ucpávek jsou lehce zkorodované	– Provedeno očištění
– Stírací břity jsou poškozeny kontaktem s rotorem	– Provedena výměna břitů

- | | |
|---|--|
| – Spojovací materiál má vymačkané hlavy | – Provedena výměna spojovacího materiálu |
|---|--|



Obr. 14 Zadní ložiskový stojan, radiální ložisko, olejové ucpávky [1]

2.6. Regulační ventil

I u regulačního ventilu se projevila mírná koroze parní části.

2.6.1. Víko ventilové komory

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Víko RV je zkorodované	– Provedeno očištění
– Dosedací plocha víka je poškozená, jsou vytlačená místa doteku	– Provedena egalizaci dosedacích ploch
– Dosedací plochy přírub jsou znečištěné a zkorodované	– Provedena egalizaci dosedacích ploch
– Lenzova pouzdra nebyla demontována	– Provedeno očištění
– Při vizuální kontrole jsou patrné poškozené funkční plochy	– Provedeno přeleštění funkčních ploch
	<u>DOPORUČENÍ:</u>
	– Provést výměnu Lenzových pouzder

2.6.2. Křížáky regulačního ventilu

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Křížák RV je lehce zkorodovaný	– Provedeno očištění

2.6.3. Pákový mechanismus RV

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Pákový mechanismus RV je znečištěn	– Provedeno očištění
– Dosedací plochy patek pák jsou zkorodované	– Provedena egalizace dosedacích ploch

2.6.4. Táhla trámce regulačních ventilů

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Táhla trámce jsou zkorodované	– Provedeno očištění, kalibrace závitů, přešetření táhla <u>DOPORUČENÍ:</u> Provést výměnu



Obr. 15 Víko ventilové komory, regulační ventily, křížáky [1]

2.6.5. Trámec regulačních ventilů

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso trámce RV je zkorodované – Dosedací plochy pod maticemi kuželek jsou silně otláčeny	– Provedeno očištění – Provedena egalizaci dosedacích ploch <u>DOPORUČENÍ:</u> Provést úpravu pro podložky s tvrdonávarem

2.6.6. Kuželky regulačního ventilu

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Kuželky RV jsou zkorodované, objevuje se důlková koroze – Dosedací plochy jsou otláčeny	– Provedeno očištění kuželek, kalibrace závitů – Provedeno přeleštění dosedacích ploch – Zabroušení kuželek s difuzory při montáži <u>DOPORUČENÍ:</u> Provést výměnu kuželek

2.6.7. Servopohon regulačního ventilu

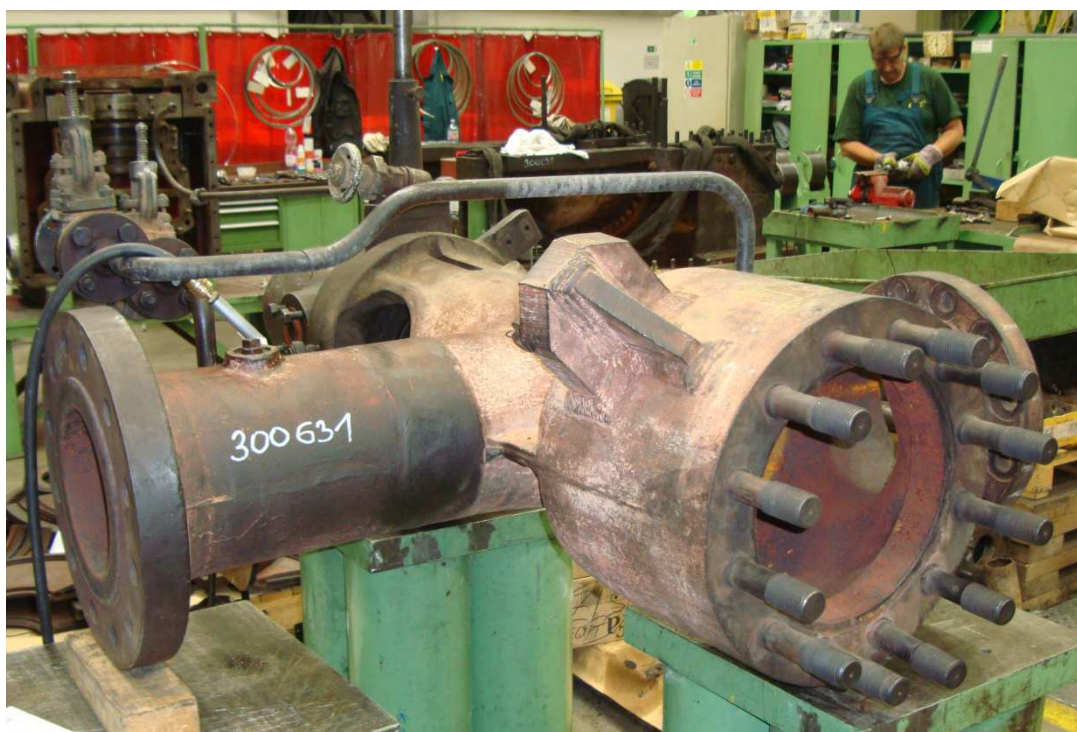
<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Měření hystereze před opravou v pořádku	– Provedena kompletní demontáž a vyčištění, přeleštění funkčních ploch a úprava pouzder pro dodatečné těsnění – Provedeno kompletní přetěsnění <u>DOPORUČENÍ:</u> – Předělat na EHR regulaci

2.7. Rychlozávěrný ventil

I přes to, že rychlozávěrný ventil původně neměl být revidován, tak se kvůli jeho havarijnímu stavu provedla revize. Těleso rychlozávěrného ventilu je v havarijním stavu.

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Těleso RZV je silně poškozené neodbornou manipulací a opravami	– Provedeno pískování <u>DOPORUČENÍ:</u> Vzhledem k havarijnímu stavu celého RZV je doporučeno provedení kompletní výměny
– Ve vnějším povrchu jsou vyvrtány díry pro pojistné kolíky, které jsou v nich zavařeny – Dosedací plochy přírub jsou poškozeny	– Odvrtání a zaslepení děr – Provedena egalizaci dosedacích ploch

– Vnitřní plochy parní části jsou silně zkorodované	– Provedeno očištění
– Dosedací plocha sedla je silně zkorodovaná	– Provedena egalizace dosedací plochy
– Provedena defektoskopická kontrola dosedacích ploch kapilární zkouškou	– Defektoskopická kontrola odhalila pórovitost
– Parní síto RZV je zkorodované	– Provedeno přečištění
– Spojovací materiál je značně poškozený Některé závitové otvory jsou silně poškozeny, vytrhané závity	– Provedena výměna spojovacího materiálu a převrtání závitových otvorů, u zasekaných šroubů provedeno odvrtání a převrtání závitových otvorů
– Některé šrouby jsou přidřené	– Provedeno očištění
– Víko je silně zkorodované	– Provedena egalizace těsnící lišty
– Těsnící lišta víka je poškozená	– Provedena egalizace dosedacích ploch
– Dosedací plochy pod maticemi jsou poškozeny	



Obr. 16 Těleso RZV [1]

2.7.1. Kuželka RZV

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Kuželka RZV je silně zkorodovaná	– Provedeno očištění
– Dosedací průměr kuželky je poškozen	– Provedena egalizace dosedací plochy
– Provedena defektoskopická kontrola dosedacích ploch kapilární zkouškou	– Defektoskopická kontrola neodhalila žádné vady
– Vřeteno RZV je zkorodované	– Provedena indikaci vřetene a přeleštění
	– Provedeno očištění

– Závity na vřetenu RZV jsou vymačkané	– Provedena kalibraci závitů
<u>DOPORUČENÍ:</u> Provést kompletní výměnu kuželky RZV	

2.7.2. Pohon RZV

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Na vodícím tělese pístu je důlková koroze – Pružiny jsou v dobrém stavu – Ozubené kolo je v dobrém stavu – Jeden za dvou pístních kroužků je prasklý – Ložisko ovládání pohonu je poškozeno – Drobný spojovací materiál je poškozený	– Provedena egalizace – Kompletní přetěsnění – Provedena výměna – Provedena výměna – Provedena výměna drobného spojovacího materiálu



Obr. 17 Kuželka RZV [1]

2.8. Potrubí Pára-Voda

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Kondenzátor ucpávkové páry je v havarijním stavu	– Provedena kompletní výměna KUP



Obr. 18 Kondenzátor ucpávkové páry

2.9. Kryt a izolace

<i>Stav při revizi:</i>	<i>Oprava:</i>
– Izolace turbíny je silně poškozena neodbornou demontáží a místy únikem oleje a páry	– Oprava není v rozsahu objednávky <u>DOPORUČENÍ:</u> Provést kompletní výměnu izolace



Obr. 19 Izolace parní turbíny

3. STANOVENÍ OPRAV

Výše popisovaný stav turbíny odpovídá způsobu a době jejího provozování. Turbína je v provozu od roku 1960. Dle odhadu má turbína odpracováno 230 000 provozních hodin.

Na základě výše uvedeného revizního nálezu je patrné, že turbína je v havarijní stavu neschopna dalšího provozu. Z revizního nálezu vyplývá nutnost oprav nebo výměny částí a dílů popsané v kapitole 3.1.

V příloze číslo 1 je fotodokumentace stavu parní turbíny před opravou.

3.1. Seznam nutných oprav

Seznam nutných a doporučených oprav je vypracován na základě revizního nálezu a s ohledem na požadavky zákazníka vzhledem k dalšímu provozu.

Tab. 1 Seznam nutných oprav

Část turbíny		NUTNÉ OPRAVY
1.	<i>Stator turbíny</i>	– Defektoskopie skříně – Kompletní výměna statorových kruhů a lopatek – Výměna spojovacího materiálu, převrtání závitů
2.	<i>Rotor turbíny</i>	– Kompletní výměna rotoru, lopatek
3.	<i>PLS</i>	– Výměna radiálního ložiska – Oprava axiálního ložiska a impelleru
4.	<i>ZLS</i>	– Výměna radiálního ložiska
5.	<i>RV</i>	– Egalizace sedla a kuželky – Výměna spojovacího materiálu
6.	<i>RZV</i>	– Egalizace dosedacích ploch – Výměna spojovacího materiálu
7.	<i>Potrubí pára-voda</i>	– Kompletní výměna KUP
8.	<i>Kryty turbíny</i>	– Kompletní výměna izolace

Stav parní turbíny po opravě je zdokumentován v příloze číslo 2.

3.2. Seznam doporučených oprav

Tento seznam uvádí doporučené opravy pro další plánovanou odstávku.

Tab. 2 Seznam doporučených oprav

Část turbíny		DOPORUČENÉ OPRAVY
5.	RV	– Kompletní výměna komponent <u>DOPORUČENÍ:</u> Modernizace na vysokotlakou regulaci
6.	RZV	– Kompletní výměna RZV <u>DOPORUČENÍ:</u> Modernizace na vysokotlakou regulaci

4. DĚLICÍ ROVINA

Utěsnění dělicí roviny proti profuku páry je jedním z hlavních kritérií pro bezpečný provoz parní turbíny. V dnešní době je trend vyrábět parní turbíny s tenkou dělicí rovinou, oproti minulosti. V minulosti byly skříně turbín spíše válcového tvaru, a proto bylo zapotřebí mít silnější dělicí rovinu. Dnešní typy skříní jsou více zploštělé.

Dělicí rovina může být bez odlehčení nebo s odlehčením podle kombinace vnitřního tlaku a velikosti spojovacího materiálu.

Na finální montáž se dělicí rovina namaže těsnicí pastou podle zvyklosti výrobce, popřípadě se použije i samovypalovací vosk.

Pro výpočet je nutné znát také kolmý průřez skříní na dělicí rovinu, jelikož mnohé skříně nemají kruhový průřez.

4.1. Dělicí rovina s odlehčením

Odlehčení v dělicí rovině je hlavně z důvodu zvýšení přitlačných tlaků.

4.1.1. Předpoklady

Pro výpočet je potřeba znát maximální vnější a vnitřní tlak a teplotu, teplotu šroubu, teplotu podložky, materiály šroubu, skříně, podložky a také geometrii všech spojovaných součástí.



Obr. 20 Pohled na turbínovou skříň [1]

Po délce skříně (ve směru páry) je vyjmut element o tloušťce a viz obr. 20. Tento element reprezentuje skupinu šroubů popřípadě jeden šroub.

Dalším předpokladem je ustálený průběh tangenciálních napětí po tloušťce stěny. Pro výpočet je také důležitý předpoklad lineárnosti těsnících tlaků po šířce příruby. Tento předpoklad je platný pro poměr tloušťky příruby k její šířce a musí být: [3]

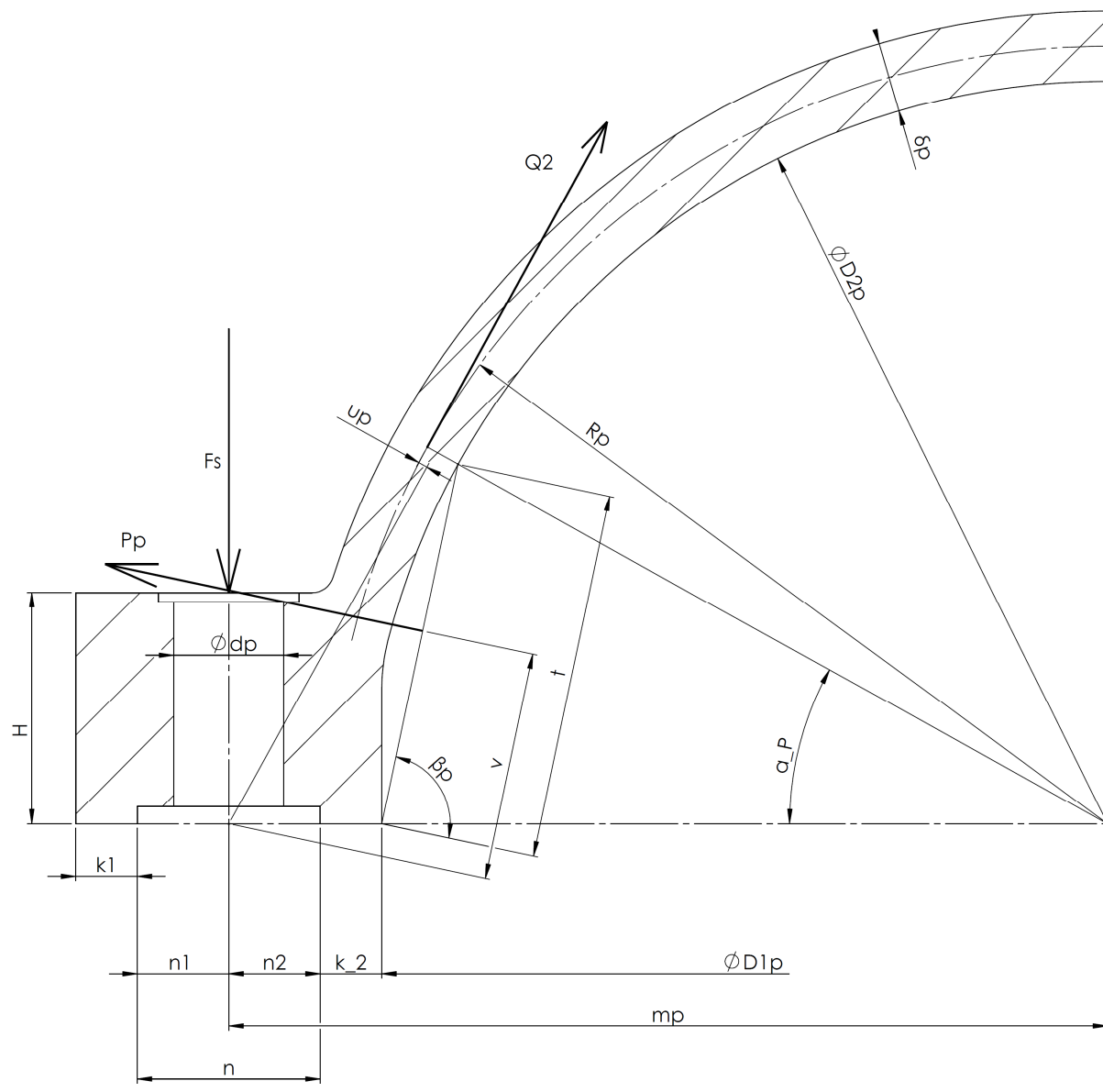
$$\frac{2x \text{ tloušťka}}{\text{šířce}} \geq 1,8 \quad (4.1.)$$

Dalším předpokladem je dostatečný těsnící tlak na vnitřní straně dělicí roviny.

Posledním předpokladem je výpočet v ustáleném provozu turbíny, který zaručí nulový teplotní gradient ve stěnách skříně a tím i nulový moment, který by tyto teplotní nerovnosti vyvolávali. [3]

4.1.2. Výpočet těsnosti přírubového spoje u neválcové skříně

Turbínová skříň neválcového průřezu se používá častěji. Pro výpočet této skříně je nutné znát geometrii skříně, ale i spojovacího materiálu a také teploty a tlaky.



Obr. 21 Řez turbínovou skříní

Podle obr. 21 se nejprve vypočítají geometrické vlastnosti dané skříně

Nejprve se vypočítá střední průměr stěny skříně (bez příruby)

$$R_p = \frac{D_{2p}}{2} + \frac{S_Y}{S_p} \quad (4.2.)$$

kde je statický moment průřezu skříně

$$S_Y = \left(\frac{\delta_p - h_{pd}}{2} + h_{pd} \right) \cdot (\delta_p - h_{pd}) \cdot s_d + (s_d - g) \cdot \frac{h_{pd}^2}{2}$$

$$S_Y = \frac{\delta_p^2 \cdot s_d - h_{pd}^2 \cdot g}{2} \quad (4.3.)$$

a rozteč jedné drážky s mezerou

$$S_p = (s_d - g) \cdot h_{pd} + (\delta_p - h_{pd}) \cdot s_d = \delta_p \cdot s_d - g \cdot h_{pd} \quad (4.4.)$$

Poté se do rovnice 4.2 dosadí výsledné vztahy z rovnice 4.3 a 4.4

$$R_p = \frac{D_2}{2} + \frac{\delta_p^2 \cdot s_d - h_{pd}^2 \cdot g}{2(\delta_p \cdot s_d - h_{pd} \cdot g)} \quad (4.5.)$$

Další důležitou geometrickou charakteristikou je vzdálenost osy šroubu od osy dělicí roviny (skříně) [2], [3]

$$m_p = \frac{D_{1p}}{2} + k_2 + n_2 \quad (4.6.)$$

Rozdíl tlaků je

$$\Delta p = p_{in} - p_{out} \quad (4.7.)$$

Dále jsou vypočítány síly

Síla od tlaku páry působící na stěnu skříně

$$Q_2 = \frac{D_2}{2} \cdot a \cdot \Delta p \quad (4.8.)$$

Síla od tlaku páry působící na přírubu

$$P_p = t \cdot a \cdot \Delta p \quad (4.9.)$$

kde t je znázorněno níže (rovnice 4.12)

Poté je možné vypočítat silovou rovnováhu k bodu, kde dochází k průniku osy šroubu s dělicí rovinou (viz obr. 21)

$$\vec{F}_s + \vec{Q}_2 + \vec{P}_p + \vec{R}_1 + \vec{R}_2 = 0 \quad (4.10.)_q$$

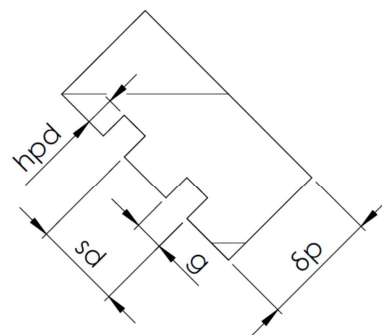
Pro výpočet momentů sil vypočítaných výše jsou potřeba jejich ramena - viz obr. 21.

$$u_p = R_p - m_p \cdot \cos(\alpha_p) \quad (4.11.)$$

$$t = \frac{1}{2} \sqrt{D_{1p}^2 - 2 \cdot D_{1p} \cdot D_{2p} \cdot \cos(\alpha_p) + D_{2p}^2} \quad (4.12.)$$

$$v = \frac{t}{2} + \left(m_p - \frac{D_{1p}}{2}\right) \cos(\beta_p) \quad (4.13.)$$

Poté je možné vypočítat silovou rovnováhu ke stejnému bodu, k jakému byly vypočítány síly (viz obr. 21).



Obr. 22 Řez stěnou skříně s otvory pro nosiče

$$Pp \cdot v - Q_2 \cdot u_p - R_1 \cdot z_1 + R_2 \cdot z_2 = 0 \quad (4.14.)$$

Kde momenty vyvozené těsníci silami lze vyjádřit

$$R_1 \cdot z_1 - R_2 \cdot z_2 = M_0 \quad (4.15.)$$

Potom bude momentová rovnováha:

$$Pp \cdot v - Q_2 \cdot u_p = M_0 \quad (4.16.)$$

Pro výpočet je potřeba vyjádřit těsníci síly R_1 a R_2 , jejichž velikost závisí na těsnících tlacích.

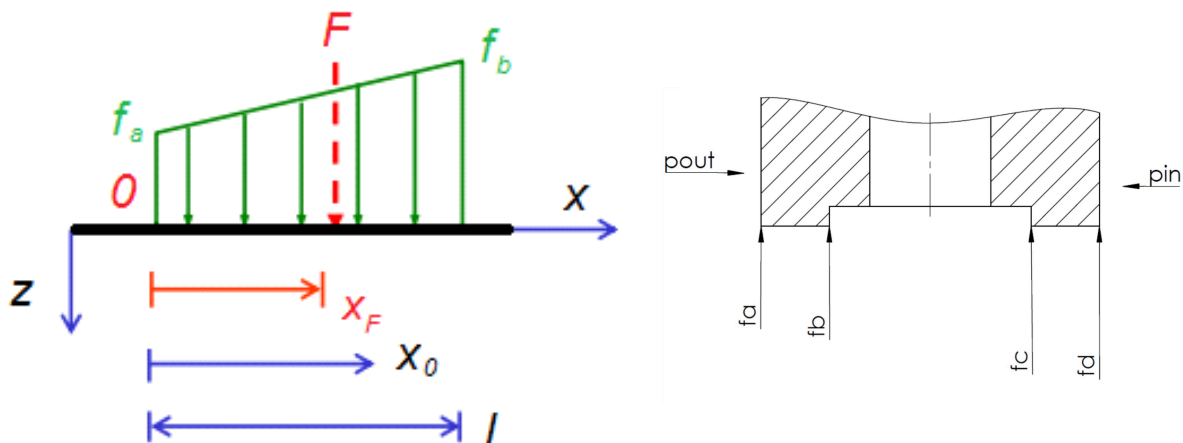
Volby velikosti těsnícího tlaku závisí na zvyklostech výrobce parních turbín, obvykle je 3-krát větší, než je tlak páry uvnitř, nebo je ho možné vypočítat dle roviny 4.17. Tento tlak musí být na vnitřní straně odlehčení dělicí roviny, aby nedošlo k úniku páry do otvoru pro šroub. [2], [3]

$$p_{tc} = 5.6 \cdot 10^6 + 2.5 \cdot \Delta p \quad (4.17.)$$

Tento těsnící tlak na okraji odlehčení dělicí roviny vyvolá liniovou sílu na o velikosti.

$$f_c = (5.6 \cdot 10^6 + 2.5 \cdot \Delta p) \cdot a \quad (4.18.)$$

Dále za předpokladů uvedených v kapitole 4.1.1. lze vyjádřit těsníci síly jako funkci liniových sil spojitěho zatížení



Obr. 23 Liniové zatížení obecně (vlevo), v případě DR

kde

$$F = \sum_i \Delta F_i = \sum_i f(x) \cdot \Delta x \quad (4.19.)$$

pro Δx se limitně blíží nule lze výslednou sílu F vyjádřit jako

$$F = \int_0^l f(x) \cdot dx \quad (4.20.)$$

poté pro případ lichoběžníku lze podle obr. 23 vyjádřit liniovou sílu v místě x

$$f(x) = f_a + \frac{f_b - f_a}{2} \cdot x_0 \quad (4.21.)$$

síla působící v místě x je

$$F = \frac{f_a + f_b}{2} \cdot l \quad (4.22.)$$

a její poloha je

$$x_F = \frac{l}{3} \cdot \frac{f_a + 2 \cdot f_b}{f_a + f_b} \quad (4.23.)$$

V tomto případě je liniová těsnící síla vyvozena těsnícími tlaky působících po délce příruby

$$\begin{aligned} f_a &= p_{ta} \cdot a \\ f_b &= p_{tb} \cdot a \\ f_d &= p_{td} \cdot a \end{aligned} \quad (4.24.)$$

v tomto případě je síla od těsnících tlaků

$$R_1 = \frac{f_a + f_b}{2} \cdot k_1 = \frac{1}{2} \cdot (p_{ta} + p_{tb}) \cdot a \cdot k_1 \quad (4.25.)$$

$$R_2 = \frac{f_c + f_d}{2} \cdot k_2 = \frac{1}{2} \cdot (p_{tc} + p_{td}) \cdot a \cdot k_2 \quad (4.26.)$$

a jejich polohy jsou

$$\begin{aligned} z_1 &= n_1 + \frac{k_1}{3} \cdot \frac{f_b + 2 \cdot f_a}{f_a + f_b} \\ z_1 &= \frac{1}{3} \cdot \frac{2 \cdot p_{ta} \cdot k_1 + p_{tb} \cdot k_1 + 3 \cdot p_{ta} \cdot n_1 + 3 \cdot p_{tb} \cdot n_1}{p_{ta} + p_{tb}} \end{aligned} \quad (4.27.)$$

$$\begin{aligned} z_2 &= n_2 + \frac{k_2}{3} \cdot \frac{f_c + 2 \cdot f_d}{f_c + f_d} \\ z_2 &= \frac{1}{3} \cdot \frac{2 \cdot p_{td} \cdot k_2 + p_{tc} \cdot k_2 + 3 \cdot p_{td} \cdot n_2 + 3 \cdot p_{tc} \cdot n_2}{p_{tc} + p_{td}} \end{aligned} \quad (4.28.)$$

dále můžeme z podobností trojúhelníku vyjádřit jednotlivé liniové složky, a tím těsnící tlaky

$$\frac{f_d - f_c}{f_d - f_a} = \frac{k_2}{k_2 + n + k_1}$$

Kde poté dosazením vznikne

$$p_{td} = \frac{p_{tc} \cdot k_2 + p_{tc} \cdot n + p_{tc} \cdot k_1 - p_{ta} \cdot k_2}{n + k_1} \quad (4.29.)$$

$$\frac{f_d - f_c}{f_b - f_a} = \frac{k_2}{k_1}$$

Kde poté dosazením vznikne

$$p_{ta} = \frac{-p_{tc} \cdot k_1 + p_{tb} \cdot n + p_{tb} \cdot k_1}{n} \quad (4.30.)$$

Dosažením těsnících tlaků do rovnice 4.15. je možné vyjádřit těsnící tlak na vnější hraně odlehčení.

$$p_{tb} = \frac{6 \cdot M_o \cdot n + 2 \cdot p_{tc} \cdot k_1^3 \cdot a + 3 \cdot n_1 \cdot p_{tc} \cdot k_1^2 \cdot a + 2 \cdot k_2^3 \cdot p_{tc} \cdot a}{a \cdot (2 \cdot k_1^3 + 3 \cdot n_1 \cdot k_1^2 + 3 \cdot n \cdot k_1^2 + 6 \cdot n \cdot n_1 \cdot k_1 + 2 \cdot k_2^3 + 3 \cdot n_2 \cdot k_2^2)} + \frac{6 \cdot n_2 \cdot k_2 \cdot p_{tc} \cdot n \cdot a + 3 \cdot n_2 \cdot k_2^2 \cdot p_{tc} \cdot a + 3 \cdot n \cdot k_2^2 \cdot p_{tc} \cdot a}{a \cdot (2 \cdot k_1^3 + 3 \cdot n_1 \cdot k_1^2 + 3 \cdot n \cdot k_1^2 + 6 \cdot n \cdot n_1 \cdot k_1 + 2 \cdot k_2^3 + 3 \cdot n_2 \cdot k_2^2)} \quad (4.31.)$$

Nyní jsou známy všechny síly a momenty působící na šroub. A tím pádem i minimální napětí nutné k dosažení těsnosti

$$\sigma_{smin} = \frac{F_s}{S_{min}} \quad (4.32.)$$

Zjistíme minimální napětí ve šroubu. Pokud je toto napětí větší než dovolené, tak se bude muset zvětšit průřez šroubu nebo se zvětší šířka odlehčení.

Výpočet dělicí roviny s kruhovým průřezem je velmi podobný s předchozím.

4.2. Dělicí rovina bez odlehčení

Použití odlehčení dělicí roviny je z důvodu zvýšení měrného těsnícího tlaku. Tento měrný tlak ovlivňuje návrh spojovacího materiálu. Dělicí rovina bez odlehčení se obvykle vyskytuje u starších turbín. V některých místech se odlehčení také nemusí používat z důvodů nízkých tlaků a teplot, například v nízkotlaké části.

Pro výpočet je možné použít předchozí výpočty s jediným rozdílem [2]

$$n_1 = n_2 = \frac{d_p^2}{2 \cdot a} \quad (4.33.)$$

4.3. Bez znalosti geometrie turbíny

Ve velké části servisních aplikací je nedostatek dat, a proto se musí síla předpětí šroubu určovat z meze kluzu pro daný materiál a teplotu.

$$F_s = \frac{R_{p02}}{S_{min}} \quad (4.34.)$$

4.4. Druhy těsnících past

Pro zlepšení těsnosti dělicích rovin se používají speciální těsnící pasty.

4.4.1. Novato Birkosit

Tento tmel se používá pro utěsnění parních, plynových turbín, kompresorů a dalších zařízení. Birkosit má vysokou teplotní a tlakovou odolnost, a to až do 900 °C a 450 MPa. Použití této pasty je jednoduché. [4]

4.4.2. Copaltite

Copaltite je těsnící hmota, která odolá vysokým tlakům a teplotám. Je vyráběn ve dvou formách, a to v tekuté nebo ve formě hustého tmelu. [21]

V tekuté formě je Copaltite lehko roztíratelná a hladká pasta, která se používá hlavně na utěsnění závitových spojení a hladkých povrchů. Je vhodná i jako náhrada těsnění. [21]

Ve formě hustého tmelu je Copaltite je hustá pasta s hrubou texturou, díky tomu je schopná vyplnit nerovnosti v povrchu. [21]

Copaltite je vhodná pro použití v parních turbínách do tlaku cca 13,8 MPa a teploty cca 650 °C. [21]

4.4.3. Loctite MR5972

Další možností jak utěsnit dělicí rovinu skříně parní turbíny je použít Loctite MR5972. Tato viskózní pasta je vhodná jako k závitovému a plošnému těsnění. Tato pasta může být aplikována buď přímo na těsněnou plochu, nebo také přímo na těsnění. Loctite MR5972 je odolné do tlaku 34 MPa a teplot do 315 °C. [22]

4.4.4. Loctite 5399

Další možností od společnosti Loctite je silikon Loctite 5399. Tento produkt se používá pro těsnění nebo lepení. Je ve formě červené pasty. Loctite 5399 je schopen nárazově odolat teplotám dosahující až 350 °C. [23]

4.4.5. Deacon 770

Deacon 770 je těsnicí hmota, pro použití na těsnění závitů, přírub a spojení kovu na kov. Je vyráběna ve dvou formách, v tekuté a ve formě pasty. Obě varianty jsou vhodné pro použití do teplot 510 °C. Je vhodná pro použití jako těsnicí hmota dělicích rovin. [24]

4.4.6. IGS Industries – Turbo

Je pryskyřice vhodná jako těsnicí hmota pro závity a dělicí roviny parních ale i plynových turbín. Turbo je vyráběn ve dvou formách Turbo-R a Turbo 50. Obě formy Turbo jsou schopny odolat teplotám dosahujícím 510°C a tlakům do 5,17 MPa. [25]

4.4.7. Převařená fermež

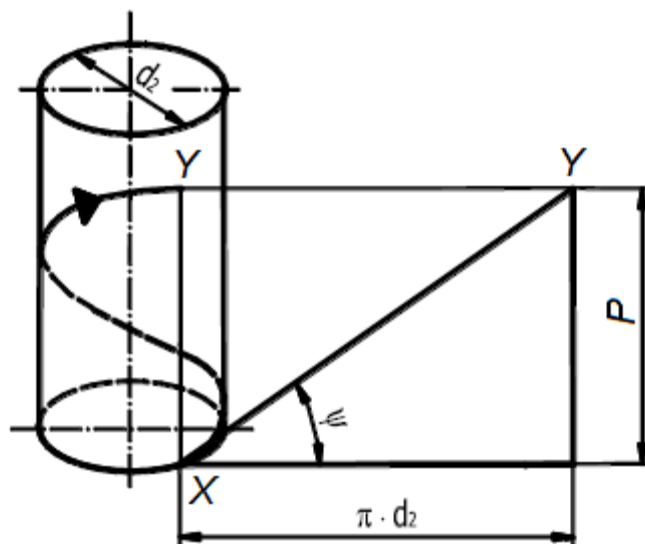
V minulosti se jako těsnicí hmota do dělicích rovin parních turbín používala převařená lněná fermež. Lněná fermež se začne vařit, až dosáhne husté konzistence. Poté je nanášena na dělicí rovinu parní turbíny.

5. ZÁVITOVÉ SPOJE

Šroubové spoje jsou jedny z nejpoužívanějších druhů rozebíratelných spojů, jehož funkční částí je závit. Vždy je spoj tvořen prvkem s vnitřním závitem (matice) a prvkem s vnějším závitem (šroub).

5.1. Teorie závitů

Závit může být jednochodý, nebo vícechodý, také podle směru šroubovice může být levotočivý nebo pravotočivý (není-li uvedeno jinak). Závit vzniká pohybem určitého profilu po šroubovici. Jelikož, je těchto profilů více, tak se dělí podle na několik typů. Nejčastěji používaný profil je ostrý profil (trojúhelník nebo lichoběžník).



Obr. 24 Tvorba závitu [7]

- kde X je počátek šroubovice [-]
 Y je konec šroubovice po jedné otáčce [-]
 P je rozteč [mm]
 ψ je úhel stoupání závitu [°]
 d_2 je střední průměr závitů [mm]

5.1.1. Rozteč

Rozteč je vzdálenost mezi dvěma vrcholy dvou závitů vedle sebe ve směru osy. Obvykle se značí P nebo s a je uváděno počet závitů na mm nebo na palec (zemí s Imperiálním systémem jednotek). Rozteč také určuje výšku základního trojúhelníku. [5], [6], [8]

5.1.2. Stoupání

S roztečí přímo souvisí stoupání. Stoupání se značí P_h s jednotkou mm nebo palec. Stoupání určuje o kolik se šroub nebo matice posune, otočíme-li s ní o jednu celou otáčku (360°). [5], [6], [8]

5.1.3. Úhel stoupání

Úhel stoupání se značí ψ [°] a je to úhel mezi tečnou závitu na středním průměru a rovinou kolmou na axiální směr závitu. [5], [8]

5.1.4. Velký průměr závitu

Velký průměr závitu se značí D u vnitřního závitu (matice) a d u vnějšího závitu (šroubu). Je to průměr imaginárního válce opisujícího dno závitu vnitřního a v případě vnějšího závitu vyjadřuje průměr imaginárního válce opisující hřbety závitu. [5], [6], [8]

Velký průměr závitu se také nazývá jmenovitý průměr. Je to průměr, ke kterému se uvádí tolerance.

5.1.5. Střední průměr závitu

Střední průměr závitu je teoretický průměr imaginárního válce, který se nachází boky závitu v půlce výšky základního trojúhelníku ($H/2$). Střední průměr závitu má stejné značení jako velký průměr závitu, ale s dolním indexem 2. [5], [6], [8]

5.1.6. Malý průměr závitu

Malý průměr závitu je průměr imaginárního válce opisující hřbet vnitřního závitu a u vnějšího závitu opisuje dno závitu. Má stejné značení jako velký průměr závitu ale s dolním indexem 1. Pokud má malý průměr vnějšího závitu sražení nebo zaoblení, tak se dolní index změní na 3. [5], [6], [8]

5.1.7. Úhel profilu závitu

Úhel profilu závitu označuje úhel mezi dvěma boky závitu. Značí se α [°]. Polovina tohoto úhlu je úhel boku zubu β [°]. [5], [6], [8]

5.2. Rozdělení typů závitu

Existuje několik stovek typů závitu. Nejčastěji používané typy závitu v servise parních turbín jsou:

- Metrický závit (M)
- British Standard Fine (BSF)
- British Standard Whitworth (BSW)
- Unified National (UN).

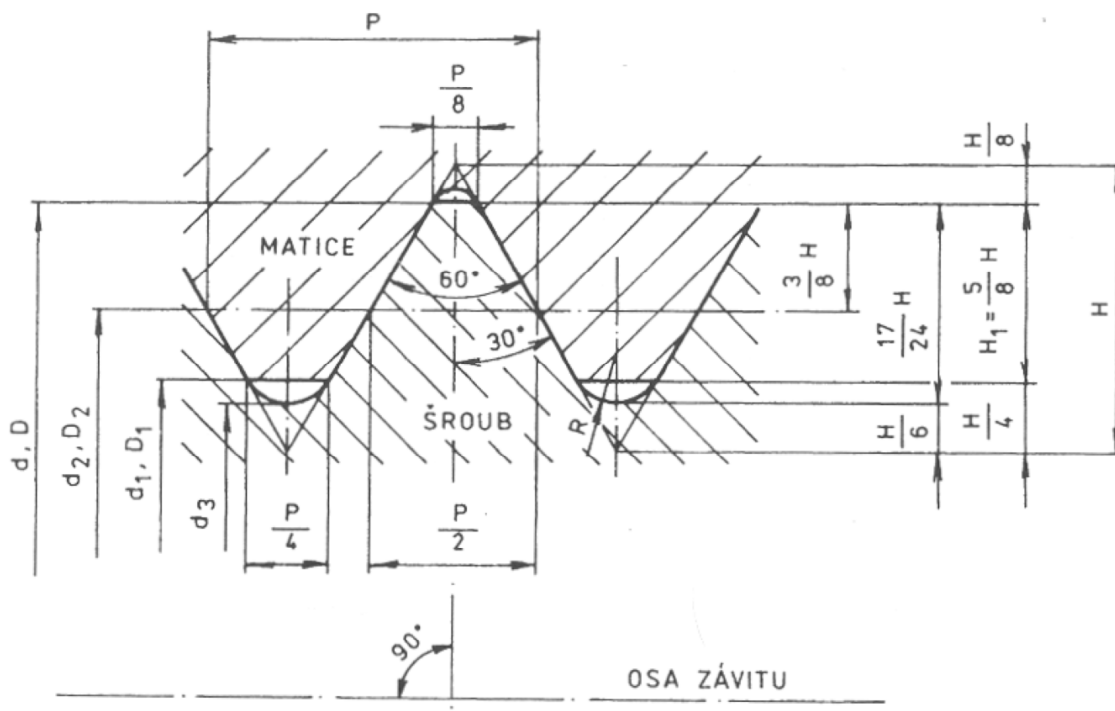
5.2.1. Metrický závit (M)

Metrický závit je v dnešní době jeden z nejpoužívanějších závitu. Byl jedním z prvních závitu uznaných organizací ISO a to již v roce 1947. Metrický závit definuje ISO 68-1. Profil závitu je trojúhelníkový se zaoblenými vrcholy a

kořeny závitu. Vrcholový úhel je 60° . Metrický závit je vždy jednoduchý a samosvorný. Metrický závit může být buď normální, nebo s jemnou roztečí.[7]

Normální závit má hrubou rozteč, díky tomu je jeho montáž jednodušší. Také jeho pořizovací cena je nižší. Obvykle se značí M d, bez udávání rozteče.

Jemný závit má rozteč jemnější (menší) než normální závit. S menší roztečí se zvětšuje nosný průřez a i pevnost šroubového spoje, také je více odolný proti povolení vibracemi. Na rozdíl od normální rozteče se jemná rozteč při značení závitu uvádí M dxP.



Obr. 25 Metrický závit [12]

Poté je velikost výšky trojúhelníku opisující zub

$$H = \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right) \cdot P = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot P \approx 0,866 \cdot P \quad (5.1.)$$

Hloubka závitu H_1 je

$$H_1 = \frac{5}{8} \cdot H \approx 0,541 \cdot P \quad (5.2.)$$

Zaoblení závitu u kořene a hřebenu je

$$r = \frac{H}{6} \approx 0,144 \cdot P \quad (5.3.)$$

Střední průměr závitu

$$d_2 = d - 2 \cdot \frac{3}{8} \cdot H = d - 0,649519053 \cdot P \quad (5.4.)$$

Malý průměr závitu

$$d_3 = d - 2 \cdot \frac{17}{24} \cdot H = d - 1,226869322 \cdot P \quad (5.5.)$$

Výpočtový průřez [8]

$$A_s = 0,7854 \cdot (D - 0,938 \cdot P)^2 \quad (5.6.)$$

také se občas využívá více konzervativní průřez [8]

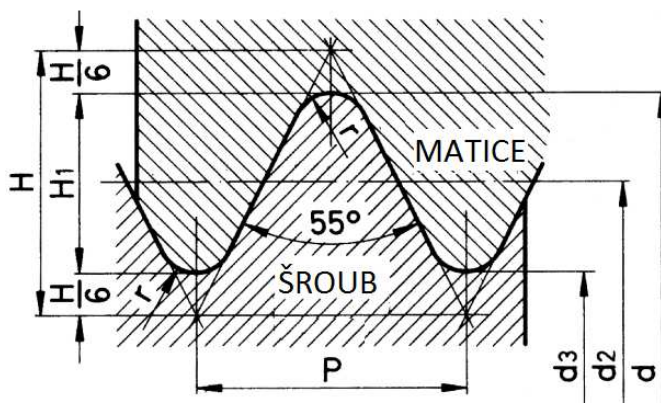
$$A_s = 0,7854 \cdot \left(d_3 - \frac{0,268867}{P} \right)^2 \quad (5.7.)$$

5.2.2. British Standart Fine (BSF)

Typ závitů BSF byl od roku 1908 (je) používán ve Velké Británii před přechodem na typ Unified, či metrický závit. Je to alternativa s jemnějším stoupáním k závitům Whitworth (BSW). Základní rozměry se udávají v palcích. Stoupání se udává v počtu závitů na palec. Na rozdíl od metrického závitu má BSF vrcholový úhel 55 °. [9]

5.2.3. British Standard Whitworth (BSW)

Podobně jako předchozí BSF i Whitworthův závit byl používán ve Spojeném království (a jeho bývalých koloniích) a to již od roku 1841, kdy byl navrhnut a standardizován sirem Josephem Whitworthem, pro účely britské železnice. Závit má hrubé stoupání s oblým vrcholem i kořenem závitu a vrcholový úhel je jako u BSF 55 ° a všechny jeho rozměry se udávají v palcích. Od typu BSF je odvozeno několik druhů závitů – BSF, BSP (British Standard Pipe), BSPT (British Standard Pipe). V polovině 20. století byl nahrazen metrickým závit. [7], [10]



Obr. 26 Whitworthův závit [7]

kde vrcholový úhel je 55°
 úhel zubu je $27,5^\circ$
 stoupání je P [počet závitů na palec]

Velikost výšky trojúhelníku opisující zub je

$$H = 0,96049 \cdot P \quad (5.8.)$$

Zkrácení na hřebenu a kořenu závitu je

$$\frac{1}{6} \cdot H = 0,16008 \cdot P \quad (5.9.)$$

Hloubka závitu H_1 je

$$H_1 = 0,64033 \cdot P \quad (5.10.)$$

Zaoblení závitu u kořene a hřebenu je

$$r = 0,13733 \cdot P \quad (5.11.)$$

5.2.4. Unified National (UN)

UN je standardní typ závitu, který se používá ve Spojených státech a Kanadě. Má stejný 60° profil jako metrický závit, ale rozměry se uvádí v palcích.

Závity typu UN byly standardizovány po druhé světové válce zástupci Spojených států, Velké Británie a Kanady. Tímto se odstranil problém s kompatibilitou šroubových spojů, který vyvstal během druhé světové války.

Závity UN se dále dělí podle rozteče na [11]

- UNC – hrubý
- UNF – jemný

- UNEF – extra jemný s proměnnou roztečí
- UNS – s konstantní roztečí.

5.3. Teorie šroubového spoje

Šroubové spoje jsou nejčastějším používaným typem spojení ve strojírenství. Podle statistik je přes 60 % všech spojů použitých ve strojírenství závitového typu. [5]

Spoje se podle způsobu dotažení při montáži dělí na spoje bez předpětí a spoje s předpětím.

5.3.1. Spoje bez předpětí

Spoje bez předpětí se používají zřídka, a proto se na ně ve strojírenství neklade takový důraz.

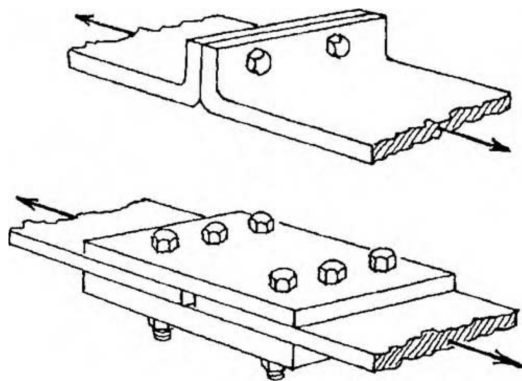
5.3.2. Spoje s předpětím

Předepjaté spoje se používají v naprosté většině aplikací ve strojírenství. Spoj se dotáhne tak, aby v něm vznikla axiální síla od předpětí, a to již před uvedením do zatížení od provozu.

Dalším typem dělení spojů je podle typů namáhání spoje, a to buď v axiálním směru na tah, nebo ve směru kolmém na osu - stříh.

5.3.3. Pevnostní spoje

Hlavním cílem tohoto spojení je sevřít dvě spojované součásti tak, aby nedošlo k jejich rozdělení nebo k netěsnosti spoje. U těchto typů spoje je důležité předpětí, které vytváří požadovanou přitlačnou sílu.



Obr. 27 Spoj pevnostní a namáhaný na stříh [8]

5.3.4. Spoje namáhané na stříh

U tohoto typu spoje jsou šrouby namáhány kolmo na osu šroubu na stříh. Tento druh spoje není používán v dělicích rovinách parních turbín. U parní turbíny je cílem, aby všechny síly působící na turbínovou skříň a další součásti byly co nejmenší. A proto tento typ spoje není součástí této práce.

6. VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU ŠROUBOVÉHO SPOJE

Spoj dělicí roviny turbínové skříně se skládá z vrchní a spodní poloviny skříně, šroubu, podložky a matice. Každý z těchto prvků může být vyroben z různých materiálů, a proto bude mít i různou střední teplotu při provozu. A také z toho vyplívající pevnostní charakteristiky.

6.1. Tuhost a pružnost spoje

Jelikož se u předepjatých spojů deformují všechny prvky, tak je nutné zjistit tuhost spoje. Pro zjednodušení se předpokládá, že nedojde k překročení meze kluzu, a materiál zůstává lineárně pružný. V tomto případě lze tuhost spojovaných součástí nahradit soustavou tlačných pružin, čímž dostaneme celkovou tuhost spoje jako součet jednotlivých tuhostí.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \quad (6.1.)$$

kde index n je počet prvků

Z Hookeova zákona

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (6.2.)$$

Napětí σ [MPa] lze vypočítat jako sílu působící kolmo na průřez.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (6.3.)$$

A poměrné délkové prodloužení ε [-]

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_2 - l}{l} \quad (6.4.)$$

Z toho vyplívající deformace je

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l = \frac{\sigma}{E} \cdot l = \frac{F \cdot l}{S \cdot E} \quad (6.5.)$$

Tuhost k [N.m⁻¹] lze vyjádřit jako poměr síly F [N] a deformace Δl [m]

$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{S \cdot E}{l} \quad (6.6.)$$

Obrácenou hodnotou tuhosti spoje je pružnost α [$\text{m} \cdot \text{N}^{-1}$]

$$\alpha = \frac{l}{S \cdot E} \quad (6.7.)$$

Dále budou vyjádřeny jednotlivé tuhosti spojovacího materiálu

6.1.1. Tuhost šroubu

Šrouby do dělicí roviny turbínových skříní mají obvykle užší dřík než závitové části. Proto se předpokládá, že šroub pruží především v části dříku, ale též v závitové části.

Tuhost šroubu lze vypočítat jako součet tuhostí jednotlivých částí šroubu.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_{zav1}} + \frac{1}{k_{dř}} + \frac{1}{k_{zav2}} \quad (6.8.)$$

po dosazení

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{\frac{S_{zav1} \cdot E}{l_{zav1}}} + \frac{1}{\frac{S_{dř} \cdot E}{l_{dř}}} + \frac{1}{\frac{S_{zav2} \cdot E}{l_{zav2}}} \quad (a)$$

po úpravě dostaneme rovnici

$$k_s = \frac{E \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot d_{dř}^2 \cdot d_2^2}{4 \cdot (l_{zav1} \cdot d_{dř}^2 \cdot d_2^2 + l_{dř} \cdot d_1^2 \cdot d_2^2 + l_{zav2} \cdot d_1^2 \cdot d_{dř}^2)} \quad (6.9.)$$

kde $l_{zav1,2}$ je podle [1]

$$l_{zav1,2} = \frac{d_{dř}}{2} \quad (6.10.)$$

zatím co dle [6] je

$$l_{zav1,2} = d_3 \cdot 0,5 \quad (6.11.)$$

další možností jsou [8]

$$l_{zav1,2} = D \cdot 0,4 \quad (6.12.)$$

$$l_{zav1,2} = D \cdot 0,3 \quad (6.13.)$$

$$l_{zav1,2} = D \cdot 0,6 \quad (6.14.)$$

pro vysoké šestihranné matice je poté délka závitu [8]

$$l_{zav1,2} = D \cdot 0,5 \quad (6.15.)$$

a kde $l_{dř}$ je součet výšek, příruby, podložky a odlehčení („jelita“), pokud se vyskytuje.

$$l_{dř} = H_p + l_w + l_j \quad (6.16.)$$

Jelikož oba závitové konce bývají stejné, lze rovnici 6.9 zjednodušit

- pro šrouby bez nahřívacího otvoru

$$k_s = \frac{E \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot d_{dř}^2}{4 \cdot (2 \cdot l_{záv} \cdot d_{dř}^2 + l_{dř} \cdot d_1^2)} \quad (6.17.)$$

- pro šrouby s nahřívacím otvorem

$$k_s = \frac{E \cdot \pi \cdot (d_3^2 - d_{no}^2) \cdot (d_{dř}^2 - d_{no}^2)}{4 \cdot (2 \cdot l_{záv} \cdot (d_{dř}^2 - d_{no}^2) + l_{dř} \cdot (d_3^2 - d_{no}^2))} \quad (6.18.)$$

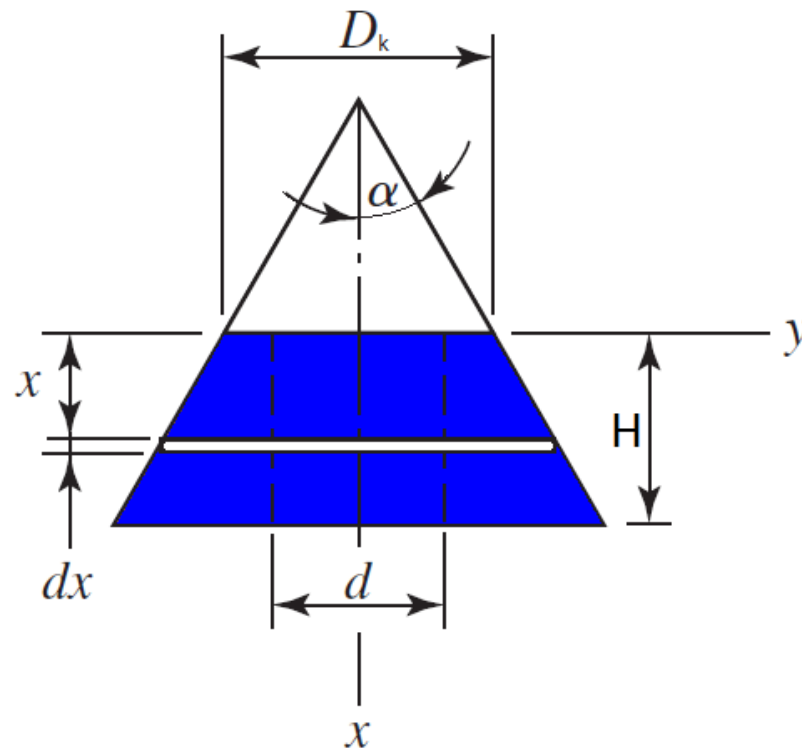
6.1.2. Tuhost přírub

Výpočet tuhosti přírub je složitější, než je tomu u šroubů, jelikož se napětí rozloží po celé její tloušťce. Přesné rozložení napětí lze zjistit pouze experimentálně.

Tímto problémem se zabývalo již několik studií. Z počátku se rozložení napětí uvažovalo jako rovnoměrné kruhové nebo kulové (Sneddon) 1946 a další po něm. Poté tato myšlenka byla nahrazena rozložením napětí v podobě dutého válce (Osman et al) 1976, jehož vnější průměr byl 1,5x větší, než průměr šroubu. Dále Ito a kolektiv za pomoci ultrazvuku zjistili, že pro nejpřesnější výpočty by měl být použit Rotscherův tlakový kužel s proměnlivým vrcholem.

Pro případ určování tuhosti parních skříní se použije zjednodušený model Shigleyho a Mischkeho(1989), kdy se Rotscheruv tlakový kužel nahradí obyčejným komolým kuzelem s úhlem strany v rozmezí 45 - 30°. Při použití úhlu strany kužele většího než je 45° se zvýší možnost nadhodnocení tuhosti příruby, a tím pádem i síly působící na šroub. V některých případech může komolý kužel i při minimálním doporučeném úhlu strany zasahovat mimo přírubu. Poté výpočet tuhosti kužele bude:

[8] ,[13]

**Obr. 28 Tlakový kužel [6]**

kde D_k je vnější průměr podložky,

H je tloušťka příruby

d je průměr šroubu (pro zpřesnění lze použít průměr otvoru pro šroub)

dx je element tloušťky

Elementární deformace prvku kužele s tloušťkou dx

$$d\Delta l = \frac{F \cdot dx}{S \cdot E} \quad (6.19.)$$

Plocha tohoto elementárního prvku je

$$\begin{aligned} S &= \pi \cdot \frac{D_{\text{vnější}}^2 - d_p^2}{4} = \pi \cdot \left[\left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k}{2} \right)^2 - \frac{d_p^2}{4} \right] = \\ &= \pi \cdot \left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k + d_p}{2} \right) \cdot \left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k - d_p}{2} \right) \end{aligned} \quad (6.20.)$$

Dosazením do deformace vznikne:

$$d\Delta l = \frac{F \cdot dx}{\pi \cdot \left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k - d_p}{2} \right) \cdot \left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k + d_p}{2} \right) \cdot E} \quad (a)$$

Pro zjištění celkové deformace nutno tento vztah integrovat přes celou přírubu.

$$\Delta l = \frac{F \cdot dx}{E} \int_0^{H_p} \frac{dx}{\pi \cdot \left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k - d_p}{2} \right) \cdot \left(x \cdot \tan(\alpha_k) + \frac{D_k + d_p}{2} \right)} \quad (b)$$

Po integrování

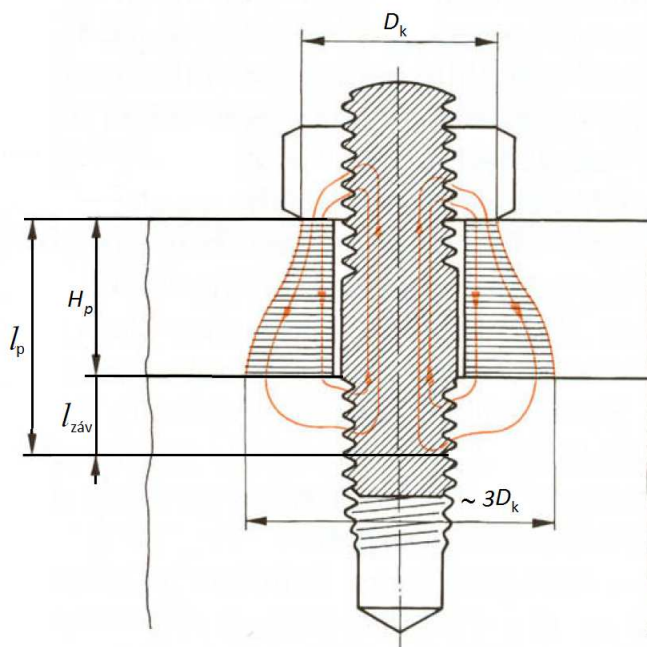
$$\Delta l = \frac{F}{\pi \cdot E \cdot d_p \cdot \tan(\alpha_k)} \ln \left(\frac{(2 \cdot H_p \cdot \tan(\alpha_k) + D_k - d_p) \cdot (D_k + d_p)}{(2 \cdot H_p \cdot \tan(\alpha_k) + D_k + d_p) \cdot (D_k - d_p)} \right) \quad (c)$$

Tuhost příruby

$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{\pi \cdot E \cdot d_p \cdot \tan(\alpha)}{\ln \left(\frac{(2 \cdot H_p \cdot \tan(\alpha_k) + D_k - d_p) \cdot (D_k + d_p)}{(2 \cdot H_p \cdot \tan(\alpha_k) + D_k + d_p) \cdot (D_k - d_p)} \right)} \quad (6.21.)$$

pro $\alpha_k \in (25 - 45^\circ)$

Na obr. 29 tak v případě závrtného spoje je z části ovlivněna i spodní příruba.



Obr. 29 Rozložení napětí v přírubě [12]

Celková délka spojení

$$l_p = H_p + l_j + l_{záv} \quad (6.22.)$$

kde $l_{záv}$ je stejná jako pro výpočet tuhosti šroubu

Celková tuhost přírub bude

$$k_p = \frac{\pi \cdot E \cdot d_p \cdot \tan(\alpha)}{\ln \left(\frac{(2 \cdot l_p \cdot \tan(\alpha) + D_k - d_p) \cdot (D_k + d_p)}{(2 \cdot l_p \cdot \tan(\alpha) + D_k + d_p) \cdot (D_k - d_p)} \right)} \quad (6.23.)$$

pro $\alpha \in (25 - 45^\circ)$

6.1.3. Tuhost podložky

Použití podložky pozitivně ovlivní tuhost spoje jako celku, ale sníží tuhost šroubu.

$$k_w = \frac{F}{\Delta l} = \frac{S_w \cdot E}{l_w} \quad (6.24.)$$

kde průřez podložky je

$$S_w = \frac{\pi \cdot (D_w^2 - d_w^2)}{4} \quad (6.25.)$$

6.1.4. Tuhost matice

Postup pro výpočet tuhosti matice je podobný jako je pro výpočet tuhosti podložky.

$$k_m = \frac{F}{\Delta l} = \frac{S_m \cdot E}{l_{záv}} \quad (6.26.)$$

kde průřez podložky je

$$S_m = \frac{\pi \cdot (D_m^2 - d_1^2)}{4} \quad (6.27.)$$

6.1.5. Tuhost spojovaných součástí

Tuhost spojovaných součástí tzn. příruby a podložky lze vyjádřit pomocí rovnice 6.1

$$k_{sp} = \frac{k_p \cdot k_w}{k_p + k_w} \quad (6.28.)$$

6.1.6. Tuhostní konstanta spoje

Tato konstanta tuhosti znázorňuje poměr tuhosti šroubu k tuhosti spojovaných součástí.

$$C = \frac{k_s}{k_s + k_{sp}} \quad (6.29.)$$

6.2. Síly působící na šroub

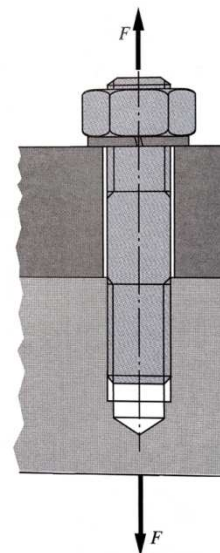
V případě šroubů dělicí roviny turbínové skříňe jsou šrouby primárně namáhány na tah, podobně jako u obr. 30. Parní turbíny se provozují obvykle při stabilních parametrech a proto i tato síla je brána jako konstantní.

Nejprve je nezbytné, aby byla vypočítána síla, která vyvodí dostatečné předpětí v dělicí rovině, aby nedošlo k profuku páry, viz kapitola 4.

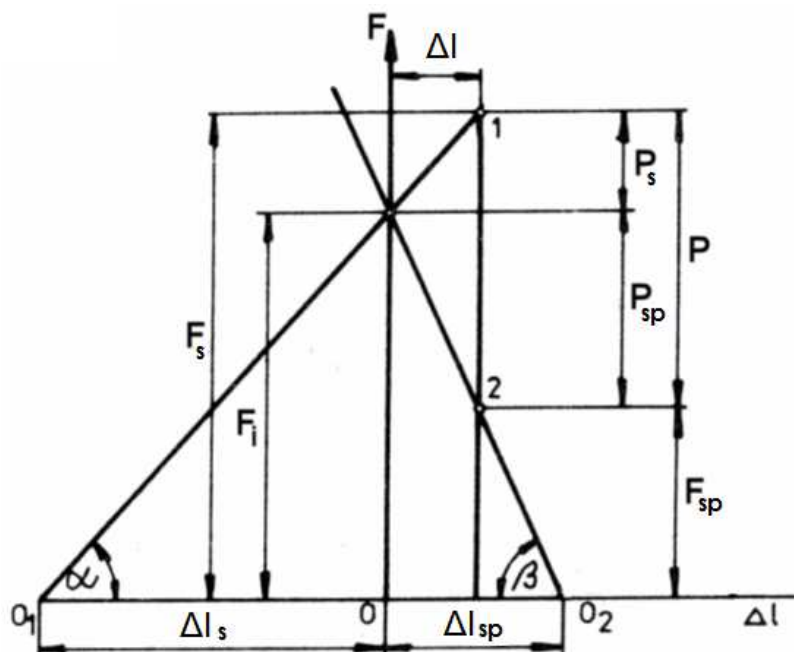
6.2.1. Silové poměry

Je možné znázornit silové poměry v spojovaných součástech, kdy je šroub nejprve zatížen pouze silou od předpětí. K této síle se přidávají provozní síly.

Tento diagram znázorní rozdělení sil a deformací ve spojovaných součástech.



Obr. 30 Síly působící na závrtný šroub [6]



Obr. 31 Diagram silových poměrů u předepjatého spoje [12]

Za pomoci diagramu a tuhostní konstanty spoje zle určit rozdělení sil mezi spojované součásti a šroub. Část provozní síly na šroub bude

$$P_s = C \cdot P_p \quad (6.30.)$$

a na spojované součásti

$$P_{sp} = (1 - C) \cdot P_p \quad (6.31.)$$

Výsledná síla při provozu na šroub bude

$$F_s = P_s + F_i \quad (6.32.)$$

a na spojované součásti

$$F_{sp} = F_i - P_s \quad (6.33.)$$

6.3. Utahovací moment

Výpočet utahovacího momentu, který je potřebný k vyvození předpětí na šroubu.

Utahovací moment je složen ze dvou částí a to z momentu potřebného na překonání tření v závitech

$$M_{TR} = \frac{F_i \cdot d_2}{2} \cdot \frac{\tan(\psi) + f_Z \cdot \sec\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{1 - f_Z \cdot \tan(\psi) \cdot \sec\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (6.34.)$$

a moment pro překonání tření pod dosedací plochou matice pro uzavřené matice

$$M_D = \frac{F_i \cdot f_D \cdot \left(\frac{D_W + d_W}{2} \right)}{2} \quad (6.35.)$$

a pro otevřené matice

$$M_D = \frac{F_i \cdot f_D \cdot (1,25 \cdot d)}{2} \quad (6.36.)$$

Celkový utahovací moment

$$M = M_{TR} + M_D \quad (6.37.)$$

6.4. Úhel natočení matice

V některých případech není možné použít utahování za pomoci momentu. V těchto případech je potřeba znát úhel natočení matice pro vytvoření potřebného předpětí na šroubu.

$$\gamma = \frac{360 \cdot F_i}{P} \cdot \frac{k_s + k_{sp}}{k_s \cdot k_{sp}} \quad (6.38.)$$

6.5. Způsoby utahování

V dnešní době je používáno několik způsobů utahování. Zvolený způsob závisí na požadované přesnosti, konstrukci spojovacího materiálu a dostupném zařízení na vytvoření požadovaného utahovacího momentu.

6.5.1. Utahování za studena

U této metody se nejprve šroub utáhne na takzvaně těsné utažení. Těsné utažení obvykle znamená využití poloviny utahovacího momentu, nebo utažení tak, aby nebylo možné pohybovat s podložkou. Díky tomu se zarovnají dosedací plochy závitů. Poté se matice uvolní a opět dotáhne pouze rukou. Dále se buďto použije nástroj s přesným určením vyvozeného momentu, nebo je možné použít vypočítaný úhel natočení matice.

Při použití metody úhlu natočení matice se nejprve na spojovaném materiálu zaznačí počáteční ryska a následně se naznačí na podložce nebo skříní vypočítaný úhel natočení matice, tzn. kam, až musíme maticí pootočit, aby se vytvořilo požadované předpětí ve šroubu.

6.5.2. Utahování za tepla

Pro použití této metody musí být přizpůsoben šroub i matice (pokud je uzavřená). Šroub i matice musí mít otvor pro nahřívací těleso (axiální díra skrz). Nejprve se šroub s maticí nahřeje požadovanou teplotu. Vlivem tepelné roztažnosti se prodlouží i zvětší svůj průměr. Poté se matice utáhne na těsno nebo se pootočí o daný úhel natočení (závisí na dosažené teplotě). Jak šroub chladne, tak se začíná vracet do původní délky, čemuž zamezí matice. Tím je vytvořeno požadované předpětí ve šroubu.

Obvykle se toto utahování provádí na několikrát pro dosažení přesnějšího požadovaného předpětí.

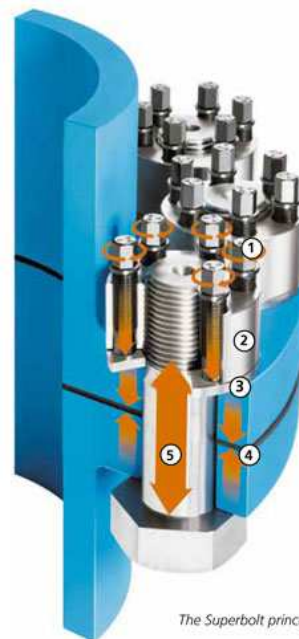
Výhodou této metody je její cena. U šroubu s velkým průměrem je cena nahřívacího tělesa malá v porovnání s jinými konvenčními metodami (použití momentového klíče...).



Obr. 32 Improvizované nahřívání šroubu při povolování [1]

6.5.3. Superbolt

Další metodou je použití matice Superbolt. Superbolt je více šroubový předepínací prvek. Při utahování se nejprve utáhne matice co nejtěsněji. Poté se utažením odtlačovacích šroubů vyvine požadované předpětí na utahovaném šroubu. Výhodou této metody jsou nízké nároky na použité nástroje, plně postačující jsou ruční nástroje. [26]



Obr. 33 Utahování pomocí Superbolt [26]

Legenda k obr. 33

1. Odtlačovací šrouby
2. Matice
3. Podložka
4. Spojovaný materiál
5. Šroub

6.5.4. Mechanické utahováký

Jsou nejjednodušší možností jak utáhnout šroub. Nejjednodušší je utahovat pouze klíčem, v případě většího požadovaného předpětí klíčem prodlouženým trubkou nebo dotaženým údery kladiva. Tato metoda je velice nepřesná a používá se pouze v případech nouze.

Další možností je použití momentového klíče. V dnešní době mají tyto klíče v sobě zabudované zvukové nebo jiné oznámení o dosaženém utahovacím momentu. Některé dokonce v sobě mají zabudovaná měřidla se zobrazením aktuálního utahovacího momentu, popřípadě je zde možno nastavit požadovaný utahovací moment přímo.

6.5.5. Násobiče krouticího momentu

Další možností je použití násobiče utahovacího momentu. Tento násobič je s převodován, obvykle poměru 4:1 až 2400:1 (pro z převodované násobiče momentu s momentovým klíčem). Násobiče mají opěrné rameno pro zamezení pohybu násobiče při dotahování. [8]

6.5.6. Hydraulické utahováký

Tyto utahováký v sobě mají hydraulickou soustavu, která utáhne matici na požadovaný moment. Hydraulické utahováký je možné použít v malých prostorách. Výhodou je relativně vysoká přesnost výsledného momentu. [8]

6.5.7. Elektrické utahováký

Elektrické utahováký jsou jedny z nejpoužívanějších utahováků pro rychlé utažení. Nejsou nákladné na provoz. Také jsou tišší a ergonomičtější

než většina ostatních utahováků. Nevýhodou je, že se při plném zatížení rychleji přehřívají. [8]

6.5.8. Rázový utahovák

Dalším typem utahováku je rázový utahovák. Tento typ utahováku může být buďto poháněn elektrickou energií nebo stlačeným vzduchem. Zde je moment vytvořen bicím mechanismem, poháněným motorem, který v rázech pootáčí maticí. Výhodou pro obsluhu je moment tvořen v krátkých rázech. [8]

6.5.9. Pulzní utahovák

Na podobném principu jako rázový utahovák pracuje i pulzní utahovák. Tento utahovák, na rozdíl od rázového, je poháněn stlačeným vzduchem, v pulzech jdoucích rychle za sebou. Zde stlačený vzduch natlakuje hydraulickou kapalinu, která vytvoří požadovaný moment. Oproti rázovému utahováku je tišší. [8]

6.5.10. Konstrukční omezení utahovacího momentu

Další možností dosažení požadovaného předpětí je použití zvláštních konstrukčních prvků, které se při dosažení požadovaného předpětí deformují. Tyto prvky jsou obvykle na jedno použití. Jsou to například „twist of šroub“, kterým se při překročení určitého momentu ulomí „utahovací krček“. Nebo se používají různé typy deformujících se matic či podložek. [8]



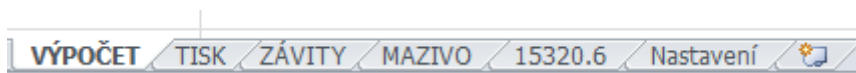
Obr. 34 Použití Twist of šroubu [27]

7. PROGRAM NA VÝPOČET UTAHOVACÍHO MOMENTU

Cílem této diplomové práce bylo také vytvořit program pro výpočet utahovacích momentů šroubů dělicí roviny skříně pro účely servisu parních turbín. Pro tvorbu programu byl zvolen výpočetní program MS Excel 2010.

7.1. Popis programu

Program jako takový se skládá z 6 listů. V prvním listu se zadávají parametry spojovacího materiálu a spoje samotného. Poté následuje samotný výpočet utahovacího momentu. Na dalším listu jsou zobrazeny výsledky v rozložení vhodném pro tisk. Dále pak následují listy se vstupními parametry, týkající se závitů, maziva, materiálových vlastností.



Obr. 35 Listy programu pro výpočet utahovacího momentu

V programu je několik rozevíracích seznamů. Tyto seznamy je možno jednak ovládat normálně výběrem ze seznamu, nebo při použití dvojklíku se objeví interaktivní seznam s nápovědou, což bude podrobně popsáno v kapitole 7.8.

7.2. List Výpočet

List je rozdělen do dvou částí. V první části se zadávají vstupní hodnoty pro výpočet do zelených polí. V druhé části následuje samotný výpočet.

7.2.1. Informativní údaje

Nejprve se zadá číslo zakázky a její název pro lepší orientaci. Poté se zadají čísla výkresů šroubu, podložky, matice, sestavení nebo skříně (podle volby) a zadá se poloha šroubu v turbínové skříně.

7.2.2. Vstupní hodnoty pro šroub

Dále se zadají vlastní rozměry šroubu. Nejprve se zadá rozměr závitu pro volný a závrtý konec (průměr a délka). Poté se zadá délka volného konce, průměr dříku, popřípadě vývrtu pro nahřívací tělísko. Pokud je zapotřebí kontrola na vrubové napětí v přechodech závitu do dříku, tak se vyplní přechodové rádiusy, a zvolí se možnost „ano“ v kontrole koncentrace napětí.

7.2.3. Vstupní hodnoty pro matici

Nejprve se zvolí z rozevíracího seznamu typ matice (otevřená nebo uzavřená). Je-li matice uzavřená, zadá se její vnější průměr, který by měl být shodný s vnějším průměrem podložky. Dále se zadá délka závitu v matici a

délka výběhu nad maticí. Poté se zadá celková výška matice a výška šestihranu pro klíč. V případě otevřené matice se zadá pouze její výška.

7.2.4. Vstupní hodnoty pro podložku a skříň

Po zadání vstupních hodnot matice, se zadají rozměry podložky. Podložka má být použita pro zvýšení utahovacího momentu. V případě, že není použita, se zadá pro hladký běh programu její výška 0,0001 mm.

Poté se zadají rozměry pro přírubu skříně. Nejprve průměr otvoru pro šroub, poté výška příruby a hloubka odlehčení („jelita“). Tato hloubka se udává pouze při odlehčení ve spodku DR skříně.

7.2.5. Vstupní hodnoty pro spoj

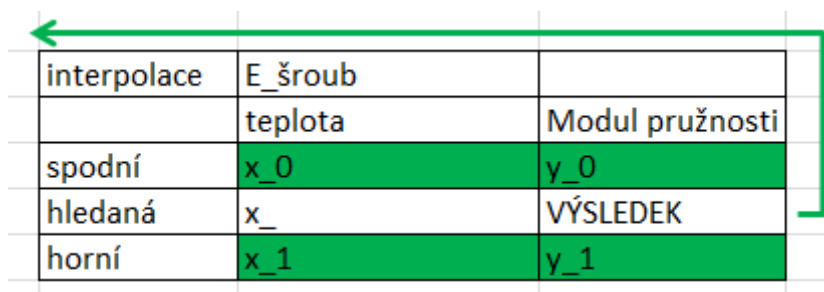
Dále se zadají vstupní hodnoty pro spoj samotný. Nejprve se zvolí podmínky utahování šroubu, a to buď utahování studeného šroubu, nebo nahřívání šroubu. Pak se zadá teplota okolí a přibližná teplota páry v místě šroubu. Následně se zvolí typy maziv pro mazání závitů a dosedacích ploch. Dále se zvolí výpočtová délka obou závitů a velikost tlakového kužele pro výpočet tuhosti příruby skříně.

7.2.6. Materiálové vlastnosti

Poté se zadají materiálové vlastnosti pro jednotlivé spojované součásti. V případě zrychleného výpočtu se zadají pouze pro šroub. Pro různé materiály lze použít interpolační tabulku.

V prvním řádku interpolační tabulky se vybere, pro jakou hodnotu se provádí výpočet. Následně se zadají nejbližší horní a spodní meze teplot a napětí nebo modulů pružností. Výpočet je proveden pomocí metody lineární interpolace. V tom případě je v buňce výsledek:

$$\text{výsledek} = y_0 + (ZLEVA(x; DĚLKA(x) - 2) - x_0) * (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)$$



interpolace	E_šroub	
	teplota	Modul pružnosti
spodní	x_0	y_0
hledaná	x_	VÝSLEDEK
horní	x_1	y_1

Obr. 36 Interpolační tabulka

Pokud je šroub ze standardního materiálu 15320.6 lze použít kartu s tímto označením pro výpočet modulu pružnosti a meze pružnosti.

7.2.7. Vlastní výpočet

Po zadání všech potřebných parametrů se nejprve vyjádří z listu ZÁVITY hodnoty pro jednotlivé parametry závitů volného a závrtného konce, v závislosti na zvolených hodnotách. Toto je provedeno pomocí funkce SVYHLEDAT (co vyhledat; v tabulce; ve sloupci; přesná shoda)

=SVYHLEDAT(VÝPOČET!\$D\$12; ZÁVITY!\$A\$2:\$F\$230; 2; NEPRAVDA)

Dále je vypočítán výpočtový průřez dle vztahu 5.6 jako pro oba závity

=0,7854*(D_vol-0,938*P_vol)^2 - (PI()*ds_vyv^2/4)

Následně jsou za použití podmínky KDYZ (podmínka; ano; ne) vypočítány výpočtové délky závitů pro volný konec:

=KDYŽ(A(výp_záv="0,5*d dříku šroubu";\$D\$25="uzavřená");0,5*Ds_dr;
KDYŽ(A(výp_záv="0,5*d3";\$D\$25="uzavřená");0,5*d3_vol;
KDYŽ(A(výp_záv="0,4*D";\$D\$25="uzavřená");0,4*D_vol;
KDYŽ(A(výp_záv="0,3*D";\$D\$25="uzavřená");0,3*D_vol;
KDYŽ(A(výp_záv="0,6*D";\$D\$25="uzavřená");0,6*D_vol;
0,5*D_vol))))

a pro závrtný konec jednodušší podmínkou

=KDYŽ(výp_záv="0,5*d dříku šroubu";0,5*Ds_dr;
KDYŽ(výp_záv="0,5*d3";0,5*d3_záv; KDYZ(výp_záv="0,4*D";0,4*D_záv;
KDYŽ(výp_záv="0,3*D";0,3*D_záv;
0,6*D_záv))))

Pro volný konec se vypočítá úhel stoupání šroubovice

=ARCTG(P_vol/(PI()*d2_vol))*180/PI()

Také se vypočte průřez dříku

=PI()*(Ds_dr^2-ds_vyv^2)/4

Poté se vypočítá průřez podložky

=PI()*(Dw^2 - dw_o^2)/4

Pak se vyhledají jednotlivé součinitele tření, podobně jako tomu bylo v případě parametrů závitů.

Dále se vypočítají teploty na jednotlivých součástech při provozu podle směrnice bývalé PSB. Pro šroub a matici je teploty páry menší od 25 °C. Teplota podložky je menší o 5 °C, než je tomu u šroubu. Teplota příruby skříně je o 15 °C nižší, než je teplota páry. [1], [3]

Následně se vypočítají jednotlivé tuhosti šroubu podle vztahů z kapitoly 6.1. Po výpočtu tuhosti šroubu se vypočítá maximální síla v minimálním průřezu šroubu.

Dále následuje kontrola na vrubové napětí, kdy se nejprve vypočítá rozdíl mezi průměrem závitu a dřívku pro oba konce závitu. [14]

$$\text{rozdíl} = (D_{\text{vol}} - D_{\text{s_dr}}) / 2$$

Pak je vypočten poměr tohoto rozdílu vůči zaoblení na šroubu. Tento poměr určí, kterou sadu empirických rovnic bude program používat pro další výpočty. [14]

$$\text{Poměr} = dR_{\text{vol}} / r_{\text{vol}}$$

Pokud je poměr v rozmezí 0,25 až 0,20, tak je použita první sada rovnic koeficientů. [14]

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,927 + 1,149 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) - 0,086 * dR_{\text{vol}} \\ C_2 &= 0,011 - 3,029 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) + 0,948 * dR_{\text{vol}} \\ C_3 &= -0,304 + 3,979 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) - 1,737 * dR_{\text{vol}} \\ C_4 &= 0,366 - 2,098 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) + 0,875 * dR_{\text{vol}} \end{aligned}$$

V případě, že je poměr větší jak 2 ale menší jak 20, tak se použije druhá sada exponenciálních rovnic. [14]

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,255 + 0,831 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) - 0,01 * dR_{\text{vol}} \\ C_2 &= -1,831 - 0,318 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) - 0,049 * dR_{\text{vol}} \\ C_3 &= 2,236 - 0,522 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) - 0,176 * dR_{\text{vol}} \\ C_4 &= -0,63 + 0,009 * \text{ODMOCNINA}(dR_{\text{vol}}) - 0,117 * dR_{\text{vol}} \end{aligned}$$

Pro každou sadu rovnic se vypočítá vrubový koeficient K_t . [14]

$$= C_{v_1\min} + C_{v_2\min} * ((dR_{\text{vol}} * 10^{-3}) / (D_{\text{vol}} * 10^{-3})) + C_{v_3\min} * ((dR_{\text{vol}} * 10^{-3}) / (D_{\text{vol}} * 10^{-3}))^2 + C_{v_4\min} * ((dR_{\text{vol}} * 10^{-3}) / (D_{\text{vol}} * 10^{-3}))^3$$

a následně podle poměru je spočítaná maximální síla ve vrubu. [14]

$$= 1/4 * (\text{Sig}_{\text{výp}} * \text{PI}()) * (D_{\text{vol}} * 10^{-3} - 2 * dR_{\text{vol}} * 10^{-3})^2 / K_{DYŽ}(dR_{\text{zav}} < 2; K_{tv_min}; K_{tv_max})$$

Poté je vybrána nejmenší síla, pokud je požadována kontrola na napětí v přechodovém rádiusu, a z ní je dále vypočten maximální utahovací moment a maximální úhel natočení matice.

$$\begin{aligned} M &= (F_{i1} * (d2_{\text{vol}} * 10^{-3}) / 2) * ((\text{TG}(\text{psi} * \text{PI}()) / 180) + \\ &\quad f_{\text{zavit}} * (1 / (\text{COS}((\text{alfa} / 2) * \text{PI}()) / 180))) / (1 - \\ &\quad f_{\text{zavit}} * \text{TG}(\text{psi} * \text{PI}()) / 180 * (1 / (\text{COS}((\text{alfa} / 2) * \text{PI}()) / 180)))) + (\\ &\quad F_{i1} * f_{\text{dosed}} * (((D_w * 10^{-3}) + (d_{w_o} * 10^{-3})) / 2)) / 2 \end{aligned}$$

$$\text{úhel} = (360 / (P_{vol})) * ((\sigma_s / 10^6) / (E_s)) * (((H_{p_od} + H_p + H_w)) * (1 + \text{koef}_1 / \text{koef}_2 + 1 / (3 * \text{koef}_3)) + (D_{s_dr}) * (1,167 + \text{koef}_1 / 2))$$

Toto je maximální hodnota, na kterou je možno utáhnout šroub, aniž by byla překročena mez kluzu a tím k plastickému poškození šroubu.

Z tohoto maximálního momentu je vypočten doporučený utahovací moment. Hodnota doporučeného utahovacího momentu pro nový šroub odpovídá je z důvodů zachování bezpečnosti 77% momentu maximálního. Z momentu se vypočítá síla předpětí pro nový šroub, a úhel natočení matice, velikost natočení a prodloužení šroubu.

Výpočet utahovacího momentu pro starý šroub, je z důvodů bezpečnosti 85 % utahovacího momentu nového šroubu.

V případě zrychleného výpočtu se nejprve vypočítají koeficienty pro výpočet natočení matice. [3]

	$\text{koef}_1 = \frac{S_{\text{šroub}}}{S_{\text{podložka}}}$	(7.1.)
--	--	--------

	$\text{koef}_2 = \frac{l_{\text{šroub}}}{l_{\text{podložka}}}$	(7.2.)
--	--	--------

	$\text{koef}_3 = \frac{l_{\text{šroub}}}{l_{\text{příruba_DR}}}$	(7.3.)
--	---	--------

Poté bude úhel natočení matice [3]

	$\varphi = \frac{360}{z} \cdot \frac{\sigma_s}{E} \cdot \left[l_{\text{šroub}} \cdot \left(1 + \frac{\text{koef}_1}{\text{koef}_2} + \frac{1}{3 \cdot \text{koef}_2} \right) + D_{\text{dírk}} \cdot \left(1,167 + \frac{\text{koef}_1}{2} \right) \right]$	(7.4.)
--	--	--------

Na konci výpočtu jsou kontroly. První se kontroluje, délka šroubu. Druhá kontroluje kolizi otvorů v podložce a v přírubě skříně se šroubem. Třetí avšak ukazuje kolik místa nad přírubou DR je potřeba, aby bylo možné nasadit šroub. Poslední kontrola provádí kontrolu geometrie

7.3. List Tisk

Po výpočtu utahovacích momentů, se všechny hodnoty automaticky přenesou do listu Tisk. Tento list je optimalizovaný na tisk výstupu z programu. List obsahuje polohu, typ šroubu a teploty páry v místě šroubu. Také název zakázky a zakázkové číslo. Důležité je možnost zpětně identifikovat vstupní hodnoty (proto jsou zde zobrazené čísla výkresů jednotlivých částí, název použitých mazacích past).

V další části jsou obsaženy samostatné výstupní hodnoty pro utažení šroubu, jak pro nový tak i pro starý šroub.

Poslední informací na listu Tisk je jméno autora, jméno kontrolora výpočtu a datum kdy byl výpočet proveden.

7.4. List Závity

V tomto listu jsou vstupní hodnoty metrických závitů od M10 po M125, pro všechny základní ale i jemné stoupání šroubů. Základní stoupání se vždy nachází na prvním řádku v sekci se stejným velkým průměrem. Hodnoty malých, středních a velkých průměrů jsou vypočteny pomocí stoupání.

7.5. List Mazivo

V tomto listu jsou shrnuty nejčastěji používané mazací pasty a spreje pro použití za zvýšených teplot. [6], [15], [16], [17], [18], [19], [20]

7.6. List pro materiál 15320.6

Tento list obsahuje mechanické vlastnosti materiálu z ČSN 41 5320 závislé na teplotě. V okně teplota se vloží teplota součásti obsahující požadovaný materiál a ve spodních oknech je vypočtena mez kluzu a modul pružnosti v tahu. Tento výpočet je proveden z rovnic křivek třetího řádu proložené body z normy. [29]

7.7. List Nastavení

V tomto listu jsou pouze vstupní hodnoty pro pole se seznamem v listu Výpočet.

7.8. Použitý kód v programu

Jak již bylo zmíněno výše, v programu byl použit ActiveX prvek pole se seznamem (zavol – název v Excelu). Pro zjednodušení práce s tímto prvkem byl vytvořen kód ve VBA. Kód je rozdělen do dvou částí.

7.8.1. První část kódu

Tato část kódu je aktivní pouze, je-li označena buňka. Nejprve jsou deklarovány proměnné. [30], [31], [28]

```
Private Sub Worksheet_SelectionChange(ByVal Target As Range)
    Dim retez As String
    Dim obj As OLEObject
    Dim sesit As Worksheet
    Set sesit = ActiveSheet
```

Poté se zamezí zacyklování programu a zrychlí se průběh programu. [30], [31], [28]

```
Application.EnableEvents = False  
Application.ScreenUpdating = False
```

Při kopírování v listu se vypnou výše nastavené hodnoty.

```
If Application.CutCopyMode Then  
    GoTo chyba  
End If
```

Tato část kódu pracuje s prvkem ActiveX, nastaví jeho vlastnosti a vymaže ho. [30], [31], [28]

```
With obj  
    .Top = 5  
    .Left = 5  
    .Width = 0  
    .ListFillRange = ""  
    .LinkedCell = ""  
    .Visible = False  
    .Value = ""  
End With
```

Tento kód je doplněn druhou částí pro plnou funkčnost, viz níže.

7.8.2. Druhá část kódu

Druhá část kódu obstarává akce po dvojkliku na buňku. Nejprve se opět deklarují proměnné. [30], [31], [28]

```
Private Sub Worksheet_BeforeDoubleClick(ByVal Target As Range,  
Cancel As Boolean)  
    Dim retez As String  
    Dim obj As OLEObject  
    Dim sesit As Worksheet  
    Dim list As Worksheet  
    Set sesit = ActiveSheet  
    Set list = Sheets("ZÁVITY")  
    Set obj = sesit.OLEObjects("zavol")  
  
    On Error Resume Next
```

Zde jsou vyčištěny vlastnosti interaktivního seznam prvku ActiveX na danou buňku a také je prvek skryt. [30], [31], [28]

```
        With obj  
            .ListFillRange = "    "  
            .LinkedCell = "    "  
            .Visible = False  
        End With  
  
    On Error GoTo chyba
```

Nejdůležitější částí kódu, jsou dva vnořené cykly pracující pouze, je-li proveden dvojklik na buňku obsahující seznam z ověřených dat. První cyklus ověřuje, je-li dvojklik proveden na seznam z ověřených dat (typ 3). Je-li zvolen seznam, tak aby bylo možné pracovat s tímto seznamem se nejprve načte rozsah buněk, ze kterého seznam čerpá, do proměnné *retez*. Dále se její hodnoty odebere první symbol, v tomto případě rovná se.

```
If Target.Validation.Type = 3 Then  
    Cancel = True  
    Application.EnableEvents = False  
    retez = Target.Validation.Formula1  
    retez = Right(retez, Len(retez) - 1)
```

Vnořený cyklus sám o sobě nastavuje vlastnosti prvku ActiveX. V tomto případě je prvek pojmenován *zavol*. Nejprve se zviditelní, a umístí se do rohu buňky. S tím, že pro lepší přehlednost byly jeho rozměry zvětšeny. Také do něj byl načtena hodnota z *retez*. [30], [31], [28]

```
With obj  
    .Visible = True  
    .Left = Target.Left  
    .Top = Target.Top  
    .Width = Target.Width  
    .Height = Target.Height + 5  
    .ListFillRange = retez  
    .LinkedCell = Target.Address  
End With
```

Po proběhnutí kódu přes vnořenou smyčku je prvek ActiveX aktivován.

```
obj.Activate  
End If
```

Tento kód byl vytvořen hlavně pro použití v případě volby závitů, jelikož je zde na výběr z 230 možností.

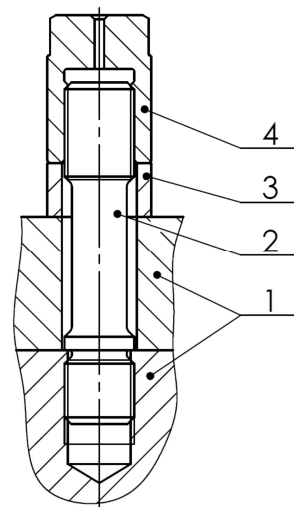
V další kapitole bude na příkladu ukázána funkčnost tohoto programu.

8. VÝPOČET UTAHOVACÍCH MOMENTŮ

V této části práce je na příkladu ukázána funkčnost programu. Dále jsou zde porovnány hodnoty utahovacích momentů šroubů dělicí roviny pro výše revidovanou turbínu Mitsubishi s utahovacími momenty použitými při montáži turbíny.

8.1. Příklad

Jako příklad poslouží šroub M52x5 – 200 ve vysokotlakové části s teplotou páry 400 °C. Dále se ve spoji nachází uzavřená matice a podložka. Dosedací plochy a plochy závitů jsou mazány pastou Molykote P37. Teplota okolí je 30 °C. Pro přesnější výpočet se uvažuje vrubový účinek.



Obr. 37 Ukázka – Spoj

Popis obrázku 37:

1. Skříň turbíny
2. Závrtný šroub
3. Podložka
4. Uzavřená matice

8.1.1. Vstupní hodnoty

Tab. 3 Vstupní hodnoty šroubu - příklad

Parametr	Hodnota
Závit volný konec	M52x5
Závit závrtný konec	M52x5
Délka volného závitu	70 mm
Délka závrtného závitu	55 mm
Délka volného konce	200 mm
Průměr dříku	41 mm
Průměr vývrtu	0 mm
Přechodový rádius ke dříku z volného závitu	5 mm
Přechodový rádius ke dříku ze závrtného závitu	5 mm

Tab. 4 Vstupní hodnoty matice - příklad

Parametr	Hodnota
Typ matice	uzavřená
Vnější průměr matice	78 mm
Délka závitu v matici	58 mm
Délka výběhu matice	12 mm
Výška matice	100 mm
Výška šestihranu	30 mm

Tab. 5 Vstupní hodnoty podložky - příklad

Parametr	Hodnota
Vnější průměr podložky	78 mm
Vnitřní průměr podložky	56 mm
Výška podložky	40 mm

Tab. 6 Vstupní hodnoty skříně - příklad

Parametr	Hodnota
Průměr otvoru pro šroub	56 mm
Výška příruby	100 mm
Hloubka odlehčení	0 mm

Tab. 7 Vstupní hodnoty spoje - příklad

Parametr	Hodnota
Utažení	Studený šroub
Teplota okolí	30 °C
Teplota páry	400 °C
Mazání závitů	Molykote P-37 (pasta)
Mazání dosedacích ploch	Molykote P-37 (pasta)
Výpočtová délka závitu	0,3*D
Tlakový kužel	40°
Zrychlený výpočet	ano

Jelikož materiálové vlastnosti skříně jsou neznámé, tak byl zvolen zrychlený výpočet. Toto je nejčastější situace v servisu parních turbín.

Tab. 8 Vstupní materiálové hodnoty - příklad

Parametr	Hodnota
Modul pružnosti šroubu při provozní teplotě	173 000 MPa
Modul pružnosti šroubu při 20 °C	206 000 MPa
Mez (smluvní) pružnosti při provozní teplotě	409 MPa

8.1.2. Výsledek

Po zadání hodnot do výpočtového programu je výsledek.

Výpočet utahovacího momentu šroubu		M52x5-200
za teploty 400 °C		
Poloha šroubu		1L
Mazací pasta – závit	Molykote P-37 (pasta)	
Mazací pasta - dosedací plochy	Molykote P-37 (pasta)	
Maximální utahovací moment		2316,51 Nm
Nový šroub		
Doporučený utahovací moment	1783,72	N/m
Úhel natočení matice	18,27	°
Délka natočení matice	12,44	mm
Prodloužení šroubu	0,18	mm
Starý šroub		
Doporučený utahovací moment	1516,16	N/m
Úhel natočení matice	15,53	°
Délka natočení matice	10,57	mm
Prodloužení šroubu	0,15	mm

8.2. Porovnání výsledků s původním programem

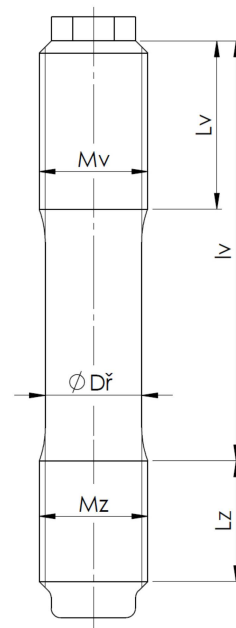
U turbíny Mitsubishi byla provedena kompletní výměna spojovacího materiálu dělicí roviny. Spojovací materiál byl navrhnut s přihlédnutím k původnímu, aby se minimalizovali úpravy provedené na skříni. Proto zde byly navrženy nové utahovací momenty. Tyto nové momenty jsou v této části práce porovnány s momenty vypočítanými programem dosud používaným zadavatelem této práce.

8.2.1. Vstupní hodnoty do programu

Jsou zadány vstupní hodnoty do programu pro výpočet utahovacího momentu. Nastavení programu je bez kontroly na napětí ve vrubu a je použit zrychlený výpočet, jelikož materiál skříňe je neznámý. Všechny šrouby jsou z materiálu 15320.6.

Tab. 9 Vstupní hodnoty pro šrouby DR Mitsubishi [1]

Poloha v DR	Závrtý konec		Volný konec		Délka volného konce závitů lv [mm]	Průměr dříku Dř [mm]
	Závit Mz	Délka Lz [mm]	Závit Mv	Délka Lv [mm]		
1	M45x3	60	M45x3	65	198	40
2,3	M50x3	69	M50x3	60	180	43
4	M50x3	68	M50x3	65	262	43
5	M56x4	74	M56x4	65	131	49
11,14	M36x3	59	M36x3	50	361	29
12,15	M36x3	59	M36x3	50	253	29
17-24	M30	50	M30	60	90	24
27-34	M30	40	M30	60	90	25

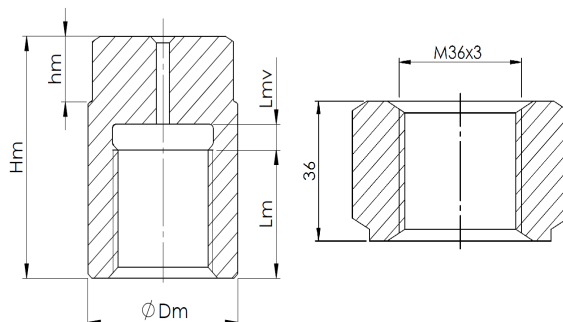


Obr. 38 Šroub - vstupní hodnoty

Tab. 10 Vstupní hodnoty pro matice DR Mitsubishi [1]

Poloha v DR	Typ matice	Vnější průměr Dm [mm]	Délka závitů Lm [mm]	Délka výběhu Lmv [mm]
1	Uzavřená	75	70	12
2,3	Uzavřená	75	70	12
4	Uzavřená	75	70	12
5	Uzavřená	85	70	12
11,14	Uzavřená	58	48	9
12,15	Uzavřená	58	52	9

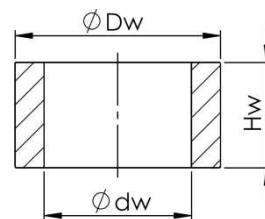
Matice pro šrouby 17 – 34 jsou otevřené matice podléhající normě ČSN 131530.2, viz. obrázek 32.



Obr. 39 Matice uzavřená (vlevo), otevřená (vpravo) - vstupní hodnoty

Tab. 11 Vstupní hodnoty pro podložky DR Mitsubishi [1]

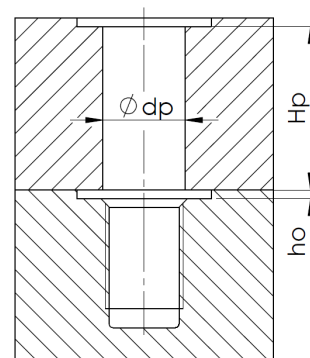
Poloha v DR	Vnější průměr D_w [mm]	Vnitřní průměr d_w [mm]	Výška H_w [mm]
1	75	52	10
2,3	75	52	10
4	75	52	10
5	85	60	10
11,14	56	37	10
12,15	56	37	10
17-24	54	33	10
27-34	54	33	10



Obr. 40 Podložka - vstupní hodnoty

Tab. 12 Vstupní hodnoty pro DR Mitsubishi [1]

Poloha v DR	Průměr otvoru d_p [mm]	Výška příruby H_p [mm]	Hloubka odlehčení h_o [mm]
1	48	117,4	25
2,3	118,4	56	0
4	202	56	0
5	70,5	62	0
11,14	320	40	0
12,15	207	40	0
17-24	39,5	34	0
27-34	39,5	34	0



Obr. 41 Příruba DR - vstupní hodnoty

Teploty pro skupinu spojovacího materiálu 1 – 5 je 350 °C, pro skupinu spojovacího materiálu 11– 34 je teplota 200 °C.

8.2.2. Výsledné momenty

Po dosazení vstupních hodnot pro jednotlivé skupiny spojovacího materiálu jsou výsledné hodnoty.

Tab. 13 Utahovací momenty vypočítané novým programem

Pozice v DR	Utažení pro nový šroub				Utažení pro starý šroub			
	Moment [Nm]	Úhel natočení [°]	Délka oblouku [mm]	Prodloužení šroubu [mm]	Moment [Nm]	Úhel natočení [°]	Délka oblouku [mm]	Prodloužení šroubu [mm]
1	2969,04	60,30	39,47	0,36	2535,04	51,26	33,55	0,31
2,3	3634,52	54,58	35,72	0,31	3089,34	46,39	30,36	0,27
4	3634,52	80,09	52,42	0,46	3089,34	68,08	44,56	0,39
5	5271,25	42,71	31,68	0,24	4480,56	36,31	26,93	0,21
11,14	1417,16	119,11	60,29	0,73	1204,59	101,25	51,25	0,62
12,15	1417,16	81,89	41,45	0,51	1204,59	69,61	35,23	0,44
17-24	867,84	20,67	8,30	0,21	737,66	17,57	7,05	0,18
27-34	941,66	21,08	8,46	0,21	800,41	17,92	7,19	0,18

Pro porovnání jsou níže vypsány původní hodnoty pro utažení jednotlivých skupin šroubů DR.

Tab. 14 Utahovací momenty vypočítané [1]

Pozice v DR	Utažení pro nový šroub				Utažení pro starý šroub			
	Moment [Nm]	Úhel natočení [°]	Délka oblouku [mm]	Prodloužení šroubu [mm]	Moment [Nm]	Úhel natočení [°]	Délka oblouku [mm]	Prodloužení šroubu [mm]
1	3200	48,15	31,51	0,29	2735,04	41,15	26,93	0,25
2,3	3600	45,77	29,96	0,27	3076,92	39,12	25,61	0,23
4	3600	67,17	43,97	0,41	3076,92	57,41	37,58	0,35
5	5000	34,30	25,44	0,20	4273,50	29,32	21,75	0,17
11,14	1300	99,86	50,54	0,62	1111,11	85,35	43,20	0,53
12,15	1300	68,66	34,75	0,42	1111,11	58,68	29,70	0,36
17-24	800	18,12	7,27	0,13	683,76	15,49	6,22	0,11
27-34	800	17,03	6,84	0,12	683,76	14,55	5,84	0,11

Rozdíly mezi úhly natočení, délky oblouku, prodloužení šroubu jsou způsobeny rozdílnými vstupními materiálovými hodnotami.

ZÁVĚR

Parní turbína je jeden ze špičkových strojů ve strojírenství, přesto však se neobejde bez nutnosti pravidelného servisu. Obvykle každá firma, která vyrábí parní turbíny má i vlastní servisní středisko, které vykonává pravidelné servisní opravy a revize parních turbín.

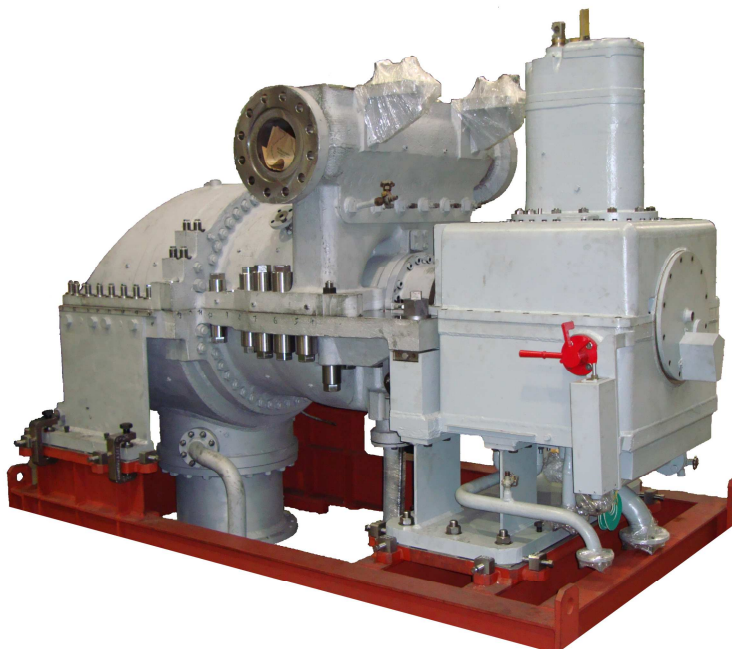
Součástí této práce je revizní zpráva generální opravy protitlakové parní turbíny Mitsubishi o výkonu 3,3 MW. Tato turbína byla uvedena do provozu v roce 1960 a má 230 000 odpracovaných provozních hodin, čemuž odpovídá i její stav.

Z revizní zprávy vyplívá, že **stator turbíny** byl silně poškozen korozí, která se nejsilněji projevila v průtočné části. Statorové lopatky i lopatky rozváděcího kola byly silně zkorodované a poškozeny průletem cizích těles. Ve statoru byly také zadřeny některé šrouby dělicí roviny. Proto byla provedena výměna spojovacího materiálu dělicí roviny.

Další silně poškozenou součástí byl **rotor**. Ze stavu rotoru vyplynulo, že je lepší celý rotor vyměnit, než ho opravovat. Proto byla vyměněna obě radiální ložiska za modernější typy. Axiální ložiska zůstala zachována, pouze byla přelita kompozice.

Impeler, který zajišťuje otáčkovou regulaci turbíny, byl poškozen. Zde byla přelita kompozice.

Co se regulace parní turbíny týče, **regulační ventily** byly sice v havarijním stavu, ale nebyly v zákaznickem požadovaném rozsahu. Proto zde byly provedeny nejnutnější opravy zajišťující bezpečný provoz. To samé platí i pro **rychlozávěrný ventil**, který se také nacházel v havarijním stavu.



Obr. 42 Opravená turbína Mitsubishi [1]

Turbína jako celek se před generální opravou nacházela v **havarijním stavu**. Po opravě a vyměnění všech poškozených částí, je turbína opět schopna provozu na parametrech jako při uvedení turbíny do provozu.

Jedny z nejčastěji měněných dílů během oprav je **spojovací materiál**. Správné dotažení spojovacího materiálu je stěžejní z hlediska bezpečnosti a provozu stroje. Proto byl v hlavní části práce navrhnout programu pro výpočet **utahovacího momentu** šroubů dělicí roviny. Tento program byl vytvořen v programu MS Excel, aby jeho použití bylo co nejvíce přívětivé z uživatelského hlediska. Do programu se zadají požadované vstupní hodnoty do listu Výpočet. Výstup z programu ve formě utahovacího momentu, úhlu natočení, velikosti opásání podložky a prodloužení šroubu, je poté shrnut v listu Tisk, a to jak pro utažení nového, tak i použitého šroubu.

Jak již bylo uvedeno, tak součástí generální opravy parní turbíny Mitsubishi byla i výměna spojovacího materiálu. Pro tento spojovací materiál byly navrženy utahovací momenty původním programem zadavatele práce pro výpočet utahovacích momentů.

Rozdíly mezi hodnotami vypočtenými novým (vytvořeným v rámci této diplomové práce) a původním programem (dosud používaným programem zadavatele této práce) spočívají v tom, že nový program používá aktuálnější a přesnější hodnoty třecích součinitelů jednotlivých mazacích hmot. Dále, že v novém programu jsou meze kluzu a modul pružnosti pro jednotlivé součásti určované v závislosti na teplotách jednotlivých součástí a ne z teploty páry. A v neposlední řadě, že rozměry závitů jsou počítány, což v programu Excel znamená s přesností na 15 číslic.

Tento program je dále možné rozvíjet a rozšířit o další interaktivní doplňkové moduly (výpočet dalších typů šroubů), popřípadě integrovat s některým z CAD programů pro přímou tvorbu spojovacího materiálu (modelů a výkresů).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] EKOL ENERGO S.R.O. *Firemní podklady*. Dostupné také z: <http://www.ekolenergo.cz/>
- [2] KUČERA, Jiří. 1985. *Návrh výpočtové normy pro výpočet přírubového spojení horizontální dělicí roviny skříňí parních turbín*. Brno. Závěrečná práce z postgraduálního studia
- [3] FIEDLER, Jan. 1983. *Příruby a šrouby skříňí parních turbín*.
- [4] Birkosít. 2013. *NOVATO* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.novato.cz/download/cz/BIRKOSIT%20-%20TL.pdf>
- [5] ŠVEC, Vladimír. 1997. *Části a mechanismy strojů: Spoje a části spojovací*. Praha: ČVUT.
- [6] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. 2010. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [7] KALÁB, Květoslav. 2014. *Části a mechanismy strojů: Spoje a části spojovací*. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [8] BICKFORD, John H. c2008-. *Introduction to the design and behavior of bolted joints*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, v. <1- >. ISBN 08-493-8176-2.
- [9] BSF (British Standard Fine) Thread Data. *British Tools & Fasteners* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://britishfasteners.com/threads/bsf.html>
- [10] BSW (British Standard Whitworth). *British Tools & Fasteners* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://britishfasteners.com/threads/bsw.html>
- [11] American National Standard vs. Unified Inch Standard. 2014. *Ring & Plug Screw Thread Gages* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.ring-plug-thread-gages.com/ti-N-vs-UN.htm>
- [12] ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ. 2010. *KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ strojní součásti: Předepjaté šroubové spoje* [online]. [cit. 2015-05-12].
- [13] LEHNHOFF, T. F., Kwang Il KO a M. L. MCKAY. 1994. Member Stiffness and Contact Pressure Distribution of Bolted Joints. *Journal of Mechanical Design* [online]. **116**(2): 550- [cit. 2015-05-12]. DOI: 10.1115/1.2919413. ISSN 10500472. Dostupné z: <http://MechanicalDesign.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1444131>
- [14] ROARK, Raymond J, Warren C YOUNG a Richard G BUDYNAS. *Roark's formulas for stress and strain*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, c2002, xii, 852 p. ISBN 007072542x.
- [15] NICRO Thermocup 1200: SPECIÁLNÍ MONTÁŽNÍ PASTA NA KOVOVÉ BÁZI. *MOTIP DUPLI s.r.o* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.motipdupli.cz/Data/files/TL%20Nicro/kl_nicro_1200.pdf
- [16] NICRO Thermocup 1500 Nuclear: Speciální montážní pasta pro jadernou energetiku. *MOTIP DUPLI s.r.o* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.motipdupli.cz/Data/files/TL%20Nicro/kl_nicro_1500.pdf
- [17] NICRO Thermocup 1400: SPECIÁLNÍ MONTÁŽNÍ PASTA NA KOVOVÉ BÁZI PRO NEREZOVÉ MATERIÁLY. *MOTIP DUPLI s.r.o* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.motipdupli.cz/Data/files/TL%20Nicro/kl_nicro_1400.pdf
- [18] Přehled produktů. *NOVATO* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.novato.cz/download/cz/NOV_katalog_11-12_08.pdf

- [19] Lubricant solution: for threaded connetions. 2013. *Ellsworth Adhesives* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <https://www.ellsworth.com/globalassets/literature-library/manufacturer/dow-corning/dow-corning-brochure-molykote-lubrication-solutions.pdf>
- [20] Screws & bolts: A lubrication guide. 2014. *Super Plus* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://superplus.ro/wp-content/uploads/2014/03/Schrauben-EN.pdf>
- [21] Copaltite High Pressure and High Temperature Sealing Compound. Esco Products, Inc [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.escopro.com/media/wysiwyg/pdf/copaltite-complete-usage-guide.pdf>
- [22] LOCTITE® 5972™. *PROPRUMYSL.CZ* [online]. 2006 [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://proprumysl.cz/soubory/297/Loctite-5972-technicky-list.PDF>
- [23] LOCTITE® 5399™. *Dimensor.cz* [online]. 2004 [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.dimensor.cz/editor/image/eshop_products_files/file_en_283.pdf
- [24] Deacon 770 Sealant - Liquid or Paste. *Allstate Gasket* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.allstategasket.com/info-sealant-deacon-770.asp>
- [25] Turbo Sealants at IGS Industries. IGS Industries [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.igsind.com/turbo-sealant/>
- [26] Vícešroubové předepínací prvky. Nord-Lock [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.nord-lock.com/cs/superbolt/superbolt/>
- [27] Structural Bolts. *Fastenal* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <https://www.fastenal.com/en/79/structural-bolts>
- [28] Data Validation Combo Box using Named Ranges. *Contextures* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.contextures.com/xlDataVal11.html>
- [29] ČSN 41 5320 (415320) A Ocel 15 320 Cr-Mo-V = Chromium-Molybdenum-Vanadium steel 15 320. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1978.
- [30] *Excel Help Forum* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.excelforum.com/>
- [31] Jak na Excel. *Microsoft EXCEL* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://office.lasakovi.com/excel/funkce/ms-excel-funkce-cz-en/>

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Značka	Jednotka	Význam
a	m	rozteč šroubů
A_s	m^2	výpočtový průřez závitu
α	m/N	pružnost spoje
α_k	°	úhel kužele pro výpočet tuhosti
α_p	°	úhel působíště síly
β_p	°	úhel působíště síly
C	-	tuhostní konstanta spoje
D	m	velký průměr šroubu
$d\Delta l$	m	elementární deformace kužele
d_1	m	vnitřní průměr matice
D_{1p}	m	vnitřní průměr skříně v dělicí rovině
d_2	m	střední průměr závitu
D_{2p}	m	vnitřní průměr stěny skříně
d_3	m	malý průměr závitu
$d_{dř}$	m	průměr dřívku šroubu
D_k	m	vnější průřez podložky nebo matice s uzavřenou hlavou
D_m	m	vnější průměr matice
d_{no}	m	průměr nahřívacího otvoru šroubu
d_p	m	průměr otvoru pro šroub v přírubě DR
$D_{vnější}$	m	vnější průřez elementárního prvku
D_w	m	vnější průřez podložky
d_w	m	vnitřní průřez podložky
Δf_i	N	parciální síla
Δl	m	prodloužení
Δx	m	parciální délka
δ_p	m	tloušťka stěny skříně
Δp	Pa	rozdíl vnitřního a vnějšího tlaku
dx	m	elementární tloušťka kužele
E	Pa	modul pružnosti v tahu
ξ	-	poměrné délkové prodloužení
f_a	N/m	liniová síla v bodě A
f_b	N/m	liniová síla v bodě B
f_c	N/m	liniová síla v bodě C
f_d	N/m	parciální síla v bodě D
f_d	-	součinitel tření dosedacích ploch
f_i	N/m	liniová síla
F_i	N	předpětí ve šroubu
F_s	N	síla ve šroubu
f_z	-	součinitel tření v závitech
g	m	šířka drážky v stěně turbínové skříně
γ	°	úhel natočení matice
H	m	výška trojúhelníku opisující závit
H_1	m	hloubka závitu

H_p	m	výška příruby
h_{pd}	m	hloubka drážky ve skříni
k	N/m	tuhost
k_1	m	vzdálenost odlehčení DR od vnitřního průměru skříně
k_2	m	vzdálenost odlehčení DR od vnějšího průměru skříně
$k_{dř}$	N/m	tuhost dřívku
k_m	N/m	tuhost matice
k_p	N/m	celková tuhost přírub
k_{sp}	N/m	tuhost spojovaných součástí
k_s	N/m	tuhost šroubu
k_w	N/m	tuhost podložky
k_{zav1}	N/m	tuhost volného závitu
k_{zav2}	N/m	tuhost závrtného závitu
l	m	délka před natěžením vzorku
l_2	m	délka po natažení vzorku
$l_{dř}$	m	délka dřívku šroubu
l_j	m	výška odlehčení v DR
l_p	m	výpočtová výška pro tuhost příruby
l_w	m	výška podložky
l_{zav1}	m	výpočtová délka volného závitu
l_{zav2}	m	výpočtová délka závrtného závitu
M	Nm	celkový utahovací moment
M_0	Nm	moment tlakových sil
M_D	Nm	třecí moment v dosedacích plochách pro vyvolání předpětí
m_p	m	vzdálenost osy šroubu od osy skříně v dělicí rovině
M_{tr}	Nm	třecí moment v závitech pro vyvolání předpětí
n	m	šířka odlehčení
n_1	m	vzdálenost osy šroubu od okraje odlehčení
n_2	m	vzdálenost osy šroubu od okraje odlehčení
P_p	N	síla od tlaku páry na přírubu
P	m	stoupání závitu
p_{in}	Pa	vnitřní tlak v turbíně
p_{out}	Pa	vnější tlak v turbíně
P_p	N	provozní síla
P_s	N	část provozní síly na šroub
P_{sp}	N	část provozní síly na spojované součásti
p_{ta}	Pa	těsnící tlak v bodě A
p_{tb}	Pa	těsnící tlak v bodě B
p_{tc}	Pa	těsnící tlak v bodě C
p_{td}	Pa	těsnící tlak v bodě D
Q_2	N	síla od tlaku páry na stěnu skříně
r	m	zaoblení závitu u hřebene a kořene
R_1	N	těsnící síla
R_2	N	těsnící síla
R_p	m	střední průměr stěny skříně
R_{p02}	Pa	Mez kluzu

S	m^2	plocha elementárního prvku
S_d	m	rozteč jedné drážky s mezerou
$S_{dř}$	m^2	průřez dřívku
S_m	m^2	průřez matice
S_{min}	m^2	minimální průřez šroubu
S_p	m^2	plocha průřezu stěny skříně
S_w	m^2	průřez podložky
S_Y	m^3	statický moment průřezu stěny skříně
S_{zav1}	m^2	průřez volného konce závitu
S_{zav2}	m^2	průřez závrtného konce závitu
σ	Pa	napětí
σ_{Smin}	Pa	Minimální napětí ve šroubu
t	m	vzdálenost působíště síly od průsečíku osy šroubu s DR
u_p	m	rameno síly
v	m	rameno síly
x_F	m	těžiště síly
z_1	m	rameno těsnící síly
z_2	m	rameno těsnící síly

SEZNAM POUŽITÝCH SYMOLŮ

Značka Význam

BO	běžná oprava
BSF	British standard fine
BSW	British standard Withworth
CAD	computer-aided design
DR	dělicí rovina
EHR	elektro-hydraulická regulace
go	generální oprava
KUP	kondenzátor ucpávkové páry
M	metrický závit
MS	Microsoft Office
PLS	přední ložiskový stojan
PPU	přední parní ucpávka
PSB	První brněnská strojírna
RS	regulační stupeň
RV	regulační ventil
RZV	rychložávěrný ventil
SO	střední oprava
UN	Unified national
UNC	Unified national s hrubou roztečí
	Unified national s extra jemnou proměnnou
UNEF	roztečí
UNF	Unified national s jemnou roztečí
UNS	Unified national s konstantní roztečí
VBA	Visual Basic for Application
VP	vyrovnávací píst
ZLS	zadní ložiskový stojan
ZPU	zadní parní ucpávka

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Původní řez parní turbínou Mitsubishi [1].....	23
Obr. 2 Vršek turbínové skříně, dýzové kolo a nosiče lopatek [1]	25
Obr. 3 Ventilová komora [1]	26
Obr. 4 Spodek turbínové skříně [1]	27
Obr. 5 Statorové kruhy [1].....	29
Obr. 6 Přední parní ucpávka [1].....	30
Obr. 7 Parní ucpávka vyrovnávacího pístu [1]	31
Obr. 8 Zadní parní ucpávka [1]	32
Obr. 9 Rotor [1]	33
Obr. 10 Lopatky [1]	34
Obr. 11 Přední ložiskový stojan [1]	35
Obr. 12 Axiální ložiska [1]	37
Obr. 13 Přední radiální ložisko [1].....	37
Obr. 14 Zadní ložiskový stojan, radiální ložisko, olejové ucpávky [1].....	40
Obr. 15 Víko ventilové komory, regulační ventily, křížáky [1]	41
Obr. 16 Těleso RZV [1]	43
Obr. 17 Kuželka RZV [1]	44
Obr. 18 Kondenzátor ucpávkové páry.....	45
Obr. 19 Izolace parní turbíny	45
Obr. 20 Pohled na turbínovou skříň [1]	48
Obr. 21 Řez turbínovou skříní.....	50
Obr. 22 Řez stěnou skříně s otvory pro nosiče	51
Obr. 23 Liniové zatížení obecně (vlevo), v případě DR	52
Obr. 24 Tvorba závitu [7]	57
Obr. 25 Metrický závit [12]	59
Obr. 26 Whitworthův závit [7].....	61
Obr. 27 Spoj pevnostní a namáhaný na stříh [8].....	62
Obr. 28 Tlakový kužel [6]	66
Obr. 29 Rozložení napětí v přírubě [12]	67
Obr. 30 Síly působící na závrtný šroub [6].....	69
Obr. 31 Diagram silových poměrů u předepjatého spoje [12]	70
Obr. 32 Improvizované nahřívání šroubu při povolování [1].....	72
Obr. 33 Utahování pomocí Superbolt [26].....	73
Obr. 34 Použití Twist of šroubu [27]	74
Obr. 35 Listy programu pro výpočet utahovacího momentu	75
Obr. 36 Interpolační tabulka.....	76
Obr. 37 Ukázka – Spoj.....	83
Obr. 38 Šroub - vstupní hodnoty.....	86
Obr. 39 Matice uzavřená (vlevo), otevřená (vpravo) - vstupní hodnoty	86
Obr. 40 Podložka - vstupní hodnoty.....	87
Obr. 41 Příruba DR - vstupní hodnoty.....	87
Obr. 42 Opravená turbína Mitsubishi [1]	89

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Seznam nutných oprav	46
Tab. 2 Seznam doporučených oprav.....	47
Tab. 3 Vstupní hodnoty šroubu - příklad	83
Tab. 4 Vstupní hodnoty matice - příklad	83
Tab. 5 Vstupní hodnoty podložky - příklad	83
Tab. 6 Vstupní hodnoty skříně - příklad.....	84
Tab. 7 Vstupní hodnoty spoje - příklad.....	84
Tab. 8 Vstupní materiálové hodnoty - příklad.....	84
Tab. 9 Vstupní hodnoty pro šrouby DR Mitsubishi [1]	86
Tab. 10 Vstupní hodnoty pro matice DR Mitsubishi [1].....	86
Tab. 11 Vstupní hodnoty pro podložky DR Mitsubishi [1]	87
Tab. 12 Vstupní hodnoty pro DR Mitsubishi [1]	87
Tab. 13 Utahovací momenty vypočítané novým programem	88
Tab. 14 Utahovací momenty vypočítané [1]	88

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 – Fotodokumentace stavu turbíny Mitsubishi před opravou
- Příloha 2 – Fotodokumentace stavu turbíny Mitsubishi po opravě
- Příloha 3 – Lopatkový plán turbíny Mitsubishi
- Příloha 4 – Program pro výpočet utahovacího momentu (CD)