

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Rekonstrukce kondenzační turbíny na protitlakou

Autor: **Bc. Vojtěch LEGÁT**

Vedoucí práce: **Dr. Ing. Jaroslav Synáč**

Konzultant: **Ing. Jan Čulík**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch LEGÁT**
Osobní číslo: **S18N0022P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**
Téma práce: **Rekonstrukce kondenzační turbíny na protitlakou**
Zadávající katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

Zásady pro vypracování

Třítělesová kondenzační parní turbína o výkonu 110 MW má být rekonstruována na protitlakovou turbínu. Kromě úpravy regenerace, provedení návrhu průtočné části, vyřešte vyvedení tepla z turbíny pro horkovod.

Obsah diplomové práce:

1. Proveďte bilanční výpočet tepelného cyklu turbíny s použitím zadaných parametrů. Určete hmotnostní průtok, tlak, teplotu a entalpie páry i kondenzátu v uzlech cyklu.
2. Následně proveďte základní návrh průtočné části s využitím výsledků bodu 1) a dalších zadaných a vhodně zvolených parametrů. Určete počty stupňů obou dílů turbíny, počty a délky rozváděcích a oběžných lopatek a patní průměry stupňů.
3. Porovnejte výsledek rekonstrukce, nové řešení protitlakové turbíny s původní kondenzační parní turbínou, zhodnoťte rozdíly v navrženém návrhu.
4. Vypracujte základní pevnostní výpočet a konstrukční návrh úpravy zadní části původního středotlakového dílu turbíny tak, aby tento uzel pevnostně vyhovoval novým provozním požadavkům.
5. K zadání diplomové práce poskytnete konzultant potřebné přílohy s technickými údaji.

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **bilanční schéma cyklu, výkres konstrukčních úprav středotlakého dílu**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- ŠČEGLAJEV, A. V. *Parní turbíny*: SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1983
- ŠKOPEK, Jan. *Tepelné turbíny a turbokompresory*: Západočeská univerzita v Plzni 2010, ISBN 978-80-7043-862-6
- ŠKOPEK, Jan. *Parní turbína - Tepelný a pevnostní výpočet*: Západočeská univerzita v Plzni 2003, ISBN 80-7043-256-X

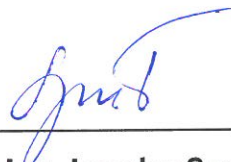
Vedoucí diplomové práce: **Dr. Ing. Jaroslav Synáč**
Katedra energetických strojů a zařízení

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jan Čulík**
Doosan Škoda Power

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Dr. Ing. Jaroslav Synáč
vedoucí katedry

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Legát	Jméno Vojtěch		
STUDIJNÍ OBOR	Stavba energetických strojů a zařízení			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Dr. Ing. Synáč	Jméno Jaroslav		
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KKE			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Rekonstrukce kondenzační turbíny na protitlakou			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	139	TEXTOVÁ ČÁST	121	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	-----	---------------------	-----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS	<p>Práce pojednává o možnostech rekonstrukce kondenzační turbíny na protitlakou. Nejprve je proveden výpočet tepelného schématu podle zadaných parametrů. Je proveden základní návrh průtočné části zcela nové turbíny na základě spočteného tepelného schématu a následně je průtočná část pevnostně zkontrolována. Dále jsou zhodnoceny rozdíly mezi původní turbínou a nově navrženou. Nakonec je navrženo a pevnostně zkontrolováno řešení, které umožňuje provozovat turbínu za zadaných změněných podmínek a vyžaduje co nejmenší zásah do původního provedení turbíny.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>Parní turbína, rekonstrukce, tepelné schéma, průtočná část, pevnostní kontrola, turbína za změněných podmínek</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Legát	Name Vojtěch	
FIELD OF STUDY	Design of Power Machines and Equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Dr. Ing. Synáč	Name Jaroslav	
INSTITUTION	ZČU – FST – KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Reconstruction of a turbine with condenser to a back pressure turbine		

FACULTY	Mechanical engineering	DEPARTMENT	KKE	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	139	TEXT PART	121	GRAPHICAL PART	18
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----


BRIEF DESCRIPTION	<p>The thesis deals with a reconstruction of a turbine with condenser into a back pressure turbine. First of all the heat balance diagram (HBD) is calculated according to entered values. Based on the calculated HBD the flow part is designed and a basic strength check is performed. Differences between old and new design are compared and evaluated. On the end another solution of reconstruction is introduced, which do not need any substantial changes compared to original design.</p>
KEY WORDS	<p>Steam turbine, reconstruction, heat balance diagram, flow part, strength check, changed running condition of turbine</p>

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne: 10.4.2020


.....
podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji Dr. Ing. Jaroslavu Synáčovi a Ing. Janu Čulíkovi za bezmeznou ochotu při poskytování rad, informací a zdrojů k vypracování této práce. Další díky patří také členům mé rodiny za podporu mé činnosti nejen během studií.

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Výpočet tepelného schématu	13
2.1	Výpočet expanze ve VT a ST dílu turbíny	13
2.2	Určení optimálního místa odběru pomocí indiferentního bodu.....	16
2.3	Výpočet regenerace a napájecí nádrže.....	17
2.3.1	Upravení místa v odběru podle koncového teplotního rozdílu v NTO	19
2.3.2	Bilance v NN.....	19
2.3.3	Bilance v NTO	20
2.4	Ohřátí napájecí vody v NČ	20
2.5	Elektrický a tepelný výkon	21
3	Výpočet průtočné části turbíny	24
3.1	Výpočet základních rozměrů průtočné VT části	24
3.1.1	Orientační určení počtu stupňů	24
3.1.2	Základní parametry průtočného kanálu.....	25
3.2	Výpočet základních rozměrů průtočné ST části	32
3.3	Rychlostní trojúhelníky	34
4	Základní pevnostní výpočet	38
4.1	Rozváděcí kola	38
4.1.1	Namáhání RK.....	38
4.1.2	Průhyb RK.....	39
4.1.3	Namáhání rozváděcích lopatek	39
4.2	Oběžné lopatky	40
4.2.1	Namáhání na ohyb od přenášeného výkonu.....	40
4.2.2	Namáhání na tah.....	42
4.2.3	Uložení oběžných lopatek	43
5	Porovnání nového návrhu turbíny se stávajícím	48
5.1	Rozdíly v tepelném schématu.....	48
5.2	Rozdíly v konstrukčním řešení	49
6	Původní řešení turbíny za změněných podmínek	54
6.1	Změna tlaku před stupněm v závislosti na tlaku za stupněm	54
6.2	Základní pevnostní výpočet při změněných podmínkách	58
7	Závěr	61
8	Zdroje.....	63

9	Seznam obrázků	64
10	Seznam tabulek	65
11	Seznam příloh.....	65

Seznam použitých zkratk a symbolů

VT		vysokotlaký díl turbíny
ST		středotlaký díl turbíny
OTV		ohřívák teplé vody
NTO		nízkotlaký ohřívák
VT		vysokotlaký ohřívák
NN		napájecí nádrž
KKP		kondenzátor komínkové páry
KUP		kondenzátor ucpávkové páry
NV		napájecí voda
NČ		napájecí čerpadlo
RK		rozdávěcí kolo
RL		rozdávěcí lopatky
OL		oběžné lopatky
p_1	[Pa]	tlak admisní páry
p_2	[Pa]	tlak páry na výstupu z VT
p_3	[Pa]	tlak páry na vstupu do ST
p_{ind}	[Pa]	tlak páry v indiferentním bodu
p_{od}	[Pa]	tlak páry v místě odběru
p_{sat}	[Pa]	tlak sytosti
p_4	[Pa]	tlak páry na výstupu z ST
p_5	[Pa]	tlak páry na vstupu do OTV
p_6	[Pa]	tlak kondenzátu na výstupu z OTV
p_{NV}	[Pa]	tlak napájecí vody v NN
p_9	[Pa]	tlak NV na sání NČ
p_{10}	[Pa]	tlak NV na výtlaku NČ
t_1	[°C]	teplota admisní páry
t_2	[°C]	teplota páry na výstupu z VT
t_3	[°C]	teplota páry na vstupu do ST
t_{od}	[°C]	teplota páry v místě odběru
t_{sat}	[°C]	teplota sytosti
t_4	[°C]	teplota páry na výstupu z ST
t_5	[°C]	teplota páry na vstupu do OTV
t_6	[°C]	teplota kondenzátu na výstupu z OTV
t_7	[°C]	teplota kondenzátu před vstupem do NTO
t_8	[°C]	teplota kondenzátu před vstupem do NN
t_9	[°C]	teplota NV na sání NČ
t_{10}	[°C]	teplota NV na výtlaku NČ
t_{NV}	[°C]	teplota napájecí vody
T_1	[K]	absolutní teplota admisní páry
T_2	[K]	absolutní teplota páry na výstupu z VT
T_3	[K]	absolutní teplota páry na vstupu do ST
T_4	[K]	absolutní teplota páry na výstupu z ST
T_5	[K]	absolutní teplota páry na vstupu do OTV

T_6	[K]	absolutní teplota kondenzátu na výstupu z OTV
Δt	[°C], [K]	koncový teplotní rozdíl v OTV
$\Delta t_{NTO\ konc}$	[°C], [K]	koncový teplotní rozdíl v NTO
Δt_{NTO}	[°C], [K]	ohřátí kondenzátu v NTO
Δt_{NN}	[°C], [K]	ohřátí v kondenzátu v NN
$\Delta t_{NČ}$	[°C], [K]	ohřátí NV v NČ
h_1	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie admisní páry
h_{2iz}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na výstupu z VT při izentropické expanzi
h_2	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na výstupu z VT
h_3	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na vstupu do ST
h_{ind}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie indiferentního bodu
h_{od}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie v místě odběru
h_4	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na výstupu z ST
h_{4iz}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na výstupu z ST při izentropické expanzi
h_5	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na vstupu do OTV
h_6	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie kondenzátu na výstupu z OTV
h_7	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie kondenzátu na vstupu do NTO
h_8	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie kondenzátu na vstupu od NN
h_9	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie NV na sání NČ
h_{10iz}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie NV na výtlaku NČ při izentropické kompresi
h_{10}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie NV na výtlaku NČ
h_{11}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry na vstupu do NTO
h_{12}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie zkondenzované páry na výstupu z NTO
h_{13}	[J · kg ⁻¹]	měrná entalpie páry vyhřívající NN
s_1	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entropie admisní páry
s_2	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entropie páry na výstupu z VT
s_3	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entropie páry na vstupu do ST
s_{od}	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entropie v místě odběru
s_4	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entropie páry na výstupu z ST
s_5	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entropie páry na vstupu do OTV
s_6	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entalpie kondenzátu na výstupu z OTV
s_9	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	měrná entalpie NV na sání NČ
$\xi_{VT\ ST}$	[-]	tlaková ztráta mezi VT a ST
$\xi_{ST\ OTV}$	[-]	tlaková ztráta mezi ST a OTV
ξ_{kot}	[-]	tlaková ztráta kotle
η_{VT}	[-]	vnitřní termodynamická účinnost VT
η_{ST}	[-]	vnitřní termodynamická účinnost ST
η_{el}	[-]	elektrická účinnost generátoru
η_m	[-]	mechanická účinnost turbosoustrojí
η_{VTind}	[-]	tepelná účinnost expanze ve VT
η_{NTO}	[-]	účinnost NTO
$\eta_{NČ}$	[-]	účinnost NČ
q_T	[-]	součinitel zpětného využití tepla
$\left(\frac{u}{c_0}\right)_{opt}$	[-]	optimální poměr rychlostí

φ	[-]	rychlostní součinitel
ε_r	[-]	součinitel zaplnění výstupního průřezu tloušťkou lopatek
\dot{m}_{VT}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok ve VT
\dot{m}_{ST1}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok ve ST k odběru
\dot{m}_{ST2}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok ve ST za odběrem
\dot{m}_{NN}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok páry v odběru do NN
\dot{m}_{NTO}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok páry v odběru pro NTO
\dot{m}_{VTp}	$[kg \cdot s^{-1}]$	únik VT přední ucpávkou
\dot{m}_{VTz}	$[kg \cdot s^{-1}]$	únik VT zadní ucpávkou
\dot{m}_{STp}	$[kg \cdot s^{-1}]$	únik ST přední ucpávkou
\dot{m}_{OTV}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok ohřívané vody v OTV
\dot{y}_{NN}	[-]	bezrozměrný hmotnostní průtok páry v odběru do NN
\dot{y}_{NTO}	[-]	bezrozměrný hmotnostní průtok páry v odběru do NTO
P_{VT}	[W]	výkon VT
P_{ST}	[W]	výkon ST
P_i	[W]	vnitřní výkon turbíny
P	[W]	elektrický výkon turbosoustrojí po započítání η_{el} a η_m
n	$[min^{-1}]$	otáčky turbíny

Zbývající nevedené zkratky a symboly jsou vysvětleny v textu.

1 Úvod

Parní turbína, která má být rekonstruována a jíž se tato práce týká, je součástí Elektrárny Mělník II patřící nyní skupině ČEZ. Nejprve pro ucelenou představu bude věnováno pár odstavců historii elektrárny. Elektrárenský komplex se nachází přibližně 13 kilometrů jižně od soutoku Labe a Vltavy. Komplex se skládá z tří celků Elektrárna Mělník I (EMĚ I), EMĚ II a EMĚ III, vybudovaných v rozmezí 60. a 70. let 20. století. V současné době je instalovaný výkon v jednotlivých celcích popořadě 4x60MW, 2x110MW, 1x500MW. [1]

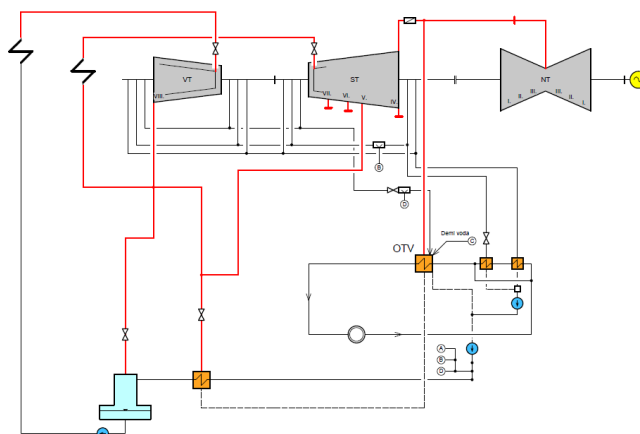
Elektrárna Mělník II byla původně tvořena čtyřmi bloky. Během provozu byla zařízení postupně rekonstruována, především ta na čištění spalin. U všech bloků byla provedena rekonstrukce elektroodlučovačů. Po nabytí nové ekologické legislativy od roku 1999, se došlo k rozhodnutí nadále provozovat pouze dva bloky z původních čtyř. V letech 1994 – 1996 prošly dva perspektivní bloky celkovou rekonstrukcí. Byly nainstalovány nové kondenzační turbíny s možností odběru jak horké vody, tak páry, došlo k obměně řídicího systému, kompletně se zrekonstruoval kotel a zavedlo se odsířování pomocí vápenné vypírky. [1]

V souvislosti s narůstající potřebou tepla v nedaleké Praze, se rozhodlo pro předělání jedné 110 MW kondenzační turbíny na protitlakou, což je předmětem této práce.

Původní turbína je třítělesová s VT, ST a dvouproudým NT dílem s přihříváním mezi VT a ST dílem. Kompletní tepelné schéma je uvedeno v příloze 1, během následujících vět bude stručně popsáno. Na výstupu z VT je vyveden první odběr pro ohřev NN a pro nejvyšší VTO, z ST jsou vyvedeny čtyři odběry, do druhého tlakově nižšího VTO pak opět do NN a nakonec do dvou NTO. Zbylé tři NTO jsou vyhřívány parou z NT dílu. Dále, co se týče ohřevu kondenzátu, je na jeho trase umístěn jeden KKP a jeden KUP, KKP je mezi kondenzátním čerpadlem a prvním NTO, KUP je pak za druhým NTO.

Rekonstrukce spočívá nahrazením kondenzátoru ohřívákem topné vody (OTV), který nevznikne pouze předěláním stávajícího kondenzátoru, ale bude zkonstruován zcela nový výměník a bude umístěn do strojovny na místo původního kondenzátoru. Jelikož již nebude třeba NT dílu, tak se NT rotor odlopatkuje a obrobí, nadále bude sloužit jako pouhá spojka mezi ST dílem a generátorem. S ohledem na maximalizaci tepelného výkonu se veškeré VTO odstraní, stejně tak i NTO s výjimkou toho nejvyššího NTO, který bude zajišťovat přiměřené ohřátí kondenzátu před NN. KKP a KUP nejsou již na trase kondenzátu, ale na trase topné vody před vstupem do OTV, což zajišťuje dostatečně chladnou vodu pro jejich chlazení. Nové tepelné schéma je uvedeno na obrázku 1.

Práce obsahuje popis tepelného a pevnostního výpočtu při návrhu zcela nové turbíny s respektováním některých omezení, která jsou dána tím, že se jedná o rekonstrukci stávající turbíny. Některé hodnoty, předpoklady či konstrukční řešení musí být totožné se starou turbínou, jako jsou například místa vyvedení odběrů, počty stupňů, omezení dané velikostí tělesa a další, které budou zmíněny v průběhu práce. Nejprve je vypracováno nové tepelné schéma, pak následuje výpočet parametrů páry v průtočné části a geometrických rozměrů turbíny, následně je provedeno porovnání starého provedení s nově navrženým. Na závěr je navrženo řešení rekonstrukce turbíny, které vyžaduje co nejméně úprav oproti původnímu stavu.



Obrázek 1 - Nové tepelné schéma

2 Výpočet tepelného schématu

2.1 Výpočet expanze ve VT a ST dílu turbíny

Zadané parametry jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 - Tabulka zadaných parametrů pro výpočet tepelného schématu

	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Množství admisní páry	m_ad	96.389	kg/s
Tlak admisní páry	p_1	127.5	bar
Teplota admisní páry	t_1	535	°C
Tlak přehřáté páry	p_3	32.5	bar
Teplota přehřáté páry	t_3	535	°C
Tlaková ztráta mezi VT a ST	eta_VTST	0.1	-
Teplota napájecí vody	t_NV	158	°C
Tlaková ztráta mezi ST a OTV	eta_STOTV	0.03	-
Únik VT přední ucpávkou	m_VTp	2.1667	kg/s
Únik VT zadní ucpávkou	m_VTz	1.25	kg/s
Únik ST přeni ucpávkou	m_STp	0.69444	kg/s
Teplota topné vody na vstupu od OTV	t_14	50	°C
Teplota topné vody na výstupu z OTV	t_15	90	°C
Koncový teplotní rozdíl OTV (TTD OTV)	delta_t	4	°C

Výpočet byl proveden v softwaru Matlab, který sice není volně dostupný, ale umožňuje větší volnost a přehlednost při provádění iteračních výpočtů. Vypracovaný skript je také možné spustit v softwaru Octave, který už je volně dostupný. K získání parametrů vody a vodní páry byly použity volně dostupné parní tabulky XSteam dle formulace IAPWS IF97 od firmy X-eng.

Pro výpočet tepelného cyklu je nejprve nutné si ze zadané teploty a tlaku admisní páry určit i zbylé potřebné parametry.

$$h_1(p_1; t_1); s_1(p_1; t_1) \quad (2.1)$$

Dále je určen tlak na výstupu z VT dílu p_2 , podle zadaného tlaku přehřáté páry a zadané tlakové ztráty ξ_{VTST} mezi výstupem z VT dílu a vstupem do ST dílu. Tlaková ztráta je zde především z důvodu zařazení přehříváku, který tvoří oproti parovodům podstatně větší část tlakové ztráty.

$$p_2 = \frac{p_3}{(1 - \xi_{VTST})} \quad (2.2)$$

Ze zjištěného tlaku na výstupu z VT dílu turbíny je možné za předpokladu izentropické expanze určit další potřebné parametry a zároveň i izentropický entalpický spád H_{0VTiz} ve VT dílu.

$$h_{2iz}(p_2; s_1); t_{2iz}(p_2; s_1); s_2 = s_1; H_{0VTiz} = h_1 - h_{2iz} \quad (2.3)$$

Hmotnostní průtok VT dílem \dot{m}_{VT} je menší než admisní hmotnostní průtok \dot{m}_1 o únik přední vysokotlakou ucpávkou \dot{m}_{VTp} .

$$\dot{m}_{VT} = \dot{m}_1 - \dot{m}_{VTp} \quad (2.4)$$

Hmotnostní průtok na výstupu z VT dílu \dot{m}_2 je menší o únik vysokotlakou přední \dot{m}_{VTp} a zadní ucpávkou \dot{m}_{VTz} oproti hmotnostnímu průtoku admisní páry \dot{m}_1 .

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - \dot{m}_{VTp} - \dot{m}_{VTz} \quad (2.5)$$

Následně hmotnostní průtoky ST dílem do odběru a od odběru k NTO \dot{m}_{ST1} a \dot{m}_{ST2} se určí:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ST1} &= \dot{m}_2 - \dot{m}_{STp} - \dot{m}_{NN}, \\ \dot{m}_{ST2} &= \dot{m}_{ST1} - \dot{m}_{NTO} - \dot{m}_{NN}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Pro výpočet skutečných parametrů na konci expanze je nutné znát účinnost turbíny. Účinnosti byly zvoleny odhadem po konzultaci a po provedení celého výpočtu zpřesněny viz tabulka 2.

Tabulka 2 - Tabulka zvolených a odhadnutých parametrů pro výpočet tepelného schématu

	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Účinnost VT dílu	eta_VT	0.8504	-
Účinnost ST dílu	eta_ST	0.922	-
Účinnost OTV	eta_OTV	0.99	-
Účinnost NTO	eta_NTO	0.99	-
Účinnost NČ	eta_NČ	0.75	-
Mechanická účinnost turbosoustrojí	eta_M	0.995	-
Účinnost elektrického generátoru	eta_EL	0.987	-

Při započítání neizentropické expanze se parametry na výstupu z VT dílu a skutečný entalpický spád určí následovně:

$$h_2 = h_1 - \eta_{VT} \cdot H_{0VTiz}; s_2(p_2; h_2); t_2(p_2; h_2). \quad (2.7)$$

Skutečný entropický spád je:

$$H_{0VT} = \eta_{VT} \cdot H_{0VTiz}. \quad (2.8)$$

Dále je třeba určit parametry přihřáté páry ze zadaných hodnot:

$$h_3(p_3; t_3); s_3(p_3; t_3). \quad (2.9)$$

Pro určení hmotnostního průtoku přehřáté páry je nutné znát množství páry odebrané k vyhřívání napájecí nádrže. Tento hmotnostní průtok bude určen později.

Pro určení expanze v ST dílu je nutné znát tlak, kde expanze skončí. Tento tlak není zadán, nicméně jej zjistit lze. Tlak na výstupu z ST dílu je při provozu určen schopností OTV uchládit hmotnostní tok páry vystupující z turbíny. Jsou zadány teploty ohřívání vody na vstupu a výstupu z ohříváku teplé vody t_{14} ; t_{15} . Dále je určen koncový teplotní rozdíl Δt v OTV. To znamená rozdíl mezi teplotou ohřívání vody na výstupu z OTV t_{15} a teplotou sytosti páry t_{5sat} odpovídající tlaku sytosti p_5 uvnitř OTV. Z těchto poznatků lze určit teplotu t_{5sat} :

$$t_{5sat} = t_{15} + \Delta t. \quad (2.10)$$

Na základě znalosti teploty t_{5sat} je možné určit tlak uvnitř výměníku.

$$p_5(t_{5sat}) \quad (2.11)$$

Jelikož je koncový teplotní rozdíl brán za rozdíl kondenzační teploty páry a nejvyšší teploty ohřívání vody, je tento způsob získání tlaku zcela správný.

Ze zjištěného tlaku na vstupu do OTV a zadané tlakové ztráty mezi ST dílem a OTV je možné určit parametry páry na konci izentropické expanze v ST dílu a izentropický entalpický spád:

$$p_4 = \frac{p_5}{(1 - \xi_{ST OTV})}; h_{4iz}(p_4; s_3); s_{4iz} = s_3; t_{4iz}(p_4; s_3), \quad (2.12)$$

$$H_{0STiz} = h_3 - h_{4iz}.$$

Obdobně jako tomu bylo u VT dílu, je určen průběh skutečné expanze tj. se započítáním termodynamické účinnosti ST dílu η_{ST} . Účinnost ST dílu je opět odhadnuta na základě předchozích zkušeností. Obecně platí, že účinnost ST dílu je vyšší než VT dílu, jelikož jsou zde delší lopatky díky pokročilé expanzi páry. Krátké lopatky zapříčiňují velké ztráty z důvodu velkého vlivu změny proudění u paty a špičky lopatek, u delších lopatek tento vliv stále je, avšak díky větší délce lopatky nejsou vlivy tak patrné. Na druhou stranu u koncových stupňů turbíny se pára vyskytuje v oblasti mokré páry, a tudíž se zde projeví ztráty vlhkostí páry. To se ale týká především NT dílu. Jelikož v tomto případě pára z ST dílu odchází s vyššími parametry (jak se ve výpočtu tepelného schématu potvrdí) expanze v ST dílu skončí v oblasti přehřáté páry. Parametry páry na výstupu z ST jsou:

$$h_4 = h_3 - \eta_{ST} \cdot H_{0STiz}; s_4(p_4; h_4); t_4(p_4; h_4), \quad (2.13)$$

skutečný entropický spád je:

$$H_{0ST} = \eta_{ST} \cdot H_{0STiz}. \quad (2.14)$$

Pro určení hmotnostního průtoku páry je nutné znát hmotnostní průtok páry odebraný pro regenerační ohřívák. Tento hmotnostní průtok bude určen později.

Při znalosti tlaku na vstupu do OTV a za předpokladu že pára proudí v přívodním parovodu izentalpicky, jsou parametry páry na vstupu do OTV:

$$t_5(p_5; h_4); h_5 = h_4; s_5(p_5; t_5). \quad (2.15)$$

Po vstupu do OTV pára chladne a kondenzuje za předávání tepla ohřívání vodě. Tlaková ztráta v OTV ξ_{OTV} je zanedbána. Tlak na výstupu z OTV se předpokládá stejný jako na vstupu do OTV. Tento předpoklad není zcela správný avšak běžně používaný. Tlak kondenzátu za kondenzátními čerpadly není příliš podstatný, jelikož vliv tlaku na parametry kondenzátu je zanedbatelný, proto nebude uveden.

$$p_6 = p_5 \quad (2.16)$$

Teplota, entropie a entalpie kondenzátu se určí na základě tlaku p_6 jako hodnoty na levé mezní křivce:

$$t_6(p_5) = t'; s_6(p_5) = s'; h_6(p_5) = h' \quad (2.17)$$

2.2 Určení optimálního místa odběru pomocí indiferentního bodu

U turbíny s přehříváním páry je rozložení míst pro ohřívání kondenzátu odlišné od turbíny bez přehřívání. Nově upravená regenerace cílí na dosažení co nejvyššího tepelného výkonu, proto je ponechán jen tlakově nejvyšší NTO. Nejvyšší dostupné odběrové místo v tomto případě je na výstupu z VT dílu vedoucí do NN, které může sloužit jako záskok pro případ, že by v odběru pro zachovaný NTO nebyl dostatečný tlak. Pro určení vhodného místa odběru v ST dílu turbíny se využije tzv. indiferentního bodu. Indiferentní bod lze chápat jako tzv. hranici, od které se vyplatí odvádět páru za regeneračními účely.

Nejprve se určí tepelná účinnost expanze ve VT dílu η_{VTind} (tepelná účinnost expanze ve VT dílu se nesmí zaměnit za termodynamickou účinnost VT dílu, ta je jinak definována): [2]

$$\eta_{VTind} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h'_2} \quad (2.18)$$

kde h'_2 je entalpie na levé mezní křivce při tlaku p_2 . Na základě znalosti této účinnosti je možné určit polohu indiferentního bodu. [2]

$$H_{ind} = \eta_{VTind} \cdot (h_3 - h_2) = \eta_{VTind} \cdot H_p \quad (2.19)$$

$$h_{ind} = h_3 - H_{ind} \quad (2.20)$$

Kde h_{ind} je entalpie indiferentního bodu, H_{ind} je rozdíl mezi entalpií na vstupu do ST dílu a entalpií indiferentního bodu a H_p je přírůstek entalpie při přehřívání.

Tlak indiferentního bodu p_{ind} je určen pomocí iteračního postupu, kdy je tlak nejprve odhadnut, z odhadnutého tlaku je spočítána entalpie, která je porovnána s již získanou hodnotou. Tlak je upravován do chvíle, kdy se obě entalpie rovnají. Entalpie se z odhadnutého tlaku získá následovně:

$$h_{ind\ iz}(p_{ind}; s_3), \quad (2.21)$$

$$h_{ind} = h_3 - \eta_{VT} \cdot (h_3 - h_{ind\ iz}). \quad (2.22)$$

Pro stanovení odběrového místa se expanze od h_{ind} do h_4 rozdělí do $n + 1$ dílů, kde n je počet odběrů, v tomto případě je jen jeden. Entalpie odběrového místa h_{od} je:

$$H_{od} = \frac{h_{ind} - h_4}{2}, \quad (2.23)$$

$$h_{od} = h_{ind} - H_{od}. \quad (2.24)$$

Pro určení tlaku v odběrovém místě se postupuje stejně jako v případě určení tlaku v indiferentním bodě. Jelikož se nejedná o konstrukci nové turbíny ale o rekonstrukci staré (těleso staré turbíny s odběry zůstává stejné), jsou již odběrová místa v tělese turbíny zavedena a není možné je přesunout. Protože měla turbína původně více odběrů než po této rekonstrukci, je možné si z více odběrů vybrat. Avšak výběr jiného odběru by vyžadoval předělání trasy odběru tak, aby ústil do příslušného NTO. Vybrán bude ten, který se nejvíce blíží svými parametry spočtenému odběrovému místu, jak bude patrné později, odběrové místo vyjde shodné. Popřípadě lze návrhem lopatek mírně uzpůsobit expanzi tak, aby nabývala v místě odběru požadovaných hodnot. Teplota páry v odběrovém místě se určí:

$$t_{od}(p_{od}; s_{od}). \quad (2.25)$$

2.3 Výpočet regenerace a napájecí nádrže

V původním provedení turbíny byly na trase kondenzátu a napájecí vody instalovány dva vysokotlaké ohříváky a pět nízkotlakých ohříváků. Nyní je v trase kondenzátu zařazen jen jeden nízkotlaký ohřívák, a to ten nejvyšší NTO5. Zkondenzovaná pára, která v NTO5 ohřála regenerovaný kondenzát, se vrací do OTV. Kondenzát následně vstupuje do napájecí nádrže s odplynovákem a poté napájecí voda pokračuje do kotle.¹ Nejsou tedy použity žádné vysokotlaké ohříváky.

Ohřev napájecí vody na jednotlivé stupně se má rozvrhnout tak, aby ztráta znehodnocením energie při přenosech tepla byla v celém ohřívacím systému minimální. Při použití povrchových ohříváků s kaskádováním, kdy protéká každým ohřívákem stejné množství kondenzátu, dosáhne se přibližně nejvýhodnějšího rozdělení při poměru absolutních teplot kondenzátu: [2]

$$\frac{T_{kn}}{T_{k(n-1)}} = \dots = \frac{T_{k2}}{T_{k1}} = \frac{T_{k1}}{T_k}. \quad (2.26)$$

Naopak v případě směšovacích nebo povrchových ohřívacích s přečerpáváním kondenzátu, kdy množství ohřívajícího kondenzátu směrem od nízkotlakých ohříváků k vysokotlakovým stoupá, je přibližně nejvýhodnější rovnoměrné stoupání teplot, tj.: [2]

¹ Poznámka k názvosloví – zkondenzovaná pára z turbíny se od výstupu z OTV až k NN nazývá kondenzát a od NN do kotle napájecí voda přesto, že se jedná o to samé médium.

$$T_{kn} - T_{k(n-1)} = \dots = T_{k2} - T_{k1} = T_{k1} - T_k . \quad (2.27)$$

Jelikož se čistě nejedná o první ani o druhý případ, a v okruhu se kondenzát ohřívá pouze v NTO a NN, a vzhledem ke skutečnosti, že uvedené vzorce jsou pouze přibližné, není nutné se přesně držet uvedených vztahů.

Podle zkušeností pracovníků DSPW, musí být ohřátí kondenzátu v NN alespoň 15°C. Pokud by bylo ohřátí menší než uvedená hodnota, bylo by množství přivedené páry do NN malé. Čím menší je množství barbotážní páry, tím se generuje méně bublin na výstupu z barbotážních trubek, a tím nedojde k dostatečnému odplynění. Zvýšený obsah kyslíku v kondenzátu by mohl po delší době provozu způsobit poškození kotle. Na druhou stranu kdyby ohřátí v NN bylo příliš vysoké 45°C a více, byl by nutný mnohonásobně větší hmotnostní průtok páry, tím pádem by bylo přívodní potrubí barbotážní páry příliš robustní, a tedy i drahé, a rovněž by barbotážní trubky uvnitř nádrže zaplňovaly více místa. V krajních případech by se do NN vůbec nemusely vejít. Z tohoto důvodu se nedoporučuje volit větší ohřátí v napájecí nádrži než je výše uvedená hodnota.

Jelikož se ohřátí v NN odvíjí od teploty kondenzátu vystupujícího z NTO a ohřátí v NTO je určeno tlakem páry z odběru pro NTO, je nutné zvolit ohřátí v NN tak, aby bylo možné vyhrát kondenzát v NTO parou o určitém tlaku. Při čistém výpočtu tepelného schématu nebo při návrhu nové turbíny není nutné na zmíněnou poznámku brát zřetel. Avšak při rekonstrukci staré turbíny je tlak v odběru páry pro NTO omezen kvůli konstrukčnímu uspořádání. Pokud chceme zachovat původní koncepci stroje, původní odběrové potrubí a NTO, je nutné respektovat původní počty stupňů, polohu jednotlivých odběrových hrdel a alespoň přibližně původní tlak v odběru. Odběr pro zachovaný NTO je mezi devátým a desátým stupněm, proto je nutné mít ohřátí kondenzátu v NTO takové, jaké nám dovolí tlak páry v odběru. Jelikož nyní není znám tlak páry v odběru, je nejprve proveden odhad ohřátí v NN a následně při výpočtu průtočné části, kdy se zjistí konkrétní tlak mezi devátým a desátým stupněm, je ohřátí upraveno. Níže uvedená hodnota ohřátí v NN je již upravená.

Teplota kondenzátu před NTO t_7 a teplota kondenzátu za NTO t_8 se stanoví:

$$\Delta t_{NN} = 18^\circ C , \quad (2.28)$$

$$\Delta t_{NTO} = t_{NV} - \Delta t_{NN} - t_7 , \quad (2.29)$$

$$t_6 = t_7 , \quad (2.30)$$

$$t_8 = t_7 + \Delta t_{NTO} . \quad (2.31)$$

Entalpie h_{13} páry ohřívající NN dle tepelného schématu na obrázku 2 je:

$$h_{13} = h_2 . \quad (2.32)$$

Jelikož se pára škrtí přes ventil tak, aby se dosáhlo tlaku v NN, a proces škrcení považujeme za izentalpický, je teplota páry ohřívající NN:

$$t_{13}(p_{NV}; h_2), \quad (2.33)$$

kde p_{NV} je tlak v NN. V NN musí docházet k varu, aby došlo ke správnému odplynění, z tohoto důvodu je tlak v NN určen jako tlak sytosti při zadané teplotě napájecí vody t_{NV} .

$$p_{NV} = p_{sat}(t_{NV}) \quad (2.34)$$

2.3.1 Upravení místa v odběru podle koncového teplotního rozdílu v NTO

Pokud by bylo dodrženo místo odběru získané z teorie indiferentního bodu a při znalosti ohřátí v kondenzátu v NTO, je koncový teplotní rozdíl předdefinován a určen následovně:

$$t_{11} = t_{od}; t_{sat od}(p_{od}), \quad (2.35)$$

$$\Delta t_{NTO konc} = t_{sat od} - t_8. \quad (2.36)$$

kde t_{11} je teplota páry v odběru. Koncový teplotní rozdíl v NTO vychází příliš vysoký z důvodu dodržení tlaku odběru ($\Delta t_{NTO konc} = 23^\circ C$). Takto vysoký koncový teplotní rozdíl je z tepelného hlediska nevhodný. Došlo by k nárůstu tepelných pnutí a také původní NTO není konstruován na takovýto stav. Možným řešením ke snížení koncového teplotního rozdílu, je přizpůsobit rozložení ohřátí v NTO a NN. To avšak není možné, protože teplota sytosti páry v odběru je vyšší i než požadovaná teplota napájecí vody t_9 , a tak by i při nulovém ohřátí v NN byl stále koncový teplotní rozdíl vysoký.

Z tohoto důvodu bude místo odběru určeno jiným způsobem, a to na základě volby koncového teplotního rozdílu.

$$\Delta t_{NTO konc} = 3^\circ C \quad (2.37)$$

$$t_{sat od} = t_8 + \Delta t_{NTO konc} \quad (2.38)$$

$$p_{od} = p_{sat}(t_{sat od}) \quad (2.39)$$

$$h_{od} = h_3 - \eta_{ST} \cdot [h_3 - h(p_{od}; s_3)] \quad (2.40)$$

2.3.2 Bilance v NN

Hmotnostní tok páry pro ohřátí kondenzátu v NN se zjistí pomocí prosté kalorimetrické rovnice, s následným zavedením bezrozměrného hmotnostního toku y_{NN} (vztažen na celkový hmotnostní tok admisní páry \dot{m}). Pro NN je kalorimetrická rovnice:

$$\dot{m}_{NN} \cdot (h_{13} - h_9) = (\dot{m} - \dot{m}_{NN}) \cdot (h_9 - h_8), \quad (2.41)$$

$$y_{NN} \cdot (h_{13} - h_9) = (1 - y_{NN}) \cdot (h_9 - h_8). \quad (2.42)$$

Jak již bylo výše zmíněno, tepelná kapacita kondenzátu se může považovat za konstantní, tudíž entalpie h_9 , h_8 se dají vyjádřit jako:

$$h_9 = c_p \cdot t_9; h_8 = c_p \cdot t. \quad (2.43)$$

Po vyjádření bezrozměrného hmotnostního toku vychází:

$$y_{NN} = \frac{c_p \cdot (t_9 - t_8)}{h_{13} - c_p \cdot t_9 + c_p \cdot (t_9 - t_8)} . \quad (2.44)$$

2.3.3 Bilance v NTO

Obdobně tak pro bezrozměrný hmotnostní tok v NTO y_{NTO} platí:

$$\dot{m}_{NTO} \cdot \eta_{NTO} \cdot (h_{12} - h_{11}) = (\dot{m} - \dot{m}_{NN}) \cdot c_p \cdot (t_8 - t_7) , \quad (2.45)$$

$$y_{NTO} \cdot \eta_{NTO} \cdot (h_{12} - h_{11}) = (1 - y_{NN}) \cdot c_p \cdot (t_8 - t_7) , \quad (2.46)$$

$$y_{NTO} = \frac{(1 - y_{NN}) \cdot c_p \cdot (t_8 - t_7)}{\eta_{NTO} \cdot (h_{12} - h_{11})} . \quad (2.47)$$

2.4 Ohřátí napájecí vody v NČ

Jelikož stlačení napájecí vody v NČ neprobíhá izentropicky, dojde vlivem účinnosti čerpadla, která je menší než jedna, k nárůstu teploty na výtlaku čerpadla. Tlak za čerpadlem musí zahrnovat tlakové ztráty v kotli, tudíž na výtlaku čerpadla je nejvyšší tlak v celém okruhu. Na základě znalosti tlaku admisní páry p_1 a s uvažováním ztrát v kotli přibližně $\xi_{kot} = 0,25$, je tlak na výtlaku NČ p_{10} :

$$p_{10} = p_1 \cdot (1 + 0,25) \quad (2.48)$$

Jelikož je tlaková ztráta v kotli odhadnuta, je tlak na výtlaku NČ zaokrouhlen na $p_{10} = 16 \text{ MPa}$.

Účinnost NČ $\eta_{NČ}$ je po konzultaci odhadnuta na 75%. Tlak před NČ p_9 bude vyšší o hydrostatický tlak než je tlak NV v NN p_{NV} . NN je zhruba o 20 m výše než NČ, tudíž bude tlak p_9 o 2 bary vyšší. Ohřátí NV v NČ $\Delta t_{NČ}$ se určí:

$$p_9 = p_{NV} + 2 \text{ bar} , \quad (2.49)$$

$$t_9 = t_{NV} , \quad (2.50)$$

$$h_9 = c_p \cdot t_9 , \quad (2.51)$$

$$s_9(p_9; t_9); h_{10iz}(p_{10}; s_9) , \quad (2.52)$$

$$h_{10} = h_9 + \frac{h_{10iz} - h_9}{\eta_{NČ}} , \quad (2.53)$$

$$t_{10}(p_{10}; h_{10}) , \quad (2.54)$$

$$\Delta t_{NČ} = t_{10} - t_9 = 3,57 \text{ } ^\circ\text{C} . \quad (2.55)$$

2.5 Elektrický a tepelný výkon

Pro zjištění elektrického výkonu turbosoustrojí je nutné, kromě již zjištěných parametrů, znát mechanickou účinnost turbosoustrojí η_m a účinnost elektrického generátoru η_{el} .

Účinnost elektrického generátoru η_{el} závisí na velikosti generátoru a způsobu chlazení jeho rotoru. Uvažujeme-li elektrický výkon 100 MW a vodíkem chlazený rotor, lze účinnost určit podle grafu v [2] na:

$$\eta_{el} = 0,987 . \quad (2.56)$$

Mechanická účinnost rovněž závisí na velikosti turbosoustrojí a podle [2] ji lze určit na:

$$\eta_m = 0,995 . \quad (2.57)$$

Pro vnitřní výkon turbosoustrojí P_i platí:

$$P_i = P_{VT} + P_{ST} , \quad (2.58)$$

$$P_i = \dot{m}_{VT} \cdot (h_1 - h_2) + \dot{m}_{ST1} \cdot (h_3 - h_{od}) + \dot{m}_{ST2} \cdot (h_{od} - h_4) . \quad (2.59)$$

Se započítáním elektrické účinnosti generátoru a mechanické účinnosti je elektrický výkon turbosoustrojí:

$$P = \eta_{el} \cdot \eta_m \cdot P_i . \quad (2.60)$$

Je patrné, že pro zjištění výkonu je třeba znát hmotnostní průtok páry ve VT dílu \dot{m}_{VT} , ST díl je třeba rozdělit na část před \dot{m}_{ST1} a za odběrem do NTO \dot{m}_{ST2} , kde se hmotnostní průtoky páry mění. Díky znalosti úniku páry ucpávkami (\dot{m}_{VTp} , \dot{m}_{VTz} , \dot{m}_{STp}) a množství páry potřebné pro vyhřátí NN \dot{m}_{NN} a NTO \dot{m}_{NTO} , lze snadno potřebné hmotnostní toky určit:

$$\dot{m}_{VT} = \dot{m} - \dot{m}_{VTp} , \quad (2.61)$$

$$\dot{m}_{ST1} = \dot{m}_{VT} - \dot{m}_{VTz} - \dot{m}_{NN} - \dot{m}_{STp} , \quad (2.62)$$

$$\dot{m}_{ST2} = \dot{m}_{ST1} - \dot{m}_{NTO} . \quad (2.63)$$

Tepelný výkon OTV \dot{Q} se určí:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ST2} \cdot (h_5 - h_6) + \dot{m}_{NTO} \cdot (h_{12} - h_6) . \quad (2.64)$$

Z rovnice je zřejmé, že do tepelného výkonu OTV nepřispívá jen pára, co vystupuje z ST dílu, ale také zkondenzovaná pára jdoucí do OTV z NTO. Procentuální příspěvek zkondenzované páry z NTO k celkovému tepelnému výkonu OTV je:

$$F_{NTO}^{\%} = \frac{\dot{m}_{NTO} \cdot (h_{12} - h_6)}{\dot{Q}} = 0,84 \% . \quad (2.65)$$

Velikost příspěvku k tepelnému výkonu je malá ale nezanedbatelná. Dále také přispívají k ohřátí vody kondenzátor komínkové a ucpávkové páry. Jelikož není únik páry ucpávkami

velký a komínková pára obsahuje i vzduch, nebude brán tepelný přínos kondenzátorů komínkové a ucpávkové páry v potaz.

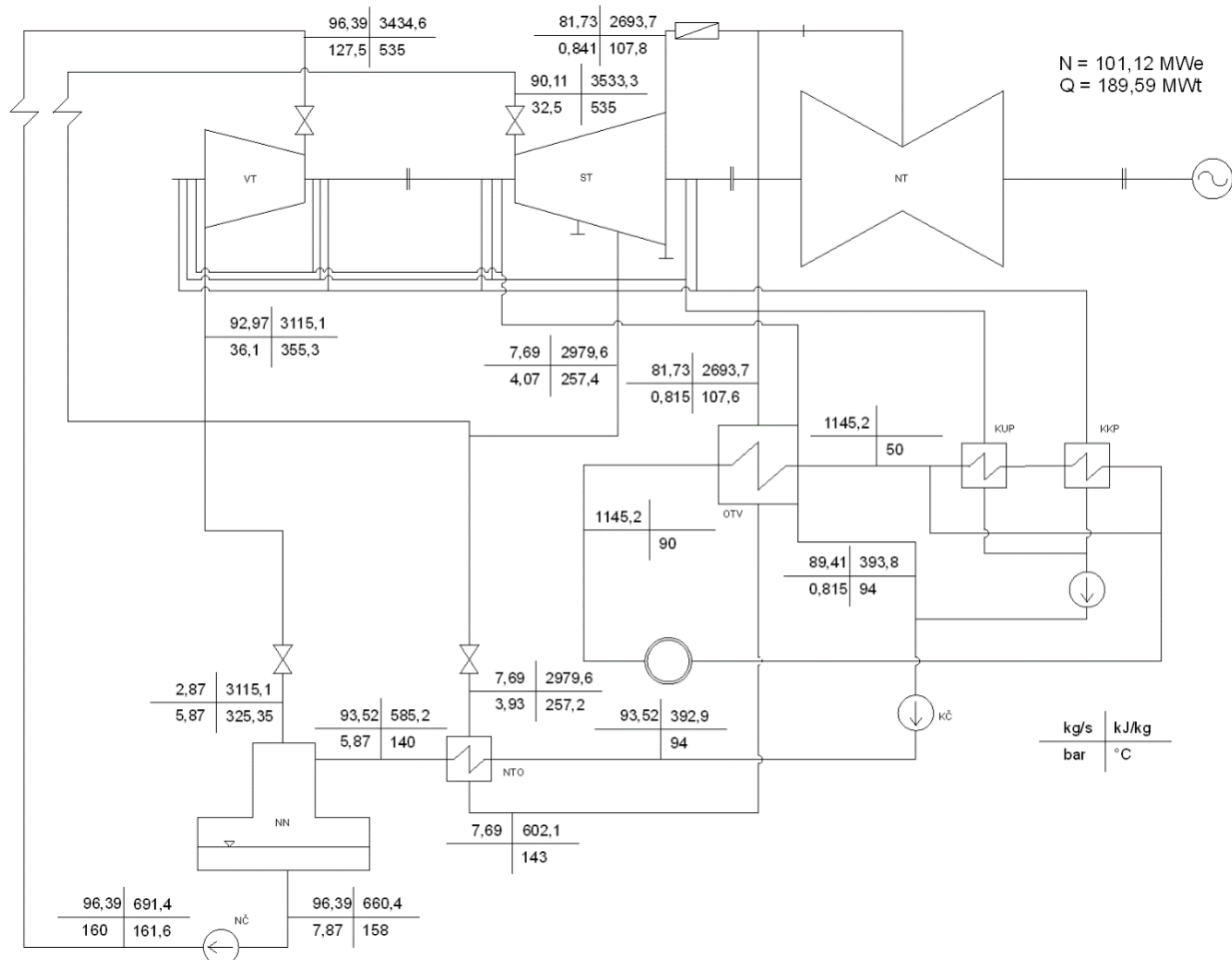
Z velikosti tepelného výkonu OTV, je možné stanovit hmotnostní průtok ohřívané vody \dot{m}_{OTV} výměníkem:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{OTV} \cdot c_p \cdot \eta_{OTV} \cdot (T_{15} - T_{14}), \quad (2.66)$$

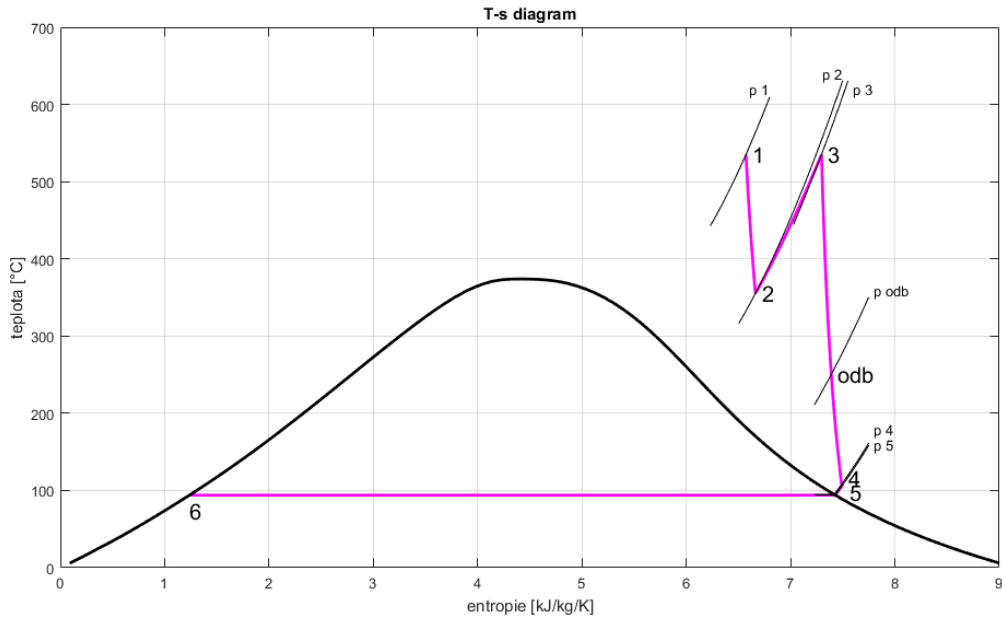
$$\dot{m}_{OTV} = \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \eta_{OTV} \cdot (T_{15} - T_{14})}. \quad (2.67)$$

Kde T_{15} a T_{14} jsou popořadě absolutní teploty na výstupu a vstupu do OTV a η_{OTV} je odhadnutá účinnost ohříváku (viz tabulka 2).

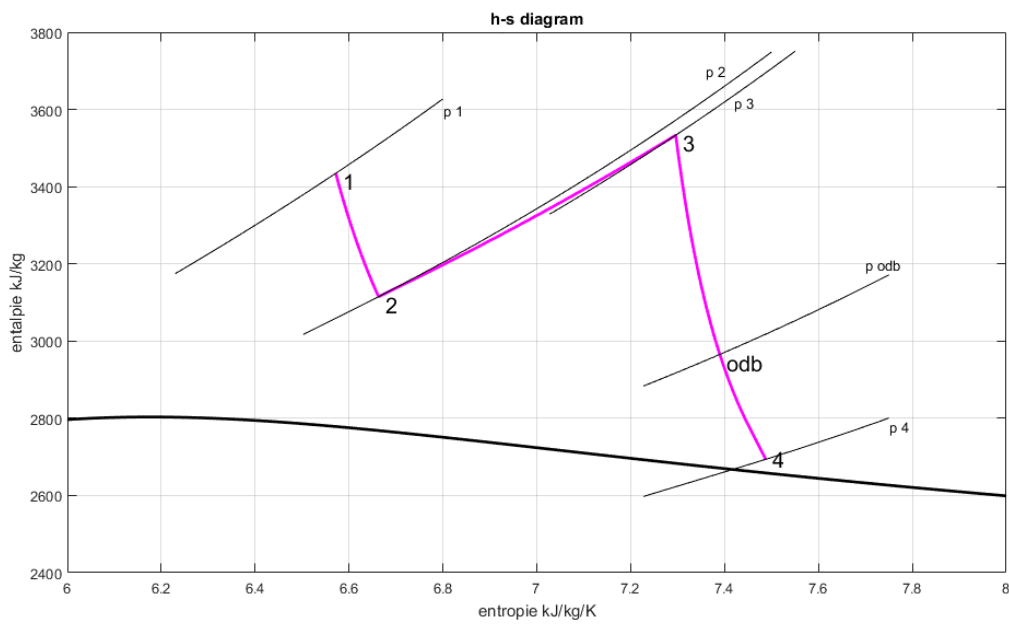
Výsledné parametry páry v jednotlivých uzlech cyklu jsou uvedeny v tepelném schématu na obrázku 2. Dále je na obrázku 3 uvedena expanze a průběh kondenzace v T-s diagramu. Na obrázku 4 je patrná expanze v turbíně v h-s diagramu.



Obrázek 2 - Tepelné schéma po zavedení teplofikace



Obrázek 3 - T-s diagram pro průběh expanze v turbině a kondenzace



Obrázek 4 - h-s diagram pro průběh expanze v turbině

3 Výpočet průtočné části turbíny

Jelikož se nejedná o zcela nový návrh parní turbíny, ale o její rekonstrukci, jsou již některé parametry dané, či není třeba je odhadovat. Například bude zachován počet stupňů a budou respektovány místa odběrů vyvedených z tělesa.

3.1 Výpočet základních rozměrů průtočné VT části

3.1.1 Orientační určení počtu stupňů

Následující postup je uveden pro VT díl turbíny, pro ST díl je postup obdobný. S nejvyšší pravděpodobností bude počet stupňů zachován, jak tomu bylo u původního řešení kondenzační turbíny, avšak pro úplnost návrhu bude počet stupňů určen. Případné odchylky od původního řešení budou probrány v příslušné kapitole.

Pro určení počtu stupňů musí být následující parametry zvoleny:

$$D_s; \left(\frac{U}{C_0}\right)_{stř}; k_T. \quad (3.1)$$

Kde D_s je střední průměr z průměrů lopatek za regulačním stupněm, prvotní hodnota je určena na základě grafu z přílohy 10 ve zdroji [3]. Po získání rozměrů průtočné části bude D_s iterován. $\left(\frac{U}{C_0}\right)_{stř}$ je střední hodnota poměru rychlostí u stupňů za regulačním stupněm, jelikož se jedná o rovnotlakou turbínu, je hodnota zvolena podle [3] na 0,45. Součinitel k_T je závislý na tom, jestli expanze probíhá v přehřáté nebo v mokré páře. Jak je patrné z tepelného schématu na obrázku 2, probíhá expanze pouze v oblasti přehřáté páry a dle [4], je součinitel $k_T = 4,8 \cdot 10^{-4}$.

Dále je pro určení počtu stupňů nutné znát vliv tzv. reheat faktoru (součinitel zpětného využití tepla), který udává navýšení celkového izentropického spádu ve vícestupňové turbíně oproti zjednodušené jednostupňové. Jelikož dochází k navýšení výstupní entalpie v jednotlivých stupních vlivem ztrát, a tedy i k zvýšení entalpie na vstupu do dalšího stupně, kde ji je možno částečně využít, je poměr takto získaného entalpického spádu na vícestupňové turbíně a spádu na zjednodušené jednostupňové nazývám reheat faktorem q_T . Vztah pro přibližné určení reheat faktoru je:

$$q_T = k_T \cdot (1 - \eta_{VT}) \cdot H_{0VTiz} \cdot \frac{z - 1}{z}. \quad (3.2)$$

Kde z je odhadnutý počet stupňů za regulačním stupněm. Izentropický entalpický spád H_{VTiz} po zahrnutí reheat faktoru pak je:

$$H_{VTiz} = H_{0VTiz} \cdot (1 + q_T). \quad (3.3)$$

Při znalosti entalpického spádu se počet stupňů z určí:

$$z = \frac{2 \cdot H_{VTiz} \cdot \left(\frac{U}{C_0}\right)^2}{\left(\frac{\pi \cdot n}{60}\right)^2 \cdot D_s^2}. \quad (3.4)$$

Výsledná hodnota je zaokrouhlena. Dále je pro kontrolu výsledný počet stupňů dosazen opět do vztahu pro reheat faktor a výpočet proveden znovu. Zpravidla není třeba provádět více iterací než jednu, jelikož změna počtu stupňů změní výsledek jen nepatrně. Tento výpočet je pouze orientační a konečný počet stupňů bude určen při postupném výpočtu jednotlivých stupňů.

3.1.2 Základní parametry průtočného kanálu

Základní parametry průtočného kanálu byly zjištěny na základě metodiky uvedené v [3], proto nebude zdroj v této souvislosti dále uváděn. Pro zjištění těchto parametrů nebyl využit hojně používaný program Turbína-Delphi, avšak byl sestaven vlastní program v softwaru Matlab, který je spjatý s výpočtem tepelného schématu, viz příloha 2. Obsahuje veškeré výpočty provedené v této práci. Program není tak univerzální jako Turbína-Delphi, jeho použití na jiné typy úloh, než jaké jsou popsány v této práci, nemusí být vhodné. Pro přehlednost je zjednodušený postup výpočtu uveden (podrobný postup je patrný z kódu programu v příloze 2). Pro každý stupeň byly zvoleny následující parametry:

$$\left(\frac{u}{c_0}\right)_{opt}, \quad (3.5)$$

optimální poměr rychlostí $\left(\frac{u}{c_0}\right)_{opt}$, tzn. při kterém se dosáhne nejvyšší účinnosti stupně, je pro regulační stupeň s A kolem 0,42. Jelikož ale v tomto případě nejsou požadavky na provozy s vyšším než nominálním výkonem, je možné poměr rychlostí na A kole zvýšit za účelem vyšší účinnosti. Pro další rovnotlaké stupně je poměr volen na 0,45 (přestože je optimální poměr rychlostí vyšší, bude podrobněji vysvětleno na koci kapitoly). Další zvolená veličina je:

$$\varphi = 0,95. \quad (3.6)$$

Rychlostní součinitel φ vyjadřuje míru zmenšení absolutní rychlosti po průchodu RK. Dále je nutné zvolit si výstupní úhel z rozváděcí mříže α_1 . Čím nižší úhel je, tím je možné více otočit proud v oběžném kole a získat vyšší výkon, na druhou stranu zvýšením entalpického spádu na stupeň se sníží účinnost. Nesmí být však příliš malý, protože pak by proud páry z jednoho kanálu byl omezován proudem páry ze sousedního kanálu. Výstupní úhly ze všech RK byly zadány a jsou totožně s původní turbínou.

$$\alpha_1 \quad (3.7)$$

Dále je pro zjištění délky lopatek zvolen součinitel zaplnění výstupního průřezu konečnou tloušťkou lopatek ε_r .

$$\varepsilon_r = 0,9 \quad (3.8)$$

K určení délky lopatek je pro každý stupeň zvolen střední průměr D_s .

$$D_s \quad (3.9)$$

V průběhu výpočtu pomocí napsaného programu je možné si pro každý další stupeň zvolit střední průměr D_s , optimální poměr rychlostí $\left(\frac{u}{c_0}\right)_{opt}$ a úhel výstupu z rozváděcí mříže α_1 , jak je patrné z přílohy 2.

Pro regulační stupeň je zvolen parciální ostřík, aby neměl stupeň příliš malou délku lopatek a zvýšila se tak jeho účinnost, a z důvodu skupinové regulace, která neumožňuje jiné konstrukční řešení regulačního stupně, než zavedení parciálního odstříku. Přínos do účinnosti regulačního stupně zvýšení délky lopatek nezvýší celkovou účinnost stupně kvůli přídavným ztrátám spojených s parciálním odstříkem. Následující stupně již budou mít ostřík totální a budou rovnotlakého provedení. Parametry páry před regulačním stupněm jsou totožné s parametry admisní páry z tepelného schématu. Postup pro zjištění dalších parametrů je následující. (Indexy 0, 1, 2 označují popořadě parametry páry před RL, za RL a za OL. Je předpokládáno, že parametry páry za RL a před OL jsou totožné.)

Obvodová rychlost na středním průměru:

$$u_s = \frac{\pi \cdot D_s \cdot n}{60} . \quad (3.10)$$

Fiktivní rychlost, kterou by měla pára při izentropickém prouděním a entalpickém spádu celého stupně:

$$c_0 = \frac{u_s}{\left(\frac{u}{c_0}\right)_{opt}} . \quad (3.11)$$

Rychlost na výstupu z RL, která je ponížena a průtokový součinitel oproti rychlosti c_0 :

$$c_1 = c_0 \cdot \varphi . \quad (3.12)$$

Izentropický entalpický spád zpracovaný ve stupni:

$$H_{iz} = \frac{c_0^2}{2} . \quad (3.13)$$

Entalpie po izentropické expanzi za RL:

$$h_{1iz} = h_0 - H_{iz} . \quad (3.14)$$

Ztráta v RK zjištěná z průtokového součinitele:

$$Z_{RK} = (1 - \varphi)^2 \cdot H_{iz} . \quad (3.15)$$

Skutečná entalpie za RK:

$$h_1 = h_{1iz} + Z_{RK} . \quad (3.16)$$

Tlak za RK:

$$p_1(h_{1iz}; s_0) . \quad (3.17)$$

Teplota za RK:

$$t_1(p_1; h_1). \quad (3.18)$$

Měrný objem za RK:

$$v_1(p_1; h_1). \quad (3.19)$$

Délka lopatky při totálním ostříku odvozena na základě rovnice kontinuity:

$$l_T = \frac{m \cdot v_1}{\pi \cdot D_s \cdot \varepsilon_r \cdot c_1 \cdot \sin(\alpha_1)}. \quad (3.20)$$

Takto určená délka platí pro rozváděcí lopatky, podle [5] se délka oběžných lopatek zvětšuje o tzv. přesah. Přesah činí dle [5] běžně 5 – 15% a neudrží se stejný střední průměr u RL a OL, to znamená, že přesah na špičkovém průměru je jiný než na patním. Přesah se na špičkovém průměru z důvodu předpokládaného radiálního rozšiřování volí větší. V případě, že by se striktně zachovával střední průměr, byl by přesah na obou průměrech stejný.

Optimální délka rozváděcí lopatky:

$$l_{opt} = \sqrt{\frac{\left[1 - \left(\frac{u_s}{c_0}\right)\right] \cdot D_s \cdot l_T}{1,26 \cdot n_{ostř} + 14,97 \cdot D_s \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right)^2}}. \quad (3.21)$$

Parciálnost se následně určí:

$$\varepsilon = \frac{l_T}{l_{opt}}. \quad (3.22)$$

Protože se ale nejedná o návrh zcela nové turbíny, ale o rekonstrukci staré, je nutné respektovat určitá omezení. Parciálnost odstříku stupně bude totožná s původní turbínou, a to proto, že změna parciálnosti by znamenala změnu počtu segmentů jednotlivých skupin s RL u regulačního stupně, což by vedlo i k zhotovení zcela nové dýzové komory. Z tohoto důvodu bude parciálnost zachována. Parciálnost původního a nového provedení turbíny je:

$$\varepsilon = 0,561 [-]. \quad (3.23)$$

Jelikož bylo předem zvoleno, že parciální odstřík bude pouze u prvního regulačního stupně, není třeba zjišťovat u následujících stupňů optimální délku lopatky a délka lopatky bude odpovídat hodnotě délky lopatky při totálním odstříku. Pro ověření, že je skutečně parciální odstřík vhodným řešením, je použit vztah pro redukovanou délku lopatky.

$$l_{red} = \frac{\left(1 - \left(\frac{u_s}{c_0}\right)\right) \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right)}{\left(1 - \left(\frac{u_s}{c_0}\right)\right) \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right) \cdot \frac{1}{l_{opt}} + 0,784 + \frac{1,26 \cdot n_{ostř}}{D_s \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right) + 14,97 + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right)^3} \quad (3.24)$$

Redukovaná délka lopatky l_{red} je délka při které by stupeň s totálním odstříkem a délkou lopatky l_T dosáhl stejné účinnosti jako stupeň s parciálním odstříkem o délce lopatky l_{opt} . Jak je patrné z tabulky 3, je parciální ostřík skutečně vhodný jen pro první regulační stupeň. A pro veškeré stupně kromě regulačního platí, že délka lopatky L je:

$$L = l_T . \quad (3.25)$$

Zdali je vhodné použít válcovou nebo zkroucenou lopatku závisí na její délce L a středním průměru D_s . Válcová lopatka se zvolí pokud: (v opačném případě jsou vhodné zkroucené lopatky)

$$0,1 > \frac{L}{D_s} . \quad (3.26)$$

Zjištění účinnosti stupně vyžaduje nejprve určení účinnosti nekonečně dlouhé lopatky:

$$\eta_{inf} = 3,74 \cdot \left(1 - \frac{u_s}{c_0}\right) \cdot \frac{u_s}{c_0} . \quad (3.27)$$

Ztráta konečnou délkou lopatky je:

$$Z_L = \eta_{inf} \cdot \frac{0,0029}{L} . \quad (3.28)$$

Ztráta rozvějířením:

$$Z_{ROZV} = 0,5 \cdot \left(\frac{L}{D_s}\right)^2 . \quad (3.29)$$

Ztráta třením disku:

$$Z_{TD} = 0,003 \cdot \frac{D_s}{L} \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right)^3 . \quad (3.30)$$

Suchost páry za RK:

$$x_1(p_1; h_1) . \quad (3.31)$$

Ztráta vlivem suchosti podle Baumanna základního pravidla je:

$$Z_x = 1 - x_1 . \quad (3.32)$$

Pokud je zvolen parciální odstřík, jsou ztráty spjaté s parciálním odstříkem, ztráta parciálností je:

$$Z_{PO} = 0,0085 + \frac{0,0137}{D_s \cdot \varepsilon} \cdot \frac{u_s}{c_0} . \quad (3.33)$$

Ztráta ventilací neostříknutých lopatek je:

$$Z_V = \frac{0,0377}{\sin(\alpha_1)} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) \cdot \left(\frac{u_s}{c_0}\right)^3 . \quad (3.34)$$

Výsledná účinnost stupně je:

$$\eta_{TD} = \eta_{inf} - (Z_L + Z_{ROZV} + Z_{TD} + Z_x + Z_{PO} + Z_V). \quad (3.35)$$

Skutečný entalpický spád ve stupni pak je:

$$H = H_{iz} \cdot \eta_{TD}. \quad (3.36)$$

Vnitřní výkon stupně je:

$$P_{STG} = \dot{m} \cdot H. \quad (3.37)$$

Entalpie za oběžným kolem pak je:

$$h_2 = h_0 - H. \quad (3.38)$$

Tlak za oběžným kolem je:

$$p_2(h_{1iz}; s_0). \quad (3.39)$$

Teplota za oběžným kolem:

$$t_2(p_2; h_2). \quad (3.40)$$

Měrný objem za oběžným kolem:

$$v_2(p_2; h_2). \quad (3.41)$$

Entropie za oběžným kolem:

$$s_2(p_2; h_2). \quad (3.42)$$

Suchost páry za oběžným kolem:

$$x_2(p_2; h_2). \quad (3.43)$$

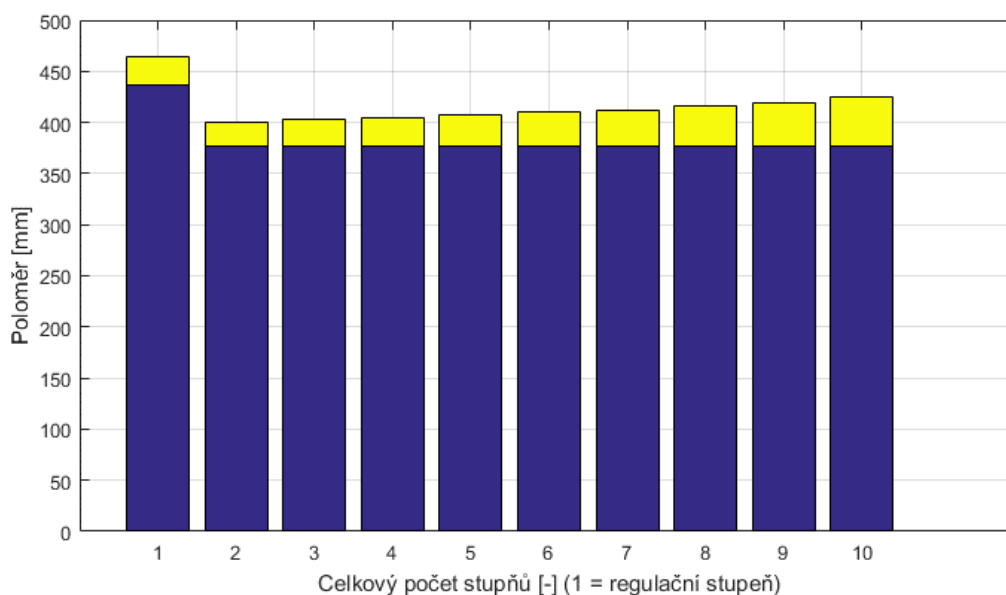
U posledního stupně, jelikož je dán výstupní tlak, patrně nevyjde entalpický spád přesně podle zvoleného optimálního poměru rychlostí $\frac{u_s}{c_0}$, tudíž bude přizpůsoben dle dostupného entalpického spádu. Odchýlení od optimálního poměru rychlostí se promítne na účinnosti stupně. Z tohoto důvodu bude zváženo upravení poměru rychlostí u předchozích stupňů. Účinnost takto dotknutých stupňů se sice sníží, ale na posledním stupni nebude pokles účinnosti tak markantní, tudíž upravení poměru rychlostí na více posledních stupních, může mít pozitivní vliv na zvýšení účinnosti celého dílu. Ostatní parametry páry a průtočného kanálu budou příslušně přepočítány. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3. Lopatkový plán je zobrazen na obrázku 5.

Tabulka 3 - Vypočtené parametry průtočné části a parametry páry VT dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Hmotnostní průtok	kg/s	94,222	94,222	94,222	94,222	94,222	94,222	94,222	94,222	94,222	94,222
Teplota před RK	°C	512,62	512,62	495,75	478,67	461,36	443,82	426,03	408,14	390	371,62
Tlak před RK	bar	127,5	110,06	98,403	87,731	77,97	69,054	60,931	53,578	46,909	40,881
Entalpie před RK	kJ/kg	3434,6	3395,6	3366,1	3335,9	3305,3	3274,1	3242,3	3210,3	3177,7	3144,7
Entalpie před RK	kJ/kg/K	6,5718	6,5851	6,5945	6,6036	6,6126	6,6213	6,63	6,6387	6,6473	6,6559
Teplota za RK	°C	510,46	494,35	477,4	460,21	442,77	425,09	407,25	389,19	370,89	354,81
Tlak za RK	bar	110,06	98,403	87,731	77,97	69,054	60,931	53,578	46,909	40,881	36,111
Entalpie za RK	kJ/kg	3390	3362,5	3332,7	3302,4	3271,4	3240	3208,1	3175,8	3142,9	3114
Měrný objem za RK	m ³ /kg	0,030098	0,03306	0,036346	0,040052	0,044248	0,049018	0,05444	0,060662	0,067827	0,07501
Teplota za OL	°C	512,62	495,75	478,67	461,36	443,82	426,03	408,14	390	371,62	355,25
Tlak za OL	bar	110,06	98,403	87,731	77,97	69,054	60,931	53,578	46,909	40,881	36,111
Entalpie za OL	kJ/kg	3395,6	3366,1	3335,9	3305,3	3274,1	3242,3	3210,3	3177,7	3144,7	3115,1
Entalpie za OL	kJ/kg/K	6,5851	6,5945	6,6036	6,6126	6,6213	6,63	6,6387	6,6473	6,6559	6,6629
Měrný objem za OL	m ³ /kg	0,030214	0,033183	0,03643	0,040137	0,044335	0,049106	0,054535	0,060758	0,067927	0,075078
Střední průměr	mm	900	777	779	781,5	784,5	787,5	789	792,5	796	801,5
w/c_0		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
w/c_1		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
alpha_1	°	13,766	13,232	13,262	13,262	13,303	13,344	14,14	14,211	14,56	14,99
epsilon_F		314,19	271,22	271,92	272,39	273,84	274,89	275,41	276,63	277,86	260,69
Obvodová rychlost	m/s	141,57	122,05	122,57	122,76	123,23	123,7	123,94	124,49	125,04	123,9
Delka lopatky tot. oděť.	mm	15,692	24,041	26,237	28,727	31,385	34,416	35,974	39,537	42,791	46,687
Delka lopatky opt.	mm	44,132	53,308	55,714	58,33	61,01	63,93	65,382	68,596	71,417	70,151
Delka lopatky red.	mm	15,633	15,634	15,634	15,634	15,634	15,634	15,635	15,635	15,635	15,795
Parcelnost		0,561	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Delka lopatky	mm	28	24	26	28,5	31,5	34,5	36	39,5	43	48,5
Válcové lopatky	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Účinnost nakon. lopatky	eta_inf	0,92565	0,92565	0,92565	0,92565	0,92565	0,92565	0,92565	0,92565	0,92565	0,93391
Ztráta konečné lopatky	Z_L	0,095968	0,11166	0,10231	0,093444	0,08553	0,077998	0,074621	0,067895	0,062733	0,055628
Ztráta parcelnosti	Z_PO	0,02071	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráta ventilací	Z_V	0,011297	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráta rozvěžením	Z_ROZV	0,00048298	0,00047867	0,00056719	0,00067561	0,00080028	0,00095496	0,010394	0,012445	0,014449	0,018449
Ztráta třením disku	Z_TD	0,0087959	0,0088354	0,0081167	0,007437	0,0068332	0,0062553	0,0059959	0,0054796	0,0050853	0,0055628
Ztráta vílivem suchosti	Z_X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Účinnost stupně	eta_td	0,7884	0,80468	0,81465	0,82409	0,83249	0,84044	0,84399	0,85103	0,85639	0,87088
Entalpiický spád stupně	H	38,906	29,597	30,118	30,663	31,214	31,754	32,009	32,563	33,058	29,593
Vnitřní výkon stupně	P_st	3665,8	2788,7	2837,8	2889,2	2941	2991,9	3016	3068,2	3114,8	2788,3

2

² Jelikož má Matlab omezené grafické možnosti, nebylo možné vypsat čísla stupňů do jmen sloupců tabulky, hodnoty v prvním sloupci náleží regulačnímu stupni, ve druhém prvním stupni atd., obdobně i v jiných tabulkách.



Obrázek 5 - Lopatkový plán VT

Jelikož není možné zvýšit počet stupňů oproti původnímu provedení kvůli omezenému prostoru uvnitř tělesa, je počet stupňů zachován. Respektive je možné pouze počet stupňů snížit a zbylý prostor nechat volný, ale jak bude vysvětleno, snížení počtu stupňů je vyloučeno. Dále pak není možné příliš zvýšit špičkové průměry lopatek, opět z důvodu omezeného prostoru původním vnějším tělesem turbíny. Snížit patní průměr lopatek je možné díky prostoru, který zabírají disky. Návrh průtočné části je proveden tak, aby délky lopatek a střední průměr pokud možno odpovídaly původnímu provedení.

Optimální hodnota poměru rychlostí $\frac{u_s}{c_0}$ je pro rovnotlaký stupeň dle [3]:

$$\left(\frac{u_s}{c_0}\right)_{opt} = 0,5 . \quad (3.44)$$

Jak je ale patrné z tabulky 3, byly rychlostní poměry pro všechny stupně voleny nižší. A to z důvodu snahy o zachování původního počtu stupňů, jelikož dle rovnic:

$$c_0 = \frac{u_s}{\left(\frac{u_s}{c_0}\right)_{opt}} ; H_{iz} = \frac{c_0^2}{2} , \quad (3.45)$$

čím vyšší je optimální poměr rychlostí, tím je, při zachování obvodové rychlosti (tzn. zachování středního průměru), nižší fiktivní rychlost a tudíž nižší entalpický spád na stupeň. Pokud by byl poměr rychlostí volen na hodnotu 0,5, byl by výsledný počet stupňů vyšší než u původního řešení. Proto musel být poměr rychlostí snížen, aby se zvýšily entalpické spády na jednotlivé stupně a dosáhlo se požadovaného počtu stupňů.

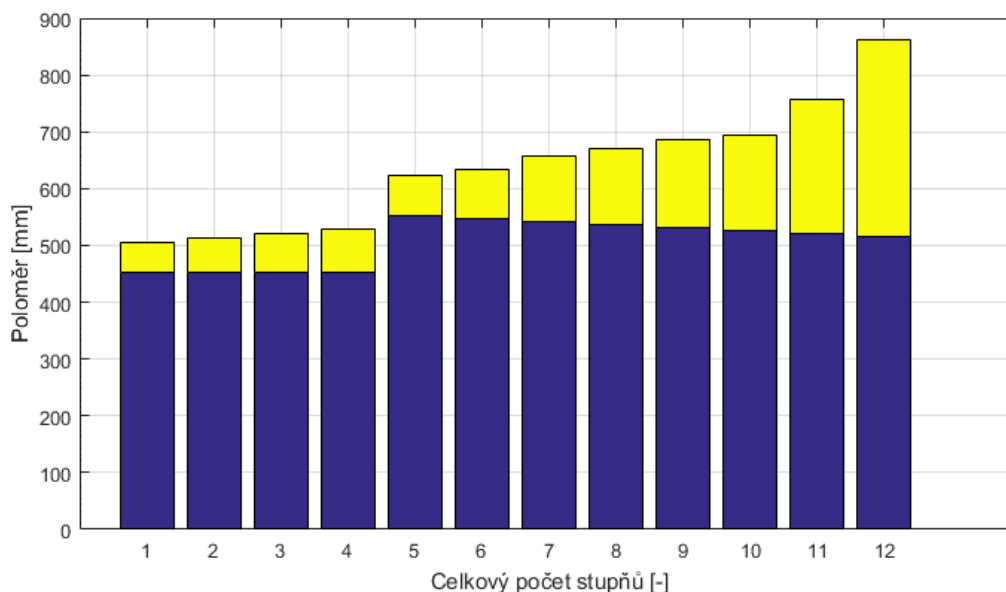
3.2 Výpočet základních rozměrů průtočné ST části

Metodika výpočtu je shodná s výpočtem VT dílu turbíny. Jediný rozdíl je, že hmotnostní průtok není skrz celý díl konstantní, ale za odběrem pro NTO se zmenší.

Ještě než bude proveden výpočet, je možné odhadnout očekávané výsledky na základě odlišností tepelných schémat původního a nového řešení. Podíváme-li se na tlak za ST dílem (viz příloha 1 a obrázek 2), je patrné, že výstupní tlak z ST dílu je u nového provedení několikrát nižší. Jelikož jsou vstupní parametry do ST dílu u obou provedení téměř stejné, znamená to, že na ST díl u nového provedení připadá vyšší entalpický spád, tudíž nebude možné dodržet optimální poměr obvodové a fiktivní rychlosti při stejném středním průměru stupňů. Poměr rychlostí bude muset být snížen, aby se zvýšily entalpické spády na jednotlivé stupně, a tak se nepřekročil původní počet stupňů, podobně jak tomu bylo u VT dílu.

Další poznatek se týká délky posledních lopatek. Nižší tlak za ST dílem u nového provedení znamená zvýšení měrného objemu páry na výstupu. Jelikož je výstupní tlak nižší, bude nárůst měrného objemu značný a tedy i délka posledních lopatek se zdatně zvýší. Ke zvýšení délky lopatek také přispívá zredukování počtu regeneračních odběrů z tří, které byly původně vyvedené z ST dílu, na jeden. A to proto, že se hmotnostní průtok páry nebude v průběhu expanze v ST dílu s jedním regeneračním odběrem tak zmenšovat, jak tomu bylo v původním provedení.

Spočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4 a lopatkový plán je na obrázku 6.



Obrázek 6- Lopatkový plán ST

Tabulka 4 - Vypočtené parametry průtočné části a parametry páry ST dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Hmotnostní průtok	kg/s	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	81.725	81.725	81.725
Teplota před RK	°C	535	511.29	486.98	462	436.3	399.3	361.3	327.56	292.91	257.43	209.47	156.61
Tlak před RK	bar	32.5	27.819	23.648	19.942	16.664	12.732	9.5503	7.3375	5.5259	4.069	2.5797	1.4809
Entalpie před RK	kJ/kg	3533.3	3484.7	3435.2	3384.5	3332.6	3258.5	3116.4	3048.6	3048.6	2979.6	2887.3	2786.4
Entropie před RK	kJ/kg/K	7.2959	7.3052	7.3145	7.3239	7.3334	7.3483	7.3632	7.3752	7.3878	7.4012	7.4152	7.4265
Teplota za RK	°C	510.47	486.29	461.42	435.82	398.49	360.75	327.57	293.01	257.57	208.53	155.43	107.27
Tlak za RK	bar	27.819	23.648	19.942	16.664	12.732	9.5503	7.3375	5.5259	4.069	2.5797	1.4809	0.8406
Entalpie za RK	kJ/kg	3482.9	3433.6	3383.2	3331.6	3258.5	3116.4	3048.6	3048.6	2979.6	2885.3	2784	2692.7
Měrný objem za RK	m ³ /kg	0.12737	0.14533	0.16682	0.19282	0.23935	0.30148	0.37222	0.46616	0.59391	0.85099	1.32	2.0646
Teplota za OL	°C	511.29	486.98	462	436.3	399.3	361.3	327.56	292.91	257.43	209.47	156.61	107.8
Tlak za OL	bar	27.819	23.648	19.942	16.664	12.732	9.5503	7.3375	5.5259	4.069	2.5797	1.4809	0.8406
Entalpie za OL	kJ/kg	3484.7	3435.2	3384.5	3332.6	3258.5	3116.4	3048.6	3048.6	2979.6	2887.3	2786.4	2693.8
Entropie za OL	kJ/kg/K	7.3052	7.3145	7.3239	7.3334	7.3483	7.3632	7.3752	7.3878	7.4012	7.4152	7.4265	7.4377
Měrný objem za OL	m ³ /kg	0.12751	0.14547	0.16696	0.19296	0.23966	0.30176	0.37219	0.46608	0.59375	0.85273	1.3239	2.0676
Střední průměr	mm	957.5	964	972	981	1174.5	1181	1198	1208	1217	1222	1279	1378.5
u/c ₀	u/c ₀	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.49	0.49	0.42	0.42	0.47522
fi _c	°	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
alfa ₁	°	14.129	14.105	14.14	14.14	13.421	13.521	13.533	14.223	15.711	15.952	16.176	16.85
epsilon _r	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
epsilon _r	-	334.23	336.5	339.29	342.43	409.98	412.25	384.04	387.25	390.13	457.03	478.34	485.65
Fiktivní rychlost	m/s	150.4	151.42	152.68	154.1	184.49	185.15	188.18	189.73	191.17	191.95	200.9	216.53
Obvodová rychlost	m/s	54.273	61.193	68.924	78.212	71.288	86.162	115.08	135.01	153.77	168.59	238.64	345.02
Délka lopatky tot. odstř.	mm	82.863	88.077	94.591	99.836	97.774	108.777	112.39	121.85	130.15	146.54	194.15	205.32
Opt. délka lopatky	mm	15.636	15.636	15.636	15.636	15.636	15.636	15.636	15.767	15.768	15.404	15.404	15.872
Reduk. délka lopatky	mm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parcielnost	-	54.5	61	69	78	71.5	86	115	135	154	168.5	235.5	345
Délka lopatky	mm	54.5	61	69	78	71.5	86	115	135	154	168.5	235.5	345
Válcové lopatky	Logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Učinnost nekón. lopatky	eta_inf	0.92565	0.92565	0.92565	0.92565	0.92565	0.92565	0.92565	0.93463	0.93463	0.91106	0.91106	0.9327
Ztráta konečné lopatky	Z_L	0.049461	0.043868	0.038947	0.034322	0.037656	0.030448	0.023353	0.020076	0.017627	0.015663	0.011212	0.0078397
Ztráta parcielnosti	Z_PO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráta ventilací	Z_V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ztráta rozvěvěřím	Z_ROZV	0.0016064	0.0020147	0.002514	0.0031782	0.001842	0.0027863	0.0046136	0.0062453	0.0079821	0.0095278	0.016972	0.031322
Ztráta třením disku	Z_TD	0.004823	0.0043066	0.003853	0.0034289	0.004504	0.0036621	0.0036743	0.003158	0.0027934	0.0016101	0.0012064	0.0012864
Ztráta vlivem suchosti	Z_x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Učinnost stupně	eta_td	0.86976	0.87546	0.88033	0.88472	0.88165	0.88875	0.90279	0.90515	0.90622	0.88426	0.88167	0.89226
Entalpiický spád stupně	H	48.58	49.565	50.672	51.872	74.095	75.521	66.576	67.869	68.966	92.35	100.87	92.624
Vnitřní výkon stupně	P_st	4343.6	4431.7	4530.6	4637.9	6624.9	6752.4	5952.6	6068.2	6166.3	7547.3	8243.6	7569.7

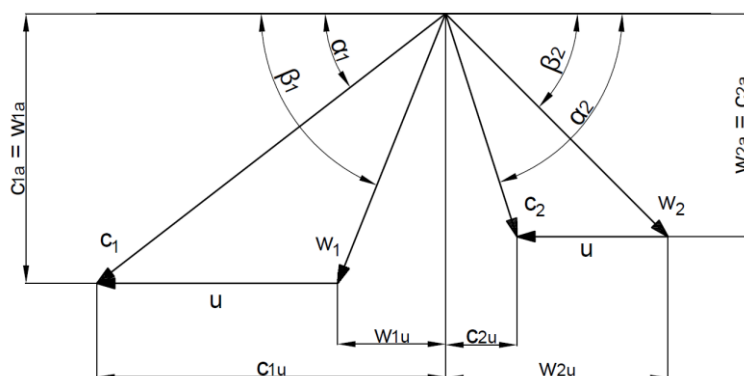
Na základě vztahu 3.35 je možné orientačně určit účinnost VT i ST dílu turbíny z entalpických spádů jednotlivých stupňů. Takto zjištěná účinnost nahradí zprvu odhadnutou účinnost VT a ST dílu pro výpočet tepelného cyklu. Výpočet se bude takto opakovat, dokud se nedosáhne zanedbatelného rozdílu účinností na vstupu do výpočtu a účinností zjištěnou z jednotlivých stupňů, jak byl zmíněno v kapitole 2.1.

Jelikož jsou známé tlaky mezi stupni, je možné upravit ohřátí v NN tak, aby ohřátí v NTO korespondovalo s tlakem páry z odběru pro NTO (mezi devátým a desátým stupněm), jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3. Rovněž by se tlak v odběru při návrhu průtočné části mohl upravovat pomocí poměru rychlostí $\frac{u_s}{c_0}$ u jednotlivých stupňů, snížení poměru v předchozích stupních by vedlo ke zvýšení tlaku v odběru a naopak. Úprava poměru rychlostí ve stupni se ale také dotkne účinnosti stupně. Proto se spíše bude upravovat ohřátí v NN respektive ohřátí v NTO.

3.3 Rychlostní trojúhelníky

Jelikož není cílem práce navrhnout nové lopatky, přesahuje výpočet rychlostních trojúhelníků rozsah práce, avšak z důvodu celistvosti je výpočet proveden. Opět je sestavena funkce v softwaru Matlab k vypočtení rychlostních trojúhelníků. Rychlostní trojúhelníky slouží k vizualizaci směru a rychlosti proudění ve stupni. Metodika výpočtu a veškeré uvedené vztahy jsou převzaty od p. Škopka [3], proto nebude v této kapitole zdroj dále uváděn.

Výpočet bude uvažovat mírnou reakci na patě, a to z důvodu stabilizace proudění. Výpočet je proveden na středních průměrech lopatek. Z tohoto důvodu jsou rychlostní trojúhelníky směrodatné pro celou délku lopatky jen u kratších lopatek. U delších lopatek je nutné spočítat rychlostní trojúhelníky nejen na středním průměru, ale také na patním a hlavovém. Celý výpočet převážně vychází z trigonometrie. Jelikož není výpočet rychlostních trojúhelníků předmětem práce, budou spočítány jen na středním průměru i u delších lopatek. Rychlosti a úhly na vstupu do OL jsou značeny indexem 1 a na výstupu indexem 2. Znázornění rychlostních trojúhelníků je na obrázku 7. Postup výpočtu je následující.



Obrázek 7 - Rychlostní trojúhelníky a značení

Obvodová rychlost na středním průměru je:

$$u = \frac{\pi \cdot D_s \cdot n}{60} . \quad (3.46)$$

Stupeň reakce na středním průměru se určí (mocnina závisí na účinnosti a na úhlu α_1 , je ale zjednodušena na běžně užívanou hodnotu):

$$R_s = 1 - \left(\frac{D_p}{D_s}\right)^{1.7} \cdot (1 - R_p) . \quad (3.47)$$

Úhel absolutní rychlosti na vstupu do OL α_1 je totožný s výstupním úhlem z rozváděcích lopatek a je určen v zadání. Absolutní rychlost na výstupu z rozváděcích lopatek je:

$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - R_s) \cdot H_{iz}} . \quad (3.48)$$

Axiální složka absolutní rychlosti:

$$c_{1ax} = c_1 \cdot \sin(\alpha_1) . \quad (3.49)$$

Obvodová složka absolutní rychlosti:

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos(\alpha_1) . \quad (3.50)$$

Axiální složka relativní rychlosti:

$$w_{1ax} = c_{1ax} . \quad (3.51)$$

Obvodová složka relativní rychlosti:

$$w_{1u} = c_{1u} - u . \quad (3.52)$$

Celková relativní rychlost na výstupu z RL je:

$$w_1 = \sqrt{w_{1u}^2 + w_{1ax}^2} . \quad (3.53)$$

Úhel relativní rychlosti:

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{w_{1ax}}{w_1}\right) . \quad (3.54)$$

Úhel relativní rychlosti β_2 je převzat ze zadání. Rychlostní ztrátový součinitel pro oběžné lopatky je:

$$\psi = -1.0714 \cdot 10^{-5} \cdot (\beta_1 + \beta_2)^2 + 0,002964 \cdot (\beta_1 + \beta_2) + 0,7507 . \quad (3.55)$$

Relativní rychlost na výstupu z oběžných lopatek se určí:

$$w_2 = \psi \cdot \sqrt{w_1^2 + 2 \cdot R_s \cdot H_{iz}} . \quad (3.56)$$

Axiální složka relativní rychlosti na výstupu z OL je:

$$w_{2ax} = w_2 \cdot \sin(\beta_2). \quad (3.57)$$

Obvodová složka relativní rychlosti na výstupu z OL je:

$$w_{2u} = w_2 \cdot \cos(\beta_2). \quad (3.58)$$

Axiální složka absolutní rychlosti na výstupu z OL:

$$c_{2ax} = w_{2ax}. \quad (3.59)$$

Obvodová složka absolutní rychlosti na výstupu z OL je:

$$c_{2u} = w_{2u} - u. \quad (3.60)$$

Absolutní rychlost na výstupu z OL:

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2ax}^2}. \quad (3.61)$$

Nakonec se úhel absolutní rychlosti na výstupu z OL určí:

$$\alpha_2 = \arccos\left(\frac{c_{2u}}{c_2}\right). \quad (3.62)$$

Výsledky z výpočtu jsou pro VT i ST díl turbíny uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 - Výsledky z výpočtu rychlostí ve stupních (vpravo ST díl, vlevo VT díl)

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Střední průměr	m	0.9	0.777	0.779	0.7815	0.7845	0.7875	0.789	0.7925	0.796	0.8015
Patní průměr	m	0.872	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753
Obvodová rychlost	m/s	141.37	122.05	122.36	122.75	123.23	123.7	123.93	124.48	125.03	125.9
Abs. rychlost vstup OL	m/s	286.15	247.09	247.19	247.3	247.45	247.59	247.66	247.82	247.99	231.31
Ax. sl. abs. rychl. vstup OL	m/s	68.091	56.558	56.705	56.733	56.963	57.143	57.333	57.534	57.743	59.829
Ob. sl. abs. rychl. vstup OL	m/s	277.93	240.53	240.59	240.71	240.8	240.9	240.99	241.02	241.08	223.44
Relativní rychlost vstup OL	m/s	152.6	131.29	131.13	130.89	130.65	130.39	131.03	130.77	130.8	114.43
Ax. sl. rel. rychl. vstup OL	m/s	68.091	56.558	56.705	56.733	56.963	57.143	57.333	57.534	57.743	59.829
Ob. sl. rel. rychl. vstup OL	m/s	136.56	118.48	118.23	117.96	117.58	117.21	116.22	115.76	114.99	97.545
Úhel abs. rychlosti vstup OL	°	13.766	13.232	13.262	13.262	13.309	13.344	14.14	14.211	14.56	14.99
Úhel relativní rychlosti vstup OL	°	26.501	25.517	25.623	25.686	25.849	25.991	27.5	27.725	28.464	31.523
Abs. rychlost výstup OL	m/s	60.767	53.82	54.239	54.745	55.306	55.869	56.591	57.021	57.89	54.843
Ax. sl. abs. rychl. výstup OL	m/s	60.767	53.812	54.237	54.745	55.302	55.853	56.534	56.918	57.713	54.338
Ob. sl. abs. rychl. výstup OL	m/s	0.23389	-0.22178	-0.49149	0.67144	1.323	2.5345	3.4131	4.5323	-7.4238	-7.4238
Relativní rychlost výstup OL	m/s	154.09	132.54	133.39	134.41	135.68	136.93	138.53	139.99	141.84	130.34
Ax. sl. rel. rychl. výstup OL	m/s	60.767	53.812	54.237	54.745	55.302	55.853	56.534	56.918	57.713	54.338
Ob. sl. rel. rychl. výstup OL	m/s	141.6	121.13	121.87	122.76	123.9	125.02	126.47	127.89	129.56	118.47
Úhel abs. rychlosti výstup OL	°	89.779	90.981	90.519	89.996	89.304	88.643	87.433	86.568	85.51	97.78
Úhel relativní rychlosti výstup OL	°	23.226	23.994	23.991	24.035	24.054	24.073	24.086	23.991	24.01	24.639

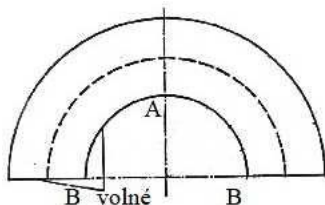
Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Střední průměr	m	0.9575	0.964	0.972	0.981	1.1745	1.181	1.198	1.208	1.217	1.222	1.279	1.3785
Patní průměr	m	0.903	0.903	0.903	0.903	1.103	1.093	1.083	1.073	1.063	1.0535	1.0435	1.0335
Obvodová rychlost	m/s	150.4	151.42	152.68	154.09	184.48	185.51	188.18	189.75	191.16	191.95	200.9	216.53
Abs. rychlost vstup OL	m/s	297.52	297.83	298.2	298.61	363.65	361.14	329.79	327.61	325.37	376.95	376.47	333.74
Ax. sl. abs. rychl. vstup OL	m/s	72.627	72.58	72.847	72.948	84.405	84.436	77.172	80.492	88.106	103.6	104.88	96.741
Ob. sl. abs. rychl. vstup OL	m/s	288.52	288.85	289.16	289.56	353.72	351.14	320.63	317.56	313.22	362.43	361.56	319.41
Relativní rychlost vstup OL	m/s	156.05	155.42	154.71	153.86	189.12	185.91	153.3	151.05	150.53	199.49	191.87	141.22
Ax. sl. rel. rychl. vstup OL	m/s	72.627	72.58	72.847	72.948	84.405	84.436	77.172	80.492	88.106	103.6	104.88	96.741
Ob. sl. rel. rychl. vstup OL	m/s	138.12	137.43	136.48	135.47	169.23	165.63	132.46	127.82	122.06	170.49	160.67	102.89
Úhel abs. rychlosti vstup OL	°	14.129	14.105	14.14	14.14	13.421	13.521	13.533	14.223	15.711	15.952	16.176	16.85
Úhel relativní rychlosti vstup OL	°	27.736	27.84	28.091	28.301	26.507	27.012	30.226	32.2	35.824	31.285	33.136	43.237
Abs. rychlost výstup OL	m/s	63.215	66.469	68.092	69.936	83.6	86.316	79.842	76.282	90.718	107.21	137.46	128.36
Ax. sl. abs. rychl. výstup OL	m/s	63.215	66.469	68.092	69.936	83.6	86.316	79.842	76.282	90.718	107.21	137.46	128.36
Ob. sl. abs. rychl. výstup OL	m/s	6.7617	6.5986	6.7398	6.986	6.9818	6.988	-7.2915	-0.36323	2.5493	56.024	64.682	49.192
Relativní rychlost výstup OL	m/s	170.02	172.57	175.81	178.81	208.81	213.9	197.59	204.17	213.88	264.28	291.97	290.97
Ax. sl. rel. rychl. výstup OL	m/s	64.864	65.98	67.398	68.987	83.308	85.676	79.508	76.281	91.407	121.29	118.56	118.56
Ob. sl. rel. rychl. výstup OL	m/s	157.16	159.46	162.38	165.58	191.47	195.99	180.88	189.38	193.71	247.97	265.58	265.58
Úhel abs. rychlosti výstup OL	°	84.049	83.05	81.811	80.548	85.209	83.021	95.24	90.273	88.39	58.495	61.93	67.465
Úhel relativní rychlosti výstup OL	°	22.427	22.478	22.542	22.619	23.514	23.612	23.728	21.939	25.086	20.235	24.546	24.045

4 Základní pevnostní výpočet

V rámci pevnostního výpočtu bude kontrolováno napětí ve stávajících prvcích, jako jsou rozváděcí kola a oběžné lopatky. V případě, že se budou měnit konstrukční prvky turbíny, bude sloužit pevnostní výpočet pro návrh nových dílů. Pevnostní výpočet bude rozdělen na kontrolu namáhání rozváděcího ústrojí a uchycení oběžných lopatek. Metodika výpočtu, veškeré uvedené vztahy, poznatky a obrázky jsou převzaty od p. Škopka [3], dovolená napětí jsou rovněž převzata z [3], viz příloha 5. Proto pro větší přehlednost nebude zdroj [3] v této kapitole dále zmiňován. Výsledky z pevnostní kontroly jsou uvedeny v příloze 4.

4.1 Rozváděcí kola

Rozváděcí kola jsou půlená, rozváděcí lopatky jsou do věnce a náboje zavařeny. U půlených rozváděcích kol se dosáhne nejvyššího namáhání na povrchu vnitřního otvoru RK natočeného 90° od dělicí roviny, bod A na obrázku 8. Jelikož je vnější obvod usazen do tělesa turbíny nebo do nosičů, bude nejvyšší průhyb na volných koncích, v body B na obrázku 8. Při příliš vysokém průhybu by mohlo dojít ke styku RK s diskem oběžných lopatek, což by vedlo k otírání či destrukci. Proto je nutné RK v těchto místech kontrolovat.



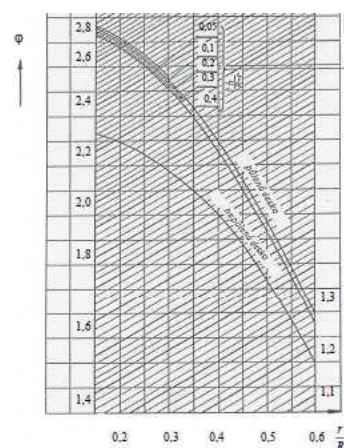
Obrázek 8 - Namáhání a průhyb RK

4.1.1 Namáhání RK

Uvedený vzorec je zjednodušený analytický vztah pro půlenou desku, který je získán zobecněním experimentů podle Taylora.

$$\sigma_{dov} \geq \sigma_{max} = \varphi \cdot \Delta p \cdot \frac{R^2}{h^2} \quad (4.1)$$

Kde σ_{dov} je dovolené napětí materiálu, je nutné zohlednit vliv teploty. σ_{max} je maximální dosažené napětí v RK, φ je součinitel závislý na poměru vnějšího a vnitřního průměru RK a je určen na základě grafu na obrázku 9, Δp je přetlak působící na RK, R je poloměr podepření kola (pro zjednodušení lze počítat s poloměrem, na kterém těleso či nosič zakrývá RK). A h je ekvivalentní šířka RK. Ekvivalentní šířku je možné určit jako vážený průměr tloušťek na celém kole, jelikož ale u tohoto provedení turbíny jsou RK stejně široká na každém poloměru s výjimkou usměrňovacího prvku na RK v ST tělese v pátém stupni, nebude nutné získávat ekvivalentní tloušťku průměrem.



Obrázek 9 - Diagram pro stanovení koeficientu φ

4.1.2 Průhyb RK

Uvedený vztah je rovněž zjednodušený analytický vztah založený na experimentech dle Taylora. Jak je ze vztahu patrné, maximální průhyb nesmí překročit násobek dvou tisícin poloměru podepření.

$$y_{\max \text{ dov}} \geq y_{\max} = \mu \cdot \Delta p \cdot \frac{R^4}{E \cdot h^3} \quad (4.2)$$

$$y_{\max \text{ dov}} = 0,002 \cdot R \quad (4.3)$$

Kde $y_{\max \text{ dov}}$ je maximální dovolený průhyb, y_{\max} je maximální průhyb a E je Youngův modul pružnosti v tahu, při určování tohoto modulu je nutné zohlednit vliv teploty. Zpravidla bývá kritérium pro splnění maximálního průhybu konzervativnější než namáhání RK, avšak z důvodu jistoty jsou provedeny obě kontroly.

4.1.3 Namáhání rozváděcích lopatek

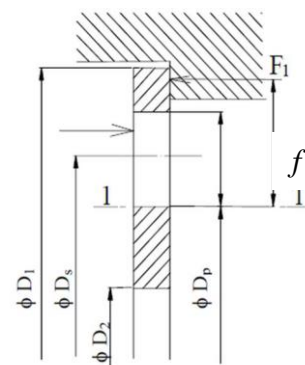
Profily rozváděcích lopatek jsou jako celá RK zatíženy přetlakem, kontrolují se na ohyb v patním průřezu následujícím způsobem.

Síla od přetlaku F , která působí v opěrné ploše je:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \Delta p. \quad (4.4)$$

Zbylé veličiny jsou patrné z obrázku 10. Pro zjištění síly na jednu lopatku se výsledná síla F podělí počtem lopatek z .

$$F_1 = \frac{F}{z} \quad (4.5)$$



Obrázek 10 - Schéma rozváděcího kola pro určení namáhání RL

Výsledný ohybový moment na jednu lopatku M_1 , který ohybá lopatku ve směru s nejnižším průřezovým modulem v ohybu W_{\min} je:

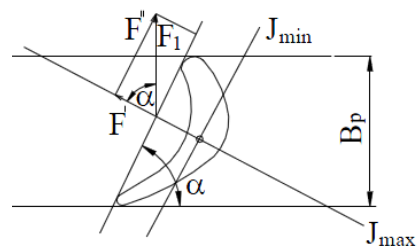
$$M_1 = F_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot f. \quad (4.6)$$

Kde $\cos(\alpha)$ překlápí sílu F_1 do roviny působení ohybového momentu M_1 , jak je patrná z obrázku 11. Výsledné ohybové napětí působící na lopatku se určí následovně. Běžně se předpokládá, že rovina s nejnižším průřezovým modulem obsahuje tětivu profilu. Úhel α je možné brát jako úhel mezi výslednou působící silou F_1 a tětívou.

$$\sigma_o = \frac{M_1}{W_{\min}} \quad (4.7)$$

Ohybové napětí nesmí překročit dovolené napětí, která se opět musí určit s přihlédnutím na provozní teplotu.

Pokud by ohybové napětí překročilo dovolenou mez v RL, bylo by nutné zvětšit šířku profilu. To samé platí pro namáhání RK, kdy by bylo třeba zvýšit šířku RK. Značný vliv na zatížení RK má poměr obvodové a fiktivní rychlosti ve



Obrázek 11 - Rozložení sil v profilu RL

stupni. Při snižování poměru rychlostí roste nejen entalpický spád ve stupni, ale také přetlak působící na stupeň, jelikož čím je vyšší zpracovaný entalpický spád, tím je nižší tlak za stupněm. Může se tedy stát, že při velkém snížení poměru rychlostí budou více namáhány rozváděcí kola a nebudou pevnostně vyhovovat. Výsledky z pevnostní kontroly jsou uvedeny v příloze 4.

4.2 Oběžné lopatky

Namáhání oběžných lopatek lze rozdělit na namáhání od přenášeného výkonu, které vytvoří ohybové napětí a lopatka je namáhána na ohyb, a na namáhání odstředivou silou, jež vyvolá v lopatce tahové napětí. Dále je také nutné věnovat pozornost uložení OL, kde je vyvoláno tahové a smykové napětí a kontrolují se i stykové plochy na otláčení.

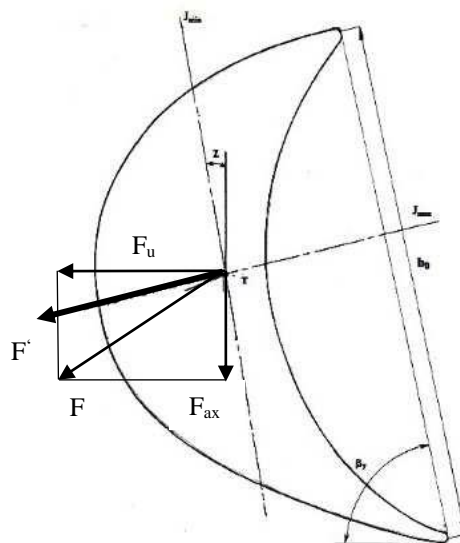
4.2.1 Namáhání na ohyb od přenášeného výkonu

Pro určení namáhání od přenášeného výkonu, je nutné znát mimo jiné i velikost absolutní rychlosti na vstupu a výstupu z OL a její úhly sklonu. Opět je nutné rozložit sílu vyvolávající namáhání na sílu v obvodovém směru F_u a sílu v axiálním směru F_a . Síly se následně složí do výslednice a obdobně, jako tomu bylo u RL se síla promítne do roviny kolmé k rovině minimálního modulu průřezu v ohybu. Postup je následující:

$$F_u = \dot{m} \cdot \frac{c_{1u} - c_{2u}}{z \cdot \varepsilon}, \quad (4.8)$$

$$F_{ax} = \dot{m} \cdot \frac{c_{1ax} - c_{2ax}}{z \cdot \varepsilon} + \Delta p \cdot l \cdot t. \quad (4.9)$$

Je zřejmé, že obvodová síla je úměrná rozdílu obvodových složek absolutních rychlostí a hmotnostnímu průtoku páry \dot{m} , naopak je nepřímo úměrná počtu lopatek z a parcelnosti kola ε . Axiální složka síly se získá obdobně, akorát místo obvodových složek absolutní rychlosti se použijí složky axiální a přidá se člen od přetlaku, kdy přetlak Δp působí na plochu o délce lopatky l a šířce tělvy lopatky t . Síly se složí do výsledné síly F a následně se promítne do požadované roviny a vznikne síla F' , viz obrázek 12.



Obrázek 12 – Rozložení sil v OL od působení proudu páry

$$F = \sqrt{F_u^2 + F_{ax}^2} \quad (4.10)$$

$$F' = F \cdot \cos(\vartheta) \quad (4.11)$$

$$F'' = F \cdot \sin(\vartheta) \quad (4.12)$$

Namáhání od síly F'' se zpravidla zanedbává, jelikož je síla oproti síle F' malá, a navíc působí na rovinu s maximálním modulem průřezu v ohybu, tudíž je vyvolané namáhání zanedbatelné. Výsledný moment a ohybové napětí v lopatce je:

$$M_{max} = F' \cdot \frac{l}{2}, \quad (4.13)$$

$$\sigma_0 = \frac{M_{max}}{W_{min}}. \quad (4.14)$$

Podle zkušeností DSPW by ohybové namáhání nemělo překročit 20 MPa . U stupňů s parciálním odstříkem a stupňů za odběrem se povolené namáhání snižuje na 16 MPa z důvodu cyklického namáhání lopatek. Rovněž se stupeň s parciálním odstříkem pevnostně kontroluje na provoz s otevřeným minimálním počtem skupin a maximálním hmotnostním průtokem. Jelikož se provozní podmínky regulačního stupně nezměnily, tudíž nedošlo ke změně namáhání, je regulační stupeň zkontrolován jen při nominálním provozu. Jestliže nejsou známy složky rychlostí pro výpočet zátěžných sil, je možné využít jiný přístup popsany v následujících rovnicích.

$$M_k = \frac{P_{st}}{\omega} \cdot \frac{1}{z \cdot \varepsilon} \quad (4.15)$$

$$F_u = \frac{2 \cdot M_k}{D_s} \quad (4.16)$$

$$M_o = F_u \cdot \frac{L}{2} \quad (4.17)$$

$$\sigma_0 = \frac{M_o}{W_{min}} \quad (4.18)$$

Kde P_{st} je výkon stupně a M_k krouticí moment na jednu lopatku. Pokud je nutné zvyšovat šířku profilu kvůli dimenzování, není nutné složitě počítat průřezový modul v ohybu a plochu profilu nové širší lopatky, ale je možné využít následující přibližné vztahy.

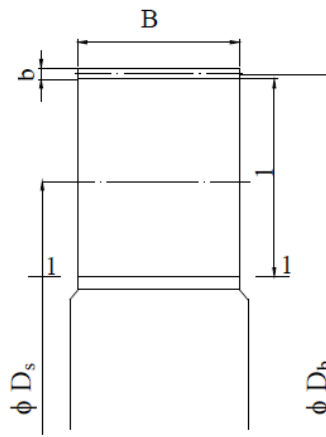
$$S_{p_nová} = S_{p_nom} \cdot \left(\frac{B_{nová}}{B_{nom}}\right)^2 \quad (4.19)$$

$$W_{min_nový} = W_{min_nom} \cdot \left(\frac{B_{nová}}{B_{nom}}\right)^3 \quad (4.20)$$

Kde popořadě $B_{nová}$, B_{nom} je nová a původní šířka lopatky, $S_{p_{nová}}$, $S_{p_{nom}}$ je nová a původní plocha průřezu lopatky a $W_{min_{nový}}$, $W_{min_{nom}}$ je nový a původní minimální průřezový modul v ohybu.

4.2.2 Namáhání na tah

Jelikož lopatky mají nezanedbatelnou hmotnost a točí se s poměrně vysokými otáčkami, podílí se odstředivé síly velkou mírou na namáhání lopatek při provozu. Lopatka se kontroluje v místě, které je nejbližší uložení, to znamená v řezu, nad kterým je veškerá hmotnost lopatky. (řez 1-1 na obrázku 13). Z toho vyplývá, že patní průřez lopatky je z hlediska pevnosti nejdůležitější částí lopatky s výjimkou uložení, jak bude zmíněno později. Patní průřezy především koncových lopatek podléhají zvýšené erozi při provozech s nižším zatížením, dochází tak k ztenčování průřezu lopatky a v krajních případech může dojít i k odlomení lopatky. Proto je nezbytné kontrolovat jejich namáhání. Otáčky, při kterých se kontroluje namáhání, nejsou nominální, ale jsou navýšeny tak, aby i při zvýšení otáček turbíny nedošlo k poškození.



Obrázek 13 - Schéma OL pro namáhání tahem

Odstředivá síla O_l vyvolaná hmotností listu lopatky je:

$$O_l = \rho \cdot S_p \cdot l \cdot \frac{D_s}{2} \cdot \omega^2, \quad (4.21)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n'}{60}, \quad (4.22)$$

$$n' = 1,1 \cdot n, \quad (4.23)$$

Kde ρ je hustota materiálu lopatky, S_p je patní průřez lopatky, l je délka lopatky, D_s střední průměr, ω je úhlová rychlost a n' jsou navýšené výpočtové otáčky. Z vzorce je patrné, že se uvažuje válcový profil lopatky, tento vztah je ovšem možné použít i pro zkroucené lopatky s využitím součinitele odlehčení, který bude zmíněn později. Dále k namáhání lopatky přispívá i hmotnost bandáže:

$$O_b = \rho \cdot \pi \cdot D_b \cdot B \cdot b \cdot \frac{D_b}{2} \cdot \frac{\omega^2}{z} \quad (4.24)$$

Kde ρ je hustota materiálu bandáže, D_b střední průměr bandáže, B šířka bandáže, b tloušťka bandáže a z je počet OL. Takto zjištěné síly se sečtou a zjistí se tahové napětí, které je následně porovnáno s napětím dovoleným.

$$O = O_l + O_b \quad (4.25)$$

$$\sigma_t = \frac{O}{S_p} \quad (4.26)$$

V případě, že se jedná o zkroucenou lopatku, je napětí podělené součinitelem odlehčení k_{od} , který závisí na poměru ploch patního S_p a špičkového průřezu lopatky S_h .

$$k_{od} = \sqrt{\frac{S_p}{S_h}} \quad (4.27)$$

$$\sigma_t = \frac{O}{k_{od} \cdot S_p} \quad (4.28)$$

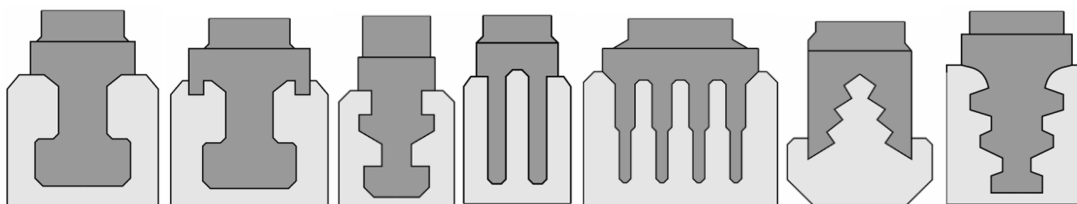
Jelikož se nejedná a jednoduchou napjatost, není zcela v pořádku posuzovat jednotlivá napětí samostatně, ale je vhodnější tato napětí sjednotit a posoudit je dohromady. Kdyby byla jednotlivá napětí posouzena samostatně a splnila by podmínku, není zaručeno, že je lopatka schopna snášet tato napětí dohromady. Jedna z možností sjednocení napětí je:

$$\sigma_{dov} \geq \sigma = 2 \cdot \sigma_0 + \sigma_t \quad (4.29)$$

Výsledky z pevnostní kontroly jsou uvedeny v příloze 4.

4.2.3 Uložení oběžných lopatek

Je mnoho způsobů, jak uložit OL do disku rotoru. Typy uložení se volí s ohledem na odstředivou sílu, kterou lopatka i s uložením vyvolává, a s ohledem na zvyklosti dané výrobcem. Některé typy uložení jsou schopny snést jen nižší odstředivé síly a jiné jsou naopak vhodné pro dlouhé a těžké lopatky. Drážky v disku rotoru mohou být jak samostatné (v případě stromečkové nožky), tak může být v disku zhotovena jen jedna obvodová drážka, kam jsou veškeré lopatky nasunuty. V původním řešení turbíny jsou ve VT a ST dílu použity jen zazubené T-nožky s výjimkou regulačního stupně, kde jsou OL uchyceny pomocí vidličkové nožky. Z tohoto důvodu bude postup kontroly uložení proveden jen pro tyto typy uložení, avšak z důvodu úplnosti budou okrajově zmíněny i jiné typy uložení, viz obrázek 14 z interních zdrojů DSPW, ne všechny typy nožek jsou používány.

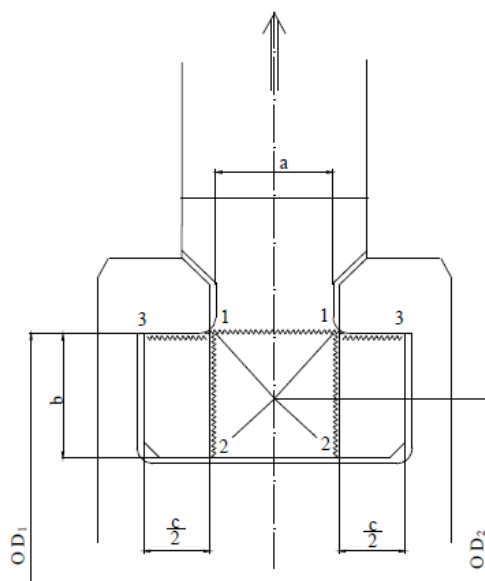


Obrázek 14 - Různé typy uložení oběžných lopatek, popořadě od leva: T-nožka, T-nožka se zazuběním, dvojitá T-nožka, vidličková nožka, víceprstá vidličková nožka, inverzní stromečková nožka a stromečková nožka

Zprava doleva je na obrázku jednoduchá T-nožka běžně používána pro kratší lopatky, T-nožka se zazubemím, které zabraňuje „odchlípnutí“ krajů disku od T-nožky, a tudíž zvyšuje únosnost uložení. Dále je zde zobrazena dvojitá T-nožka, která je rovněž schopna snést vyšší zatížení nežli jednoduchá. Vidličkové a víceprsté vidličkové nožky se používají pro delší lopatky a jsou pojištěny kolíky. Inverzní stromečkové nožky a stromečkové nožky se hojně používají zejména pro dlouhé zkroucené lopatky posledních stupňů kondenzačních turbín.

4.2.3.1 Pevnostní kontrola T-nožky

Schéma uložení OL pro pevnostní kontrolu je na obrázku 15. Nožka je namáhána na tahu v průřezu 1-1, pak na smyk v průřezích 1-2 a nakonec se kontroluje otlačení na plochách 1-3.



Obrázek 15 - Schéma T-nožky pro pevnostní kontrolu

Namáhání v tahu

Namáhání v tahu se v průřezu 1-1 určí následovně.

$$A_{11} = a \cdot t_{11} \quad (4.30)$$

$$t_{11} = \frac{\pi \cdot D_1}{z} \quad (4.31)$$

$$\sigma_{11} = \frac{O_l + O_b + O_z}{A_{11}} = \frac{O_{11}}{A_{11}} \quad (4.32)$$

Kde A_{11} je plocha průřezu 1-1, t_{11} je šířka nožky, z je počet OL ve stupni, O_l a O_b jsou odstředivé síly od profilu lopatky a bandáže, která byly určeny dříve a O_z je odstředivá síla od části závěsu mezi řezem 1-1 a patním průměrem lopatky. Výsledné napětí σ_{11} se porovná s dovoleným. Při zjišťování dovoleného napětí je nutné respektovat vliv teploty.

Namáhání ve smyku

U namáhání ve smyku je odstředivá síla vyvolávající zatížení shodná s odstředivou silou O_{11} a je navýšena o odstředivou sílu O'_z vyvolanou hmotností závěsu 1-1-2-2.

$$A_{12} = b \cdot t_{12} \quad (4.33)$$

$$t_{12} = \frac{\pi \cdot D_2}{z} \quad (4.34)$$

$$\tau_{12} = \frac{O_{11} + O_z'}{2 \cdot A_{12}} \quad (4.35)$$

Veškeré veličiny jsou shodné s namáháním v tahu nebo jsou patrné z obrázku 15. Smykové napětí je opět porovnáno s dovoleným napětím, přičemž je opět nutné respektovat vliv teploty. Jelikož není dovolené smykové napětí běžně uváděno, lze vycházet z meze kluzu v tahu a použít vztah:

$$\tau_{dov} \leq (0,6 - 0,7) \cdot \sigma_{dov} \quad (4.36)$$

Namáhání na otláčení

Otláčení jsou vystaveny průřezy 1-3 a kontrola se provádí následovně.

$$p_{13} = \frac{O_l + O_b + O_{zc}}{c \cdot t_{11}} \quad (4.37)$$

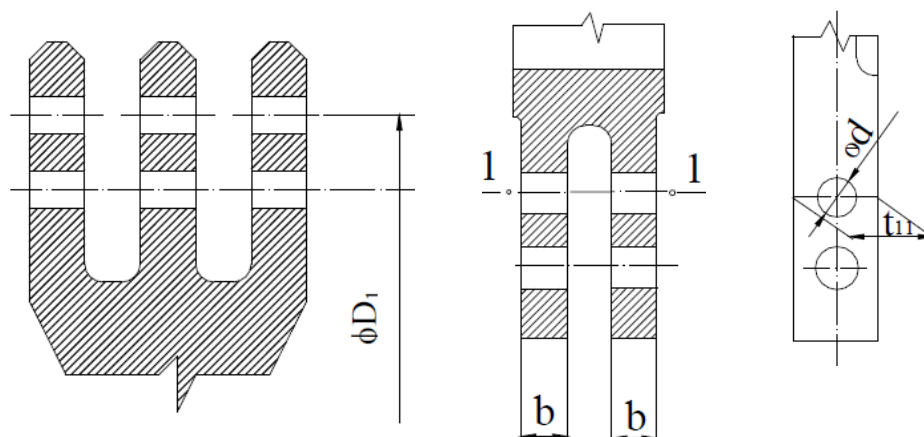
Kde O_{zc} je odstředivá síla celého závěsu, ostatní veličiny již byly zmíněny nebo jsou patrné z obrázku 15. Tlak p_{13} je porovnán s dovolenou hodnotou, která je určena jako násobek dovoleného napětí v tahu.

$$p_{dov} = 1,5 \cdot \sigma_{dov} \quad (4.38)$$

Výsledky z pevnostní kontroly jsou uvedeny v příloze 4.

4.2.3.2 Pevnostní kontrola vidličkové nožky

Stejně jako tomu bylo u T-nožky, i u vidličkové nožky se kontrolují v jistých průřezech na tah, smyk a otláčení. Schéma vidličkové nožky a disku je na obrázku 16.



Obrázek 16 - Schéma disku pro uložení vidličkové nožky a vidličkové nožky

Namáhání v tahu

Na tah se kontroluje nejužší průřez u kolíku v rovině 1-1 a to následovně.

$$A_{11} = b \cdot (t_{11} - d \cdot n_k) \cdot n_v \quad (4.39)$$

$$t_{11} = \frac{\pi \cdot D_1}{z} \quad (4.40)$$

$$\sigma = \frac{O_c}{A_{11}} \quad (4.41)$$

Kde n_v je počet rozvidlení, n_k je počet kolíků na jednom průměru, O_c je odstředivá síla všech hmot nad rovinou 1-1, ostatní veličiny již byly zmíněny nebo jsou patrné z obrázku 16. Výsledné napětí σ je opět porovnáno s dovoleným napětím, u kterého je nutné respektovat vliv teploty.

Namáhání ve smyku

Na rozdíl od T-nožky není u vidličkové nožky na smyk namáhána nožka samotná nýbrž její pojistný kolík. Jelikož se zatížení nerozloží rovnoměrně na všechny kolíky, uvažuje se, že celé zatížení nese kolík v rovině 1-1. Zbylé kolíky pod rovinou 1-1 jsou považovány za pojistné. Ve skutečnosti vzniknou při zatížení v kolíku deformace a zatížení se může rozložit na oba kolíky. Pojištění kolíky by tedy mělo být schopno snést dvakrát tak velké zatížení.

$$\tau = \frac{O'_c}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 2 \cdot n_v \cdot n_k} \quad (4.42)$$

Kde O'_c je odstředivá síla lopatky i s nožkou, ostatní veličiny již byly zmíněny nebo jsou patrné z obrázku 16. Výsledné smykové napětí se porovnává s dovoleným pro daný kolík a odpovídající teplotu. Dovolené smykové napětí je určeno totožně jako u T nožky.

Namáhání na otláčení

Při kontrole otláčení se rovněž vychází z úvahy, že veškeré zatížení přenáší horní kolík. Zjištěné namáhání p_{ot} se porovnává s dovoleným jak pro kolík, tak pro lopatku. Dovolená hodnota otláčení se určuje totožně, jako tomu bylo u T nožky.

$$p_{ot} = \frac{O'_c}{b \cdot d \cdot n_v \cdot n_k} \quad (4.43)$$

Výsledky z pevnostní kontroly jsou uvedeny v příloze 4. Dovolené otláčení je určeno totožně jako u T nožky.

Materiály z nichž se vycházelo pro základní pevnostní výpočet jsou uvedeny v tabulce 6, veškeré hodnoty dovolených napětí použité pro základní pevnostní výpočet jsou uvedeny v příloze 5.

Tabulka 6 - Materiály OL a RL

	Material_OL	Material_RL		Material_OL	Material_RL
Stupeň VT A	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 1	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 1	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 2	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 2	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 3	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 3	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 4	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 4	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 5	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 5	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 6	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 6	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 7	P-AK 2MV.7	15 335.3
Stupeň VT 7	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 8	P-AK 1 TD	17 021.2
Stupeň VT 8	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 9	P-AK 1 TD	17 021.2
Stupeň VT 9	P-AK 2MV.7	15 335.3	Stupeň ST 10	P-AK 1 TD	17 021.2
			Stupeň ST 11	P-AK 1 TD	17 021.2
			Stupeň ST 12	P-AK 1 TD	17 021.2

5 Porovnání nového návrhu turbíny se stávajícím

V této kapitole budou porovnány rozdíly mezi novým návrhem turbíny uzpůsobené pro teplofikaci a původní kondenzační turbínou. Porovnání je rozděleno do části zabývající se rozdíly v tepelném schématu a části věnující se konstrukčním řešením turbíny, které vychází z nového tepelného schématu. Hlavní změnou je zrušení NT dílu turbíny, který bude zbaven lopatkování a bude sloužit jen jako spojový člen mezi ST dílem a generátorem, aby se nemuselo měnit dispoziční rozložení stroje. Místo kondenzátoru bude nainstalován nový výměník pro ohřev topné vody pomocí páry vystupující z ST dílu turbíny. Dále jsou zrušeny veškeré regenerační odběry a výměníky kromě odběru z konce VT dílu do NN a z posledního odběru v ST dílu do NTO. Teplota, na kterou se přehřívá pára po výstupu z VT dílu, je zachována. Porovnání dalších odlišností vychází právě z těchto prvotních změn.

5.1 Rozdíly v tepelném schématu

Před porovnáním konkrétních hodnot lze na základě jednoduché úvahy založené právě na výše zmíněných odlišnostech konstatovat, že se parametry páry ve VT dílu nebudou příliš měnit. Důvodem je to, že v průběhu VT dílu nebyl zařazen jediný regenerační ohřívák, který by odebíral část hmotnostního průtoku páry z turbíny, tudíž se hmotnostní průtok páry ve VT dílu nezmění. Navíc je tlak a teplota přehřáté páry zadána a je téměř stejná s původním provedením. Jediné odlišnosti, které lze očekávat, jsou dány odlišností ve výpočtu, např. zaokrouhlování, využívání jiných parních tabulek a předpokládané účinnosti dílů. Pro porovnání číselných hodnot je možné nahlédnout na obrázek 2, kde jsou uvedené nové vypočtené hodnoty a do přílohy 1 s původním tepelným schématem. Po porovnání je výše zmíněný závěr ohledně VT dílu potvrzen.

U ST dílu turbíny již dojde k velkým změnám. Jelikož jsou zrušeny téměř všechny odběry, nebude se odvádět část hmotnostního průtoku do regeneračních ohříváků a ten tedy zůstane v průtočné části turbíny, což se podepíše nejen na tepelné účinnosti celého cyklu, ale také na zatížení jednotlivých stupňů ST dílu. Hmotnostní průtok na vstupu do ST dílu je u nového provedení vyšší, protože se zrušil odběr do nejvyššího VTO a odběr do NN, je obdobný. Díky stejným zadaným parametrům přehřáté páry nedojde na vstupu do ST k žádným změnám. Ve skutečnosti by se tlak přehřáté páry lehce změnil a to kvůli dvěma protichůdným faktorům. Prvním faktorem, který přispívá ke snížení tlaku na vstupu do ST dílu, je snížení výstupního tlaku, ten má ovšem jen malý vliv a podstatně ovlivní pouze poslední stupně. Druhý, který by vedl ke zvýšení tlaku přehřáté páry, je zvýšení hmotnostního průtoku páry na vstupu do ST dílu. Je možné konstatovat, že by se tlak přehřáté páry kvůli většímu hmotnostnímu průtoku lehce zvýšil. Pro zjednodušení byl ale tlak přehřáté páry zadán. Výstupní tlak je dán teplotou topné vody. Ta je vyšší než teplota chladicí vody v původním kondenzátoru, tudíž bude tlak páry na výstupu z turbíny vyšší než u původní varianty. Zásadní změnou je ale odebrání NT dílu, tudíž tlak páry na výstupu z turbíny je totožný s tlakem páry na výstupu z ST dílu. Výstupní tlak z turbíny je u nového řešení tedy vyšší, ale kvůli zrušení NT dílu je tlak na výstupu z ST dílu v novém provedení výrazně nižší. Středotlaký díl turbíny musí tedy v novém provedení zpracovat vyšší tlakový spád. Pro teplotu chladicí vody $t_{chl} = 24^{\circ}\text{C}$ u původního řešení a pro zavedení teplofikace je s konečnou teplotou topné vody $t_{top} = 90^{\circ}\text{C}$ tlak páry p_{out} na výstupu z ST dílu:

$$p_{out\ old}(t_{chl} = 24^{\circ}C) = 2,55\ bar \quad (5.1)$$

$$p_{out\ new}(t_{top} = 90^{\circ}C) = 0,84\ bar \quad (5.2)$$

Tlak na výstupu z ST dílu je zhruba třikrát nižší než byl dříve, důsledky změny tlaku na výstupu z ST dílu budou podrobněji zmíněny v následující kapitole.

Dále jsou podstatné rozdíly u NTO a NN. U nízkotlakého ohříváku, který je zachován, se změní jak teploty na vstupu a výstupu, tak celkové ohřátí. To vzroste z původních 30 °C na 46 °C. S rostoucím ohřátí naroste i množství páry potřebné k ohřátí NTO a to z původní hodnoty \dot{m}_{old} na novou \dot{m}_{new} .

$$\dot{m}_{old} = 3,9\ kg \cdot s^{-1} \quad (5.3)$$

$$\dot{m}_{new} = 7,69\ kg \cdot s^{-1} \quad (5.4)$$

Hmotnostní průtok páry v odběru pro NTO vzroste téměř dvakrát, to znamená, že rychlost proudění v odběrovém potrubí rovněž naroste dvakrát. Zvýšená rychlost v potrubí zvyšuje tlakové ztráty a také v místech, kde dochází ke změně směru proudění (např. kolena), roste intenzita eroze. Dále po zkondenzování topné páry v NTO odchází kondenzát do OTV přes ventil, který reguluje hladinu kondenzátu v NTO. Při průchodu ventilem je kondenzát seškracen, jelikož je kondenzát na mezi sytosti, dojde k částečnému odpaření, což zvýší objemový průtok v potrubí, a je třeba vyššího průměru pro udržení vhodné hodnoty rychlosti proudění. U starého provedení je potrubní trasa za ventilem uzpůsobena na starý hmotnostní průtok, tudíž i v potrubní trase za NTO dojde ke zvýšení rychlosti proudění.

Ohřátí v napájecí nádrži je zachováno na 18 °C, to znamená, že množství páry v odběru pro NN je stejný. Stejně množství páry v odběru znamená, že nezmění rychlost proudění páry v odběrovém potrubí a také nebude problém s počtem a velikostí barbotážních trubek v NN. Při vyšším průtoku by bylo třeba více barbotážních trubek k distribuci páry do objemu NN, a tudíž by barbotážní hrábě byly příliš robustní a nemusely by se do stávající nádrže vejít. V opačném případě, při snížení hmotnostního průtoku páry, by množství páry nemuselo stačit k dostatečnému odplynění. Z těchto důvodů je vhodné, že je množství páry v odběru stejné.

Pro porovnání konkrétních číselných hodnot je možné nahlédnout do původního řešení v příloze 1 a nového na obrázku 2.

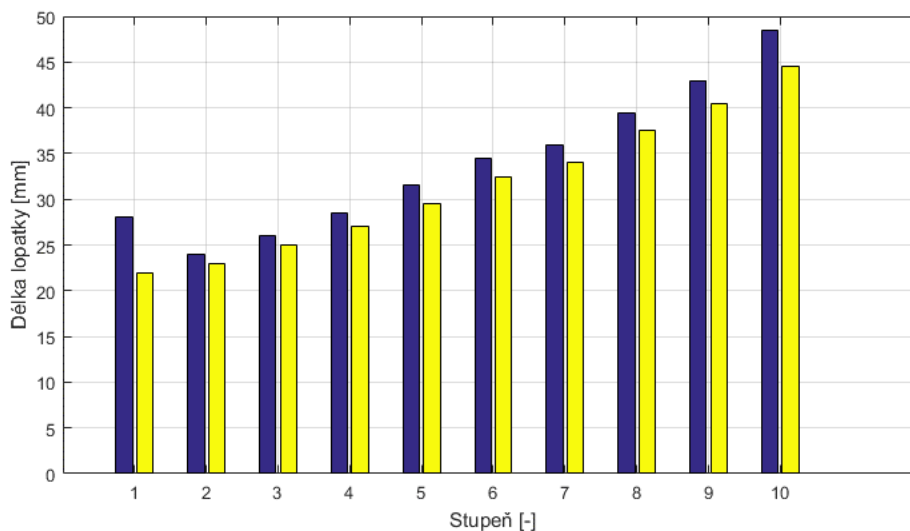
5.2 Rozdíly v konstrukčním řešení

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, parametry páry u VT dílu jsou téměř totožné, takže lze očekávat, že nedojde ani ke změně konstrukčního řešení turbíny, jako je počet stupňů, délka rozváděcích a oběžných lopatek, se kterou souvisí i závěsy oběžných lopatek. Porovnání délky rozváděcích lopatek jak pro VT, tak pro ST díl, je patrné z tabulky 7 spolu s průměry lopatkování. Délky lopatek se u VT dílu liší pouze o pár milimetrů, což může být dáno odlišnostmi ve výpočtu, jak bylo zmíněno v kapitole 5.1 nebo jinou volbou součinitele zaplnění průřezu ε_r (viz rovnice 3.20) a také nepatrnou změnou výstupního tlaku. Jelikož se příliš nemění délky lopatek, můžeme očekávat, že stávající závěs lopatek je vyhovující, což se potvrdí, viz pevnostní kontrola příloha 4. Lopatky pro celý VT díl vycházejí válcově stejně jako u původního provedení, viz tabulka 3.

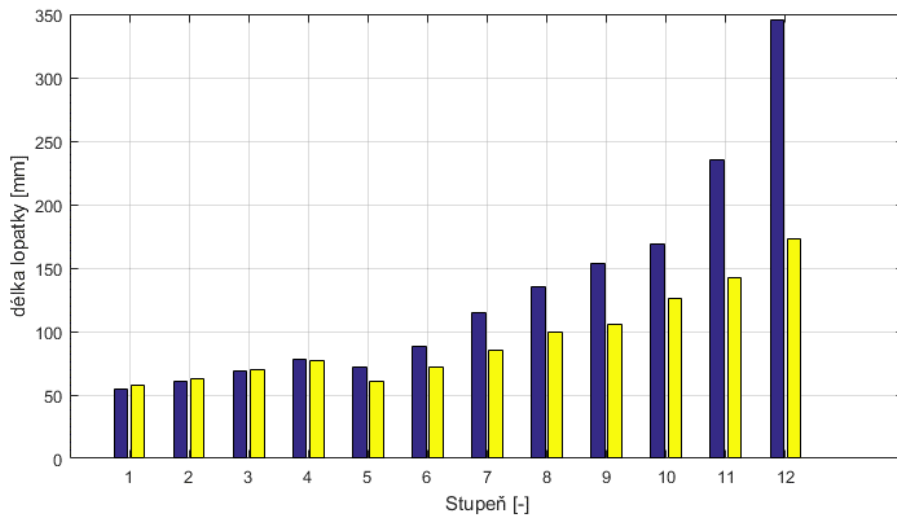
Délka lopatek u ST dílu turbíny se zejména od 5. stupně začíná podstatně měnit, a to o více než 10 mm, u posledního stupně je délka lopatky dvojnásobná. Tyto velké rozdíly jsou dané jednak zvýšením hmotnostního průtoku v zadní části ST dílu turbíny oproti předchozímu řešení (podrobněji popsáno v předchozí kapitole), tak snížením tlaku na konci ST dílu. Pára v průběhu ST dílu více expanduje, tím se i zvyšuje její měrný objem, což vede ke zvýšení délky lopatek především u koncových stupňů. Větší tlakový a tudíž i entalpický spád na ST díl, vede ke zvýšení počtu stupňů při zachování optimálního poměru obvodové a fiktivní rychlosti. Počet stupňů avšak není možné zvýšit kvůli zachování stávajícího dispozičního řešení. Při zachování počtu stupňů se u nového návrhu zvýší entalpické spády, které musí jednotlivé stupně zpracovat a tedy se sníží i poměr rychlostí, což povede ke snížení účinnosti jednotlivých stupňů a následně ke snížení termodynamické účinnosti celého dílu. Zvolit zkroucené lopatky podle pravidla v rovnici 3.26 je vhodné až od 8. stupně, viz tabulka 4. U původního řešení byly zkroucené lopatky použity rovněž až na 8. stupni. Kromě číselného porovnání délky lopatek v původní a nově navržené variantě v tabulce 7, je grafické porovnání délek lopatek VT a ST dílu na obrázku 17 a 18. Grafické porovnání patních a špičkových průměrů ve VT a ST dílu turbíny je na obrázcích 19, 20, 21 a 22. Jak pro porovnání délky lopatek, tak pro porovnání průměrů platí, že modře je zobrazeno nově spočtené řešení a žlutě stávající.

Tabulka 7 - Porovnání stávající délky lopatek a nově spočtené délky lopatek společně s průměry lopatkování [mm]

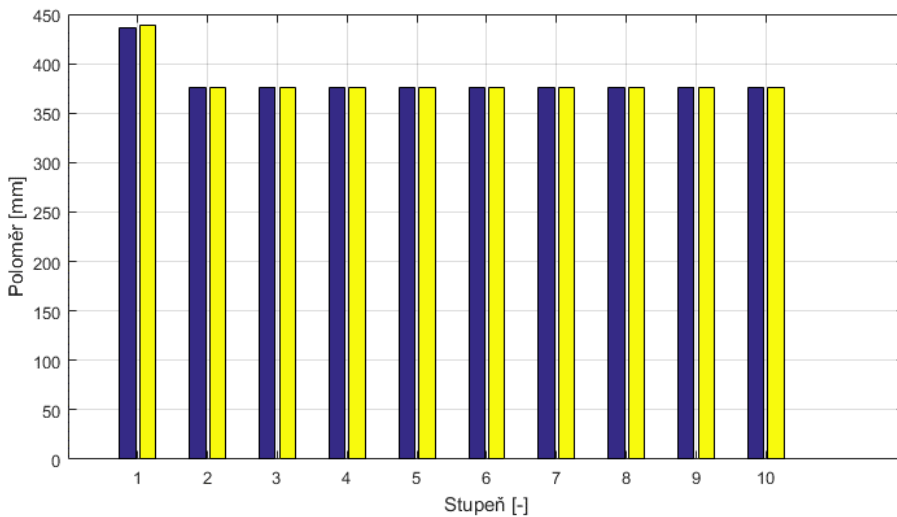
	Jednotky	Delka	Delka_old	Rozdil_L	Prum_pat	Prum_pat_old	Rozdil_D_p	Prum_spic	Prum_spic_old	Rozdil_D_h
Stupeň VT A	mm	28	22	6	872	877.5	-5.5	928	921.5	6.5
Stupeň VT 1	mm	24	23	1	753	753	0	801	799	2
Stupeň VT 2	mm	26	25	1	753	753	0	805	803	2
Stupeň VT 3	mm	28,5	27	1,5	753	753	0	810	807	3
Stupeň VT 4	mm	31,5	29,5	2	753	753	0	816	812	4
Stupeň VT 5	mm	34,5	32,5	2	753	753	0	822	818	4
Stupeň VT 6	mm	36	34	2	753	753	0	825	821	4
Stupeň VT 7	mm	39,5	37,5	2	753	753	0	832	828	4
Stupeň VT 8	mm	43	40,5	2,5	753	753	0	839	834	5
Stupeň VT 9	mm	48,5	44,5	4	753	753	0	850	842	8
Stupeň ST 1	mm	54,5	57,5	-3	903	903	0	1012	1018	-6
Stupeň ST 2	mm	61	62,5	-1,5	903	903	0	1025	1028	-3
Stupeň ST 3	mm	69	69,5	-0,5	903	903	0	1041	1042	-1
Stupeň ST 4	mm	78	77	1	903	903	0	1059	1057	2
Stupeň ST 5	mm	71,5	61	10,5	1103	1103	0	1246	1225	21
Stupeň ST 6	mm	88	72	16	1093	1103	-10	1269	1247	22
Stupeň ST 7	mm	115	85,5	29,5	1083	1103	-20	1313	1274	39
Stupeň ST 8	mm	135	99,5	35,5	1073	1106	-33	1343	1305	38
Stupeň ST 9	mm	154	106	48	1063	1106	-43	1371	1318	53
Stupeň ST 10	mm	168,5	126	42,5	1053,5	1106	-52,5	1390,5	1358	32,5
Stupeň ST 11	mm	235,5	142	93,5	1043,5	1106	-62,5	1514,5	1390	124,5
Stupeň ST 12	mm	345	173	172	1033,5	1106	-72,5	1723,5	1452	271,5



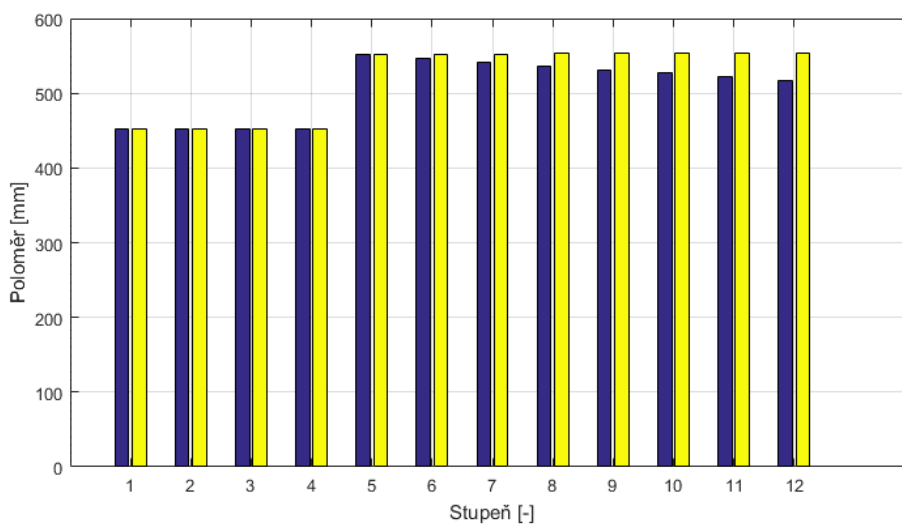
Obrázek 17 - Porovnání délek lopatek ve VT dílu



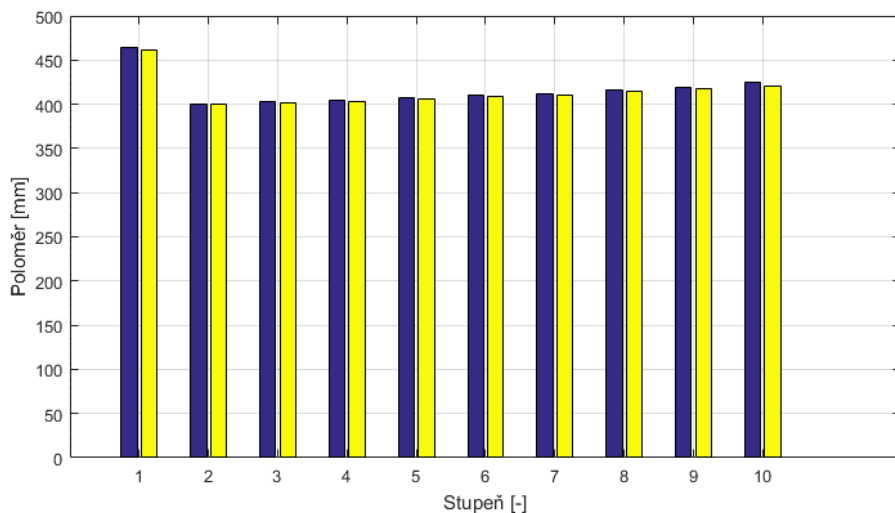
Obrázek 18 - Porovnání délek lopatek v NT dílu



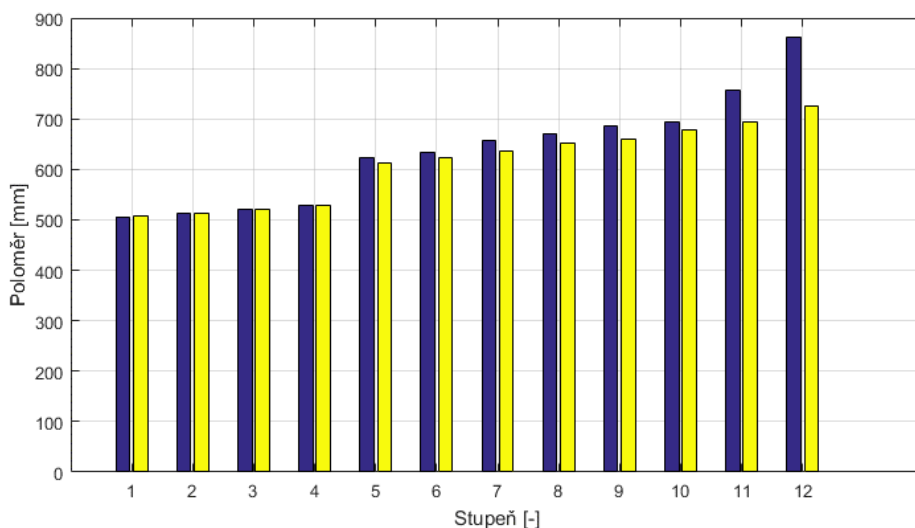
Obrázek 19 - Porovnání patních průměrů VT dílu



Obrázek 20 - Porovnání patních průměrů ST dílu



Obrázek 21 - Porovnání špičkových průměrů VT dílu



Obrázek 22 - Porovnání špičkových průměrů ST dílu

Z obrázku 19 je patrné, že patní průměry všech stupňů ve VT dílu byly zachovány. V ST dílu byly zachovány patní průměry pouze u prvních 5ti stupňů. Od 6. stupně patní průměry u nového řešení postupně klesají o 10 mm, a to z důvodu nárůstu délky lopatek, který je u nového řešení větší než v původním. Pozvolné snižování patních průměrů částečně kompenzuje prudký nárůst špičkových průměrů. Obecně je spíše snaha zachovat konstantní patní průměry a měnit špičkové kvůli menšímu snížení účinnosti při přeproudění páry na jiný průměr a z výrobních důvodů. V tomto případě, kdy dochází k prudkému nárůstu délky lopatek, by se špičkový průměr zvyšoval až příliš, a proto je přistoupeno ke snižování patního průměru v koncových stupních. Prudkému nárůstu špičkového průměru se vyhnout nelze a jak je patrné z obrázku 22, dojde k nárůstu špičkového poloměru mezi 11. a 12. stupněm v ST dílu o přibližně 130 mm. Ve VT dílu k prudkému nárůstu špičkového průměru ani ke zdatelné změně oproti původnímu řešení nedochází, viz obrázek 21.

Závěsy OL byly ponechány totožné s původním řešením, jediný zásah vyžadoval poslední stupeň NT dílu. Výrazný nárůst délky lopatky by vyžadoval změnu z T nožky o šířce

60 mm na 80 mm, jelikož se po rekonstrukci poslední stupeň ST stal posledním stupněm před OTV, bude vystaven změně výstupního tlaku, a tudíž dynamicky namáhán. Na základě zkušeností DSPW se takovéto stupně nevybavují T-nožkou. V tomto případě byla použita a pevnostně zkontrolována vidličková nožka s čtverým rozvidlením o šířce 80 mm. (výkres nožky není uveden z důvodu zákazu šíření firemních materiálů)

Kvůli výraznému nárůstu délky lopatek u koncových stupňů ST dílu turbíny není možné vložit nové lopatky do průtočné části při zachování starého vnějšího tělesa turbíny. Rovněž by změna uložení OL a patních průměrů vyžadovala výrobu nového rotoru. Z tohoto důvodu bude proveden další výpočet založený na stávajícím návrhu průtočné části s tím, že budou geometrické parametry stávající turbíny zachovány.

6 Původní řešení turbíny za změněných podmínek

Přestože byl nový návrh turbíny proveden se snahou zachovat původní vnější těleso ST dílu, ukázalo se, že by se musela turbína značně upravit, aby pojmula navržené lopatky, a to včetně zhotovení nového vnějšího tělesa ST dílu. Takovýto zásah je finančně náročný, a proto s přihlédnutím k ceně je hledáno jiné řešení. Vzhledem k tomu, že nová turbína je protitlaká, nehraje účinnost průtočné části velkou roli. Důvodem je to, že teplo vznikající v průtočné části zhoršením účinnosti je možné opětovně využít v ohříváku topné vody. Z tohoto důvodu by bylo možné ponechat původní stav turbíny a provozovat turbínu za změněných podmínek, které vzniknou zrušením NT dílu, změnou teploty chladicí vody OTV a zrušením některých odběrů. Změna provozních podmínek se promítne do pevnostního namáhání lopatek, které je proto nutné zkontrolovat. Zrušení NT dílu a některých odběrů se spolu se změnou výstupního tlaku závislého na teplotě chladicí vody v OTV projeví na hmotnostním průtoku páry v jednotlivých částech turbíny a na výstupním tlaku v ST dílu. Tyto veličiny ovlivní průběh tlaku v průtočné části. Nyní bude zkoumán vliv změněných podmínek na původní uspořádání turbíny. Původní uspořádání s původními provozními podmínkami bude nazýváno původní řešení a původní uspořádání VT a ST dílu s již novými provozními podmínkami, spočtenými v kapitole 2, bude nazýváno nové řešení. Pro výpočet potřebných hodnot byl opět napsán skript v softwaru Matlab viz příloha 3.

6.1 Změna tlaku před stupněm v závislosti na tlaku za stupněm

Zrušení NT dílu a některých odběrů se spolu se změnou výstupního tlaku závislého na teplotě chladicí vody v OTV projeví na hmotnostním průtoku páry v jednotlivých částech turbíny a na výstupním tlaku v ST dílu. Tyto veličiny ovlivní průběh tlaku v průtočné části. Distribuce tlaku v průtočné části se při změněných podmínkách a předpokladu podkritického proudění řídí rovnicí:

$$\left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_j}\right)^2 = \frac{p_0^2 - p_2^2}{p_{0j}^2 - p_{2j}^2} \cdot \frac{T_{0j}}{T_0}, \quad (6.1)$$

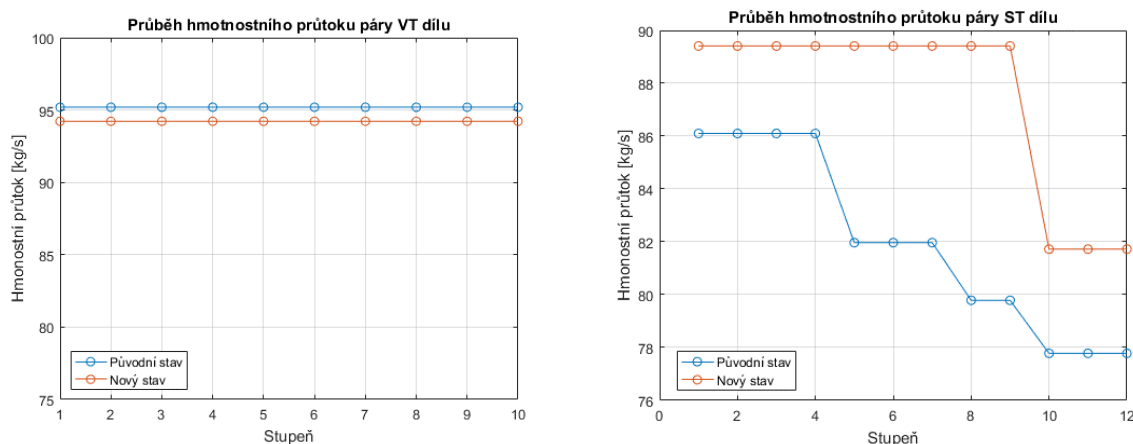
kde \dot{m} je hmotnostní průtok páry, p je tlak a T je absolutní teplota. Index $()_j$ označuje nominální, čili návrhové stavy, indexy $()_0$ a $()_2$ jsou popořadě hodnoty veličin před a za stupněm. Rovnice může být zjednodušena o vliv teplot při zachování dostatečné přesnosti, redukuje se pak na:

$$\left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_j}\right)^2 = \frac{p_0^2 - p_2^2}{p_{0j}^2 - p_{2j}^2}. \quad (6.2)$$

Jelikož nebyl zadán průběh tlaků v průtočné části, který je nezbytný znát pro přepočtení nových tlaků v průtočné části, byl dopočten na základě výchozího zadaného tepelného schématu. Metodika výpočtu byla obdobná s novým návrhem průtočné části turbíny v kapitole 3. Ze zadaného tepelného schématu Tp20498-S, byly převzaty vstupní a výstupní parametry páry a rovněž hmotnostní průtoky v průběhu turbíny. Postup výpočtu je totožný s postupem v kapitole 3 s tím, že geometrické rozměry turbíny a lopatek, jako střední průměr lopatkování D_s , délky lopatek L a výstupní úhly z RL a OL, byly téměř zachovány. Pro dosažení

téměř totožných rozměrů byl jemně variovan poměr obvodové a absolutní rychlosti $\frac{u}{c_0}$, který má nepřímý vliv na délku lopatek. Zcela totožných rozměrů nebylo dosaženo z již dříve zmíněného rozdílu v provedeném výpočtu a ve výpočtu, podle kterého byla dříve turbína navržena. Rozdíly byly jen v rozmezí pár milimetrů, tudíž z hlediska inženýrského přístupu je přesnost výpočtu postačující.

Protože jsou okrajové podmínky dané tepelným schématem po rekonstrukci, je tepelné schéma, podle kterého je přepočítán nový stav, totožné se schématem vypočítaným v kapitole 2. (viz obrázek 2) Porovnání hmotnostních průtoků převzatých z nového a ze zadaného tepelného schématu ve VT a ST dílu je na obrázku 23. Hmotnostní průtok ve VT dílu je lehce rozdílný jen z důvodu jiného zadání, než jaký byl původní stav. Rozdíly v ST dílu jsou již ovšem dány zrušením některých regeneračních odběrů.

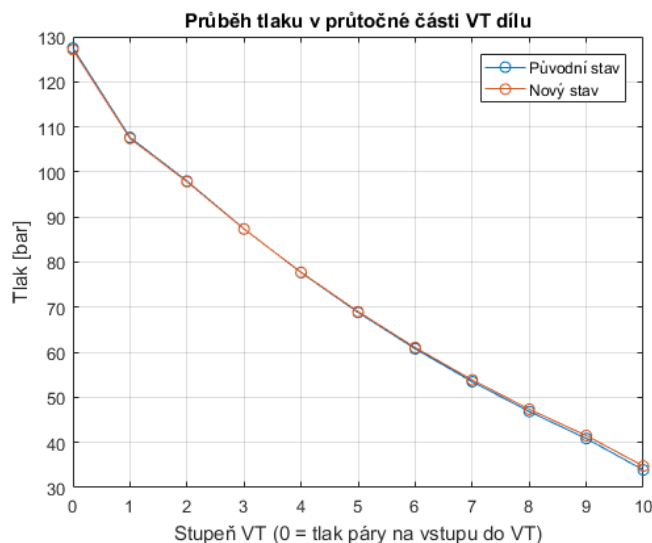


Obrázek 23 - Porovnání hmotnostních průtoků páry

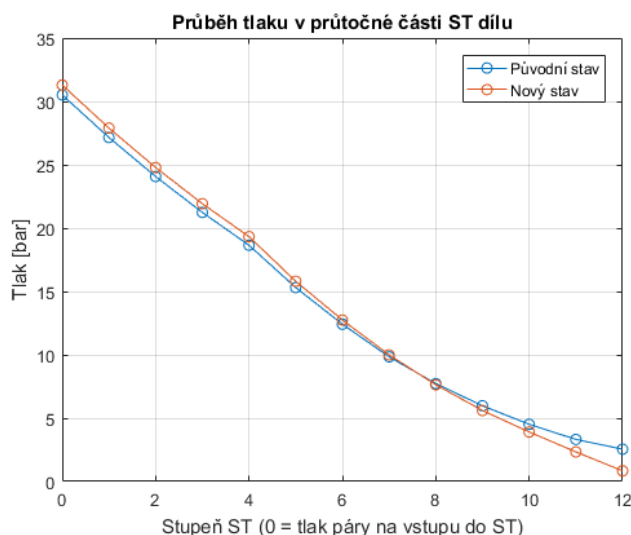
Při znalosti průběhu hmotnostního průtoku u starého a nového provedení a při znalosti průběhu tlaků starého provedení a nového tlaku na výstupu z ST je možné zjistit rozložení tlaku v průtočné části pomocí rovnice 6.2. Výpočet bude proveden od posledního stupně ST dílu, kde došlo ke změně protitlaku. Jediná neznámá je pak tlak p_0 , který bude spočten pro daný stupeň, a následně bude brán jako tlak p_2 na výstupu předcházejícího stupně. Takto bude přepočten každý stupeň v turbíně. Jediná výjimka je na přechodu mezi VT a ST dílem. Po zjištění tlaku na vstupu do ST dílu p_3 je pomocí zadané tlakové ztráty zjištěn tlak na výstupu z VT dílu p_2 , (viz rovnice 6.3) pak je postup opět stejný.

$$p_2 = \frac{p_3}{(1 - \xi_{VT\ ST})} \quad (6.3)$$

Výsledný nový průběh tlaků ve VT a ST dílu turbíny je patrný z obrázku 24 a 25.



Obrázek 24 - Porovnání průběhu tlaku ve VT dílu u původního a nového řešení



Obrázek 25 - Porovnání průběhu tlaku ve ST dílu u původního a nového řešení

Z obrázku 24 je patrné, že je tlak oproti původnímu řešení téměř zcela totožný. Na obrázku 25 je vidět znatelný rozdíl, a to nejvíce u posledních stupňů. Snížený protitlak na výstupu z ST dílu ovlivní jen několik posledních stupňů. Zhruba u sedmého stupně se křivky průběhu tlaku protínají, to je dáno tím, že se nezměnil jen protitlak, který ovlivní distribuci tlaku v turbíně, ale díky zrušení některých regeneračních odběrů se nezávisle na protitlaku změnil i hmotnostní průtok páry v jednotlivých částech turbíny. Dále je možné si všimnout, že u stupňů ovlivněných změnou protitlaku je křivka průběhu tlaku strmější. Strmější křivka znamená větší rozdíl tlaku před a za stupněm, což s sebou přináší i vyšší entalpický spád na stupeň, a tudíž i vyšší výkon. Z pouhého grafického porovnání tlaků je možné konstatovat, že poslední stupně budou přetěžovány. Pro další vizualizaci byl sestaven graf s porovnáním izentropických entalpických spádů původního a nového řešení. Izentropické entalpické spády byly zjištěny při přepočtu tlaků následujícím způsobem:

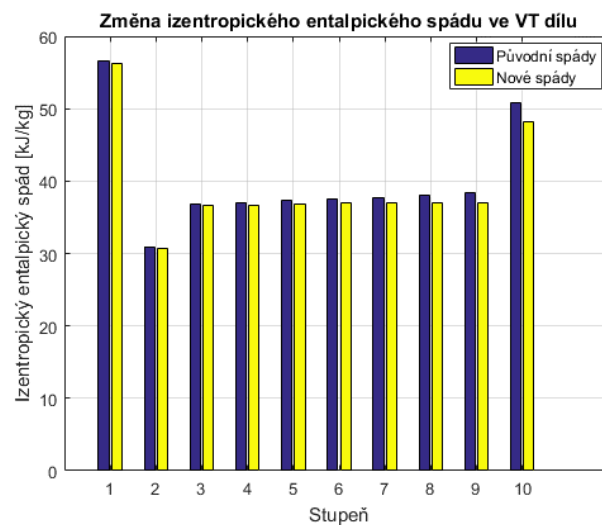
$$h_0(p_0; t_0 = t_{0j}), \quad (6.4)$$

$$s_0(p_0; t_0 = t_{0j}), \quad (6.5)$$

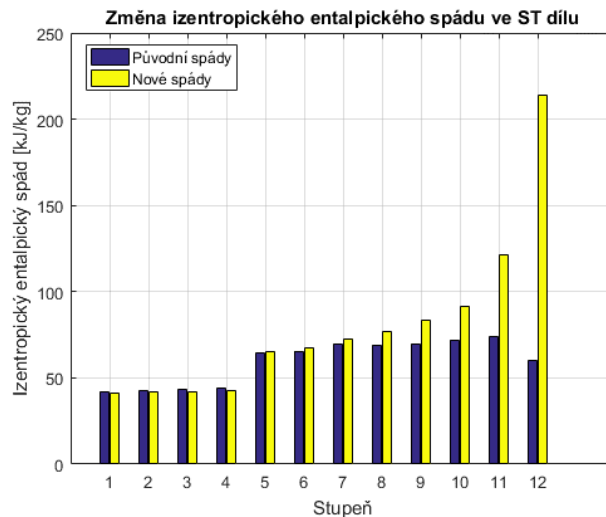
$$h_2(p_2; s_0), \quad (6.6)$$

$$H_{iz\ stup} = h_0 - h_2. \quad (6.7)$$

Indexy jsou totožné jako u rovnice 6.1 a $H_{iz\ stup}$ je izentropický entalpický spád ve stupni. Výsledné porovnání izentropických entalpických spádů původního a nového řešení ve VT a ST dílu turbíny je na obrázku 26 a 27.



Obrázek 26 - Porovnání izentropických entalpických spádů ve VT dílu



Obrázek 27 - Porovnání izentropických entalpických spádů ve ST dílu

Z obrázku 26 je zřejmé, že ve VT dílu došlo pouze k nepatrnému snížení entalpických spádů kvůli mírnému nárůstu tlaku na výstupu z VT dílu. Naproti tomu obrázek 27 ilustruje ještě lépe než změna tlaku ve stupních vliv změny protitlaku na koncové stupně ST dílu. Poslední stupeň je zatížen přibližně třikrát více než u původního řešení. U předposledního

stupně dojde k navýšení spádu zhruba jen o třetinu, u dalších stupňů se změna izentropického entalpického spádu postupně snižuje.

6.2 Základní pevnostní výpočet při změněných podmínkách

Základní pevnostní výpočet byl proveden pro kontrolu, zdali je možné provozovat parní turbínu za změněných podmínek. Výpočet je totožný s uvedeným postupem v kapitole 4. Materiály OL a RL jsou patrné z tabulky 6. Jelikož nedošlo ve VT dílu téměř k žádným změnám tlaků, je možné předpokládat, že pevnostní kontrola bude vyhovovat. Po provedení výpočtu je tento předpoklad ověřen viz příloha 6. Výsledky z pevnostní kontroly ST dílu jsou rovněž uvedeny v tabulkách v příloze 6. Závěsy OL lopatek vyhovují, rovněž je vyhovující namáhání OL odstředivou silou v patním průřezu. Naopak z přílohy 6 je patrné, že OL posledního stupně nevyhovují kvůli vysokému ohybovému namáhání, které je způsobeno zvýšeným výkonem, který stupeň zpracovává. Z tohoto důvodu je nutné zvýšit šířku OL posledního stupně, a tím snížit napětí pod dovolenou hodnotu. Po změně šířky OL nestačí jen opět zkontrolovat namáhání od výkonu, ale je nutné opět zkontrolovat i namáhání patního průměru lopatky odstředivou silou a namáhání závěsu lopatky. Důvodem je, že se s šířkou lopatky zvýší i její hmotnost. Protože pevnostně nevyhovuje poslední OL, je možné předpokládat, že se zvýší namáhání i u posledního RK a RL, ale jak je patrné z přílohy 6, hodnoty napětí se blíží k dovoleným hodnotám, ale nepřekračují je. Šířka OL posledního stupně $B_{12\ ST}$ byla rozšířena z 60 mm na:

$$B_{12\ ST} = 70\ mm. \quad (6.8)$$

Navíc, jak již bylo zmíněno v kapitole 5.2, se nepoužívá pro koncové stupně T-nožka z důvodu dynamického namáhání, proto bude upraveno i uložení posledního stupně ST (přestože původní T-nožka pevnostně vyhovuje). Pro poslední stupeň ST byla použita normalizovaná vidličková nožka s trojím rozvidlením a šířce 60 mm, která bude upravena rozšířením mezikusu nožky na požadovanou šířku 70 mm. (výkres nožky není uveden z důvodu zákazu šíření firemních materiálů)

Následně byla opět provedena pevnostní kontrola pro OL posledního stupně ST dílu. Zvýšení šířky lopatky dostatečně snížilo ohybové napětí od výkonu pod dovolenou hodnotu, a nový závěs OL pevnostně vyhovuje, viz tabulka 8, 9 a 10.

Tabulka 8 - Opětovná pevnostní kontrola OL posledního stupně ST dílu namáhaných od výkonu

	Zkratka	Jednotky	
Hmotnostní průtok	m	kg/s	81.725
Počet OL	z	-	92
Parcielnost	eps	-	1
Délka lopatky	L	m	0.196
Obvodová síla	F _u	N	758.13
Ohybový moment	M _o	N*m	74.297
Modul průřezu	W _{min}	m ³	4.2627e-06
Ohybové napětí	sigma _o	MPa	17.43
Dovolené napětí	sigma _{dov}	MPa	20
Ohybové napětí je v mezích		logic	1

Tabulka 9 - Opětovná pevnostní kontrola OL posledního stupně ST dílu namáhaných na tah v patním průměru

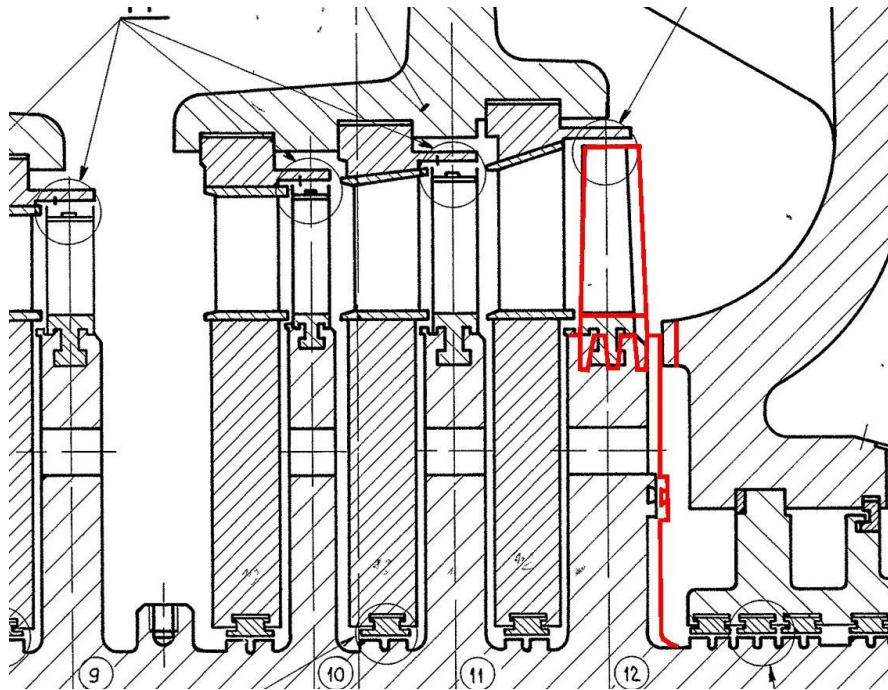
	Zkratka	Jednotky	
Výpočtové otáčky	n	s-1	3300
Hustota ocele	kg/m3	kg/m3	7850
Střední průměr	D_s	m	1.279
Průměr bandáže	D_b	m	1.671
Plocha patního průřezu	S_p	cm2	12.701
Plocha hlavového průřezu	S_h	cm2	9.5648
Součinitel odlehčení	k_od	-	1.1523
Odstř. síla listu lopatky	O_L	N	1.4923e+05
Odstř. síla bandáže	O_b	N	0
Celková odstř. síla	O	N	1.4923e+05
Tahové napětí	sigma_t	MPa	101.96
Sjednocené napětí	sigma	MPa	136.82
Dovolené napětí	sigma_dov	MPa	243.35
Napětí je v mezích	logic		1

Tabulka 10 - Opětovná pevnostní kontrola závěsů OL posledního stupně ST dílu

	Zkratka	Jednotky	
Jedná se o T-nožku		logic	0
Tahové napětí	sigma_l1	MPa	109.75
Dov. tahové napětí	sigma_dov	MPa	243.35
Tah. napětí je v mezích		logic	1
Smykové napětí	tau_l2	MPa	127.97
Dov. smykové napětí	tau_l2dov	MPa	151.39
Smyk. napětí je v mezích		logic	1
Tlak na otlačení	p_l3	MPa	154.62
Dovolené otlačení	p_l3dov	MPa	213.59
Otlačení je v mezích		logic	1

Zvýšení šířky OL vyžaduje zvýšit šířku disku rotoru, aby se rotor vešel do původního tělesa a aby byly zachovány axiální vůle mezi státorem a rotorem, je nutné odfrézovat výčnělek na tělese. Odstranění tohoto výčnělku není složité a vzhledem k jeho umístění, se neprojeví na zhoršení pevnosti tělesa. V jakém smyslu budou úpravy provedeny je patrné z náčrtku na obrázku 28. Výkres posledního stupně s novými rozměry, které jsou odlišné od původního provedení a axiálními vůlemi, je v příloze 7.

Díky této úpravě není nutné zhotovit zcela nové těleso, jako by tomu bylo u nově navržené průtoční části. Vyrobit nový rotor kvůli zvýšení šířky disku také není nezbytné. Je možné obrobit disk posledního stupně a následně na jeho místo navařit nový širší, s čímž má již DSPW zkušenosti. Po navaření nového disku je nutné následně rotor tepelně zpracovat a provést nové vyvážení. Další úpravou, která je třeba provést, je instalace pojistné membrány, která bývala na NT tělese. Aby se nemusel provádět zásah do ST tělesa turbíny, bylo by možné pojistnou membránu umístit na výstupní potrubí z ST dílu, které bude muset být stejně nově zhotoveno pro zavedení vyexpandované páry do OTV.



Obrázek 28 - Náčrt konstrukční úpravy posledního stupně ST a tělesa

7 Závěr

V rámci diplomové práce bylo navrženo řešení pro realizaci rekonstrukce kondenzační turbíny o výkonu 110 MW na protitlakou z důvodu zvýšení poptávky po teple. Teplota a tlak páry byly pro nové řešení z důvodu zachování stávajícího kotle stejné. Hmotnostní průtok byl nepatrně pozměněn. Nízkotlaký díl původní kondenzační turbíny byl odlopatkován a začal plnit pouze funkci spojky mezi středotlakým dílem a generátorem. Důvodem je snaha o co nejmenší zásah do původního stavu zachováním dispozičního uspořádání strojovny. Pára z výstupu středotlakého dílu je zavedena do ohříváku topné vody, který je umístěn na místo původního kondenzátoru. Dále byl zachován pouze jeden nízkotlaký regenerační ohřívák.

Návrh rekonstrukce turbíny začíná výpočtem tepelného schématu Rankin-Clausiova cyklu na základě zadaných hodnot a zmíněných změn oproti tepelnému schématu původní kondenzační turbíny. Průběh expanze ve vysokotlakém dílu je srovnatelný s původním řešením kondenzační turbíny, avšak expanze ve středotlakém dílu je již rozdílná z důvodu změny výstupního tlaku z dílu, který je přibližně třikrát menší. Hmotnostní průtok se ve středotlakém dílu rovněž změní, a to z důvodu zrušení většiny regeneračních odběrů a změny ohřátí v zachovaném regeneračním ohříváku a v napájecí nádrži.

Výpočet základních rozměrů průtočné části a pevnostní kontrola byly provedeny na základě výsledků z nového tepelného schématu a s přihlédnutím k některým původním parametrům (např. počty stupňů) pomocí běžně užívaných analytických vztahů a empirických poznatků. V souladu se snahou o co nejmenší zásah do původní turbíny byla snaha navrhnout rozměry průtočné části tak, aby byl vyměněn ve středotlaké části rotor s rozváděcími koly a nosiči, ale aby bylo zachováno původní vnější středotlaké těleso. Následně bylo provedeno podrobné porovnání původního a nově navrženého stavu. Vzhledem ke snížení výstupního tlaku, by ale byly koncové lopatky příliš dlouhé a nevešly by se do původního tělesa. Jelikož by výměna nejen rotoru s vnitřními částmi ale i vnějšího tělesa představovala nemalou investici, bylo zhodnoceno jiné řešení.

Nové řešení, s co nejmenším zásahem do původního stavu, představuje zachování původních rozměrů turbíny. Turbína ale bude provozována za nových provozních podmínek, což s sebou přináší změny. Jednotlivými stupni bude protékat rozdílný hmotnostní průtok a budou zpracovávat jiné tlakové spády, což se nepříznivě projeví na jejich účinnosti. Snížená účinnost turbíny v tomto případě není příliš podstatná, protože se vzniklé teplo zužitkuje v ohříváku topné vody. Nebyl zadán průběh parametrů páry ve stupních původní kondenzační turbíny, a nebylo tak možné přepočítat nově nastavené tlaky v turbíně pracující za jiných podmínek. Byl proto proveden výpočet podle původního tepelného schématu, ze kterého se získalo rozložení parametrů páry v původní průtočné části a následně se rozložení tlaků a hmotnostních průtoků přepočítalo na nové provozní podmínky.

Změny, které s sebou přinesly pozměněné provozní podmínky, se nejvíce projeví na zpracovaném entalpickém spádu v posledních stupních středotlakého dílu. Poslední stupeň oběžných lopatek je za nových provozních podmínek natolik namáhám, že musela být z pevnostních důvodů zvětšena jeho šířka. Tento zásah vyžaduje pouze úpravu středotlakého rotoru a obrobení části vnějšího středotlakého tělesa. V porovnání s prvním návrhem nevyžaduje toto řešení výměnu středotlakých rozváděcích kol, rotoru a vnějšího tělesa, proto je přijatelnější.

Nad rámec diplomové práce byl sestaven program v softwaru Matlab, v němž byly provedeny veškeré výpočty od výpočtu tepelného schématu až po pevnostní kontrolu. Důvodem je jednak zajištění návaznosti výsledků (např. výsledky tepelného schématu vstupující do výpočtu základních rozměrů průtočné části), a také snaha o hlubší porozumění dané problematice a běžně užívaných softwarů pro základní návrh turbíny a tepelného cyklu. Takto sestavený program rovněž zjednoduší jednoduchý přepočítání veškerých výsledků při změně vstupních hodnot.

Výsledky této práce mohou být použity jako podklad pro podrobnější návrh rekonstrukce dané turbíny, či může sloužit jako návod pro návrh nového tepelného cyklu s parní turbínou a parní turbíny samotné.

8 Zdroje

- [1] Elektrárna Mělník. *Skupina ČEZ* [online]. 2019 [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/uhelne-elektrarny-a-teplarny/uhelne-elektrarny-a-teplarny-cez-v-cr/elektrarna-melnik-58183>
- [2] BEČVÁŘ, Josef. *Tepelné turbíny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968. 543 s.
- [3] ŠKOPEK, J. *Parní turbína – Tepelný a pevnostní výpočet*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni 2003, ISBN 80-7043-256-X
- [4] KRAJÍC, Ladislav. *Parní turbíny a příslušenství*. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017. 280 stran. ISBN 978-80-261-0731-6.
- [5] ŠKOPEK, Jan. *Tepelné turbíny a turbokompresory*: Západočeská univerzita v Plzni 2010, ISBN 978-80-7043-862-6
- [6] Interní znalosti a předpisy DSPW

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Nové tepelné schéma	13
Obrázek 2 - Tepelné schéma po zavedení teplofikace	22
Obrázek 3 - T-s diagram pro průběh expanze v turbíně a kondenzace	23
Obrázek 4 - h-s diagram pro průběh expanze v turbíně	23
Obrázek 5 - Lopatkový plán VT.....	31
Obrázek 6- Lopatkový plán ST	32
Obrázek 7 - Rychlostní trojúhelníky a značení	34
Obrázek 8 - Namáhání a průhyb RK	38
Obrázek 9 - Diagram pro stanovení koeficientu φ	38
Obrázek 10 - Schéma rozváděcího kola pro určení namáhání RL	39
Obrázek 11 - Rozložení sil v profilu RL	39
Obrázek 12 – Rozložení sil v OL od působení proudu páry	40
Obrázek 13 - Schéma OL pro namáhání tahem	42
Obrázek 14 - Různé typy uložení oběžných lopatek, popořadě od leva: T-nožka, T-nožka se zazubením, dvojitá T-nožka, vidličková nožka, víceprstá vidličková nožka, inverzní stromečková nožka a stromečková nožka	43
Obrázek 15 - Schéma T-nožky pro pevnostní kontrolu	44
Obrázek 16 - Schéma disku pro uložení vidličkové nožky a vidličkové nožky.....	45
Obrázek 17 - Porovnání délek lopatek ve VT dílu	50
Obrázek 18 - Porovnání délek lopatek v NT dílu.....	51
Obrázek 19 - Porovnání patních průměrů VT dílu.....	51
Obrázek 20 - Porovnání patních průměrů ST dílu	51
Obrázek 21 - Porovnání špičkových průměrů VT dílu	52
Obrázek 22 - Porovnání špičkových průměrů ST dílu.....	52
Obrázek 23 - Porovnání hmotnostních průtoků páry	55
Obrázek 24 - Porovnání průběhu tlaku ve VT dílu u původního a nového řešení	56
Obrázek 25 - Porovnání průběhu tlaku ve ST dílu u původního a nového řešení.....	56
Obrázek 26 - Porovnání izentropických entalpických spádů ve VT dílu.....	57
Obrázek 27 - Porovnání izentropických entalpických spádů ve ST dílu	57
Obrázek 28 - Náčrt konstrukční úpravy posledního stupně ST a tělesa.....	60

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulka zadaných parametrů pro výpočet tepelného schématu	13
Tabulka 2 - Tabulka zvolených a odhadnutých parametrů pro výpočet tepelného schématu..	14
Tabulka 3 - Vypočtené parametry průtočné části a parametry páry VT dílu	30
Tabulka 4 - Vypočtené parametry průtočné části a parametry páry ST dílu.....	33
Tabulka 5 - Výsledky z výpočtu rychlostí ve stupních (vpravo ST díl, vlevo VT díl)	37
Tabulka 6 - Materiály OL a RL.....	47
Tabulka 7 - Porovnání stávající délky lopatek a nově spočtené délky lopatek společně s průměry lopatkování [mm].....	50
Tabulka 8 - Opětovná pevnostní kontrola OL posledního stupně ST dílu namáhaných od výkonu	58
Tabulka 9 - Opětovná pevnostní kontrola OL posledního stupně ST dílu namáhaných na tah v patním průměru	59
Tabulka 10 - Opětovná pevnostní kontrola závěsů OL posledního stupně ST dílu	59

11 Seznam příloh

Přílohy volně vložené

Příloha č. 1	Výkres HBD před rekonstrukcí Tp20498-S a výkresy řezů původní turbíny (Tp062517; Tp062524).
Příloha č. 7	Výkres D001 posledního stupně ST dílu s konstrukčními úpravami

Přílohy vevázané

Příloha č. 2	Program pro výpočet tepelného cyklu a návrhu průtočné části	66
Příloha č. 3	Program pro zjištění rozložení tlaku v původním řešení turbíny, pro zjištění nového rozložení tlaků a pro pevnostní kontrolu	94
Příloha č. 4	Výsledky ze základního pevnostního výpočtu VT a ST dílu turbíny nového návrhu	110
Příloha č. 5	Tabulka dovolených napětí	115
Příloha č. 6	Výsledky ze základního pevnostního výpočtu pro VT a ST díl původního řešení turbíny při změněných podmínkách	117

Příloha č. 2

Program pro výpočet tepelného cyklu a návrhu průtočné části

```

% Skript pro vypocet tepelneho cyklu a navrh prutocne casti
% jakmile promena konci na 'U', neni promena v jednotkach
% ktere pouzivaji parni tabuky XSteam nebo neni v zakladnich jednotkach
clc
clear
close all
tic
format compact
% Zadane parametry -----
m_adU = 347; % mnozstvi admisni pary [t/h]
p_1U = 12.75; % tlak admisni pary [MPa]
t_1 = 535; % teplota admisni pary [°C]
p_3U = 3.25; % tlak prihrate pary [MPa]
t_3 = 535; % teplota prihrate pary [°C]
eta_VTST = 0.1; % tlakova ztrata mezi VT a ST [-]
t_NV = 158; % teplota napajeci vody [°C]
eta_STOTV = 0.03; % talkova ztrata mezi ST a OTV [-]
m_VTpU = 7.8; % unik pary predni VT ucpavkou [t/h]
m_VTzU = 4.5; % unik pary zadni VT ucpavkou [t/h]
m_STpU = 2.5; % unik pary predni ST ucpavkou [t/h]
t_14 = 50; % teplota topne vody na vstupu do OTV [°C]
t_15 = 90; % teplota topne vody na vystupu z OTV [°C]
delta_t = 4; % koncovy teplotni rozdil v OTV [°C]
n = 3000; % otacky turbiny a generatoru [-]

% Prepocet na pouzivane jednotky -----
m_ad = m_adU / 3.6; % mnozstvi admisni pary [kg/s]
p_1 = p_1U * 10; % tlak admisni pary [bar]
p_3 = p_3U * 10; % tlak prihrate pary [bar]
m_VTp = m_VTpU / 3.6; % unik pary predni VT ucpavkou [kg/s]
m_VTz = m_VTzU / 3.6; % unik pary zadni VT ucpavkou [kg/s]
m_STp = m_STpU / 3.6; % unik pary predni ST ucpavkou [kg/s]

% Odhadnute a zvolene parametry -----
eta_VT = 0.8504; % vnitri termodynamicka ucinnost VT dilu [-]
eta_ST = 0.922; % vnitri termodynamicka ucinnost ST dilu [-]
eta_OTV = 0.99; % ucinnost OTV [-]
eta_NTO = 0.99; % ucinnost NTO [-]
eta_NC = 0.75; % ucinnost napajeciho cerpada [-]
eta_M = 0.995; % mechanicka ucinnost turbosoustroji [-]
eta_EL = 0.987; % ucinnost generatoru [-]
delta_tNTOkonc = 3; % zvoleny koncovy rozdil v NTO [C]
delta_tNN = 18; % zvolene ohrati v NN (aspon 15C) [C]
p_10 = 160; % tlak na vytlaku NC [bar]

%=====
% Vypocet tepelneho cyklu =====
h_1 = XSteam('h_pt', p_1, t_1); % entalpie admisni pary [kJ/kg]
s_1 = XSteam('s_pt', p_1, t_1); % entropie admisni pary [kJ/kg/K]
p_2 = p_3 / (1 - eta_VTST); % Tlak pary za VT [bar]
h_2iz = XSteam('h_ps', p_2, s_1); % entalpie pary za VT inzoentr. expanze [kJ/kg]
s_2iz = s_1; % entropie pary za VT izoentr. expanze [kJ/kg/K]
t_2iz = XSteam('t_ph', p_2, h_2iz); % teplota pary za VT iz [C]
H_0VTiz = h_1 - h_2iz; % izoentripicky entalpicky spad ve VT [kJ/kg]
m_2 = m_ad - m_VTp - m_VTz; % hmotnostni prtok na vzystupu z VT [kg/s]
h_2 = h_1 - H_0VTiz * eta_VT; % skutecna entalpie na konci VT [kJ/kg]
s_2 = XSteam('s_ph', p_2, h_2); % skutecna entropie na konci VT [kJ/kg/K]
t_2 = XSteam('t_ph', p_2, h_2); % skutecna teplota na konci VT [C]
H_0VT = h_1 - h_2; % skutecnz entalpicky spad bez reheat faktoru [kJ/kg]
h_3 = XSteam('h_pt', p_3, t_3); % entalpie na vstupu do ST [kJ/kg]
s_3 = XSteam('s_pt', p_3, t_3); % entropie na vstupu do ST [kJ/kg/K]
t_5sat = t_15 + delta_t; % teplota kondenzace pary v OTV [C]
p_5 = XSteam('psat_t', t_5sat); % tlak pary na vstupu do OTV [bar]
p_4 = p_5 / (1 - eta_STOTV); % tlak pary za ST [bar]
h_4iz = XSteam('h_ps', p_4, s_3); % entalpie na konci ST izoentropicka [kJ/kg]
s_4iz = s_3; % entropie na konci ST izoentropicka [kJ/kg/K]
t_4iz = XSteam('t_hs', h_4iz, s_4iz); % teplota na konci ST izoentr. [C]
H_0STiz = h_3 - h_4iz; % izoent. entalpicky spad v ST [kJ/kg]
h_4 = h_3 - H_0STiz * eta_ST; % entalpie na konci ST [kJ/kg]
s_4 = XSteam('s_ph', p_4, h_4); % entropie na konci ST [kJ/kg/K]
t_4 = XSteam('t_ph', p_4, h_4); % teplota na konci ST [C]
H_0ST = h_3 - h_4; % skutecny entalpicky spad v ST [kJ/kg]
t_5 = XSteam('t_ph', p_5, h_4); % teplota pary na vstupu do OTV [C]
s_5 = XSteam('s_pt', p_5, t_5); % entropie pary na vstupu do OTV [kJ/kg]
h_5 = h_4; % entalpie pary na vstupu do OTV [kJ/kg/K]
p_6 = p_5; % tlak pary na vystupu z OTV, tlakova ztrata nezahrnuta[bar]
t_6 = XSteam('tsat_p', p_6); % teplota pary na vystupu z OTV [C]
h_6 = XSteam('hL_p', p_6); % entalpie na pary na vystupu z OTV [kJ/kg]
s_6 = XSteam('sL_p', p_6); % entropie pary na vystupu z OTV [kJ/kg/K]

%-----
% Urceni indiferentniho bodu pro odber -----
h_2i = XSteam('hL_p', p_2); % entalpie vody na leve mezni krivce pri tlaku p_2 [kJ/kg]
eta_VTind = (h_1 - h_2i)/(h_1 - h_2i); % tepelna ucinnost expanze ve VT [-]
H_p = h_3 - h_2; % prirustek entalpie pri prihrivani [kJ/kg]
H_ind = H_p * eta_VTind; % rozdil entalpie od vstupu do ST k indif. bodu [kJ/kg]
h_ind = h_3 - H_ind; % entalpie indiferentniho bodu [kJ/kg]

```

```

% iteracni urceni tlaku indiferentního bodu
p_ind = 40; % pocatecni odhad tlaku ind. bodu [bar]
h_indind = 0; % pomocna promenna
krok = 1; % nastaveni hodnoty kterou se upraví odhadnutý tlak
rozdil = 0.0001; % presnost vypoctu
priznak = 1;
i = 0; % pocet iteraci
while abs(h_ind - h_indind) >= rozdil
    if h_ind > h_indind % zvysim tlak
        p_ind = p_ind + krok;
        if priznak == 1
            krok = krok / 2;
            priznak = 0;
        end
    else p_ind = p_ind - krok; % snizim tlak
        if priznak == 0
            krok = krok / 2;
            priznak = 1;
        end
    end
    h_indind = h_3 - eta_ST * (h_3 - XSteam('h_ps', p_ind, s_3));
    i = i + 1;
end
i
disp('Iteracni vypocet tlaku ind. bodu skoncil uspesne.')

s_ind = XSteam('s_ph', p_ind, h_ind); % entropie ind. bodu [kJ/kg/K]
t_ind = XSteam('t_ph', p_ind, h_ind); % teplota ind. bodu [C]
h_odind = h_ind - (h_ind - h_4)/2; % optimalni misto odberu (kdyz je jen jeden)

% iteracni urceni tlaku odberu urceno z indiferentního bodu
p_odind = 20; % odhadnutý tlak odberu
h_odindind = 0; % pomocna promenna
rozdil = 0.0001; % presnost vypoctu
krok = 1; % nastavena hodnota o kterou se ymeni tlak
priznak = 1;
while abs(h_odind - h_odindind) >= rozdil
    if h_odind > h_odindind % zvysim tlak
        p_odind = p_odind + krok;
        if priznak == 1
            krok = krok / 2;
            priznak = 0;
        end
    else p_odind = p_odind - krok; % snizim tlak
        if priznak == 0
            krok = krok / 2;
            priznak = 1;
        end
    end
    h_odindind = h_3 - eta_ST * (h_3 - XSteam('h_ps', p_odind, s_3));
    i = i + 1;
end
i
disp('Iteracni vypocet tlaku odberu z ind. bodu skoncil uspesne.')
s_odind = XSteam('s_ph', p_odind, h_odind); % entropie v odberu ind. bodem [kJ/kg/K]
t_odind = XSteam('t_ph', p_odind, h_odind); % teplota v odberu ind. bod [C]

%-----
% Urceni skutecneho mista odberu (kdybych udelal odber pomoci indiferentního
% bodu, mel bych moc velky koncovy rozdil v NTO -----
t_7 = t_6; % teplota kondenzatu pred NTO [C]
delta_tNTO = t_NV - delta_tNN - t_7; % ohrati koondenzatu v NTO [C]
t_8 = t_7 + delta_tNTO; % teplota kondenzatu za NTO (pred NN) [C]
t_satodb = t_8 + delta_tNTOkonc; % teplota sytosti v odberu [C]
p_odb = XSteam('psat_t', t_satodb); % tlak v odberu [bar]
h_odbiz = XSteam('h_ps', p_odb, s_3); % entalpie v odberu ixz/zoentr. [kJ/kg]
H_odbiz = h_3 - h_odbiz; % entalpický spád k místu odberu [kJ/kg]
h_odb = h_3 - eta_ST * H_odbiz; % entalpie v miste odberu [kJ/kg]
s_odb = XSteam('s_ph', p_odb, h_odb); % entropie v miste odberu [kJ/kg/K]
t_odb = XSteam('t_ph', p_odb, h_odb); % teplota v miste odberu [C]

%-----
% Regenerace -----
c_p = 4180; % merna tepelna kapacita kondenzatu [J/kg/K]
delta_ck = 273.15; % rozdil mezi stupnicí [C] a [K]
h_7 = c_p * t_7 / 1000; % entalpie kondenzatu pred NTO [kJ/kg]
h_8 = c_p * t_8 / 1000; % entalpie kondenzatu za NTO [kJ/kg]
p_NV = XSteam('psat_t', t_NV); % tlak NV v NN [C]
t_13 = XSteam('t_ph', p_NV, h_2); % teplota pary ohřívající NN [C]
h_13 = h_2; % entalpie pary vyhřívající NN [kJ/kg]
t_11 = t_odb; % teplota pary vyhřívající NTO [C]
h_11 = h_odb; % entalpie pary vyhřívající NTO [kJ/kg]
t_12 = t_satodb; % teplota zkondenzované pary na vystupu z NTO [C]
h_12 = XSteam('hL_p', p_odb); % entalpie zkond. pary na vyst. z NTO [kJ/kg]
y_NN = (c_p * delta_tNN)/(h_13 * 1000 - c_p * t_NV + c_p * delta_tNN);

```

```

% bezrozmerny hmotnostni prutok pary do NN [-]
y_NTO = (1 - y_NN) * c_p * delta_tNTO / ((h_11 * 1000 - h_12 * 1000) * eta_NTO);
% bezrozmerny hmotnostni prutok pary do NTO [-]
m_NN = m_ad * y_NN; % hmotnostni prutok pary do NN [kg/s]
m_NTO = m_ad * y_NTO; % hmotnostni prutok pary do NTO [kg/s]

%-----
% Ohrati NV v NC -----
p_9 = p_NV + 2; % uvazuji, ze NN je 20 m nad NC [bar]
t_9 = t_NV; % teplota vodu pred NC [°C]
h_9 = c_p * t_9 / 1000; % entalpie NV pred NC [kJ/kg]
s_9 = XSteam('s_pt', p_9, t_9); % entropie NV pred NC [kJ/kg/K]
h_10iz = XSteam('h_ps', p_10, s_9); % entalpie izoen. na vytlaku NC [kJ/kg]
h_10 = h_9 + (h_10iz - h_9)/eta_NC; % entalpie na vytlaku NC [kJ/kg]
s_10 = XSteam('s_ph', p_10, h_10); % entropie na vystupu z NC [kJ/kg/K]
t_10 = XSteam('t_ph', p_10, h_10); % teplota na vytlaku z NC [°C]
delta_tNC = t_10 - t_9; % ohrati NV v NC
a_NC = (h_10 - h_9) * 1000; % merna prace NC [J/kg]
P_NC = a_NC * m_ad / 1000000; % prikon NC [MJ]

%-----
% Vysledky -----
m_VT = m_ad - m_VTp; % hmotnostni prutok VT [kg/s]
m_ST1 = m_VT - m_VTz - m_NN - m_STp; % hmotnostni prutok ST k odberu [kg/s]
m_ST2 = m_ST1 - m_NTO; % hmotnostni prutok ST od odberu [kg/s]
a_VT = (h_1 - h_2) * 1000; % merna technicka prace VT dilu [J/kg]
a_ST1 = (h_3 - h_odb) * 1000; % merna technicka prace ST1 [J/kg]
a_ST2 = (h_odb - h_4) * 1000; % merna technicka prace ST2 [J/kg]
P_td = (m_VT * a_VT + m_ST1 * a_ST1 + m_ST2 * a_ST2)/1000000;
% vnitřni výkon turbosoustroji [MW]
P_TS = eta_M * eta_EL * (m_VT * a_VT + m_ST1 * a_ST1 + m_ST2 * a_ST2)/1000000;
% elektrický výkon turbosoustroji [MW]
Q = (m_ST2 * (h_5 - h_6) * 1000 + m_NTO * (h_12 - h_6) * 1000)/1000000;
% tepelný výkon OTV
m_OTV = Q * 1000000 / (c_p * eta_OTV * (t_15 - t_14));
% hmotnostni prutok vodu v OTV [kg/s]
F_NTO = (m_NTO * (h_12 - h_6)/1000)/Q;
% pomerny prispevek k tepelnemu vykonu kondenzatu z NTO
Q_kot1 = m_ad * (h_1 - h_10) / 1000; % energie dodana v kotli bez prihrivani [MW]
Q_kot2 = (m_ad - m_VTp - m_VTz - m_NN) * (h_3 - h_2) / 1000;
% energie dodana v kotli, jen prihrivani [MW]
Q_kot = Q_kot1 + Q_kot2; % celkova energie dodana v kotli [MW]
eta = (P_TS + Q - P_NC) / Q_kot; % ucinnost celeho cyklu [-]

%-----
% Vykresleni grafu T-s-----
% hodnoty pro vykresleni T-s diagramu
% cyklus pro hodnoty v prubehu expanze ve VT -----
poc = 20; % udava hustotu bodu
step = (p_1 - p_2) / poc; % vzdalenost tlaku od sebe
for i = 1:poc
    p_2temp = p_1 - (i - 1) * step; % tlaky pro vypocet bodu v expanzi
    h_2temp = h_1 - (h_1 - XSteam('h_ps', p_2temp, s_1)) * eta_VT; % entalpie
    s_2temp = XSteam('s_ph', p_2temp, h_2temp); % entropie
    t_2temp = XSteam('t_ph', p_2temp, h_2temp); % teplota
    S_VT(i) = s_2temp; % vektor s hodnotami entropie = osa x
    T_VT(i) = t_2temp; % vektor s hodnotami teplot = osa y
    S_VT(poc + 1) = s_2; % hodnota entropie na konci expanze
    T_VT(poc + 1) = t_2; % hodnota teploty na konci expanze
end

% cyklus pro hodnoty v prubehu prihrivani-----
poc = 20;
step_S = (s_3 - s_2) / poc;
step_P = (p_3 - p_2) / poc;
for i = 1:poc
    S_pri(i) = s_2 + (i - 1) * step_S;
    P_pri(i) = p_2 + (i - 1) * step_P;
    T_pri(i) = XSteam('t_ps', P_pri(i), S_pri(i));
end

% cyklus pro hodnoty pro expanzi v ST-----
poc = 40;
step = (p_3 - p_4) / poc;
for i = 1:poc
    p_4temp = p_3 - (i - 1) * step; % tlaky pro vypocet bodu v expanzi
    h_4temp = h_3 - (h_3 - XSteam('h_ps', p_4temp, s_3)) * eta_ST; % entalpie
    s_4temp = XSteam('s_ph', p_4temp, h_4temp); % entropie
    t_4temp = XSteam('t_ph', p_4temp, h_4temp); % teplota
    S_ST(i) = s_4temp; % vektor s hodnotami entropie = osa x
    T_ST(i) = t_4temp; % vektor s hodnotami teplot = osa y
    S_ST(poc + 1) = s_4; % hodnota entropie na konci expanze
    T_ST(poc + 1) = t_4; % hodnota teploty na konci expanze
end

s_56 = XSteam('sV_p', p_5); % hodnota kondenzatu na prave mezni krivce
% jen pro ucely grafu

```

```
S = [S_VT S_pri S_ST s_5 s_56 s_6]; % sjednoceni vektoru s hodnotami entropii [kJ/kg/K]
T = [T_VT T_pri T_ST t_5 t_6 t_6]; % sjednoceni vektoru s hodnotami teplot [C]
plot(S, T, 'm', 'LineWidth', 2) % vykresleni cyklu
title('T-s diagram')
xlabel('entropie [kJ/kg/K]')
ylabel('teplota [°C]')
hold on
clear S T S_ST S_VT T_ST T_VT S_pri P_pri T_pri

% cyklus pro vykresleni prave a leve mezni krivky-----
poc = 100;
step = 9 / poc;
for i = 1:poc
    s = 0 + i * step;
    S_temp(i) = s;
    T_temp(i) = XSteam('tsat_s', s);
end
plot(S_temp, T_temp, 'k', 'LineWidth', 2)
grid on
clear S_temp T_temp

% hodnoty pro vykresleni izobar do T-s diagramu-----
% izobara p_1
poc = 20;
step = (6.8 - 6.2) / poc;
p = p_1; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 6.2 + i * step;
    T(i) = XSteam('t_ps', p, S(i));
end
plot(S, T, 'k')
clear S T

% izobara p_2
poc = 20;
step = (7.5 - 6.45) / poc;
p = p_2; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 6.45 + i * step;
    T(i) = XSteam('t_ps', p, S(i));
end
plot(S, T, 'k')
clear S T

% izobara p_3
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_3; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7 + i * step;
    T(i) = XSteam('t_ps', p, S(i));
end
plot(S, T, 'k')
clear S T

% izobara p_odb
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_odb; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7.2 + i * step;
    T(i) = XSteam('t_ps', p, S(i));
end
plot(S, T, 'k')
clear S T

% izobara p_4
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_4; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7.2 + i * step;
    T(i) = XSteam('t_ps', p, S(i));
end
plot(S, T, 'k')
clear S T

% izobara p_5
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_5; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7.2 + i * step;
    T(i) = XSteam('t_ps', p, S(i));
end
plot(S, T, 'k')
clear S T
```

```
% popis bodu v grafu-----
text(s_1, t_1, '1', 'FontSize', 15)
text(s_2, t_2, '2', 'FontSize', 15)
text(s_3, t_3, '3', 'FontSize', 15)
text(s_odb, t_odb, 'odb', 'FontSize', 15)
text(s_4, t_4 + 8, '4', 'FontSize', 15)
text(s_5, t_5 - 10, '5', 'FontSize', 15)
text(s_6, t_6 - 20, '6', 'FontSize', 15)
text(6.6, 620, 'p 1', 'FontSize', 10)
text(7.3, 640, 'p 2', 'FontSize', 10)
text(7.6, 620, 'p 3', 'FontSize', 10)
text(7.8, 360, 'p odb', 'FontSize', 10)
text(7.8, 180, 'p 4', 'FontSize', 10)
text(7.8, 160, 'p 5', 'FontSize', 10)
hold off

% -----
% Vykreslení grafu h-s -----
% hodnoty pro vykreslení expanze v h-s diagramu
poc = 1000; % cyklus pro vykreslení mezních křivek
step = 9 / poc; % krok pro vykreslování v entropii
for i = 1:poc
    S(i) = 0 + i * step;
    P(i) = XSteam('psat_s', S(i));
    H(i) = XSteam('h_ps', P(i), S(i));
end
figure
plot(S, H, 'k', 'LineWidth', 2)
grid on
hold on
title('h-s diagram')
xlabel('entropie kJ/kg/K')
ylabel('entalpie kJ/kg')

% cyklus pro vykreslení hodnot v průběhu expanze ve VT -----
poc = 40;
step = (p_1 - p_2) / poc; % vzdálenost tlaku od sebe
for i = 1:poc
    p_2temp = p_1 - (i - 1) * step; % tlaky pro výpočet bodu v expanzi
    h_2temp = h_1 - (h_1 - XSteam('h_ps', p_2temp, s_1)) * eta_VT; % entalpie
    s_2temp = XSteam('s_ph', p_2temp, h_2temp); % entropie
    S_VT(i) = s_2temp; % vektor s hodnotami entropie = osa x
    H_VT(i) = h_2temp; % vektor s hodnotami teplot = osa y
    S_VT(poc + 1) = s_2; % hodnota entropie na konci expanze
    H_VT(poc + 1) = h_2; % hodnota teploty na konci expanze
end

% cyklus pro vykreslení hodnot v průběhu přehřívání -----
poc = 20;
step_S = (s_3 - s_2) / poc;
step_P = (p_3 - p_2) / poc;
for i = 1:poc
    S_pri(i) = s_2 + (i - 1) * step_S;
    P_pri(i) = p_2 + (i - 1) * step_P;
    H_pri(i) = XSteam('h_ps', P_pri(i), S_pri(i));
end

% cyklus pro vykreslení hodnot v průběhu expanze v ST -----
poc = 80; % cyklus pro vykreslení expanze v ST
step = (p_3 - p_4) / poc;
for i = 1:poc
    p_4temp = p_3 - (i - 1) * step; % tlaky pro výpočet bodu v expanzi
    h_4temp = h_3 - (h_3 - XSteam('h_ps', p_4temp, s_3)) * eta_ST; % entalpie
    s_4temp = XSteam('s_ph', p_4temp, h_4temp); % entropie
    S_ST(i) = s_4temp; % vektor s hodnotami entropie = osa x
    H_ST(i) = h_4temp; % vektor s hodnotami teplot = osa y
    S_ST(poc + 1) = s_4; % hodnota entropie na konci expanze
    H_ST(poc + 1) = h_4; % hodnota teploty na konci expanze
end
S = [S_VT S_pri S_ST]; % sjednocení vektorů pro vykreslení grafu
H = [H_VT H_pri H_ST]; % sjednocení vektorů pro vykreslení grafu
plot(S, H, 'm', 'LineWidth', 2)
xlim([6 8])
clear S H S_ST S_VT H_ST H_VT S_pri P_pri H_pri

% Hodnoty pro vykreslení izobar h-s diagram -----
% izobara p_1
poc = 20;
step = (6.8 - 6.2) / poc;
p = p_1; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 6.2 + i * step;
    H(i) = XSteam('h_ps', p, S(i));
end
plot(S, H, 'k')
clear S H
```

```

% izobara p_2
poc = 20;
step = (7.5 - 6.45) / poc;
p = p_2; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 6.45 + i * step;
    H(i) = XSteam('h_ps', p, S(i));
end
plot(S, H, 'k')
clear S H

% izobara p_3
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_3; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7 + i * step;
    H(i) = XSteam('h_ps', p, S(i));
end
plot(S, H, 'k')
clear S H

% izobara p_odb
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_odb; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7.2 + i * step;
    H(i) = XSteam('h_ps', p, S(i));
end
plot(S, H, 'k')
clear S H

% izobara p_4
poc = 20;
step = (7 - 6.45) / poc;
p = p_4; % tlak izobary
for i = 1:poc
    S(i) = 7.2 + i * step;
    H(i) = XSteam('h_ps', p, S(i));
end
plot(S, H, 'k')
clear S H

% popis bodu v grafu -----
text(s_1, h_1 - 20, ' 1', 'FontSize', 15)
text(s_2, h_2 - 20, ' 2', 'FontSize', 15)
text(s_3, h_3 - 20, ' 3', 'FontSize', 15)
text(s_odb, h_odb - 20, ' odb', 'FontSize', 15)
text(s_4, h_4, ' 4', 'FontSize', 15)
text(6.8, 3600, 'p 1', 'FontSize', 10)
text(7.36, 3700, 'p 2', 'FontSize', 10)
text(7.42, 3620, 'p 3', 'FontSize', 10)
text(7.7, 3200, 'p odb', 'FontSize', 10)
text(7.75, 2780, 'p 4', 'FontSize', 10)

hold off

% -----
% Vykreslení zadanych hodnot do tabulky -----
figure
Nazev = {'Množství admisní páry'; 'Tlak admisní páry'; 'Teplota admisní páry'...
        ; 'Tlak přihřáté páry'; 'Teplota přihřáté páry'; 'Tlaková ztráta mezi VT a ST';...
        'Teplota napájecí vody'; 'Tlaková ztráta mezi ST a OTV';...
        'Únik VT přední ucpávkou'; 'Únik VT zadní ucpávkou'; 'Únik ST přeni ucpávkou';...
        'Teplota topné vody na vstupu od OTV'; 'Teplota topné vody na výstupu z OTV';...
        'Koncový teplotní rozdíl OTV (TTD OTV)'};
Zkratka = ['m_ad      '; 'p_1      '; 't_1      '; 'p_3      '; 't_3      ';...
           'eta_VTST '; 't_NV      '; 'eta_STOTV'; 'm_VTp    '; 'm_VTz    '; 'm_STp    ';...
           't_14     '; 't_15     '; 'delta_t   ']; % 9 mist v prvku
Hodnota = [m_ad;p_1;t_1;p_3;t_3;eta_VTST;t_NV;eta_STOTV;m_VTp;m_VTz;m_STp;...
           t_14;t_15;delta_t];
Jednotky = ['kg/s'; 'bar '; '°C '; 'bar '; '°C '; '- '; '°C '; '- '; 'kg/s';...
           'kg/s'; 'kg/s'; '°C '; '°C '; '°C ']; % 4 místa v prvku
T = table( Zkratka, Hodnota, Jednotky, 'RowNames', Nazev);
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName',...
           FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka Hodnota Jednotky T

% -----
% Vykreslení odhadnutych hodnot do tabulky -----

```



```

figure
Nazev = {'Účinnost VT dílu';'Účinnost ST dílu';'Účinnost OTV';...
        'Účinnost NTO';'Účinnost NČ';'Mechanická účinnost turbosoustrojí';...
        'Účinnost elektrického generátoru'};
Zkratka = ['eta_VT '; 'eta_ST '; 'eta_OTV'; 'eta_NTO'; 'eta_NČ '; ...
          'eta_M '; 'eta_EL ']; % 7 míst v prvku
Hodnota = [eta_VT;eta_ST;eta_OTV;eta_NTO;eta_NC;eta_M;eta_EL];
Jednotky = ['-';'-';'-';'-';'-';'-';'-']; % 1 místo v prvku
T = table( Zkratka, Hodnota, Jednotky, 'RowNames',Nazev);
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
           FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka Hodnota Jednotky T

%-----
% Vykreslení hodnot v jednotlivých bodech cyklu -----
m_1 = m_ad;
m_2 = m_1 - m_VTp - m_VTz;
m_3 = m_2 - m_NN;
m_4 = m_3 - m_STp - m_NTO;
m_5 = m_4;
m_6 = m_5 + m_NTO;
m_7 = m_6 + m_VTp + m_VTz + m_STp;
m_8 = m_7;
m_N = m_8 + m_NN;
m_9 = m_N;
m_10 = m_9;
m_11 = m_NTO;
m_12 = m_NTO;
m_13 = m_NN;
m_14 = m_OTV;
m_15 = m_OTV;
figure
Uzel = {'1';'2';'3';'4';'5';'6';'7';'8';'NN';'9';'10';'11';'12';'13';'14';'15'};
Teplota = [t_1;t_2;t_3;t_4;t_5;t_6;t_7;t_8;t_NV;t_9;t_10;t_11;t_12;t_13;...
          t_14;t_15];
Tlak = [p_1;p_2;p_3;p_4;p_5;p_6;0;p_NV;p_9;p_10;0;0;0;0;0];
Entalpie = [h_1;h_2;h_3;h_4;h_5;h_6;h_7;h_8;h_9;h_9;h_10;h_11;h_12;h_13;0;0];
Entropie = [s_1;s_2;s_3;s_4;s_5;s_6;0;0;0;0;s_9;s_10;0;0;0;0];
Prutok = [m_1;m_2;m_3;m_4;m_5;m_6;m_7;m_8;m_N;m_9;m_10;m_11;m_12;m_13;m_14;m_15];
Jednotky = ['kg/s';'bar '; '°C '; 'bar '; '°C '; '- '; '°C '; '- '; 'kg/s';...
           'kg/s'; 'kg/s'; '°C '; '°C '; '°C ']; % 4 místa v prvku
T = table( Teplota, Tlak, Entalpie, Entropie, Prutok, 'RowNames',Uzel);
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
           FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Uzel Tlak Entalpie Entropie Prutok Jednotky T

%=====
% Navrh prutocne casti =====

%-----
% Urcení počtu stupnu ve VT dílu -----
% Volené parametry
D_ss = 900; % střední průměr stupnu za A kolem [mm]
% urceno na zaklade grafu ve Skopkovi v priloye 10
UC_0_s = 0.45; % pomer rychlosti U ku C_0 střední [-]
% urceno na zaklade Skopka na strane 23
k_T = 0.00048; % soucinitel, urceno na zaklade 2. prezentace PTK str 39
z_VT = 10; % odhad počtu stupnu za regulacním stupnem
for i = 1:3
    q_T = k_T * (1 - eta_VT) * H_0VTiz * (z_VT - 1)/z_VT;
    % soucinitel zpetneho vyuziti tepla = reheat faktor [-]
    H_VTiz = H_0VTiz * (1 + q_T);
    % izoentropicky entalpický spád se zapocítáním reheat faktoru
    z_VTC = (2 * H_VTiz * 1000 * UC_0_s^2)/((pi * n / 60)^2 * (D_ss / 1000)^2);
    % spočtený počet stupnu za regulacním stupnem na zaklade Skopka str. 23
    z = z_VTC;
end
z = ceil(z)

%-----
% Zakladní parametry prutocneho kanalu VT dílu -----

% Zvolené parametry -----
uc_0 = [0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45]; % pro rovnotlaký stupeň [-]
fi = 0.95; % rychlostní soucinitel [-] volen mezi 0.93 - 0.98
epsilon_r = 0.9; % soucinitel zaplnení vystupního prurezu konečkou

```

```

% tloustkou rozvadecich lopatek
% D_s = 900; % stredni prumer stupne [mm]
ALFA_1VT = [13.766 13.232 13.262 13.262 13.309 13.344 14.14 14.211 14.56 ...
14.99 13 13];
D_sVT = [900 777 779 781.5 784.5 787.5 789 792.5 796 801.5];
% vektor s vystupnimi uhly rozvadecich lopatek [stupne]

% Aby se nepletlo znaceni v tepelnem cyklu se znaceni v prutočne casti,
% budou veliciny tykající se protocne casti oznaceny dvojite
% Prirknuti velicin z tepelneho cyklu k velicinam v prutočne casti -----
ss_2 = s_1; % pripisují to ay k hodnotam na vystupu, ale v cyklu je prirknu
m = m_ad - m_VTp; % zas hodnotam na vstupu do RL
hh_2 = h_1;
pp_2 = p_1;
tt_2 = t_1;
stupen = 1; % pro oznaceni stupnu a zapis hodnot do matice

% vypocet parametru pary a parametru stupne
[stupen, RESULT, HHiz] = VylozeniPrutCastil( uc_0, fi, epsilon_r,...
D_sVT, ALFA_1VT, ss_2, m, 0, hh_2, pp_2, p_2, tt_2, stupen, n, 1);

RESULT_VT = RESULT; % ulozeni vysledku z VT casti
HH_izVT = HHiz; % ulozeni vysledku z VT casti
clear HHiz

stupen = stupen - 1; % snizeni hodnoty stupen, aby sedela s konecnym
% poctem stupnu, pac na konci cyklu vzdz prictu jednicku, v poslednim
% kole se procte o jednu vic nez by melo, proto odecitam 1
disp('Pocet stupnu je:')
disp(stupen)

if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z vykládání půtočné části, nesedí velikost matice')
end
% -----
% Vykreslení vypocitanych hodnot -----

% Vykreslení tabulky -----
figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok'; 'Teplota před RK'; 'Tlak před RK'; ...
'Entalpie před RK'; 'Entropie před RK'; 'Teplota za RK'; 'Tlak za RK'; ...
'Entalpie za RK'; 'Měrný objem za RK'; 'Teplota za OL'; 'Tlak za OL'; 'Entalpie za OL'; 'Entropie za OL'; ...
'Měrný objem za OL'; 'Střední průměr'; 'u/c_0'; 'fi'; 'alfa_1'; ...
'epsilon_r'; 'Fiktivní rychlost'; 'Obvodová rychlost'; 'Délka lopatky tot. odstř.'; ...
'Délka lopatky opt.'; 'Délka lopatky red.'; 'Parcielnost'; ...
'Délka lopatky'; 'Válcové lopatky'; 'Účinnost nekon. lopatky'; ...
'Ztráta konečné lopatky'; 'Ztráta parcielností'; 'Ztráta ventilací'; ...
'Ztráta rozvějířením'; 'Ztráta třením disku'; 'Ztráta vlivem suchosti'; ...
'Účinnost stupně'; 'Entalpický spád stupně'; 'Vnitřní výkon stupně'};
Zkratka = ['m' 't_0' 'p_0' 'h_0' 's_0' 'v_0' 'D_s' 'u' 'l' 'EPS' 'L' 'eta_inf' 'Z_L' 'Z_PO' 'Z_V' 'Z_ROZV' 'Z_TD' 'Z_x' 'eta_td' 'H' 'P_st'];
Jednotky = ['kg/s' '°C' 'bar' 'kJ/kg' 'kJ/kg/K' '°C' 'bar' 'kJ/kg' 'kJ/kg/K' 'm3/kg' 'mm' 'm/s' 'logic' 'kJ/kg' 'kW'];
T = table(Zkratka, Jednotky, RESULT(:,1), RESULT(:,2), RESULT(:,3), RESULT(:,4), ...
RESULT(:,5), RESULT(:,6), RESULT(:,7), RESULT(:,8), RESULT(:,9), RESULT(:,10), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmince na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykreslení grafu vylozeni prutočne casti -----
figure
RESULT_VT_trans = RESULT';
T = [RESULT_VT_trans(:,15)/2 - RESULT_VT_trans(:,26)/2, RESULT_VT_trans(:,26)];
bar(T, 'stacked')
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Celkový počet stupňů [-] (1 = regulační stupeň)')

% Celkovy vykon VT a entalpický spád -----

```

```

P_VT = 0; % [kW] součet všech výkonů ve VT
for i = 1:stupen
    P_VT = RESULT(37,i) + P_VT;
end

H_VT_skut = 0; % [kJ/kg] součet všech spadů ve VT
for i = 1:stupen
    H_VT_skut = RESULT(36,i) + H_VT_skut;
end

clear RESULT T stupen Nazev Zkratka Jednotky

%-----
% Urcení počtu stupňů v ST dílu -----
% Volené parametry
D_ss = 1100; % střední průměr stupně za A kolem [mm]
% určeno na základě grafu ve Skopkovi v příloze 10
UC_0_s = 0.45; % poměr rychlosti U ku C_0 střední [-]
% určeno na základě Skopka na straně 23
k_T = 0.00048; % součinitel, určeno na základě 2. prezentace PTK str 39
z_ST = 10; % odhad počtu stupňů za regulačním stupněm
for i = 1:3
    q_T = k_T * (1 - eta_ST) * H_0STiz * (z_ST - 1)/z_ST;
    % součinitel zpětného využití tepla = reheat faktor [-]
    H_STiz = H_0STiz * (1 + q_T);
    % izoentropicky entalpický spád se započítáním reheat faktoru
    z_STC = (2 * H_STiz * 1000 * UC_0_s^2)/(pi * n / 60)^2 * (D_ss / 1000)^2);
    % spočtený počet stupňů za regulačním stupněm na základě Skopka str. 23
    z = z_STC;
end
z = ceil(z)

%-----
% Základní parametry průtočného kanálu ST dílu -----
% Zvolené parametry -----
uc_0 = [0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.49 0.49 0.49 0.42 0.42 0.42]; % pro rovnotlaký stupeň [-]
fi = 0.95; % rychlostní součinitel [-] volen mezi 0.93 - 0.98
epsilon_r = 0.9; % součinitel zaplnění výstupního průřezu konečkou
% tloušťkou rozvadecích lopatek
% D_s = 975; % střední průměr stupně [mm]
ALFA_1ST = [14.129 14.105 14.14 14.14 13.421 13.521 13.533 14.223 ...
    15.711 15.952 16.176 16.85];
% vektor s výstupními úhly z rozvadecích lopatek [stupně]
D_sST = [957.5 964 972 981 1174.5 1181 1198 1208 1217 1222 1279 1378.5];

% Aby se nepletlo značení v tepelném cyklu se značením v průtočné části,
% budou veličiny týkající se průtočné části označeny dvojíte
% Prirknutí veličin z tepelného cyklu k veličinám v průtočné části -----
ss_2 = s_3; % připisují to ať k hodnotám na výstupu, ale v cyklu je prirknuto
m = m_ST1; % zas hodnotám na vstupu do RL
m_dod = m_ST2;
hh_2 = h_3;
pp_2 = p_3;
tt_2 = t_3;
stupen = 1; % pro označení stupně a zápis hodnot do matice

% výpočet parametru pary a parametru stupně
[stupen, RESULT, HHiz ] = VyrozeniPrutCastil( uc_0, fi, epsilon_r, ...
    D_sST, ALFA_1ST, ss_2, m, m_dod, hh_2, pp_2, p_4, tt_2, stupen, n, 0);

RESULT_ST = RESULT; % uložení výsledku z ST do matice
HH_izST = HHiz; % uložení výsledku z ST do matice
clear RESULT HHiz

stupen = stupen - 1; % snížení hodnoty stupně, aby seděla s konečným
% počtem stupňů, pac na konci cyklu vzdz přičtu jedničku, v posledním
% kole se počte o jednu víc než by mělo, proto odečítám 1
disp('Počet stupňů je:')
disp(stupen)

if stupen ~= 12
    error('Úprav výpis výsledků z vykládání průtočné části, nesedí velikost matice')
end

%-----
% Vykreslení vypočítaných hodnot -----
% Vykreslení tabulky -----
figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok'; 'Teplota před RK'; 'Tlak před RK'; ...
    'Entalpie před RK'; 'Entropie před RK'; 'Teplota za RK'; 'Tlak za RK'; ...
    'Entalpie za RK'; 'Měrný objem za RK'; 'Teplota za OL'; 'Tlak za OL'; 'Entalpie za OL'; 'Entropie za OL'; ...
    'Měrný objem za OL'; 'Střední průměr'; 'u/c_0'; 'fi'; 'alfa_1'; ...
    'epsilon_r'; 'Fiktivní rychlost'; 'Obvodová rychlost'; 'Délka lopatky tot. odstř.'; ...
    'Opt. délka lopatky'; 'Reduk. délka lopatky'; 'Parcielnost'; ...
    'Délka lopatky'; 'Válcové lopatky'; 'Účinnost nekon. lopatky'; ...
    'Ztráta konečné lopatky'; 'Ztráta parcielností'; 'Ztráta ventilací'; ...

```

```

'Ztráta rozvějířením'; 'Ztráta třením disku'; 'Ztráta vlivem suchosti';
'Účinnost stupně'; 'Entalpický spád stupně'; 'Vnitřní výkon stupně';
Zkratka = ['m' ; 't_0' ; 'p_0' ; 'h_0' ; 'v_0' ; 'D_s' ; 'u' ; 'l' ; 'eta_inf' ; 'Z_L' ; 'Z_PO' ; 'Z_V' ; 'Z_ROZV' ; 'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...'];
    's_0' ; 't_1' ; 'p_1' ; 'h_1' ; 'v_1' ; 'D_s' ; 'u' ; 'l' ; 'eta_inf' ; 'Z_L' ; 'Z_PO' ; 'Z_V' ; 'Z_ROZV' ; 'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...';
    't_2' ; 'p_2' ; 'h_2' ; 's_2' ; 'v_2' ; 'D_s' ; 'u' ; 'l' ; 'eta_inf' ; 'Z_L' ; 'Z_PO' ; 'Z_V' ; 'Z_ROZV' ; 'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...';
    ; 'u/c_0' ; 'fi' ; 'alfa_1' ; 'epsilon_r' ; 'c_f' ; 'u' ; 'l' ; 'eta_inf' ; 'Z_L' ; 'Z_PO' ; 'Z_V' ; 'Z_ROZV' ; 'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...';
    'l_T' ; 'l_opt' ; 'l_red' ; 'EPS' ; 'L' ; 'u' ; 'l' ; 'eta_inf' ; 'Z_L' ; 'Z_PO' ; 'Z_V' ; 'Z_ROZV' ; 'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...';
    'eta_inf' ; 'Z_L' ; 'Z_PO' ; 'Z_V' ; 'Z_ROZV' ; 'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...';
    'Z_TD' ; 'Z_x' ; 'eta_td' ; 'H' ; 'P_st' ; '...';
]; % 9 míst v prvku
Jednotky = ['kg/s' ; '°C' ; 'bar' ; 'kJ/kg' ; 'kJ/kg/K' ; '°C' ; '...';
    'bar' ; 'kJ/kg' ; 'm3/kg' ; '°C' ; 'bar' ; 'kJ/kg' ; 'kJ/kg/K' ; '...';
    ; 'm3/kg' ; 'mm' ; '-' ; '°' ; '-' ; '...';
    'm/s' ; 'm/s' ; 'mm' ; 'mm' ; 'mm' ; '-' ; 'mm' ; '...';
    'logic' ; '-' ; '-' ; '-' ; '-' ; '-' ; '-' ; '...';
    '-' ; '-' ; 'kJ/kg' ; 'kW' ]; % 7 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, RESULT_ST(:,1), RESULT_ST(:,2), RESULT_ST(:,3), RESULT_ST(:,4), ...
    RESULT_ST(:,5), RESULT_ST(:,6), RESULT_ST(:,7), RESULT_ST(:,8), RESULT_ST(:,9), RESULT_ST(:,10), ...
    RESULT_ST(:,11), RESULT_ST(:,12), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykreslení grafu vyložení prutocne casti -----
figure
RESULT_ST_trans = RESULT_ST';
T = [RESULT_ST_trans(:,15)/2 - RESULT_ST_trans(:,26)/2, RESULT_ST_trans(:,26)];
bar(T, 'stacked')
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Celkový počet stupňů [-]')

% Celkový výkon ST -----
P_ST = 0; % [kW] součet všech výkonů ve VT
for i = 1:stupen
    P_ST = RESULT_ST(37,i) + P_ST; % [kW]
end

H_ST_skut = 0; % [kJ/kg] součet všech spádů ve VT
for i = 1:stupen
    H_ST_skut = RESULT_ST(36,i) + H_ST_skut;
end

clear RESULT T stupen
% -----
% Hodnoty k iteraci -----

% Celkový výkon -----
P_VTST = (P_VT + P_ST) / 1000; % Celkový vnitřní výkon [MW]

% Celkový entalpický spád skutečný v VT a ST -----
H_VT_skut; % [kJ/kg]
H_ST_skut; % [kJ/kg]

% Účinnost VT a ST -----
eta_VTacc = H_VT_skut / H_0VTiz; % zpřesněná účinnost [-]
eta_STacc = H_ST_skut / H_0STiz; % zpřesněná účinnost [-]

%%
% Tabulka pro porovnání rozdílu délek v lopátkách -----
% původní délka x spočtené délky
figure
DelkaLopVT_old = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'D5:D14');
% délka starých lopatek [mm]
DelkaLopST_old = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'D19:D30');
% délka starých lopatek [mm]
DelkaLop_old = [DelkaLopVT_old; DelkaLopST_old]; % sloučení do 1 vektoru [mm]
DelkaLop_new = [RESULT_VT(26,:); RESULT_ST(26,:)]'; % délky nových lopatek [mm]

Rozdil_mm = DelkaLop_new - DelkaLop_old; % rozdíl délek [mm]

Stup = {'VT A'; 'VT 1'; 'VT 2'; 'VT 3'; 'VT 4'; 'VT 5'; 'VT 6'; 'VT 7'; 'VT 8'; ...
    'VT 9'; 'ST 1'; 'ST 2'; 'ST 3'; 'ST 4'; 'ST 5'; ...
    'ST 6'; 'ST 7'; 'ST 8'; 'ST 9'; 'ST 10'; 'ST 11'; 'ST 12'};
T = table(DelkaLop_old, DelkaLop_new, Rozdil_mm, 'RowNames', Stup);
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');

```

```

FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Uzel Tlak Entalpie Entropie Prtok Jednotky T

%%
% =====
% PEVNOSTNI VYPOCET PROUTOCNE CASTI =====

% Vypocet VT =====
% Nacteni hodnot -----
velikost = size(RESULT_VT);
stupen = velikost(2);

% Nacteni hodnot z excelu
z = xlsread('StareRozmery.xlsx','E5:E14'); % pocet lopatek v RK
D = xlsread('StareRozmery.xlsx','H5:H14') - 20; % venejsi prumer
% -20 je korekce, pac cast RK je zasazena v telese
d = xlsread('StareRozmery.xlsx','I5:I14'); % prumer otvoru
h = xlsread('StareRozmery.xlsx','J5:J14'); % ekvival. prumer
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','O35:O44'); % min. prurez modul

[NamahaniRK] = NamRozKol(z, D, d, h, W_min, RESULT_VT, 36, 42.5, stupen, 0);

NamahaniRK_VT = NamahaniRK;
clear NamahaniRK

% Vykresleni tabulky -----

if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z pevnostního výpočtu VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Stupeň';'Vnější průměr RK';'Vnitřní průměr otvoru RK';...
    'Ekvivalentní tloušťka RK';'Výška hlavy RK';'Délka lopatky';...
    'Přetlak na RK';'Modul průřezu v ohybu';...
    'Alfa';'Počet lopatek';'Poměr r/R';'Provozní teplota';'Součinitel Fi';'Součinitel Mi';...
    'Ramenó síly';'Síla od na všechny RL';'Ohyb. moment na jednu RL';...
    'Maximální napětí';'Dovolené napětí';'Napětí je v mezích';'Maximální průhyb';...
    'Dovolený průhyb';'Průhyb je v mezích';'Maximální ohyb. napětí na RL';...
    'Dovolené ohyb. napětí';'Ohyb. napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n' 'D' 'd' 'h' 'a_2' 'f' 'F' 'M_1' 'y_dov' 'sigma_0' 'sigma_dov'];
Jednotky = ['mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'MPa' 'mm' 'N' 'N*mm' 'MPa' 'MPa' 'logic' 'mm' 'mm' 'logic' 'MPa' 'MPa' 'logic'];
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniRK_VT(:,1), NamahaniRK_VT(:,2), ...
    NamahaniRK_VT(:,3), NamahaniRK_VT(:,4), NamahaniRK_VT(:,5), ...
    NamahaniRK_VT(:,6), NamahaniRK_VT(:,7), NamahaniRK_VT(:,8), ...
    NamahaniRK_VT(:,9), NamahaniRK_VT(:,10), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky
clear z D d h W_min

% Vypocet ST =====
% Nacteni hodnot -----
velikost = size(RESULT_ST);
stupen = velikost(2);

% Nacteni hodnot z excelu
z = xlsread('StareRozmery.xlsx','E19:E30'); % pocet lopatek v RK
D = xlsread('StareRozmery.xlsx','H19:H30') - 20; % venejsi prumer
% -20 je korekce, pac cast RK je zasazena v telese
d = xlsread('StareRozmery.xlsx','I19:I30'); % prumer otvoru
h = xlsread('StareRozmery.xlsx','J19:J30'); % ekvival. prumer
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','O47:O58'); % min. prurez modul

[NamahaniRK] = NamRozKol(z, D, d, h, W_min, RESULT_ST, 36, 42.5, stupen, 1);

NamahaniRK_ST = NamahaniRK;
clear NamahaniRK

```

```

% Vykreslení tabulky -----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z pevnostního výpočtu ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Stupeň'; 'Vnější průměr RK'; 'Vnitřní průměr otvoru RK'; ...
        'Ekvivalentní tloušťka RK'; 'Výška hlavy RK'; 'Délka lopatky'; ...
        'Přetlak na RK'; 'Modul průřezu v ohybu'; ...
        'Alfa'; 'Počet lopatek'; 'Poměr r/R'; 'Provozní teplota'; 'Součinitel Fi'; 'Součinitel Mi'; ...
        'Rameno síly'; 'Síla od na všechny RL'; 'Ohyb. moment na jednu RL'; ...
        'Maximální napětí'; 'Dovolené napětí'; 'Napětí je v mezích'; 'Maximální průhyb'; ...
        'Dovolený průhyb'; 'Průhyb je v mezích'; 'Maximální ohyb. napětí na RL'; ...
        'Dovolené ohyb. napětí'; 'Ohyb. napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n' 'd' 'h' 'a_2' ...
          'L' 'delta_p' 'W_min' 'alfa' 'z' 'a_2' ...
          '-' 'Tep' 'Fi' 'Mi' 'f' 'F' ...
          'M_1' 'sigma_max' 'sigma_dov' '-' 'y_max' ...
          'y_dov' '-' ...
          'sigma_0' 'sigma_dov' '-']; % 9 míst v prvku
Jednotky = ['- ' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'MPa' ...
            'mm3' '°' 'z' '-' '°C' '-' '-' ...
            'mm' 'N' 'N*mm' 'MPa' 'MPa' 'logic' 'mm' ...
            'mm' 'logic' 'MPa' 'MPa' 'logic']; % 7 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniRK_ST(:,1), NamahaniRK_ST(:,2), ...
          NamahaniRK_ST(:,3), NamahaniRK_ST(:,4), NamahaniRK_ST(:,5), ...
          NamahaniRK_ST(:,6), NamahaniRK_ST(:,7), NamahaniRK_ST(:,8), ...
          NamahaniRK_ST(:,9), NamahaniRK_ST(:,10), ...
          NamahaniRK_ST(:,11), NamahaniRK_ST(:,12), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
           FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky
clear z D d h W_min

%% -----
% Vypocet rychlostnich trojuhelniku =====
% =====

% Rychlostni trojuhelniky VT =====
velikost = size(RESULT_VT);
stupen = velikost(2);
BETA_2VT = [23.226 23.954 23.991 24.035 24.054 24.073 24.086 23.991...
            24.01 24.639]; % uhly navystupu z OL

[ TROJ ] = RychTroj( n, stupen, RESULT_VT, fi, HH_izVT, ALFA_1VT, BETA_2VT);
% fce na vypocet trojuhelniku

TROJ_VT = TROJ; % ulozenu vysledku
clear TROJ

% Vykreslení tabulky -----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu trojuhelniku VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Střední průměr'; 'Patní průměr'; 'Obvodová rychlost'; ...
        'Abs. rychlost vstup OL'; 'Ax. sl. abs. rychl. vstup OL'; ...
        'Ob. sl. abs. rychl. vstup OL'; 'Relativní rychlost vstup OL'; ...
        'Ax. sl. rel. rychl. vstup OL'; 'Ob. sl. rel. rychl. vstup OL'; ...
        'Úhel abs. rychlosti vstup OL'; 'Úhel relativní rychlosti vstup OL'; ...
        'Abs. rychlost výstup OL'; 'Ax. sl. abs. rychl. výstup OL'; ...
        'Ob. sl. abs. rychl. výstup OL'; 'Relativní rychlost výstup OL'; ...
        'Ax. sl. rel. rychl. výstup OL'; 'Ob. sl. rel. rychl. výstup OL'; ...
        'Úhel abs. rychlosti výstup OL'; 'Úhel relativní rychlosti výstup OL'};
Zkratka = ['D_s' 'D_p' 'u' 'c_1' 'c_lax'; ...
          'c_lu' 'w_1' 'w_lax' 'w_lu' 'alfa_1'; ...
          'beta_1' 'c_2' 'c_2ax'; ...
          'c_2u' 'w_2' 'w_2ax' 'w_2u' 'alfa_2'; ...
          'beta_2']; % 6 míst v prvku
Jednotky = ['m' 'm' 'm/s' 'm/s' 'm/s' 'm/s' 'm/s'; ...
            'm/s' 'm/s' '°' '°' 'm/s' 'm/s' 'm/s' 'm/s'; ...
            'm/s' 'm/s' '°' '°']; % 3 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, TROJ_VT(:,1), TROJ_VT(:,2), ...
          TROJ_VT(:,3), TROJ_VT(:,4), TROJ_VT(:,5), ...
          TROJ_VT(:,6), TROJ_VT(:,7), TROJ_VT(:,8), ...
          TROJ_VT(:,9), TROJ_VT(:,10), ...
          'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...

```

```

% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Rychlostní trojúhelníky ST =====
velikost = size(RESULT_ST);
stupen = velikost(2);
BETA_2ST = [22.427 22.478 22.542 22.619 23.514 23.612 23.728 21.939 ...
    25.086 20.235 24.546 24.045]; % uhly navystupu z OL

[ TROJ ] = RychTroj( n, stupen, RESULT_ST, fi, HH_izST, ALFA_1ST, BETA_2ST);
% fce na vypocet trojuhelniku

TROJ_ST = TROJ; % ulozenu vysledku
clear TROJ

% Vykresleni tabulky -----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu trojúhelníku ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Střední průměr';'Patní průměr';'Obvodová rychlost';...
    'Abs. rychlost vstup OL';'Ax. sl. abs. rychl. vstup OL';...
    'Ob. sl. abs. rychl. vstup OL';'Relativní rychlost vstup OL';...
    'Ax. sl. rel. rychl. vstup OL';'Ob. sl. rel. rychl. vstup OL';...
    'Úhel abs. rychlosti vstup OL';'Úhel relativní rychlosti vstup OL';...
    'Abs. rychlost výstup OL';'Ax. sl. abs. rychl. výstup OL';...
    'Ob. sl. abs. rychl. výstup OL';'Relativní rychlost výstup OL';...
    'Ax. sl. rel. rychl. výstup OL';'Ob. sl. rel. rychl. výstup OL';...
    'Úhel abs. rychlosti výstup OL';'Úhel relativní rychlosti výstup OL'};
Zkratka = ['D_s '; 'D_p '; 'u '; 'c_1 '; 'c_lax ';...
    'c_lu '; 'w_1 '; 'w_lax '; 'w_lu '; 'alfa_1';...
    'beta_1'; 'c_2 '; 'c_2ax ';...
    'c_2u '; 'w_2 '; 'w_2ax '; 'w_2u '; 'alfa_2';...
    'beta_2']; % 6 míst v prvku
Jednotky = ['m '; 'm '; 'm/s'; 'm/s'; 'm/s'; 'm/s'; 'm/s';...
    'm/s'; 'm/s'; '° '; '° '; 'm/s'; 'm/s'; 'm/s'; 'm/s';...
    'm/s'; 'm/s'; '° '; '° ']; % 3 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, TROJ_ST(:,1), TROJ_ST(:,2), ...
    TROJ_ST(:,3), TROJ_ST(:,4), TROJ_ST(:,5), ...
    TROJ_ST(:,6), TROJ_ST(:,7), TROJ_ST(:,8), ...
    TROJ_ST(:,9), TROJ_ST(:,10), TROJ_ST(:,11), TROJ_ST(:,12), ...
    'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

%%
% =====
% Pevnostní výpočet zavesu OL a OL =====
% Pevnostní výpočet zavesu OL a OL VT díl =====

% nacteni hodnot z excelu
BB = xlsread('StareRozmery.xlsx','J35:J44') / 1000; % ekvivalenti sirka bandaze [m]
bb = xlsread('StareRozmery.xlsx','I35:I44') / 1000; % ekvivalenti sirka bandaze [m]
aa = xlsread('StareRozmery.xlsx','B35:B44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
bbbb = xlsread('StareRozmery.xlsx','C35:C44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
cc = xlsread('StareRozmery.xlsx','D35:D44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
xx = xlsread('StareRozmery.xlsx','E35:E44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
yy = xlsread('StareRozmery.xlsx','E35:E44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
Z = xlsread('StareRozmery.xlsx','C5:C14'); % pocet OL
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','L35:L44'); % min. prurezovy modul [m3]
S_pVT = xlsread('StareRozmery.xlsx','U35:U44'); % plocha patního prurezu [m2]
S_hVT = xlsread('StareRozmery.xlsx','X35:X44'); % plocha spickoveho prurezu [m2]

zaves = [0 1 1 1 1 1 1 1 1]; % indikace zda jde o T nozku
velikost = size(RESULT_VT);
stupen = velikost(2);

theta = 35; % uhel oklonu F a F_carka

```

```
[ NamahaniOLV, NamahaniOLO, NamahaniZaves, DD_1, DD_2] = NamObLop( zaves, stupen, RESULT_VT, TROJ_VT, Z,...
    theta, W_min, S_pVT, S_hVT, BB, bb, aa, bbbb, cc, xx, yy, 0);
% vyvolani funkce na vypočet
NamahaniOLV_VT = NamahaniOLV; % ulozeni vysledku
NamahaniOLO_VT = NamahaniOLO; % ulozeni vysledku
NamahaniZaves_VT = NamahaniZaves; % ulozeni vysledku
DD_1VT = DD_1; % ulozeni vysledku
DD_2VT = DD_2; % ulozeni vysledku
clear NamahaniOLO NamahaniOLV NamahaniZaves DD_1 DD_2

% Vykresleni tabulky namahani od vykonu-----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok'; 'Ob. sl. abs. rychlosti vstup OL';...
    'Ob. sl. abs. rychlosti výstup OL'; 'Ax. sl. abs. rychlosti vstup OL';...
    'Ax. sl. abs. rychlosti výstup OL'; 'Počet OL'; 'Parcielnost'; 'Přetlak';...
    'Délka lopatky'; 'Rozteč'; 'Ob. síla'; 'Ax. síla'; 'Celková síla';...
    'Promítnutná síla'; 'Ohybový moment'; 'Modul průřezu'; 'Ohybové napětí';...
    'Dovolené napětí'; 'Ohybové napětí je v mezích'};
Zkratka = ['m' ' ' 'c_lu' ' ' 'c_2u' ' ' 'c_lax' ' ' 'c_2ax' ' ' 'z' ' ' 'eps' ' ' 'delta_p' ' ' 'L' ' ' 't' ' ' 'F_u' ' ' 'F_ax' ' ' 'F' ' ' 'F_carka' ' ' 'M_max' ' ' 'W_min' ' ' 'sigma_0' ' ' 'sigma_dov' ' ' '']; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['kg/s' ' ' 'm/s' ' ' 'm/s' ' ' 'm/s' ' ' 'm/s' ' ' 'm/s' ' ' '-' ' ' '-' ' ' 'MPa' ' ' 'm' ' ' 'm' ' ' 'N' ' ' 'N' ' ' 'N' ' ' 'N' ' ' 'N*m' ' ' 'm3' ' ' 'MPa' ' ' 'MPa' ' ' 'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLV_VT(:,1), NamahaniOLV_VT(:,2),...
    NamahaniOLV_VT(:,3), NamahaniOLV_VT(:,4), NamahaniOLV_VT(:,5),...
    NamahaniOLV_VT(:,6), NamahaniOLV_VT(:,7), NamahaniOLV_VT(:,8),...
    NamahaniOLV_VT(:,9), NamahaniOLV_VT(:,10),...
    'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName',...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykresleni tabulky namahani od odstredive sily-----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Výpočtové otáčky'; 'Hustota ocele';...
    'Střední průměr'; 'Průměr bandáže';...
    'Plocha patního průřezu'; 'Plocha hlavového průřezu'; 'Součinitel odlehčení';...
    'Odstrř. síla listu lopatky'; 'Odstrř. síla bandáže'; 'Celková odstrř. síla';...
    'Tahové napětí'; 'Sjednocené napětí'; 'Dovolené napětí';...
    'Napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n' ' ' 'kg/m3' ' ' 'D_s' ' ' 'D_b' ' ' 'S_p' ' ' 'S_h' ' ' 'k_od' ' ' 'O_L' ' ' 'O_b' ' ' 'O' ' ' 'sigma_t' ' ' 'sigma' ' ' 'sigma_dov' ' ' '']; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['s-1' ' ' 'kg/m3' ' ' 'm' ' ' 'm' ' ' 'cm2' ' ' 'cm2' ' ' '-' ' ' 'N' ' ' 'N' ' ' 'N' ' ' 'MPa' ' ' 'MPa' ' ' 'MPa' ' ' 'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLO_VT(:,1), NamahaniOLO_VT(:,2),...
    NamahaniOLO_VT(:,3), NamahaniOLO_VT(:,4), NamahaniOLO_VT(:,5),...
    NamahaniOLO_VT(:,6), NamahaniOLO_VT(:,7), NamahaniOLO_VT(:,8),...
    NamahaniOLO_VT(:,9), NamahaniOLO_VT(:,10),...
    'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName',...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykresleni tabulky namahani zavesu od odstredive sily-----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL VT, nesedí velikost matice')
end
```



```

figure
Nazev = {'Jedná se o T-nožku'; 'Tahové napětí'; ...
        'Dov. tahové napětí'; 'Tah. napětí je v mezích'; ...
        'Smykové napětí'; 'Dov. smykové napětí'; 'Smyk. napětí je v mezích'; ...
        'Tlak na otlačení'; 'Dovolené otlačení'; 'Otlačení je v mezích'};
Zkratka = [ ' ' ; 'sigma_11' ; 'sigma_dov' ; ' ' ; 'tau_12' ; ' ' ; ...
            'tau_12dov' ; ' ' ; 'p_13' ; 'p_13dov' ; ' ' ; ' ' ];
% 9 míst v prvku
Jednotky = ['logic'; 'MPa' ; 'MPa' ; 'logic'; 'MPa' ; 'MPa' ; 'logic'; ...
            'MPa' ; 'MPa' ; 'logic']; % 5 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniZaves_VT(:,1), NamahaniZaves_VT(:,2), ...
          NamahaniZaves_VT(:,3), NamahaniZaves_VT(:,4), NamahaniZaves_VT(:,5), ...
          NamahaniZaves_VT(:,6), NamahaniZaves_VT(:,7), NamahaniZaves_VT(:,8), ...
          NamahaniZaves_VT(:,9), NamahaniZaves_VT(:,10), ...
          'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmince na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
            FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% tabulka s materialy lopatek -----
figure
Nazev = {'Stupeň VT A'; 'Stupeň VT 1'; 'Stupeň VT 2'; 'Stupeň VT 3'; ...
        'Stupeň VT 4'; 'Stupeň VT 5'; 'Stupeň VT 6'; ...
        'Stupeň VT 7'; 'Stupeň VT 8'; 'Stupeň VT 9'};
Material_OL = ['P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; ...
              'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7']; % 10 míst v prvku
Material_RL = ['15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3'; ...
              '15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3']; % 8 míst v prvku
T = table(Material_OL, Material_RL, 'RowNames', Nazev);

TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
            FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Material_OL Material_RL T

clear BB bb aa cc bbbb xx yy W_min Z

%%
% Pevnosti vypocet zavesu OL a OL ST dil =====

% nacteni hodnot z excelu
BB = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'J47:J58') / 1000; % ekvivalenti delka bandaze [m]
bb = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'I47:I58') / 1000; % ekvivalenti sirka bandaze [m]
aa = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'B47:B58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
bbbb = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'C47:C58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
cc = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'D47:D58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
xx = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'E47:E58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
yy = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'E47:E58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
Z = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'C19:C30'); % pocet OL
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'L47:L58'); % min. prurezovy modul [m3]
S_pST = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'U47:U58'); % plocha patního prurezu [m2]
S_hST = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'X47:X58'); % plocha hlavoveho prurezu [m2]

zaves = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]; % indikace zda jde o T nozku
velikost = size(RESULT_ST);
stupen = velikost(2);

theta = 35; % uhel oklonu F a F_carka
% S_p = 0.0025; % plocha patního prurezu [m2]
% S_h = 0.0025; % plocha hlavoveho prurezu [m2]

[ NamahaniOLV, NamahaniOLO, NamahaniZaves, DD_1, DD_2 ] = NamObLop( zaves, stupen, RESULT_ST, TROJ_ST,
Z, ...
    theta, W_min, S_pST, S_hST, BB, bb, aa, bbbb, cc, xx, yy, 1);
% vyvolani funkce na vypocet
NamahaniOLV_ST = NamahaniOLV; % ulozeni vysledku
NamahaniOLO_ST = NamahaniOLO; % ulozeni vysledku
NamahaniZaves_ST = NamahaniZaves; % ulozeni vysledku
DD_1ST = DD_1; % ulozeni vysledku
DD_2ST = DD_2; % ulozeni vysledku
clear NamahaniOLO NamahaniOLV NamahaniZaves DD_1 DD_2

% Vykresleni tabulky namahani od vykonu-----
if stupen ~= 12

```

```

    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok';'Ob. sl. abs. rychlosti vstup OL';...
        'Ob. sl. abs. rychlosti výstup OL';'Ax. sl. abs. rychlosti vstup OL';...
        'Ax. sl. abs. rychlosti výstup OL';'Počet OL';'Parcielnost';'Přetlak';...
        'Délka lopatky';'Rozteč';'Ob. síla';'Ax. síla';'Celková síla';...
        'Promítnutná síla';'Ohybový moment';'Modul průřezu';'Ohybové napětí';...
        'Dovolené napětí';'Ohybové napětí je v mezích'};
Zkratka = ['m          '; 'c_lu      '; 'c_2u      '; 'c_lax     '; 'c_2ax     '; ...
           'z          '; 'eps       '; 'delta_p   '; 'L         '; 't         '; ...
           'F_u       '; 'F_ax      '; 'F         '; 'F_carka   '; 'M_max     '; 'W_min     '; ...
           'sigma_O   '; 'sigma_dov'; '          ']; % 9 míst v prvku
Jednotky = ['kg/s   '; 'm/s     '; 'm/s     '; 'm/s     '; 'm/s     '; '-       '; '-       '; ...
            'MPa    '; 'm       '; 'm       '; 'N       '; 'N       '; 'N       '; 'N*m     '; ...
            'm3     '; 'MPa     '; 'MPa     '; 'logic']; % 5 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLV_ST(:,1), NamahaniOLV_ST(:,2), ...
          NamahaniOLV_ST(:,3), NamahaniOLV_ST(:,4), NamahaniOLV_ST(:,5), ...
          NamahaniOLV_ST(:,6), NamahaniOLV_ST(:,7), NamahaniOLV_ST(:,8), ...
          NamahaniOLV_ST(:,9), NamahaniOLV_ST(:,10), NamahaniOLV_ST(:,11), NamahaniOLV_ST(:,12), ...
          'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
           FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykreslení tabulky namahani od odstredive sily-----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Výpočtové otáčky';'Hustota ocele';...
        'Střední průměr';'Průměr bandáže';...
        'Plocha patního průřezu';'Plocha hlavového průřezu';'Součinitel odlehčení';...
        'Odstř. síla listu lopatky';'Odstř. síla bandáže';'Celková odstř. síla';...
        'Tahové napětí';'Sjednocené napětí';'Dovolené napětí';...
        'Napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n          '; 'kg/m3    '; 'D_s      '; 'D_b      '; 'S_p      '; ...
           'S_h      '; 'k_od     '; 'O_L      '; 'O_b      '; 'O         '; ...
           'sigma_t   '; 'sigma    '; 'sigma_dov'; '          ']; % 9 míst v prvku
Jednotky = ['s-1   '; 'kg/m3    '; 'm       '; 'm       '; 'cm2     '; 'cm2     '; '-       '; ...
            'N       '; 'N       '; 'N       '; 'MPa     '; 'MPa     '; 'MPa     '; 'logic']; % 5 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLO_ST(:,1), NamahaniOLO_ST(:,2), ...
          NamahaniOLO_ST(:,3), NamahaniOLO_ST(:,4), NamahaniOLO_ST(:,5), ...
          NamahaniOLO_ST(:,6), NamahaniOLO_ST(:,7), NamahaniOLO_ST(:,8), ...
          NamahaniOLO_ST(:,9), NamahaniOLO_ST(:,10), NamahaniOLO_ST(:,11), NamahaniOLO_ST(:,12), ...
          'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
           FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykreslení tabulky namahani zavesu od odstredive sily-----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Jedná se o T-nožku';'Tahové napětí';...
        'Dov. tahové napětí';'Tah. napětí je v mezích';...
        'Smykové napětí';'Dov. smykové napětí';'Smyk. napětí je v mezích';...
        'Tlak na otlačení';'Dovolené otlačení';'Otlačení je v mezích'};
Zkratka = ['          '; 'sigma_11 '; 'sigma_dov'; '          '; 'tau_12   '; ...
           'tau_12dov'; '          '; 'p_13     '; 'p_13dov  '; '          '];
% 9 míst v prvku
Jednotky = ['logic'; 'MPa   '; 'MPa   '; 'logic'; 'MPa   '; 'MPa   '; 'logic'; ...
            'MPa   '; 'MPa   '; 'logic']; % 5 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniZaves_ST(:,1), NamahaniZaves_ST(:,2), ...
          NamahaniZaves_ST(:,3), NamahaniZaves_ST(:,4), NamahaniZaves_ST(:,5), ...
          NamahaniZaves_ST(:,6), NamahaniZaves_ST(:,7), NamahaniZaves_ST(:,8), ...
          NamahaniZaves_ST(:,9), NamahaniZaves_ST(:,10), NamahaniZaves_ST(:,11), NamahaniZaves_ST(:,12), ...
          'RowNames', Nazev);

```

```

        NamahaniZaves_ST(:,9),NamahaniZaves_ST(:,10),NamahaniZaves_ST(:,11),NamahaniZaves_ST(:,12),...
        'RowNames',Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\_');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% tabulka s materialy lopatek -----
figure
Nazev = {'Stupeň ST 1';'Stupeň ST 2';'Stupeň ST 3';...
    'Stupeň ST 4';'Stupeň ST 5';'Stupeň ST 6';...
    'Stupeň ST 7';'Stupeň ST 8';'Stupeň ST 9';'Stupeň ST 10';'Stupeň ST 11';'Stupeň ST 12'};
Material_OL = {'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';...
    'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 1 TD ';'P-AK 1 TD ';...
    'P-AK 1 TD ';'P-AK 1 TD '}; % 10 míst v prvku
Material_RL = ['15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';...
    '15 335.3';'15 335.3';'17 021.2';'17 021.2';'17 021.2';'17 021.2';...
    '17 021.2']; % 8 míst v prvku
T = table(Material_OL,Material_RL,'RowNames',Nazev);

TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\_');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Material_OL Material_RL T

clear BB bb aa cc bbbb xx yy W_min Z

%%
% =====
% POROVNANI =====
% Porovnani lopatkovych lopatkovzh planu =====

% delky lopatek VT
figure
RESULT_VT_trans = RESULT_VT';
Delka = RESULT_VT_trans(:,26);
POROVNANI = [Delka, DelkaLopVT_old];
bar(POROVNANI)
grid on
ylabel('Délka lopatky [mm]')
xlabel('Stupeň [-]')

% delky lopatek ST
figure
RESULT_ST_trans = RESULT_ST';
Delka = RESULT_ST_trans(:,26);
POROVNANI = [Delka, DelkaLopST_old];
bar(POROVNANI)
grid on
ylabel('délka lopatky [mm]')
xlabel('Stupeň [-]')

% VT pani prumery
figure
RESULT_VT_trans = RESULT_VT';
PatniPrumerPuvodni_VT = [877.5; 753; 753; 753; 753; 753; 753; 753; 753; 753];
D_p_VT = RESULT_VT_trans(:,15)/2 - RESULT_VT_trans(:,26)/2;
POROVNANI = [D_p_VT, PatniPrumerPuvodni_VT/2];
bar(POROVNANI)
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Stupeň [-]')

% ST patni prumery
figure
RESULT_ST_trans = RESULT_ST';
PatniPrumerPuvodni_ST = [903; 903; 903; 903; 1103; 1103; 1103; 1106; 1106 ...
    ;1106; 1106; 1106];
D_p_ST = RESULT_ST_trans(:,15)/2 - RESULT_ST_trans(:,26)/2;
POROVNANI = [D_p_ST, PatniPrumerPuvodni_ST/2];
bar(POROVNANI)
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Stupeň [-]')

```

```

% VT spickove proumery
figure
RESULT_VT_trans = RESULT_VT';
SpicPrumerPuvodni_VT = [877.5; 753; 753; 753; 753; 753; 753; 753; 753; 753]...
    + DelkaLopVT_old * 2;
D_h_VT = RESULT_VT_trans(:,15)/2 + RESULT_VT_trans(:,26)/2;
POROVNANI = [D_h_VT, SpicPrumerPuvodni_VT/2];
bar(POROVNANI)
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Stupeň [-]')

% ST spickove proumery
figure
RESULT_ST_trans = RESULT_ST';
SpicPrumerPuvodni_ST = [903; 903; 903; 903; 1103; 1103; 1103; 1106; 1106 ...
    ;1106; 1106; 1106] + DelkaLopST_old * 2;
D_h_ST = RESULT_ST_trans(:,15)/2 + RESULT_ST_trans(:,26)/2;
POROVNANI = [D_h_ST, SpicPrumerPuvodni_ST/2];
bar(POROVNANI)
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Stupeň [-]')

%%
% ciselne porovnaní
figure
Nazev = {'Stupeň VT A'; 'Stupeň VT 1'; 'Stupeň VT 2'; 'Stupeň VT 3'; 'Stupeň VT 4'; ...
    'Stupeň VT 5'; 'Stupeň VT 6'; 'Stupeň VT 7'; 'Stupeň VT 8'; ...
    'Stupeň VT 9'; 'Stupeň ST 1'; 'Stupeň ST 2'; 'Stupeň ST 3'; ...
    'Stupeň ST 4'; 'Stupeň ST 5'; 'Stupeň ST 6'; ...
    'Stupeň ST 7'; 'Stupeň ST 8'; 'Stupeň ST 9'; 'Stupeň ST 10'; 'Stupeň ST 11'; 'Stupeň ST 12'};
Jednotky = ['mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; ...
    'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; 'mm'; ...
    'mm'; 'mm']; % 2 míst v prvku
Delka = [RESULT_VT_trans(:,26); RESULT_ST_trans(:,26)];
Delka_old = [DelkaLopVT_old; DelkaLopST_old];
Rozdil_L = Delka - Delka_old;
Prum_pat = [D_p_VT * 2; D_p_ST * 2];
Prum_pat_old = [PatniPrumerPuvodni_VT; PatniPrumerPuvodni_ST];
Rozdil_D_p = Prum_pat - Prum_pat_old;
Prum_spic = [D_h_VT * 2; D_h_ST * 2];
Prum_spic_old = [SpicPrumerPuvodni_VT; SpicPrumerPuvodni_ST];
Rozdil_D_h = Prum_spic - Prum_spic_old;
T = table(Jednotky, Delka, Delka_old, Rozdil_L, Prum_pat, Prum_pat_old, ...
    Rozdil_D_p, Prum_spic, Prum_spic_old, Rozdil_D_h, 'RowNames', Nazev);

TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev

% =====
% Seznam tabulek =====
figure
Nazev = {'T-s diagram'; 'h-s diagram'; 'Zadané hodnoty'; 'Zadané účinnosti'; ...
    'Parametry páry v uzlech'; 'Vyložení VT'; 'Lopatkový plán'; ...
    'Vyložení ST'; 'Lopatkový plán ST'; 'Rozdíl délek lopatek'; ...
    'Pevnostní výpočet RK VT'; 'Pevnostní výpočet RK ST'; 'Rychlosti VT'; ...
    'Rychlosti ST'; 'Namáhání OL VT od výkonu'; 'Namáání OL VT odstř. silou'; ...
    'Namáhání závěsu OL VT'; 'Materiály VT'; 'Namáhání OL ST od výkonu'; 'Namáání OL ST odstř. silou'; ...
    'Namáhání závěsu OL ST'; 'Materiály ST'; 'L VT'; 'L ST'; 'D_p VT'; ...
    'D_p ST'; 'D_h VT'; 'D_h ST'};
Okno = ['Figure 1'; 'Figure 2'; 'Figure 3'; 'Figure 4'; 'Figure 5'; ...
    'Figure 6'; 'Figure 7'; 'Figure 8'; 'Figure 9'; 'Figure 10'; ...
    'Figure 11'; 'Figure 12'; 'Figure 13'; 'Figure 14'; 'Figure 15'; 'Figure 16'; ...
    'Figure 17'; 'Figure 18'; 'Figure 19'; 'Figure 20'; 'Figure 21'; 'Figure 22'; ...
    'Figure 23'; 'Figure 24'; 'Figure 25'; 'Figure 26'; 'Figure 27'; 'Figure 28']; % 9 míst v prvku
T = table(Okno, 'RowNames', Nazev);

TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Okno T

disp('Doba trvání výpočtu [s]:')
timeElapsed = toc;
disp(toc)

```

Funkce na které se odvolává hlavní skript:

```
function [stupen, RESULT, HHiz] = VylozeniPrutCastil(uc_0M, fi, epsilon_r,...
    D_sM, ALFA_1, ss_2, m, m_dod, hh_2, pp_2, p_2, tt_2, stupen, n, aa)

% Vypocet parametru stupne pro navrh nove turbiny
while pp_2 > p_2
% Vypoctene parametry -----
    pp_0 = pp_2; % tlak pred RL [bar] % prirazeni parametru na vstupu do RK
    hh_0 = hh_2; % entalpie pred RK [kJ/kg] % u kazdeho stupne
    ss_0 = ss_2; % entropie pred RK [kJ/kg/K]
    tt_0 = tt_2; % teplota pred RK [C]

    D_s = D_sM(stupen);
    uc_0 = uc_0M(stupen);
    % Snizeni hmotnostniho prutoku za odberem pro NTO
    if stupen == 10
        if aa == 0
            m = m_dod;
        end
    end

% Zvoleni parametru, ktere se mohou lisit pro kazdy stupen
a = num2str(uc_0); % pro predvyplneni dialogoveho okna
b = num2str(D_s); % pro predvyplneni dialogoveho okna
c = num2str(ALFA_1(stupen)); % pro predvyplneni dialogoveho okna
d = num2str(stupen); % pro informaci pro kterou stupen to vyplnuji

prompt = {'Jedná se o stupeň', 'Zadej u/c_0: [-]', 'Zadej patní střední D_s: [mm]', ...
    'Zadej výstupní úhel z RL alfa_1: [°C]'};
dlgtitle = 'VT';
parametry = inputdlg(prompt,dlgtitle,[1 40],[d,a,b,c,d]);
uc_0 = str2num(parametry{2}); % prevedeni na cislo
D_s = str2num(parametry{3}); % prevedeni na cislo
ALFA_1(stupen) = str2num(parametry{4}); % prevedeni na cislo

u_s = (pi * D_s / 1000 * n) / 60; % obvodova rychlost na strednim prumeru [m/s]
c_0 = u_s / uc_0; % fiktivni rychlost, kterou by mela para pri
% izoentropickem proudem a entalpiekem spadu celeho stupne
% protoze predpokladam reakcu rovnou nule[m/s]
% co to je, proc se takhle prepocitava

c_1 = c_0 * fi; % abs. rychlost na vystupu z rozv. kola [m/s]
HH_iz = c_0^2 / 2000; % izoentropicky entalpický spad zprac. ve stupni [kJ/kg]
hh_liz = hh_0 - HH_iz; % izoentr. entalpie za RK [kJ/kg]
Z_RK = (1 - fi^2) * HH_iz; % ztrata v RK [kJ/kg]
hh_1 = hh_liz + Z_RK; % skutecna entalpie za RK [kJ/kg]
pp_1 = XSteam('p_hs', hh_liz, ss_0); % tlak za RK [bar]
tt_1 = XSteam('t_ph', pp_1, hh_1); % teplota za RK [C]
vv_1 = XSteam('v_ph', pp_1, hh_1); % merny objem za RK [m^3/kg]
l_T = 1000 * (m * vv_1) / (pi * D_s / 1000 * epsilon_r * c_1 * sind(ALFA_1(stupen)));
% delka lopatek pri totalnim odstriku [mm]
l_opt = sqrt(((1 - uc_0) * D_s / 1000 * l_T / 1000) / ((1.26 * 1 + 14.97 * D_s...
    / 1000 * uc_0^2)) * 1000; % optimalni delka rozvadeci
%
EPS = 0.561; % parcielnost [-]
l_red = ((1 - uc_0) * uc_0) / (((1 - uc_0) * uc_0) * 1 / l_opt + ...
    0.784 + (1.26 * 1) / (D_s * EPS) * uc_0 + 14.97 + (1 / EPS - 1) * ...
    uc_0^3) * 1000;
% redukovana delka lopatky [mm]

if l_red > l_T || stupen == 1 % cyklus pro rozhodnuti o delce lopatky
    if aa == 1
        L = l_T / EPS;
    else
        L = l_T;
        EPS = 1;
    end
else L = l_T;
    EPS = 1; % v pripade ze se nepouzije parcialni odstrik, je parcielnost
    % rovna jedne
end

if L / D_s < 0.1 % cyklus pro urceni typu lopatek
    Typ_lopatek = 1;
elseif L / D_s == 0.1
    Typ_lopatek = 10;
else Typ_lopatek = 0;
end
end
```

```

% Zjisteni ucinnosti stupne -----
eta_inf = 3.74 * (1 - uc_0) * uc_0; % ucinnost nekon. dlouhe lopatky [-]
Z_L = eta_inf * 0.0029 / (L / 1000); % ztrata konecnou delkou lopatky [-]

if EPS < 1 % cyklus pro urceni ztrat souvisejicich s parc. odstrikem
    Z_PO = 0.0085 + 0.0137 / (D_s / 1000 * EPS) * uc_0; % ztrata parc.
    % odstrikem [-]
    Z_V = 0.0377 / sind(ALFA_1(stupen)) * (1 / EPS - 1) * uc_0^3;
    % ztrata ventilaci neodstriknutych lopatek [-]
else Z_PO = 0;
    Z_V = 0;
end

Z_ROZV = 0.5 * (L / D_s)^2; % ztrata rozvejirenim [-]
Z_TD = 0.003 * D_s / L * uc_0^3; % ztrata trenim disku [-]
xx_1 = XSteam('x_ph', pp_1, hh_1); % suchost pary za RK [-]
Z_x = 1 - xx_1; % ztrata vlivem suchosti [-]
eta_td = eta_inf - (Z_L + Z_PO + Z_V + Z_ROZV + Z_TD + Z_x);
% ucinnost stupne [-]
HH = HH_iz * eta_td; % skutecny termodynamicky spad na stupni [kJ/kg]

P_st = m * HH; % vnitřni výkon stupne [kW]
hh_2 = hh_0 - HH; % entalpie za obežnym kolem [kJ/kg]
pp_2 = XSteam('p_hs', hh_liz, ss_0); % tlak za OL [bar]

% Kontrola tlaku u posledního stupne a prepocitani ostatnich parametru
if pp_2 < p_2 % cyklus pro urceni vystupniho tlaku u posledního stupne
    % pokud je tlak na vystupu z VT vetsi nez tlak ziskany z pruberneho
    % vypoctu stupnu, je tlak z pruberneho vypoctu roven tlaku z
    % tepelneho schematu a nasledne budou predchozi parametry zpetne
    % dopocteny
    pp_2 = p_2; % tlak za stupnem [bar]
    hh_liz = XSteam('h_ps', pp_2, ss_0); % entalpie za stupnem bez ztrat
    HH_iz = hh_0 - hh_liz; % entalpicku spad ve stupni
    c_0 = sqrt(2000 * HH_iz); % fiktivni rychlost [m/s]
    uc_0 = u_s / c_0; % pomer rychlosti uc_0 [-]
    c_1 = c_0 * fi; % abs. rychlost na vystupu z rozv. kola [m/s]
    HH_iz = c_0^2 / 2000; % izoentropicky entalpicku spad zprac. ve stupni [kJ/kg]
    hh_liz = hh_0 - HH_iz; % izoentr. entalpie za RK [kJ/kg]
    Z_RK = (1 - fi^2) * HH_iz; % ztrata v RK [kJ/kg]
    hh_1 = hh_liz + Z_RK; % skutecna entalpie za RK [kJ/kg]
    pp_1 = XSteam('p_hs', hh_liz, ss_0); % tlak za RK [bar]
    tt_1 = XSteam('t_ph', pp_1, hh_1); % teplota za RK [C]
    vv_1 = XSteam('v_ph', pp_1, hh_1); % merny objem za RK [m^3/kg]
    l_T = 1000 * (m * vv_1) / (pi * D_s / 1000 * epsilon_r * c_1 * sind(ALFA_1(stupen)));
    % delka lopatek pri totalnim odstrikem [mm]
    l_opt = sqrt(((1 - uc_0) * D_s / 1000 * l_T / 1000) / (1.26 * 1 + 14.97 * D_s...
    / 1000 * uc_0^2)) * 1000; % optimalni delka rozvadeci
    % lopatky !!!!!VYMAZAL JSEM n_ostř [mm]
    EPS = l_T / l_opt; % parcielnost [-]
    l_red = ((1 - uc_0) * uc_0) / (((1 - uc_0) * uc_0) * 1 / l_opt + ...
    0.784 + (1.26 * l) / (D_s * EPS) * uc_0 + 14.97 + (1 / EPS - 1) * ...
    uc_0^3) * 1000;
    % redukovana delka lopatky [mm]

    if l_red > l_T || stupen == 1 % cyklus pro rozhodnuti o delce lopatky
        if aa == 1
            L = l_opt;
        else
            L = l_T;
            EPS = 1;
        end
    else L = l_T;
        EPS = 1; % v pripade ze se nepouzije parcialni odstrik, je parcielnost
        % rovna jedne
    end

    if L / D_s < 0.1 % cyklus pro urceni typu lopatek
        Typ_lopatek = 1;
    elseif L / D_s == 0.1
        Typ_lopatek = 10;
    else Typ_lopatek = 0;
    end

% Zjisteni ucinnosti stupne -----
eta_inf = 3.74 * (1 - uc_0) * uc_0; % ucinnost nekon. dlouhe lopatky [-]
Z_L = eta_inf * 0.0029 / (L / 1000); % ztrata konecnou delkou lopatky [-]

if EPS < 1 % cyklus pro urceni ztrat souvisejicich s parc. odstrikem
    Z_PO = 0.0085 + 0.0137 / (D_s / 1000 * EPS) * uc_0; % ztrata parc.
    % odstrikem [-]
    Z_V = 0.0377 / sind(ALFA_1(stupen)) * (1 / EPS - 1) * uc_0^3;
    % ztrata ventilaci neodstriknutych lopatek [-]
else Z_PO = 0;
    Z_V = 0;
end

```

```

Z_ROZV = 0.5 * (L / D_s)^2; % ztrata rozvejirenim [-]
Z_TD = 0.003 * D_s / L * uc_0^3; % ztrata trenim disku [-]
xx_1 = XSteam('x_ph', pp_1, hh_1); % suchost pary za RK [-]
Z_x = 1 - xx_1; % ztrata vlivem suchosti [-]
eta_td = eta_inf - (Z_L + Z_PO + Z_V + Z_ROZV + Z_TD + Z_x);
% ucinnost stupne [-]
HH = HH_iz * eta_td; % skutecny termodynamicky spad na stupni [kJ/kg]

P_st = m * HH; % vnitřni výkon stupne [kW]
hh_2 = hh_0 - HH; % entalpie za obežnym kolem [kJ/kg]
% pp_2 = XSteam('p_hs', hh_liz, ss_0); % tlak za OL [bar]

end

tt_2 = XSteam('t_ph', pp_2, hh_2); % teplota za OL [C]
vv_2 = XSteam('v_ph', pp_2, hh_2); % merny objem za OL [m3/kg]
ss_2 = XSteam('s_ph', pp_2, hh_2); % entropie za OL [kJ/kg/K]
xx_2 = XSteam('x_ph', pp_2, hh_2); % suchost pary [-]

% Zapsani vysledku do matice
RESULT(1, stupen) = m;
RESULT(2, stupen) = tt_0;
RESULT(3, stupen) = pp_0;
RESULT(4, stupen) = hh_0;
RESULT(5, stupen) = ss_0;
RESULT(6, stupen) = tt_1;
RESULT(7, stupen) = pp_1;
RESULT(8, stupen) = hh_1;
RESULT(9, stupen) = vv_1;
RESULT(10, stupen) = tt_2;
RESULT(11, stupen) = pp_2;
RESULT(12, stupen) = hh_2;
RESULT(13, stupen) = ss_2;
RESULT(14, stupen) = vv_2;
RESULT(15, stupen) = D_s;
RESULT(16, stupen) = uc_0;
RESULT(17, stupen) = fi;
RESULT(18, stupen) = ALFA_1(stupen);
RESULT(19, stupen) = epsilon_r;
RESULT(20, stupen) = c_0;
RESULT(21, stupen) = u_s;
RESULT(22, stupen) = l_T;
RESULT(23, stupen) = l_opt;
RESULT(24, stupen) = l_red;
RESULT(25, stupen) = EPS;
RESULT(26, stupen) = round(L * 2) / 2;
RESULT(27, stupen) = Typ_lopatek;
RESULT(28, stupen) = eta_inf;
RESULT(29, stupen) = Z_L;
RESULT(30, stupen) = Z_PO;
RESULT(31, stupen) = Z_V;
RESULT(32, stupen) = Z_ROZV;
RESULT(33, stupen) = Z_TD;
RESULT(34, stupen) = Z_x;
RESULT(35, stupen) = eta_td;
RESULT(36, stupen) = HH;
RESULT(37, stupen) = P_st;

HHiz(stupen) = HH_iz; % zapsani iyeintropickeho spadu ve stupni
% pro vypocet rychlostnich trojuhelniku

% prechod na dalsi stupen
stupen = stupen + 1;

end
end

function [ TROJ ] = RychTroj( n, stupen, RESULT, fi, HH_iz, ALFA_1, BETA_2)
% Funkce na výpočet rychlostních trojúhelníků

% stupen - pocet stupnu v dila [-]
% RESULT - bud RESULT_VT nebo _ST = matice s vysledky y prutocne casti
% fi - rychlostni soucinitel zvolen ve vypocty pruticne nasti [-]
% HH_iz - vektor s izoentropicnymi spady na stupni [kJ/kg]
% ALFA_1 - uhle na vstupu do OL []
% BETA_2 - vystupni uhel z OL []
% TROJ - matice s vysledky

R_p = 0.03; % reakce na pate [-]

for i = 1:stupen

D_s = RESULT(15,i) / 1000; % stredni prumer [m]
D_p = D_s - RESULT(26,i)/1000; % patni prumer [m]
alfa_1 = ALFA_1(i); % uhel na vstupu do OL

```

```

beta_2 = BETA_2(i); % uhel na vystupu z OL

u = 3.1415 * D_s * n / 60; % obvodova rychlost na strednim prumeru
R_s = 1 - (D_p/D_s)^1.7 * (1 - R_p); % reakce na strednim prumeru [-]
c_1 = fi * sqrt(2*(1 - R_s) * HH_iz(i)*1000); % abs. rychlost [m/s]
c_lax = c_1 * sind(alfa_1); % ax. slozka abs. rychlosti [m/s]
c_lu = c_1 * cosd(alfa_1); % ob. slozka abs. rychlosti [m/s]
w_lax = c_lax; % ax. slozka relat. rychlosti [m/s]
w_lu = c_lu - u; % ob slozka relat. rychlosti [m/s]
w_1 = sqrt(w_lu^2 + w_lax^2); % relat. rychlost [m/s]
beta_1 = asind(w_lax / w_1); % uhel relat. rychlosti
psi = -1.0714E-5*(beta_1+beta_2)^2 + 0.002964*(beta_1+beta_2)+0.7507;
% rychlostni ztratovy soucinitel OL [-]
w_2 = psi * sqrt(w_1^2 + 2 * R_s * HH_iz(i)*1000); % relat. rychlost
w_2ax = w_2 * sind(beta_2); % ax. sl. relat. rych [m/s]
w_2u = w_2 * cosd(beta_2); % ob. sl. relat. rych [m/s]
c_2ax = w_2ax; % ax. sl. abs. rychl [m/s]
c_2u = w_2u - u; % ob. sl. sbs. rychl. [m/s]
c_2 = sqrt(c_2u^2 + c_2ax^2); % abs. rychlost [m/s]
alfa_2 = acosd(c_2u/c_2); % uhel abs. rychlosti

TROJ(1,i) = D_s;
TROJ(2,i) = D_p;
TROJ(3,i) = u;
TROJ(4,i) = c_1;
TROJ(5,i) = c_lax;
TROJ(6,i) = c_lu;
TROJ(7,i) = w_1;
TROJ(8,i) = w_lax;
TROJ(9,i) = w_lu;
TROJ(10,i) = alfa_1;
TROJ(11,i) = beta_1;
TROJ(12,i) = c_2;
TROJ(13,i) = c_2ax;
TROJ(14,i) = c_2u;
TROJ(15,i) = w_2;
TROJ(16,i) = w_2ax;
TROJ(17,i) = w_2u;
TROJ(18,i) = alfa_2;
TROJ(19,i) = beta_2;

end
end

function [NamahaniRK] = NamRozKol (z, D, d, h, W_min, RESULT, alfa, a_2, stupen, aa)
for i = 2:stupen
% Vstup
% D % Vnejsi prumer kola [mm]
% d % prumer otvoru na kolu [mm]
% h % ekvivalentni sirka kola [mm]
% Wmin % min. prurezovy modul v ohybu [mm3]
% delta_p % pretlak [MPa]
% a_2 % vyska hlavy [mm]
% stupen
% z % pocet lopatek
% alfa % uhel odklonu sily F_1 od rovinz W_min
% aa % pokud je 1 je parcialni odstrik, snizi se plocha na reg. stupni
% vypis hodnotnot z matice
% aa = indikace zda jde o ST dil 1 = ano, 0 = ne
L = RESULT(26,i); % delka lopatky [mm]
Tep = RESULT(2,i); % teplota pred RK [C]
delta_p = (RESULT(3,i) - RESULT(7,i))/10; % Pretlak [MPa]
D_p = RESULT(15,i) - L; % patni prumer [mm]

R_pod = D(i)/2; % polomer podepreni [mm]
r = d(i)/2; % polomer otvoru [mm]

pomer = r / R_pod; % pomer pro urceni soucinitele fi a mi [-]

% Aproximace hodnot -----
Rr = [0.2 0.4 0.6]; % pomer pro koeficientz Fi a Mi pro aproximaci [-]
FiFi = [2.6 1.9 1.3]; % hodnity Fi pro aproximaci [-]
MiMi = [1.5 1.2 0.7]; % hodnoty Mi pro aproximaci [-]
T = [100 300 600]; % hodnoty teploty pro aproximaci E [C]
EE = [2.17 2 1.7]; % hodnoty teploty pro aproximaci [*10^5 MPa]
TT = [20 100 300 400 500]; % hodnoty teploty pro aproximaci Sigma
Sig15128 = [181 172 147 132 84]; % hodnoty dov. napeti pro disk RK
Sig15335 = [314 289 267 251 172]; % hodnoty dov. napeti pro RL
Sig17021 = [220 204 180 172 150]; % hodnoty dov napeti pro RL ST 8-12

p_sigma = polyfit(Rr, FiFi, 2); % aproximovany polynom
p_ppsilon = polyfit(Rr, MiMi, 2); % aproximovany polynom
p_E = polyfit(T, EE, 2); % aproximovany polynom
p_Sig15128 = polyfit(TT, Sig15128, 2); % aproximovany polynom
p_Sig15335 = polyfit(TT, Sig15335, 2); % aproximovany polynom
p_Sig17021 = polyfit(TT, Sig17021, 2); % aproximovany polynom

```



```
% Zjistene hodnoty z oproximace
Fi = p_sigma(1,1)*pomer^2+p_sigma(1,2)*pomer+p_sigma(1,3); % [-]
Mi = p_ypsilon(1,1)*pomer^2+p_ypsilon(1,2)*pomer+p_ypsilon(1,3); % [-]
E = (p_E(1,1)*Tep^2+p_E(1,2)*Tep+p_E(1,3))*10^5; % [MPa]
Sigma15128 = p_Sig15128(1,1)*Tep^2+p_Sig15128(1,2)*Tep+p_Sig15128(1,3); % [Mpa]
Sigma15335 = p_Sig15335(1,1)*Tep^2+p_Sig15335(1,2)*Tep+p_Sig15335(1,3); % [Mpa]
Sigma17021 = p_Sig17021(1,1)*Tep^2+p_Sig17021(1,2)*Tep+p_Sig17021(1,3); % [Mpa]

% Vysledky sigma_max a y_max -----
% maximalni napeti v rozvadecim kole
sigma_max = (Fi * delta_p * R_pod^2 / h(i)^2); % [MPa]

% kontrola napeti v RK
if sigma_max > Sigma15128
    ok_1 = 0; % neni ok
else
    ok_1 = 1; % je ok
end
% maximalni pruhyb v rozvadecim kole
y_max = Mi * delta_p * R_pod^4 / (h(i)^3 * E); % [mm]

% kontrola zdali je pruhyb v norme
if y_max > 0.002 * R_pod
    ok_2 = 0; % neni ok
else
    ok_2 = 1; % je ok
end
% Vypocet sigma_0 -----
% ohybove napeti na royvadeci lopatky
f = (D(i) - D_p) / 2; % rameno pusobeni sily [mm]
F = 3.1415/4*((D(i)/1000)^2-(d(i)/1000)^2)*delta_p*1000000;
% sila na vsechny lopatky od predtlaku [N]
F_1 = F / z(i); % sila od pretlaku na jednu lopatku [N]
M_1 = F_1 * f * cosd(alfa); % ohybovy moment [N*mm]
sigma_0 = M_1/(W_min(i)); % Ohybove namahani [MPa]

if aa == 1 && i >= 8 % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
    Sigma_dov = Sigma17021;
else Sigma_dov = Sigma15335;
end

if sigma_0 > Sigma_dov
    ok_3 = 0; % neni ok
else
    ok_3 = 1; % je ok
end
% Zapsanivysledku do matice -----
NamahaniRK(1,i) = i - 1;
NamahaniRK(2,i) = D(i);
NamahaniRK(3,i) = d(i);
NamahaniRK(4,i) = h(i);
NamahaniRK(5,i) = a_2;
NamahaniRK(6,i) = L;
NamahaniRK(7,i) = delta_p;
NamahaniRK(8,i) = W_min(i);
NamahaniRK(9,i) = alfa;
NamahaniRK(10,i) = z(i);
NamahaniRK(11,i) = pomer;
NamahaniRK(12,i) = Tep;
NamahaniRK(13,i) = Fi;
NamahaniRK(14,i) = Mi;
NamahaniRK(15,i) = f;
NamahaniRK(16,i) = F/100000;
NamahaniRK(17,i) = M_1/100000;
NamahaniRK(18,i) = sigma_max;
NamahaniRK(19,i) = Sigma15128;
NamahaniRK(20,i) = ok_1;
NamahaniRK(21,i) = y_max;
NamahaniRK(22,i) = 0.002 * R_pod;
NamahaniRK(23,i) = ok_2;
NamahaniRK(24,i) = sigma_0;
NamahaniRK(25,i) = Sigma_dov;
NamahaniRK(26,i) = ok_3;
end
end

function [ NamahaniOLV, NamahaniOLO, NamahaniZaves, DD_1, DD_2 ] = NamObLop( zaves, stupen, RESULT, TROJ,
Z,...
theta, W_min, S_pM, S_hM, BB, bb, aa, bbbb, cc, xx, yy, log)
% funkce na vypocet namahani OL

% NamahaniOLV - namahani OL od vykonu
% NamahaniOLO - namahani OL od odst. sily

% zaves - udava jakou nozku ma lopatka 1 = T nozka, 0 = vidlickova
```

```
% stupen - pocet stupnu [-]
% RESULT - matice s vysledky z vylozeni prutocne casti
% TROJ - matice s vysledky rychl. trojuhelniku, potrebuji rychlosti
% Z - pocet OL [-]
% theta - uhel odklonu F a F_carka
% W_min - minimalni poruzevovy modul v ohybu [m3]
% S_p - plocha patniho prurezu [m2]
% S_h - plocha hlavoveho prureyu [m2]
% BB - ekvivalentni sirka bandaze [m]
% bb - ekvivalentni tloustka bandaze [m]
% aa - rozmer nozky [m]
% bbbb - rozmetry nozky [m]
% cc - rozmer nozky [m]
% xx - rozmetry nozky [m]
% yy - rozmer nozky [m]
% log - 1 = jde od ST dil, 0 = jde o VT dil
zmena = 8; % udava na jakem stupni dojde ke ymene materialu OL

% Aproximace -----
T = [20 100 200 300 350 400 500]; % teplota pro aproximaci dov. napeti [C]
TT = [20 100 200]; % teplota pro aproximaci dov. napeti [C]
SigPAK2MV7 = [230 221 211 201 191 181 142]; % hodnoty dov. napeti pro aproximaci [MPa]
MatKolik = [157 150 144 125 115 105 63]; % naterial koliku
SigPAK1TD = [275 260 245]; % material lopatek nekterzch

p_SigPAK2MV7 = polyfit(T, SigPAK2MV7, 2);% aproximovany polynom
p_MatKolik = polyfit(T, MatKolik, 2);% aproximovany polynom
p_SigPAK1TD = polyfit(TT, SigPAK1TD, 2);% aproximovany polynom

for i = 1:stupen

S_p = S_pM(i); % plocha patniho prurezu [m2]
S_h = S_hM(i); % plocha spickoveho prurezu [m2]

% Namahani od prenaseneho vykonu =====
m = RESULT(1,i); % nacteni hm. prutoku [kg/s]
c_1u = TROJ(6,i); % nacteni [m/s]
c_2u = TROJ(14,i); % nacteni [m/s]
z = Z(i); % nacteni poctu OL[-]
eps = RESULT(25,i); % nacteni parcielnosti [-]
c_1ax = TROJ(5,i); % nacteni [m/s]
c_2ax = TROJ(13,i); % nacteni [m/s]
delta_p = 0; % tlakovy rozdil na OL [Pa]
L = RESULT(26,i) / 1000; % delka OL (uvedena jako RL - OL budou o nieco delsi) [m]
t = 3.1415 * RESULT(15,i)/1000 / z; % roztec na D_s [m]
Tep = RESULT(6,i); % teplota pro urceni dovoleneho namahani

F_u = m * (c_1u - c_2u)/(z * eps); % sila v obvodovem smeru [N]
F_ax = m * (c_1ax - c_2ax)/(z * eps) + delta_p * L * t; % ax. sila [N]
F = sqrt(F_u^2 + F_ax^2); % vysledna sila [N]
F_carka = F * cosd(theta); % vysledna sila pusobivi na W_min [N]
M_max = F_carka * L / 2; % max. ohyb moment [N*m]
sigma_o = M_max / W_min(i) / 10E5; % ohzbove namahani [MPa]

% pevnostni podminka
if eps == 1
sigma_dov = 20;
else
sigma_dov = 16;
end

if i == 10
if log == 1
sigma_dov = 16;
end
end

if sigma_o <= sigma_dov
ok_1 = 1;
else ok_1 = 0;
end

NamahaniOLV(1,i) = m;
NamahaniOLV(2,i) = c_1u;
NamahaniOLV(3,i) = c_2u;
NamahaniOLV(4,i) = c_1ax;
NamahaniOLV(5,i) = c_2ax;
NamahaniOLV(6,i) = z;
NamahaniOLV(7,i) = eps;
NamahaniOLV(8,i) = delta_p / 10E5;
NamahaniOLV(9,i) = L;
NamahaniOLV(10,i) = t;
NamahaniOLV(11,i) = F_u;
NamahaniOLV(12,i) = F_ax;
NamahaniOLV(13,i) = F;
NamahaniOLV(14,i) = F_carka;
NamahaniOLV(15,i) = M_max;
```

```

NamahaniOLV(16,i) = W_min(i);
NamahaniOLV(17,i) = sigma_o;
NamahaniOLV(18,i) = sigma_dov;
NamahaniOLV(19,i) = ok_1;

% Namhani odstredivou silou =====

rho = 7850; % hustota ocele [kg/m3]
n_vypoc = 3000 * 1.1; % vypoctove otacky [min-1]
D_s = RESULT(15,i) / 1000; % stredni prumer lopatky [m]
D_b = (D_s + 2 * L); % stredni prumer bandaze [m]
omega = (3.1415 * n_vypoc / 30); % uhlova ruclost
B = BB(i); % ekvivalentni delka bandaze [m]
bbb = bb(i); % ekvivaleni sirka bandaze [m]

O_L = rho * S_p * L * D_s / 2 * omega^2;
% odstrediva sila listu lopatky [N]
O_b = rho * 3.1415 * D_b * B * bbb * D_b / 2 * omega^2 / z;
% odstrediva sila bandaze [N]
O = O_L + O_b; % celkova odstrediva sila [N]
k_od = sqrt(S_p / S_h); % soucinitel odlehcení [-]
sigma_t = O / (k_od * S_p) / 10E5; % tahove napeti [MPa]

SigmaPAK2MV7 = p_SigPAK2MV7(1,1)*Tep^2+p_SigPAK2MV7(1,2)*Tep+p_SigPAK2MV7(1,3);% [Mpa]
SigmaPAK1TD = p_SigPAK1TD(1,1)*Tep^2+p_SigPAK1TD(1,2)*Tep+p_SigPAK1TD(1,3);% [Mpa]

% Sjednoceni napeti -----
sigma = 2 * sigma_o + sigma_t; % sjednocene napeti [MPa]

if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
    sigma_dov = SigmaPAK1TD;
else
    sigma_dov = SigmaPAK2MV7;
end

if sigma <= sigma_dov % podminka
    ok_2 = 1;
else ok_2 = 0;
end

NamahaniOLO(1,i) = n_vypoc;
NamahaniOLO(2,i) = rho;
NamahaniOLO(3,i) = D_s;
NamahaniOLO(4,i) = D_b;
NamahaniOLO(5,i) = S_p*10000;
NamahaniOLO(6,i) = S_h*10000;
NamahaniOLO(7,i) = k_od;
NamahaniOLO(8,i) = O_L;
NamahaniOLO(9,i) = O_b;
NamahaniOLO(10,i) = O;
NamahaniOLO(11,i) = sigma_t;
NamahaniOLO(12,i) = sigma;
NamahaniOLO(13,i) = sigma_dov;
NamahaniOLO(14,i) = ok_2;

% Vypocet zavesu =====
% T nozka -----

if zaves(i) == 1 % jedna se o T nozku

    % definice velicin T nozka
    x = xx(i); % rozmer na nozce [m]
    y = yy(i); % rozmer na nozce [m]
    D_1 = D_s - L - 2 * x; % stredni prumer zavesu [m]
    D_2 = D_1 - 2 * y; % dalsi prumer zavesu [m]
    a = aa(i); % sirka nehuysiho mista zavesu [m] -
    b = bbbb(i); % sirka nozky podlehajici smyku [m]
    c = cc(i); % rozmer na nozce [m]

    DD_1(i) = D_1;
    DD_2(i) = D_2;

    % Tahove namahani -----
    t_11 = 3.1415 * D_1 / z; % roztec na zavesu [m]
    A_11 = a * t_11; % plocha nejuysiho mista prurezu [m2]
    O_z = A_11 * ((D_s - L) - D_1) / 2 * rho * omega^2 * D_1 / 2;
    % odst. sila zavesu nad rovinou 1-1 [N]
    O_11 = O_L + O_b + O_z; % odstr. sila [N]
    sigma_11 = O_11 / A_11 / 10E5; % tahove napeti [MPa]
    % sigma_11dov = SigmaPAK2MV7; % dovolene tahove napeti [MPa]

    if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
        sigma_11dov = SigmaPAK1TD;
    else
        sigma_11dov = SigmaPAK2MV7;
    end
end

```

```

if sigma_11 <= sigma_11dov % podminka
    ok_3 = 1;
else ok_3 = 0;
end

% Smykove napeti -----
t_12 = 3.1415 * D_2 / z; % roztec zavesu na prumeru D_2
A_12 = b * t_12; % plocha podlehajici smyku
O_zcarka = a * t_12 * b * rho * omega^2 * D_2 / 2;
% odst. sila zavesu 1-1-2-2 [N]
tau_12 = (O_11 + O_zcarka) / (2 * A_12) / 10E5; % smykove napeti [MPa]
% tau_12dov = SigmaPAK2MV7 * 0.6; % dovolene smzkove napeti [MPa]

if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
    tau_12dov = SigmaPAK1TD * 0.6;
else
    tau_12dov = SigmaPAK2MV7 * 0.6;
end

if tau_12 <= tau_12dov % podminka
    ok_4 = 1;
else ok_4 = 0;
end

% Namahani na otlaceni -----
O_dopl = b * (a + c) * t_12 * rho * omega^2 * D_2 / 2;
% odstrediva sila zavesu podl rovinou 3-3
p_13 = (O_11 + O_dopl) / (c * t_11) / 10E5;
% tlak v otlaceni [MPa]
p_13dov = sigma_11dov * 1.5; % dovolena otlaceni [MPa]

if p_13 <= p_13dov % podminka na otlaceni
    ok_5 = 1; % vyhovuje
else ok_5 = 0; % nevyhovuje
end

% Vidlickova nozka -----
else % jedna se o vidlickovou nozku
    n_k = 1; % pocet koliku na jednom polomeru

    % definive velicin pro vidlickovou nozku
    b = aa(i); % sirka vidlicky [m]
    D_1 = D_s - L - 0.04; % prumer kde je prvni koli [m]
    d = bbb(i); % prumer koliku [m]

    if log == 1 % pdominka, na ST dil - tam bude vidlickova nozka s 3 vidlicemi
        n_v = 3; % pocet rozvidleni [-]
    else n_v = 2;
    end

    % Tahove namahani -----
    t_11 = 3.1415 * D_1 / z; % roztec na prumeru D_1
    A_11 = b * (t_11 - d*n_k) * n_v; % plocha podlehajici tahu
    O_c = O_L + O_b; % celkova odstrediva sila lopatky [N]
    sigma_11 = O_c / A_11 / 10E5; % tahove napeti [MPa]
    % sigma_11dov = SigmaPAK2MV7; % dovolena napeti [MPa]

    if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
        sigma_11dov = SigmaPAK1TD;
    else
        sigma_11dov = SigmaPAK2MV7;
    end

    if sigma_11 <= sigma_11dov % podminka
        ok_3 = 1;
    else ok_3 = 0;
    end

    % Smykove namahani -----
    tau_12 = O_c * 1.1 / ((3.1415 * d^2) / 4 * 2 * n_v * n_k) / 10E5;
    % smykove napeti [MPa], cislo 1.1 vyjadruje navysemi odstredive sily
    % o hmotnost nozky %

    SigmaKolik = p_MatKolik(1,1)*Tep^2+p_MatKolik(1,2)*Tep+p_MatKolik(1,3);% [Mpa]

    tau_12dov = SigmaKolik + 9.5; % dovolene smzkove napeti [MPa]

    if tau_12 <= tau_12dov % podminka
        ok_4 = 1;
    else ok_4 = 0;
    end

    % Namahani na otlaceni -----
    p_13 = O_c * 1.1 / (b * d * n_v * n_k * 2) / 10E5; % tlak v otlaceni [MPa]
    % cislo 1.1 vyjadruje navysemi odstredive sily o hmotnost nozky % * 2

```

```
% - nese i spodni kolik
    p_13dov = SigmaKolik * 1.5; % dovolena otlaceni [MPa]

if p_13 <= p_13dov % podminka na otlaceni
    ok_5 = 1; % vyhovuje
else ok_5 = 0; % nevyhovuje
end
end

NamahaniZaves(1,i) = zaves(i);
NamahaniZaves(2,i) = sigma_11;
NamahaniZaves(3,i) = sigma_11dov;
NamahaniZaves(4,i) = ok_3;
NamahaniZaves(5,i) = tau_12;
NamahaniZaves(6,i) = tau_12dov;
NamahaniZaves(7,i) = ok_4;
NamahaniZaves(8,i) = p_13;
NamahaniZaves(9,i) = p_13dov;
NamahaniZaves(10,i) = ok_5;
end
end
```

Příloha č. 3

**Program pro zjištění rozložení tlaku v původním řešení turbíny,
pro zjištění nového rozložení tlaků a pro pevnostní kontrolu**

```

clear all
close all
clc

tic

% Zadane hodnoty =====
% hodnoty jsou prevzate ze zadanych HBD -----
n = 3000; % otacky [/s]

m_1 = 95.194; % admisno prutok pary [kg/s]
m_2 = 86.1; % prutok pary ST 1/4 stupen [kg/s]
m_3 = 81.97; % prutok pary ST 5 -7 [kg/s]
m_4 = 79.7867; % prutok pary ST 8-9 [kg/s]
m_5 = 77.7796; % prutok pary ST 10-12 [kg/s]

p_1 = 127.5; % [bar] - viz zalaminovane schema
p_2 = 33.9; % [bar]
p_3 = 30.51; % [bar]
p_4 = 2.553; % [bar]

t_1 = 535; % [C]
t_2 = 354.38; % [C]
t_3 = 535; % [C]
t_4 = 221.11; % [C]

h_1 = XSteam('h_pt',p_1,t_1); % [kJ/kg]
h_2 = XSteam('h_pt',p_2,t_2); % [kJ/kg]
h_3 = XSteam('h_pt',p_3,t_3); % [kJ/kg]
h_4 = XSteam('h_pt',p_4,t_4); % [kJ/kg]

s_1 = XSteam('s_pt',p_1,t_1); % [kJ/kg/K]
s_2 = XSteam('s_pt',p_2,t_2); % [kJ/kg/K]
s_3 = XSteam('s_pt',p_3,t_3); % [kJ/kg/K]
s_4 = XSteam('s_pt',p_4,t_4); % [kJ/kg/K]

%=====
% Navrh prutocne casti =====

%-----
% Zakladni parametry prutocneho kanalu VT dilu -----

% Zvolene parametry -----
uc_0 = [0.42 0.49 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45]; % pro rovnotlaky stupen [-]
fi = 0.95; % rychlostni soucinitel [-] volen mezi 0.93 - 0.98
epsilon_r = 0.9; % soucinitel zaplneni vystupniho prurezu koneckou
% tloustkou rozvadecich lopatek
% D_s = 900; % stredni prumer stupne [mm]
ALFA_1VT = [13.766 13.232 13.262 13.262 13.309 13.344 14.14 14.211 14.56 ...
14.99 13 13];
D_sVT = [899.5 776 778 780 782.5 785.5 787 790.5 793.5 797.5];
% vektor s vystupnimi uhly rozvadecich lopatek [stupne]

% Aby se nepletlo znaceni v tepelnem cyklu se znacim v prutocne casti,
% budou veliciny tykajici se prutocne casti oznaceny dvojite
% Prirknuti velicin z tepelného cyklu k velicinam v prutocne casti -----
ss_2 = s_1; % pripisuji to ay k hodnotam na vystupu, ale v cyklu je prirknu
hh_2 = h_1;
pp_2 = p_1;
tt_2 = t_1;
stupen = 1; % pro oznaceni stupnu a zapis hodnot do matice
% LL_VT = [22 23 25 27 29.5 32.5 34 37.5 40.5 44.5];

% vypocet parametru pary a parametru stupne
[stupen, RESULT, HHiz] = VylozeniPrutCastil( uc_0, fi, epsilon_r, ...
D_sVT, ALFA_1VT, ss_2, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, hh_2, pp_2, p_2, tt_2, stupen, n, 1);

RESULT_VT = RESULT; % ulozeni vysledku z VT casti
HH_izVT = HHiz; % ulozeni vysledku z VT casti
clear HHiz

stupen = stupen - 1; % snizeni hodnoty stupen, aby sedela s konecnym
% poctem stupnu, pac na konci cyklu vzdz prictu jednicku, v poslednim
% kole se procte o jednu vic nez by melo, proto odecitam 1
disp('Pocet stupnu je:')
disp(stupen)

if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z vykládání pŕutočné části, nesedí velikost matice')
end
% -----
% Vykreslení vypocitanych hodnot -----
% -----
% Vykreslení tabulky -----
figure
Nazev = {'Hmotnostní prŕtok';'Teplota pŕed RK';'Tlak pŕed RK';...
'Entalpie pŕed RK';'Entropie pŕed RK';'Teplota za RK';'Tlak za RK';...

```

```

'Entalpie za RK'; 'Měrný objem za RK'; 'Teplota za OL'; 'Tlak za OL'; 'Entalpie za OL'; 'Entropie za OL'; ...
'Měrný objem za OL'; 'Střední průměr'; 'u/c_0'; 'fi'; 'alfa_1'; ...
'epsilon_r'; 'Fiktivní rychlost'; 'Obvodová rychlost'; 'Délka lopatky tot. odstř.'; ...
'Délka lopatky opt.'; 'Délka lopatky red.'; 'Parcielnost'; ...
'Délka lopatky'; 'Válcové lopatky'; 'Účinnost nekon. lopatky'; ...
'Ztráta konečné lopatky'; 'Ztráta parcielností'; 'Ztráta ventilací'; ...
'Ztráta rozvějířením'; 'Ztráta třením disku'; 'Ztráta vlivem suchosti';
'Účinnost stupně'; 'Entalpický spád stupně'; 'Vnitřní výkon stupně';
Zkratka = ['m' 't_0' 'p_0' 'h_0' 's_0' 'v_0' 'D_s' 'u/c_0' 'fi' 'alfa_1' 'epsilon_r' 'c_f' 'u' 'l_T' 'l_opt' 'l_red' 'EPS' 'L' 'eta_inf' 'Z_L' 'Z_PO' 'Z_V' 'Z_ROZV' 'Z_TD' 'Z_x' 'eta_td' 'H' 'P_st'];
]; % 9 míst v prvku
Jednotky = ['kg/s' '°C' 'bar' 'kJ/kg' 'kJ/kg/K' '°C' 'bar' 'kJ/kg' 'kJ/kg/K' 'm3/kg' 'mm' 'm/s' 'logic' 'kJ/kg' 'kW']; % 7 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, RESULT(:,1), RESULT(:,2), RESULT(:,3), RESULT(:,4), ...
RESULT(:,5), RESULT(:,6), RESULT(:,7), RESULT(:,8), RESULT(:,9), RESULT(:,10), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
xlswrite('Vypis_tabulek.xlsx', RESULT, 'sheet1', 'C2')
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykreslení grafu vyložení prutocne casti -----
figure
RESULT_VT_trans = RESULT';
T = [RESULT_VT_trans(:,15)/2 - RESULT_VT_trans(:,26)/2, RESULT_VT_trans(:,26)];
bar(T, 'stacked')
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Celkový počet stupňů [-] (1 = regulační stupeň)')

% Celkový výkon VT a entalpický spád -----
P_VT = 0; % [kW] součet všech výkonů ve VT
for i = 1:stupen
P_VT = RESULT(37,i) + P_VT;
end

H_VT_skut = 0; % [kJ/kg] součet všech spádů ve VT
for i = 1:stupen
H_VT_skut = RESULT(36,i) + H_VT_skut;
end

clear RESULT T stupen Nazev Zkratka Jednotky

%-----
%-----
% Zakladni parametry prutocneho kanalu ST dilu -----
% Zvolene parametry -----
uc_0 = [0.52 0.52 0.52 0.52 0.51 0.51 0.5 0.51 0.51 0.51 0.51]; % pro rovnoblaky stupen [-]
fi = 0.95; % rychlostni soucinitel [-] volen mezi 0.93 - 0.98
epsilon_r = 0.9; % soucinitel zaplneni vystupniho prurezu koneckou
% tloustkou rozvadecich lopatek
% D_s = 975; % stredni prumer stupne [mm]
ALFA_1ST = [14.129 14.105 14.14 14.14 13.421 13.521 13.533 14.223 ...
15.711 15.952 16.176 16.85];
% vektor s vystupnimi uhly z rozvadecich lopatek [stupne]
D_sST = [960.5 965.5 972.5 980 1164 1175 1188.5 1205.5 1212 1232 1248 1279];

% Aby se nepletlo znaceni v tepelnem cyklu se znacim v prutocne casti,
% budou veliciny tykajici se protocne casti oznaceny dvojite
% Prirknuti velicin z tepelného cyklu k velicinám v prutocne casti -----
ss_2 = s_3; % pripisuji to ay k hodnotam na vystupu, ale v cyklu je prirknu
hh_2 = h_3;
pp_2 = p_3;
tt_2 = t_3;
stupen = 1; % pro oznaceni stupnu a zapis hodnot do matice

% vypocet parametru pary a parametru stupne
[stupen, RESULT, HHiz] = VylozeniPrutCastil(uc_0, fi, epsilon_r, ...
D_sST, ALFA_1ST, ss_2, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, hh_2, pp_2, p_4, tt_2, stupen, n, 0);

```



```

RESULT_ST = RESULT; % uložení výsledku z ST do matice
HH_izST = HHiz; % uložení výsledku z ST do matice
clear RESULT HHiz

stupen = stupen - 1; % snížení hodnoty stupen, aby seděla s konečným
% počtem stupňů, pac na konci cyklu vzdz prictu jednicku, v posledním
% kole se procte o jednu víc nez by melo, proto odecitam 1
disp('Počet stupňů je:')
disp(stupen)

if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z vykládání půtočné části, nesedí velikost matice')
end
% -----
% Vykreslení vypracovaných hodnot -----
% Vykreslení tabulky -----
figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok'; 'Teplota před RK'; 'Tlak před RK'; ...
    'Entalpie před RK'; 'Entropie před RK'; 'Teplota za RK'; 'Tlak za RK'; ...
    'Entalpie za RK'; 'Měrný objem za RK'; 'Teplota za OL'; 'Tlak za OL'; 'Entalpie za OL'; 'Entropie za OL'; ...
    'Měrný objem za OL'; 'Střední průměr'; 'u/c_0'; 'fi'; 'alfa_1'; ...
    'epsilon_r'; 'Fiktivní rychlost'; 'Obvodová rychlost'; 'Délka lopatky tot. odstř.'; ...
    'Opt. délka lopatky'; 'Reduk. délka lopatky'; 'Parcielnost'; ...
    'Délka lopatky'; 'Válcové lopatky'; 'Účinnost nekon. lopatky'; ...
    'Ztráta konečné lopatky'; 'Ztráta parcielnosti'; 'Ztráta ventilací'; ...
    'Ztráta rozvějířením'; 'Ztráta třením disku'; 'Ztráta vlivem suchosti';
    'Účinnost stupně'; 'Entalpický spád stupně'; 'Vnitřní výkon stupně'};
Zkratka = ['m' 't_0' 'p_0' 'h_0' 'v_0' 'D_s' 'u/c_0' 'fi' 'alfa_1' 'epsilon_r' 'c_f' 'u' 'l_T' 'l_opt' 'l_red' 'EPS' 'L' 'eta_inf' 'Z_L' 'Z_PO' 'Z_V' 'Z_ROZV' 'Z_TD' 'Z_x' 'eta_td' 'H' 'P_st'];
    ] ; % 9 míst v prvku
Jednotky = ['kg/s' '°C' 'bar' 'kJ/kg' 'kJ/kg/K' '°C' 'bar' 'kJ/kg' 'kJ/kg/K' ...
    'm3/kg' 'mm' 'm/s' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' ...
    'logic' 'kJ/kg' 'kW']; % 7 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, RESULT_ST(:,1), RESULT_ST(:,2), RESULT_ST(:,3), RESULT_ST(:,4), ...
    RESULT_ST(:,5), RESULT_ST(:,6), RESULT_ST(:,7), RESULT_ST(:,8), RESULT_ST(:,9), RESULT_ST(:,10), ...
    RESULT_ST(:,11), RESULT_ST(:,12), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupňů
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykreslení grafu vyložení průtočné části -----
figure
RESULT_ST_trans = RESULT_ST';
T = [RESULT_ST_trans(:,15)/2 - RESULT_ST_trans(:,26)/2, RESULT_ST_trans(:,26)];
bar(T, 'stacked')
grid on
ylabel('Poloměr [mm]')
xlabel('Celkový počet stupňů [-]')

% Celkový výkon ST -----
P_ST = 0; % [kW] součet všech výkonů ve VT
for i = 1:stupen
    P_ST = RESULT_ST(37,i) + P_ST; % [kW]
end

H_ST_skut = 0; % [kJ/kg] součet všech spádů ve VT
for i = 1:stupen
    H_ST_skut = RESULT_ST(36,i) + H_ST_skut;
end

clear RESULT T stupen
% -----
% Hodnoty k iteraci -----

% Celkový výkon -----
P_VTST = (P_VT + P_ST) / 1000; % Celkový vnitřní výkon [MW]

% Celkový entalpický spád skutečný v VT a ST -----
H_VT_skut; % [kJ/kg]
H_ST_skut; % [kJ/kg]

```

```

% Tabulka pro porovnani rozdilu delek v lopatkach -----
% puvodni delka x spocetene delky
figure
DelkaLopVT_old = xlsread('StareRozmery.xlsx','D5:D14');
% delka starych lopatek [mm]
DelkaLopST_old = xlsread('StareRozmery.xlsx','D19:D30');
% delka starych lopatek [mm]
DelkaLop_old = [DelkaLopVT_old; DelkaLopST_old]; % sloucení do 1 vektoru [mm]
DelkaLop_new = [RESULT_VT(26,:); RESULT_ST(26,:)]; % delky novych lopatek [mm]

Rozdil_mm = DelkaLop_new - DelkaLop_old; % rozdíl delek [mm]

Stup = {'VT A'; 'VT 1'; 'VT 2'; 'VT 3'; 'VT 4'; 'VT 5'; 'VT 6'; 'VT 7'; 'VT 8'; ...
        'VT 9'; 'ST 1'; 'ST 2'; 'ST 3'; 'ST 4'; 'ST 5'; ...
        'ST 6'; 'ST 7'; 'ST 8'; 'ST 9'; 'ST 10'; 'ST 11'; 'ST 12'};
T = table(DelkaLop_old, DelkaLop_new, Rozdil_mm, 'RowNames', Stup);
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
            FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Uzel Tlak Entalpie Entropie Prutok Jednotky T

%=====
% Prepocet taku a hm. prutoku za zmenenych podminek =====
% je zmenen vystupni tlak a hmotnostni prutok -----
TEPLOTA_VT = [t_1, RESULT_VT(10,:)]; % [C]
TEPLOTA_ST = [RESULT_ST(2,1), RESULT_ST(10,:)]; % [C]
TEPLOTA = [TEPLOTA_VT, TEPLOTA_ST]; % [C]

HH_iz = [HH_izVT, HH_izST]; % [kJ/kg]

TLAK_VT = [p_1, RESULT_VT(11,:)]; % [bar]
TLAK_ST = [RESULT_ST(3,1), RESULT_ST(11,:)]; % [bar]
TLAK = [TLAK_VT, TLAK_ST]; % [bar]

PRUTOK_VT = [ RESULT_VT(1,:)]; % [kg/s]
PRUTOK_ST = RESULT_ST(1,:); % [kg/s]
PRUTOK = [PRUTOK_VT, PRUTOK_ST]; % [kg/s]
PRUTOK_new_VT = [94.222 94.222 94.222 94.222 94.222 94.222 94.222 94.222 ...
                94.222 94.222];
PRUTOK_new_ST = [89.411 89.411 89.411 89.411 89.411 89.411 ...
                89.411 89.411 89.411 81.725 81.725 81.725];
protitlak = 0.841; % [bar]

TLAK_new_ST(13) = protitlak; % [bar]
vel = size(TLAK_ST); % velikost pro for czklus
tlak_za_stupnem = protitlak; % pro for cyklus [bar]

% cyklus pro ST
for i = 1:12

    t = vel(2) - i + 1; % pocitam od zadu
    pomer_prutok(13-i) = PRUTOK_new_ST(t-1) / PRUTOK_ST(t-1);
    rozdil_tlak_nom(13-i) = TLAK_ST(t-1)^2 - TLAK_ST(t)^2;
    tlak_pred_stupnem = sqrt(pomer_prutok(13-i) * rozdil_tlak_nom(13-i) + tlak_za_stupnem^2);

    TLAK_new_ST(13-i) = tlak_pred_stupnem;

    % zjistení izoentropického entalpickeho spadu
    hh_1 = XSteam('h_pt', tlak_pred_stupnem, TEPLOTA_ST(t-1));
    ss_1 = XSteam('s_pt', tlak_pred_stupnem, TEPLOTA_ST(t-1));
    hh_2iz = XSteam('h_ps', tlak_za_stupnem, ss_1);
    HH_iz_new_ST(13-i) = hh_1 - hh_2iz;

    tlak_za_stupnem = tlak_pred_stupnem; % protitlak pro dalsi stupen
end

% cyklus pro VT
TLAK_new_VT(11) = TLAK_new_ST(1) / 0.9; % [bar] navyseni o talk. ztratu
vel = size(TLAK_VT); % velikost pro for czklus
tlak_za_stupnem = TLAK_new_VT(11); % pro for cyklus [bar]
for i = 1:10

    t = vel(2) - i + 1; % pocitam od zadu
    pomer_prutok(11-i) = PRUTOK_new_VT(t-1) / PRUTOK_VT(t-1);
    rozdil_tlak_nom(11-i) = TLAK_VT(t-1)^2 - TLAK_VT(t)^2;
    tlak_pred_stupnem = sqrt(pomer_prutok(11-i) * rozdil_tlak_nom(11-i) + tlak_za_stupnem^2);

```

```

TLAK_new_VT(11-i) = tlak_pred_stupnem;

% zjistení izoentropického entalpickeho spadu
hh_1 = XSteam('h_pt', tlak_pred_stupnem, TEPLOTA_VT(t-1));
ss_1 = XSteam('s_pt', tlak_pred_stupnem, TEPLOTA_VT(t-1));
hh_2iz = XSteam('h_ps', tlak_za_stupnem, ss_1);
HH_iz_new_VT(11-i) = hh_1 - hh_2iz;

tlak_za_stupnem = tlak_pred_stupnem; % protitlak pro dalsi stupen
end

% Vykreslení průběhu tlaku ST -----
figure
X = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
plot(X, TLAK_ST, '-o')
hold on
plot(X, TLAK_new_ST, '-o')
grid on
title('Průběh tlaku v průtočné části ST dílu')
xlabel('Stupeň ST (0 = tlak páry na vstupu do ST)')
ylabel('Tlak [bar]')
legend('Původní stav', 'Nový stav')

% Vykreslení průběhu tlaku VT -----
figure
X = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
plot(X, TLAK_VT, '-o')
hold on
plot(X, TLAK_new_VT, '-o')
grid on
title('Průběh tlaku v průtočné části VT dílu')
xlabel('Stupeň VT (0 = tlak páry na vstupu do VT)')
ylabel('Tlak [bar]')
legend('Původní stav', 'Nový stav')

% Vykreslení hmotnostního toku pary v prutocce ST dil-----
figure
X = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
plot(X, PRUTOK_ST, '-o')
hold on
plot(X, PRUTOK_new_ST, '-o')
grid on
title('Průběh hmotnostního průtoku páry ST dílu')
xlabel('Stupeň')
ylabel('Hmonostní průtok [kg/s]')
legend('Původní stav', 'Nový stav')

% Vykreslení hmotnostního toku pary v prutocce VT dil-----
figure
X = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
plot(X, PRUTOK_VT, '-o')
hold on
plot(X, PRUTOK_new_VT, '-o')
grid on
title('Průběh hmotnostního průtoku páry VT dílu')
xlabel('Stupeň')
ylabel('Hmonostní průtok [kg/s]')
legend('Původní stav', 'Nový stav')
ylim([75 100])

% vykreslení grafu porovnání entalpických spadu ST dil -----
figure
T = [HH_izST', HH_iz_new_ST'];
bar(T)
grid on
title('Změna izentropického entalpického spádu ve ST dílu')
ylabel('Izentropický entalpický spád [kJ/kg]')
xlabel('Stupeň')
legend('Původní spády', 'Nové spády')
clear T

% vykreslení grafu porovnání entalpických spadu VT dil -----
figure
T = [HH_izVT', HH_iz_new_VT'];
bar(T)
grid on
title('Změna izentropického entalpického spádu ve VT dílu')
ylabel('Izentropický entalpický spád [kJ/kg]')
xlabel('Stupeň')
legend('Původní spády', 'Nové spády')
clear T

```

```

% Prepsani novych tlaku a prutoku do RESULTU - budou tam jen nove tlaky a
% prutoky, jinak ostatni veliciny jsou ze stareho - samo o sobe to nedava
% smysl, ale nic jineho nepouyivam pro dalsi vypocty a tudiz se tim nema
% smysl zaobirat
P_1_VT = TLAK_new_VT(1,1:10); % ubrani vystupniho talku
P_1_ST = TLAK_new_ST(1,1:12); % ubrani vystupniho talku
P_2_VT = TLAK_new_VT(1,2:11); % ubrani vstupniho talku
P_2_ST = TLAK_new_ST(1,2:13); % ubrani vstupniho talku

RESULT_VT(1,:) = PRUTOK_new_VT; % prepsani prutoku [kg/s]
RESULT_VT(3,:) = P_1_VT; % prepsani tlaku [bar]
RESULT_VT(7,:) = P_2_VT; % prepsani tlaku [bar]
RESULT_VT(11,:) = P_2_VT; % prepsani tlaku [bar]

RESULT_ST(1,:) = PRUTOK_new_ST; % prepsani prutoku [kg/s]
RESULT_ST(3,:) = P_1_ST; % prepsani tlaku [bar]
RESULT_ST(7,:) = P_2_ST; % prepsani tlaku [bar]
RESULT_ST(11,:) = P_2_ST; % prepsani tlaku [bar]

% =====
% PEVNOSTNI VYPOCET PROUTOCNE CASTI =====
% Vypocet VT =====
% Nacteni hodnot -----
velikost = size(RESULT_VT);
stupen = velikost(2);

% Nacteni hodnot z excelu
z = xlsread('StareRozmery.xlsx','E5:E14'); % pocet lopatek v RK
D = xlsread('StareRozmery.xlsx','H5:H14') - 20; % venejsi prumer
% -20 je korekce, pac cast RK je zasazena v telese
d = xlsread('StareRozmery.xlsx','I5:I14'); % prumer otvoru
h = xlsread('StareRozmery.xlsx','J5:J14'); % ekvival. prumer
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','O35:O44'); % min. prurez modul

[NamahaniRK] = NamRozKol(z, D, d, h, W_min, RESULT_VT, 36, 42.5, stupen, 0);

NamahaniRK_VT = NamahaniRK;
clear NamahaniRK

% Vykresleni tabulky -----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z pevnostního výpočtu VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Stupeň'; 'Vnější průměr RK'; 'Vnitřní průměr otvoru RK'; ...
    'Ekvivalentní tloušťka RK'; 'Výška hlavy RK'; 'Délka lopatky'; ...
    'Přetlak na RK'; 'Modul průřezu v ohybu'; ...
    'Alfa'; 'Počet lopatek'; 'Poměr r/R'; 'Provozní teplota'; 'Součinitel Fi'; 'Součinitel Mi'; ...
    'Ramenó síly'; 'Síla od na všechny RL'; 'Ohyb. moment na jednu RL'; ...
    'Maximální napětí'; 'Dovolené napětí'; 'Napětí je v mezích'; 'Maximální průhyb'; ...
    'Dovolený průhyb'; 'Průhyb je v mezích'; 'Maximální ohyb. napětí na RL'; ...
    'Dovolený ohyb. napětí'; 'Ohyb. napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n' 'D' 'd' 'h' 'a_2' 'L' 'delta_p' 'W_min' 'alfa' 'z' 'F' 'Mi' 'F' 'M_1' 'sigma_max' 'sigma_dov' 'y_max' 'y_dov' 'sigma_0' 'sigma_dov']; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['- ' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'MPa' 'mm3' '°' 'z' '-' '°C' '-' 'mm' 'N' 'N*mm' 'MPa' 'MPa' 'logic' 'mm' 'mm' 'mm' 'logic' 'MPa' 'MPa' 'logic']; % 7 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniRK_VT(:,1), NamahaniRK_VT(:,2), ...
    NamahaniRK_VT(:,3), NamahaniRK_VT(:,4), NamahaniRK_VT(:,5), ...
    NamahaniRK_VT(:,6), NamahaniRK_VT(:,7), NamahaniRK_VT(:,8), ...
    NamahaniRK_VT(:,9), NamahaniRK_VT(:,10), 'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky
clear z D d h W_min

% Vypocet ST =====
% Nacteni hodnot -----
velikost = size(RESULT_ST);
stupen = velikost(2);

```

```

% Nacteni hodnot z excelu
z = xlsread('StareRozmery.xlsx','E19:E30'); % pocet lopatek v RK
D = xlsread('StareRozmery.xlsx','H19:H30') - 20; % venejsi prumer
% -20 je korekce, pac cast RK je zasazena v telese
d = xlsread('StareRozmery.xlsx','I19:I30'); % prumer otvoru
h = xlsread('StareRozmery.xlsx','J19:J30'); % ekvival. prumer
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','O47:O58'); % min. prurez modul

[NamahaniRK] = NamRozKol (z, D, d, h, W_min, RESULT_ST, 36, 42.5, stupen, 1);

NamahaniRK_ST = NamahaniRK;
clear NamahaniRK

% Vykresleni tabulky -----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z pevnostního výpočtu ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Stupeň';'Vnější průměr RK';'Vnitřní průměr otvoru RK';...
'Ekvivalentní tloušťka RK';'Výška hlavy RK';'Délka lopatky';...
'Přetlak na RK';'Modul průřezu v ohybu';...
'Alfa';'Počet lopatek';'Poměr r/R';'Provozní teplota';'Součinitel Fi';'Součinitel Mi';...
'Rameno síly';'Síla od na všechny RL';'Ohyb. moment na jednu RL';...
'Maximální napětí';'Dovolené napětí';'Napětí je v mezích';'Maximální průhyb';...
'Dovolený průhyb';'Průhyb je v mezích';'Maximální ohyb. napětí na RL';...
'Dovolené ohyb. napětí';'Ohyb. napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n' 'D' 'd' 'h' 'a_2' 'L' 'p' 'W_min' 'alfa' 'z' 'M_1' 'sigma_max' 'sigma_dov' 'y_max' 'y_dov' 'sigma_0' 'sigma_dov']; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['- ' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'mm' 'MPa' 'mm3' '°' 'z' '°C' 'N' 'MPa' 'logic' 'mm' 'mm' 'logic' 'MPa' 'MPa' 'logic']; % 7 mist v prvku
T = table(Zkratka,Jednotky,NamahaniRK_ST(:,1),NamahaniRK_ST(:,2),...
NamahaniRK_ST(:,3),NamahaniRK_ST(:,4),NamahaniRK_ST(:,5),...
NamahaniRK_ST(:,6),NamahaniRK_ST(:,7),NamahaniRK_ST(:,8),...
NamahaniRK_ST(:,9),NamahaniRK_ST(:,10),...
NamahaniRK_ST(:,11),NamahaniRK_ST(:,12),'RowNames',Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmince na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,',','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky
clear z D d h W_min

% -----
% Vypocet rychlostnich trojuhelniku =====
% =====

% Rychlostni trojuhelniky VT =====
velikost = size(RESULT_VT);
stupen = velikost(2);
BETA_2VT = [23.226 23.954 23.991 24.035 24.054 24.073 24.086 23.991...
24.01 24.639]; % uhly navystupu z OL

[ TROJ ] = RychTroj( n, stupen, RESULT_VT, fi, HH_iz_new_VT, ALFA_1VT, BETA_2VT);
% fce na vypocet trojuhelniku

TROJ_VT = TROJ; % ulozenu vysledku
clear TROJ

% Vykresleni tabulky -----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu trojuhelniku VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Střední průměr';'Patní průměr';'Obvodová rychlost';...
'Abs. rychlost vstup OL';'Ax. sl. abs. rychl. vstup OL';...
'Ob. sl. abs. rychl. vstup OL';'Relativní rychlost vstup OL';...
'Ax. sl. rel. rychl. vstup OL';'Ob. sl. rel. rychl. vstup OL';...
'Úhel abs. rychlosti vstup OL';'Úhel relativní rychlosti vstup OL';...
'Abs. rychlost výstup OL';'Ax. sl. abs. rychl. výstup OL';...
'Ob. sl. abs. rychl. výstup OL';'Relativní rychlost výstup OL';...
'Ax. sl. rel. rychl. výstup OL';'Ob. sl. rel. rychl. výstup OL';...
'Úhel abs. rychlosti výstup OL';'Úhel relativní rychlosti výstup OL'};

```

```

Zkratka = ['D_s ','D_p ','u ','c_1 ','c_lax ';...
'c_lu ','w_1 ','w_lax ','w_lu ','alfa_1';...
'beta_1','c_2 ','c_2ax ';...
'c_2u ','w_2 ','w_2ax ','w_2u ','alfa_2';...
'beta_2']; % 6 míst v prvku
Jednotky = ['m ','m ','m/s','m/s','m/s','m/s';...
'm/s','m/s';'° ','° ','m/s','m/s','m/s','m/s';...
'm/s','m/s';'° ','° ']; % 3 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, TROJ_VT(:,1), TROJ_VT(:,2), ...
TROJ_VT(:,3), TROJ_VT(:,4), TROJ_VT(:,5), ...
TROJ_VT(:,6), TROJ_VT(:,7), TROJ_VT(:,8), ...
TROJ_VT(:,9), TROJ_VT(:,10), ...
'RowNames', Navez);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Navez Zkratka T Jednotky

% Rychlostni trojuhelniky ST =====
velikost = size(RESULT_ST);
stupen = velikost(2);
BETA_2ST = [22.427 22.478 22.542 22.619 23.514 23.612 23.728 21.939 ...
25.086 20.235 24.546 24.045]; % uhly navystupu z OL

[ TROJ ] = RychTroj( n, stupen, RESULT_ST, fi, HH_iz_new_ST, ALFA_1ST, BETA_2ST);
% fce na vypocet trojuhelniku

TROJ_ST = TROJ; % ulozenu vysledku
clear TROJ

% Vykresleni tabulky -----
if stupen ~= 12
error('Uprav výpis výsledků z výpočtu trojuhelniku ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Navez = {'Střední průměr'; 'Patní průměr'; 'Obvodová rychlost'; ...
'Abs. rychlost vstup OL'; 'Ax. sl. abs. rychl. vstup OL'; ...
'Ob. sl. abs. rychl. vstup OL'; 'Relativní rychlost vstup OL'; ...
'Ax. sl. rel. rychl. vstup OL'; 'Ob. sl. rel. rychl. vstup OL'; ...
'Úhel abs. rychlosti vstup OL'; 'Úhel relativní rychlosti vstup OL'; ...
'Abs. rychlost výstup OL'; 'Ax. sl. abs. rychl. výstup OL'; ...
'Ob. sl. abs. rychl. výstup OL'; 'Relativní rychlost výstup OL'; ...
'Ax. sl. rel. rychl. výstup OL'; 'Ob. sl. rel. rychl. výstup OL'; ...
'Úhel abs. rychlosti výstup OL'; 'Úhel relativní rychlosti výstup OL'};
Zkratka = ['D_s ','D_p ','u ','c_1 ','c_lax ';...
'c_lu ','w_1 ','w_lax ','w_lu ','alfa_1';...
'beta_1','c_2 ','c_2ax ';...
'c_2u ','w_2 ','w_2ax ','w_2u ','alfa_2';...
'beta_2']; % 6 míst v prvku
Jednotky = ['m ','m ','m/s','m/s','m/s','m/s';...
'm/s','m/s';'° ','° ','m/s','m/s','m/s','m/s';...
'm/s','m/s';'° ','° ']; % 3 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, TROJ_ST(:,1), TROJ_ST(:,2), ...
TROJ_ST(:,3), TROJ_ST(:,4), TROJ_ST(:,5), ...
TROJ_ST(:,6), TROJ_ST(:,7), TROJ_ST(:,8), ...
TROJ_ST(:,9), TROJ_ST(:,10), TROJ_ST(:,11), TROJ_ST(:,12), ...
'RowNames', Navez);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Navez Zkratka T Jednotky

% =====
% Pevnostní vypocet zavesu OL a OL =====

% Pevnosti vypocet zavesu OL a OL VT dil =====

% nacteni hodnot z excelu
BB = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'J35:J44') / 1000; % ekvivalenti sirka bandaze [m]
bb = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'I35:I44') / 1000; % ekvivalenti sirka bandaze [m]
aa = xlsread('StareRozmery.xlsx', 'B35:B44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]

```

```

bbbb = xlsread('StareRozmery.xlsx','C35:C44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
cc = xlsread('StareRozmery.xlsx','D35:D44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
xx = xlsread('StareRozmery.xlsx','E35:E44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
yy = xlsread('StareRozmery.xlsx','E35:E44') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
Z = xlsread('StareRozmery.xlsx','C5:C14'); % pocet OL
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','L35:L44'); % min. prurezovy modul [m3]
S_pVT = xlsread('StareRozmery.xlsx','U35:U44'); % plocha patního prurezu [m2]
S_hVT = xlsread('StareRozmery.xlsx','X35:X44'); % plocha spickoveho prurezu [m2]

zaves = [0 1 1 1 1 1 1 1 1]; % indikace zda jde o T nozku
velikost = size(RESULT_VT);
stupen = velikost(2);

theta = 35; % uhel oklonu F a F_carka

[ NamahaniOLV, NamahaniOLO, NamahaniZaves, DD_1, DD_2] = NamObLop( zaves, stupen, RESULT_VT, TROJ_VT, Z,...
    theta, W_min, S_pVT, S_hVT, BB, bb, aa, bbbb, cc, xx, yy, HH_iz_new_VT, 0);
% vyvolani funkce na vypocet
NamahaniOLV_VT = NamahaniOLV; % ulozeni vysledku
NamahaniOLO_VT = NamahaniOLO; % ulozeni vysledku
NamahaniZaves_VT = NamahaniZaves; % ulozeni vysledku
DD_1VT = DD_1; % ulozeni vysledku
DD_2VT = DD_2; % ulozeni vysledku
clear NamahaniOLO NamahaniOLV NamahaniZaves DD_1 DD_2

% Vykresleni tabulky namahani od vykonu-----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok';'Počet OL';'Parcielnost';...
    'Délka lopatky';...
    'Obvodová síla';'Ohybový moment';'Modul průřezu';'Ohybové napětí';...
    'Dovolené napětí';'Ohybové napětí je v mezích'};
Zkratka = ['m ' ';...
    'z ' '; 'eps ' '; 'L ' ';...
    'F_u ' '; 'M_o ' '; 'W_min ' ';...
    'sigma_o ' '; 'sigma_dov'; ' ' ]; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['kg/s ' '; '- ' '; '- ' ';...
    'm ' '; 'N ' '; 'N*m ' ';...
    'm3 ' '; 'MPa ' '; 'MPa ' '; 'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLV_VT(:,1), NamahaniOLV_VT(:,2), ...
    NamahaniOLV_VT(:,3), NamahaniOLV_VT(:,4), NamahaniOLV_VT(:,5), ...
    NamahaniOLV_VT(:,6), NamahaniOLV_VT(:,7), NamahaniOLV_VT(:,8), ...
    NamahaniOLV_VT(:,9), NamahaniOLV_VT(:,10), ...
    'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
    FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykresleni tabulky namahani od odstredive sily-----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Výpočtové otáčky';'Hustota ocele';...
    'Střední průměr';'Průměr bandáže';...
    'Plocha patního průřezu';'Plocha hlavového průřezu';'Součinitel odlehčení';...
    'Odstř. síla listu lopatky';'Odstř. síla bandáže';'Celková odstř. síla';...
    'Tahové napětí';'Sjednocené napětí';'Dovolené napětí';...
    'Napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n ' '; 'kg/m3 ' '; 'D_s ' '; 'D_b ' '; 'S_p ' ';...
    'S_h ' '; 'k_od ' '; 'O_L ' '; 'O_b ' '; 'O ' ';...
    'sigma_t ' '; 'sigma ' '; 'sigma_dov'; ' ' ]; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['s-1 ' '; 'kg/m3'; 'm ' '; 'm ' '; 'cm2 ' '; 'cm2 ' '; '- ' ';...
    'N ' '; 'N ' '; 'N ' '; 'MPa ' '; 'MPa ' '; 'MPa ' '; 'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLO_VT(:,1), NamahaniOLO_VT(:,2), ...
    NamahaniOLO_VT(:,3), NamahaniOLO_VT(:,4), NamahaniOLO_VT(:,5), ...
    NamahaniOLO_VT(:,6), NamahaniOLO_VT(:,7), NamahaniOLO_VT(:,8), ...
    NamahaniOLO_VT(:,9), NamahaniOLO_VT(:,10), ...
    'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');

```

```
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykresleni tabulky namahani zavesu od odstredive sily-----
if stupen ~= 10
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL VT, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Jedná se o T-nožku';'Tahové napětí';...
    'Dov. tahové napětí';'Tah. napětí je v mezích';...
    'Smykové napětí';'Dov. smykové napětí';'Smyk. napětí je v mezích';...
    'Tlak na otláčení';'Dovolené otláčení';'Otláčení je v mezích'};
Zkratka = [ ' ' ;'sigma_11 ' ;'sigma_dov' ;' ' ;'tau_12 ' ;' ' ;...
    'tau_12dov' ;' ' ;'p_13 ' ;'p_13dov ' ;' ' ;' ' ];
% 9 mist v prvku
Jednotky = ['logic';'MPa ' ;'MPa ' ;'logic';'MPa ' ;'MPa ' ;'logic';...
    'MPa ' ;'MPa ' ;'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka,Jednotky,NamahaniZaves_VT(:,1),NamahaniZaves_VT(:,2),...
    NamahaniZaves_VT(:,3),NamahaniZaves_VT(:,4),NamahaniZaves_VT(:,5),...
    NamahaniZaves_VT(:,6),NamahaniZaves_VT(:,7),NamahaniZaves_VT(:,8),...
    NamahaniZaves_VT(:,9),NamahaniZaves_VT(:,10),...
    'RowNames',Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% tabulka s materialy lopatek -----
figure
Nazev = {'Stupeň VT A';'Stupeň VT 1';'Stupeň VT 2';'Stupeň VT 3';...
    'Stupeň VT 4';'Stupeň VT 5';'Stupeň VT 6';...
    'Stupeň VT 7';'Stupeň VT 8';'Stupeň VT 9'};
Material_OL = ['P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';...
    'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7';'P-AK 2MV.7']; % 10 mist v prvku
Material_RL = ['15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';...
    '15 335.3';'15 335.3';'15 335.3';'15 335.3']; % 8 mist v prvku
T = table(Material_OL,Material_RL,'RowNames',Nazev);

TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString,'<strong>','\bf');
TString = strrep(TString,'</strong>','\rm');
TString = strrep(TString,'_','\ ');
FixedWidth = get(0,'FixedWidthFontName');
annotation(gcf,'Textbox','String',TString,'Interpreter','Tex','FontName',...
    FixedWidth,'Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);
clear Nazev Material_OL Material_RL T

clear BB bb aa cc bbbb xx yy W_min Z

% Pevnosti vypocet zavesu OL a OL ST dil =====
% nacteni hodnot z excelu
BB = xlsread('StareRozmery.xlsx','J47:J58') / 1000; % ekvivalentni delka bandaze [m]
bb = xlsread('StareRozmery.xlsx','I47:I58') / 1000; % ekvivalentni sirka bandaze [m]
aa = xlsread('StareRozmery.xlsx','B47:B58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
bbbb = xlsread('StareRozmery.xlsx','C47:C58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
cc = xlsread('StareRozmery.xlsx','D47:D58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
xx = xlsread('StareRozmery.xlsx','E47:E58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
yy = xlsread('StareRozmery.xlsx','E47:E58') / 1000; % rozmer pro T nozku [m]
Z = xlsread('StareRozmery.xlsx','C19:C30'); % pocet OL
W_min = xlsread('StareRozmery.xlsx','L47:L58'); % min. prurezovy modul [m3]
S_pST = xlsread('StareRozmery.xlsx','U47:U58'); % plocha patního prurezu [m2]
S_hST = xlsread('StareRozmery.xlsx','X47:X58'); % plocha hlavoveho prurezu [m2]

zaves = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]; % indikace zda jde o T nozku
velikost = size(RESULT_ST);
stupen = velikost(2);

theta = 35; % uhel oklonu F a F_carka
% S_p = 0.0025; % plocha patního prurezu [m2]
% S_h = 0.0025; % plocha hlavoveho prurezu [m2]
```



```
[ NamahaniOLV, NamahaniOLO, NamahaniZaves, DD_1, DD_2 ] = NamObLop( zaves, stupen, RESULT_ST, TROJ_ST,
Z,...
theta, W_min, S_pST, S_hST, BB, bb, aa, bbbb, cc, xx, yy, HH_iz_new_ST, 1);
% vyvolani funkce na vypocet
NamahaniOLV_ST = NamahaniOLV; % ulozeni vysledku
NamahaniOLO_ST = NamahaniOLO; % ulozeni vysledku
NamahaniZaves_ST = NamahaniZaves; % ulozeni vysledku
DD_1ST = DD_1; % ulozeni vysledku
DD_2ST = DD_2; % ulozeni vysledku
clear NamahaniOLO NamahaniOLV NamahaniZaves DD_1 DD_2

% Vykresleni tabulky namahani od vykonu-----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Hmotnostní průtok'; 'Počet OL'; 'Parcielnost'; ...
        'Délka lopatky'; ...
        'Obvodová síla'; 'Ohybový moment'; 'Modul průřezu'; 'Ohybové napětí'; ...
        'Dovolené napětí'; 'Ohybové napětí je v mezích'};
Zkratka = ['m' ; ...
           'z' ; 'eps' ; 'L' ; ...
           'F_u' ; 'M_o' ; 'W_min' ; ...
           'sigma_O' ; 'sigma_dov' ; ' ' ]; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['kg/s' ; '-' ; '-' ; ...
            'm' ; 'N' ; 'N*m' ; ...
            'm3' ; 'MPa' ; 'MPa' ; 'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLV_ST(:,1), NamahaniOLV_ST(:,2), ...
        NamahaniOLV_ST(:,3), NamahaniOLV_ST(:,4), NamahaniOLV_ST(:,5), ...
        NamahaniOLV_ST(:,6), NamahaniOLV_ST(:,7), NamahaniOLV_ST(:,8), ...
        NamahaniOLV_ST(:,9), NamahaniOLV_ST(:,10), NamahaniOLV_ST(:,11), NamahaniOLV_ST(:,12), ...
        'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
        FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykresleni tabulky namahani od odstredive sily-----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL ST, nesedí velikost matice')
end

figure
Nazev = {'Výpočtové otáčky'; 'Hustota ocele'; ...
        'Střední průměr'; 'Průměr bandáže'; ...
        'Plocha patního průřezu'; 'Plocha hlavového průřezu'; 'Součinitel odlehčení'; ...
        'Odstr. síla listu lopatky'; 'Odstr. síla bandáže'; 'Celková odstr. síla'; ...
        'Tahové napětí'; 'Sjednocené napětí'; 'Dovolené napětí'; ...
        'Napětí je v mezích'};
Zkratka = ['n' ; 'kg/m3' ; 'D_s' ; 'D_b' ; 'S_p' ; ...
           'S_h' ; 'k_od' ; 'O_L' ; 'O_b' ; 'O' ; ...
           'sigma_t' ; 'sigma' ; 'sigma_dov' ; ' ' ]; % 9 mist v prvku
Jednotky = ['s-1' ; 'kg/m3' ; 'm' ; 'cm2' ; 'cm2' ; '-' ; ...
            'N' ; 'N' ; 'N' ; 'MPa' ; 'MPa' ; 'MPa' ; 'logic']; % 5 mist v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniOLO_ST(:,1), NamahaniOLO_ST(:,2), ...
        NamahaniOLO_ST(:,3), NamahaniOLO_ST(:,4), NamahaniOLO_ST(:,5), ...
        NamahaniOLO_ST(:,6), NamahaniOLO_ST(:,7), NamahaniOLO_ST(:,8), ...
        NamahaniOLO_ST(:,9), NamahaniOLO_ST(:,10), NamahaniOLO_ST(:,11), NamahaniOLO_ST(:,12), ...
        'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru pocet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
        FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% Vykresleni tabulky namahani zavesu od odstredive sily-----
if stupen ~= 12
    error('Uprav výpis výsledků z výpočtu pevnosti OL ST, nesedí velikost matice')
end

figure
```

```
Nazev = {'Jedná se o T-nožku'; 'Tahové napětí'; ...
        'Dov. tahové napětí'; 'Tah. napětí je v mezích'; ...
        'Smykové napětí'; 'Dov. smykové napětí'; 'Smyk. napětí je v mezích'; ...
        'Tlak na otláčení'; 'Dovolené otláčení'; 'Otláčení je v mezích'};
Zkratka = [ '          '; 'sigma_11 '; 'sigma_dov'; '          '; 'tau_12 '; ...
           'tau_12dov'; '          '; 'p_13      '; 'p_13dov  '; '          '];
% 9 míst v prvku
Jednotky = ['logic'; 'MPa  '; 'MPa  '; 'logic'; 'MPa  '; 'MPa  '; 'logic'; ...
           'MPa  '; 'MPa  '; 'logic']; % 5 míst v prvku
T = table(Zkratka, Jednotky, NamahaniZaves_ST(:,1), NamahaniZaves_ST(:,2), ...
          NamahaniZaves_ST(:,3), NamahaniZaves_ST(:,4), NamahaniZaves_ST(:,5), ...
          NamahaniZaves_ST(:,6), NamahaniZaves_ST(:,7), NamahaniZaves_ST(:,8), ...
          NamahaniZaves_ST(:,9), NamahaniZaves_ST(:,10), NamahaniZaves_ST(:,11), NamahaniZaves_ST(:,12), ...
          'RowNames', Nazev);
% Pokud se mi objeví výpis chyby: Uprav výpis výsledků z vykládání...
% , uprav v příkazu výše počet stupňů RESULT(:,xxx) a taky v podmínce na
% na výpis erroru počet stupnu
TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
           FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Zkratka T Jednotky

% tabulka s materialy lopatek -----
figure
Nazev = {'Stupeň ST 1'; 'Stupeň ST 2'; 'Stupeň ST 3'; ...
        'Stupeň ST 4'; 'Stupeň ST 5'; 'Stupeň ST 6'; ...
        'Stupeň ST 7'; 'Stupeň ST 8'; 'Stupeň ST 9'; 'Stupeň ST 10'; 'Stupeň ST 11'; 'Stupeň ST 12'};
Material_OL = ['P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; ...
              'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 2MV.7'; 'P-AK 1 TD '; 'P-AK 1 TD '; ...
              'P-AK 1 TD '; 'P-AK 1 TD ']; % 10 míst v prvku
Material_RL = ['15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3'; '15 335.3'; ...
              '15 335.3'; '15 335.3'; '17 021.2'; '17 021.2'; '17 021.2'; ...
              '17 021.2']; % 8 míst v prvku
T = table(Material_OL, Material_RL, 'RowNames', Nazev);

TString = evalc('disp(T)');
TString = strrep(TString, '<strong>', '\bf');
TString = strrep(TString, '</strong>', '\rm');
TString = strrep(TString, '_', '\_');
FixedWidth = get(0, 'FixedWidthFontName');
annotation(gcf, 'Textbox', 'String', TString, 'Interpreter', 'Tex', 'FontName', ...
           FixedWidth, 'Units', 'Normalized', 'Position', [0 0 1 1]);
clear Nazev Material_OL Material_RL T

clear BB bb aa cc bbbb xx yy W_min Z

disp('Doba trvání výpočtu [s]:')
timeElapsed = toc;
disp(toc)
```

Funkce které volá hlavní skript a liší se od funkcí v příloze 2:

```
function [ NamahaniOLV, NamahaniOLO, NamahaniZaves, DD_1, DD_2 ] = NamObLop( zaves, stupen, RESULT, TROJ,
Z, ...
        theta, W_min, S_pM, S_hM, BB, bb, aa, bbbb, cc, xx, yy, HH_iz, log)
% funkce na vypocet namahani OL

% NamahaniOLV - namahani OL od vykonu
% NamahaniOLO - namahani OL od odst. sily

% zaves - udava jakou nozku ma lopatka 1 = T nozka, 0 = vidlickova
% stupen - pocet stupnu [-]
% RESULT - matice s vysledky z vylojeni prutocne casti
% TROJ - matice s vysledky rychl. trojuhelniku, potrebuji rychlosti
% Z - pocet OL [-]
% theta - uhel odklonu F a F_carka
% W_min - minimalni poruzevovy modul v ohybu [m3]
% S_p - plocha patniho prurezu [m2]
% S_h - plocha hlavoveho prurezu [m2]
% BB - ekvivalentni sirka bandaze [m]
% bb - ekvivalentni tloustka bandaze [m]
% aa - rozmer nozky [m]
% bbbb - rozmery nozky [m]
% cc - rozmer nozky [m]
% xx - rozmery nozky [m]
% yy - rozmer nozky [m]
% log - 1 = jde od ST dil, 0 = jde o VT dil
zmena = 8; % udava na jakem stupni dojde ke ymene materialu OL

% Aproximace -----
T = [20 100 200 300 350 400 500 ]; % teplota pro aproximaci dov. napeti [C]
```

```

TT = [20 100 200]; % teplota pro aproximaci dov. napeti [C]
SigPAK2MV7 = [230 221 211 201 191 181 142]; % hodnoty dov. napeti pro aproximaci [MPa]
MatKolik = [157 150 144 125 115 105 63]; % material koliku
SigPAK1TD = [275 260 245]; % material lopatek nekterzch

p_SigPAK2MV7 = polyfit(T, SigPAK2MV7, 2);% aproximovany polynom
p_MatKolik = polyfit(T, MatKolik, 2);% aproximovany polynometata_td
p_SigPAK1TD = polyfit(TT, SigPAK1TD, 2);% aproximovany polynom

for i = 1:stupen

S_p = S_pM(i); % plocha patnuiho prurezu [m2]
S_h = S_hM(i); % plocha spickoveho prurezy [m2]

% Namahani od prenaseneho vykonu =====
m = RESULT(1,i); % nacteni hm. prutoku [kg/s]
eta_td = RESULT(35,i); % ucinnost stupne, puvodni - mozna nepresnost [-]
eps = RESULT(25,i); % nacteni parcielnosti [-]
D_s = RESULT(15,i) / 1000; % stredni prumer lopatky [m]
L = RESULT(26,i) / 1000; % delka OL (uvedena jako RL - OL budou o neco delsi) [m]
z = Z(i); % nacteni poctu OL[-]
n_vypoc = 3000 * 1.1; % vypoctove otacky [min-1]
omega = 2* 3.1415 * n_vypoc / 60; % uhlova rychlost [rad]
HH = HH_iz(i) * eta_td; % entalpicky spad ve stupni [kJ/kg]
P = m * HH; % vykon stupne [kW]
z_ef = z * eps; % efektivni pocet lopatek
M_k = P / omega / z_ef * 1000; % kroutici moment [Nm]
F_u = 2 * M_k / D_s; % obvodova sila [N]
M_o = F_u * L / 2; % max ohzb moment [Nm]
sigma_o = M_o / W_min(i) / 1000000; % ohybove napeti

Tep = RESULT(6,i); % teplota pro urceni dovoleneho namahani

% pevnostni podminka
if eps == 1
    sigma_dov = 20;
else
    sigma_dov = 16;
end

if i == 10
    if log == 1
        sigma_dov = 16;
    end
end

if sigma_o <= sigma_dov
    ok_1 = 1;
else ok_1 = 0;
end

NamahaniOLV(1,i) = m;
NamahaniOLV(2,i) = z;
NamahaniOLV(3,i) = eps;
NamahaniOLV(4,i) = L;
NamahaniOLV(5,i) = F_u;
NamahaniOLV(6,i) = M_o;
NamahaniOLV(7,i) = W_min(i);
NamahaniOLV(8,i) = sigma_o;
NamahaniOLV(9,i) = sigma_dov;
NamahaniOLV(10,i) = ok_1;

% Namhani odstredivou silou =====

rho = 7850; % hustota ocele [kg/m3]
D_b = (D_s + 2 * L); % stredni prumer bandaze [m]
omega = (3.1415 * n_vypoc / 30); % uhlova ruclost
B = BB(i); % ekvivalentni delka bandaze [m]
bbb = bb(i); % ekvivaleni sirka bandaze [m]

O_L = rho * S_p * L * D_s / 2 * omega^2;
% odstrediva sila listu lopatky [N]
O_b = rho * 3.1415 * D_b * B * bbb * D_b / 2 * omega^2 / z;
% odstrediva sila bandaze [N]
O = O_L + O_b; % celkova odstrediva sila [N]
k_od = sqrt(S_p / S_h); % soucinitel odlehceci [-]
sigma_t = O / (k_od * S_p) / 10E5; % tahove napeti [MPa]

SigmaPAK2MV7 = p_SigPAK2MV7(1,1)*Tep^2+p_SigPAK2MV7(1,2)*Tep+p_SigPAK2MV7(1,3);% [Mpa]
SigmaPAK1TD = p_SigPAK1TD(1,1)*Tep^2+p_SigPAK1TD(1,2)*Tep+p_SigPAK1TD(1,3);% [Mpa]

% Sjednoceni napeti -----
sigma = 2 * sigma_o + sigma_t; % sjednocene napeti [MPa]

if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
    sigma_dov = SigmaPAK1TD;
else

```

```

        sigma_dov = SigmaPAK2MV7;
    end

if sigma <= sigma_dov % podminka
    ok_2 = 1;
else ok_2 = 0;
end

NamahaniOLO(1,i) = n_vypoc;
NamahaniOLO(2,i) = rho;
NamahaniOLO(3,i) = D_s;
NamahaniOLO(4,i) = D_b;
NamahaniOLO(5,i) = S_p*10000;
NamahaniOLO(6,i) = S_h*10000;
NamahaniOLO(7,i) = k_od;
NamahaniOLO(8,i) = O_L;
NamahaniOLO(9,i) = O_b;
NamahaniOLO(10,i) = O;
NamahaniOLO(11,i) = sigma_t;
NamahaniOLO(12,i) = sigma;
NamahaniOLO(13,i) = sigma_dov;
NamahaniOLO(14,i) = ok_2;

% Vypocet zavesu =====
% T nozka -----

if zaves(i) == 1 % jedna se o T nozku

    % definice velicin T nozka
    x = xx(i); % rozmer na nozce [m]
    y = yy(i); % rozmer na nozce [m]
    D_1 = D_s - L - 2 * x; % stredni prumer zavesu [m]
    D_2 = D_1 - 2 * y; % dalsi prumer zavesu [m]
    a = aa(i); % sirka nehuysiho mista zavesu [m] -
    b = bbbb(i); % sirka nozky podlehajici smyku [m]
    c = cc(i); % rozmer na nozce [m]

    DD_1(i) = D_1;
    DD_2(i) = D_2;

    % Tahove namahani -----
    t_11 = 3.1415 * D_1 / z; % roztec na zavesu [m]
    A_11 = a * t_11; % plocha nejuysiho mista prurezu [m2]
    O_z = A_11 * ((D_s - L) - D_1) / 2 * rho * omega^2 * D_1 / 2;
    % odst. sila zavesu nad rovinou 1-1 [N]
    O_11 = O_L + O_b + O_z; % odstr. sila [N]
    sigma_11 = O_11 / A_11 / 10E5; % tahove napeti [MPa]
    % sigma_11dov = SigmaPAK2MV7; % dovolene tahove napeti [MPa]

    if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
        sigma_11dov = SigmaPAK1TD;
    else
        sigma_11dov = SigmaPAK2MV7;
    end

    if sigma_11 <= sigma_11dov % podminka
        ok_3 = 1;
    else ok_3 = 0;
    end

    % Smykove napeti -----
    t_12 = 3.1415 * D_2 / z; % roztec zavesu na prumeru D_2
    A_12 = b * t_12; % plocha podlehajici smyku
    O_zcarka = a * t_12 * b * rho * omega^2 * D_2 / 2;
    % odst. sila zavesu 1-1-2-2 [N]
    tau_12 = (O_11 + O_zcarka) / (2 * A_12) / 10E5; % smykove napeti [MPa]
    % tau_12dov = SigmaPAK2MV7 * 0.6; % dovolene smzkove napeti [MPa]

    if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
        tau_12dov = SigmaPAK1TD * 0.6;
    else
        tau_12dov = SigmaPAK2MV7 * 0.6;
    end

    if tau_12 <= tau_12dov % podminka
        ok_4 = 1;
    else ok_4 = 0;
    end

    % Namahani na otlaceni -----
    O_dopl = b * (a + c) * t_12 * rho * omega^2 * D_2 / 2;
    % odstrediva sila zavesu podl rovinou 3-3
    p_13 = (O_11 + O_dopl) / (c * t_11) / 10E5;
    % tlak v otlaceni [MPa]
    p_13dov = sigma_11dov * 1.5; % dovolena otlaceni [MPa]

    if p_13 <= p_13dov % podminka na otlaceni

```

```

        ok_5 = 1; % vyhovuje
    else ok_5 = 0; % nevyhovuje
    end

% Vidlickova nozka -----
else % jedna se o vidlickovou nozku
    n_k = 1; % pocet koliku na jednom polomeru

    % definive velicin pro vidlickovou nozku
    b = aa(i); % sirka vidlicky [m]
    D_1 = D_s - L - 0.04; % prumer kde je prvni koli [m]
    d = bbbb(i); % prumer koliku [m]

    if log == 1 % podminka, na ST dil - tam bude vidlickova nozka s 3 vidlicemi
        n_v = 3; % pocet rozvidleni [-]
    else n_v = 2;
    end

    % Tahove namahani -----
    t_11 = 3.1415 * D_1 / z; % roztec na prumeru D_1
    A_11 = b * (t_11 - d*n_k) * n_v; % plocha podlehajici tahu
    O_c = O_L + O_b; % celkova odstrediva sila lopatky [N]
    sigma_11 = O_c / A_11 / 10E5; % tahove napeti [MPa]
    % sigma_11dov = SigmaPAK2MV7; % dovolena napeti [MPa]

    if log == 1 && i >= zmena % podminka pro zmenu materialu za 8 stupnen v ST
        sigma_11dov = SigmaPAK1TD;
    else
        sigma_11dov = SigmaPAK2MV7;
    end

    if sigma_11 <= sigma_11dov % podminka
        ok_3 = 1;
    else ok_3 = 0;
    end

    % Smykove namahani -----
    tau_12 = O_c * 1.1 / ((3.1415 * d^2) / 4 * 2 * n_v * n_k) / 10E5;
    % smykove napeti [MPa], cislo 1.1 vyjadruje navysemi odstredive sily
    % o hmotnost nozky %

    SigmaKolik = p_MatKolik(1,1)*Tep^2+p_MatKolik(1,2)*Tep+p_MatKolik(1,3);% [Mpa]

    tau_12dov = SigmaKolik + 9; % dovolene smzkove napeti [MPa]

    if tau_12 <= tau_12dov % podminka
        ok_4 = 1;
    else ok_4 = 0;
    end

    % Namahani na otlaceni -----
    p_13 = O_c * 1.1 / (b * d * n_v * n_k * 2) / 10E5; % tlak v otlaceni [MPa]
    % cislo 1.1 vyjadruje navysemi odstredive sily o hmotnost nozky % * 2
    % - nese i spodni kolik
    p_13dov = SigmaKolik * 1.5; % dovolena otlaceni [MPa]

    if p_13 <= p_13dov % podminka na otlaceni
        ok_5 = 1; % vyhovuje
    else ok_5 = 0; % nevyhovuje
    end
end

NamahaniZaves(1,i) = zaves(i);
NamahaniZaves(2,i) = sigma_11;
NamahaniZaves(3,i) = sigma_11dov;
NamahaniZaves(4,i) = ok_3;
NamahaniZaves(5,i) = tau_12;
NamahaniZaves(6,i) = tau_12dov;
NamahaniZaves(7,i) = ok_4;
NamahaniZaves(8,i) = p_13;
NamahaniZaves(9,i) = p_13dov;
NamahaniZaves(10,i) = ok_5;
end
end

```

Příloha č. 4

Výsledky ze základního pevnostního výpočtu VT a ST dílu turbíny nového návrhu

Výsledky ze základního pevnostního výpočtu VT dílu turbíny

Namáhání RK VT dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Stupeň	-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vnější průměr RK	mm	0	927	927	927	927	927	927	947	947	947
Vnitřní průměr otvoru RK	mm	0	452	452	452	452	452	452	452	452	452
Ekvivalentní tloušťka RK	mm	0	75	75	75	75	75	65	65	65	67
Výška hlavy RK	mm	0	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	39.5	42.5	42.5
Délka lopatky	mm	0	24	26	26	26.5	31.5	36	39.5	43	48.5
Delta_p	MPa	0	1.1659	1.0672	0.97605	0.89163	0.81233	0.73528	0.66688	0.60277	0.47703
Přetlak na RK	MPa	0	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	3273	3273	3273	3273
Modul průřezu v ohybu	°	0	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Alfa	°	0	46	46	46	46	46	50	50	46	66
Počet lopatek	Z	0	0.48759	0.48759	0.48759	0.48759	0.48759	0.48759	0.4773	0.4773	0.4773
Poměr r/R	-	0	512.62	495.75	478.67	461.36	443.82	426.03	408.14	390	371.62
Provozní teplota	°C	0	1.6249	1.6249	1.6249	1.6249	1.6249	1.6249	1.6563	1.6563	1.6563
Součinitel Fi	-	0	1.0056	1.0056	1.0056	1.0056	1.0056	1.0056	1.0305	1.0305	1.0305
Součinitel Mi	-	0	87	87	87	87	87	87	97	97	97
Rameno síly	mm	0	5.9981	5.4903	5.0212	4.5869	4.1179	3.7826	3.627	3.2783	2.5944
Síla od na všechny RL	N	0	9.1777	8.4007	7.6829	7.0184	6.3942	5.8247	5.6926	5.5927	3.0848
Ohyb. moment na jednu RL	N*mm	0	72.358	66.232	60.573	55.334	50.413	46.751	43.978	41.63	39.46
Maximální napětí	MPa	0	83.064	89.835	96.433	102.86	109.1	115.15	120.96	126.56	131.94
Dovolené napětí	MPa	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Napětí je v mezích	Logic	0	0.71542	0.64855	0.58747	0.53157	0.47972	0.46608	0.66269	0.59348	0.42495
Maximální průhyb	mm	0	0.927	0.927	0.927	0.927	0.927	0.927	0.947	0.947	0.947
Dovolenný průhyb	mm	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Průhyb je v mezích	Logic	0	181.66	166.28	152.07	138.92	126.56	162.69	173.93	170.87	94.25
Maximální ohyb. napětí na RL	MPa	0	174.4	184.25	193.83	203.13	212.15	220.86	229.19	237.2	244.86
Dovolenné ohyb. napětí	MPa	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohyb. napětí je v mezích	Logic	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL VT dílu od výkonu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Hmotnostní průtok	kg/s	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222
Ob. sl. abs. rychlosti vstup OL	m/s	277.93	240.53	240.59	240.71	240.8	240.9	240.16	240.24	240.02	223.44
Ob. sl. abs. rychlosti výstup OL	m/s	0.23389	-0.92178	-0.49149	0.0038269	0.67144	1.323	2.5345	3.4131	4.5323	-7.4238
Ax. sl. abs. rychlosti vstup OL	m/s	68.091	56.558	56.705	56.733	56.963	57.143	60.501	60.839	62.342	59.829
Ax. sl. abs. rychlosti výstup OL	m/s	60.767	53.812	54.237	54.745	55.302	55.853	56.534	56.918	57.713	54.338
Počet OL	-	128	128	128	128	128	128	128	130	130	98
Přetlak	MPa	0.561	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Delta_p	MPa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Délka lopatky	m	0.032129	0.024	0.026	0.0285	0.0315	0.0345	0.036	0.0395	0.043	0.0485
Rotace	t	0.01907	0.019119	0.01918	0.01918	0.019254	0.019328	0.019364	0.019364	0.019236	0.025693
Ob. síla	N	530	177.74	177.47	177.19	176.76	176.36	174.92	171.65	170.68	221.96
Ax. síla	N	13.98	2.021	1.817	1.663	1.2223	0.94912	2.9201	2.8416	3.3556	5.279
Čalková síla	N	530.19	177.75	177.47	177.19	176.76	176.36	174.94	171.67	170.71	222.03
Přemítnutná síla	N	434.3	145.6	145.38	145.15	144.8	144.47	143.3	140.63	139.84	181.87
Ohybový moment	N*m	6.0802	1.7472	1.8899	2.0683	2.2806	2.492	2.5794	2.7774	3.0066	4.4104
Modul průřezu	m3	1.4785e-06	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	7.06e-07
Dovolenné napětí	MPa	4.1125	5.6544	6.1163	6.6937	7.3805	8.0649	8.8477	9.73	10.73	6.2471
Ohybové napětí je v mezích	Logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL VT dílu odstředivou silou

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Výpočtové otáčky	s ⁻¹	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Hustota ocele	kg/m ³	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850
Střední průměr	m	0.9	0.777	0.779	0.7815	0.7845	0.7875	0.789	0.7925	0.796	0.8015
Průměr bandáže	m	0.956	0.825	0.831	0.8385	0.8475	0.8565	0.861	0.8715	0.882	0.8985
Plocha patního průřezu	cm ²	6.48	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	4.1472
Plocha hlavového průřezu	cm ²	6.48	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	4.1472
Součinitel odlehčení	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Odstř. síla listu lopatky	N	7653.8	2039	2214.6	2435.3	2702	2970.6	3105.7	3422.7	3742.5	7556.1
Odstř. síla bandáže	N	6881.5	1409.3	1429.9	1455.8	1487.2	1519	1535	1548.5	1586	2425.9
Celková odstř. síla	N	14535	3448.3	3644.4	3891.1	4189.2	4489.6	4640.7	4971.2	5328.5	9982
Tahové napětí	MPa	22.431	14.782	15.623	16.68	17.958	19.246	19.893	21.31	22.842	24.069
Sjednocené napětí	MPa	30.656	26.091	27.855	30.067	32.719	35.375	36.589	39.286	42.301	36.564
Dovolené otláčení	MPa	142.09	147.63	153.25	158.74	164.08	169.28	174.3	179.14	183.81	187.71
Napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání závěsu OL VT dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Jedná se o T-nožku	logic	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tahové napětí	MPa	22.853	28.223	29.36	30.79	32.517	34.259	35.134	37.5	39.603	52.532
Dov. tahové napětí	MPa	142.09	147.63	153.25	158.74	164.08	169.28	174.3	179.14	183.81	187.71
Tah. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Smykové napětí	MPa	70.443	18.41	19.09	19.945	20.979	22.02	22.544	23.959	25.217	32.95
Dov. smykové napětí	MPa	70.924	88.576	91.949	95.241	98.445	101.57	104.58	107.48	110.28	112.62
Smyk. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tlak na otláčení	MPa	31.351	40.097	41.484	43.227	45.334	47.458	48.525	51.411	53.975	69.743
Dovolené otláčení	MPa	92.136	221.44	229.87	238.1	246.13	253.92	261.45	268.71	275.71	281.56
Otláčení je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Výsledky ze základního pevnostního výpočtu ST dílu turbíny

Namáhání RK ST dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Stupeň	-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vnější průměr RK	mm	0	1127	1147	1147	1327	1347	1377	1407	1427	1467	1497	1537
Vnitřní průměr otvoru RK	mm	0	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422
Ekvivalentní tloušťka RK	h	0	70	65	65	80	72	70	77	75	77	75	70
Výška hlavy RK	mm	0	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
Délka lopatky	L	0	61	69	78	71.5	88	115	154	154	168.5	235.5	345
Prétlak na RK	MPa	0	0.11708	0.37038	0.32776	0.39328	0.31813	0.22128	0.18116	0.14569	0.114893	0.10988	0.064027
Modul průřezu v ohybu	W _{min}	0	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	3372.2	3362.2	5052.2	3362.2	3362.2
Alfa	α	0	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Počet lopatek	z	0	56	56	56	66	66	66	58	58	52	52	60
Poměr r/R	-	0	0.37445	0.36792	0.36792	0.31801	0.31329	0.30646	0.29993	0.29573	0.28766	0.2819	0.27456
Provozní teplota	T _{op}	0	511.29	486.98	462	436.3	399.3	361.3	327.56	292.91	257.43	209.47	156.61
Součinitel Fi	Fi	0	1.9839	2.0056	2.0056	2.1749	2.1912	2.2149	2.2377	2.2525	2.2809	2.3013	2.3273
Součinitel Mi	Mi	0	1.2495	1.2616	1.2616	1.3472	1.3591	1.3652	1.3751	1.3814	1.3931	1.4013	1.4115
Rameno síly	f	0	112	122	122	122	127	147	167	182	206.75	226.75	251.75
Síla od na všechny RL	F	0	3.5772	3.3107	2.8889	4.8889	4.0889	2.9858	2.5632	2.1262	2.3089	1.7803	1.0984
Ohyb. moment na jednu RL	M ₁	0	5.788	5.8351	5.161	6.7119	6.3645	5.3801	5.9708	6.0206	7.4269	6.2805	3.7284
Maximální napětí	σ _{max}	0	53.62	57.857	51.173	58.835	60.995	47.415	33.839	29.7	30.825	25.186	17.96
Dovolené napětí	σ _{dov}	0	83.608	93.254	102.62	111.69	123.72	134.82	143.62	151.6	158.69	166.5	172.76
Napětí je v mezích	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maximální průhyb	y _{max}	0	0.85375	1.0122	0.88297	1.0722	1.2459	1.0185	0.67683	0.61618	0.64544	0.55082	0.43263
Průhyb je v mezích	y _{dov}	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maximální ohyb. napětí na RL	σ _{max_O}	0	114.57	115.5	102.15	132.85	125.98	106.49	177.06	179.07	147	186.8	110.89
Dovolené ohyb. napětí	σ _{dov_O}	0	175.19	189.22	202.6	215.88	233.15	248.96	177.41	182.2	187.03	193.45	200.37
Ohyb. napětí je v mezích	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL ST dílu od výkonu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Hmotnostní průtok	m	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	81.725	81.725	81.725
Ob. sl. abs. rychlosti vstup OL	c _{1u} / m/s	288.52	288.85	289.16	289.56	353.72	351.14	320.63	317.56	313.22	362.43	361.56	319.41
Ob. sl. abs. rychlosti výstup OL	c _{2u} / m/s	6.7617	8.0432	9.6986	11.485	6.9818	10.488	-7.2915	-0.36323	2.5493	56.024	64.682	49.192
Ax. sl. abs. rychlosti vstup OL	c _{1ax} / m/s	72.627	72.58	72.847	72.948	84.405	84.405	77.172	80.492	88.106	103.6	104.88	96.741
Ax. sl. abs. rychlosti výstup OL	c _{2ax} / m/s	64.864	65.98	67.398	68.987	83.308	85.676	79.508	76.281	90.682	91.407	121.29	118.56
Počet OL	z	160	160	160	160	144	144	144	132	110	132	110	92
Parcielnost	eps	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prétlak	MPa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Délka lopatky	L	0.0545	0.061	0.069	0.078	0.0715	0.088	0.1115	0.135	0.154	0.1685	0.2355	0.345
Roteč	m	0.0188	0.018528	0.019085	0.019261	0.025623	0.025765	0.026136	0.028749	0.034756	0.029083	0.036527	0.047071
Ob. síla	F _u	157.45	156.92	156.17	155.39	215.29	211.51	203.61	215.35	252.52	189.71	220.57	240.04
Ax. síla	F _{ax}	4.3385	3.6882	3.0451	2.2134	0.6813	-0.76997	-1.45033	2.852	-2.0943	189.86	220.91	-19.379
Čelková síla	F _{celkova}	129.03	128.58	127.95	127.3	176.36	173.26	166.79	176.42	206.86	155.52	180.96	240.82
Průmětná síla	F _{prum}	3.516	3.9216	4.4143	4.9249	7.6235	7.6235	6.5906	11.908	15.928	13.103	21.308	34.029
Ohybový moment	M _{max}	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	7.06e-07	7.06e-07	7.06e-07	1.0182e-06	1.5718e-06	1.0182e-06	1.5725e-06	2.6846e-06
Modul průřezu	W _{min}	11.379	12.691	14.286	16.068	8.9303	10.798	13.584	11.696	10.154	12.869	13.55	12.677
Ohybové napětí	σ _{max_O}	20	20	20	20	20	20	20	20	20	16	20	20
Dovolené napětí	σ _{dov_O}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohybové napětí je v mezích	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL ST dílu odstředivou silou

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Výpočtové otáčky	s-1	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Hustota ocele	kg/m3	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850
Střední průměr	D_s	0.9575	0.964	0.972	0.981	1.1745	1.181	1.198	1.208	1.217	1.222	1.279	1.3785
Průměr bandáže	D_b	1.0665	1.086	1.11	1.137	1.3175	1.357	1.428	1.478	1.525	1.559	1.75	2.0685
Plocha patního průřezu	S_p	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	4.1472	4.1472	4.1472	4.3572	4.48	4.3572	6.48	9.3312
Plocha hlavového průřezu	S_h	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	4.1472	4.1472	4.1472	3.2813	4.88	3.2813	4.88	7.0272
Součinitel odlehčení	k_od	1	1	1	1	1	1	1	1.1523	1.1523	1.1523	1.1523	1.1523
Odstř. síla listu lopatky	O_L	5705.7	6429.6	7333.2	8366.4	16323	20202	26780	33304	36923	42051	91482	2.08e+05
Odstř. síla bandáže	O_b	1570.1	1628	1700.8	1784.5	3549.8	3765.9	4170.2	4995.3	9339.1	5557.9	12298	0
Čelková odstř. síla	O	7275.8	8057.6	9034	10151	19873	23967	30950	38300	66262	47609	1.0378e+05	2.08e+05
Tahové napětí	sigma_t	31.189	34.541	38.726	43.514	47.92	57.792	74.629	76.281	88.738	94.821	138.98	193.44
Sjednocené napětí	sigma_m	53.947	59.923	67.297	75.649	65.78	79.388	101.8	99.672	109.01	120.56	166.08	218.79
Dovolené napětí	sigma_dov	142.09	150.33	158.36	166.16	176.68	186.29	193.89	234.79	238.25	243.91	251.17	258.77
Napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání závěsu OL ST dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Jedná se o T-nožku	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Tahové napětí	sigma_l1	53.438	58.106	63.935	70.605	74.132	87.459	110.2	124.35	147.48	154.15	225.05	217.48
Dov. tahové napětí	sigma_dov	142.09	150.33	158.36	166.16	176.68	186.29	193.89	234.79	238.25	243.91	251.17	258.77
Tah. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Smykové napětí	tau_l2	33.418	36.173	39.613	43.549	48.69	56.845	70.78	79.458	93.528	97.763	140.83	123.86
Dov. smykové napětí	tau_l2dov	85.253	90.196	95.014	99.694	106.01	111.77	116.33	140.87	142.95	146.35	150.7	162.5
Smyk. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tlak na otláčení	p_l3	72.246	77.938	85.047	93.181	108.44	125.58	154.94	173.15	207	211.52	307.83	170.24
Dovolené otláčení	p_l3dov	213.13	225.49	237.54	249.24	265.02	279.43	290.83	352.18	357.38	365.87	376.76	229.49
Otláčení je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Příloha č. 5

Tabulka dovolených napětí

*ident	název mater.	Sqkm	Tmax	S20.	100.	200.	300.	350.	400.	420.	440.	460.	480.	500.	510.	520.	530.	540.	550.	→T	E20.	100.	200.	300.	400.	500.	600.	* poznámky až do konce		
00101	15 128.5	363.	550.	181.	172.	159.	147.	139.	135.	132.	128.	125.	121.	109.	84.	75.	66.	56.	50.	44.	214.	211.	208.	197.	188.	178.	166.	* plechy, výkvyky i nad 400° C		
00102	11 523.1	304.	400.	152.	132.	118.	103.	93.	87.	62.											210.	210.	208.	197.	188.			* plechy, výkvyky i do 400° C		
00103	422747.6	410.	550.	216.	196.	181.	172.	167.	164.	162.	160.	152.	125.	100.	80.	71.	65.	57.	50.	44.	213.	211.	204.	193.	186.	177.	167.	* odlitiky i nad 400° C		
00104	422744.6	284.	550.	142.	137.	132.	127.	123.	118.	113.	109.	105.	101.	98.	83.	72.	61.	51.	43.	36.	213.	210.	204.	197.	188.	179.	168.	* odlitiky i nad 400° C		
00105	422742.6	314.	500.	157.	142.	127.	115.	108.	103.	98.	96.	94.	86.	78.	59.						212.	209.	203.	196.	187.	176.	164.	* odlitiky i nad 400, do 500° C, i do 8 tun		
00106	422713.5	245.	400.	123.	113.	98.	83.	69.	59.	49.											212.	208.	202.	193.	184.			* odlitiky i do 400° C		
00107	422904.5	294.	350.	147.	132.	118.	108.	103.													216.	211.	204.	196.	187.			* korozivzd. (pro jaderné 220)		
00108	SN 422903.6	360.	400.	180.	145.	140.	135.	132.	131.	130.											214.	209.	202.	193.	182.			* korozivzd. (pro jaderné 1000)		
00109	422425	245.	250.	59.	59.	59.	59.														126.	124.	121.	119.				* slitina i do 250° C		
00201	15 128.5	274.	550.	220.	214.	207.	196.	172.	172.	172.	153.	133.	133.	133.	86.	86.	86.	59.	59.	59.									* tyče, vt profily i nad 400° C	
00202	15 335.3	392.	550.	314.	229.	282.	267.	251.	251.	251.	212.	212.	172.	172.	133.	133.	94.	94.	94.	94.									* tyče, vt profily i nad 400° C	
00203	17 021.2	274.	400.	220.	204.	188.	180.	172.	172.	172.																			* tyče, st profily i do 400° C	
00204	422745	319.	550.	235.	245.	240.	235.	220.	220.	220.	208.	208.	134.	134.	88.	88.	59.	59.	59.	59.									* přesné odlitiky u starých strojů	
00205	SN 422903	360.	400.	284.	231.	223.	216.	208.	208.	208.																			* svařovaná rozváděcí kola i do 400° C	
00206	422904	294.	400.	235.	220.	206.	191.	186.	186.	186.																			* svařovaná rozváděcí kola i do 400° C	
00207	422905	245.	400.	196.	180.	169.	161.	153.	153.	153.																			* rozv. lop. zalité v šedé litině (NT)	
00208	Alsih C51R-J	441.	550.	353.	328.	309.	279.	258.	258.	231.	231.	147.	147.	147.	115.	115.	88.	88.	88.	88.									* Alsihom, nahraďte 15 335	
00301	15 335.9	490.	550.	196.	186.	176.	157.	147.	142.	137.	133.	129.	123.	113.	103.	98.	93.	88.	82.	76.									* VT,ST rotory méně namáhané a studenější	
00302	15 320.9	490.	550.	196.	186.	176.	157.	147.	142.	137.	133.	129.	123.	108.	83.	70.	59.	50.	42.	35.									* VT,ST rotory více namáhané a teplejší	
00303	16 236.6	539.	550.	216.	201.	186.	167.	157.	155.	152.	142.	132.	123.	108.	93.	86.	78.	72.	65.	57.									*	
00304	16 431.6	588.	500.	235.	216.	196.	176.	167.	162.	157.	152.	137.	118.	98.	73.														*	
00305	16 431.9	637.	500.	255.	235.	216.	196.	186.	181.	176.	172.	137.	118.	98.	73.														*	
00306	16 444.6(9)	735.	420.	294.	279.	255.	230.	216.	196.	176.	147.																		* disky skládaných rotorů	
00307	16 536.6	686.	420.	276.	260.	235.	216.	206.	191.	176.	147.																		* disky svar. NT rotorů, běžně používána	
00308	16 536.6 a	314.	420.	314.	299.	276.	245.	230.	206.	176.	147.																		* disky do šířky 500 mm	
00401	PAK 1.6	490.	460.	196.	186.	172.	157.	137.	123.	88.	69.	53.	37.																	
00402	PAK 1.6 vyk.	539.	420.	216.	206.	186.	172.	152.	132.	98.	78.																			
00403	PAK 2MV.7	570.	550.	230.	221.	211.	201.	191.	186.	181.	176.	172.	167.	162.	142.	123.	103.	88.	74.	59.										
00404	P-AK 1 TD	686.	200.	275.	260.	245.																								
00501	15 320.9	588.	550.	157.	150.	144.	125.	115.	110.	105.	102.	99.	96.	82.	63.	52.	44.	37.	31.	26.										

Sqkm.....mez kluzu [Mpa]

kolidky

Příloha č. 6

**Výsledky ze základního pevnostního výpočtu pro VT a ST díl
původního řešení turbíny při změněných podmínkách**

Výsledky ze základního pevnostního výpočtu pro VT díl původního řešení turbíny při změněných podmínkách

Namáhání RK VT dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Stupeň	-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vnější průměr RK	mm	0	927	927	927	927	927	927	947	947	947
Vnitřní průměr otvoru RK	mm	0	452	452	452	452	452	452	452	452	452
Ekvivalentní tloušťka RK	mm	0	75	75	75	75	75	65	65	65	67
Výška hlavy RK	mm	0	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
Délka lopatky	mm	0	26.5	26.5	29	32	35	36.5	40	43.5	42.5
Přetlak na RK	MPa	0	0.96092	1.0507	0.95898	0.87409	0.7953	0.71851	0.64995	0.58459	0.67533
Modul průřezu v ohybu	mm ³	0	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	3273	3273	3273	3273
Alfa	°	0	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Pocet lopatek	z	0	46	46	46	46	46	50	50	46	66
Pomer r/R	-	0	0.48759	0.48759	0.48759	0.48759	0.48759	0.48759	0.4773	0.4773	0.4773
Provozní teplota	°C	0	509.61	495.22	478.16	460.9	443.42	425.71	407.89	389.81	371.54
Součinitel Fi	-	0	1.6249	1.6249	1.6249	1.6249	1.6249	1.6249	1.6563	1.6563	1.6563
Součinitel Mi	-	0	1.0056	1.0056	1.0056	1.0056	1.0056	1.0056	1.0305	1.0305	1.0305
Rameno síly	mm	0	88.75	87.75	88	88.25	88.25	88.25	88.25	98.5	96
Síla od na všechny RL	N	0	4.9433	5.4054	4.9334	4.4967	4.0913	3.6963	3.5349	3.1795	3.6729
Ohyb. moment na jednu RL	N*mm	0	7.7159	8.3421	7.6354	6.9792	6.3501	5.278	5.5079	4.3221	5.079
Maximální napětí	MPa	0	59.634	65.208	59.514	54.245	49.356	59.366	57.124	51.38	55.864
Dovolené napětí	MPa	0	84.29	90.043	96.624	103.02	109.24	115.26	121.04	126.61	131.96
Napětí je v mezích	logic	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maximální průhyb	mm	0	0.58859	0.63834	0.57704	0.52098	0.46957	0.64561	0.64578	0.57553	0.60158
Dovolený průhyb	mm	0	0.927	0.927	0.927	0.927	0.927	0.927	0.947	0.947	0.947
Průhyb je v mezích	logic	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maximální ohyb. napětí na RL	MPa	0	152.73	165.12	151.13	138.14	125.69	161.26	171.69	168.28	132.05
Dovolené ohyb. napětí	MPa	0	176.19	184.55	194.11	203.37	212.35	221.02	229.31	237.28	244.9
Ohyb. napětí je v mezích	logic	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL VT dílu od výkonu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Hmotnostní průtok	kg/s	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222	94.222
Počet OL	z	88	128	128	128	128	128	128	130	130	98
Facielnost	-	0.561	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Délka lopatky	m	0.027	0.0265	0.0265	0.029	0.032	0.035	0.0365	0.04	0.0435	0.0425
Obvodová síla	N	536.53	138.77	163.55	165.47	167.2	168.8	169	167.38	167.56	278.33
Ohybový moment	N*m	7.2432	1.8387	2.167	2.3993	2.6751	2.9539	3.0842	3.3475	3.6445	5.9146
Modul průřezu	m ³	1.47856-06	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	3.09e-07	7.06e-07
Ohybové napětí	MPa	4.899	5.9505	7.013	7.7647	8.6574	9.5597	9.9812	10.833	11.795	8.3776
Dovolené napětí	MPa	16	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ohybové napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL VT dílu odstředivou silou

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Výpočtové otáčky	s-1	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Hustota ocele	kg/m ³	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850
Střední průměr	m	0.8995	0.776	0.778	0.78	0.7825	0.7855	0.787	0.7905	0.7935	0.7975
Průměr bandáže	m	0.9535	0.829	0.831	0.838	0.8465	0.8555	0.86	0.8705	0.8805	0.8825
Plocha patního průřezu	cm ²	6.48	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	4.1472
Plocha hlavového průřezu	cm ²	6.48	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	2.3328	4.1472
Součinitel odlehčení	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Odstř. síla listu lopatky	N	7376.3	2248.5	2254.3	2473.3	2737.9	3006	3140.8	3457.3	3774.1	6588.3
Odstř. síla bandáže	N	6845.5	1423	1429.9	1454.1	1483.7	1515.4	1531.4	1544.9	1580.6	2340.3
Celková odstř. síla	N	14222	3671.5	3684.1	3927.3	4221.6	4521.5	4672.3	5002.2	5354.7	8928.6
Tahové napětí	MPa	21.947	15.738	15.793	16.835	18.097	19.382	20.029	21.443	22.954	21.529
Sjednocené napětí	MPa	31.745	27.639	29.819	32.365	35.412	38.501	39.991	43.11	46.543	38.284
Dovolené napětí	MPa	143.35	147.66	153.4	158.87	164.19	169.37	174.36	179.18	183.82	189.67
Napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání závěsů OL VT dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12
Jedná se o T-nožku	logic	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tahové napětí	MPa	22.341	29.582	29.618	31.041	32.763	34.507	35.385	37.758	39.857	47.769
Dov. tahové napětí	MPa	143.35	147.66	153.4	158.87	164.19	169.37	174.36	179.18	183.82	189.67
Tah. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Smykové napětí	MPa	68.925	19.222	19.244	20.095	21.125	22.169	22.694	24.114	25.37	30.099
Dov. smykové napětí	MPa	71.856	88.596	92.043	95.323	98.516	101.62	104.62	107.51	110.29	113.8
Smyk. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tlak na otláčení	MPa	30.675	41.722	41.785	43.516	45.611	47.738	48.808	51.703	54.258	63.952
Dovolené otláčení	MPa	94.284	221.49	230.11	238.31	246.29	254.05	261.55	268.77	275.74	284.51
Otláčení je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Výsledky ze základního pevnostního výpočtu pro ST díl původního řešení turbíny při změněných podmínkách před úpravou posledního stupně

Namáhání RK ST dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
n	-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D	mm	0	1127	1147	1147	1327	1347	1377	1407	1427	1467	1497	1537
d	mm	0	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422
h	mm	0	70	65	65	80	70	70	75	75	75	75	70
a_2	mm	0	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
L	mm	0	68	74	80	66	76	87.5	97.5	107.5	125	153	186
delta_p	Mpa	0	0.3112	0.28517	0.26037	0.35204	0.30612	0.27532	0.23571	0.20307	0.16948	0.15699	0.14983
W_min	mm3	0	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2	5052.2
alfa	°	0	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
z	-	0	56	56	56	66	66	66	58	52	52	52	60
Poměr r/R	-	0	0.37445	0.36792	0.36792	0.31801	0.31329	0.30646	0.29993	0.29573	0.28766	0.28119	0.27456
Tep	°C	0	516.98	498.62	479.84	460.63	432.5	403.46	372.15	340.88	308.97	275.65	241.13
Fi	-	0	1.9839	2.0056	2.0056	2.1749	2.1812	2.2149	2.2377	2.2523	2.2809	2.3013	2.3273
Sočinitel MI	-	0	1.2495	1.2616	1.2616	1.3472	1.3546	1.3652	1.3731	1.3814	1.3931	1.4013	1.4115
Rameno síly	F	0	114.75	124.25	123.5	114.5	124	138	149.5	161.25	180	201	227
Síla od na všechny RL	F	0	2.6691	2.5477	2.5261	4.3763	3.934	3.7149	3.3351	2.9637	2.6276	2.5435	2.5703
Ohyb. moment na jednu RL	M_1	0	4.4247	4.5731	4.1586	6.1422	5.9796	6.2841	6.9548	7.4352	7.3583	7.9539	7.8671
Maximální napětí	sigma_max	0	40.008	44.522	40.651	52.666	62.094	58.994	46.409	41.398	36.575	35.983	42.029
Dovolené napětí	sigma_dov	0	81.275	88.701	95.987	103.12	112.498	122.43	131.79	140.27	148.04	155.19	161.57
Napětí je v mezích	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maximální průhyb	Y_max	0	0.63912	0.78407	0.70836	0.97243	1.3273	1.2942	0.97367	0.8782	0.81337	0.8095	1.0478
Dovolený průhyb	Y_dov	0	1.127	1.147	1.147	1.327	1.347	1.377	1.407	1.427	1.467	1.497	1.537
Průhyb je v mezích	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maximální ohyb. napětí na RL	sigma_O	0	87.581	90.537	82.314	121.58	118.36	124.38	137.66	147.17	145.65	157.44	155.72
Dovolené ohyb. napětí	sigma_dov	0	171.8	182.6	193.18	203.51	217.74	231.3	171.14	175.55	179.99	184.56	189.23
Ohyb. napětí je v mezích	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání OL ST dílu od výkonu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
m	Kg/s	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	89.411	81.725	81.725	81.725
z	-	160	160	160	160	144	144	144	132	110	132	110	92
eps	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L	m	0.062	0.068	0.074	0.0805	0.066	0.076	0.0875	0.0975	0.1075	0.125	0.153	0.196
Delka lopatky	L	123.08	123.79	124.31	125.06	178.65	183.24	197.14	223.69	291.68	240.96	378.37	758.13
Ohybový moment	M_O	3.8134	4.2089	4.607	5.0338	6.963	8.6247	10.305	15.678	15.678	15.06	28.945	74.297
Modul pružnosti	E	3.09e+07	3.09e+07	3.09e+07	3.09e+07	7.06e+07	7.06e+07	1.0182e+08	1.5716e+08	1.5716e+08	1.0182e+08	1.5728e+08	2.6694e+08
Ohybové napětí	sigma	12.307	13.621	14.929	16.261	8.1503	9.8626	12.726	10.7	9.5707	14.791	18.407	27.707
Dovolené napětí	sigma_dov	20	20	20	20	20	20	20	20	20	16	20	20
Ohybové napětí je v mezích	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Namáhání OL ST dílu odstředivou silou

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Výpočtové otáčky	n	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Hustota ocele	kg/m3	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850
Střední průměr	D_s	0,9605	0,9655	0,9725	0,98	1,164	1,175	1,1885	1,2055	1,212	1,232	1,248	1,279
Průměr bandáže	D_b	1,0845	1,1015	1,1205	1,141	1,296	1,327	1,3635	1,4005	1,427	1,482	1,554	1,671
Plocha patního průřezu	S_p	2,3328	2,3328	2,3328	2,3328	4,1472	4,1472	4,1472	4,3572	6,48	4,3572	6,48	9,3312
Plocha hlavového průřezu	S_h	2,3328	2,3328	2,3328	2,3328	4,1472	4,1472	4,1472	3,2813	4,88	3,2813	4,88	7,0272
Součinitel odlehčení	k_od	1	1	1	1	1	1	1	1,1523	1,1523	1,1523	1,1523	1,1523
Odstř. síla listu lopatky	O_L	6511,3	7178,6	7868,6	8625,8	14933	17358	20214	24003	39572	31450	57994	1,0964e+05
Odstř. síla bandáže	O_b	1623,6	1674,9	1733,1	1797,1	3434,9	3601,2	3802	4485,2	8177,4	5022,4	9697,7	0
Celková odstř. síla	O	8134,8	8853,4	9601,7	10423	18368	20959	24016	28489	47749	36473	67691	1,0964e+05
Tahové napětí	sigma_t	34,872	37,952	41,16	44,68	44,29	50,539	57,91	56,74	63,946	72,642	90,653	101,96
Sjednocené napětí	sigma	59,566	65,194	70,978	77,261	60,991	70,264	82,343	78,161	83,895	102,22	127,47	157,32
Dovolené napětí	sigma_dov	139,94	146,29	152,54	158,67	167,29	175,43	183,55	230,95	233,4	236,42	240,03	243,35
Napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Namáhání závěsů OL ST dílu

Zkratka	Jednotky	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14
Jedná se o T-nožku	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tahové napětí	sigma_11	58,772	63,136	67,577	72,444	69,665	77,71	87,133	93,213	108,01	115,95	146,68	179,24
Dov. tahové napětí	sigma_dov	139,94	146,29	152,54	158,67	167,29	175,43	183,55	230,95	233,4	236,42	240,03	243,35
Tah. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Smykové napětí	tau_12	36,567	39,144	41,765	44,637	45,948	50,878	56,65	60,378	69,489	74,298	92,947	106,95
Dov. smykové napětí	tau_12dov	83,965	87,776	91,525	95,204	100,37	105,26	110,13	138,57	140,04	141,85	144,02	146,01
Smyk. napětí je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tlak na otláčení	p_13	78,708	84,021	89,446	95,391	102,58	113,02	125,26	133,23	156,22	162,69	206,5	274,37
Dovolené otláčení	p_13dov	209,91	219,44	228,81	238,01	250,93	263,15	275,32	346,42	350,1	354,62	360,04	365,03
Otláčení je v mezích	logic	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

kg/s | kJ/kg
MPa | °C

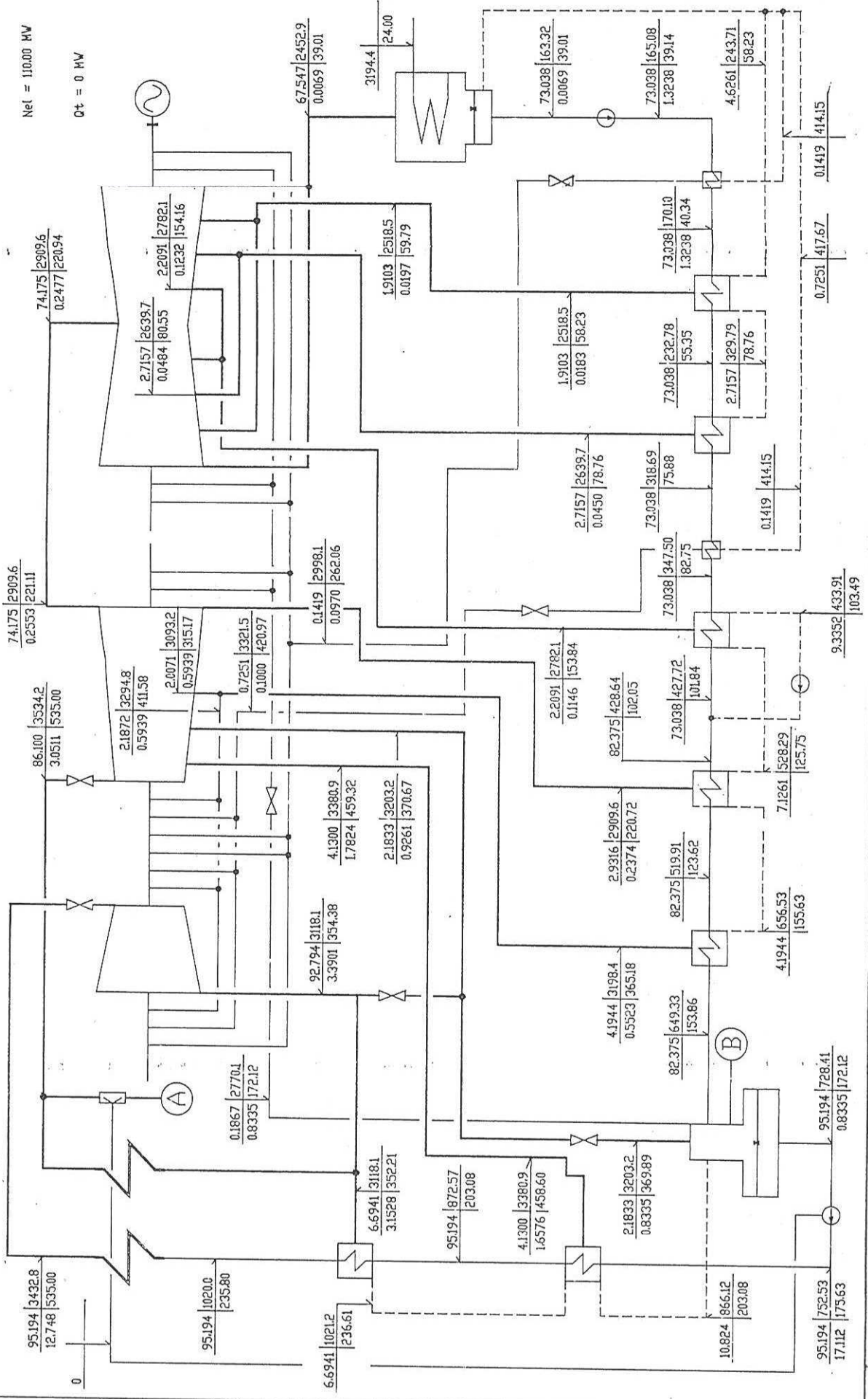
R.P.H. 3000

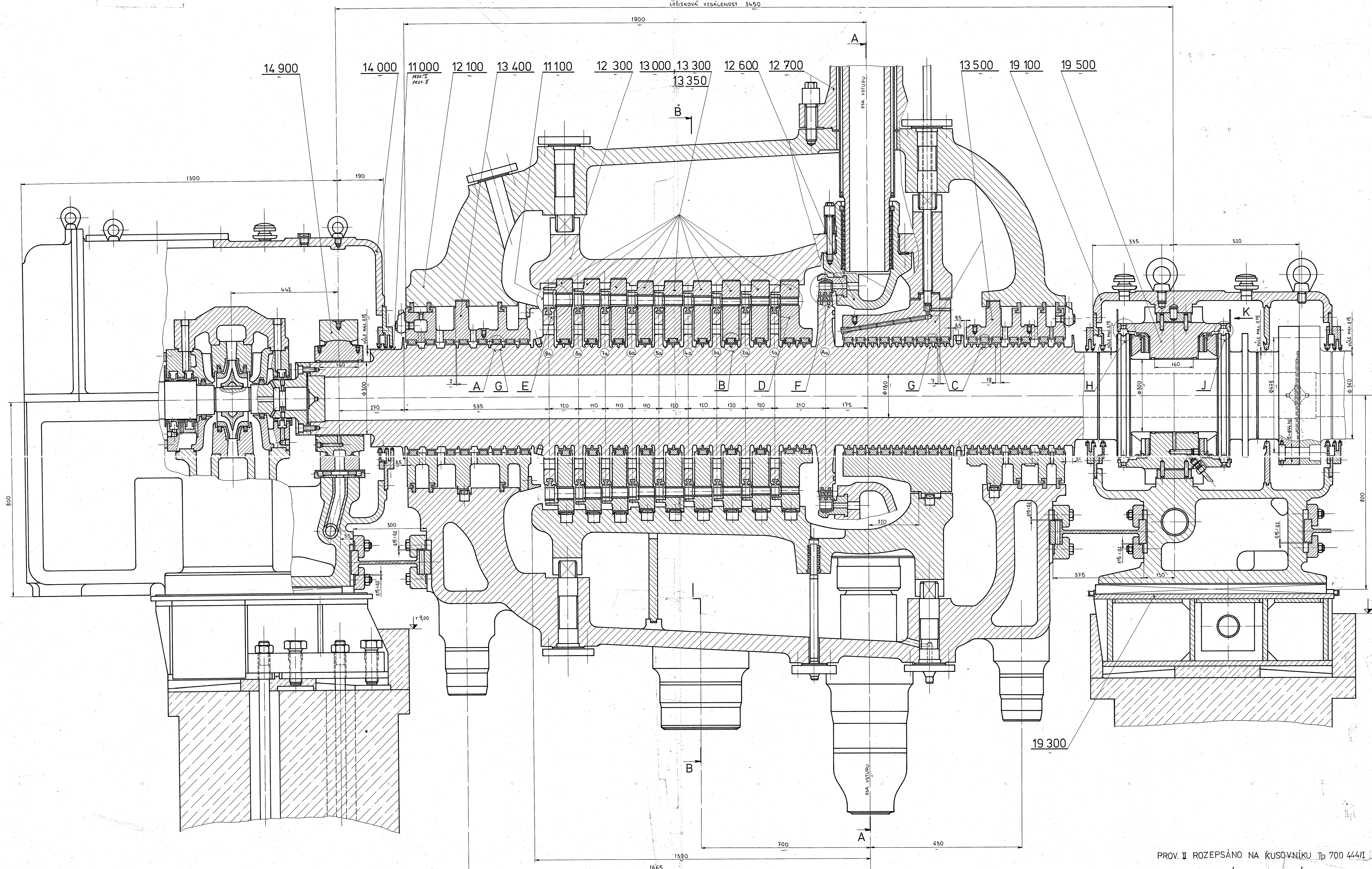
Net = 110.00 MW

Qt = 0 MW

 47-42	MĚLNÍK 110 MW		Tp 20498-S 11/01/94
	INDOVAČE 4-B KONDENZACNÍ PRŮVOD		KRIŠTOF <i>M. Kříštof</i>

$t_{1,2} = 24.0^{\circ}\text{C}$





PROV. II ROZEPŠANO NA KUSOVNÍKU Tp 700 444/I
PROV. I ROZEPŠANO NA KUSOVNÍKU Tp 429 494/I

TV III I I	Název	Mat. označení	Mat. výpočet	Číslo modelu	Číslo výkresu	Průřez	Podpis
1-5	SESTAVA VT ČÁSTI						

Typ K 110 - 15
Název SESTAVA VT ČÁSTI
Kód 062 517
List 2

D

C

B

A

4

4

3

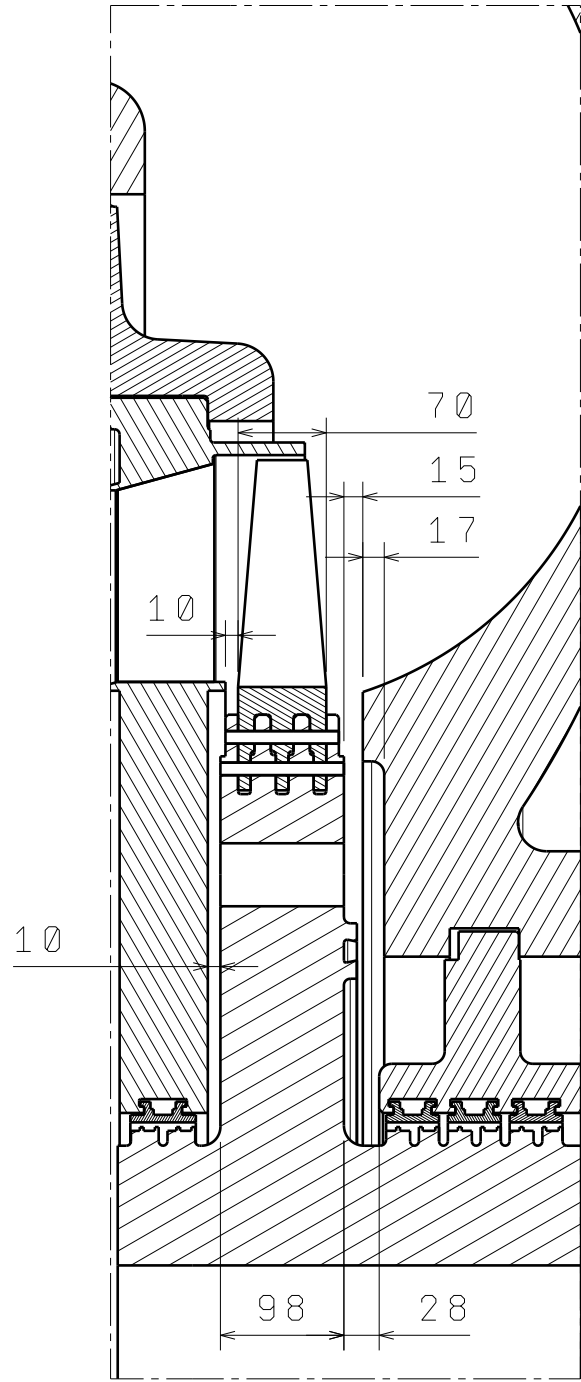
3

2

2

1

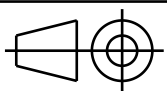
1



DESIGNED BY:
Vojtěch Legát
DATE:
28. 3. 2020

Příloha 7

SIZE
A4



Konstrukční úpravy 12. st.

SCALE
1 : 6

DRAWING NUMBER
D001

SHEET
1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A