

PARNÍ TURBÍNY EKOL PRO VYUŽITÍ PŘI KOMBINOVANÉ VÝROBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA

Ing. Bohumil Krška
Ekol, spol. s r.o. Brno

ANOTACE:

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla je nejvíce propracovaná metoda pro efektivní využití energie, parní turbíny jsou vhodnou aplikací pro tuto výrobu. Hlavní pozornost je věnována dosažení maximální účinnosti celého zařízení, tj. vyrobit maximum elektrické energie, tepla nebo chladu při minimální spotřebě paliva.

Cílem přednášky je představit rozmanitost typů a možností použití parních turbín Ekol a konstrukční řešení hlavních částí parních turbín.

ÚVOD:

Firma Ekol navazuje na tradice výroby parních a spalovacích turbín v České republice, především brněnského podniku PBS. V příštím roce firma Ekol oslaví již 20 let svého působení na trhu v oblasti energetických strojů a zařízení. V počátcích se firma věnovala především servisním činnostem, úpravám a rekonstrukcím těchto zařízení, od roku 1998 se EKOL zařadil mezi výrobce nových parních turbín vlastní koncepce. Do současné doby firma Ekol vyrobila a uvedla do spolehlivého provozu více než 35 parních turbín různých typů ve výkonové řadě 1 – 60 MW.

1. ROZDĚLENÍ PARNÍCH TURBÍN PRO VYUŽITÍ PŘI VÝROBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA

Základní rozdělení parních turbín pro využití při výrobě elektrické energie a tepla je na turbíny kondenzační a protitlakové. Protitlakové jsou konstruovány tak, že veškerá pára z protitlaku je použita pro vyvedení tepla, nebo turbíny odběrové, kdy se odebírá z turbíny jen část hmotnostního průtoku páry a zbytek expanduje dále v nízkotlaké části turbíny. Regulované odběry můžeme realizovat u turbín protitlakových i kondenzačních.

1.1. Označení typů parních turbín dle ČSN 080010

- K – kondenzační bez regulovaného odběru páry
- P – kondenzační s regulovaným odběrem (RO) páry průmyslovým
- T – kondenzační s RO páry teplárenským
- PT – kondenzační se dvěma RO páry – průmyslovým a teplárenským
- PP – kondenzační se dvěma RO páry – průmyslovými
- R – protitlaková turbína bez RO páry
- PR – protitlaková s RO páry průmyslovým
- TR – protitlaková s RO páry teplárenským
- PTR – protitlaková se dvěma RO páry průmyslovým a teplárenským

Rozsah protitlaků a regulovaných odběrů páry:

Do 1,2 bar abs

komunální sféra – ohřev topné vody

1,2 – 5,0 - 10,0 - 13,0 - 18,0 - 35,0 bar abs průmyslová sféra – technolog. pára

Regulace tlaku v odběrech je řešena:

- regulačními ventily (zpravidla pro vyšší parametry páry v odběru nad 10 barů)
- nebo regulační clonou (pro nižší parametry páry v odběru do 10 barů).

Tabulka 1: Základní technické parametry odběrových parních turbín Ekol:

Označení řady	typ	Max. svorkový výkon [MW]	Počet těles	Max. vstupní tlak [bar(a)]	Max. vstupní teplota [°C]	Maximální počet reg. odběrů [-]	Maximální počet nereg. odběrů [-]	Výstupní tlak [bar (a)]	Max otáčky [1/min]
EPT1	Kondenzační s odběrem	3,5	1	45	450	1	1	0,06-1,5	16000
EPT2	Kondenzační s odběrem	8	1	60	470	1	1	0,06-1,5	10000
EPT3	Kondenzační s odběrem	14	1	90	535	1	2	0,06-1,5	7500
EPT4	Kondenzační s odběrem	20	1	90	535	2	3	0,06-1,5	6000
EPT5	Kondenzační s odběrem	35	1	110	535	2	6	0,06-1,5	5000
EPT6	Kondenzační s odběrem	70	2	135	535	2	6	0,06-1,5	3000
EPR1	Protitlaková s odběrem	3	1	60	450	1	0	Max. 24	16000
EPR2	Protitlaková s odběrem	8	1	70	470	1	1	Max 24	12000
EPR3	Protitlaková s odběrem	14	1	90	535	1	1	Max. 24	9000
EPR4	Protitlaková s odběrem	20	1	110	535	1	2	Max. 24	8000
EPR5	Protitlaková s odběrem	30	1	135	535	2	3	Max 24	6000
EPR6	Protitlaková s odběrem	70	2	135	535	2	4	Max 24	5500

1.2. Rozsah technických parametrů parních turbín EKOL z hlediska projektu :

Typy turbín :

Protitlakové - R
 Kondenzační - K
 Odběrové - P, T, PP, PT, PR

Výkonové třídy :	1 – 3,5 – 8 – 14 – 20 – 35 – 70 MW
Otáčky :	3 000 – 20 000 min ⁻¹
Orientační parametry vstupní páry :	4,5 MPa 450 °C
	6,0 MPa 470 °C
	9 MPa 535 °C
	13,5 MPa 535 °C

2. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VYBRANÝCH CELKŮ PARNÍCH TURBÍN

Technické řešení celého soustrojí je podřízeno maximální vnitřní termodynamické účinnosti, která se u turbín Ekol pohybuje v rozmezí 0,79 – 0,89 podle typu turbíny, vstupních a výstupních parametrů. Vysoká vnitřní termodynamická účinnost je dosahována především díky individuálnímu přístupu ke každému z projektů. Specifické požadavky zákazníka jsou analyzovány a je vždy navrženo optimální řešení. Pro porovnání vnitřních termodynamických účinností parních turbín světových výrobců firma Ekol provedla marketingový průzkum trhu s těmito výsledky.

Tabulka 2: Porovnání vnitřní účinnosti turbíny různých světových výrobců parních turbín s turbínami firmy EKOL

Výrobce	Vnitřní účinnost turbíny
Kalužský turbinový závod Kaluga	0,78-0,82 *)
Siemens	0,85-0,89 *)
Škoda Power	0,78-0,89 *)
Fincantieri	0,75-0,85 *)
EKOL	0,79-0,89

*) Poznámka: Jedná se neoficiální informace získané marketingovým průzkumem trhu

V současné době jsou konstruovány výhradně vysokootáčkové parní turbíny, které umožňují optimalizovat průtočný kanál turbíny. Dá se zjednodušeně říci, že vysokootáčková turbína (cca 10000 min⁻¹) má asi ½ rozměry proti turbíně klasické koncepce n=3000 min⁻¹. Důsledkem procesu optimalizace vysokootáčkových parních turbín jsou následující výsledky:

- nižší počet stupňů lopatek
- vyšší vnitřní termodynamická účinnost o 5 – 10 % absolutně proti koncepci turbíny s otáčkami n = 3000 min⁻¹
- cca ½ rozměry
- cena vysokootáčkových turbín včetně příslušenství (převodovka a generátor) je nižší než u klasické koncepce n = 3000 min⁻¹

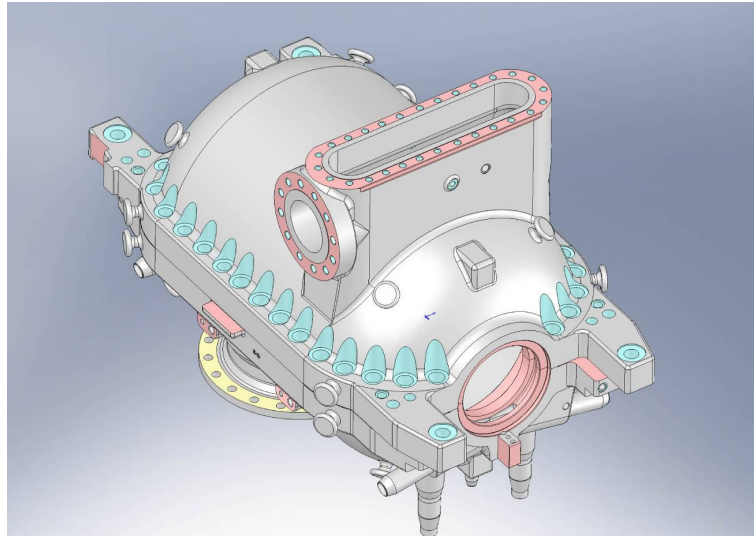
Je zřejmé, že turbína je složité zařízení, což si vyžaduje specializaci jednotlivých konstruktérů. Konstruktéři fy Ekol jsou rozděleni dle jednotlivých celků parní turbíny.

2.1. Statorové části

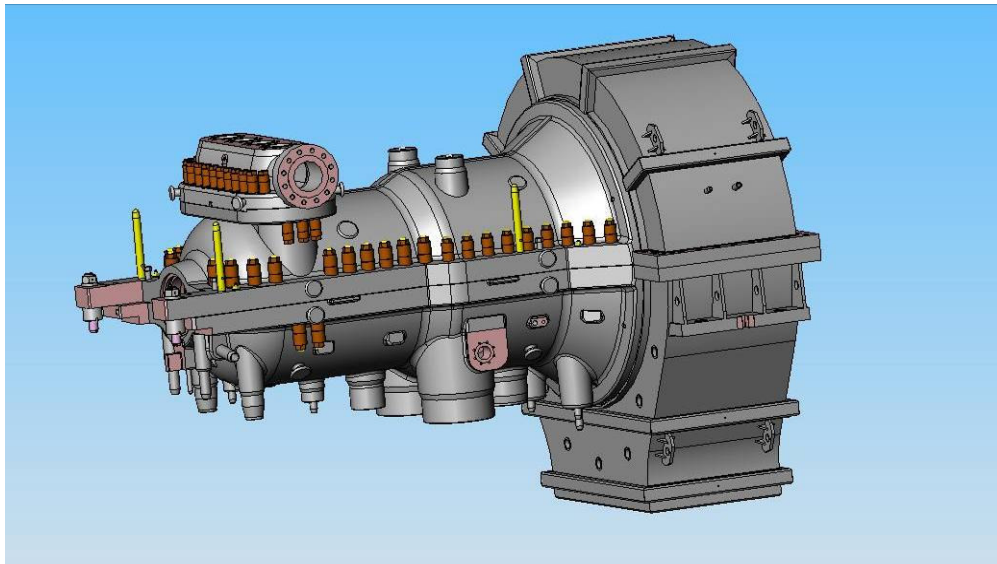
2.1.1. Turbínová skříň

Turbínovou skříň řešíme pro rozsah provozních parametrů, což znamená, že je možné stejný odlitek skříňe použít pro výkonovou řadu.

Obr.1 Turbínová skříň protitlakové turbíny typu R8 – 4,5/0,3

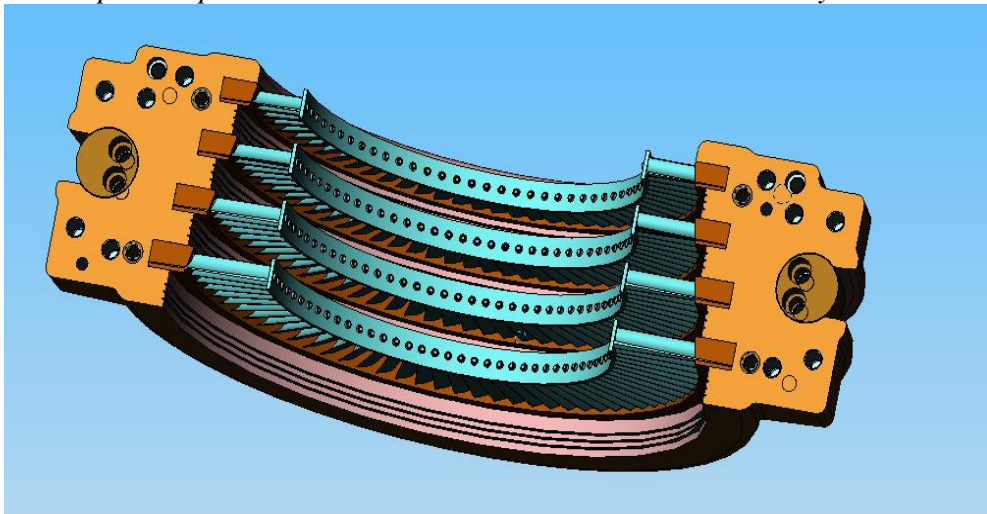


Obr.2 Turbínová skříň s výstupním hrdlem kondenzační turbíny
T10-4,0/0,2 - model



2.1.2. Nosiče lopatek

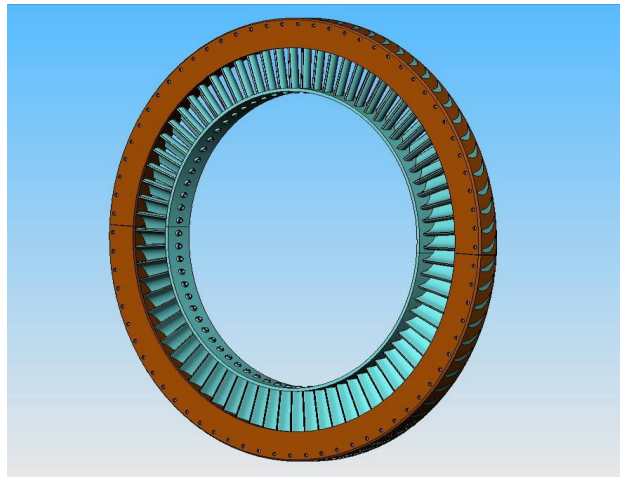
Obr. 3: Nosič lopatek – pohled na dělicí rovinu a vložené statorové kruhy - model



2.1.2.1. Statorový kruh - snížení ztrát proti koncepci statorového lopatkování lopatka s mezerníkem

- okrajových
- profilových
- nesprávným úhlem náběhu proudu páry
- zvýšení vnitřní termodynamické účinnosti o 2 – 4 %
- průmyslový vzor Ekol
- podstatné zkrácení montážních časů až o 75% proti koncepci lopatka + mezerník

Obr. 4: Statorový kruh



2.1.3. Ucpávky

Ucpávky zajišťují těsnění přetlakových i podtlakových prostor turbíny vůči atmosférickému tlaku. Užíváme zásadně labyrintové ucpávky ve kterých nenastává přímý styk mezi nepohyblivou statorovou a pohyblivou rotorovou částí. Hmotnostní průtok je dán vztahem

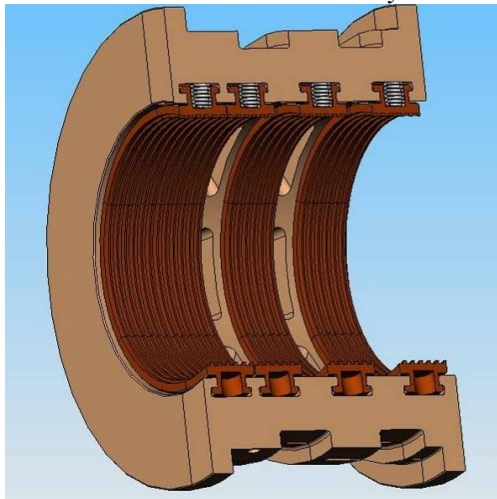
$$\dot{m}_u = f(A, \mu, z, p1/v1) \quad (1)$$

kde A je průtočná plocha, která je funkcí průměru a radiální vůle, μ je průtokový součinitel, z je počet břitů a $p1/v1$ jsou parametry (tlak, měrný objem) na vstupu do ucpávky. Při konstrukci ucpávky jsou důležité veličiny A , z , pomocí kterých lze snižovat mechanické ztráty, definované rovnicí

$$\eta_{vol} = \frac{\dot{m}_u}{\dot{m}_0} \quad (2)$$

kde \dot{m}_0 je hmotnostní průtok páry do turbíny. Pružné uložení ucpávek dle obr. 5 umožňuje snížit volumetrické ztráty, které obvykle činí $\eta_{vol} = 0,97 - 0,99$. Použití tohoto typu ucpávek také výrazně zvyšují provozní spolehlivost.

Obr. 5: Přední parní ucpávka - dělené odskakovací kroužky



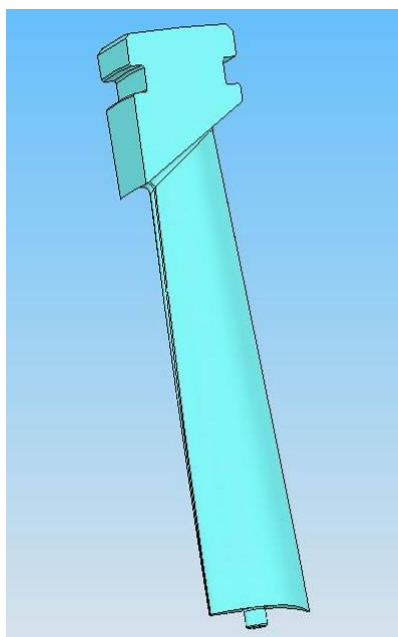
2.2. Lopatkování

Samozřejmostí je 3D návrh a výpočet profilů, závěsů a bandáží lopatek, snižování ztrát, ekonomika výroby a montáže. Lopatkování řešíme jako bandážované, protože aplikací bandážovaných lopatek zvyšujeme vnitřní termodynamickou účinnost až o 2-5% snížením ztrát okrajové a ztrát vnitřní netěsností.

2.2.1. Statorové lopatkování

- Přetlakové lopatkování je řešeno pomocí statorových kruhů viz 2.1.2.1. – Obr. 4
- Poslední stupně statorových lopatek u kondenzačních turbín řešíme pomocí frézovaných lopatek s proměnným profilem po výšce listu lopatky, s temvanou bandáží

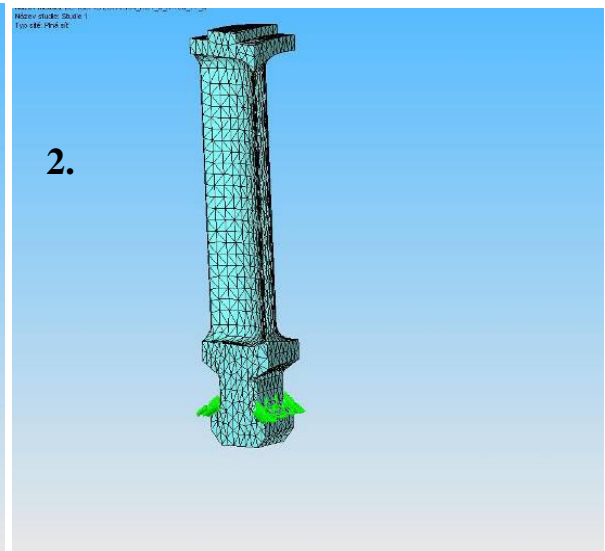
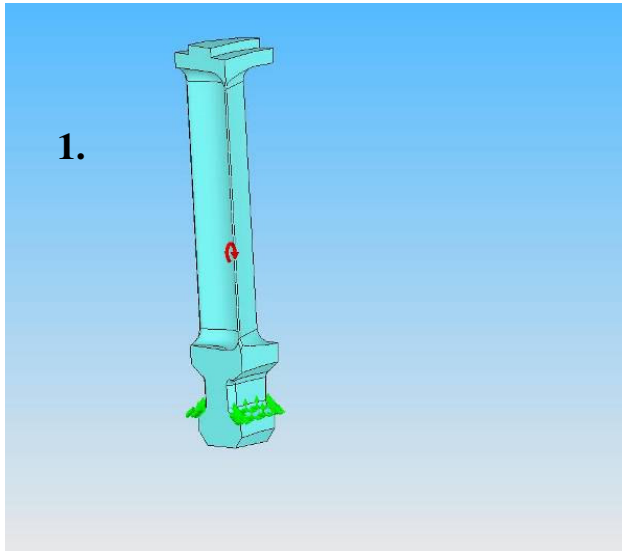
Obr. 6: Statorová lopatka posledních stupňů u kondenzačních turbín



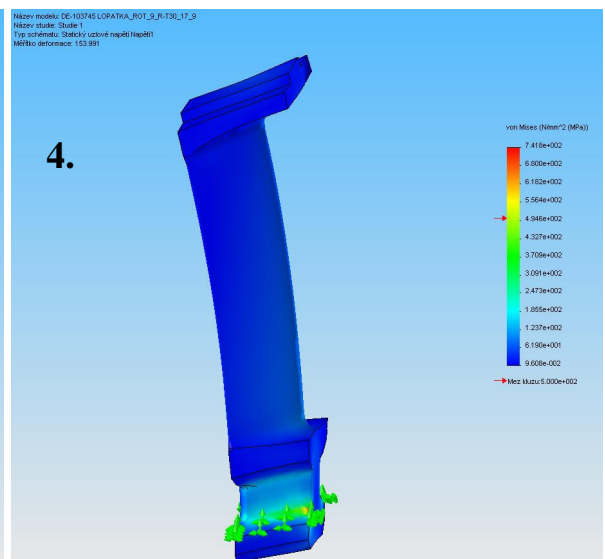
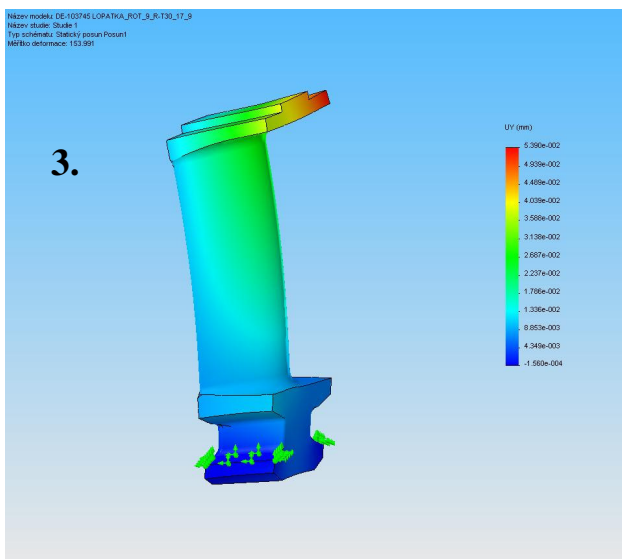
2.2.2. Rotorové lopatkování

Obr. 7: Postup návrhu a výpočtu přetlakové lopatky

- 1 – 3D model rotorové lopatky, zadání okrajových podmínek
- 2 – vytvoření výpočtové sítě modelu a případné zjemnění sítě v exponovaných místech

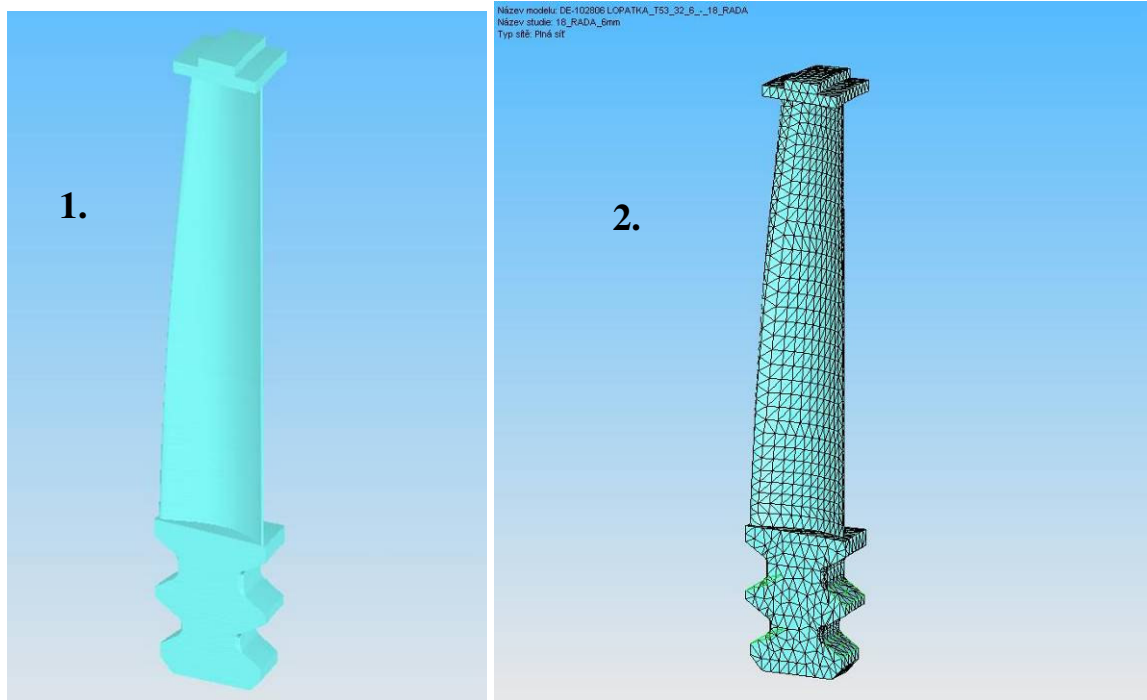


- 3 – deformace lopatky včetně bandáže
- 4 – namáhání jednotlivých částí lopatky

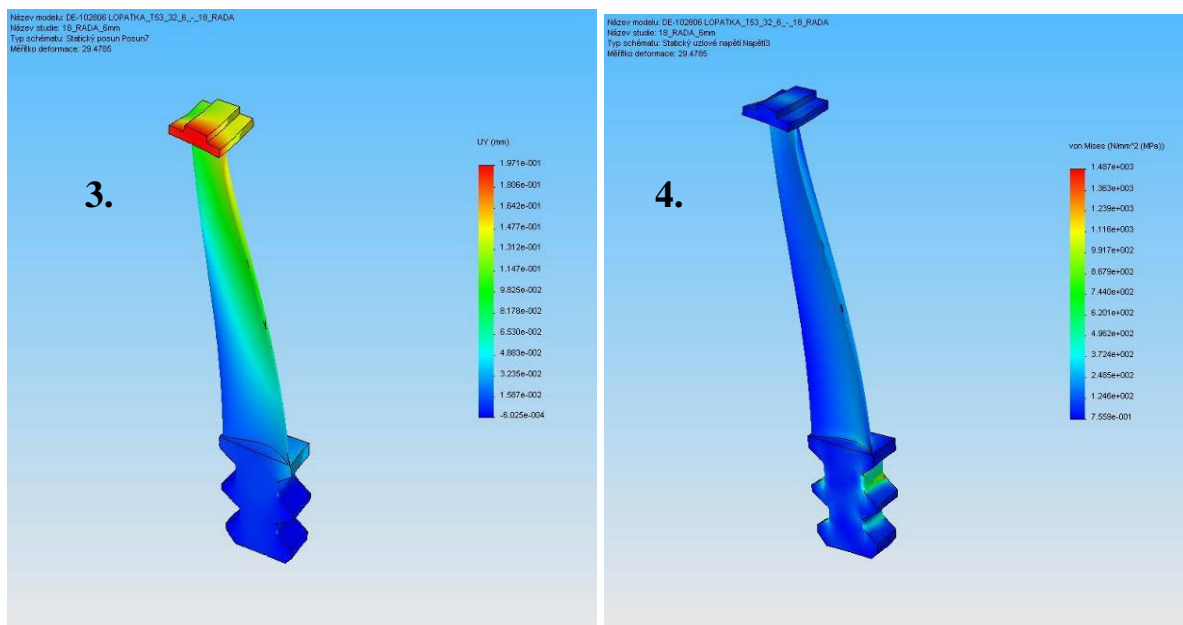


Obr. 8: Postup návrhu a výpočtu lopatky posledních stupňů

- 1 – 3D model rotorové lopatky, zadání okrajových podmínek
- 2 – vytvoření výpočtové sítě modelu a případné zjemnění sítě v exponovaných místech



- 3 – deformace lopatky včetně bandáže
- 4 – namáhání jednotlivých částí lopatky



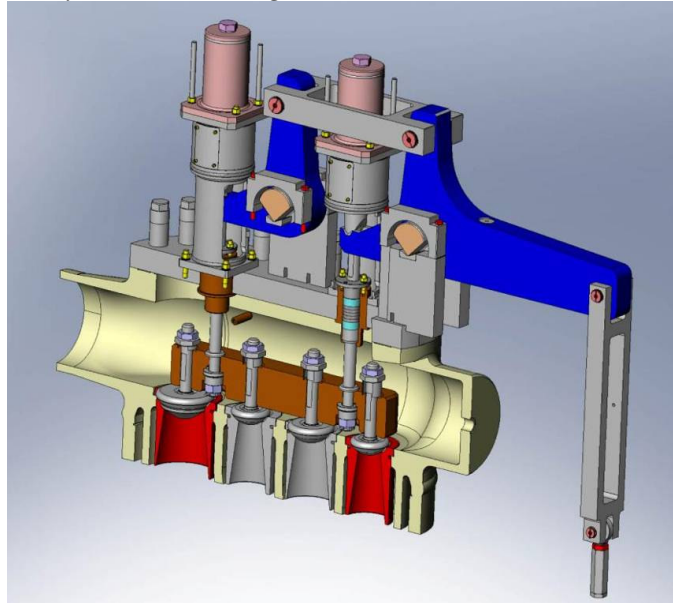
2.3. Regulační ventily a regulační clony

Koncepce řešení regulačních ventilů používáme dvě základní:

3.3.1 Trámcová regulace:

Koncepci trámčové regulace používáme pro minimálně 4 regulační kuželky a také při nízkotlakovém pohonu regulace. Předností této koncepce je nižší počet dílů, jednodušší konstrukce, jeden pohon pro celou soustavu. Nevýhodou je při změně zdvihu jednotlivých kuželek nutnost demontáže celé soustavy.

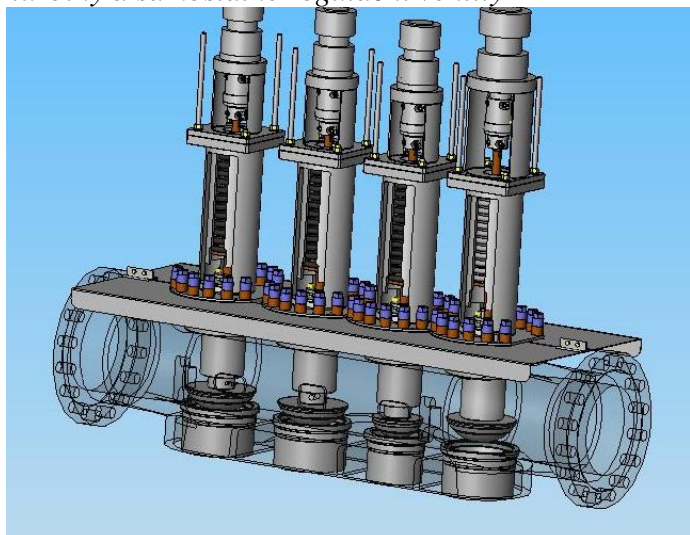
Obr. 9: Vstupní část turbíny a trámčová regulace



3.3.2 Samostatné regulační ventily:

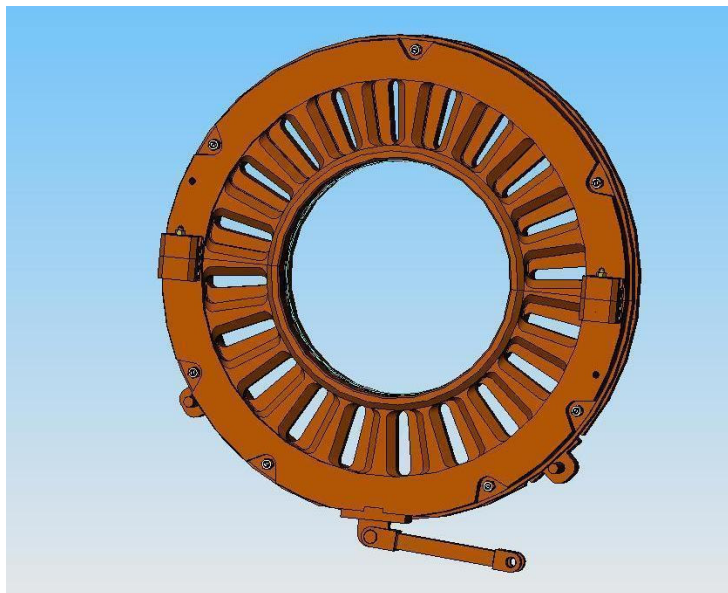
Koncepci samostatných ventilů používáme pro maximálně 4 regulační kuželky a také při požadavku na vysokotlakový pohon ventilů. Předností této koncepce je možnost operativně reagovat na změnu požadavků zdvihů nebo jeho přestavení bez rozsáhlé demontáže, možnost ovládat jednotlivé regulační kuželky nezávisle na sobě, navíc je možno přesně sledovat polohu jednotlivých kuželek. Nevýhodou je větší počet dílů, složitější konstrukce, nutnost pohonu pro každý ventil.

Obr. 10: Vstupní část turbíny a samostatné regulační ventily



3.3.3 Regulační clona:

Regulační clonou regulujeme parametry páry v regulovaném odběru. Clonu používáme pro parametry páry v regulovaném odběru do 10 barů.



3. ZÁVĚR

Cílem přednášky bylo představit rozmanitost typů a možností použití parních turbín Ekol. Parní turbíny firmy Ekol jsou šité na míru jednotlivým požadavkům zákazníka, což Ekolu umožňuje být důstojným konkurentem významným evropským i světovým výrobcům. Od roku 2009 se firma Ekol rozšířila o významnou divizi kotlů, což v současné době umožňuje Ekolu nabízet kompletní elektrárny – kotel, parní turbínu a veškeré ostatní příslušenství.

Dalším záměrem přednášky bylo seznámit posluchače s rozdělením a možnostmi parních turbín, technickým řešením některých uzlů parních turbín a představit některé aplikace parních turbín z realizovaných zakázek

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla je nejvíce propracovaná metoda pro efektivní využití energie. Parní turbíny jsou vhodnou aplikací pro kombinovanou výrobu. Ekol nabízí parní turbíny pro městské a závodní teplárny do výkonu 60 MW. Hlavní pozornost je věnována požadavkům zákazníka s cílem maximální účinnosti celého zařízení, tj. vyrobit maximum elektrické energie, tepla nebo chladu při minimální spotřebě paliva.

LITERATURA

- [1] Veselý, S. : “Parní turbíny pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla” Teplárenské dny, H. Králové, 2004
- [2] Technické a prospektové materiály firmy Ekol, spol s r.o. , Brno