



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

WP06: WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze, zodpov. osoba Doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

Vysoké učení technické v Brně P. Novotný, Honeywell spol. s r.o. P. Škara

Hlavní cíl balíčku a jeho plnění za dobu projektu

Hlavním cílem je vyvinout nástroje, které umožní dosáhnout zlepšení účinnosti lopatkových strojů o 5% (relativně). To úzce souvisí s vylepšením následujících parametrů – návrh tvaru lopatek kompresoru/turbíny, řízení turbodmychadla (s využitím spolehlivé předpovědi pracovních map lopatkových strojů), snížení mechanických ztrát.



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Náplň pracovního balíčku

2012 - 2015: Vývoj 1-D nestacionárních CFD modelů turbíny a kompresoru, jež se využijí v rámci 0-D/1-D simulací celého motoru včetně příslušenství (ČVUT). => **hotovo**

2012 - **2017**: Experimenty (realizované také ve spolupráci s Honeywell s.r.o) na spalovacích motorech zaměřené na zpřesnění kalibrace 1-D modelů turbíny/kompresoru (ČVUT). => **splněno**

2012 - 2017: Detailní 3-D CFD nástroj pro kalibraci 1-D modelu turbíny/kompresoru. (ČVUT). => **splněno**

2013 - 2017: Databáze 1-D modelů turbodmychadel. (ČVUT). => **splněno**

2014 – 2017: Virtuální testování turbodmychadel s cílem optimalizovat strategie řízení (společná aktivita ČVUT s Honeywell s.r.o). => **splněno**



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Náplň pracovního balíčku

2012 - 2013: Porovnávání různých konceptů, které přicházejí v úvahu pro využití energie spalín obsažené ve výfukových plynech vozidlového motoru (Honeywell s.r.o). => **hotovo**

2014 – 2015: Zpracovávání vybraného konceptu do podoby možného konstrukčního řešení s ohledem na omezení daná zástavbovými prostory na vozidle (Honeywell s.r.o). => **hotovo**

2016 – 2017: Optimalizování turbínové části systému a interakce s ostatními komponenty tak, aby bylo dosaženo maximální účinnosti při minimálním ovlivnění vlastností turbodmychadla (Honeywell s.r.o). => **splněno**

2016 – 2017: Optimalizování řídicího systému rozdělení výkonu v případě aplikace výkonové turbíny, definování vhodných regulačních strategií (Honeywell s.r.o). => **splněno**



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Náplň pracovního balíčku

2012 – 2014: Dynamika rotorů turbodmychadel a tvorba virtuálního prototypu. (VUT v Brně).
=> **hotovo**

2016 – 2017: Návrhy pro zlepšení konstrukce axiálního ložiska rotoru turbodmychadla. (VUT v Brně). => **splněno**



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Probíhající plánované aktivity v rámci WP06:

- ČVUT:

- 1-D turbína (twinscroll) – simulace + experimenty
- 1-D model kompresoru – simulace
- zjednodušený CFD model radiální turbíny (2-D/3-D Eulerovy rovnice) – simulace
- 3-D CFD modely reálných geometrií turbíny/kompresoru – simulace

- Honeywell:

- výkonová turbína (turbocompound) – turbinový stupeň s maximální účinností

- VUT:

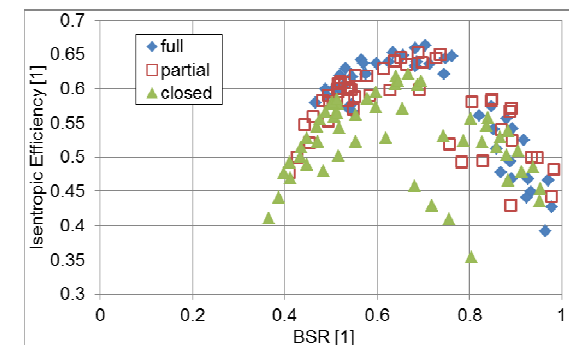
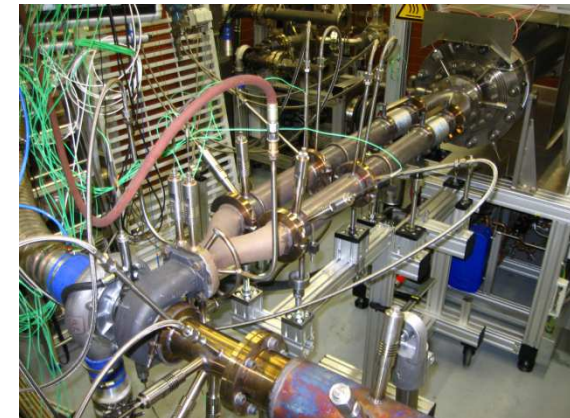
- modelování chování ložisek rotoru turbodmychadla



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

1-D turbína: (CZ K27 twin-scroll) – simulace + experimenty

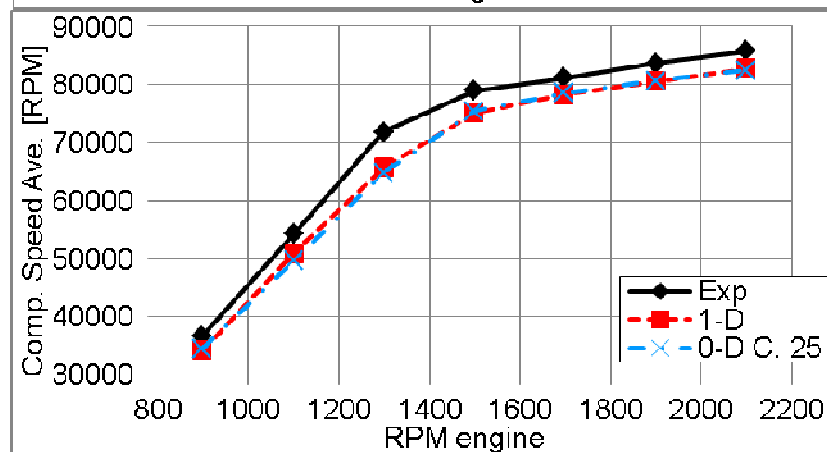
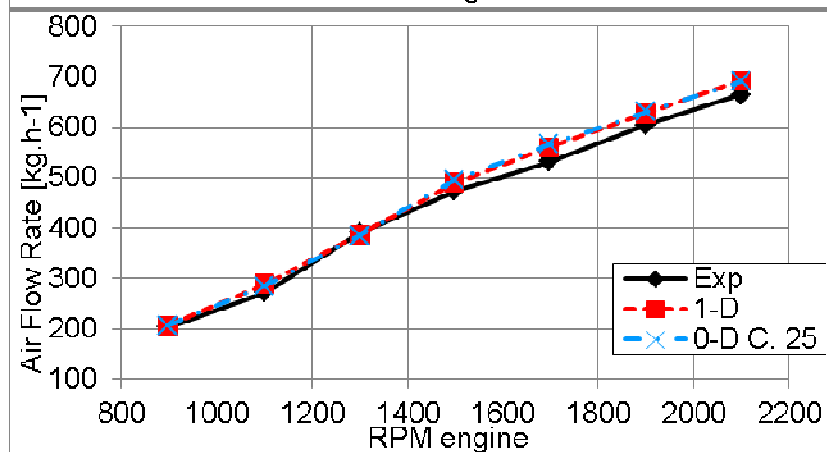
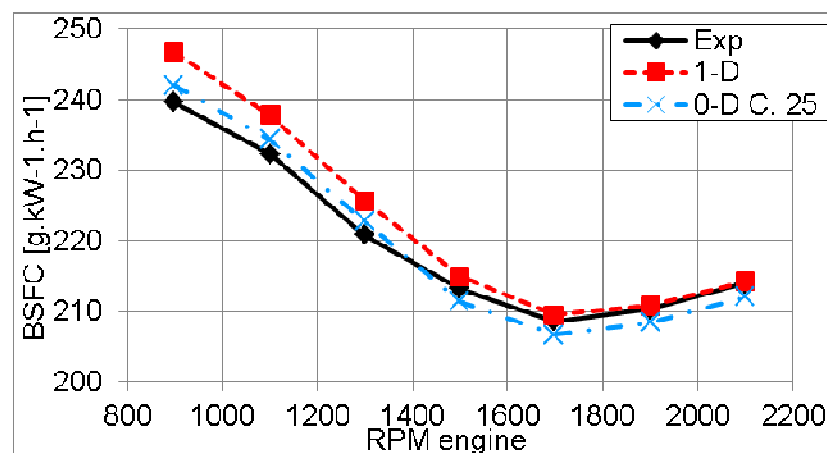
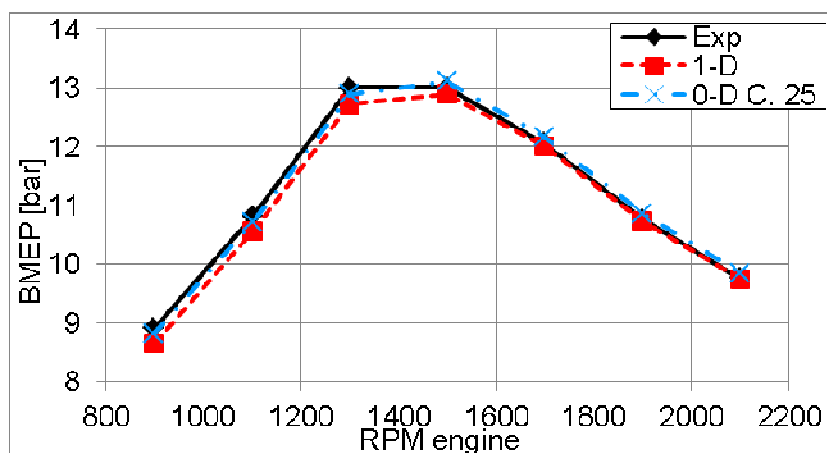
- *simulace*:
 - model exp. stanoviště pro srovnání simulace vs. experiment
 - model motoru JohnDeer
- *experimenty*:
 - navrženo a realizováno měřicí stanoviště pro testování CZ turbin, a to včetně dvouvstupových verzí
 - experimenty na motoru JohnDeer (6-válec)





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

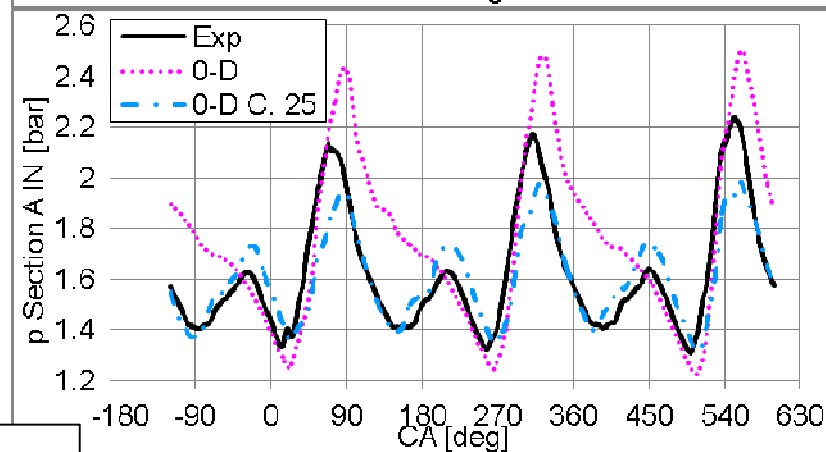
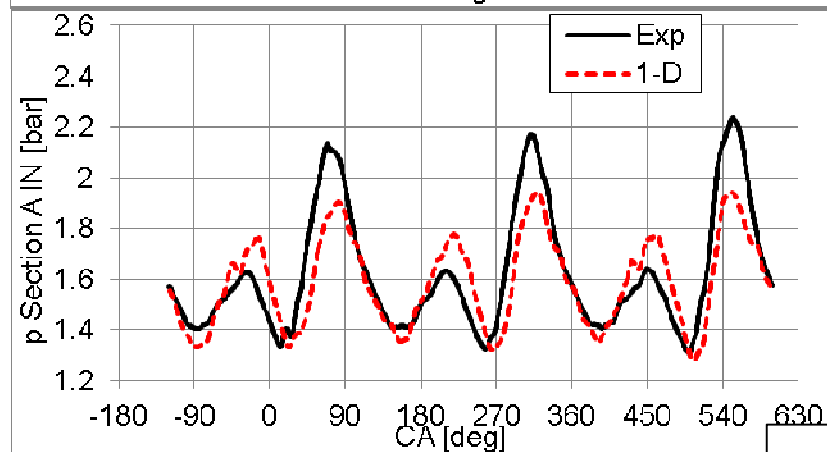
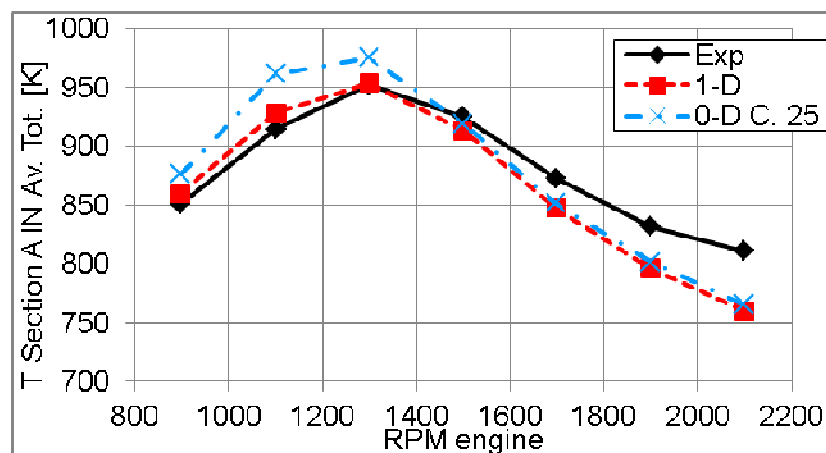
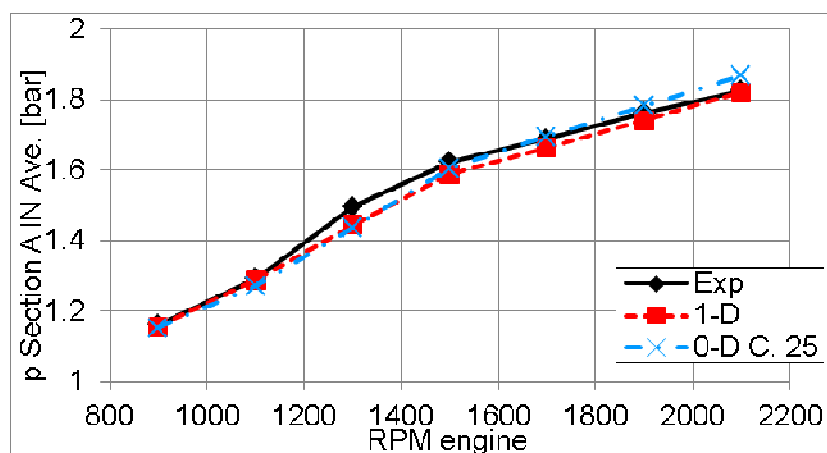
1-D turbína: (CZ K27 twin-scroll) – simulace + experimenty





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

1-D turbína: (CZ K27 twin-scroll) – simulace + experimenty

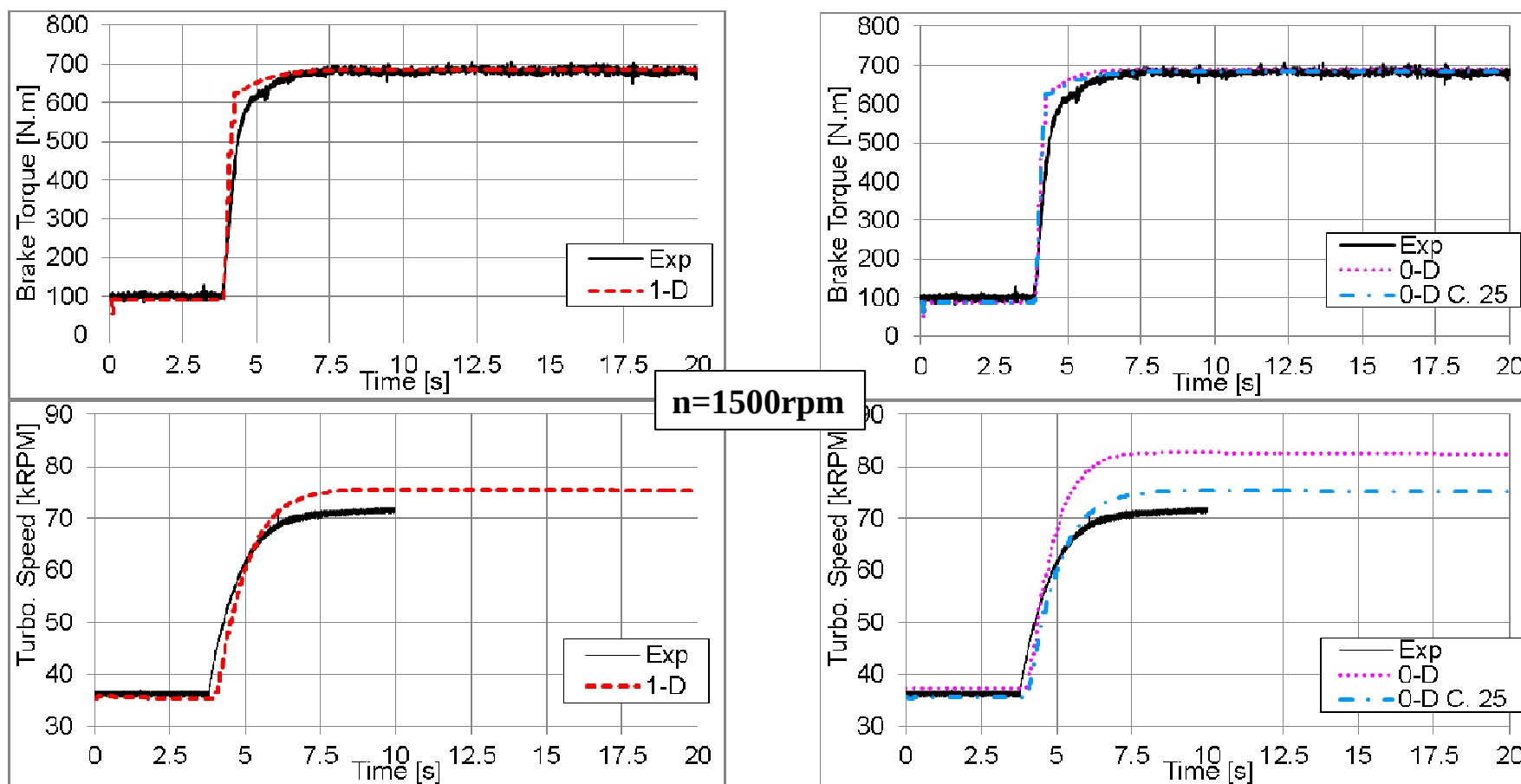


n=1500rpm



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

1-D turbína: (CZ K27 twin-scroll) – simulace + experimenty





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

1-D kompresor: simulace + experimenty

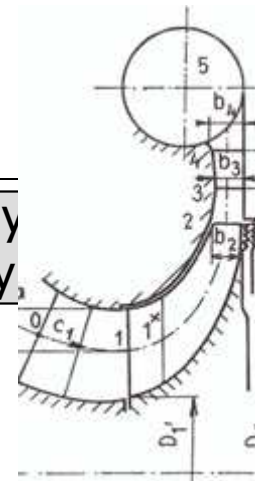
- 1-D model kompresoru je založen na zkušenostech z modelu turbíny na střední proudnici. Poslední verze tohoto modelu používá přístup vlastní simulaci kompresoru, tj. určení tlaků v jednotlivých řezech kanálů na základě daného průtoku.
- Pro určení celkových tlaků byla vyvinuta iterace pomocí Newtonova algoritmu vhodná pro vysoké subsonické rychlosti, kde původně navržená prostá iterace pro turbínu selhává.

Postup: transformace stator-záběrník $\Rightarrow$ **Howellova modifikovaná ztráta** v záběrníku podle úhlu náběhu a oprava na supersonické jevy na špičkách záběrníku $\Rightarrow$ **Stodolův vír** v radiální části, ventilační ztráta disku a zpětný průtok netěsnostmi/IRC $\Rightarrow$ transformace rotor – bezlopatkový difusor $\Rightarrow$ **poloha rázové vlny (pro $M > 1$)** a **ztráta bezlopatkového difusoru** $\Rightarrow$ **ztráta lopatkového difusoru podle úhlu náběhu** $\Rightarrow$ **ztráta spirály**

Tučně vyznačeny parametry ztrát kalibrované pomocí měření a genetického optimalizačního algoritmu. **$M > 1$ není dosud hotovo.**



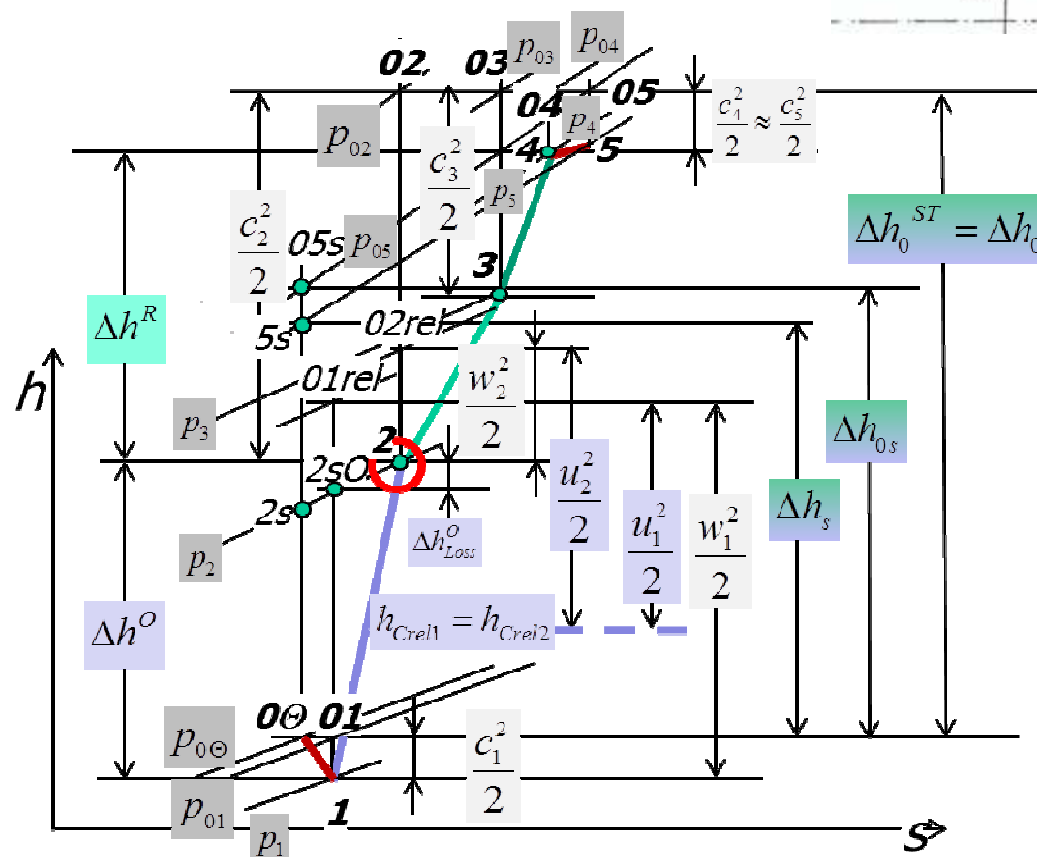
Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynamická optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory,



h ... specific enthalpy, 0 ... stagnation, C ... total
 R ...diffuser, O ...impeller, ST ... stage

1-D kompresor:

- Ztráty v mřížích s modifikovanými Howellovými vztahy podle úhlu náběhu. Určení kalibračních součinitelů včetně úhlů profilu dle optimalizace odchylek.
- Celá práce je předána v rotoru, podle modifikované Eulerovy věty lze najít parametry Stodolova víru (opět optimalizací).
- Netěsnosti a IRC parametry budou určeny podle průtoku a ztrát.
- Ventilační ztráty jen dle empirických vzorců.

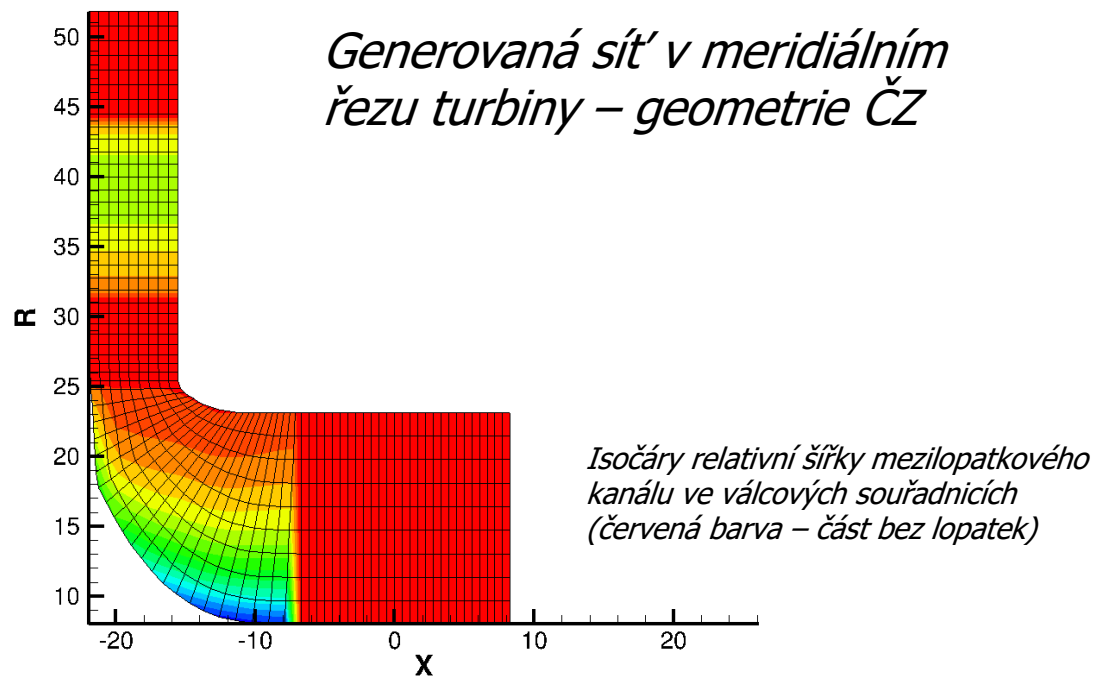




Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Zjednodušený CFD nástroj pro popis dějů v lopatkových strojích:

- etapa: rozšíření metody na radiální turbínu
- 2.5D metoda: Eulerovy rovnice + empirické modely

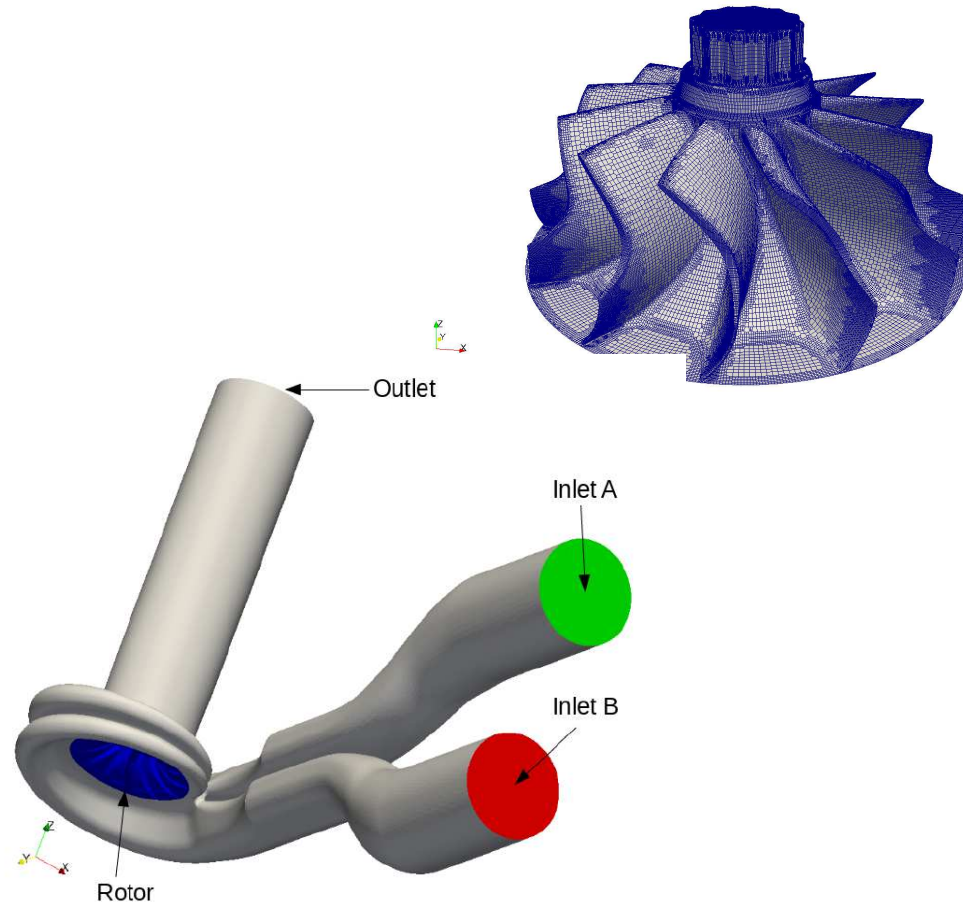




Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Vlastní CFD nástroje: detailní 3-D CFD nástroj v prostředí openFOAM

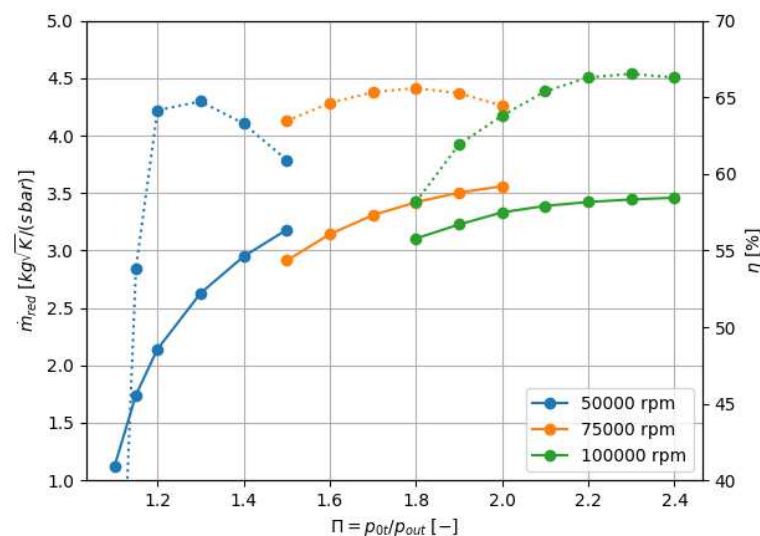
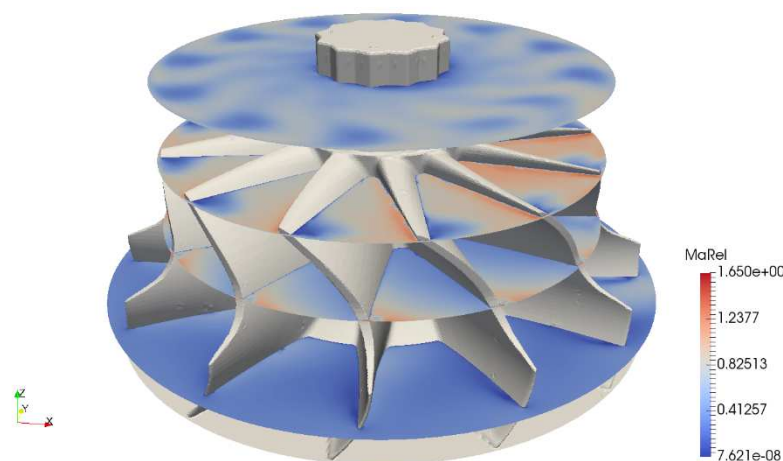
- Vlastní numerická metoda pro řešení stlačitelného trans-sonického proudění (AUSM+up + LU-SGS).
- Aplikováno do prostředí openFOAM.
- Možnost řešení plně pohyblivého rotoru (sliding interfaces) nebo se zastaveným rotorem (frozen rotor).
- Ventilační ztráty jen dle empirických vzorců.
- Aplikováno na turbínu CZ K27, použit přístup *frozen rotor*.





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Vlastní CFD nástroje: detailní 3-D CFD nástroj v prostředí openFOAM





**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

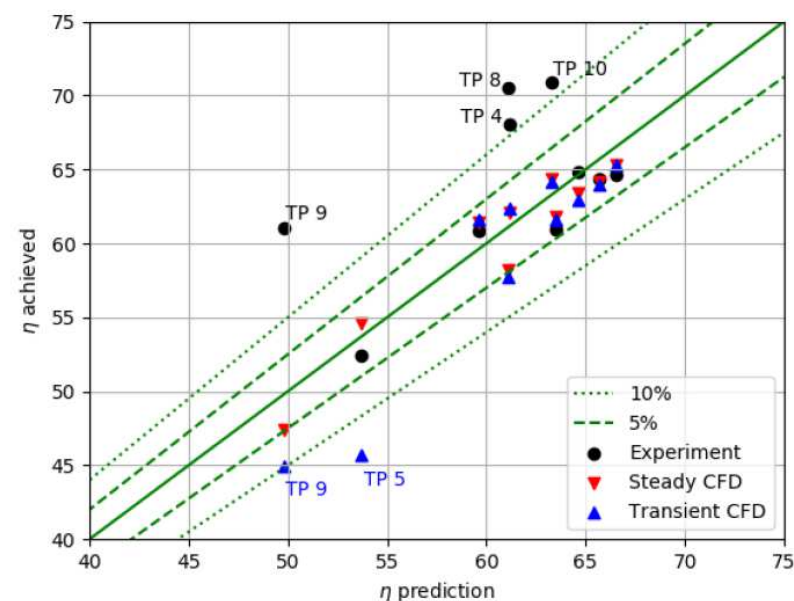
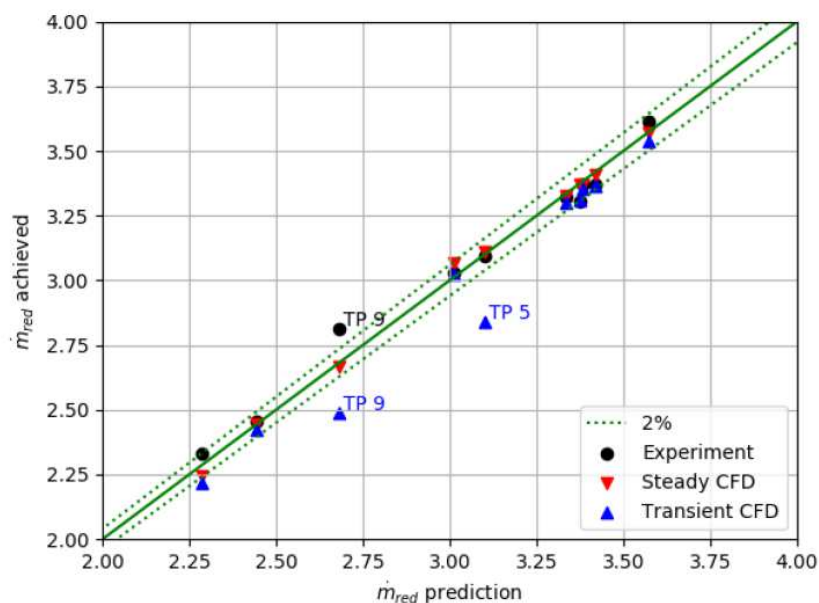
- AutoSymposium a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Vlastní CFD nástroje: detailní 3-D CFD nástroj v prostředí openFOAM

Run	$\dot{m}_{red}$ (kg s ⁻¹ √K/bar)			η (%)		
	Exp	Steady	Trans	Exp	Steady	Trans
TP 1	3.370	3.411	3.365	64.6	65.3	65.3
TP 2	3.303	3.371	3.309	64.4	64.2	63.9
TP 3	3.613	3.570	3.540	60.8	61.4	61.7
TP 4	3.030	3.066	3.021	68.1	62.1	62.4
TP 5	3.092	3.112	2.839	52.4	54.6	45.7
TP 6	3.321	3.329	3.300	64.8	63.4	62.9
TP 7	3.373	3.371	3.352	61.0	61.8	61.7
TP 8	2.332	2.242	2.219	70.5	58.2	57.7
TP 9	2.815	2.665	2.487	61.1	47.4	45.0
TP 10	2.457	2.444	2.424	70.9	64.4	64.2

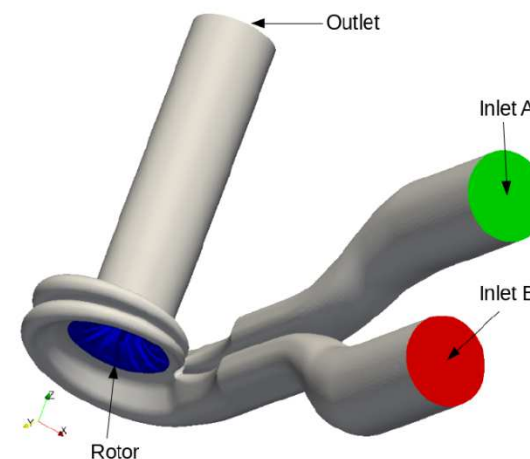




Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

3- CFD model turbíny (CZ K27)

- Zvládnuta metodika tvorby 3-D pohyblivé sítě při znalosti geometrie turbíny.
- Typická velikost oka sítě: 1mm.
- Model turbulence: AVL k-z-f.
- Srovnání s experimenty pro CZ K27.
- Větrací ztráty odhadnuty pomocí empirického vztahu.
- Řešeno v komerčním SW balíku AVL FIRE, použit přístup sliding interface.

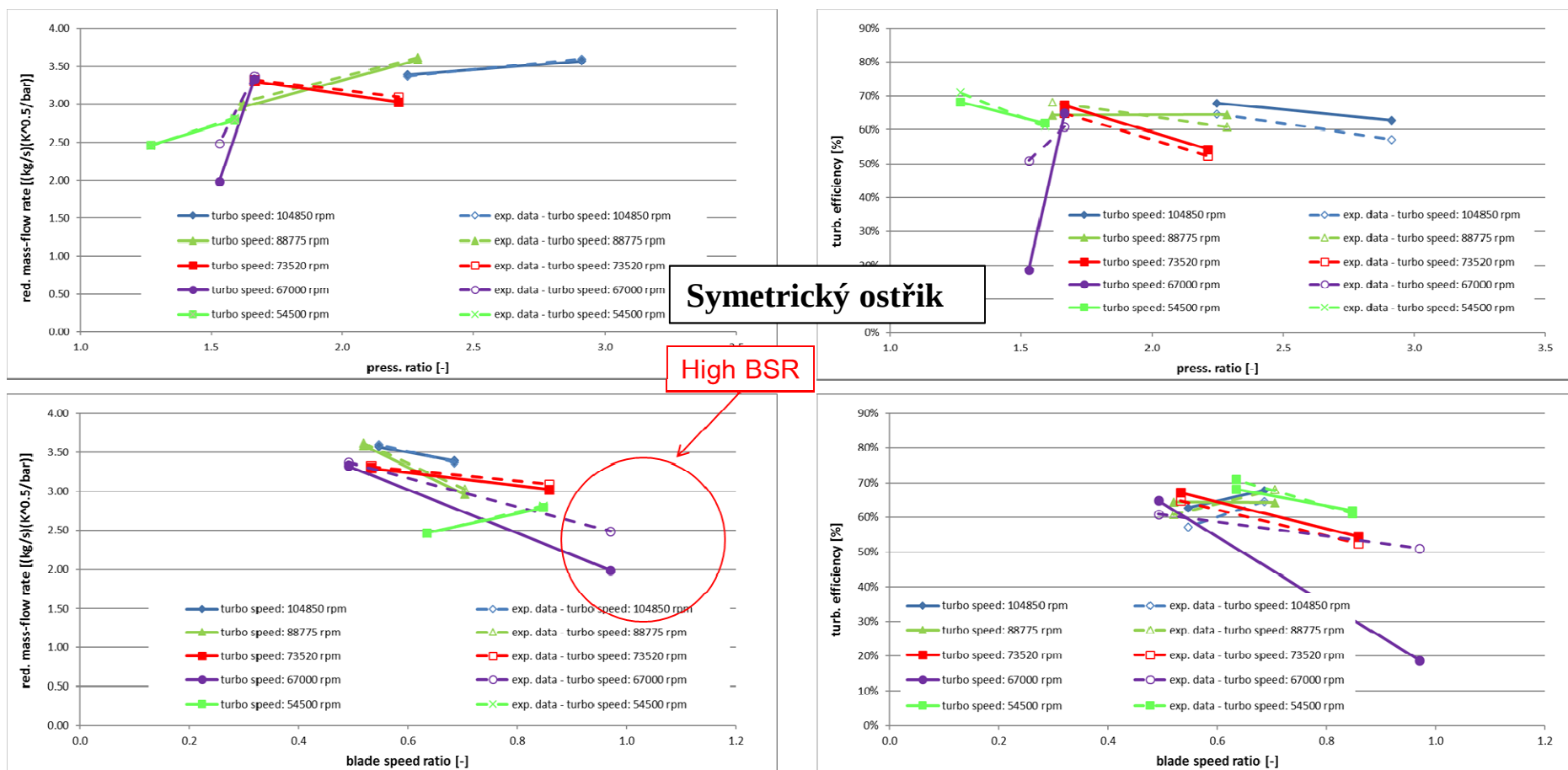


Parameter	Turbine B
Mesh Label	basic_mesh
No. Of Cells	2.6M
Rotor: Typical Cell Size	0.6mm
Typical Cell Size	1.0mm
Rotor Cell Type	Polyhedral
Cell Type	Polyhedral



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

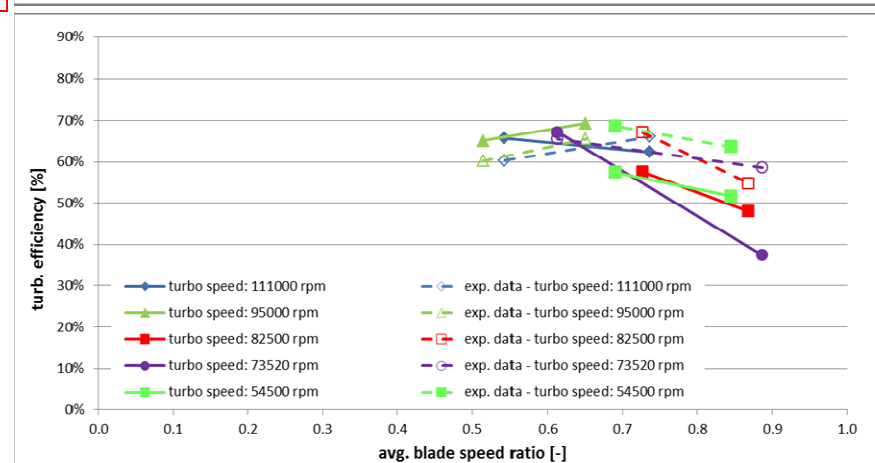
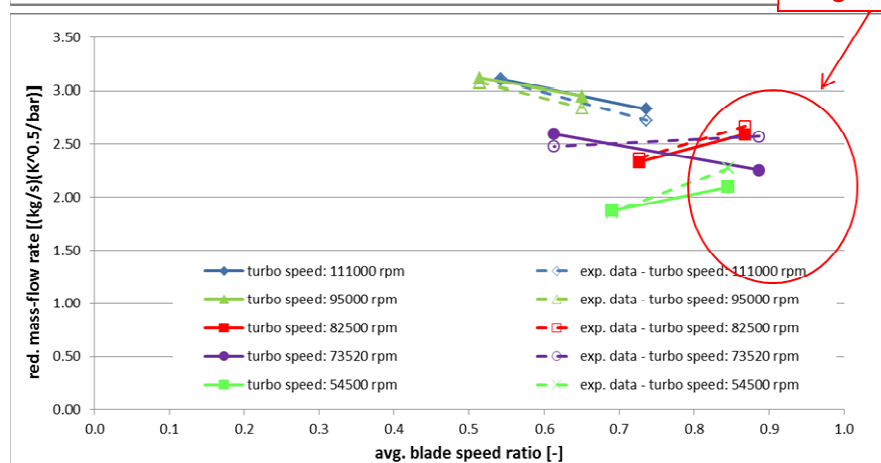
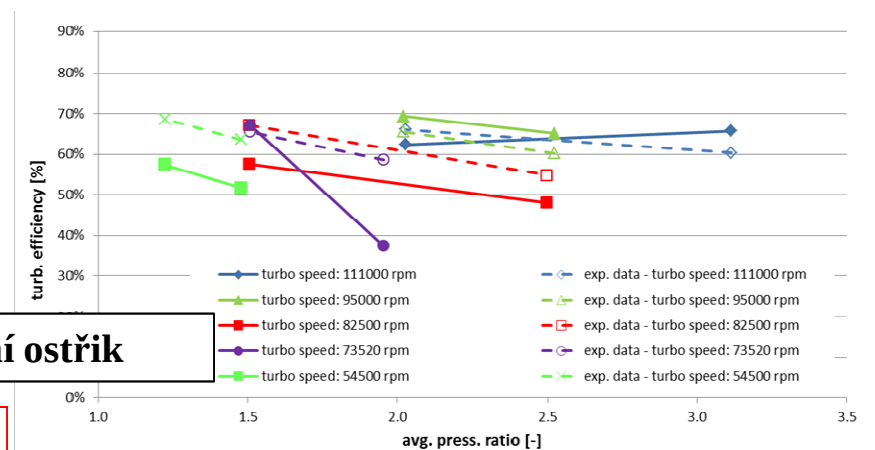
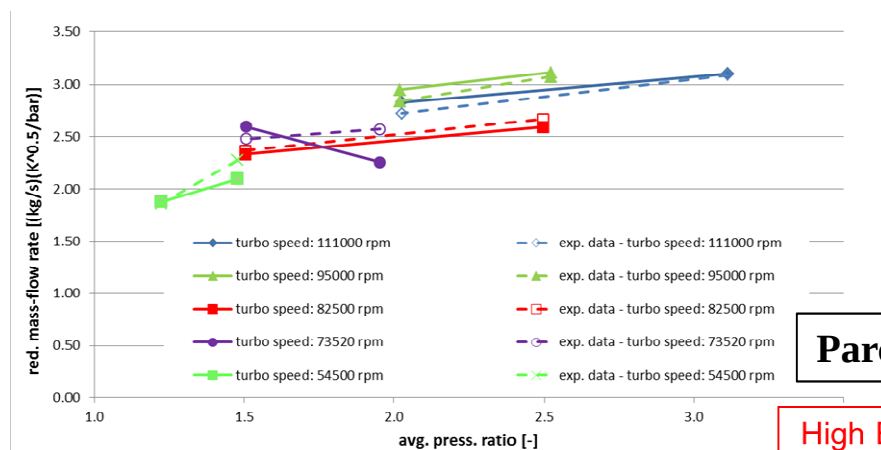
3- CFD model turbíny (CZ K27)





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

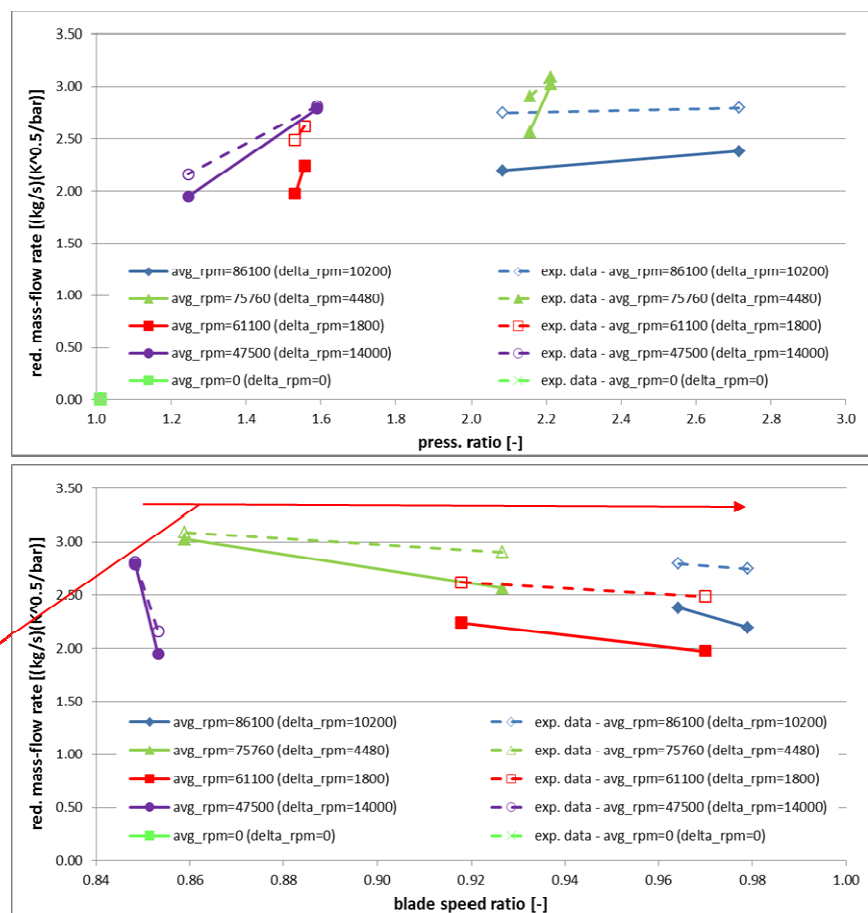
3- CFD model turbíny (CZ K27)





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

3- CFD model turbíny (CZ K27)

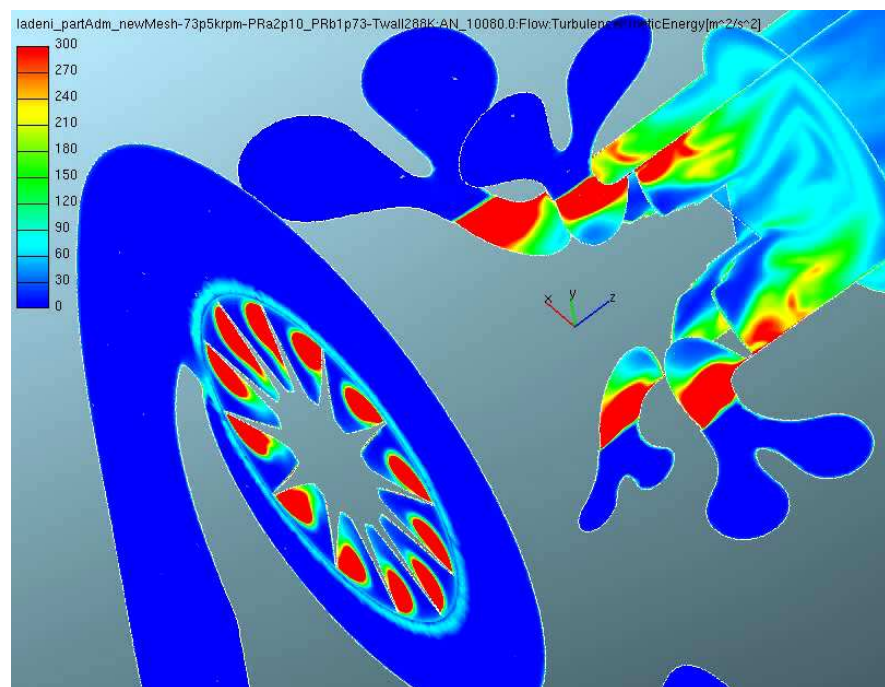
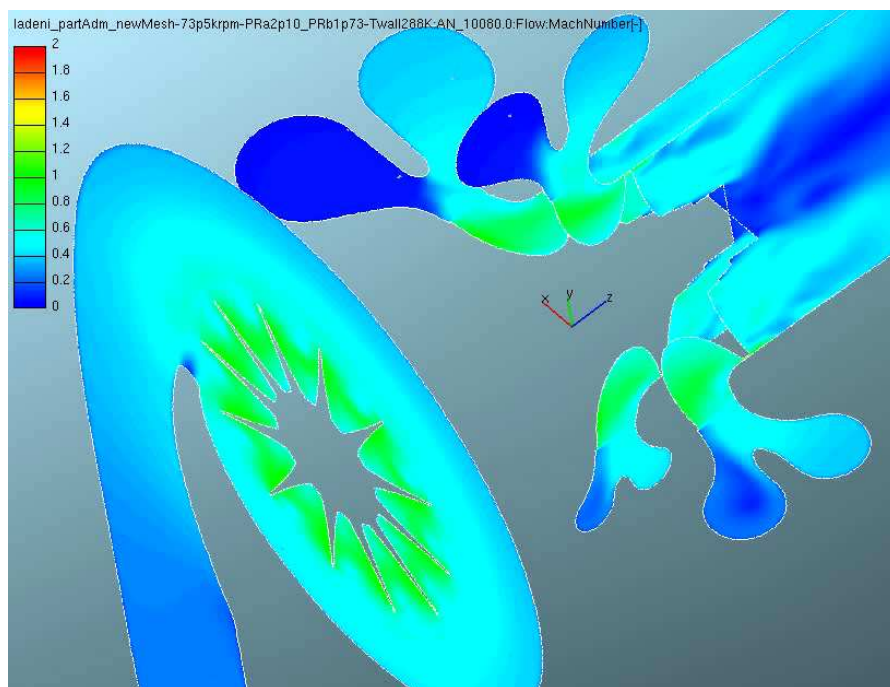


Mass-flow is under-
predicted as BSR
increases



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

3- CFD model turbíny (CZ K27)





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

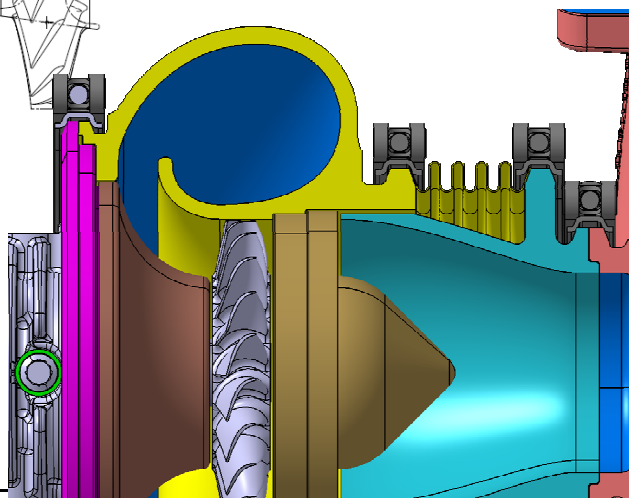
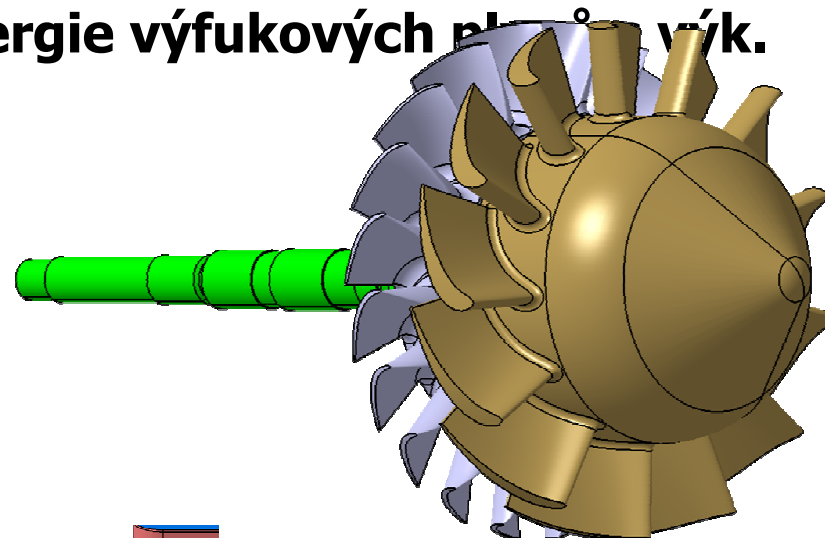
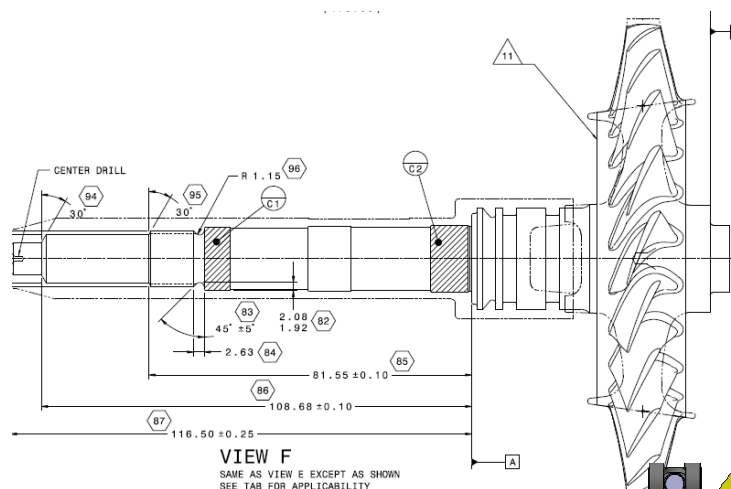
Výkonová turbína: systém využití energie výfukových plynů s výk. turbinou

- Návrh a optimalizace přechodového kusu z HP turba do výkonové turbíny s ohledem na teplotní dilatace.
- Návrh a optimalizace rozvaděče axiální turbíny s ohledem na maximální účinnost.
- Návrh a optimalizace výstupu výfukových plynů z axiální výkonové turbíny pro napojení na instalaci ve vozidle.
- Návrh a optimalizace napojení turbinové skříně na ložiskovou skříň s rotorem uloženým na valivých ložiscích.
- Návrh a optimalizace napojení na generátor prostřednictvím pastorku a převodovky.
- CFD simulace celého stupně výkonové turbíny.
- Výroba a montáž funkčního vzorku.



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Výkonová turbína: systém využití energie výfukových plynů výk. turbinou





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Výkonová turbína: systém využití energie výfukových plynů s výk. turbinou

Funkční vzorek: výkonová turbína

- Díly funkčního vzorku v procesu výroby.
- Montáž dílů předpokládána v listopadu 2017.
- Jednotka výkonové turbíny s převodem pro snížení otáček bude zkompletována před koncem roku 2017.
- Do termínu uzavření projektu nebudou k dispozici měřená data ze zkušebního plynového stanoviště.

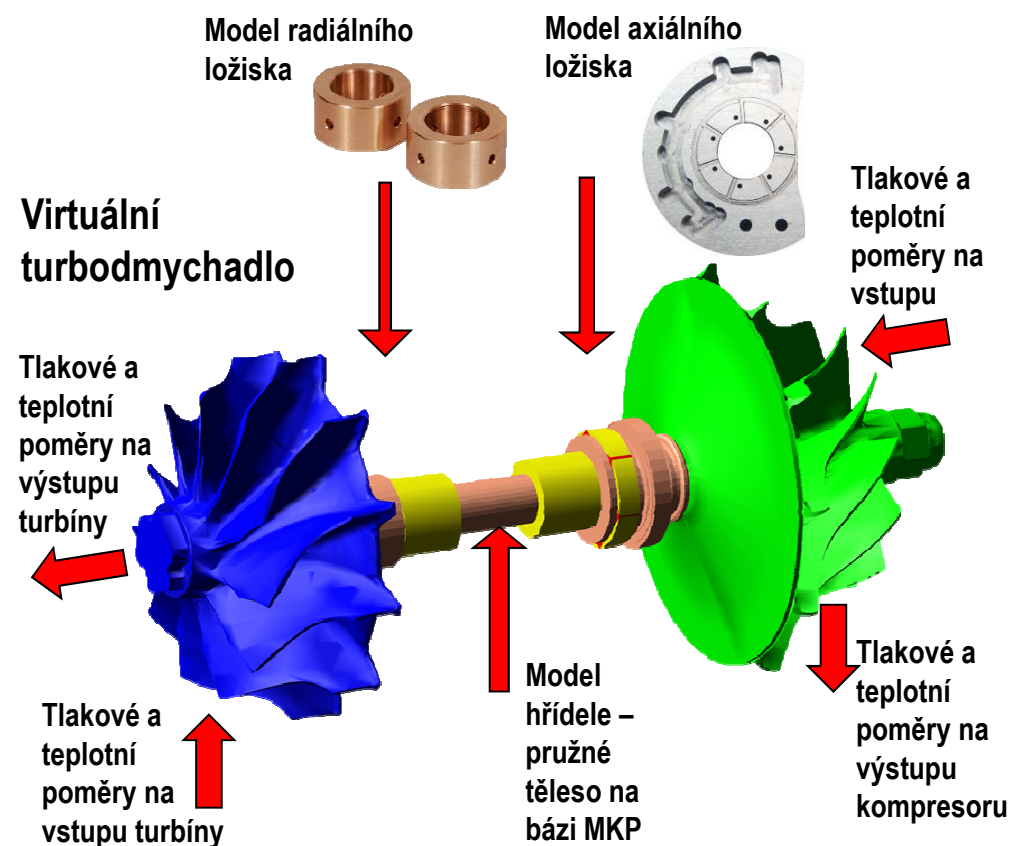


Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Modelování axiálního ložiska

- Vypracování podrobnější teorie mazání axiálního ložiska s uvažováním bezrozměrných veličin
 - Pro využití v MBD ADAMS – Virtuální turbodmychadlo jako mechanický model vyšší úrovně
- Sestavení výpočtového modelu – Virtuální turbodmychadlo v MBD ADAMS
 - Vzájemná interakce axiálních a radiálních ložisek
 - Plně parametrický model využívající předpočítané silové databáze
 - Vliv tlak. a teplotních poměrů na vstupu a výstupu do oběžných kol
 - Transientní podmínky – simulace typu „otáčkový sweep“

Submodely ložisek

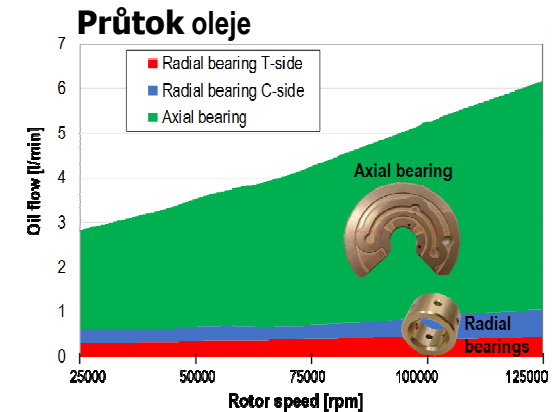
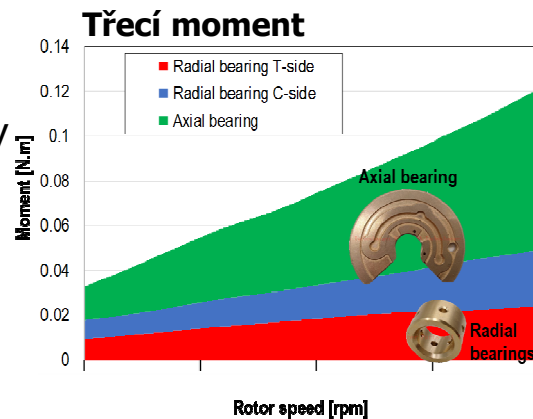
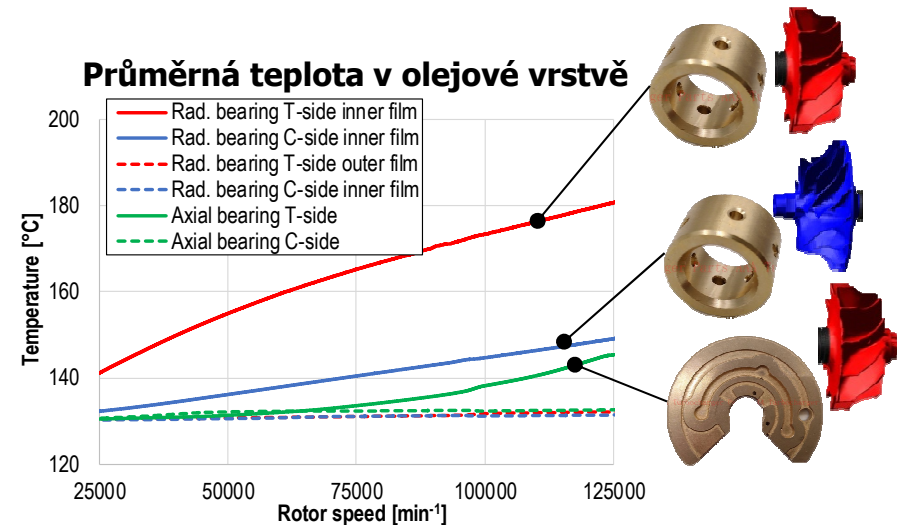




Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Modelování axiálního ložiska

- Analýza axiálních a radiálních ložisek při provozních podmínkách
 - Otáčkový rozběh $n = 20\,000 \div 140\,000 \text{ min}^{-1}$
 - Doba rozběhu $\Delta t = 10 \text{ s}$
 - Vliv teploty a tlaku oleje vstupujícího do skříně turbodmychadla na otáčkách – stanoveno experimentálně
- Vyhodnocované veličiny
 - Únosnost ložiska
 - Průměrná teplota olejové vrstvy
 - Ztrátový výkon a moment
 - Třecí ztráty ložiska
 - Požadavek na průtok oleje





Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M04: Detailní 1-D model kompresoru. (ČVUT).

Realizováno pomocí tvorby 1-D nástroje (XLS), která probíhala v letech 2016-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V008 (2017): Virtuální kompresor - detailní 1-D model kompresoru.

=> ASW existuje

WP06V016 (2017): Virtuální kompresor - detailní termodynamický 1-D model kompresoru. => **příprava článku do MECCA (Macek J.)**



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M??: Detailní 1-D model turbíny. (ČVUT).

Realizováno pomocí aktivit, která probíhaly v letech 2012-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V010 (2017): Ověření vlastností a funkce 1-D modelu turbodmychadla. => **disertační práce zaměřena na detailní 1-D model turbíny (ing. Žák => obhajoba plánována na začátek roku 2018)**

Kapitola v knize: VITEK O., MACEK J., ZAK Z. (2017). Chap. 9, *The Physical Model of a Radial Turbine with Unsteady Flow Used for the Optimization of Turbine Matching*. In E. G. Giakoumis, Turbochargers and Turbocharging: Advancements, Applications and Research. NY USA: Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-53612-239-8



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M??: Detailní 3-D model radiální turbíny. (ČVUT).

Realizováno pomocí aktivit, která probíhaly v letech 2012-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V013 (2017): Metoda proudového výpočtu radiálních strojů. => **ASW existuje**

WP06V018 (2017): Metoda proudového výpočtu radiálních strojů. => **článek přijat k publikaci** (FÜRST, J., ŽÁK, Z. *CFD Analysis of a Twin Scroll Radial Turbine*, bude publikováno v EPJ web of conferences, indexováno ve WoS)



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M??: Testování řídicích algoritmů přeplňovaných motorů. (ČVUT).

Realizováno pomocí aktivit, která probíhaly v letech 2014-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V012 (2017): Detailní 0-D/1-D model motoru pro testování řídicích algoritmů. => **ASW existuje**

WP06V017 (2017): Detailní 0-D/1-D model motoru pro testování řídicích algoritmů. => **příprava článku do MECCA (Doleček V.)**



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M05: Databáze 1-D modelů turbodmychadel. (ČVUT).

Realizováno pomocí různých aktivit, která probíhaly v letech 2012-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V014 (2017): Databáze 1-D modelů turbodmychadel. => ASW
existuje



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M06: Návrh komplexního systému využití odpadního tepla ve spalínách vozidlového motoru k přeplňování a dodatečnému využití energie výfukových plynů na výkonové turbíně pro pohon vozidla. (Honeywell).

Realizováno pomocí různých aktivit, která probíhaly v letech 2012-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V015 (2017): Popis optimálního uspořádání systému využití tepla ve spalínách vozidlového motoru s minimální spotřebou paliva. => ASW
existuje

Existuje funkční vzorek výkonové trubiny, ale není plánován v oficiálním seznamu výsledků => bude i tak vykázáno jako výstup.



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Plnění cílů

WP06M??: Výpočtové modelování chování axiálního ložiska rotoru turbodmychadla. (VUT FS + Honeywell).

Realizováno pomocí aktivit, která probíhaly v letech 2016-2017.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP06V020 (2017): Software pro posouzení vlivu parametrů axiálního ložiska rotoru turbodmychadla. => **ASW existuje**

WP06V019 (2017): Návrhy pro zlepšení konstrukce axiálního ložiska rotoru turbodmychadla. => **výzkumná zpráva bude vytvořena (Novotný P.)**



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Celkové zhodnocení dopadu výsledků a jejich průběžná i budoucí realizace

- Hlavní cíl splněn.
- Vytvořen funkční vzorek: axiální výkonová turbína.
- Provázanost s WP20 (po celou dobu projektu) ohledně testování řídicích algoritmů přeplňovaných motorů.
- Výzkum v této oblasti bude pokračovat – budoucí projekty (OP VVV DMS, NCK) a diplomové/disertační práce.



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam.
optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Děkuji za pozornost



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



Popis obsahu balíčku WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přeplňované motory

Přílohy

Pokud jsou zapotřebí pro elektronickou formu sborníku. Nebudou prezentovány při přednášce.

Rozsah libovolný do celkového pdf rozsahu presentace 10 MB.



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

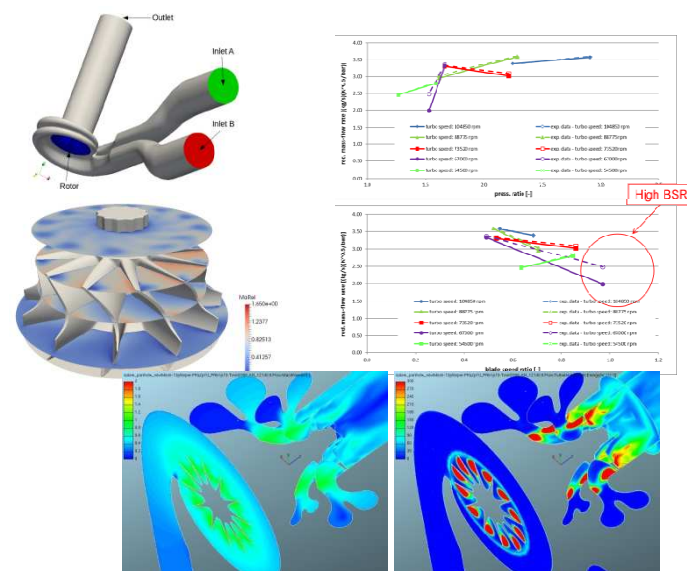
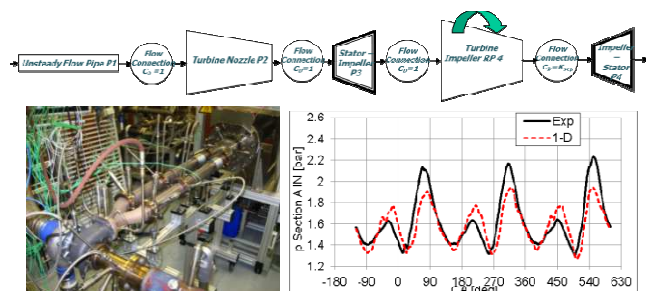
Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -

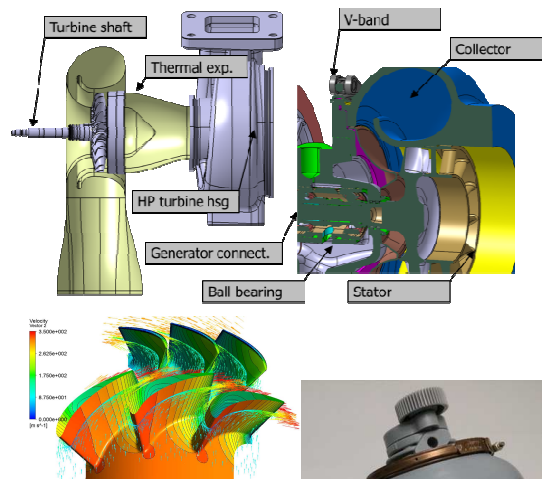
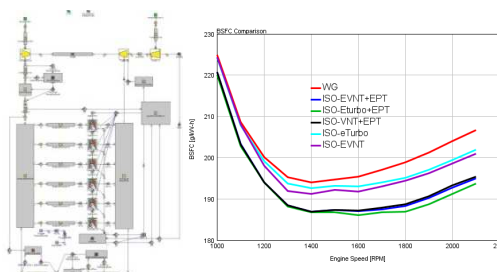


Výtah z prací 2012-2017 na WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné přep. motory

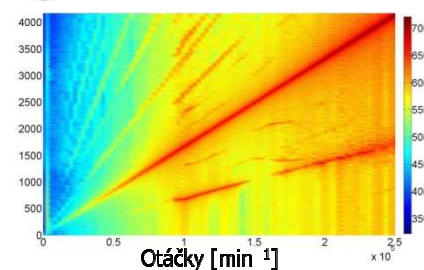
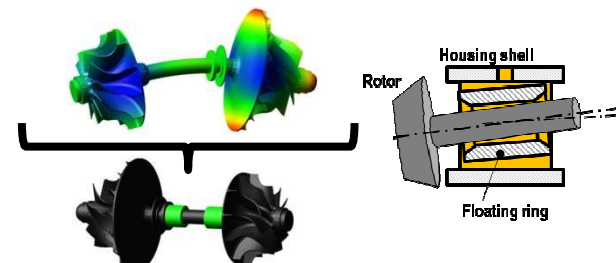
ČVUT: CFD modely turbíny



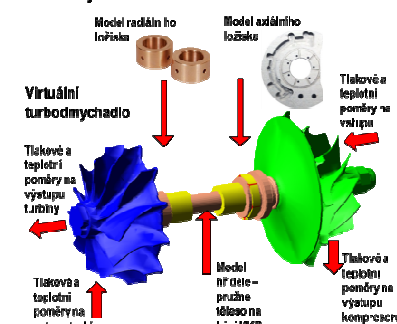
Honeywell: výkonová turbína



VUT Brno: virtuální turbo



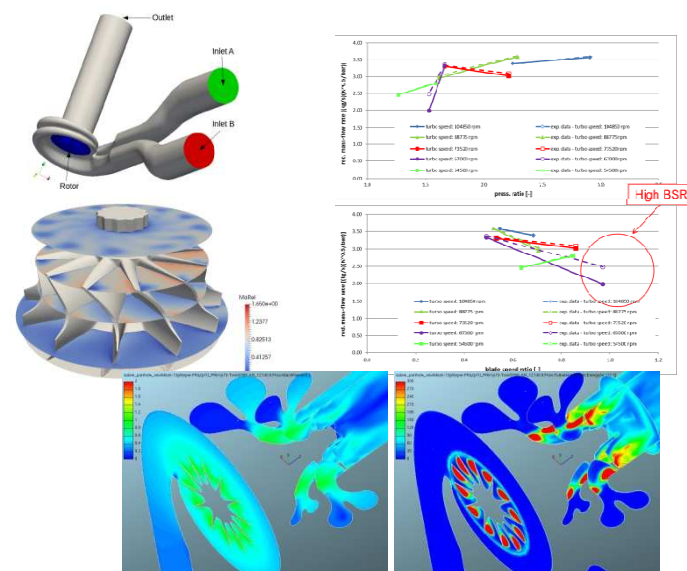
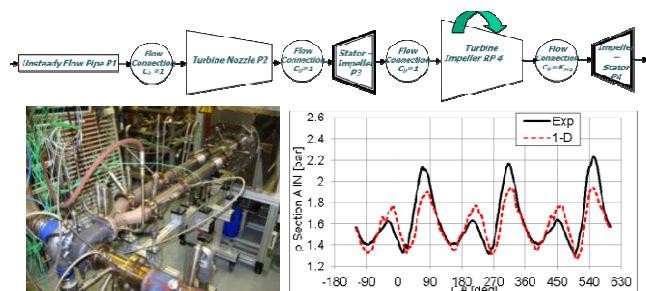
Submodely ložisek



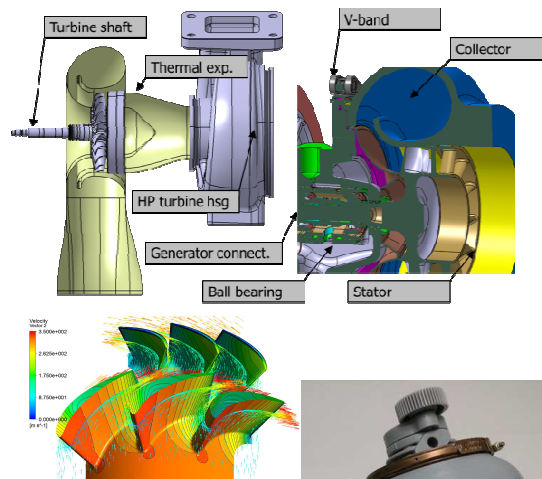
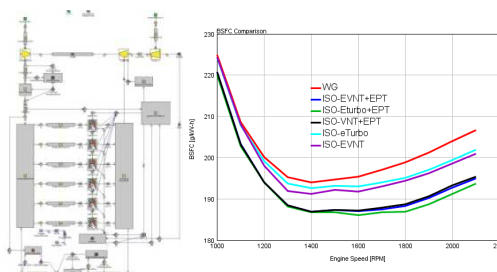


Results of WP06 Turbochargers and power turbines – aerodynamic optimization, rotor dynamics and matching – Achieved 2012-2017

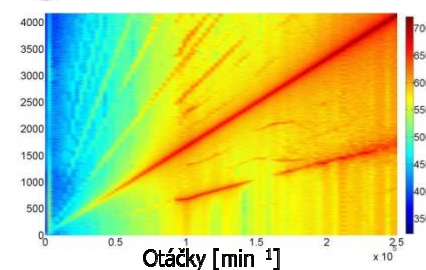
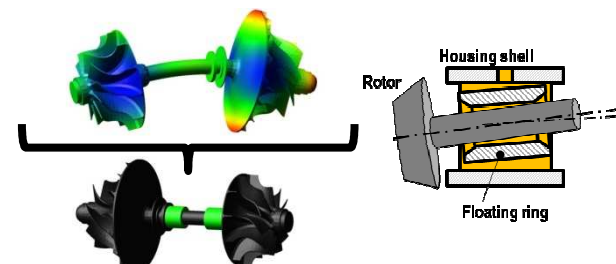
ČVUT: CFD turbine models



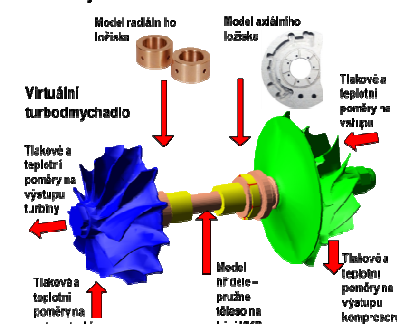
Honeywell: power turbine



VUT Brno: virtual turbo



Submodely ložisek





**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 31. 10. až 2. 11. 2017, Roztoky -



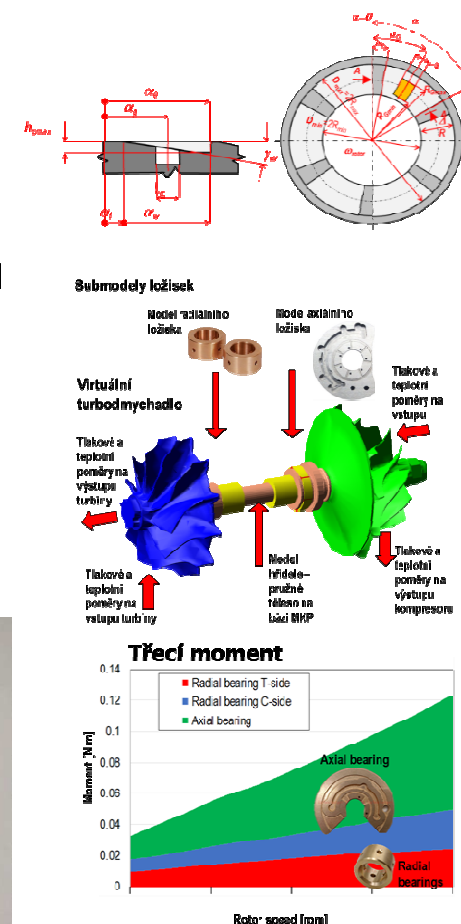
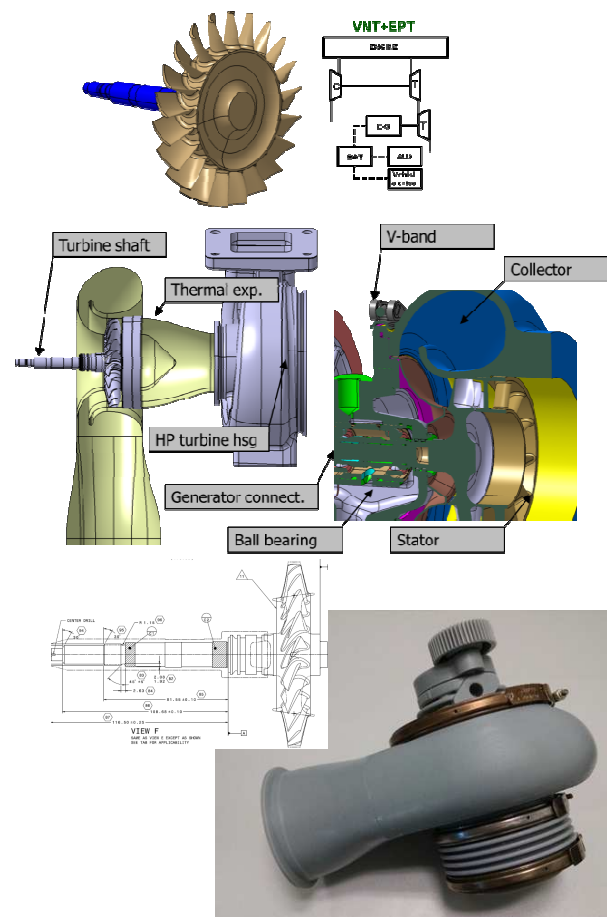
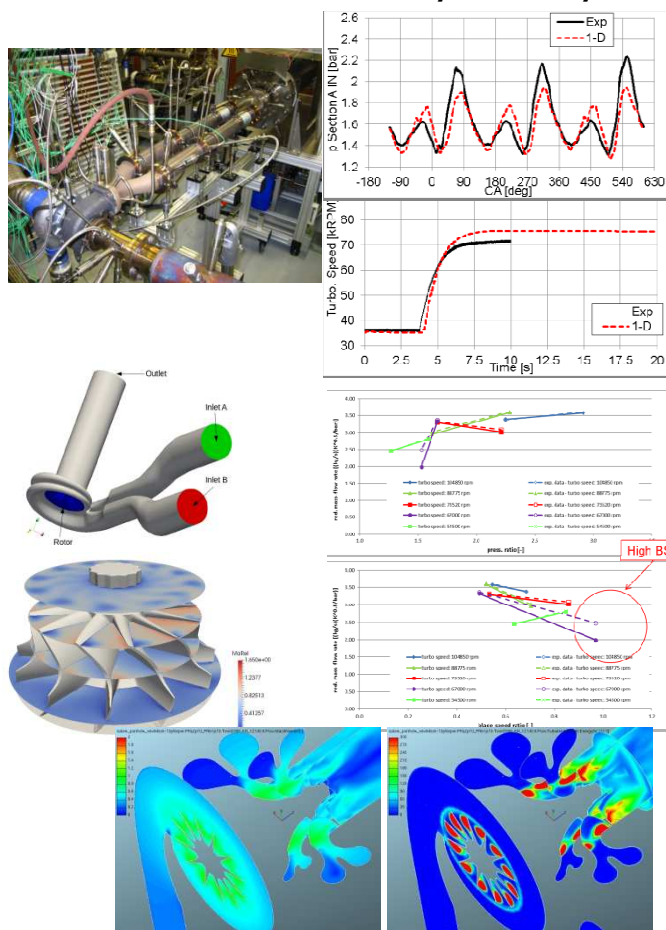
Výtah za r. 2017 z provedených prací na WP06 Turbodmychadla a výkonové turbíny – aerodynam. optimalizace, dynamika rotorů a přiřazení pro účinné

přep. motory

CVUT: CFD modely turbíny

Honeywell: výkonová turbína

VUT Brno: axiální ložisko



TE 0102 0020

**T A
Č R**

Technologická agentura
České republiky

Str. 38

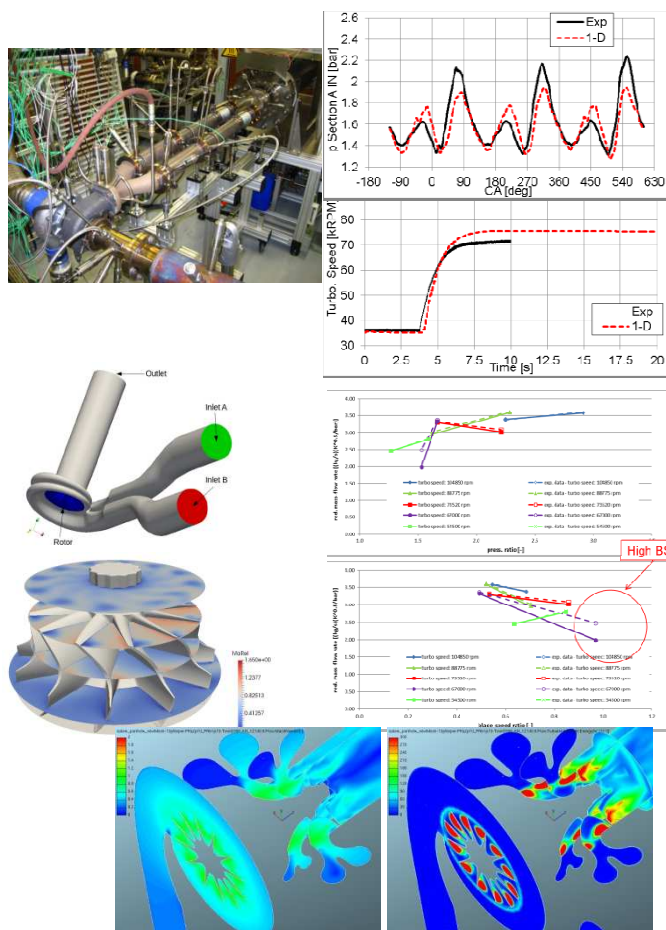


Za WP 04 O. Vitek, ČVUT v Praze

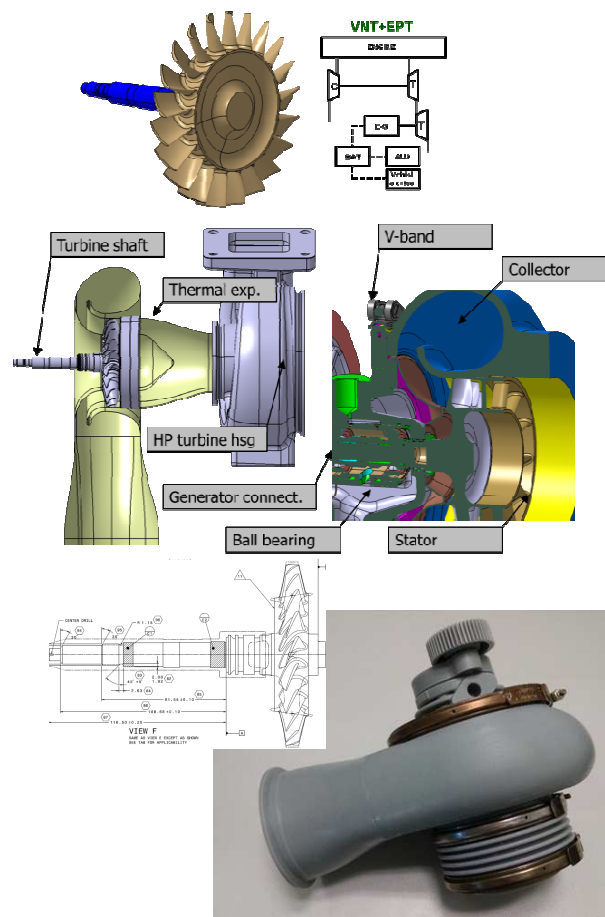


Abstract 2017 of WP06 Turbochargers and power turbines – aerodynamic optimization, rotor dynamics and matching

ČVUT: CFD turbine models



Honeywell: power turbine



VUT Brno: thrust bearing

