

## Oponentský posudok dizertačnej práce

**Názov práce: "A 1-D Unsteady Model of a Twin Scroll Radial Centripetal Turbine for Turbocharging Optimization"**

**Autor: Ing. Zdeňek Žák**

**Pracovisko: České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta strojní, Katedra automobilů, spalovacích motorů  
a kolejových vozidel**

**Študijný odbor: Dopravní stroje a zařízení**

V súlade s menovaním oponentom dizertačnej práce listom Prodekana pre vedeckú a výskumnú činnosť Strojníckej fakulty ČVUT prof. Ing. J. Mackom, DrSc. zo dňa 27.2.2018 (Č.j. 185/12921/O/2018) predkladám nasledovný oponentský posudok v ktorom sa postupne vyjadrujem k jednotlivým požadovaným bodom na hodnotenie dizertačnej práce uvedených vo vyššie spomenutom liste.

### Hodnotenie práce

#### ***Dosiahnutie cieľov dizertačnej práce***

Hlavným cieľom práce bol vývoj robustnej metodiky s potrebným softvérovým vybavením, na určenie výkonu dvojvstupovej centripetálnej turbíny za stacionárnych aj nestacionárnych podmienok bez použitia experimentálne nameraných máp parametrov kompresora a turbíny. Tento zámer pozostával z troch samostatných cieľov:

1. Vývoj špeciálnej turbodúchadlovej testovacej jednotky umožňujúcej určenie výkonu dvojvstupovej turbíny pri rôznych hladinách ostreku obežného kola turbíny
2. Vývoj modulárneho 1D modelu dvojvstupovej radiálnej turbíny s možnosťou zabudovania do komplexného 1D simulačného softvéru
3. Overiť navrhnutú metodológiu (metodiku) simuláciou spaľovacieho motora s nestacionárnym 1D modelom dvojvstupovej turbíny za podmienok stacionárnych a prechodových režimov.

Po preštudovaní dizertačnej práce môžem konštatovať, že všetky ciele dizertačnej práce boli splnené.

#### ***Úroveň analýzy súčasného stavu problematiky riešenej v dizertačnej práci***

Autor v práci pri analýze súčasného stavu hodnotí klasický spôsob modelovania turbíny turbodúchadla v 1D simulačnom kóde motora prostredníctvom potrebných charakteristických turbínových máp, kde sa na x-ovej súradnici vynáša redukovaný

hmotnostný prietok a na y-ovej osi expanzný pomer na turbíne pri čom ako parametre poľa vystupujú izoentropická účinnosť a pomerné otáčky turbíny. To je v súčasnosti používaný spôsob modelovania radiálnej dostredivej turbíny turbodúchadla v mene známych 1D simulačných kódach motora. S analýzou súčasného stavu súhlasím.

### ***Teoretický prínos dizertačnej práce***

Teoretický prínos práce vidím jednak ako prínos k teórii experimentu s podrobnou analýzou možností ostreku turbínového kolesa v dvojšpirálovej turbínovej skrini pri jeho parciálnych ostrekoch (včítane nulového z niektorej uzavretej vetvy) ako aj pri jeho plnom zaťažení. Teoretický prínos práce je tiež vo vývoji modelu pre jednorozmernú simuláciu dejov v radiálnej dvojjstupovej turbíne turbodúchadla pri využití dostupných metód riešenia 1D nestacionárneho prúdenia zahŕňajúc premenlivý prierez kanála, prestup tepla, trenie a zmeny zloženia prúdiaceho plynu. Model rieši optimalizáciu zložitých systémov preplňovania spaľovacích motorov aj s použitím dvojjstupových skriň bez použitia stacionárnych turbínových máp.

### ***Praktický prínos dizertačnej práce***

Pre validáciu a kalibráciu turbíny s ľubovoľnou úrovňou ostreku obežného kolesa bola vyvinutá špeciálna testovacia jednotka pre turbodúchadlá s oddelenými sekciami pred vstupom do obežného kolesa. Experimentálna jednotka umožňovala ľubovoľné nastavenie ostreku obežného kolesa pomocou škrtenia v jednotlivých vstupných sekciách turbíny prípadne úplným uzavretím jednej sekcie.

V simulačnom prostredí GT-SUITE bol vyvinutý nestacionárny 1D model turbíny s dvoma špirálami, s miešaním prúdu v rozvážacom ústrojenstve pred obežným kolesom, s rotorom turbíny, s netesnosťami a výstupným potrubím z turbíny. Model je plne funkčný, kalibrovaný za stacionárnych podmienok s dátami z testovacej jednotky a je pripravený pre komplexné (stacionárne aj prechodové režimy) simulácie preplňovaného spaľovacieho motora. Jeho funkčnosť bola potvrdená porovnaním simulácií a experimentov na šesťvalcovom vznetrovom preplňovanom spaľovacom motore s dvojjstupovou turbínou pri ustálených aj prechodových režimoch.

### ***Vhodnosť použitých metód riešenia***

K dosiahnutiu cieľa práce boli použité vhodné metódy experimentálnej, matematickej a modelovej analýzy, ktoré sú v práci prezentované na vysokej úrovni. Stručne možno konštatovať, že autor práce vhodne aplikoval dostupné metódy a postupy potrebné k riešeniu práce. Využíval pri tom klasickú metódu teoretickej a experimentálnej analýzy dejov odohrávajúcich sa v spaľovacích motoroch. K metódam použitým v práci nemám pripomienky.

### ***Spôsob, ako boli použité metódy aplikované***

Použité metódy doktorand zvládol kvalifikovane tak z hľadiska rozsahu ich použitia, ako aj z hľadiska vyhodnotenia modelových a experimentálnych výsledkov. Doktorand zvládol náročné experimenty s prúdiacimi plynmi pri silne nestacionárnych podmienkach meniacich sa stavových veličín a pri vysokých teplotách plynu. Zvládol tiež otázky matematického modelovania pri stavbe modelu turbíny bez použitia jej stacionárnych máp. Výsledky porovnal s modelom založenom na použití máp.

### ***Preukázanie odpovedajúcich vedomostí v danom odbore***

Doktorand presvedčivo preukázal odpovedajúce vedomosti v danom odbore. Značné množstvo realizovaných experimentov, tvorba modelu dvojvstupovej turbíny bez použitia máp a celý rad optimalizačných prác ako aj diskusia o dosiahnutých výsledkoch svedčia o tom, že doktorand má dobrý prehľad a odpovedajúce vedomosti v danom odbore.

### **Formálna úroveň práce**

Formálnu úroveň práce hodnotím skutočne vysoko. Výsledky práce prezentované v jej grafickej podobe či už v samotnej práci alebo v jej prílohách svedčia o detailnom a zrozumiteľnom popise výsledkov práce. Podobne fotografická dokumentácia súvisiaca s prácou je na kvalitnej úrovni. Pokiaľ si dovoľím hodnotiť anglický text tak musím uviesť že autor práce používa odpovedajúce odborné výrazy a myslím si, že aj gramatická štruktúra súvisiaca so stavbou viet je na veľmi dobrej úrovni.

### **Pripomienky k práci a námety na diskusiu:**

1. Ako je možné vylepšiť výsledky modelu autora v porovnaní s prístupom Gamma Technologies t.j. s prístupom virtuálneho potrubného spojenia dvoch turbín s oddelenými charakteristikami?
2. Kedy má zmysel počítat' nestacionárne deje v turbíne a ako je v tomto prípade potrebné upraviť model?
3. Ktoré hlavné parametre pri modelovaní dvojvstupovej turbíny prípadne celého motora bolo potrebné „dolaďovať“ aby sa dosiahla veľmi dobrá zhoda experimentu a modelu uvádzaná v kap.7.3 napr. pri výkonových parametroch motora?
4. Môže byť účinnosť turbíny pri parciálnom ostreku vyššia než pri plnom ostreku v obidvoch sekciách?
5. Aká bola presnosť meracieho reťazca pri meraní parametrov preplňovaného spaľovacieho motora?
6. Pri písaných vzorcoch v práci z dôvodu prehľadnosti pokladám za vhodnejšie ich písanie bežným matematickým spôsobom oproti ich písaniu v „programovom“ móde (s identifikátormi pre program).
7. Vzhľadom na množstvo experimentov a prác súvisiacich s modelovaním realizovaných na školiacom pracovisku na ktoré sa aj autor práce odvoláva je vhodné upresniť podiel autora dizertačnej práce na meraniach, ich príprave a ich vyhodnotení.

### **Záver**

Dizertačná práca splnila stanovené ciele. Viedla k vytvoreniu použiteľných výpočtových programov a meracích metodík. Oceniť treba kombináciu experimentov a simulácií zvládnutých autorom práce. Predloženú dizertačnú prácu **odporúčam prijať k obhajobe** a po jej úspešnom priebehu **navrhujem udeliť doktorandovi Ing. Zdeňkovi Žákovi vedecko-akademický titul „*philosophiae doctor ( Ph.D.)*“.**