

Zadavatel posudku: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Oponentní posudek disertační práce

Ing. Jana Koláře

zpracované na téma

Aerodynamická optimalizace hnací trysky ejektoru

K posouzení byla předložena disertační práce o rozsahu 144 stran včetně příloh obsahujících zdrojový kód navrženého algoritmu a kompletní výsledky optimalizace. Práce je členěná do šesti kapitol včetně úvodu a závěru. Mimo jiné rovněž obsahuje předmluvu a podrobný soupis označení veličin a zkratk vyskytujících se v textu disertační práce. V práci je uvedeno celkem 76 odkazů na literaturu, z nichž je 5 odkazů na publikace svého školitele. V celé práci jsem ale nenalezl žádný odkaz na vlastní publikace doktoranda ke sledované problematice.

Disertační práce se zabývá podle mého názoru aktuální problematikou aerodynamické optimalizace, konkrétně jde o optimalizaci nadzvukové hnací trysky 2D modelu ejektoru s rovnoplochou směšovací komorou za účelem maximalizovat entalpickou účinnost ejektoru. Hlavním cílem disertační práce bylo navrhnout a implementovat dostatečně efektivní algoritmus optimalizace vycházející z principu evoluční strategie. Zdrojový kód byl naprogramován v programovacím jazyce C a následně kompilován pomocí uživatelsky definovaných funkcí a maker do profesionálního CFD výpočtového systému Fluent. Navržená optimalizační metoda a její algoritmus jsou popsány ve 4. kapitole. Hnací tryska byla pro účely optimalizace parametrizována pomocí kubické spline funkce řízené sedmi volnými parametry. Optimalizace byla provedena pro tři různé hodnoty statického tlaku na výstupu z difuzoru, a to 98+(20, 30, 40) kPa. Všechny numerické simulace proudění použité při optimalizaci nadzvukové hnací trysky ejektoru byly realizovány pomocí profesionálního výpočtového systému Fluent. Pro modelování turbulentního proudění v ejektoru se supersonickým hnacím proudem byl na základě rozboru provedeného v disertační práci zvolen jako nejvhodnější $k-\omega$ SST model turbulence. Výpočtová oblast, která představuje poloviční 2D model ejektoru (na ose symetrie byly implementovány okrajové podmínky symetrie), byla vytvořena v programu Gambit.

Hodnocení disertační práce:

Problematika aerodynamické optimalizace, jejíž konkrétní aplikace je řešená v této disertační práci, patří obecně k velice náročným partiím výpočtové mechaniky tekutin. Z tohoto pohledu se domnívám, že doktorand zpracoval velice kvalitní práci. Mohu konstatovat, že cíle, které jsou v disertační práci formulovány, byly splněny. Za nesporné přínosy celé práce považuji:

- Provedení optických měření šlírovou metodou pro vizualizaci proudového pole v modelu supersonického ejektoru s rovnoplochou směšovací komorou a pneumatických měření pro stanovení průběhu statického tlaku na stěně směšovací komory ejektoru. Díky zpracované metodě, která umožňuje převést numericky vypočtené rozložení statické hustoty v ejektoru na výsledný pozorovaný odklon paprsku v daném směru (tj. do černobílého šlírového zobrazení), lze přesněji porovnat výsledky numerických simulací proudění s experimentálně pořízenými černobílými a barevnými šlírovými snímky.

- Návrh nového optimalizačního algoritmu a jeho implementace do profesionálního CFD výpočtového systému Fluent pro optimalizaci nadzvukové hnací trysky ejektoru. Ve srovnání se standardním evolučním algoritmem bylo díky použití principu řazení geometrií a malé změny výpočetní sítě při zachování veličin proudového pole (morfování) dosaženo 90% úspory původního času.
- Velice pečlivé a podrobné zpracování kapitoly 5, která je těžištěm celé disertační práce. Jsou publikovány původní, cenné výsledky optimalizace pro jednotlivé řešené případy. Výsledky jsou přehledně zpracovány, bohatě diskutovány a jsou formulovány závěry, které jsou přínosem pro obor mechaniky tekutin.

Jisté výhrady mám ke zpracování 3. kapitoly týkající se popisu metod numerického řešení. V této kapitole se vyskytuje z pohledu numerické matematiky řada nepřesností a věcných chyb. Je zřejmé, že doktorand při zpracování této kapitoly čerpal z manuálu Fluentu a spokojil se jen s povrchním výkladem numerických metod bez hlubšího pochopení. Vzhledem k tomu, že celá práce se zabývá prouděním stlačitelných tekutin, očekával bych, že výchozí rovnice dynamiky tekutin stejně tak, jako uváděné modely turbulence budou formulovány pro stlačitelnou tekutinu. Bohužel v řadě případů se jedná o nepodařený „mix“ formulací pro nestlačitelnou/stlačitelnou tekutinu. V tomto kontextu je např. uvedený systém rovnic (35) a (36) nesprávný, chybí energetická rovnice a navíc by se pro proudění stlačitelných tekutin mělo použít středování podle Favra. Rovnice (50) a (51) jsou uvedeny rovněž chybně. Výklad linearizace v odstavci 3.3 a souvislost s explicitním a implicitním schématem je také do jisté míry nepřesný.

Disertační práce je přehledná a má pěknou grafickou úpravu. Je napsaná relativně dobrou češtinou, v textu však lze místy najít drobné překlepy a také několik gramatických chyb, např. na str. 31, 39, 82. Domnívám se, že by se nemusely v českém textu vyskytovat pojmy typu „diskontinuita“, „isokontury“, „reziduál“, „výpočetní doména“, „komponent rychlosti“ atd. Na vše existuje český výraz. Rovněž mám problém s výrazem „proudové pole s rychlostí $M < 1$ “, kde M je Machovo číslo.

K doktorandovi bych měl několik otázek souvisejících s tématem disertační práce:

- Opravdu jsou oblasti subsonických rychlostí (zřejmě míněny oblasti subsonického proudění) reprezentované eliptickým typem PDR, str. 16?
- Mohl by doktorand vysvětlit, jak myslel tvrzení na str. 36: „K výpočtu toku je nutné provést prostorovou diskretizaci konvektivních členů, jelikož při užití metody konečných objemů jsou uchovávány spočtené proměnné v centru kontrolních buněk a na jejich hranicích je hodnota a gradient proměnné neznámou“?
- Mohl by doktorand vysvětlit, jak myslel tvrzení na str. 37: „...hlavní směr proudu je zarovnan se směrem výpočetní sítě“?
- Nemohou být numerické výsledky proudových polí ve 2D modelu supersonického ejektoru ovlivněny implementací okrajových podmínek symetrie?
- Publikoval již doktorand některé dílčí výsledky disertační práce např. v časopise nebo alespoň ve sborníku konference?

Závěr:

Předložená disertační práce splňuje všechny požadavky na ni kladené. Obsahuje původní velice cenné výsledky, které jsou bezesporu přínosem v oblasti experimentálního i numerického modelování v mechanice tekutin. Rovněž tak navržený a úspěšně implementovaný nový algoritmus optimalizace založený na principu evoluční strategie, který je určen pro řešení úloh optimalizace ve spojení s CFD, je přínosem pro obor mechaniky tekutin. Jsem přesvědčen, že doktorand Ing. Jan Kolář prokázal odpovídající znalosti v oboru Aplikovaná mechanika a je schopen samostatně vědecky

pracovat. I přes moje výhrady uvedené výše, doporučuji disertační práci k obhajobě. V případě její úspěšné obhajoby doporučuji udělit doktorandovi akademicko-vědecký titul Ph.D. ve smyslu příslušného zákona.

V Plzni dne 5. října 2014



doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.

ZČU v Plzni,
Fakulta aplikovaných věd,
Katedra mechaniky,
Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

Aerodynamická optimalizace hnací trysky ejektoru

V předložené disertační práci se Ing. Kolář zaměřil na řešení problematiky návrhu a aerodynamické optimalizace hnací trysky vzduchového ejektoru. Obecně hlavními výhodami praktického využití ejektorů je především jejich konstrukční jednoduchost, absence pohyblivých částí, spolehlivost provozu, snadná údržba a jejich dlouhá životnost. Hlavní nevýhodou ejektorů je však jejich nízká účinnost, která se pohybuje v rozmezí 10 – 30%. Hlavním cílem řešené optimalizace v disertační práci bylo maximalizování termodynamické účinnosti vzduchového ejektoru. Vzhledem k obecně nízké účinnosti ejektorů je téma disertační práce aktuální a výstupy práce mohou být přínosné při navrhování konstrukce vzduchových ejektorů.

Práce je rozdělena do šesti kapitol. V úvodní kapitole je podán popis konstrukce ejektorů a výklad základních principů jejich činnosti. Současně je uveden v této části práce přehled publikovaných odborných prací zaměřených na problematiku optimalizace účinnosti nadzvukových ejektorů. Následující dvě kapitoly jsou zaměřeny na popis v současné době užívaných metod k modelování proudění vzduchu v ejektoru. Nejdříve jsou ve druhé kapitole uvedeny vybrané metody experimentu, které lze vhodně využít k ověřování přesnosti prováděných numerických výpočtů při použití numerických modelů. Pozornost je věnována optickým experimentálním metodám, zejména šlírové metodě, je popsán postup převodu numerických proudových polí do šlírového zobrazení. V závěru druhé kapitoly je popsáno použití experimentálního šetření při využití šlírovacího stroje „Zeiss-Jena 80“ umístěném na TUL a na šlírovacím stroji AV ČR v Novém Kníně. Následující třetí kapitola se zaměřuje na metody numerického modelování proudění vzduchu v experimentálním a optimalizovaném ejektoru. Pozornost je zaměřena na popis použití metody konečných objemů. Přitom při provádění numerických výpočtů uvedených v této práci bylo využíváno komerčního SW nástroje Fluent.

Čtvrtá kapitola obsahuje popis autorem práce navrženého algoritmu optimalizace nadzvukové hnací trysky ejektoru. Algoritmus byl naprogramován v jazyce C. Významnou součástí tohoto algoritmu je využití obecných principů algoritmu genetického. Jedná se o evoluční optimalizační algoritmus, který je poměrně početně náročný. Současně však lze tento algoritmus úspěšně využít při hledání globálního minima účelové funkce, která obsahuje více lokálních minim. Užití gradientních algoritmů pro uvedený typ účelové funkce není vhodný, neboť obecně nelze zabránit uvíznutí posloupnosti přibližných řešení v lokálním extrému. V autorem navrženém evolučním algoritmu každý jedinec reprezentuje konkrétní zadané parametry nadzvukové hnací trysky ejektoru. Hodnoty jednotlivých genů definovaného chromozomu nabývají reálných hodnot. V průběhu výpočtu jedinců nové generace je užíváno běžného postupu selekce jedinců stávající generace, operací křížení a mutace a princip elitismu. Tato kapitola také obsahuje popis výsledků prováděných testů navrženého algoritmu pro unimodální i multimodální funkce. Pátá kapitola tvoří vlastní jádro práce, je v ní popsán

postup numerického řešení procesu optimalizace hnací trysky efektoru, způsob parametrizace úlohy a řízení numerických simulací a tato kapitola obsahuje také popis výsledků prováděné optimalizace při různých protitlacích za ejektorem. Závěrečná kapitola obsahuje hodnocení vlastností autorem navrženého programu určeného obecně pro optimalizaci v oblasti výpočetní mechaniky tekutin.

Z předložené disertační práce vyplývá, že autor získal přehled o stávajících možnostech řešení problematiky optimalizace v oblasti výpočetní mechaniky tekutin. Navržený algoritmus využívá evoluční strategii optimalizace a současně i nástrojů systému Fluent. Z provedených experimentů vyplývá, že autorem navržený algoritmus lze použít k řešení komplikovaných problémů s multimodální účelovou funkcí a k maximalizaci termodynamické účinnosti vzduchového ejektoru. K sestavení programu bylo nezbytné, aby autor nastudoval teoretické poznatky z oblastí výpočetní mechaniky tekutin, optimalizačních evolučních metod a současně i byl schopen vhodně využívat možností SW nástroje Fluent. Při zpracování vlastního programu autor prokázal schopnost provedení algoritmizace komplikovanější úlohy. Přitom obecně vývoj prostředků k dosažení dalšího zvýšení účinnosti efektoru je přínosný, neboť stávající nízká účinnost efektorů patří k jejich největší nevýhodě oproti jiným typům čerpadel.

Text disertační práce je napsán srozumitelně a pečlivě a názorné jsou i použité obrázky, z jazykového hlediska je práce na velmi dobré úrovni.

Závěrem bych rád položil autorovi práce několik otázek. Definování účelové výrazně ovlivní proces optimalizace evolučního algoritmu. Byly testovány různé její varianty a s jakými výsledky? Bylo v průběhu vývoje algoritmu testováno využití i jiných evolučních algoritmů (např. diferenciálních), případně vzájemná kombinace optimalizačních algoritmů? V práci je uvedeno, že některé optimalizační výpočty byly velmi časově náročné. Uvažuje autor o možnosti urychlení výpočtu na základě jeho paralelizace (například výpočet hodnot účelové funkce pro jednotlivé jedince v dané generaci lze počítat nezávisle)?

Ing. Jan Kolář v předložené práci prokázal, že je schopen systematické a vědecké práce, a proto navrhuji, aby mu udělen akademický titul Ph. D.



doc. RNDr. Jaroslav Mlýnek, CSc.
katedra matematiky a didaktiky matematiky
Technická univerzita v Liberci

O p o n e n t n í p o s u d e k

**disertační práce Ing. Jana Koláře : *Aerodynamická optimalizace hnací trysky ejektoru*,
Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Liberec, 2014.**

Předložená disertační práce obsahuje 126 stran textu včetně obsahu, seznamu použitých označení, seznamu použité literatury, který má 76 pramenů. Dále disertační práce obsahuje titulní list, poděkování, anotace v jazyce českém a v jazyce anglickém, předmluvu, souhrn, Cíle disertační práce, Zvolené metody řešení (to vše na 7mi stranách) a 4 přílohy na 18ti stranách – Zdrojový kód použitého algoritmu, Komplexní výsledky optimalizace, $p_4 = 20$ kPa, Komplexní výsledky optimalizace, $p_4 = 30$ kPa, Komplexní výsledky optimalizace, $p_4 = 40$ kPa.

Tématem práce jsou výsledky výzkumu při řešení tvaru hnací trysky ejektoru užitím aerodynamické optimalizace.

V úvodu je popsána funkce ejektorů a hlavních proudových provozních parametrů ejektorů. Je uvedena stručná rešerše soustředěná na zdokonalování provozu ejektorů. Další úvodní odstavec je zaměřen na optimalizační metody v mechanice tekutin. Cíle disertační práce jsou předloženy ve zvláštním odstavci před vlastním textem disertační práce.

Ve druhé kapitole jsou uvedeny jen některé metody experimentu, jejichž aplikace poskytne data k verifikaci numerických simulací. Jsou to metoda šlírová a pneumatická metoda, která poskytuje údaje ze soustavy odběrů tlaku podél horní stěny ejektoru.

Třetí kapitola obsahuje popis numerického modelování proudění v ejektoru. Základem je komerční program FLUENT. Výpočty jsou provedeny pro případ laminárního proudění řešením klasické soustavy Navierových-Stokesových rovnic spolu s rovnicí kontinuity a rovnicí bilance energie. Pro případ turbulentního proudění jsou řešeny Navierovy-Stokesovy rovnice upravené aplikací Reynoldsova průměrování, které jsou pro ověřovací výpočty doplněny čtyřmi modely turbulence. Je popsáno řízení a morfování výpočetní sítě, které bude aplikováno v průběhu optimalizačních výpočtů.

Čtvrtá kapitola popisuje autorem navržený algoritmus optimalizace. Je to genetický algoritmus s vloženým cyklem pro tvorbu nově formované generace užitím optimalizace pořadí geometrií na základě tvarové podobnosti. Vložený algoritmus hledá posloupnost geometrií s minimální hodnotou mutační vzdálenosti tvarových funkcí. Procedura je podrobně popsána a ověřena na testovacích funkcích a na geometrii supersonické trysky.

V páté kapitole, která je poměrně rozsáhlá, je formulována optimalizační úloha včetně výsledků jejího řešení. Předchází ověření modelů turbulence a je ukázán model turbulence $k-\omega$ SST jako vhodný pro optimalizaci geometrie trysky supersonického ejektoru. Vlastní formulace úlohy vychází z určení výpočtové oblasti, určení částí pro tvarování a z definice okrajových podmínek. Je popsána parametrizace optimalizované geometrie. Dále jsou uvedeny popisy pro tvarování výpočetní sítě, pro automatické řízení řešiče a pro volbu evolučních a subevolučních operátorů. Jsou uvedena konvergenční kritéria pro numerické řešení. V další části jsou podrobně uvedeny výsledky optimalizačních řešení pro tři varianty protitlaku $p_4 = 20$ kPa, 30 kPa, 40 kPa. Je proveden podrobný rozbor výsledků optimalizace z hlediska dynamiky plynů.

V závěru je zdůrazněn přínos disertační práce při vývoji optimalizačního algoritmu založeného na evoluční strategii, při jeho implementaci do komerčního programu FLUENT a

při jeho aplikaci na řešení optimalizační úlohy pro řešení tvaru hnací trysky supersonického ejektoru. Je konstatováno dosažení cílů disertační práce. Výsledky a poznatky pro obor dynamika plynů jsou shrnuty. Jsou vytyčena témata pro další výzkum.

Hodnocení :

Obor dynamika plynů přináší stále nová témata nejen pro základní výzkum, ale též pro aplikace. Je to tím, že v proudových polích stlačitelné tekutiny se vyskytují různé struktury a vývoj proudových polí vede ke vzniku zvláštních jevů a účinků. Pevným základem oboru dynamiky plynů je využití základních přístupů definovaných obory mechaniky tekutin a termodynamiky. Mimořádně cenné ve výzkumu v oboru dynamiky plynů jsou rozborů a diskuse dosažených výsledků a konfrontace výsledků dosažených užitím nezávislých výzkumných metod - experimentálních, teoretických a metod numerických simulací. Vrcholným stupněm poznání fyzikálních procesů je zřejmě stav znalostí, který umožňuje parametry procesů řídit k dosažení cílových hodnot charakteristických veličin. V dynamice plynů je aerodynamická optimalizace tou disciplínou, která si volí za cíl poskytnout podklady pro řešení a návrh tvarů těles a průtočných kanálů při splnění cílových podmínek. Autor disertační práce se právě na aerodynamickou optimalizaci zaměřil a vytvořil numerický systém založený na speciálně vyvinutém genetickém algoritmu a aplikoval ho na řešení optimalizační úlohy k určení tvaru hnací trysky ejektoru pro vysoké rychlosti vzduchu ve směšovací komoře s podmínkou dosažení maximální hodnoty účinnosti ejektoru. Formuloval si cíle - navrhnout účinný algoritmus pro optimalizační úlohu, ověřit ho, aplikovat ho na řešení optimalizace supersonické hnací trysky ejektoru, provést důkladné rozborů a diskuse dosažených výsledků. V některých částech tohoto výzkumu mohl navázat na zkušenosti dosažené na jeho pracovišti, kde byl pro základní výzkum vyvinut a v laboratoři instalován supersonický ejektor. Autor disertační práce provedl rešerši v tématu návrhu a provozu supersonického ejektoru a zvolil si cestu především numerické simulace, kterou dovedl až na vyšší úroveň - na formulaci a řešení úlohy aerodynamické optimalizace dílčí části průtočné oblasti ejektoru. Při tvorbě výpočtového algoritmu si byl vědom, že ho náročné výpočty při řešení optimalizačních úloh mohou přivést k neúměrnému nároku na strojový výpočetní čas, a proto vyvinul speciální genetický algoritmus, do něhož vložil cyklus pro tvorbu nové generace užitím optimalizace pořadí geometrií na základě tvarové podobnosti tak, že je hledána posloupnost geometrií s minimální hodnotou mutační vzdálenosti tvarových funkcí. Tento přístup se prokázal být vysoce účinný a úsporný na výpočetní čas. Proto mohl autor řešit optimalizační úlohu pro tři varianty hodnoty protitlaku na výstupu z ejektoru. Uvážíme-li, že vývoj genetického algoritmu s vloženým subevolučním algoritmem musel být postupně testován, aby se stal spolehlivým nástrojem při řešení optimalizační úlohy, je nutné práci autora disertace v tomto označit jako za účtyhodnou. Výsledky dosažené řešením optimalizační úlohy k určení tvaru hnací trysky ejektoru jsou unikátní, mimořádně cenné. Oponent by mohl poukázat na to, že popis některých výzkumných kroků v disertační práci má slabší místa. Na příklad v popisu šlírové metody, jejíž výsledky jsou užity k verifikaci numerických simulací, kde zvláště rov.(16) na str.29 limituje popis na izotermické děje. Nebo ve výkladu tvarování výpočtové sítě, které je podstatným krokem v numerické realizaci řešení optimalizační úlohy, rov.(72) na str.47 asi neřeší polohu morfovaného uzlu. Tyto a další drobné nedostatky je možné považovat za nedůslednosti při psaní textu. Autor disertační práce vytyčené cíle splnil.

Ve formální části zpracování disertační práce, je možné vyzdvihnout dobře sestavenou koncepci a účelně a přesvědčivě vyjádřené výsledky rozsáhlých výpočtů a dále podrobné rozborů a diskuse dosažených výsledků. Disertační práce je psána dobrou češtinou, ale oponentovi v textu disertace vadilo užívání první osoby často množného čísla v rozkazovacím

způsobu. Některé obrázky a tabulky a přílohy jsou napsány poměrně malým písmem – autor by měl mít ohled na čtenáře. V textu je velmi málo překlepů, gramatických nedostatků. V diskusi při obhajobě by se měl autor vyjádřit k těmto oponentovým poznámkám :

- 1) Při formulaci optimalizačních úloh je potřebné vytyčit i omezující podmínky. Některé autor uvedl v limitech při parametrizaci, ale i limity řešených parametrů by měly být zdůrazněny. Omezující podmínky by neměly připustit záporné nasávané množství $\dot{m}_2$ (obr.56, 61 a 65). Pokud by toto řešení vyšlo, tak ho vyloučit a je namístě důsledně prozkoumat jeho podmínky a parametry. Zvláště hodnoty tlaků p_1 a p_2 .
- 2) Původním autorovým poznatkem je obraz vývoje turbulentní kinetické energie ve směšovací komoře ejektoru a zjištění, že tento parametr má podstatný vliv na provozní charakteristiky ejektoru a na vývoj proudění v ejektoru. Tyto poznatky budou určitě podnětem pro další výzkum a mohou dát podklady pro konstrukci strojů. Na obr.72c), 79c) a 86c) je zřetelný citelný pokles hodnoty turbulentní kinetické energie ve výstupní části směšovací komory a v difuzoru. Má autor disertační práce zkušenosti s jevem relaminarizace?
- 3) Zvláštní zdůrazněný konkávní až zužující tvar průtočné části hnací trysky před výtokovým průřezem, který vyšel jako výsledek řešení optimalizační úlohy (obr.57, 62 a 66), by měl být dále podrobně analyzován a diskutován. Oponent je toho názoru, že tento výsledek tvaru trysky byl spíše důsledkem kubického splajnu, který je pro tvar oblasti průtočné části hnací trysky předepsán, a ne aerodynamickým nebo termodynamickým důsledkem. Má autor disertace jiný názor?
- 4) V ověřovacích výpočtech autor ukázal na komplexní proudovou strukturu s výskytem rázových vln a smykových vrstev včetně jejich interakcí a na přiměřenou shodu výsledků výpočtů s výsledky experimentů. Ve výsledcích optimalizačních výpočtů na obr.72a, 79a) a 86a) však výskyt rázových vln není. Může autor tuto okolnost vysvětlit?
- 5) Z rozsáhlých výpočtů má autor v paměti počítače mimořádně cenný soubor dat o parametrech proudů vzduchu v ejektoru. Jistě by nebyl problém ověřit z těchto dat, zda děje v ejektoru podle výpočtů se shodují se schematickou představou zobrazenou na obr.2 v diagramu měrná entalpie-měrná entropie. Učinil autor pokus o toto i jiná vyjádření výsledků?

Závěr :

Předložená disertační práce je bezpochyby přínosná pro základní výzkum a pro aplikace při stavbě ejektorů. Autor splnil stanovené cíle tím, že vytvořil původní genetický algoritmus, který umožnil řešit úlohu aerodynamické optimalizace hnací trysky ejektoru. Jeho disertační práce je podnětná a bezpochyby budou na ní navazovat další výzkumné práce a budou se z ní odvíjet další podněty pro stavbu a provoz ejektorů. Autor prokázal svojí tvůrčí aktivitu a své vynikající odborné znalosti v oborech termomechaniky a numerického modelování v mechanice tekutin. Oponent

doporučuje disertační práci Ing. Jana Koláře k obhajobě
před komisí pro obhajoby disertačních prací v doktorském studijním programu Strojní inženýrství, studijním oboru Aplikovaná mechanika a doporučuje, aby po úspěšné obhajobě byl Ing.J.Kolářovi udělen akademicko-vědecký titul

Philosophiae doctor (PhD.).



V Praze 9. července 2014