

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

| | |
|-----------------------------------|--|
| Název práce: | Návrh dvoustupňové výkonové turbíny pro turbovrtulový motor |
| Jméno autora: | Denis Hermann |
| Typ práce: | diplomová |
| Fakulta/ústav: | Fakulta strojní (FS) |
| Katedra/ústav: | Ústav letadlové techniky |
| Oponent práce: | Ing. Michal Čížek |
| Pracoviště oponenta práce: | FS - Centrum leteckého a kosmického výzkumu |

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

| | |
|--|-------------------|
| Zadání | náročnější |
| <i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> | |
| Zadání diplomové práce hodnotím jako náročnější, protože diplomant při splňování kroků v zadání musel detailně řešit jednotlivé fáze návrhu výkonové turbíny. Tyto fáze plně odpovídají inženýrským úkolům, které se v průmyslovém odvětví, které řeší turbínové motory, vyskytují. Zároveň ale musel vypočítat radiální rovnováhu výkonové turbíny na obou stupních. Detailní popis výpočtu radiální rovnováhy se v dostupné literatuře ne vždy uvádí a je tedy složitější jej aplikovat. | |

| | |
|--|----------------|
| Splnění zadání | splněno |
| <i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i> | |
| Diplomant jednoznačně splnil zadání. V prvních dvou kapitolách provedl rešerši a teoreticky popsal proudění v turbínách, které se používají u turbovrtulových motorů. V provedené rešerši bych si dovedl představit větší výběr zdrojů, jako jsou např. odborné časopisy apod., ale pro účely diplomové práce je to jistě dostačující. V následující kapitole popsal výpočet termodynamických parametrů na středním průměru. Dále popsal výpočet radiální rovnováhy horní a dolní poloviny lopatky turbíny na jednotlivých stupních. Aby byly splněny všechny předem stanovené podmínky, musel navrhnout více variant z kterých vybral výslednou a s touto variantou dále pracoval. V kapitole o 2D návrhu turbínových stupňů je pěkně popsána metodika návrhu pomocí parametrického 2D modelu stejně tak vytvoření výpočetní sítě. V této kapitole bych uvítal popis řešiče, pomocí jakého byla síť vytvořena. Pro diplomovou práci je to ale jistě dostačující. V následujících kapitolách jsou popsány okrajové podmínky, které byly použity pro výpočet. V kapitole o výpočtu profilů na statorových a rotorových lopatkách jednotlivých stupňů jsou detailně analyzovány parametry navržených profilů jako samostatné profilové řady. Následně jsou profily analyzovány jako jednotlivé stupně a výsledně jako 2 stupně dohromady. Zde bych určitě vyzdvihl, že diplomant pro nalezení výsledné varianty musel vytvořit opět několik variant a z těchto vybrat výslednou, která splňuje veškeré omezující podmínky. Následně jsou výsledky z návrhu dvoustupňové turbíny porovnány s 1D výpočtem a zhodoceny jednotlivá kritéria. | |

| | |
|--|----------------|
| Zvolený postup řešení | správný |
| <i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i> | |
| Zvolený postup řešení považuji za správný, protože se v inženýrské praxi vyskytuje. Jestliže by byl podobný úkol požadován v praxi bylo by jistě vhodné provést obdobný návrh profilů po výšce lopatkových stupňů. V konečné fázi pak analyzovat dvoustupňovou turbínu jako 3D model, kde by se jistě daly podchytit jednotlivé fyzikální vlastnosti turbíny s konečnou délkou, které 2D výpočet nepodchytí. | |

| | |
|--|------------------------|
| Odborná úroveň | B - velmi dobře |
| <i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> | |
| Odbornou úroveň hodnotím stupněm B, protože vyhovuje požadavkům, jaké jsou na podobou práci v praxi kladeny. V úvodní teoretické části pěkně popisuje co to jsou turbíny používající se u turbovrtulových motorů a proč. Dále teoreticky popisuje proudění v turbíně, na které plynule navazuje výpočet ztrát. V dalších kapitolách popisuje jednotlivé fáze návrhu dvoustupňové turbíny tzn. 1D návrh dvoustupňové turbíny, návrh po výšce, návrh jednotlivých profilových řad a výsledné | |

porovnání výsledků. Ukázal tak, že se seznámil s inženýrskými postupy, které se v těchto situacích vyskytují. V závěrečném vyhodnocení výsledků ale při porovnání s 1D výpočtem v Tabulce 1 není z zcela jasné, z jakého výpočtu vystupují výsledky a co nám říkají. Např. při vyhodnocování účinnosti 1. stupně η_{1st} není zcela jasné, co je myšleno ve sloupci „Turbína“. Ve sloupci „Stupně“ bych údaj chápal tak, že se jedná účinnost, která byla spočítána na izolovaném stupni. Ve sloupci „Turbína“ toto není jasné. V závěru je vyhodnocena účinnost celé turbíny. Tyto hodnoty se ale neshodují s hodnotami uvedenými v Tabulce 1.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Jednotlivé kapitoly diplomové práce jsou logicky členěny přesně podle postupu, jaký by byl použit při reálném návrhu dvoustupňové turbíny v praxi. K práci jako celku bych měl dvě poznámky formálního charakteru a sice, že jsem buď v úvodu nebo na konci práce nenašel tabulku použitých veličin včetně jednotek a popisu těchto veličin. Stejně tak definice použitých zkratk a indexování. Další poznámku mám k označování veličin „měrná tepelná kapacita“ a „tepelná vodivost“ jež by se nemělo shodovat.

Výběr zdrojů, korektnost citací

B - velmi dobře

Vyjáďte se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Výběr materiálů odpovídá diplomové práci. V textu jsem nenašel pochybení během, které by se vztahovalo k citaci z uvedených materiálů. Ocenil bych ale, aby při vypracování rešerše bylo použito více zdrojů.

Další komentáře a hodnocení

Vyjáďte se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Dosažené výsledky jsou na vysoké úrovni a odpovídají teoretickému očekávání. Z provedené analýzy vyplývá zlepšení účinnosti dvoustupňové oproti jednostupňové.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Student splnil zadání diplomové práce. Navrhl dvoustupňovou výkonovou turbínu pro turbovrtulový motor. Během návrhu udělal rešerši turbín, které se používají pro turbovrtulové motory a teoreticky popsal proudění v turbíně. Spočítal termodynamické parametry na středním průměru a následně provedl výpočet radiální rovnováhy turbíny. V následujícím kroku navrhl profily lopatek obou nových stupňů jak ve statorových, tak v rotorových mřížích. Během návrhu a výběru výsledné varianty musel tedy analyzovat více variant. Stejně tak bych kladně hodnotil, že student provedl 2D návrh lopatkových mříží, přestože to není explicitně uvedeno v zadání. V závěru provedl vyhodnocení výsledné varianty vůči původní jednostupňové výkonové turbíně.

Otázky k obhajobě:

1. Jak vypadá tepelný oběh turbovrtulového motoru, na který se v úvodu odkazujete?
2. O kolik se při aplikování dvoustupňové výkonové turbíny změní vnější průměr a jak byste postupoval při konstrukčních změnách na motoru a co všechno tyto změny ovlivní?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 22.8.2019

Podpis:

