

Oponentský posudek bakalářské práce Lukáše Kučery

Předložená bakalářská práce s názvem „Návrh regeneračního výměníku pro plynovou turbínu“ se zabývá návrhem a optimalizací regeneračního výměníku pro přehřev spalovacího vzduchu pro plynovou turbínu. Bakalářská práce je členěna do několika kapitol. První kapitoly se věnují „literární rešerši“ v níž autor popisuje tepelné oběhy plynových turbín, kde se zaměřuje na otevřený a uzavřený Braytonův cyklus a Braytonův cyklus s regenerací. V další části literární rešerše se autor zaměřuje již na vlastní výměníky tepla. Na počátku se zabývá klasifikací výměníků tepla z různých hledisek. V závěru se pak zaměřuje na trubkové výměníky tepla, protože autor předpokládá jejich aplikaci v praktické části (v závěru specifikuje typ výměníku, který bude v práci použit). Na tuto obecnou část navazuje, tak trochu nenápadně, část praktická, kde se autor zabývá návrhem vlastního výměníku tepla a dalšími podklady nutnými pro jeho návrh. První podkladem je popis vlastností použitého paliva s ohledem na jeho složení a stechiometrii probíhajících chemických reakcí. Cílem těchto výpočtů je stanovení množství vzduchu potřebného pro spalování a množství vznikajících spalin s ohledem na další zvolené parametry a omezení teploty nechlazeného plamene zadanou hodnotou. V další části se autor již věnuje návrhu geometrických rozměrů výměníku tepla (rozložení a počet trubek). Popsaný algoritmus pak implementuje pomocí programu Microsoft Excel, protože v rámci optimalizačních výpočtů předpokládá jeho časté užití. V další části se autor již zabývá potřebnými tepelně-hydraulickými výpočty s nimiž pak souvisí i volba, či výpočet, dalších parametrů, jako jsou rychlosti proudění, součinitelé přestupu tepla na obou stranách teplosměnné plochy, ... Výpočty jsou pak uzavřeny výpočty pro různě zvolené parametry (průměr pláště, ohřátí vzduchu, rychlost proudění vzduchu) s jejichž pomocí autor volí optimální výměník tepla pro danou aplikaci.

Autor se pokusil při zpracování bakalářské práce popsat celý proces návrhu výměníku tepla, proces optimalizace a to včetně všech informací a podkladů k tomu nutných. Kapitoly se snaží uvádět v logickém pořadí, ale je patrné, že je to nejspíše první větší autorova práce. Občas chybí dostatečné vysvětlení uskutečněných voleb, či předpokladů, občas se v práci objevují formální (méně faktické) chyby. Možná, že mnoho problémů je spojeno s časovým stresem spojeným s finalizací bakalářské práce.

K práci mám pouze nějaké formální připomínky a některé jsem vyznačil přímo do textu práce – dále se pokusím již jen stručně.

- Autorovi bakalářské práce se příliš nedaří práce se symboly, a navíc, v seznamu použitých symbolů jich nemálo chybí. Některé symboly jsou použity s více významy, ale v seznamu to není zohledněno a může to tak způsobovat problémy při čtení textu – jedná se například o α (součinitel přestupu tepla, součinitel přebytku vzduchu), ξ , ... Někdy se velikostí symbolu vyznačuje měrná veličina, někdy autor používá symbol Q jako teplo a někdy jako tepelný tok, ... U jednotek doporučuji používat systém s kladnými, či zápornými,

mocninami, protože používání zlomkové čáry v řádkovém výrazu, bez závorek, způsobuje problémy s významem jednotky a tím i problémy s aplikací symbolu násobení (tečky). Seznam symbolů se řadí dle abecedy, aby se v něm dalo vyhledávat.

- V práci se často zjevují nejen různé nepříliš definované veličiny, ale i předpoklady (tlaky, teploty, rychlosti proudění, rozměry, ...). Možná bylo bývalo vhodné na začátek praktické části shrnout v tabulce parametry výměníku tepla (zadané, volené) a na závěr výpočtu uvést aparátový list výměníku tepla obsahující hlavní rozměry, parametry, vlastnosti médií na vstupu a výstupu, ...
- Mnoho výpočetních korelací je uvedeno bez citací a podmínek jejich použití, například na straně 32, 33, ... Možná, že autor používá ustálené korelace z jeho oboru, ale bylo by vhodné všechny korelace podložit zdrojem. U některých, například na straně 33, došlo zřejmě i k jejich špatnému opsání, které naštěstí nemělo velký vliv na výpočet. V některých vztazích se objevují konstanty a parametry bez bližšího vysvětlení.
- Výkres sestavy výměníku tepla je spíše koncepční skica (alespoň já to tak uvažuji) a možná by bylo bývalo lepší k tomuto takto přistupovat a raději neoznačovat svary a další věci. Je zde mnoho problémů týkajících se například svarového spojení materiálů s odlišnými tloušťkami, použití koutových svarů a jejich dimenzování, ... Tyto problémy ale snad vyřeší NMG studium a předmět SPZZ.

Práce splňuje všechny náležitosti bakalářské práce, hodnotím ji známkou

D (uspokojivě)

a prosím autora o vymezení se k následujícím drobným otázkám či připomínkám. Prosím též autora o zaslání odpovědí na tyto otázky v písemné podobě, stačí jím připravovaná prezentace doplněná odpověďmi, protože pro mne bude nejspíše problematické se zúčastnit obhajoby jeho práce.

- Autor označuje tepelný výměník na straně 5 jako stroj. Je to tak v pořádku? Co rozumí pojmem stroj?
- Na straně 15 své práce autor uvádí, že přepážky výměníku tepla slouží ke zvětšení teplosměnné plochy. Aplikoval tento fakt autor i během svého výpočtu?
- Na straně 17 autor uvádí své volby, předpoklady, pro typ, tvar, ... výměníku tepla. Uvádí, že přepážky jsou voleny koncentrické. Z jakých důvodů tuto volbu použil? Bylo by možné použít i nějaké jiné geometrické uspořádání? Na straně 24 pak uvádí použití trubek $20 \times 1,5$. Existuje opět nějaký důvod?
- Na straně 24 autor uvádí rovnici kontinuity na jejímž základě řeší rozmístění trubek. Je tato rovnice správně, resp. za jakých předpokladů? Jsou tyto předpoklady splněny?

- V práci se autor zmiňuje o úsadách vznikajících ze spalin. Je nutné tyto úsady během výpočtu nějak uvažovat a jakým způsobem by to bylo možné? Je toto při výpočtu uvažováno?
- Při kontrole navrženého výměníku tepla kontroluje autor velikost tlakové ztráty (omezené 13 kPa), která je vyjádřena součtem tlakové ztráty na straně spalin a vzduchu. Je to běžný postup při návrhu takovéto aplikace (já nevím)? Nedává větší smysl požadavek na omezení tlakové ztráty na nějakou velikost v obou prouděch odděleně? Podmínce bude vyhovovat i rozdělení na 12 + 1, či 1 + 12. Bude i takovýto výměník akceptovatelný? Nebo je hodnota omezující součet volena tak, že významně neovlivní termodynamické chování celého systému a tak není rozdělení na proudy podstatné?
- Na straně 40 ve vztahu (13.1) pro výpočet tloušťky stěny pláště (ale také možná plochy, dle seznamu symbolů, či dokonce entropie, možná pláště?) je uveden symbol f . Autor uvádí, že se jedná o koeficient svařitelnosti. Co tímto koeficientem svařitelnosti vyjadřujeme a jak závisí na materiálu výměníku tepla (koeficient svařitelnosti evokuje jeho vazbu na materiál)?
- Na straně 41 uvádí autor parametry geometrie optimálního výměníku tepla s délkou trubky 2,125 m. Předpokládá, že to je skutečná délka výměníku tepla a nebo by mělo dojít ještě k nějakým úpravám z hlediska technologie výroby, polotovaru, ...
- Jaký materiál je použit pro výměník tepla? Při výpočtu stěny trubky autor bakalářské práce uvažuje, že dovolené napětí při teplotě 485 °C bude poloviční oproti dovolenému napětí při normální teplotě (zde uvažoval 180 MPa). Kde k tomuto poměru došel a je to v souladu s normou pro výpočet tlakových nádob dle ČSN EN 13445, či alespoň ČSN 69 0010?

Martin Dostál

v. r.

Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Fakulta strojní ČVUT v Praze

Praha, 27. ledna 2023