

OPONENTSKÝ POSUDEK

na doktorskou disertační práci (Ph.D.)

Ing. Aleš Macálka : Tvarová modifikace rozváděcí lopatky koncových stupňů parních turbín

Předložená disertační práce se zabývá aktuální tematikou – teoretickým modelováním proudění v moderních nízkotlakých částech parních turbín s výstupním tělesem s cílem dosáhnout zvýšení účinnosti v porovnání s původními stroji. Má 92 stran a je psána v českém jazyce. Autor se v textu odkazuje na 52 publikací. Z toho u 16 prací je spoluautorem.

Autor je členem kolektivu specialistů z výrobního závodu Doosan Škoda Power a dalších institucí (Techsoft, ČVUT, ZČU a další) , který pracuje na návrzích nových parních turbín. Pro svou dizertaci si vybral výsledky řešení, jež získal sám anebo s týmem , který vedl. Disertační práce je rozdělena do sedmi základních částí.

V první kapitole disertační práce se Ing. Macálka věnuje vysvětlení základních pojmů , vytyčení hlavních cílů práce a rozboru současného stavu znalostí o návrhu stupňů parních turbín s využitím výsledků simulace proudění (CFD) a metod optimalizace z hlediska dosažení maximální možné účinnosti. Rovněž se zabýval mimonávrhovými režimy práce turbíny.

Ve druhé části je realizováno porovnání výsledků změřeného proudového pole a ztrát rovinné patní turbínové mříže získaných na vysokorychlostním mřížovém tunelu AV ČR s vypočtenými daty veličin rovinného proudu . Výpočet byl proveden komerčním programem (CFD) s názvem CFX.

Ve 3.kapitole jsou popsány výsledky analýzy vypočteného třírozměrného proudění páry v nízkotlakém dílu turbíny včetně výstupního hrdla. Je sledována obvodová nerovnoměrnost proudu zejména v posledním lopatkovém stupni.

Metodika zvýšení účinnosti posledního stupně nízkotlakého dílu pomocí prostorového tvarování rozváděcích lopatek a omezující plochy náboje je popsána ve 4.kapitole disertační práce. Tvar lopatky byl měněn prostřednictvím osového a obvodového náklonu lopatky a úpravou jejího konce u náboje v důsledku změny tvaru plochy náboje. Pro řízení výše uvedených modifikací byla užita optimalizační metoda s označením DOE. Ta efektivně mapuje zadaný optimalizační prostor. Výsledkem řešení byla nová řada rozváděcích lopatek posledního stupně. Její užití v tomto stupni způsobilo zvýšení hodnoty účinnosti o 2,0 % oproti případu původního stupně. To lze považovat za velmi dobrý výsledek.

Přínos návrhu nového tvaru rozváděcí lopatky posledního nízkotlakého stupně byl potvrzen výsledky nestacionárního řešení proudění. Analýza dat ukázala snížení hodnoty Machova čísla v patní oblasti. Došlo také k poklesu dynamického namáhání oběžné lopatky.

V páté kapitole jsou provedeny rozboru vlivu nového posledního stupně na práci celého nízkotlakého dílu turbíny s difuzorem a výstupní skříní. V blízkosti návrhového průtoku bylo dosaženo přírůstku účinnosti 0,9% v porovnání s původním dílem. Dále jsou porovnány průběhy hodnot naměřeného a vypočteného celkového tlaku po poloměru za posledním stupněm NT dílu. Z rozboru vyplynulo, že pro dosažení významných přírůstků účinnosti turbíny při rekonstrukci je zapotřebí pokračovat v měření veličin proudu ve vybraných rovinách kvůli verifikaci teoretických výsledků.

V závěru práce jsou shrnuty nejdůležitější získané výsledky řešení disertační práce spolu některými doporučeními.

Připomínky k textu disertační práce :

i) Ve druhé kapitole disertační práce Ing. Macálka provedl validaci teoretických výsledků (CFD) na datech měření parametrů proudu patní lopatkové mříže řady oběžných lopatek turbínového stupně v mřížovém vysokorychlostním tunelu ÚT AV ČR v Novém Kníně. Simulace 2D proudu byly provedeny pomocí komerčního programu v rovinné mříži s bočními stěnami. Autor předpokládá rovinné proudění v sondážní rovině vyšetřované mříže na tunelu. Pak kontrakční součinitel (obvyklé označení AVDR) by měl mít hodnotu 1,0. To však nemusí být exaktně splněno v důsledku účinku vývoje mezních vrstev na koncových stěnách tunelu, jak je uvedeno autorem v disertaci.

Korektnější validace by byla provedena s výsledky výpočtu třírozměrného proudění turbínovou mříží se vstupním a výstupním kanálem mřížového aerodynamického tunelu.

Podle názoru oponenta výsledky porovnání dat měření a výpočtu souhlasí v rozsahu odhadnutých nejistot měření úhlu proudu resp. ztrátového součinitele. To může znamenat, že hodnota kontrakčního součinitele je blízká jedné.

ii) Předřazení lopatkového stupně před výstupní hrdlo s difuzorem je nutné pro dosažení obvodové nerovnoměrnosti proudu a rychlostního profilu ve vstupní rovině difuzoru při modelování proudění, jak správně uvádí autor disertace.

Je třeba ještě dodat, že vstupní proud výstupního hrdla za oběžným kolem s rotujícími úplavy lopatek vytváří příznivé podmínky pro vývoj mezních vrstev na stěnách difuzoru. Proto tlaková ztráta difuzoru má nižší hodnotu v případě stroje než u osamoceného difuzoru. To plyne z literatury a také i z výsledků experimentů provedených před lety v Česku (Škoda Turbíny a SVÚSS Běchovice).

Dotazy do diskuse

- a) Jaká byla nejistota experimentálního stanovení úhlu proudu a ztrátového součinitele lopatkové mříže na vysokorychlostním tunelu AV ČR ? Autor se zmiňuje ve 2.kapitole o nepřesnosti numerického výpočtu. Zabýval se autor kvantifikací této veličiny s použitím publikovaných (např. prof. Hirsch a kol.) nebo vlastních postupů?
- b) V Tabulce č.12 na str. 66 jsou uvedeny parametry konvergence výpočtu CFD při optimalizaci tvaru lopatky . Pro rozdíl hodnot účinnosti stupně při iteračním cyklu platí nerovnost $\Delta\eta < 0,1\%$. To je rozumný předpoklad. Podařilo se tuto podmínku splnit u všech počítaných případů?
- c) Na obr. 56 je znázorněno rozložení proudnic v meridiálním řezu posledního stupně s částí difuzoru. Je zřejmé, že v důsledku užití nové řady rozváděcích lopatek došlo k rovnoměrnějšímu rozložení proudnic s menší oblastí nízkých rychlostí u náboje difuzoru v důsledku odtržení. Je tento jev také spojen se snížením hodnot vstupního úhlu proudu v popisované oblasti v porovnání s případem původních rozváděcích lopatek posledního stupně NT?

Závěrečné poznámky

Disertační práce je orientována na konkrétní průmyslovou aplikaci : návrh nových moderních parních turbín s vysokými účinnostmi. Důraz je kladen na nízkotlaký díl.

Vědecký přínos disertační práce lze spatřovat v užití nejnovějších teoretických metod při výpočtu proudění v nízkotlakém dílu parní turbíny a v optimalizaci tvaru lopatek z hlediska dosažení maximální možné účinnosti. K tomu bylo potřeba navrhnout efektivní metodiku pro spojení speciálních nově navržených postupů s komerčními programy. Do přínosů patří i způsoby analýzy získaných teoretických výsledků.

Záběr disertační práce je široký. Řešená problematika je velmi obtížná. Oponent oceňuje, že autor dokázal dobře zpracovat výsledky výpočtu , provést jejich rozbor a formulovat odpovídající závěry.

Kapitoly disertace s názvem Anotace a Závěr jsou psány výstižně. Grafická úroveň práce je vysoká. Většina dosažených výsledků byla uveřejněna v publikacích na zahraničních konferencích (např. ASME) a na domácích seminářích a konferencích.

Závěr

Ing. Aleš Macálka ve své disertační práci prokázal hluboké znalosti v oboru. Disertace má velmi dobrou odbornou úroveň a obsahuje nové vědecké poznatky. Při řešení použil nejnovější výpočtové postupy. Stanovené cíle práce byly splněny. Publikáční činnost zejména na zahraničních konferencích lze hodnotit velmi kladně.

Je možné konstatovat, že předložená disertační práce Ing. A. Macálky splňuje požadavky tvůrčí vědecké práce dle Zákona č.111/1998 Sb. a prováděcích předpisů. Proto ji doporučuji k obhajobě.

Zpracoval: Prof. Ing. Václav Cyrus, DrSc.

AHT Energetika s.r.o., 190 11 Praha 9 – Běchovice, Podnikatelská 550

V Praze-Běchovicích , dne 1.9.2018