

Oponentní posudek doktorské disertační práce

doktoranda pana Ing. Pavla Jandourka

Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav

Vysoké učení technické v Brně

s názvem

VENTIL NA PRINCIPU VÍŘIVÉ TURBINY

Práce se zabývá využitím vířivé turbíny pro rekuperaci tlakové energie kapalin jako náhradu za redukční ventil, který při snižování tlaku veškerou tlakovou energii disipuje v teplo, při čemž tato energie by se mohla transformovat např. na energii elektrickou. V mnoha průmyslových aplikacích je zapotřebí snižovat tlak kapaliny, jedná-li se o větší výkony, potom je ekonomické tlakovou energii kapaliny vhodným systémem transformovat na užitečnou energii, např. elektrickou. V současnosti je takto transformována tlaková energie při centrální klimatizaci hlubinných dolů, kde se jedná o výkony až 50 MW. Další aplikací je odsolování mořské vody reverzní osmózou, kdy při produkci 500 000 m³/den je transformovaný výkon cca 80 MW. V obou těchto případech je pro transformaci použit vzhledem k vysoké účinnosti „objemový stroj – tzv. dávkovač“. Existují i další odvětví, kde se transformace může uplatnit, např. v chemickém průmyslu, vodárenství apod.

V předložené dizertační práci se autor zaměřil na transformaci tlakové kapaliny s využitím vířivé turbíny. Klasické článkové čerpadlo v turbinovém režimu je pro transformaci tlaku vzhledem k účinnosti vhodné pro specifické otáčky větší jak 35 min⁻¹. Snahou autora bylo nalézt stroj, který by při nižších specifických otáčkách umožňoval transformaci tlakové energie kapalin. Autor navrhl řešení s využitím vířivých čerpadel, která se používají pro čerpání malých množství kapalin do velkých dopravních výšek. Tato čerpadla jsou charakterizována malými specifickými otáčkami 4 až 40 min⁻¹ a po malé rekonstrukci je možné je využívat také v turbínovém provozu.

Aktuálnost tématu:

Cena energie je v současnosti vysoká a do budoucna lze očekávat pouze její zvyšování. Každý krok, který vede k úsporám energie lze považovat za užitečný i potřebný. Autor v disertační práci řeší studii hydraulického návrhu nového tlakového redukčního ventilu, jehož úlohu by plnila speciální pomaloběžná turbína pracující na vířivém principu. Hydraulické ztráty při regulaci tlaku tak mohou být naopak nahrazeny výrobou elektrické energie při srovnatelných charakteristikách ventilu a vířivé turbíny. Lze tak nahradit tlakové redukční ventily principem vířivé turbíny.

Vznikne tak nový druh turbínového ventilu s regulací tlaku změnou otáček oběžného kola.

Základem pro návrh je ztrátová charakteristika redukčního ventilu. Pro rekuperaci energie ve ventilu je potřebný určitý tlakový spád média. Známé literární prameny problém aplikace vířivé turbíny pro rekuperaci energie dostatečně nepodchycují. Vířivé stroje jsou specificky pomaloběžné a pracují s relativně vysokými tlaky a relativně malými průtoky a mají výkonové křivky se stabilními charakteristikami, jsou menší a mají jednodušší konstrukci.

Splnění sledovaných cílů práce:

Základní cíle disertační práce jsou :

- dokončení odvození obecných vztahů pro měrnou energii Y a krouticí moment M_k na hřídeli vířivého stroje.
- pomocí CFD programů upřesněny hodnoty veličin, potřebných pro úspěšné vyřešení rovnic a poté porovnány s naměřenými a vypočítanými hodnotami.
- na základě získaných poznatků a zkušeností pokusit se pomocí výpočtového modelování turbulentního proudění navrhnout vlastní vířivou turbínu uzavřeného typu a nalézt vhodný hydraulický tvar oběžného kola.
- vyrobít plastový prototyp modelu turbíny s malými rozměry, který se hydraulicky proměří v laboratoři odboru fluidního inženýrství. Měření turbíny provést i pro čerpadlový chod a porovnat je s výpočty a teoreticky odvozenými hodnotami.
- zpřesnění jednotlivých členů rovnice pro krouticí moment turbíny.
- ověřit platnost afinních vztahů u vířivých strojů.
- čerpadlo v turbínovém režimu z 5. kapitoly je doporučeno proměřit i s protitlakem v sacím potrubí, aby se zjistilo zdali se v takovém stavu změní celková účinnost a doměřit čerpadlové charakteristiky.
- provést analýzu proudění čerpadla v turbínovém chodu nestacionárním výpočtem s rotující lopatkovou mříží. Turbínu počítat pro několik spádů shodných s měřením a případně čerpadlo pro několik nastavení otáček oběžného kola a průtoků.
- výpočtem zjistit vliv tloušťky boční spáry na výslednou účinnost stroje.
- nejlepší pracovní bod je počítán s podmínkou nesmáčivého povrchu na ploše bočního kanálu a vyhrdlení.
- porovnání výpočtů s měřením a odvozenou teorií.
- předpokládá se publikační činnost a účast na konferencích.

Jsem toho názoru, že disertační práce splnila všechny stanovené cíle a je třeba vyzvednout, že autor vedle náročných experimentů volil i náročné matematické modelování. Naplnění cílů je shrnuto v závěru práce, autor prokázal použití vířivé turbíny jako náhradu za škrťací ventil

Zvolené metody zpracování:

Pro řešení vířivé turbíny vyšel autor z rozsáhlé literární rešerše, kterou doplnil o názorné odvození krouticího momentu a měrné energie vířivého stroje. Pro výpočty proudění ve vířivé turbíně aplikoval autor numerické výpočty, pro které použil několik různých modelů turbulence (k-eps, k- ω , RSM) a následně jejich výsledky porovnat. Numerické výpočty následně porovnal s měřením na modelech vířivých čerpadel i turbin. Došel k závěru, že z hlediska numerického modelování je výhodný model turbulence k – eps, dále zjistil, že numerické výpočty vedou na vyšší účinnost v porovnání s provedeným měřením.

Přínos pro rozvoj vědy:

Přínosem práce je především prokázání použití v praktických aplikacích vířivých turbin pro škrcení tlaku kapaliny a následná transformace tlakové energie např. na energii elektrickou. Z hlediska účinnosti došel doktorand k předpokládanému poznání, že vířivé stroje již ze svého principu vždy vykazují výrazně menší účinnost než klasické hydraulické stroje.

Odvodil teoretické vztahy pro měrnou energii Y a krouticí moment M_k na hřídeli vířivého stroje, dle vlastního návrhu je vyroben a proměřen plastový model vířivé turbíny, pro komerčně vyráběné vířivé čerpadlo proměřil turbínovou charakteristiku a ověřil funkci částečné rekuperace přebytečné tlakové energie v potrubním systému. Formou náčrtků a doporučení provedl konstrukční uspořádání jednostupňové a dvoustupňové vířivé turbíny.

Dizertační práce má 137 stran, je logicky členěna do 7 kapitol, po formální stránce je napsána bez překlepů a větších chyb, obrázky jsou zařazeny do textu.

Doktorand publikoval jako spoluautor celkem 14 prací, z toho 6 se vztahuje přímo k tématu dizertační práce. Počet publikací považuji za dostatečný. Práce je napsána velmi pečlivě a nemám k ní žádné formální ani faktické připomínky.

Otázky na doktoranda:

- podle současných zkušenosti s rekuperací tlakové energie vykazují objemové systémy nejlepší účinnost (téměř 100%), netransformují však tlakovou energii kapaliny přímo na energii elektrickou. Jaký je názor doktoranda?
- jak se v budoucnu vypořádat s velmi malou účinností vířivé turbíny?
- budou doktorandem navržená opatření dle kapitoly 6 dizertační práce dostatečná na výrazné zvýšení účinnosti vířivé turbíny?
- použití nesmáčivých povrchů při konstrukci vířivé turbíny zvýšilo její účinnost cca o 1%, toto je hodnota na hranici chyby měření. Je cesta s využitím nesmáčivých povrchů u vířivé turbíny perspektivní, také s přihlédnutím k životnosti nesmáčivých povrchů?
- pro aplikaci vířivé turbíny bude důležité ekonomické posouzení. Jaký je názor doktoranda?

Závěr.

Práce řeší náročný teoretický, experimentální i praktický problém a to použití vírového čerpadla v turbínovém provozu k redukci tlaku kapaliny s tím, že část tlakové energie je turbínou transformována na energii elektrickou. Použitím vírové turbíny jako náhrada za klasický redukční ventil není celá tlaková energie disipována na teplo.

Doktorand prokázal vysoké odborné znalosti z numerického modelování i experimentálních měření, také prokázal, že je schopen samostatně vytvářet nová řešení a aplikovat náročné matematické metody na konkrétní řešení. Některé výsledky v práci považuji za původní autora.

Doporučuji práci k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení udělit autorovi titul Ph.D.

V Ostravě 10. 6. 2017

Prof. Ing. Jaroslav Janalík, CSc.