

Ing. David Šimurda, Ph.D.
Ústav termomechaniky AVČR, v.v.i.
Dolejškova 1402/5
18200, Praha

Oponentní posudek disertační práce pana Ing. Petra Kollrosse

Nestacionarity při proudění ve ventilech

Předložená disertační práce obsahuje 132 stran textu a jednu přílohu. Součástí práce je titulní list, motivace, anotace v českém a anglickém jazyce, poděkování, čestné prohlášení, seznam použitých zkratek a symbolů a obsah.

Cílem předložené disertační práce je vyšetření oblastí v průtokové charakteristice ventilu, ve kterých dochází k odtržení proudu v hrdle difuzoru a ke vzniku významných nestacionarit. Dále je cílem práce analyzovat, jak se proudové nestacionarity přenáší na model ventilu.

Práce je členěna do 11 kapitol včetně závěru. V úvodu práce autor stručně uvádí funkci a důležitost regulačních ventilů parních turbín a dále zmiňuje důvody k podrobnému výzkumu proudění v těchto ventilech zejména s ohledem na vznik nestacionarit spojených s odtržením proudu a přechodem do supersonického proudění v hrdle difuzoru.

Druhou kapitolu tvoří cíle práce.

Ve třetí kapitole autor popisuje funkci regulačních ventilů a přibližuje jednotlivé druhy regulace.

Čtvrtá kapitola shrnuje poznatky z literatury pojednávající o nestabilitách proudu v regulačních ventilech. Z textu vyplývá, že nestacionarity vznikají zejména následkem odtrhávání proudu v hrdle difuzoru ventilu. Při nízkých zdvizích kuželky a nízkých tlakových poměrech navíc dochází k urychlení proudu pod kuželkou do supersonických rychlostí a vzniku rázových vln, které interagují se zavřeným prouděním.

V páté kapitole se autor podrobně věnuje jednotlivým konstrukčním prvkům regulačních ventilů a jejich možné optimalizaci. Pozornost je věnována zejména tvarům a konstrukčním řešením kuželky, sedla a difuzoru.

Šestá kapitola je věnována zkušenostem pracoviště autora s problematickými provozem regulačních ventilů na různých elektrárnách. Téměř ve všech zmíněných případech bylo důvodem vzniku nestacionarit nevhodné tvarování kuželky či hrdla difuzoru. Vibrace se podařilo snížit také užitím tzv. dusičů, které omezují a usměrňují proud před vstupem pod kuželku. Pro omezení namáhání vřetene kuželky bylo na základě zkušeností z provozu navrženo a dále používáno vedení kuželky v objímce.

V následující sedmé kapitole jsou popsány výsledky a závěry z experimentů provedených na 2D modelech regulačních ventilů v CKTI Petrohrad a ÚT AVČR. V prvně zmíněné instituci byl zkoumán model ventilu se středovým výtokem by-passové páry ze dna kuželky. Závěrem je, že je-li výtok by-passového proudu ze dna kuželky vhodně směřován, nemá tento proud vliv na poměry, při kterých dochází k odtržení proudu v difuzoru, ani na tlakové pulzace u stěny v hrdle difuzoru. V ÚT AVČR byl zkoumán vliv drsnosti povrchu a vliv vefukování štěrbinami umístěnými v různých polohách v blízkosti hrdla difuzoru na stabilizaci proudu. Bylo prokázáno, že vhodným umístěním vyfukovacích štěrbin lze dosáhnout stabilizace proudu. Naproti tomu nebyl pozorován prokazatelný pozitivní účinek vyšší drsnosti povrchu na stabilizaci proudu.

Osmá kapitola je poměrně rozsáhlá neboť podrobně pojednává o experimentech, které v rámci disertační práce provedl autor. V první části této kapitoly jsou popsány uspořádání experimentu, způsob měření jednotlivých veličin, přípravné práce a procedura měření. V další části autor uvádí, jakým způsobem byla vyhodnocena naměřená data. Pozornost je věnována zejména zpracování veličin závislých na čase. Následuje velmi názorný popis zpracovaných dat získaných z měření

jednotlivých veličin. Data jsou zpracována s pomocí nástrojů zpracování časových řad popsaných dříve v této kapitole. Autorovi se podařilo zmapovat podmínky, při kterých dochází k odtržení proudu v hrdle difuzoru či aerodynamickému ucpání a s tím spojenému urychlení do supersonických rychlostí. Oba tyto jevy jsou spojené s výrazným nárůstem fluktuací tlaku či vibrací zařízení. Nakonec jsou výsledky analyzovány v kontextu funkce regulačního ventilu zanesením do průtokových charakteristik. Na základě těchto analýz autor identifikoval oblasti pracovních režimů, ve kterých se více či méně projevují nestacionarity proudu. Podrobná měření časově závislých veličin jsou provedena pouze na modelu regulačního ventilu s použitím síta. Při měření na modelu bez síta byly měřeny pouze časově střední hodnoty veličin. Na konci kapitoly autor uvádí, jakým způsobem byly vyhodnoceny nejistoty měření.

V deváté kapitole je velmi stručně uvedeno několik výsledků numerických simulací proudění regulačním ventilem bez síta.

Poslední dvě kapitoly shrnují přínosy práce a závěry.

Hodnocení práce:

a) Téma regulačních ventilů pro parní turbíny je vysoce aktuální, o čemž svědčí celá řada současných publikací ve světové literatuře. Je to dáno složitostí jevů, které při proudění ventily vznikají. Přestože bylo v minulosti dosaženo v této oblasti výrazného pokroku, existuje celá řada problémů, které nejsou uspokojivě vyřešeny. Navíc intenzita jevů jednotlivých jevů výrazně závisí na konkrétní geometrii regulačního ventilu, která je vždy kompromisem. Předložená disertační práce je významným počinem v oblasti výzkumu a návrhu regulačních ventilů. Její přínos spatřuji zejména v důkladném a názorném zdokumentování výskytu a účinku jevů vznikajících v hrdle difuzoru při různých režimech provozu vzduchového modelu regulačního ventilu.

b) Hlavním cílem práce bylo dle zadání rozšíření poznatků souvisejících s nestabilitami uvnitř ventilů či difuzoru. Disertant za tímto účelem nejprve provedl rozsáhlou rešerši dosavadních poznatků v této oblasti. Na základě rešerše navrhnul a provedl experiment na modelu regulačního ventilu, ve kterém sledoval všechny podstatné veličiny a jejich vývoj v čase. Experimenty byly provedeny svědomitě a v práci jsou náležitě popsány. Použité postupy měření odpovídají zamýšleným cílům. Způsob zpracování naměřených dat, zejména časových řad, poskytuje názorné výsledky, které je možno velmi dobře využít v následných analýzách. Hlavní cíl disertační práce byl dle mého názoru splněn. Je škoda, že se nepodařilo do práce začlenit také časově závislá měření na regulačním ventilu bez užití ochranného síta. Porovnání obou variant z hlediska rozsahu a účinků fluktuací proudu by bylo velmi přínosné. Dále by bylo vhodné alespoň nastínit, do jaké míry jsou výsledky získané na vzduchovém modelu přenositelné na reálné dílo, ve kterém proudí pára.

c) Výsledky disertační práce jsou bezesporu hodnotné, jak pro jejich kvalitu, tak i pro jejich význam z hlediska návrhu regulačních ventilů. Dílčí přínos autora spatřuji již v samotné rešerši, která je poměrně rozsáhlá důkladně uvádí problematiku nestacionarit v regulačních ventilech. Za součást rešerše považuji také kapitolu 7, kde jsou shrnuty výsledky experimentů prováděných na spřátelených pracovištích. Hlavní přínos disertanta dle mého názoru spočívá v důkladném a názorném zdokumentování výskytu a účinku jevů vznikajících v hrdle difuzoru při různých režimech provozu vzduchového modelu regulačního ventilu.

d)

Formální úroveň práce je velmi dobrá. Práce splňuje všechny náležitosti. Rozdělení do kapitol je logické. Grafická úroveň práce je na vysoké úrovni. Práce je dokumentována řadou přehledných grafů a schémat. Počet gramatických chyb je spíše malý, i když nezdědk se objevují prohřešky při skloňování větných členů a užití koncovek čtenáře ruší. Kapitoly shrnující přínos autora a závěry jsou dle mého názoru zbytečně dlouhé. Některé informace se v těchto dvou kapitolách opakuji. Jednostranný tisk je dle mého názoru zbytečný a ztěžuje čtení práce.

Dále mám tyto připomínky:

- i) Značení entalpie je nejednoznačné: i vs h .
- ii) Str. 31 „Dle Domnicka je proud odtržen (ne oddělen) rázovými vlnami a“.
- iii) Správně je „laterální“ nikoliv „laterární“.
- iv) V odstavci 4.4 je náhlou expanzí páry zřejmě míněn kondenzační ráz.
- v) V odstavci 4.4 je vznik separačních bublin mylně interpretován jako vznik jiné fáze.
- vi) Obr. 15 je nezřetelně reprodukován.
- vii) Formulace „Difuzor je kanál mající tvar divergentní dýzy.“ není vhodná.
- viii) Str. 43 δ^{**} označuje impulzní tloušťku mezní vrstvy
- ix) V popisku Obr. 57 je pravděpodobně chybně uvedeno, že se graf týká poměrného zdvihu $h/D0 = 0.05$.
- x) Str. 64 - Sílové účinky jsou dle pohybového zákona úměrné zrychlení nikoliv změně zrychlení.
- xi) Na Obr. 62 není uvedena legenda.
- xii) Str. 71 - Správně je měřicí trať nikoliv měřící trať.
- xiii) Obr. 77 ukazuje závislost c_p na úhlu nikoliv obráceně.
- xiv) Str. 88 – Obr. 88 je závislost amplitud na frekvenci a čase nikoliv obráceně.
- xv) Str. 130, 5.odstavec, poslední řádek: Správně má být kvadrantech nikoliv kvadrátech.

K práci mám následující dotazy:

- i) Mohl by disertant okomentovat, do jaké míry jsou výsledky získané na vzduchovém modelu přenositelné na reálné dílo, ve kterém proudí pára? Budou se např. zjištěné významné frekvence fluktuací tlaku nějak lišit?
- ii) Čím je zapříčiněn výrazný peak v amplitudových spektrech na Obr. 98 b)?
- iii) Jaké lze dle názoru disertanta očekávat změny ve vývoji fluktuací tlaku, pokud nebude použito ochranné síto?

e) 5 konferenčních příspěvků na lokálních mezinárodních konferencích. Publikační aktivita disertanta je spíše průměrná. Řešené téma dle mého názoru skýtá větší publikační potenciál.

f) Předložená disertační práce pana Ing. Petra Kollrosse se zabývá výzkumem nestacionarit proudu vznikajících v regulačním ventilu při různých režimech. Cíle disertační práce vychází z pečlivé rešerše a rozsáhlých zkušeností s danou problematikou na pracovišti autora. Autor při plnění vytyčených cílů více než prokázal schopnost samostatné vědecké práce. Přínosem práce je důkladné a názorné zdokumentování výskytu a účinku jevů vznikajících v hrdle difuzoru při různých režimech provozu vzduchového modelu regulačního ventilu. Cíle disertační práce byly splněny. Připomínky uvedené v tomto posudku nijak nesnižují kvalitu předložené práce.

Lze konstatovat, že předložená disertační práce splňuje požadavky Zákona o vysokých školách 111/98 Sb. §47 a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 3. března 2020


Ing. David Šimurda, Ph.D.

prof. Ing. Miroslav Šťastný, DrSc.

Ruská 76

326 00 Plzeň

OPONENTNÍ POSUDEK

disertační práce k získání akademického titulu doktor v oboru
Stavba energetických strojů a zařízení

Téma: Nestacionarity při proudění ve ventilech.

Doktorand: Ing. Petr Kollross.

Zadavatel posudku: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.

K posouzení byla předložena disertační práce v rozsahu 132 stran textu s obrázky a diagramy. V práci je uvedeno 136 odkazů na literaturu a na 5 publikací doktoranda se spoluautory ke sledované problematice.

SOUHRNNÉ POSOUZENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

a) Zhodnocení významu pro obor

Téma disertace je velmi aktuální z hlediska využití metod tvarování průtočných částí regulačních ventilů při dalším zdokonalování parních turbín pomocí mechaniky tekutin. Cenné je, že účinky tvarování regulačních ventilů autor sleduje z rozsáhlé literatury a především experimentálně na modelovém ventilu pro turbínu o výkonu 800 MW. Podrobně je popsána příprava a způsob provedení měření. Významný je rovněž popis zpracování naměřených hodnot s uvažováním sekundárních účinků, včetně rozboru nejistot měření.

b) Postup řešení

Řešení problému je prováděno systematicky, počínaje charakteristickými veličinami pro proudění v regulačním ventilu a jeho částech. Následuje popis a rozbor literárních údajů o 2D a 3D proudění ve ventilech a uvádí se vhodný návrh průtočné části regulačního ventilu. Podrobně je popsána příprava měření, zkoušený model a použité měřicí metody. Je proveden rozbor nejistot měřicích metod a v další části disertace se pojednává o zpracování naměřených hodnot s uvažováním sekundárních účinků. Obvyklé kvalitativní hodnocení vibrací ventilu je zde rozšířeno na hodnocení kvantitativní, navíc s uvážením, jestli se ventil otevírá nebo zavírá.

c) Výsledky disertace a přínos disertanta

Významným výsledkem práce disertanta jsou pokroky v metodice měření na modelovém ventilu, jakož i provedený rozbor nejistot měření. Cenný je rovněž rozbor změn průtokových charakteristik a zjištění, že velmi nebezpečné jsou vibrace vybuzené s frekvencí shodnou s vlastní frekvencí ventilu. Disertace systematicky zpracovává dané téma a je přehledně uspořádána.

Hlavním praktickým výsledkem disertace je nalezení oblasti režimů bez významnějších nestacionarit, oblasti s významnějšími nestacionaritami a oblasti s útlumem nestacionarit.

d) Dotazy a připomínky:

- je zbytečné uvádět obecné věci o parních turbínách a o základních termodynamických procesech
- výsledky výpočtů CFD jsou velmi zajímavé, ale chybí srovnání s experimenty
- Formální provedení je dobré. V textu jsou ale některé jazykové nepřesnosti a drobné chyby.

e) Publikace disertanta

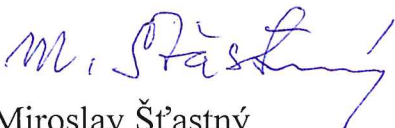
Publikace disertanta jsou velmi dobré. Podstatnou část disertace doporučuji k publikaci.

f) Doporučení

Významným výsledkem práce disertanta jsou pokroky v metodice měření na modelovém regulačním ventilu pro parní turbíny.

S přihlédnutím k výše uvedeným skutečnostem doporučuji disertační práci Ing. Petra Kollrosse k obhajobě (dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47).

V Plzni dne 20. 2. 2020


Miroslav Šťastný